CONTENT

Cesare Sposito, Francesca Scalisi (EDITORIAL)
Affrontare la Complessità – Conoscenza, progetto e gestione dell'ambiente costruito 2
Dealing with Complexity – Knowledge, design, and management of the built environment

Manuel Gausa
Complessità, n-città e sistemi dinamici multilivello – Verso una (geo)urbanità in rete e in reti 16
Complexity, n-city, and multilevel Dynamic systems – Towards a networked (geo)urbanity and networks

Federico M. Butera
La Città Ideale 30
The Ideal City

Consuelo Nava, Alessandro Melis
IA generativa e complessità – Verso un nuovo paradigma nel design digitale rigenerativo 40
Generative IA and complexity – Towards a new paradigm in regenerative digital design

Andrea Giachetta, Linda Buondonno
La formazione dell'Architetto in realtà complesse – Un nuovo approccio sul piano cognitivo 50
Architect training in multifaceted environments – A new cognitive level approach

Marcello Corradi, Timo Stevens, Ina Macaione Alessandro Raffa, Bianca Andaloro
Rigenerazione climatica green degli streetscapes – L'esperienza di De Urbanisten ad Anversa 60
Green climate-adaptive streetscapes regeneration – The De Urbanisten Experience in Antwerp

Tommaso Berretta, Federico Desideri Matteo Staltari
Il progetto dello spazio pubblico, tra complessità e crisi ecologica – Da sfida a opportunità per la rigenerazione urbana 74
Public space project, between complexity and ecological crisis – From challenge to opportunity for urban regeneration

Nicola V. Canessa, Chiara Centanaro
Co(mplex)city – Utente come sensore urbano e mobilità accessibile nel progetto Mobiquity 88
Co(mplex)city – User as urban sensor and accessible mobility in the Mobiquity project

Maria Rosario Chaza Chimeno Rosaria Revellini, Cristiana Cellucci
Invecchiamento della popolazione e spazi urbani – Nuove sfide digitali per il benessere degli anziani 98
Ageing population and urban spaces – New digital challenges for elderly well-being

Jonathan Ochshorn
Analisi della complessità e delle contraddizioni in Architettura 108
Critiquing complexity and contradiction in Architecture

Cristian Dallere, Matteo Tempestini
Il Centro di Formazione a Salez – Progettare la sostenibilità con interazioni semplici tra utenti e architettura 118
An Educational Centre in Salez – Designing sustainability through simple interactions between users and architecture

Alessandra Biasi, Veronica Riavis Isabella Zamboni, Alberto Cervesato
Patrimonio architettonico urbano e cambiamento climatico – Un'occasione per affrontarne la complessità 130
Urban architectural heritage and climate change – An opportunity to address its complexity

Roberta Fonti
Patrimonio per un futuro sostenibile – Il principio teorico della reversibilità e i suoi riflessi in architettura 144
Heritage for a sustainable future – The theoretical principle of reversibility and its reflections on architecture

Marcus Carter, Federico Ianiri Carmela Mariano
Tattiche di resilienza per ambiti urbani costieri – La Marina di Latina e il Porto di New York 156
Resilience tactics for coastal urban areas – The Marina di Latina and the New York Harbour

Giuseppe Losco, Chiara Pasqualini Mohammadjavad Khodaparast
Rivitalizzare le comunità rurali – Autosufficienza energetica e valorizzazione delle risorse boschive locali 174
Revitalising rural communities – Energy self-sufficiency and valorisation of local forest resources

Matteo Giovanardi, Claudio Castellan, Marcello La Rosa Aleksandar Pavlovic, Alessandro Pracucci
Progettare BIPV – Strategie per gestire la complessità del fotovoltaico integrato in facciata 186
Designing BIPV – Strategies for managing complexity in the integration of photovoltaics in facades

Aileen Iverson-Radtke, Otto Paans
Computazione incorporata e spazio-materialità – Esplorare la complessità con la cyber-modellazione 194
Embodied computation and spatiomateriality – Exploring complexity through cybermodelling

Anna Osello, Michele Zucco Emmanuele Iacono, Matteo Del Giudice
Logiche nascoste della complessità – Interfacce grafiche e algoritmi per il sistema edificio 202
Hidden logic of complexity – Graphical interfaces and algorithms for the building system

Anna Osello, Francesca Maria Ugliotti Nicola Rimella, Francesco Loddo
Modelli digitali e linguaggio naturale – Nuove prospettive per interpretare la complessità 212
Digital models and natural language – New perspectives for interpreting complexity

Teresa Villani, Gianmauro Romagna Angelo Oddi
Ottimizzare la fruibilità nei musei – Gestione integrata di dati sui modi d'uso dello spazio e dei contenuti culturali 220
Optimising usability in museums – Integrated management of data on the use of space and cultural content

Claudia Porfirione, Xavier Ferrari Tumay Isabel Leggiero
Conoscenza, innovazione e cambiamento – Il potere dell'errore nel design e nei sistemi complessi 232
Knowledge, innovation, and change – The power of error in design and complex systems

Niccolò Casiddu, Francesco Burlando Boyu Chen
Human-de-centred Design – Verso una (nuova) era della sofferenza 242
Human-de-centred Design – Towards a (new) era of suffering

Carla Langella, Dario Russo Francesca Scalisi
Design e Gastrofisica – Innovazione e sostenibilità dei sistemi alimentari multisensoriali 250
Design and Gastrophysics – Innovation and sustainability of multisensory food systems

Antonella Rosmino
Corpi, menti e design – Un approccio integrato per l'innovazione museale 278
Bodies, minds, and design – An integrated approach to museum innovation

Federica Dal Falco, Omaymah Al Azhari
Complessità e significati del mashrabiya nelle arti islamiche tra tradizione e innovazione digitale 290
Complexity and meanings of the mashrabiya in the Islamic arts between tradition and digital innovation

Steefano Maffei, Patrizia Bolzan Massimo Bianchini, Francesca Zeccara et alii
Svelare la complessità della transizione circolare per il settore del mobile imbottito 304
Unveiling the complexity of circular transition for the upholstered furniture sector

Eugenia Morpurgo
Biomateriali e zone umide – Filiere per l'edilizia e il tessile dalla valorizzazione di ecosistemi locali 314
Biomaterials and wetlands – Supply chains for construction and textiles through the enhancement of local ecosystems

Luca Casarotto, Monica Oddone
Identità territoriale scalabile – Progettare la comunicazione della complessità 324
Scalable territorial identity – Designing the communication of complexity

Flaviano Celaschi, Giorgio Casoni Elena Formia
La mediazione del Design – L'integrazione tra agenti artificiali autonomi, produzione manifatturiera e servizi 334
The mediation of Design – The integration between autonomous artificial agents, manufacturing production, and services

Jacopo Masciti, Davide Paciotti
Verbal Design Modelling – Complessità, IA e innovazione di prodotto 344
Verbal Design Modelling – Complexity, AI and product innovation

ISSN print 2464-9309
ISSN online 2532-683X
70006
9 772464 930001

LetteraVentidue

16

International Journal of Architecture Art and Design

16 | 2024

AGATHÓN

AFFRONTARE LA COMPLESSITÀ | DEALING WITH COMPLEXITY

AFFRONTARE LA COMPLESSITÀ
CONOSCENZA, PROGETTO E GESTIONE DELL'AMBIENTE COSTRUITO

DEALING WITH COMPLEXITY
KNOWLEDGE, DESIGN, AND MANAGEMENT OF THE BUILT ENVIRONMENT

AGATHÓN

16
2024

AGATHÓN
International Journal
of Architecture, Art and Design

ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X

AGATHÓN is indexed on

Scientific Directors
Giuseppe De Giovanni, Cesare Sposito (University of Palermo, Italy)

Managing Director
Micaela Maria Sposito

International Scientific Committee
Alfonso Acocella (University of Ferrara, Italy), **Jose Ballesteros** (Polytechnic University of Madrid, Spain), **Salvatore Barba** (University of Salerno, Italy), **Cristina Bianchetti** (Polytechnic University of Torino, Italy), **Françoise Blanc** (Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Toulouse, France), **Roberto Bologna** (University of Firenze, Italy), **Tarek Brik** (University of Tunis, Tunisia), **Tor Broström** (Uppsala University, Sweden), **Josep Burch i Rius** (University of Girona, Spain), **Maurizio Carta** (University of Palermo, Italy), **Alicia Castillo Mena** (Complutense University of Madrid, Spain), **Pilar Chias Navarro** (Universidad de Alcalà, Spain), **Jorge Cruz Pinto** (University of Lisbon, Portugal), **Maria Antonietta Esposito** (University of Firenze, Italy), **Emilio Faroldi** (Polytechnic University of Milano, Italy), **Francesca Fatta** ('Mediterranea' University of Reggio Calabria, Italy), **Francisco Javier Gallego Roca** (University of Granada, Spain), **Maria Luisa Germanà** (University of Palermo, Italy), **Vicente Guallart** (IAAC – Institute for Advanced Architecture of Catalonia, Spain), **Javier García-Gutiérrez Mosteiro** (Polytechnic University of Madrid, Spain), **Fakher Kharrat** (Ecole Nationale d'Architecture et d'Urbanisme, Tunis), **Motomi Kawakami** (Tama Art University, Japan), **Walter Klasz** (University of Art and Design Linz, Austria), **Paolo La Greca** (University of Catania, Italy), **Inhee Lee** (Pusan National University, South Corea), **Mario Losasso** ('Federico II' University of Napoli, Italy), **Maria Teresa Lucarelli** ('Mediterranea' University of Reggio Calabria, Italy), **Cristiana Mazzoni** (Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris-Belleville, France), **Renato Teofilo Giuseppe Morganti** (University of L'Aquila, Italy), **Stefano Francesco Musso** (University of Genova, Italy), **Olimpia Niglio** (University of Pavia, Italy), **Marco Rosario Nobile** (University of Palermo, Italy), **Patrizia Ranzo** ('Luigi Vanvitelli' University of Napoli, Italy), **Laura Ricci** ('Sapienza' University of Roma, Italy), **Andrea Rolando** (Polytechnic University of Milano, Italy), **Dominique Rouillard** (National School of Architecture Paris Malaquais, France), **Roberto Pietroforte** (Worcester Polytechnic Institute, USA), **Carmine Piscopo** ('Federico II' University of Napoli, Italy), **Luigi Sansone** (Art Reviewer, Milano, Italy), **Andrea Sciascia** (University of Palermo, Italy), **Federico Soriano Pelaez** (Polytechnic University of Madrid, Spain), **Benedetta Spadolini** (University of Genova, Italy), **Conrad Thake** (University of Malta), **Francesco Tomaselli** (University of Palermo, Italy), **Maria Chiara Torricelli** (University of Firenze, Italy), **Fabrizio Tucci** ('Sapienza' University of Roma, Italy)

Editor-in-Chief
Francesca Scalisi (University of Palermo, Italy)

Editorial Board
Tiziano Aglieri Rinella (IUAV, Italy), **Silvia Barbero** (Polytechnic University of Torino, Italy), **Carmelina Bevilacqua** ('Sapienza' University of Roma, Italy), **Mario Bisson** (Polytechnic University of Milano, Italy), **Luca Bullaro** (Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia), **Tiziana Campisi** (University of Palermo, Italy), **Nicola Valentino Canessa** (University of Genova, Italy), **Chiara Catalano** (National Centre of Research – IRET, Italy), **Clice de Toledo Sanjar Mazzilli** (University of São Paulo, Brazil), **Giuseppe Di Benedetto** (University of Palermo, Italy), **Santina Di Salvo** (University of Palermo, Italy), **Ana Esteban-Maluenda** (Polytechnic Univeristy of Madrid, Spain), **Raffaella Fagnoni** (IUAV, Italy), **Antonella Falzetti** ('Tor Vergata' University of Roma, Italy), **Elisa Mariarosaria Farella** (Bruno Kessler Foundation, Italy), **Rubén García Rubio** (Tulane University, USA), **Manuel Gausa** (University of Genova, Italy), **Toufic Haidamous** (American University in the Emirates, UAE), **Pilar Cristina Izquierdo Gracia** (Polytechnic Univeristy of Madrid, Spain), **Daniel Ibañez** (IAAC – Institute for Advanced Architecture of Catalonia, Spain), **Pedro António Janeiro** (University of Lisbon, Portugal), **Massimo Lauria** ('Mediterranea' University of Reggio Calabria, Italy), **Ina Macaione** (University of Basilicata, Italy), **Francesco Maggio** (University of Palermo, Italy), **Fernando Moral-Andrés** (Universidad Nebrija in Madrid, Spain), **Nuria Nebot Gómez de Salazar** (University of Malaga, Spain), **David Ness** (University of South Australia, Australia), **Elodie Nourrigat** (Ecole Nationale Supérieure d'Architecture Montpellier, France), **Elisabetta Palumbo** (University of Bergamo, Italy), **Frida Pashako** (Municipality of Tirana, Albania), **Julio Cesar Perez Hernandez** (University of Notre Dame du Lac, USA), **Pier Paolo Perruccio** (Polytechnic University of Torino, Italy), **Rosa Romano** (University of Firenze, Italy), **Daniele Ronsivalle** (University of Palermo, Italy), **Monica Rossi-Schwarzenbeck** (Leipzig University of Applied Sciences, Germany), **Dario Russo** (University of Palermo, Italy), **Michele Russo** ('Sapienza' University of Roma, Italy), **Jörg Schröder** (Leibniz University Hannover, Germany), **Marichela Sepe** ('Sapienza' University of Roma, Italy), **Marco Sosa** (Zayed University, UAE), **Zeila Tesoriere** (University of Palermo, Italy), **Antonella Trombadore** (World Renewable Energy Network, UK), **Alessandro Valenti** (University of Genova, Italy), **Gaspare Massimo Ventimiglia** (University of Palermo, Italy), **Antonella Violano** ('Luigi Vanvitelli' University of Campania, Italy), **Alessandra Zanelli** (Polytechnic University of Milano, Italy)

Assistant Editors
Maria Azzalin ('Mediterranea' University of Reggio Calabria, Italy), **Giorgia Tucci** (University of Genova, Italy)

Graphic Designer
Michele Boscarino

Web Editor
Pietro Artale

Publisher

LetteraVentidue S.r.l.
Via Luigi Spagna, 50P | 96100 Siracusa (IT)
P.IVA 01583340896
E-mail: info@letteraventidue.com

Il vol. 16 è stato stampato nel Dicembre 2024 da
Issue 16 was printed in December 2024 by
The Factory S.r.l.
via Triburtina n. 912 | 00156 Roma (IT)

AGATHÓN è un marchio di proprietà di Cesare Sposito
AGATHÓN is a trademark owned by Cesare Sposito

Il Journal è stampato con il contributo degli Autori che mantengono i diritti sull'opera originale senza restrizioni.
The Journal is published with fund of the Authors whom retain all rights to the original work without any restrictions.

AGATHÓN adotta il sistema di revisione del double-blind peer review. I saggi nella sezione 'Focus' non sono soggetti al suddetto processo di revisione in quanto a firma di Autori invitati dalla Direzione nella qualità di esperti sul tema.
The AGATHÓN Journal adopts a double-blind peer review. The essays on 'Focus' section are not subjected to double-blind peer review process because the Authors are invited by the Directorate as renowned experts in the subject.

AGATHÓN | International Journal of Architecture Art and Design
Issues for year: 2 | ISSN print: 2464-9309 | ISSN online: 2532-683X

Registrazione n. 12/2017 del 13/07/2017 presso la Cancelleria del Tribunale di Palermo
Registration number 12/2017 dated 13/07/2017, registered at the Palermo Court Registry

Editorial Office
Via Filippo Cordova n. 103 | 90143 Palermo (ITA) | E-mail: redazione@agathon.it

AGATHÓN è stata inclusa nella lista ANVUR delle riviste di classe A per l'area 08 e i settori 08C1, 08D1, 08E1 e 08E2 a partire dal volume 1 del 2017 ed è indicizzata in SCOPUS dal 2023.
AGATHÓN has been included in the Italian ANVUR list of Class A Journals for area 08 and sectors 08C1, 08D1, 08E1, and 08E2 starting from volume no. 1, June 2017, and is indexed in SCOPUS since 2023.

16
2024
AGATHÓN
International Journal
of Architecture, Art and Design

ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X

Editoriale | Editorial

Cesare Sposito
Co-Scientific Director

Associate Professor of Architectural Tehcnology
University of Palermo

Arch. Ph.D. Francesca Scalisi
Editor-in-Chief

Assistant Professor of Design
University of Palermo

pp. 2-15 | doi.org/10.19229/2464-9309/1602024

Affrontare la Complessità – Conoscenza, progetto e gestione dell'ambiente costruito
Dealing with Complexity – Knowledge, design, and management of the built environment

Il volume 16 di AGATHÓN tratta il tema 'Affrontare la Complessità | Conoscenza, Progetto e Gestione dell'Ambiente Costruito'. La 'complessità' (dal verbo latino 'plectere' = intrecciare, 'cum' = insieme) è una condizione nella quale sono presenti tanti elementi interconnessi a formare un'unità. Diverse sono le definizioni in ambito scientifico: Melanie Mitchell (2021) nel volume Complexity – A Guide Tour spiega la complessità sostenendo che quando si deve definire un qualcosa che non si conosce la si definisce come qualcosa di ignoto e di cui non si ha il controllo; George E. Mobus e Michael C. Kalton (2015), in Principles of System Science, definiscono i sistemi complessi come sistemi non lineari, quindi reticolari, fatti di parti, di nodi, di linee e di interazioni che li connettono secondo logiche non sempre note e talvolta con alcune relazioni privilegiate rispetto ad altre; Ceruti e Bardi (2021) sostengono che la complessità – al pari di ciò che è complesso – non è semplificabile, che una delle caratteristiche dei sistemi complessi è legata al fatto di non essere interamente prevedibili e infine che la loro governance e controllo sono importanti perché se non si comprendono i sistemi complessi è impossibile gestirli. Il volume di Federico Butera (2023) Affrontare la Complessità restituisce, con una visione ampia e con dati esaustivi, la particolare condizione in cui versa il nostro Pianeta: sebbene abbia un carattere prevalentemente divulgativo, il volume si fonda sui risultati di ricerche scientifiche condotte da Organizzazioni internazionali e studiosi con l'obiettivo di restituire «[…] una realtà profondamente complessa […] in cui i fenomeni climatici e ambientali incidono su quelli umani e sociali, e viceversa» (Fioramonti, 2021, p. 9) e far emergere come la biosfera sia governata da un sistema di relazioni e interconnessioni multidimensionali, rispetto alle quali modifiche anche piccole in uno specifico contesto determinano reazioni a catena in ambiti differenti, influenzando tanto la natura quanto l'essere umano a scala globale.

Se in passato l'uomo è stato uno dei tanti fattori che ha modificato l'ecosistema oggi l'attività antropica è considerata una delle principali cause del cambiamento climatico e dell'innalzamento delle temperature terrestri e marine, a tal punto che l'era in cui viviamo è stata denominata Antropocene (Crutzen and Stoermer, 2000): a partire dalla seconda metà del XVIII secolo le attività dell'uomo e il progresso (scientifico e tecnologico) hanno prodotto effetti tangibili ed esponenzialmente accelerati sulla biosfera, da un lato rendendo precario l'equilibrio del suo ecosistema, dall'altro incidendo su sicurezza, salute, benessere nonché sulla disponibilità di beni e mezzi di sussistenza dei suoi abitanti (Meadows et alii, 1972; Apreda, D'Ambrosio and Di Martino, 2019). La complessità della condizione in cui versa il Pianeta è evidente: il cambiamento climatico, secondo Amitav Ghosh (2017), non è un pericolo in sé, ma rappresenta un 'moltiplicatore di minacce' che stressa e amplifica l'instabilità e l'insicurezza già presenti in alcune aree del mondo, ancor di più perché molti Paesi industrializzati hanno già superato notevolmente la relativa 'biocapacità' (Beyers and Wackernagel, 2019), diventando di fatto 'debitori ecologici' (Swiader et alii, 2020). Anche Thomas L. Friedman (2016) rileva quanto sia complessa e in continua ed esponenziale evoluzione la condizione nella quale ci troviamo: il Pianeta che popoliamo nel 2030 sarà molto diverso da quello che conosciamo perché soggetto alle tre 'forze' della Legge di Moore con la 'tecnologia', del Mercato con la 'globalizzazione' e di Madre Natura con il 'cambiamento climatico e la perdita di biodiversità' che pressano tutte contemporaneamente sulla biosfera.

In quest'ottica il 'complesso' va riportato al suo significato etimologico di 'tessuto' o 'tenuto insieme', connettendo i saperi nel circolo virtuoso di una conoscenza che si articola in una visione sistemica del mondo reale fondata sul principio di 'coevoluzione' dei sistemi sociali e dei sistemi ecologici (di cultura e natura) e sulla consapevolezza che essa determina, da un lato l'intreccio di molteplici catene causali (ad esempio, la crisi da pandemia oltre che sanitaria è diventata anche crisi biologica, ecologica, economica, sociale, culturale e spirituale) con effetti interdipendenti, dall'altro effetti che retroagiscono anche sulle cause perché la causalità è circolare (Bateson, 1979); secondo Ceruti e Bardi (2021) purtroppo questa visione stenta a tradursi nell'operatività del quotidiano e nel guidare sia l'osservazione del mondo sia il progetto, che è espressione del nostro essere nel mondo.

Le modalità di vita, indipendentemente dal luogo, hanno un impatto sulla biosfera e determinano reazioni a catena in ambiti differenti che influenzano tanto la natura quanto l'essere umano a scala globale: cambiamento climatico, rischi per la salute, perdita della biodiversità, uso indiscriminato delle risorse non rinnovabili, ineguaglianze e accessibilità concorrono a una condizione di 'policrisi' (Morin, 2020) che amplifica lo stato di incertezza sul nostro futuro e la vulnerabilità dell'intero ecosistema, soprattutto perché le azioni progettuali messe in campo non affrontano la cogente questione ambientale in chiave sistemica e olistica.

E allora, come trasformare la complessità da sfida a opportunità? Come affrontare le complesse questioni che riguardano la conoscenza, il progetto e la gestione del costruito rispetto agli ormai imprescindibili pragmatici indicatori di sostenibilità ambientale, sociale ed economica? Quali le strategie, le misure, le azioni e gli strumenti che le aree disciplinari dell'Architettura possono mettere in campo in una visione olistica e con approccio sistemico per rispettare i termini dell'Accordo di Parigi (UN, 2015a)? Come individuare quelle con il miglior rapporto costo / benefici e capaci di produrre sinergie per il raggiungimento del maggior numero possibile degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDG) promossi dalla Nazioni Unite (UN, 2015b)? Come ripensare i sistemi economici estrattivi (basati sulla produzione) e indirizzarli verso quelli rigenerativi (basati sulla valorizzazione dell'esistente e sui servizi)? Come mettere in pratica nuovi approcci progettuali sistemici capaci di affrontare la complessità del presente dalle radici, sviluppando soluzioni attraverso le quali intere società possano intenzionalmente passare a un futuro a lungo termine più sostenibile, equo e desiderabile – anche attraverso visioni co-create – per informare le soluzioni del presente e aprire la strada verso un futuro auspicabile (Tonkinwi-

16
2024
AGATHÓN
International Journal
of Architecture, Art and Design

ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X

se, 2015)? Come mettere a sistema conoscenze e saperi per meglio cogliere le questioni multidimensionali, fondamentali e globali dell'epoca attuale nella loro irriducibile complessità?

Ad alcune di queste domande rispondono i contributi pubblicati nel volume 16 di AGATHÓN suggerendo approcci, strategie, metodologie, misure e azioni finalizzate a superare e risolvere la complessità della conoscenza, del progetto e della gestione dell'ambiente costruito coinvolgendo tutte le sue scale anche in un'ottica multiscalare. Di primaria importanza appare il tema della sostenibilità dei sistemi alimentari, centrale nell'Agenda 2030, la cui complessità lo rende sempre più cruciale per l'umanità soprattutto per le sfide che pone rispetto al raggiungimento di tutti i 17 SDG: essi infatti hanno il potere di condizionare la povertà, la salute, l'uguaglianza di genere, la cultura e l'istruzione, la produzione e il consumo responsabile, la gestione delle risorse naturali della superficie terrestre e marina e la lotta contro il cambiamento climatico. La portata degli effetti che ciascuna azione sui sistemi alimentari produce nelle diverse fasi di produzione, consumo e post-consumo del cibo può essere affrontata solo attraverso un approccio sistemico, olistico, transdisciplinare, scalare, consapevole, orientato al futuro e proattivo, capace di generare sinergie positive, dirette e indirette, con le diverse aree dello sviluppo globale (Follesa et alii, 2024; Basso et alii, 2023). In tale ottica il contributo di Langella, Russo e Scalisi (2024) ha il fine di 'alimentare' il dibattito scientifico sulla centralità dei sistemi alimentari per il raggiungimento degli SDG, illustrando approcci, metodi e strumenti propri della disciplina del Design e, attraverso numerosi casi di studio, le possibili sinergie tra la Gastrofisica e il Design della Comunicazione, il Service Design, l'Innovazione Tecnologica e il Design Medicale nell'abbattere le numerose barriere di tipo culturale, psicologico, sociale, educativo, tecnico, economico e normativo-regolatorio; individua infine possibili azioni e campi di ricerca per la sostenibilità dei sistemi alimentari in relazione a fattori abilitanti e ad acceleratori di cambiamento che hanno un carattere tanto globale quanto locale. Le sfide globali dell'Antropocene sono molto impegnative e, nonostante da diversi anni si assista allo sviluppo di approcci che mirano a superare il modello Human-centred in favore di altri definiti come Post Human (Braidotti and Hlavajova, 2018) e More-than-human (Haraway, 2019; Davidová, Barath and Dickinson, 2023) le numerose azioni messe in campo non riescono a fornire risposte adeguate alle difficoltà dell'ecosistema e a garantire il raggiungimento degli obiettivi di salvaguardia del Pianeta. È da chiedersi allora se l'obiettivo non sia tanto dare pari dignità ai Non-human Agency quanto decentrare completamente la figura umana dalle logiche progettuali favorendo una profonda trasformazione socio-culturale che promuova quella consapevolezza etica diffusa necessaria per agevolare l'ingresso della società in un 'era della sofferenza' come superamento della 'rapidación': la complessità di tale transizione non potrà essere demandata al solo ambito del progetto, ma dovrà coinvolgere attivamente sia le Istituzioni e i professionisti sia le discipline del progetto in quanto facilitatori di una trasformazione che costruirà un futuro fondato sui valori di prosperità condivisa e biodiversità (Casiddu, Burlando and Chen, 2024).

Parallelamente il volume accoglie due contributi fondati sulla consapevolezza da un lato che la complessità è un tema centrale nella comprensione dei sistemi contemporanei poiché l'interconnessione di molteplici elementi determina strutture che sfidano la linearità e la prevedibilità, dall'altro che il progetto è un atto concettuale che implica una complessa attività per controllare con coscienza i possibili processi di trasformazione dell'ambiente costruito attraverso i mezzi culturali, tecnici ed economici disponibili: in un'epoca caratterizzata da rapidi cambiamenti il progetto si trova ad affrontare sfide che richiedono un approccio innovativo che non può più essere improntato alle logiche del passato. In tale ottica il primo articolo esplora il rapporto tra errore, progetto e sistemi complessi, evidenziando come l'interazione dinamica tra questi elementi sia cruciale per affrontare le sfide del progetto contemporaneo: attraverso un approccio flessibile e aperto l'errore può assumere la valenza di risorsa strategica nella formazione e nella pratica professionale e può divenire centrale in una metodologia operativa che ne sistematizza la gestione, favorisce l'emergere di soluzioni innovative e adattive, migliora i processi di progettazione e stimola una crescita continua nel settore (Porfirione, Ferrari Tumay and Leggiero, 2024). Il secondo saggio argomenta, con il supporto di sperimentazioni condotte presso l'Università di Genova, la necessità di un allargamento sul piano cognitivo dei processi formativi dei futuri architetti focalizzati sull'uso delle immagini mentali: un tale approccio, con il quale è possibile 'imparare a disegnare quel che si immagina piuttosto che a immaginare cosa disegnare', può abilitare modalità più appropriate e flessibili di prefigurazione degli spazi, tanto per aspetti percettivi che per quelli materico-costruttivi, ma può anche diventare valido strumento per meglio affrontare la transizione digitale, tra le più pervasive della complessità contemporanea (Giachetta and Buondonno, 2024). Su complessità e contraddizione in Architettura il volume accoglie il saggio critico del Prof. Jonathan Ochshorn (2024) il quale, attraverso l'analisi dell'opera più importante di Robert Venturi (1966) e delle opere di altri sostenitori di una complessità guidata dal 'calcolo', mette in discussione, con rilevanti implicazioni teoriche e pratiche, l'idea che le geometrie complesse degli edifici riflettano la complessità della vita contemporanea la quale invece rappresenta un costrutto ideologico funzionale alla legittimazione di forme espressive appariscenti e spesso disfunzionali, tipiche della produzione d'avanguardia.

Ambiente e società sono entrambi sistemi complessi con strette interconnessioni che agiscono sui nove limiti planetari, sei dei quali sono stati già superati (Richardson et alii, 2023) mettendo a rischio la stabilità dell'intero ecosistema: con la perdita di biodiversità i sistemi biofisici diventano meno resilienti alimentando la vulnerabilità dei sistemi socioeconomici e l'incertezza per il futuro del Pianeta (Bologna and Hasanaj, 2023). La principale causa che determina tale condizione è rappresentata dai centri urbani e dal loro metabolismo, i cui impatti ambientali e sociali impongono un cambio di paradigma che consenta il rientro nello 'spazio operativo sicuro' dentro i limiti planetari abbandonando i modelli di pia-

16
2024
AGATHÓN
International Journal
of Architecture, Art and Design

ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X

nificazione, edificazione e consumo finora adottati e individuandone di nuovi (Butera, 2024). Le ricerche sviluppate negli ultimi trent'anni dalle discipline urbanistiche hanno evidenziato come la complessità investa le nostre città a causa di una 'correlazione olistica' tra elementi, sistemi e ambienti in continua evoluzione, legata a 'costruzioni relazionali' che coinvolgono non solo lo spazio fisico, ma soprattutto gli habitat: una tale lettura del costruito sposta l'attenzione dalla progettazione di oggetti allo sviluppo di processi e sistemi che impongono una lettura dello spazio più dinamica e relazionale (Mantziaras, 2024), trasversale e interattiva, secondo una nuova logica della complessità che va indagata attraverso un nuovo concetto di spazio / tempo / informazione. In questa logica, da un lato la complessità e dall'altro Informazione + Interazione + Interconnessione + Integrazione + Innovazione rappresentano i fattori di un'equazione che può strutturare strategie e immaginari condivisi per la definizione di spazi, città e habitat proattivi e definire un nuovo concetto di n-Città che traduce quella condizione complessa e multilivello in cui organismi sistemici incrementano il grado di interazione di informazioni man mano che aumentano gli scambi tra sistemi e sottosistemi dinamici ed eterogenei (Gausa, 2024). Particolare ambito vulnerabile è quello delle aree urbane costiere per le quali sono stati elaborati scenari realistici fino al 2100 in cui si prevedono inondazioni dovute agli effetti combinati del progressivo innalzamento del livello del mare e di eventi alluvionali innescati dall'aumento della temperatura media globale. Per la salvaguardia di queste aree sono necessari approcci integrati, multidisciplinari e interscalari, come dimostrano le due sperimentazioni condotte per il litorale laziale di Marina di Latina (IT) e per il Porto di New York (US), con il sito di Governors Island: un'adeguata metodologia di indagine organizzata in fasi operative, tre macro-strategie per la resilienza urbana strutturate con un approccio integrato alla complessità urbana e un toolkit di azioni a prova di clima, specifiche del sito e improntate all'uso di soluzioni basate sulla natura consentono di comprendere e affrontare le complesse dinamiche legate ai cambiamenti climatici e ai fenomeni di rischio idraulico, introducendo nuovi riferimenti teorico-metodologici per la pianificazione urbanistica delle aree costiere capaci di combinare misure di adattamento, processi dinamici e sviluppo sostenibile (Carter, Ianiri and Mariano, 2024).

Il cambiamento climatico è un fenomeno globale che ha implicazioni multiscalari, multitemporali e transdisciplinari in quanto investe ogni aspetto dell'esistenza quotidiana e si sovrappone alle già numerose criticità che amministrazione del territorio e progettazione devono affrontare urgentemente (Tucci, Altamura and Pani, 2023; Magliocco and Oneto, 2023). In quest'ottica la complessità non è più determinata dall'eterogeneità delle parti che entrano in gioco o dalla compresenza delle diverse discipline interessate, ma dalle tensioni generate dalle forze materiali e immateriali in gioco che impongono al progetto di costruire un futuro tutt'altro che lineare e dagli assetti formali, rigidi e finiti. Lo spazio pubblico materiale e immateriale costituisce il naturale contesto operativo su cui declinare le trasformazioni rigenerative urbane per il benessere individuale e sociale (Montuori, Converso and Rabazo Martín, 2024). Esso è raggiungibile attraverso la progettazione di scenari mutevoli, reiterativi, flessibili, adattabili all'incertezza del futuro e capaci di implementare la resilienza del costruito (Berretta, Desideri and Staltari, 2024), oppure tramite un approccio integrato (ricerca e progetto) per la trasformazione degli spazi urbani monofunzionali in 'ambienti' multifunzionali con soluzioni basate sulla natura, capaci di migliorare la resilienza ai cambiamenti climatici e la qualità del costruito: esempi sono il Waterplan per la Città di Anversa (Belgio), il progetto pilota Wapper, in corso di realizzazione, e il progetto per la Città di Matera (Corradi et alii, 2024). In un contesto caratterizzato da cambiamenti climatici che determinano una costante evoluzione del rapporto persona-ambiente le caratteristiche di attrattività e di fruibilità dello spazio pubblico emergono come una questione rilevante per gli utenti fragili in generale e per le persone anziane in particolare (WHO, 2018), il cui costante aumento rappresenta un significativo cambiamento (Laurìa, 2017), in quanto attiva nuove 'sfide' per la città: infatti lo spazio 'a cielo aperto' influisce sui comportamenti degli utenti che condizionano e plasmano gli spazi, con una relazione che diventa tanto più forte quanto più si invecchia (Lawton, 1982). In tale ottica temi strategici con impatti significativi sulla Silver Economy sono quelli dello spazio pubblico (Chaza Chimeno, Revellini and Cellucci, 2024), della mobilità dolce (Fabbri, 2023) e dei servizi di trasporto pubblico (Bruno et alii, 2024) implementati con soluzioni digitali basate su sensori, IoT e Intelligenza Artificiale (Canessa and Centanaro, 2024): essi possono garantire un invecchiamento 'attivo' e in salute in contesti urbanizzati e favorire il benessere psico-fisico attraverso attività motorie e relazionali stimolate tanto da caratteristiche oggettive misurabili (ad esempio dalla presenza di aree verdi con arredi) quanto da quelle qualitative e percettive (ad esempio sensazione di sicurezza di uno spazio).

Inoltre il volume riporta riflessioni ed esiti di ricerche sulla complessità del Patrimonio culturale materiale e immateriale, con il fine di promuoverne la trasmissione alle generazioni future ma anche la messa in valore. Un primo contributo sulla valutazione, riduzione e gestione della complessità degli impatti del cambiamento climatico sul Patrimonio culturale (Biasi et alii, 2024) si fonda sul presupposto che la combinazione tra mitigazione, adattamento e conservazione dei valori culturali sia l'unica via possibile per fronteggiarne e rallentarne gli effetti; il saggio mette a sistema diverse discipline per costruire una metodologia, replicabile e trasferibile, sperimentandola sulla tipologia dei Daltz – rappresentativa del borgo di Andreis (Pordenone) – per restituire una conoscenza critica del Patrimonio propedeutica all'elaborazione di strategie e progettualità di salvaguardia, conservazione e resilienza dell'edilizia storica. Un secondo contributo propone un focus sul Mashrabiya, espressione del Patrimonio culturale materiale e immateriale dell'arte islamica con specifiche valenze socio-culturali e ambientali, in quanto dispositivo per la privacy e per il controllo dell'irraggiamento solare, interrogandosi sulle potenziali integrazioni tra tecniche artigianali e design parametrico attraverso la collaborazione di competenze specialistiche (Dal Falco and Al Azhari, 2024). Un terzo contributo affronta il tema della reversibilità in architettura (Fonti, 2024) focalizzando l'attenzione sull'aggiunta del nuovo all'esistente e su

16
2024
AGATHÓN
International Journal
of Architecture, Art and Design

ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X

come questa 'immissione' possa essere resa reversibile nell'ottica di preservare la preesistenza e di promuovere il riuso sostenibile di tecniche e materiali tradizionali. Un quarto contributo indaga l'identità dei luoghi (Casarotto and Oddone, 2024), il cui branding spesso ne determina scarsa riconoscibilità ed efficacia strategica. Il progetto STAI Veneto sviluppato presso l'Università Iuav di Venezia affronta il tema con l'obiettivo di definire un modello di sviluppo e gestione di un sistema di identità territoriale capace di restituire in modo coerente e riconoscibile la complessità dello specifico Patrimonio, sintetizzare narrazione e comunicazione di valori per un pubblico ampio, accogliere la stratificazione di significati e sistemi visivi preesistenti e confrontarsi con scale anche molto diverse fra loro (da quella del territorio a quella del singolo prodotto tipico): attraverso la definizione di una specifica metodologia e l'utilizzo di strumenti appositamente sviluppati i branding territoriali possono assumere il carattere della scalabilità e multimodalità, con un elevato potenziale di espansione, declinazione e riproduzione in diversi contesti.

Un altro tema di rilevanza riguarda il rapporto tra energia, utilizzo circolare delle risorse e complessità del progetto del nuovo e per l'esistente (Baiani et alii, 2024), evidenziando come opportune strategie e azioni in chiave multidisciplinare e multiscalare possano attivare sistemi circolari virtuosi in cui tutela dell'ambiente, ricadute economiche locali e pedagogiche, obiettivi di neutralità climatica e autosufficienza energetica possono interagire a beneficio delle comunità locali (Santos Malaguti de Sousa et alii, 2023; Ferrante, Romagnoli and Villani, 2023; Battisti and Calvano, 2024; Casanovas, Alonso Campanero and Campisi, 2024). Degne di interesse sono quindi le strategie per la rigenerazione dei nuclei storici rurali montani in decrescita demografica – con un focus applicativo al caso studio di Terracino, borgo della Città di Accumoli (IT), interessato dal sisma del 2016 – che, basate su una metodologia di valutazione della fattibilità tecnica per la valorizzazione energetica delle risorse locali forestali, affrontano con approccio olistico, multiscalare e multidisciplinare questioni cogenti interconnesse come il ripopolamento dei borghi, l'autosufficienza energetica, l'efficientamento e il miglioramento del comfort abitativo nell'ambito della ricostruzione post-sisma, l'utilizzo circolare delle risorse e lo sviluppo di filiere produttive locali (Losco, Pasqualini and Khodaparast, 2024). Rispetto all'utilizzo circolare delle risorse si segnala il progetto di ricerca Circular Sofa Platform (Maffei et alii, 2024) che si inserisce nella complessa filiera del mobile imbottito, settore rilevante per l'economia italiana, ma in cui l'attenzione alla circolarità e alla sostenibilità è meno consolidata: nel 2021 infatti la quantità di rifiuti ingombranti avviati allo smaltimento in Italia è stata pari a 957.922 tonnellate, con solo 118.142 destinate al riciclo (ISPRA, 2022), prevalentemente componenti metallici. Tale scenario evidenzia l'importanza di approcci progettuali e strategie consapevoli (Pietroni, Di Stefano and Galloppo, 2023) che favoriscano un cambiamento da un lato nell'ideazione, uso e gestione del fine vita degli imbottiti (Olivastri and Tagliasco, 2024), dall'altro nell'innovazione di processi produttivi, componenti, materiali e servizi all'interno dell'intera filiera, per favorire il recupero e l'uso più consapevole delle risorse impiegate. Rispetto alle filiere produttive locali è da rilevare che esse acquisiscono una rilevanza maggiore nell'attuale contesto dei cambiamenti climatici quando impiegano biomateriali realizzati a partire da biomassa animale o vegetale poiché rappresentano un'opportunità per la conservazione di ecosistemi complessi e della loro biodiversità (Gaddi and Mastrolonardo, 2024), soprattutto se riferibili a zone umide (Brisotto et alii, 2023), il cui alto valore ecologico le pone come 'scrigni di biodiversità': le zone umide infatti ospitano quasi il 40% della biodiversità mondiale, sono degli accumulatori di CO_2 e riescono ad assorbire notevoli quantità d'acqua. Due casi studio, il progetto di ricerca Wetlands and Construction – An opportunity for Berlin-Brandenburg (2023) e il RietGoed (2021), riferibili rispettivamente ai settori edile e tessile, dimostrano che è possibile realizzare filiere produttive locali virtuose in cui vengono sviluppati biomateriali a partire da biomassa da zona umida; il confronto tra i due casi studio, che impiegano approcci distinti ma complementari, suggerisce una possibile contaminazione tra settori produttivi diversi per promuovere economie locali più sostenibili (Morpurgo, 2024).

La sostenibilità del costruito è un tema ricorrente nella letteratura scientifica che indaga spesso nuovi o rinnovati paradigmi per coniugare comfort e basso consumo energetico (DeKay and Tornieri, 2023; El-Hitami, Mahall and Serbest, 2023), binomio non necessariamente in contraddizione se il progetto è sviluppato con un nuovo approccio 'strutturale' (Di Virgilio, 2023) in grado di superare criticità economiche e manutentive legate all'impiego di tecnologie complesse, dotate di numerosi sensori e attuatori capaci di trasformare autonomamente gli stimoli ambientali in segnali elettronici e risposte meccaniche. Esemplificazione di questo nuovo approccio è il Landwirtschaftliches Zentrum a Salez (Svizzera), realizzato nel 2019 su progetto dell'architetto Andy Senn: attraverso tecnologie semplici e analogiche l'edificio – basato su prefabbricazione, materiali locali e soluzioni prive di automazioni – è in grado sia di garantire un'ottima efficienza energetica sia di stimolare consapevolezza, responsabilità e nuove modalità di interazione tra utenti e architettura, diventando un'opportunità formativa capace di rafforzare gli aspetti pedagogici dell'architettura (Dallere and Tempestini, 2024). Soluzioni high-tech che prevedono l'adozione di sistemi Building Integrated Photovoltaics (BIPVs) per affrontare la neutralità climatica sono invece affrontate da un altro contributo (Giovanardi et alii, 2024) che illustra la ricerca condotta all'interno del progetto 'Mass Customization 2.0 for Integrated PV'. Attraverso un approccio sistemico e multilivello si propongono una serie di strategie progettuali per affrontare aspetti legati all'integrazione architettonica e di natura tecnologica, economica e ambientale finalizzati a gestire la complessità della concettualizzazione e ingegnerizzazione dei sistemi BIPV per facciate continue: una loro prima applicazione è sperimentata in un nuovo prodotto in cui una lastra in polimetilmetacrilato, con nanoparticelle ibride inorganiche, guida la radiazione solare fino al perimetro del modulo del vetrocamera, preservandone l'omogeneità e la trasparenza.

Nuove prospettive per affrontare la complessità vengono offerte oggi dagli strumenti digitali le cui potenzialità sono in grado di facilitare la conoscenza e la progettazione / gestione predittiva dell'ambien-

16
2024
AGATHÓN
International Journal
of Architecture, Art and Design

ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X

te costruito, sia nelle sue componenti materiali che immateriali. Nel campo emergente della progettazione digitale rigenerativa e in riferimento agli scenari climatici un uso congiunto di IA, Deep Learning e Progettazione Parametrica sembra offrire il potenziale per 'modellare' in modo significativo la fase di pre-progettazione, agendo in modo predittivo. Le attività di ricerca condotte da ABITAlab sulle tecnologie abilitanti i processi di innovazione restituiscono, attraverso la digitalizzazione, un sapere esperto nel rapporto tra 'dati / informazioni / risorse', con l'ambizione di definirne ambiti di operatività 'intelligente' e prodotti evoluti in termini di innovazione tecnologica incrementale: attraverso un nuovo flusso di lavoro che collega i processi computazionali, IA e progettazione incentrata sull'uomo è possibile realizzare un approccio più adattabile e resiliente alla progettazione ambientale, non solo 'anticipando' le complessità dell'ambiente costruito, ma ottimizzando l'elaborazione architettonica, migliorando le capacità di progettazione / ingegnerizzazione e gestione delle opere basate sui dati, simulando comportamenti degli utenti, risposte dei materiali e prestazioni ambientali, bilanciando efficienza energetica e preferenze progettuali e ottimizzando la sostenibilità senza compromettere la funzionalità (Nava and Melis, 2024).

Nella fase di gestione il monitoraggio delle relazioni che si instaurano tra il costruito e le persone che ne fruiscono è rilevante per spazi particolari come quelli museali, nei quali si rendono necessari continui adeguamenti e flessibilità per rispondere da un lato al complesso insieme di esigenze organizzative, funzionali, tecniche e operative che sopraggiungono nel tempo, dall'altro alle aspettative degli utenti in termini di comfort e accessibilità (Cetorelli and Papi, 2024). Per risolvere tale complessità il caso studio del Museo di Roma 'Palazzo Braschi' propone un modello gestionale in grado di integrare e controllare, durante la fase di esercizio, fattori fra loro disomogenei di natura sociale, cognitiva ed emozionale, basandosi sul presupposto che la fruibilità non è da intendersi più come semplice condizione da garantire, ma come 'processo' in continua evoluzione che coinvolge la struttura fisica del contenitore, i modi d'uso dei visitatori, la comunicazione e la formazione continua dei gestori e del personale: l'integrazione di dati di diversa natura sulla fruibilità degli spazi museali, proposta tramite uno strumento digitale sviluppato in ambiente BIM, permette ai gestori e ai curatori delle esposizioni una comprensione più intuitiva delle dinamiche spaziali e comportamentali, guidandoli verso decisioni più informate e orientate all'ottimizzazione della complessa esperienza di fruizione culturale (Villani, Romagna and Oddi, 2024). Sempre in tema museale le logiche espositive e comunicative sono in continua evoluzione grazie ai progressi delle tecnologie digitali e degli strumenti multimediali avanzati che negli ultimi anni hanno migliorato l'accessibilità ai contenuti, valorizzando la narrazione degli oggetti nel loro contesto originario e promuovendo nuove forme di fruizione ed educazione in cui il visitatore è protagonista attivo della propria esperienza formativa: in quanto attore il visitatore influisce sulle opere esposte dando vita a esperienze culturali ricche e personalizzate, in cui la co-creazione e la partecipazione sono elementi primari. In quest'ottica una nuova frontiera nell'esperienza museale sembra essere legata alle interfacce cervello-computer sulle quali il volume riporta un saggio con alcune recenti sperimentazioni centrate sull'individuo e sulla sua interazione con l'ambiente attraverso la combinazione di neuroscienze, design e scienze umane (Rosmino, 2024)

La collaborazione tra intelligenza umana e IA può agevolare, arricchendola, tramite i grandi modelli di linguaggio, sia la narrazione di architetture e infrastrutture con rappresentazioni semantiche più tangibili e comprensibili che aumentano l'accessibilità di modelli digitali e dati agli utenti (Valenti et alii, 2024), sia la progettazione di architetture e prodotti industriali. Esempio è la sperimentazione in cui si propone un chatbot, un assistente virtuale, che individua l'intento dell'utente, interagisce con i modelli BIM tramite moduli Natural Language Processing ed elabora risposte scritte, vocali o grafiche come immagini o modelli 3D che migliorano l'accesso alle informazioni lungo il ciclo di vita dell'edificio (Osello et alii, 2024a); e ancora la sperimentazione applicata al caso studio del Palazzo della Regione Piemonte (IT), nella quale metodi e strumenti BIM per il Facility Management, integrati con algoritmi e automatismi, si traducono in interfacce grafiche capaci di agevolare la gestione di grandi quantità di dati e migliorare la visualizzazione e l'interpretazione delle informazioni grafiche, trasformando la complessità in risorsa di valore a supporto delle decisioni degli utenti (Osello et alii, 2024b). Altre due sperimentazioni hanno il potenziale di guidare il progettista nella generazione di nuovi modelli. La prima impiega il Verbal Design Modelling (VDM), che guida il progettista nella generazione di nuovi concept utilizzando una rete neurale addestrata su un vasto set di dati di immagini e testi in grado di generare prototipi realistici e creativi grazie alla capacità di analizzare, elaborare, sintetizzare e far evolvere i dati forniti dall'interfaccia umana (Mascitti and Paciotti, 2024). La seconda, condotta sul 'vaso di gomma', introduce due elementi di originalità: il concetto di 'complessità limitata', finalizzato a trovare il giusto equilibrio tra la complessità del problema e le potenzialità degli strumenti a disposizione; un nuovo paradigma progettuale che affianca ai consolidati parametri di forma e contesto quello della 'spazio-materialità', basandosi sui presupposti che i materiali rispondono direttamente ai cambiamenti indotti dal contesto e che tale parametro sia in grado di riflettere la relazione tra gli oggetti e lo spazio. Con questi presupposti sperimenta una innovativa interfaccia digitale-analogica, chiamata 'cyber-modellazione', che collega i dati ambientali in tempo reale ai modelli digitali, creando modelli 'vivi' che reagiscono a condizioni di contorno mutevoli e generano una spazio-materialità digitalizzata che ha il potenziale di rendere risolutivo il progetto nell'affrontare la sfida della complessità (Iverson-Radtke and Paans, 2024). Un'ulteriore frontiera delle tecnologie avanzate è infine rappresentata dagli Agenti Artificiali Autonomi che, ispirati alla capacità di agire in autonomia propria dei sistemi biologici e di prendere decisioni e interagire con l'ambiente circostante in modo dinamico e adattivo, stanno trasformando il modo in cui si progettano beni e servizi, spostando l'attenzione dal semplice soddisfacimento delle esigenze umane a una visione più ampia che include la cooperazione con gli spazi e con le altre macchine intelligenti: i casi studio italiani di Rolleri e Galletti esemplificano alcune potenzialità di queste tecnologie avanzate nei processi aziendali, sollecitando parallelamente una riflessione sul ruolo dei Desi-

16
2024
AGATHÓN
International Journal
of Architecture, Art and Design

ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X

gner e sulla necessità di un approccio responsabile che tenga conto delle implicazioni etiche e sociali (Celaschi, Casoni and Formia, 2024).

In sintesi, gli articoli pubblicati sul volume 16 di AGATHÓN forniscono alcune risposte per affrontare le complesse questioni che riguardano la conoscenza, il progetto e la gestione del costruito rispetto agli ormai imprescindibili pragmatici indicatori di sostenibilità ambientale, sociale ed economica, dimostrando che la complessità del costruito da sfida può diventare opportunità per raggiungere i 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile. I contributi pubblicati certamente non esauriscono i campi di indagine, le strategie, le misure e le azioni che la comunità scientifica e il settore delle costruzioni possono mettere in campo per contenere l'azione antropica entro i limiti planetari e rendere più resilienti il costruito e i sistemi biofisici, tuttavia restituiscono un primo quadro teorico-pratico sul tema che si auspica possa contribuire ad alimentare il dibattito scientifico e stimolare nuove azioni di ricerca improntate ad approcci multiscalari e capaci di mettere in valore le potenzialità delle tecnologie digitali atte alle cogenti le sfide della contemporaneità, comprese quelle globali della neutralità climatica e carbonica.

AGATHÓN issue number 16 is a collection of essays, studies, research and projects on 'Dealing with Complexity | Knowledge, design, and management of the built environment'. Complexity (from the Latin verb 'plectere' = to weave, 'cum' = together) is a condition in which many elements intertwine together to form a unit. Various definitions can be found in the scientific field: in the volume Complexity – A Guide Tour, Melanie Mitchell (2021) explains complexity by arguing that, when faced with defining something that one does not know, one defines it as something unknown and over which they have no control; George E. Mobus and Michael C. Kalton (2015), in Principles of System Science, define complex systems as nonlinear – and therefore reticular – systems made up of parts, nodes, lines, and interactions that connect them according to logics that are not always known and sometimes privileging certain relationships over others; Ceruti and Bardi (2021) argue that complexity – as well as that which is complex – cannot be simplified, and that one of the characteristics of complex systems relates to the fact that they are not entirely predictable, and finally that their governance and control are important because failure to understand complex systems makes it impossible to manage them. Federico Butera (2023), in his volume Affrontare la Complessità (lit. Dealing with Complexity), through a broad vision and exhaustive data, portrays the particular condition in which our Planet finds itself: although mainly informative, the volume is based on the results of scientific research conducted by International Organizations and academics to restore a profoundly complex reality in which climatic and environmental phenomena affect human and social ones, and vice versa (Fioramonti, 2021) and reveal how the biosphere is governed by a system of multidimensional relationships and interconnections, for which even small changes in a specific context determine chain reactions in different spheres, affecting both nature and human beings on a global scale.

If in the past man was one of the many factors that modified the ecosystem, today anthropogenic activity is considered one of the main causes of climate change and the rise in land and sea temperatures, to such an extent that the era in which we live has been named Anthropocene (Crutzen and Stoermer, 2000): since the second half of the century, human activities and progress (scientific and technological) have produced tangible and exponentially accelerated effects on the biosphere, on the one hand making the balance of its ecosystem precarious, on the other hand affecting security, health, well-being as well as the availability of goods and livelihoods of its inhabitants (Meadows et alii, 1972; Apreda, D'Ambrosio and Di Martino, 2019). The 'complexity' of the Planet's condition is evident: climate change, according to Amitav Ghosh (2017), is not a danger in itself but rather represents a 'threat multiplier' that stresses and amplifies the instability and insecurity already present in some areas of the world, even more so because many industrialised countries have already greatly exceeded their relative 'biocapacity' (Beyers and Wackernagel, 2019), effectively becoming 'ecological debtors' (Swiader et alii, 2020). Thomas L. Friedman (2016) also notes how the condition in which we find ourselves is 'complex' and in continuous and exponential evolution: the Planet we inhabit will be very different from the one we know as early as 2030 because it is subject to the three 'forces' of Moore's Law with 'technology', the Market with 'globalisation', and Mother Nature with 'climate change and biodiversity loss' all pressing simultaneously on the biosphere.

In this view, 'complex' should be brought back to its etymological meaning of 'woven' or 'held together', connecting different forms of knowledge in the virtuous circle of a body of knowledge articulated in a systemic view of the real world based on the principle of 'co-evolution' of social and ecological systems (of culture and nature) and the awareness that it determines; on the one hand, the interweaving of multiple causal chains (e.g., although the pandemic crisis is a health crisis it has also become a biological, ecological, economic, social, cultural and spiritual crisis) with interdependent effects, and on the other hand, effects that also retroact on causes since causality is circular (Bateson, 1979). According to Ceruti and Bardi (2021), unfortunately, it isn't easy to translate this vision into the workings of everyday life and to guide both the observation of the world and the project, which is an expression of our being in the world.

How we live, regardless of where this happens, has an impact on the biosphere and determines chain reactions in different areas that affect both nature and human beings on a global scale: climate change, health risks, loss of biodiversity, indiscriminate use of non-renewable resources, inequalities, and accessibility contribute to a condition of 'polycrysis' (Morin, 2020) that amplifies the state of uncertainty about our future and the vulnerability of the entire ecosystem, especially since the actions put in place do not address the cogent environmental issue in a systemic and holistic key.

16
2024
AGATHÓN
International Journal
of Architecture, Art and Design

ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X

Therefore, the question is, how do we transform complexity from challenge to opportunity? How do we deal with the complex issues that concern the knowledge, the design, and the management of the built compared to the now essential pragmatic indicators of environmental, social, and economic sustainability? Which strategies, measures, actions, and tools can Architecture disciplines implement in a holistic view and with a systems approach to meet the terms of the Paris Agreement (UN, 2015a)? How do we identify those with the best cost/benefit ratio capable of producing synergies to achieve the largest possible number of the Sustainable Development Goals promoted by the United Nations (UN, 2015b)? How do we rethink extractive (production-based) economic systems and direct them toward regenerative ones (based on the enhancement of that which already exists and of services)? How to put into practice new systemic design approaches capable of addressing today's complexities from their roots, developing solutions through which entire societies can intentionally transition to a more sustainable, equitable, and desirable long-term future, including through co-created visions capable of informing the solutions of the present and paving the way to a desirable future (Tonkinwise, 2015)? How do we place knowledge and learning into a system to better understand the current era's multidimensional, fundamental, and global issues in their irreducible complexity?

The contributions published in issue 16 of AGATHÓN answer some of these questions, suggesting approaches, strategies, methodologies, measures and actions which aim to overcome and resolve the complexity of knowledge, design and management of the built environment involving all its scales, also from a multi-scalar perspective. The theme of sustainable food systems, at the heart of the 2030 Agenda, is of primary importance. Its complexity makes it increasingly critical for humanity, especially considering the challenges it presents in achieving all 17 Sustainable Development Goals (SDGs): sustainable food systems have the potential to impact a wide range of global issues, including poverty, health, gender equality, culture, education, responsible production and consumption, the management of land and marine resources, and the fight against climate change. The magnitude of the effects that each action on food systems produces at the different stages of food production, consumption and post-consumption can only be addressed through a systemic, holistic, trans-disciplinary, scalar, conscious, future-oriented and proactive approach, capable of generating positive direct and indirect synergies with the different areas of global development (Follesa et alii, 2024; Basso et alii, 2023). In this context, the contribution by Langella, Russo, and Scalisi (2024) aims to 'feed' the scientific discourse on the central role of food systems in achieving the SDGs. The authors explore various approaches, methods, and tools from the field of Design, and, through numerous case studies, highlight the potential synergies between Gastrophysics and disciplines such as Communication Design, Service Design, Technological Innovation, and Medical Design. These synergies are key to overcoming the diverse cultural, psychological, social, educational, technical, economic, and regulatory barriers. Finally, the study identifies potential actions and research areas for the sustainability of food systems, focusing on both global and local enabling factors and accelerators of change. The global challenges of the Anthropocene are highly demanding and despite the development of approaches over recent years that aim to move beyond the Human-centred model, shifting towards frameworks defined as Post-human (Braidotti and Hlavajova, 2018) and More-than-human (Haraway, 2019; Davidová, Barath, and Dickinson, 2023), the actions taken so far have not provided sufficient solutions to the ecosystem's difficulties. As a result, these efforts fall short in ensuring the achievement of goals aimed at safeguarding the planet. The question then arises whether the goal is not merely to grant equal dignity to Non-human Agency, but rather to fully decentralise the human figure from design logic. This shift would foster a profound socio-cultural transformation that encourages widespread ethical awareness, crucial for guiding society into an 'era of suffering' as a departure from 'rapidación'. The complexity of such a transition cannot be left solely to the realm of design; it must actively engage institutions, professionals, and design disciplines as facilitators of a transformation that will lay the foundation for a future built on the values of shared prosperity and biodiversity (Casiddu, Burlando and Chen, 2024).

In parallel, the volume features two contributions that reflect an understanding of complexity from two perspectives. On the one hand, complexity is a central theme in understanding contemporary systems, as the interconnection of multiple elements creates structures that resist linearity and predictability; on the other hand, design is a conceptual act involving a complex process of consciously shaping the transformation of the built environment through available cultural, technical, and economic resources. In an era marked by rapid change, design must confront challenges that demand an innovative approach, one that can no longer rely on the logic of the past. With this in mind, the first article explores the relationship between error, design and complex systems, highlighting how the dynamic interaction between these elements is fundamental in facing the challenges of contemporary design. Through a flexible and open approach, error can take on the value of a strategic resource in training and professional practice, and can become central to an operational methodology that systematises its management, encourages the development of innovative and adaptive solutions, improves design processes and stimulates continuous growth in the field (Porfirione, Ferrari Tumay and Leggiero, 2024). The second essay argues, with the support of experiments conducted at the University of Genoa, the need for a cognitive broadening of the training processes of future architects focused on the use of mental images: such an approach, with which it is possible to learn to draw what one imagines rather than to imagine what to draw, can enable more appropriate and flexible ways of prefiguring spaces, both in terms of perceptive and material-constructive aspects. Furthermore, it can also become a valid tool to better cope with the digital transition, among the most pervasive in contemporary complexity (Giachetta and Buondonno, 2024). On complexity and contradiction in Architecture, the volume includes a critical essay by Prof. Jonathan Ochshorn (2024) who, through the analysis of the most important work of Robert Venturi (1966) and the works of other proponents of a complexity driven by 'computation', challenges the notion that the complex geometries of buildings truly reflect the complexity of contem-

16
2024
AGATHÓN
International Journal
of Architecture, Art and Design

ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X

porary life, with relevant theoretical and practical implications. Instead, he argues that this complexity is an ideological construct, serving to legitimise the often extravagant and dysfunctional forms of expression typical of avant-garde architecture.

Both the environment and society are complex systems with close interconnections that impact the nine planetary boundaries, six of which have already been exceeded (Richardson et alii, 2023), putting the stability of the entire ecosystem at risk. With the loss of biodiversity, biophysical systems become less resilient, exacerbating the vulnerability of socioeconomic systems and increasing uncertainty about the future of the Planet (Bologna and Hasanaj, 2023). The primary cause of this condition lies in urban centres and their metabolism, whose environmental and social impacts impose a paradigm shift. This shift must enable a return to a 'safe operating space' within planetary boundaries, moving away from the planning, construction, and consumption models that have been used so far, and identifying new alternatives (Butera, 2024). The research conducted over the past thirty years within urban planning disciplines has highlighted how complexity permeates our cities, driven by a 'holistic correlation' between elements, systems, and environments in continuous evolution. This complexity is linked to 'relational constructions' that involve not only physical space but, more importantly, habitats. Such an understanding of the built environment shifts the focus from designing objects to developing processes and systems, requiring a more dynamic, relational (Mantziaras, 2024), transversal, and interactive interpretation of space, according to a new logic of complexity that must be investigated through a new concept of space / time / information. In this context, complexity on the one hand, and Information + Interaction + Interconnection + Integration + Innovation on the other hand represent the factors of an equation capable of structuring strategies and shared visions for the creation of proactive spaces, cities, and habitats. This approach defines a new concept of n-City, which translates the complex and multi-level condition in which systemic organisms enhance the degree of information interaction as exchanges between dynamic and heterogeneous systems and subsystems increase (Gausa, 2024). Coastal urban areas are particularly vulnerable, and realistic scenarios have been developed for these regions through to 2100, predicting flooding due to the combined effects of rising sea levels and flooding events triggered by increasing global average temperatures. To safeguard these areas, integrated, multi-disciplinary, and inter-scalar approaches are essential, as demonstrated by two experiments conducted on the Latium coastline of Marina di Latina (IT) and the New York Harbor, specifically at the Governors Island site. A comprehensive survey methodology, organised in operational phases, along with three macro-strategies for urban resilience, offers an integrated approach to urban complexity. This, combined with a toolkit of climate-proof, site-specific, and nature-based actions, provides a framework for understanding and addressing the complex dynamics of climate change and hydraulic risks, introducing new theoretical-methodological references for urban planning of coastal areas capable of combining adaptation measures, dynamic processes and sustainable development (Carter, Ianiri and Mariano, 2024).

Climate change is a global phenomenon that has multi-scalar, multi-temporal and transdisciplinary implications as it affects every aspect of everyday existence and overlaps with the already numerous critical issues that land administration and planning must urgently address (Tucci, Altamura and Pani, 2023; Magliocco and Oneto, 2023). From this perspective, complexity is no longer defined by the heterogeneity of the components or the co-presence of different disciplines, but by the tensions created by the material and immaterial forces at play. These forces compel the project to shape a future that is far from linear, and resist formal, rigid, and finite arrangements. Tangible and intangible public space constitutes the natural operating context on which to articulate urban regenerative transformations for individual and social well-being (Montuori, Converso and Rabazo Martín, 2024). This can be achieved through the design of adaptable, iterative, and flexible scenarios that can respond to the uncertainty of the future while enhancing the resilience of the built environment (Berretta, Desideri and Staltari, 2024), or through an integrated approach (research and design) or through an integrated approach (research and design) for the transformation of monofunctional urban spaces into multifunctional 'environments' with nature-based solutions, capable of improving resilience to climate change and the quality of the built environment. Examples include the Waterplan for the City of Antwerp (Belgium), the ongoing Wapper pilot project, and the urban transformation project for the City of Matera (Corradi et alii, 2024). In a context shaped by climate change, which continually evolves the relationship between individuals and their environment, the attractiveness and usability of public spaces have become relevant issues, especially for vulnerable groups such as the elderly (WHO, 2018). The growing number of elderly individuals represents a significant demographic shift (Laurìa, 2017), introducing new 'challenges' for urban environments. Public spaces, being 'open-air' environments, directly influence user behaviour, with a dynamic in which the relationship between individuals and space becomes even more significant as one ages (Lawton, 1982). From this perspective, strategic themes with significant impacts on the Silver Economy include public space (Chaza Chimeno, Revellini and Cellucci, 2024), sustainable mobility (Fabbri, 2023), and public transportation services (Bruno et alii, 2024), all enhanced by digital solutions based on sensors, IoT, and Artificial Intelligence (Canessa and Centanaro, 2024). These can ensure 'active' and healthy ageing in urban environments and promote psycho-physical well-being through motor and social activities, stimulated by both measurable objective characteristics (e.g., the presence of green spaces with furnishings) and qualitative and perceptive factors (e.g., the sense of security in a space).

The volume presents reflections and outcomes from research on the complexity of both tangible and intangible cultural heritage, with the aim of promoting its transmission to future generations, as well as enhancing its value. A first contribution regarding the assessment, reduction, and management of the complexity of climate change impacts on cultural heritage (Biasi et alii, 2024) is based on the assump-

16
2024
AGATHÓN
International Journal
of Architecture, Art and Design

ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X

tion that the combination of mitigation, adaptation, and the conservation of cultural values is the only viable approach to addressing and slowing down its effects. The paper integrates various disciplines to develop a methodology that is both replicable and transferable, testing it on the Daltz typology – representative of the village of Andreis (Pordenone, IT) – to provide a critical understanding of heritage, which serves as a foundation for the development of strategies and projects for the safeguarding, conservation, and resilience of historic buildings. A second contribution proposes a focus on the Mashrabiya, an expression of the tangible and intangible cultural heritage of Islamic art with specific socio-cultural and environmental values, as a device for privacy and solar radiation control, questioning the potential integrations between craft techniques and parametric design through the collaboration of specialised expertise (Dal Falco and Al Azhari, 2024). A third contribution addresses the issue of reversibility in architecture (Fonti, 2024) focusing on the addition of the new to the existing and how this 'input' can be made reversible to preserve the pre-existing and promote the sustainable reuse of traditional techniques and materials. A fourth contribution explores the identity of places (Casarotto and Oddone, 2024), whose branding often results in limited recognizability and strategic effectiveness. The STAI Veneto project developed at the Iuav University of Venice tackles this issue to define a model for the development and management of a territorial identity system capable of restoring the complexity of the specific heritage coherently and recognisably, synthesising narration and communication of values for a wide audience, accommodating the stratification of pre-existing meanings and visual systems and confronting very different scales (from that of the territory to that of the single typical product): through the definition of a specific methodology and the use of specially developed tools, territorial branding can acquire scalability and multimodality, with a high potential for expansion, adaptation and reproduction in different contexts.

Another relevant theme concerns the relationship between energy, circular use of resources and the complexity of the design of new and existing buildings (Baiani et alii, 2024), highlighting how appropriate strategies and actions in a multidisciplinary and multi-scalar key can activate virtuous circular systems in which environmental protection, local economic and educational spin-offs, climate neutrality and energy self-sufficiency objectives can interact to the benefit of local communities (Santos Malaguti de Sousa et alii, 2023; Ferrante, Romagnoli and Villani, 2023; Battisti and Calvano, 2024; Casanovas, Alonso Campanero and Campisi, 2024). Strategies for the regeneration of historic rural mountain cores in demographic decline, with an application focus on the case study of Terracino – a village in the City of Accumoli (IT), affected by the 2016 earthquake – are therefore worthy of interest. These strategies, based on a technical feasibility assessment methodology for the energy enhancement of local forest resources, address interconnected pressing issues such as hamlet repopulation, energy self-sufficiency, energy efficiency and improved housing comfort in the context of post-earthquake reconstruction, circular use of resources, and development of local production chains using a holistic, multiscalar and multidisciplinary approach (Losco, Pasqualini and Khodaparast, 2024). Concerning the circular use of resources, it is worth mentioning the Circular Sofa Platform research project (Maffei et alii, 2024). It is positioned within the complex supply chain of upholstered furniture, a significant sector for the Italian economy, where attention to circularity and sustainability however remains less established. In fact, in 2021, the volume of bulky waste sent for disposal in Italy amounted to 957,922 tons, with only 118,142 tons destined for recycling, primarily consisting of metal components (ISPRA, 2022). This scenario highlights the importance of adopting conscious design approaches and strategies (Pietroni, Di Stefano and Galloppo, 2023) that drive change in two key areas. First, in the design, use, and end-of-life management of upholstered products (Olivastri and Tagliasco, 2024), and second, in the innovation of production processes, components, materials, and services across the entire supply chain, to promote the recovery and more conscious use of employed resources. With regard to local production chains, it is important to note that they gain greater relevance in the current context of climate change when they employ biomaterials derived from animal or plant biomass, as these represent an opportunity for the conservation of complex ecosystems and their biodiversity (Gaddi and Mastrolonardo, 2024), particularly when linked to wetlands (Brisotto et alii, 2023), considered 'biodiversity treasures' due to their high ecological value: they host nearly 40% of the world's biodiversity, act as CO_2 accumulators, and are capable of absorbing significant amounts of water. Two case studies – the research project Wetlands and Construction – An Opportunity for Berlin-Brandenburg (2023) and RietGoed (2021), related to the construction and textile sectors respectively – demonstrate the feasibility of creating virtuous local production chains that develop biomaterials derived from wetland biomass. A comparison of the two case studies, which employ distinct yet complementary approaches, suggests the potential for cross-sectoral contamination to foster more sustainable local economies (Morpurgo, 2024).

The sustainability of the built environment is a recurring theme in scientific literature, often exploring new or renewed paradigms to combine comfort with low energy consumption (DeKay and Tornieri, 2023; El-Hitami, Mahall and Serbest, 2023). This pairing is not necessarily contradictory if the design is developed with a new 'structural' approach (Di Virgilio, 2023) capable of addressing economic and maintenance challenges associated with the use of complex technologies equipped with numerous sensors and actuators that autonomously convert environmental stimuli into electronic signals and mechanical responses. An example of this new approach is the Landwirtschaftliches Zentrum in Salez (Switzerland), built in 2019 to a design by architect Andy Senn: through simple, analogue technologies, the building – based on prefabrication, local materials and automation-free solutions – is able to both guarantee optimum energy efficiency and stimulate awareness, responsibility and new ways of interaction between users and architecture, serving as an educational opportunity capable of strengthening the pedagogical aspects of architecture(Dallere and Tempestini, 2024). Conversely, high-tech solutions involving the adoption of Building Integrated Photovoltaics (BIPVs) systems to tackle climate

16
2024
AGATHÓN
International Journal
of Architecture, Art and Design

ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X

neutrality are addressed by another paper (Giovanardi et alii, 2024) that illustrates research conducted within the 'Mass Customization 2.0 for Integrated PV' project. Through a systemic and multilevel approach, a series of design strategies are proposed to address the architectural integration as well as the technological, economic, and environmental aspects involved in managing the complexity of conceptualising and engineering BIPV (Building-Integrated Photovoltaics) curtain wall systems. The first application of these strategies is demonstrated in a new product, where a polymethylmethacrylate sheet, embedded with inorganic hybrid nanoparticles, directs solar radiation to the perimeter of the insulating glass module, maintaining its homogeneity and transparency.

Today, digital tools offer new perspectives for dealing with complexity, with the potential to facilitate knowledge and predictive design / management of the built environment, both in its material and immaterial components. In the emerging field of regenerative digital design and with reference to climate scenarios, a joint use of AI, Deep Learning, and Parametric Design seems to offer the potential to significantly 'model' the pre-design phase, thereby acting in a predictive manner. The research activities conducted by ABITAlab on technologies enabling innovation processes provide, through digitalisation, expert knowledge on the relationship between 'data / information / resources'. The goal is to define areas of 'intelligent' operation and advanced products in terms of incremental technological innovation. Through a new workflow that connects computational processes, AI, and human-centred design, it is possible to create a more adaptable and resilient approach to environmental design. This approach not only 'anticipates' the complexities of the built environment but also optimises architectural development, improving design / engineering capabilities and data-driven project management, simulating user behaviours, material responses, and environmental performance, balancing energy efficiency with design preferences, and optimising sustainability without compromising functionality (Nava and Melis, 2024).

In the management phase, monitoring the relationships between the built environment and the people who use it is particularly relevant, especially in unique spaces such as museums. These spaces require continuous adjustments and flexibility to address, on the one hand, the complex set of organisational, functional, technical, and operational needs that emerge over time, and, on the other hand, the expectations of users in terms of comfort and accessibility (Cetorelli and Papi, 2024). To address this complexity, the case study of the Museum of Rome's Palazzo Braschi (IT) introduces a management model designed to integrate and control the diverse social, cognitive, and emotional factors during the operational phase. This model is based on the understanding that usability should no longer be viewed as a static condition to be ensured, but as an evolving 'process' that encompasses the physical structure of the building, visitor behaviour, communication strategies, and the ongoing training of managers and staff. By integrating various types of data on the usability of museum spaces through a digital tool developed within a BIM environment, the model offers exhibition managers and curators a more intuitive understanding of spatial and behavioural dynamics, guiding them towards more informed decisions aimed at optimising the complex experience of cultural engagement (Villani, Romagna and Oddi, 2024). Still on the subject of museums, exhibition and communication logics are constantly evolving, driven by advancements in digital technologies and multimedia tools that, in recent years, have improved the accessibility of content, enhancing the narration of objects in their original context and promoting new forms of fruition and education. In this dynamic, the visitor becomes an active participant in their own learning experience: as an actor, the visitor influences the displayed works, generating rich and personalised cultural experiences where co-creation and participation are central elements. In this perspective, a new frontier in the museum experience appears to be linked to brain-computer interfaces; the volume includes an essay discussing recent experiments focused on the individual and their interaction with the environment, through the combination of neuroscience, design, and the humanities (Rosmino, 2024).

Collaboration between human intelligence and AI, particularly through large language models, can enhance and enrich the way architectural and infrastructural narratives are communicated by providing more tangible and comprehensible semantic representations to increase the accessibility of digital models and data for users (Valenti et alii, 2024), while additionally supporting the design of industrial architectures and products. An example of this innovation is an experiment involving a chatbot virtual assistant that identifies user intent, interacts with BIM models through Natural Language Processing modules, and generates responses in written, vocal, or graphical forms – such as images or 3D models – that enhance information access throughout the entire building life cycle (Osello et alii, 2024a). Another example is the case study of the Palazzo della Regione Piemonte (IT), where BIM methods and tools for Facility Management, integrated with algorithms and automation, are translated into graphical interfaces, which help manage large data sets, improve the visualisation and interpretation of graphical information, and transform complexity into a valuable resource for supporting user decision-making (Osello et alii, 2024b). Two other experiments have the potential to guide the designer in generating new models. The first employs Verbal Design Modelling (VDM), which guides the designer in the generation of new concepts using a neural network trained on a large dataset of images and text that can generate realistic and creative prototypes thanks to its ability to analyse, process, synthesise and evolve data provided by the human interface (Mascitti and Paciotti, 2024). The second, conducted on the 'rubber vase', introduces two elements of originality: first, the concept of 'limited complexity', aimed at finding the right balance between the complexity of the problem and the potential of the tools at hand; second, a new design paradigm that combines the consolidated parameters of form and context with that of 'spatiomateriality', based on the assumptions that materials respond directly to changes induced by the context and that this parameter can reflect the relationship between objects and space. Under these assumptions, he experiments with an innovative digital-analogue interface, called 'cybermodelling', that links real-time environmental data to digital models, creating 'living' models that react to changing boundary conditions and generate a digitised spatial-materiality with the potential to be de-

16
2024
AGATHÓN
International Journal
of Architecture, Art and Design

ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X

cisive in addressing the challenge of complexity (Iverson-Radtke and Paans, 2024). An additional frontier of advanced technologies is represented by Autonomous Artificial Agents, which, inspired by the ability of biological systems to act independently, make decisions, and interact dynamically and adaptively with their environment, are transforming the way goods and services are designed. This shift moves the focus from merely meeting human needs to a broader vision that includes cooperation with spaces and other intelligent machines. Rolleri and Galletti's Italian case studies exemplify some of the potential of these advanced technologies in business processes, while at the same time prompting reflection on the role of Designers and the need for a responsible approach that takes into account ethical and social implications (Celaschi, Casoni and Formia, 2024).

In summary, the articles published in issue 16 of AGATHÓN offer valuable insights into addressing the complex issues surrounding the knowledge, design, and management of the built environment in light of the increasingly urgent pragmatic indicators of environmental, social, and economic sustainability, demonstrating that the complexity of the built environment, rather than being a challenge, can become an opportunity to advance the achievement of the 17 Sustainable Development Goals. The published contributions certainly do not fully encompass the fields of inquiry, strategies, measures, and actions that the scientific community and the construction sector can implement to contain human activity within planetary boundaries and make both the built environment and biophysical systems more resilient. However, they provide an initial theoretical-practical framework on the topic, which will hopefully contribute to stimulating the scientific debate and inspire new research initiatives based on multiscalar approaches, capable of leveraging the potential of digital technologies to address the pressing challenges of contemporary times, including the global goals of climate and carbon neutrality.

Reference

Apreda, C., D'Ambrosio, V. and Di Martino, F. (2019), "A climate vulnerability and impact assessment model for complex urban systems", in *Environmental Science & Policy*, vol. 93, pp. 11-26. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.016 [Accessed 30 December 2024].

Baiani, S., Altamura, P., Turchetti, G. and Romano, G. (2024), "Transizione energetica e circolare del patrimonio industriale – Il caso dell'ex SNIA a Roma | Energy and circular transition of the industrial heritage – The Ex SNIA case in Rome", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 190-203. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15152024 [Accessed 30 December 2024].

Basso, S., Bisiani, T., Martorana, P. and Venudo, A. (2023), "Vertical farm – Dalle forme dell'agricoltura nuove architetture e città | Vertical farm – New architectures and cities from the forms of agriculture", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 141-152. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13122023 [Accessed 30 December 2024].

Bateson, G. (1979), *Mind and Nature – A Necessary Unity*, Dutton, New York.

Battisti, A. and Calvano, A. (2024), "Hydrogen Valleys – Scenari di transizione energetica e sviluppo locale per città medie | Hydrogen Valleys – Energy transition and local development scenarios for medium-sized cities", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 48-57. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1532024 [Accessed 30 December 2024].

Berretta, T., Desideri, F. and Staltari, M. (2024), "Il progetto dello spazio pubblico, tra complessità e crisi ecologica – Da sfida a opportunità per la rigenerazione urbana | Public space project, between complexity and ecological crisis – From challenge to opportunity for urban regeneration", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 74-87. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1662024 [Accessed 30 December 2024].

Beyers, B. and Wackernagel, M. (2019), *Ecological Footprint, managing our biocapacity budget – Global Footprint Network*, New Society Publishers, Gabriola Island (Canada).

Biasi, A., Riavis, V., Zamboni, I. and Cervesato, A. (2024), "Patrimonio architettonico urbano e cambiamento climatico – Un'occasione per affrontarne la complessità | Urban architectural heritage and climate change – An opportunity to address its complexity", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 130-143. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16112024 [Accessed 30 December 2024].

Bologna, R. and Hasanaj, G. (2023), "Modelli evoluti per la costruzione di un catalogo NbS per la resilienza e la biodiversità | Advanced models for the construction of an NbS catalogue for resilience and biodiversity", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 179-190. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13152023 [Accessed 30 December 2024].

Braidotti, R. and Hlavajova, M. (eds) (2018), *Posthuman Glossary*, Bloomsbury Publishing, London.

Brisotto, C., Carney, J., Macaione, I. and Raffa, A. (2023), "Cambiamenti climatici nei paesaggi di bonifica – Adattamento tra modulo e modularità | Climate change in reclamation landscapes – Adaptation between module and modularity", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 62-73. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1442023 [Accessed 30 December 2024].

Bruno, D., Palmieri, S., Palomba, R., D'Alessandro, F. and Bisson M. (2024), "Infrastrutture di mobilità intelligenti e sostenibili – Un nuovo sistema di connessioni urbane | Smart and sustainable mobility infrastructure – A new system of urban connections", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 286-295. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15232024 [Accessed 30 December 2024].

Butera, F. M. (2024), "La Città Ideale | The Ideal City", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 30-39. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1622024 [Accessed 30 December 2024].

Butera, F. M. (2023), *Affrontare la Complessità – Per governare la transizione ecologica*, Edizioni Ambiente, Milano.

Canessa, N. V. and Centanaro, C. (2024), "Co(mplex)city – Utente come sensore urbano e mobilità accessibile nel pro-

16
2024
AGATHÓN
International Journal
of Architecture, Art and Design

ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X

getto Mobiquity | Co(mplex)city – User as urban sensor and accessible mobility in the Mobiquity project", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 88-97. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1672024 [Accessed 30 December 2024].

Carter, M., Ianiri, F. and Mariano, M. (2024), "Tattiche di resilienza per ambiti urbani costieri – La Marina di Latina e il Porto di New York | Resilience tactics for coastal urban areas – The Marina di Latina and the New York Harbour", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 156-173. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16132024 [Accessed 30 December 2024].

Casanovas, X., Alonso Campanero, J. A. and Campisi, T. (2024), "Patrimonio culturale e transizione energetica – Una lezione dal passato | Cultural heritage and energy transition – A lesson from the past", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 58-69. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1542024 [Accessed 30 December 2024].

Casarotto, L. and Oddone, M. (2024), "Identità territoriale scalabile – Progettare la comunicazione della complessità | Scalable territorial identity – Designing the communication of complexity", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 324-333. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16272024 [Accessed 30 December 2024].

Casiddu, N., Burlando, F. and Chen, B. (2024), "Human-de-centred Design – Verso una (nuova) era della sofferenza | Human-de-centred Design – Towards a (new) era of suffering", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 242-249. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16212024 [Accessed 30 December 2024].

Celaschi, F. Casoni, G. and Formia, E. (2024), "La mediazione del Design – L'integrazione tra agenti artificiali autonomi, produzione manifatturiera e servizi | The mediation of Design – The integration between autonomous artificial agents, manufacturing production, and services", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 334-343. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16282024 [Accessed 30 December 2024].

Ceruti, M. and Bardi, U. (2021), *Complessità*, Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile. [Online] Available at: futuranetwork.eu/public/oltreil2030/files/Documenti_news/Sintesi_Complessita_2021-06-22.pdf [Accessed 30 December 2024].

Cetorelli, G. and Papi, L. (2024), *Manuale di progettazione per l'accessibilità e la fruizione ampliata del patrimonio culturale – Dai funzionamenti della persona ai funzionamenti dei luoghi della cultura*, CNR Edizioni, Roma. [Online] Available at: dsu.cnr.it/pubblicazioni/ [Accessed 30 December 2024].

Chaza Chimeno, M. R., Revellini, R. and Cellucci, C. (2024), "Invecchiamento della popolazione e spazi urbani – Nuove sfide digitali per il benessere degli anziani | Ageing population and urban spaces – New digital challenges for elderly well-being", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 98-107. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1682024 [Accessed 30 December 2024].

Corradi, M., Stevens, T., Macaione, I., Raffa, A. and Andaloro, B. (2024), "Rigenerazione climatica green degli streetscapes – L'esperienza di De Urbanisten ad Anversa | Green climate-adaptive streetscapes regeneration – The De Urbanisten Experience in Antwerp", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 60-73. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1652024 [Accessed 30 December 2024].

Crutzen, P. J. and Stoemer, E. F. (2000), "The Anthropocene", in *IGBP Newsletter*, n. 41, pp. 17-18. [Online] Available at: igbp.net/download/18.316f18321323470177580001401/1376383088452/NL41.pdf [Accessed 30 December 2024].

Dal Falco, F. and Al Azhari, O. (2024), "Complessità e significati del mashrabiya nelle arti islamiche tra tradizione e innovazione digitale | Complexity and meanings of the mashrabiya in the Islamic arts between tradition and digital innovation", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 290-277. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16242024 [Accessed 30 December 2024].

Dallere, C. and Tempestini, M. (2024), "Il Centro di Formazione a Salez – Progettare la sostenibilità con interazioni semplici tra utenti e architettura | An Educational Centre in Salez – Designing sustainability through simple interactions between users and architecture", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 118-129. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16102024 [Accessed 30 December 2024].

Davidová, M., Barath, S. and Dickinson, S. (2023), "Ambienti culturali con prospettive non solo umane – Prototipazione attraverso ricerca e formazione | Cultural environments with more-than-human perspectives – Prototyping through research and training", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 165-178. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13142023 [Accessed 30 December 2024].

DeKay, M. and Tornieri, S. (2023), "Schemi per la progettazione esperenziale – Combinare pensiero modulare e teoria integrale | Experiential design schemas – Combining modular thinking with integral theory", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 40-49. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1422023 [Accessed 30 December 2024].

Di Virgilio, N. (2023), "Fare molto con poco – Un'architettura modulare, a partire da Walter Segal | Making a lot with little – Modular architecture, starting with Walter Segal", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 164-173. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14132023 [Accessed 30 December 2024].

El-Hitami, H., Mahall, M. and Serbest, A. (2023), "Ecologia dello spazio – Progetto architettonico e relazioni transfrontaliere | An ecology o space – Architectural design for transboundary relationships", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 153-164. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13132023 [Accessed 30 December 2024].

Fabbri, I. (2023), "Smart Hubs – Una rete di oggetti urbani multifunzionali a supporto della micromobilità a Ferrara | Smart Hubs – A network of multifunctional urban objects to support micromobility in Ferrara", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 304-315. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14262023 [Accessed 30 December 2024].

Ferrante, T., Romagnoli, F. and Villani, T. (2023), "Sviluppo urbano sostenibile – Organizzazione di contenuti informativi per la transizione verso i Distretti a Energia Positiva | Sustainable urban development – Organizing information content for the transition to Positive Energy Districts", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 191-204. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13162023 [Accessed 30 December 2024].

Fioramonti, L. (2021), "Prefazione", in Butera, F. M. (2023), *Affrontare la Complessità – Per governare la transizione ecologica*, Edizioni Ambiente, Milano, pp. 9-11.

Follesa, S., Corti, M., Struzziero, D. and Piluso, A. (2024), "Design del sistema alimentare per comunità resilienti – Agricoltura urbana e spazi sostenibili | Food system design for resilient communities – Urban agriculture and sustainable spaces", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 306-315. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15252024 [Accessed 30 December 2024].

Fonti, R. (2024), "Patrimonio per un futuro sostenibile – Il principio teorico della reversibilità e i suoi riflessi in architettura | Heritage for a sustainable future – The theoretical principle of reversibility and its reflections on architecture", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 144-155. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16122024 [Accessed 30 December 2024].

16
2024
AGATHÓN
International Journal
of Architecture, Art and Design

ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X

Friedman, T. L. (2016), *Thank You for Being Late – An Optimist's Guide to Thriving in the Age of Accelerations*, Picador, New York.

Gaddi, R. and Mastrolonardo, L. (2024), "Micro-reti locali per la transizione verde della filiera della lana | Local micro-networks for green transition of the wool supply chain", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 344-353. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15292024 [Accessed 30 December 2024].

Gausa, M. (2024), "Complessità, n-città e sistemi dinamici multilivello – Verso una (geo)urbanità in rete e in reti | Complexity, n-city, and multilevel dynamic systems – Towards a networked (geo)urbanity and networks", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 16-29. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1612024 [Accessed 30 December 2024].

Ghosh, A. (2017), *La grande cecità – Il cambiamento climatico e l'impensabile*, Neri Pozza, Vicenza.

Giachetta, A. and Buondonno, L. (2024), "La formazione dell'Architetto in realtà complesse – Un nuovo approccio sul piano cognitivo | Architect training in multifaceted environments – A new cognitive level approach", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 50-59. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1642024 [Accessed 30 December 2024].

Giovanardi, M., Castellan, C., La Rosa, M., Pavlovic, A. and Pracucci, A. (2024), "Progettare BIPV – Strategie per gestire la complessità del fotovoltaico integrato in facciata | Designing BIPV – Strategies for managing complexity in the integration of photovoltaics in facades", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 186-193. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16152024 [Accessed 30 December 2024].

Haraway, D. J. (2019), *Chthulucene – Sopravvivere su un Pianeta infetto*, Produzioni Nero, Roma. [Online] Available at: neroeditions.com/product/chthulucene/ [Accessed 30 December 2024].

Iverson-Radtke, A. and Paans, O. (2024), "Computazione incorporata e spazio-materialità – Esplorare la complessità con la cyber-modellazione | Embodied computation and spatiomateriality – Exploring complexity through cybermodelling", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 194-201. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16162024 [Accessed 30 December 2024].

Langella, C. Russo, D. and Scalisi, F. (2024), "Design e Gastrofisica – Innovazione e sostenibilità dei sistemi alimentari multisensoriali | Design and Gastrophysics – Innovation and sustainability of multisensory food systems", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 250-277. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16222024 [Accessed 30 December 2024].

Laurìa, A. (ed.) (2017), *Piccoli spazi urbani – Valorizzazione degli spazi residuali in contesti storici e qualità sociali*, Liguori Editore, Napoli.

Lawton, M. P. (1982), "Competence, environmental press, and the adaptation of older people", in Lawton, M. P., Windley, P. G. and Byerts, T. O. (eds), *Aging and the environment – Theoretical approaches*, Springer, New York, pp. 33-59.

Losco, G., Pasqualini, C. and Khodaparast, M. (2024), "Rivitalizzare le comunità rurali – Autosufficienza energetica e valorizzazione delle risorse boschive locali | Revitalising rural communities – Energy self-sufficiency and valorisation of local forest resources", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 174-185. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16142024 [Accessed 30 December 2024].

Maffei, S., Bolzan, P., Bianchini, M., Zeccara, F., Barbero, S., Campagnaro, C., Di Prima, N., Filippini, A., Puglielli, M., Rosato, L., Lotti, G. and Pontillo, G. (2024), "Svelare la complessità della transizione circolare per il settore del mobile imbottito | Unveiling the complexity of circular transition for the upholstered furniture sector", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 304-313. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16252024 [Accessed 30 December 2024].

Magliocco, A. and Oneto, G. (2023), "Configurazioni spaziali nell'analisi ambientale urbana – Il contributo dell'isola di calore | Spatial configurations in urban environmental analysis – The role of the heat island effect", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 216-223. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14182023 [Accessed 30 December 2024].

Mantziaras, P. (2024), "La previsione strategica urbana nel contesto europeo – Le lezioni di Ginevra e Lussemburgo | Urban strategic foresight in European territories – Lessons from Geneva and Luxembourg", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 30-47. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1522024 [Accessed 30 December 2024].

Mascitti, J. and Paciotti, D. (2024), "Verbal Design Modelling – Complessità, IA e innovazione di prodotto | Verbal Design Modelling – Complexity, AI and product innovation", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 344-353. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16292024 [Accessed 30 December 2024].

Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. and Behrens III, W. W. (1972), *The Limits to Growth*, Universe Books, New York.

Mitchell, M. (2021), *Complexity – A Guide Tour*, Oxford University Press, New York. [Online] Available at: academia.edu/40227220/Complexity_A_Guided_Tour_Melanie_Mitchell_2009_ [Accessed 30 December 2024].

Mobus, G. E. and Kalton, M. C. (2015), *Principles of Systems Science*, Springer, New York. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-1-4939-1920-8 [Accessed 30 December 2024].

Montuori, L., Converso, S. and Rabazo Martín, M. (2024), "Spazi pubblici della transizione energetica – Un progetto a Nepi per il New European Bauhaus | Public spaces of the energy transition – A design in Nepi for the New European Bauhaus", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 138-147. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15102024 [Accessed 30 December 2024].

Morin, E. (2020), "Per l'uomo è tempo di ritrovare sé stesso", interview by Scialoja, A., in *Avvenire.it*, 15/04/2020. [Online] Available at: avvenire.it/agora/pagine/per-luomo-tempo-di-ritrovare-se-stesso [Accessed 30 December 2024].

Morpurgo, E. (2024), "Biomateriali e zone umide – Filiere per l'edilizia e il tessile dalla valorizzazione di ecosistemi locali | Biomaterials and wetlands – Supply chains for construction and textiles through the enhancement of local ecosystems", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 314-323. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16262024 [Accessed 30 December 2024].

Nava, C. and Melis, A. (2024), "IA generativa e complessità – Verso un nuovo paradigma nel design digitale rigenerativo | Generative IA and complexity – Towards a new paradigm in regenerative digital design", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 40-49. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1632024 [Accessed 30 December 2024].

Ochshorn, J. (2024), "Analisi della complessità e delle contraddizioni in Architettura | Critiquing complexity and contradiction in Architecture", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 108-117. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1692024 [Accessed 30 December 2024].

Olivastri, C. and Tagliasco, G. (2024), "Servizi per il riuso e il riparo – L'allestimento tra touchpoints e infrastrutture relazionali | Services for reuse and repair – The arrangement between touchpoints and relational infrastructures", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 324-331. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15272024 [Accessed 30 December 2024].

Osello, A. Ugliotti, F. M., Rimella, N. and Loddo, F. (2024a), "Modelli digitali e linguaggio naturale – Nuove

16
2024
AGATHÓN
International Journal
of Architecture, Art and Design

ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X

prospettive per interpretare la complessità | Digital models and natural language – New perspectives for interpreting complexity", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 212-219. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16172024 [Accessed 30 December 2024].

Osello, A., Zucco, M., Iacono, E. and Del Giudice, M. (2024b), "Logiche nascoste della complessità – Interfacce grafiche e algoritmi per il sistema edificio | Hidden logic of complexity – Graphical interfaces and algorithms for the building system", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 202-211. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16172024 [Accessed 30 December 2024].

Pietroni, L., Di Stefano, A. and Galloppo, D. (2023), "Il design modulare verso l'economia circolare – Dal 'fare per disfare' al 'fare per rifare' | Modular design towards the circular economy – From 'making to unmake' to 'making to remake'", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 274-283. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14232023 [Accessed 30 December 2024].

Porfirione, C., Ferrari Tumay, X. and Leggiero, I (2024), "Conoscenza, innovazione e cambiamento – Il potere dell'errore nel design e nei sistemi complessi | Knowledge, innovation, and change – The power of error in design and complex systems", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 232-241. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16202024 [Accessed 30 December 2024].

Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummu, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., Petri, S., Porkka, M., Rahmstorf, S., Schaphoff, S., Thonicke, K., Tobian, A., Virkki, V., Wang-Erlandsson, L., Weber, L. and Rockström, J. (2023), "Earth beyond six of nine planetary boundaries", in *Science Advances*, vol. 9, issue 37, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.1126/sciadv.adh2458 [Accessed 30 December 2024].

Rosmino, A. (2024), "Corpi, menti e design – Un approccio integrato per l'innovazione museale | Bodies, minds, and design – An integrated approach to museum innovation", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 278-289. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16232024 [Accessed 30 December 2024].

Santos Malaguti de Sousa, C., Queiroz Ferreira Barata, T., Dutra Profirio de Souza, C. and de Melo, F. G. (2023), "Gestione delle foreste urbane – Percorsi tecnologici design-driven per la valorizzazione dei rifiuti da potatura | Urban forests management – Design-driven technological routes for wood waste valuing", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 291-300. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13252023 [Accessed 30 December 2024].

Swiader, M., Lin, D., Szymon, S., L Kazak, J. K., Iha, K., van Hoof, J., Belčáková, I. and Altiok, S. (2020), "The application of ecological footprint and biocapacity for environmental carrying capacity assessment – A new approach for European cities", in *Environmental Science and Policy*, vol. 105, pp. 56-74. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.envsci.2019.12.010 [Accessed 30 December 2024].

Tonkinwise, C. (2015), "Design for Transitions – From and to what?", in *Design Philosophy Papers*, vol. 13, issue 1, pp. 85-92. [Online] Available at: doi.org/10.1080/14487136.2015.1085686 [Accessed 30 December 2024].

Tucci, F., Altamura, P. and Pani, M. M. (2023), "Modulare le dinamiche urbane in chiave climatica – Spazi intermedi e neutralità climatica | Modulating urban dynamics from a climate perspective – In-between spaces and climate neutrality", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 204-215. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14172023 [Accessed 30 December 2024].

UN – United Nations (2015a), *Paris Agreement*. [Online] Available at: unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf [Accessed 30 December 2024].

UN – General Assembly (2015b), *Transforming our World – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: sdgs.un.org/2030agenda [Accessed 30 December 2024].

Valenti, A., Scalisi, F., Sposito, C., Dellamotta L. and Masserdotti, A. (2024), "Energia, tecnologia emotiva e valore culturale dei dati – Creare consapevolezza nell'utente con lo storytelling | Energy, emotional technology and cultural value of data – Creating user awareness through storytelling", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 70-83. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1552024 [Accessed 30 December 2024].

Venturi, R. (1966), *Complexity and Contradiction in Architecture*, The Museum of Modern Art, New York.

Villani, T., Romagna, G. and Oddi, A. (2024), "Ottimizzare la fruibilità nei musei – Gestione integrata di dati sui modi d'uso dello spazio e dei contenuti culturali | Optimising usability in museums – Integrated management of data on the use of space and cultural content", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 220-231. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/16192024 [Accessed 30 December 2024].

WHO – World Health Organization (2018), *The Global Network for Age-Friendly Cities and Communities – Looking back over the last decade, looking forward to the next*. [Online] Available at: iris.who.int/bitstream/handle/10665/278979/WHO-FWC-ALC-18.4-eng.pdf?sequence=1 [Accessed 30 December 2024].

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 16-29
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/1612024

ARTICLE INFO

Received 23 September 2024
Revised 17 October 2024
Accepted 21 October 2024
Published 30 December 2024

COMPLESSITÀ, N-CITTÀ E SISTEMI DINAMICI MULTILIVELLO
Verso una (geo)urbanità in rete e in reti

COMPLEXITY, N-CITY, AND MULTILEVEL DYNAMIC SYSTEMS
Towards a networked (geo)urbanity and networks

Manuel Gausa

ABSTRACT

Dall'inizio del XXI secolo e con la rivoluzione digitale una nuova logica relazionale della complessità olistica (basata su processi diversificati in evoluzione variabile) ha sostituito la vecchia logica (com)posizionale della disciplina urbanistica, richiedendo una stretta collaborazione con le nuove tecnologie digitali, ma soprattutto con i 5 prefissi IN (Informazione + Interazione + Interconnessione + Integrazione + Innovazione) come fattori di un'equazione sostanziale per un nuovo modo di definire spazi, città e habitat. In tale ottica il contributo vuole percorrere le sfide (e le principali ricerche) che hanno sostenuto nascita ed evoluzione negli ultimi 30 anni di questa nuova logica della complessità, declinando il concetto di n-Città attraverso diversi approcci strategici associati alla sua evoluzione, riformulando le pratiche, ma anche le terminologie dell'urbanistica tradizionale (cioè, appartenente alla città) attraverso il concetto alternativo, coniato da Ildefons Cerdà di urbanismo (cioè, collegato – qualitativamente – alla città).

Since the beginning of the 21st century and with the digital revolution, a new relational logic of holistic complexity (based on diversified processes in variable evolution) has replaced the old (com)positional logic of urban planning, necessitating close collaboration with new digital technologies, and especially with the 5 IN prefixes (Information + Interaction + Interconnection + Integration + Innovation). These elements form a foundational equation for a new definition of spaces, cities, and habitats. This paper explores the challenges (and primary research) that have driven the emergence and evolution of this new logic of complexity over the past 30 years, applying the concept of n-City through different strategic approaches tied to its evolution. It also examines how these approaches reformulate practices and terminologies of traditional urbanism (i.e., about the city) via the alternative concept coined by Ildefons Cerdà, 'urbanism' (i.e., qualitatively linked to the city).

KEYWORDS

n-città, sistemi dinamici, informazione / interazione, intrecci (geo)urbani, multi-reti

n-cities, dynamic systems, information / interaction, (geo)urban interweaving, multi-networks



Manuel Gausa, Architect and PhD, is a Full Professor of Advanced Planning and Urban Design, Coordinator (2015-2024), and a Member of the Doctoral Programme in Architecture and Design at the University of Genoa (Italy). He was a co-Founder and the Dean (2012-2015) of the IAAC (Institut of Advanced Architecture of Catalunya, Spain), Editor of the Quaderns d'Arquitectura i Urbanisme (1991-2000) and a co-Founder of the Actar Group. His research focuses on the urban and territorial perspective, architecture, and landscape understood as complex multi-scalar systems and devices. He was awarded the Medal of the French Academy of Architecture. E-mail: mgausa@arch.unige.it

Intorno alla metà del XX secolo quasi contemporaneamente sono stati prodotti contributi decisivi in diversi ambiti del sapere legati ai campi delle telecomunicazioni, dell'informatica e dello sviluppo tecnologico e digitale. Ad esempio i miglioramenti dell'IBM sui sistemi computazionali (fondamentali per l'arrivo dell'uomo sulla Luna nel 1969) e l'implementazione delle tecnologie basate su Windows hanno preceduto i primi test relativi alla rete Internet nel 1968. Gli studi sulle fluttuazioni entropiche biologiche e termodinamiche (Prigogine, 1961), sui flussi non periodici e sulle teorie del caos (Lorenz, 1963), sulle particelle elementari (Gell-Mann and Ne'mann, 1964) e sui cosiddetti 'sistemi dinamici' (Forrester, 1969) hanno anticipato gli studi di Benoit Mandelbrot (1975) sui processi naturali topologicamente irregolari, cioè 'frattali'. La scoperta della tripla struttura duale dei filamenti di DNA (Crick et alii, 1961) e il lancio del Progetto Genoma si sono uniti, infine, alle considerazioni enunciate nel saggio Silent Sprint (Carson, 1962) e all'Ipotesi Gaia (Lovelock, 1972), favorendo la nascita di una importante coscienza ambientale sviluppatasi negli anni successivi (Gausa and Vivaldi, 2021).

Quello che le citate indagini e scoperte hanno proposto è la correlazione olistica tra elementi, sistemi e ambienti in un'evoluzione multipla (e dinamica), una visione consolidata in un nuovo modello di logica operativa legata a interpretazioni e costruzioni più complesse (e relazionali), non solo dello spazio fisico (e quindi architettonico), ma dei nostri stessi habitat. Questa logica rivolgerebbe particolare attenzione allo sviluppo dei processi (e dei sistemi) piuttosto che alla progettazione degli oggetti (e degli episodi): questi sistemi evolutivi (plurali, mutevoli, irregolari) manifesterebbero il passaggio da una concezione statica e figurativa dello spazio a una dinamica e relazionale, più trasversale e interattiva, secondo una nuova logica della complessità, associata a un nuovo concetto tripartito di spazio/tempo /informazione con differenti prospettive e conseguenze scientifico-culturali (Gausa Navarro, 2018; Fig. 1).

Complessità e sistemi dinamici: organizzazioni spazio-temporali e urbano-territoriali | Il termine complesso – dal latino 'complexus' ('cum + plectus', 'intrecciato', 'interlacciato') – definisce un «[…] insieme o processo molteplice e relazionale, chiamato a costituire, in modo connesso, un organismo o sistema comune»[1]. Nel noto dialogo Viaggio nella Complessità tra il fisico Giorgio Parisi e il filosofo Mauro Ceruti quest'ultimo ricordava che potremmo sostenere che complesso è qualcosa di intrecciato o più volte arrotolato, in cui la complessità evoca una pluralità di componenti e simultaneamente un'idea di unità, quasi un ossimoro (Parisi and Ceruti, 2013). I sistemi complessi così individuati si caratterizzano per essere sistemi eterogenei (o plurali) costituiti da strutture e/o agenti informazionali multipli e interdipendenti, nelle quali le traiettorie evolutive si traducono in fenomeni simbiotici multi-scalari (globali e locali) di interazione e relazione reciproca (Gausa, 2003).

A questo allude infatti la nozione di complessità, ovvero alla capacità simultanea di combinare e di attivare (o meglio inter-attivare) livelli, non sempre armonici ma multipli, di informazione in uno stesso quadro infrastrutturale di scambio (Fig. 2). Tra o all'interno di queste strutture (o organismi) 'interlacciati' si verificano infatti interazioni informazionali diverse, scambi e quindi cambiamenti, evoluzioni o variazioni dinamiche che hanno vari gradi di incidenza olistica (dal termine greco 'holon', un 'tutto comune') nelle sue proprietà di sviluppo entropico (Glansdorff and Prigogine, 1971; Brans, Stengers and Vincke, 1996). Sistemi complessi e sistemi dinamici andrebbero tuttavia coniugati (Ekeland, 1995).

A differenza dei sistemi 'complessi' i processi 'complicati' presentano anche una profusione di situazioni, che non implicano reciproche interazioni evolutive e/o costruttive (relazionali e/o sinergiche), bensì puramente cumulative e a volte conflittuali; le definizioni dei processi sarebbero limitate a un solo livello e non a diversi livelli intrecciati e connessi (Parisi and Ceruti, 2013). Parafrasando la definizione proposta dal Dizionario Treccani[2], una caratteristica qualitativa di un sistema complesso è la (con)figurazione di un insieme o di un aggregato organico, intrecciato e composto da parti tra loro interagenti, il quale fa assumere all'insieme proprietà che non derivano dalla semplice giustapposizione tra parti. Questa è la proprietà specifica dei sistemi complessi, la cui variabilità di manifestazione non può non indicare una nuova metodologia di indagine, contrapposta alla tradizionale tendenza a ridurre il tutto al semplice o all'essenziale.

Il cambiamento climatico e quello demografico, le fluttuazioni economiche, i flussi di traffico, i processi occupazionali, le configurazioni naturali, il cervello umano e le sue connessioni neurologiche, le organizzazioni sociali e le loro traduzioni politiche e/o spaziali sono alcuni degli esempi di sistemi dinamici complessi; in generale lo sono i nostri habitat da considerare come ambienti mutevoli, i cui comportamenti incerti, variabili ed eterogenei rimandano alla comparsa di fenomeni inattesi di 'emergenza' evolutiva, legati a processi di autorganizzazione (pseudo)spontanea, di sviluppo non-lineare e di ricorsività differenziale (Fig. 3). Anche città e territori sono sistemi dinamici entropici, decisamente complessi (troppo spesso, inutilmente complicati); in effetti la virtuale fusione fonetica, in varie lingue, tra parole complessità e città (CompleCittà) si mostra sorprendentemente rivelatrice.

Sia nella città che nei sistemi complessi, dinamici e irregolari (caotici, nel senso scientifico del termine), i movimenti e le traiettorie degli elementi costitutivi, in condizioni di libero sviluppo ed espansione, tendono a evolversi in modo spontaneo e imprevedibile (Becker et alii, 1994; Helbing et alii, 1994; Ekeland, 1995; Fig. 4). Tuttavia, nonostante questa apparente 'indisciplina formale', le sue molteplici traiettorie ed evoluzioni si riferiscono generalmente a criteri o modelli basici, contemplabili come 'orizzonti di certezza' e sottostanti a specifici processi: criteri d'azione o impulsi generatori, capaci di indirizzare le traiettorie riferendole a 'istruzioni' nucleari (patterns) che si modificano, si alterano, si adattano, si trasformano e, in definitiva, si evolvono 'nel' e 'con' l'ambiente (Helbing et alii, 1994). Di conseguenza sarebbe possibile modellare, in una certa misura, la complessità per prevederne una possibile struttura e proiettarla nei termini di una concepibile 'ricorsività operativa' più o meno sistemica, una indeterminazione pseudo-determinata secondo James Forrester (1971).

Città e territori seguono processi evolutivi di auto-organizzazione o pseudo-organizzazione sempre più diversi, più discontinui e disgiuntivi, più irregolari, attraverso movimenti variabili di fluttuazione, destinati a generare diverse configurazioni tra 'pieni', 'vuoti' e 'nessi', apparentemente indipendenti e diversificati, ma immanentemente interconnessi (e coniugati) attraverso reti diverse e topologicamente intrecciate (Batty and Longley, 1997; Figg. 5, 6). La combinazione matriciale pieno / vuoto / nesso, volume / superficie / maglia e spazio tra / spazio fra / spazio inter (o trans) si rivela come un nuovo paradigma tra Natura, Paesaggio e Città, con geometrie topologicamente complesse, fluttuanti o frattali (Fig. 7).

Si è già sottolineato come la stessa rivoluzione digitale, tutt'oggi in corso, sia stata progressivamente accompagnata dall'espansione della città tradizionale – con centri e periferie più o meno riconoscibili – e dal suo salto di scala verso nuove strutture sempre più estese, poliedriche e irregolari, determinando modelli configurabili come 'poli-centri' e 'para-periferie', 'peri-urbanità' e 'meta-urbanità', una nuova condizione in cui 'urbs', 'natus', 'tecnos' e 'structus' coincidono (Schröder et alii, 2018; Gausa and Ricci, 2014).

Nel recente e accelerato trasferimento tra secoli, l'antica città recinto (Site-Cite-City) ha finito per oscillare verso una nuova poli-urbanità dispersa (Sprawl City, Ink-stain City, Spot City o Patchwork City) caratterizzata da conflittuali conseguenze ambientali e dinamiche aleatorie, dovute all'assenza di adeguate strategie olistiche capaci di guidare processi incerti e indisciplinati. Ci troviamo così davanti a organismi urbani chiamati ad evidenziare, in modo sempre più 'esplicito', la propria condizione 'implicita', caratterizzata da 'sistema di sistemi' complessi, eterogenei, plurali e simultanei, in un'accelerata evoluzione dinamica (variabile), quindi in una sistematicamente e sostantivamente condizione complessa (Ascher, 1997; Batty and Longley, 1997; Gausa, 2003).

Le Past-City con il revisionismo urbano, le Patch-City (o Net-City) con lo sviluppo delle sue infrastrutture, le Icon City con l'oggettualità hanno caratterizzato, con maggiore o minore incidenza a seconda dei contesti, i modelli urbani contemporanei. Si tratta di modelli che le culture (soprattutto quelle occidentali) hanno esplorato di fronte a una dimensione confusa (e diffusa), multipla e moltiplicata, dei nuovi territori di (inter)relazione, destinati ad attenuare le perplessità di una disciplina – quella urbanistica – intrappolata in una spirale autoreferenziale di vecchie e nuove forme / formule deterministe, intese come meccanismi di azione. Questi modelli con le loro forme / formule sono oggi incapaci di affrontare le sfide di una nuova città metabolicamente più impura ed evolutivamente imprevedibile, con una crescente capacità di coniugare parametri di informazione e interazione (di interpretazione e scambio) sovrapposti e decisamente simultanei.

Né il primo modello (formalista), né il secondo (strutturalista), né il terzo (oggettualista) possono rispondere alle sfide di questa multi-città-sistema (una città-processo costantemente in evoluzione) sempre più promiscua e sistemicamente complessa (Barahona and Ballesteros, 1997; Gausa, 2018).

Complessità e n-Città: mappe operative e mappe di battaglia | Se la metropoli moderna e postmoderna ha ceduto di fronte alla 'metapolis' postpostmoderna, questa si declina oggi – in piena era informatica – come una possibile Multi-polis (o Poli-Polis): una n-Polis o n-Città contemporanea (Gausa and Vivaldi, 2021). Il concetto di n-Città traduce quella condizione complessa e multilivello, in cui un nuovo tipo di organismi sistemici accentua il grado di interazione di informazioni man mano che aumentano gli scambi tra i sistemi e i sottosistemi di



Fig. 1 | Detection of beams of complex trajectories (credit: M. Gausa, 1978; based on National Geographic Archive's photo).

lettura e struttura della città, che sono dinamici e decisamente eterogenei e diversificati.

Il termine n-Città allude – riferendosi direttamente all'universo matematico – a una condizione differenziale elevata alla 'n' (ennesima) potenza (determinabile e indeterminabile allo stesso tempo), alle ennesime (multiple e moltiplicate) sequenze sovrapposte di interazioni di informazioni che definiscono l'organismo (la città) molteplice e apparentemente 'dis-orchestrato', ma anche alla facoltà, in parallelo, di indirizzarlo a partire da possibili latenze, presenze e valenze tanto immanenti quanto inerenti e inter-cadenti.

Il termine n-Città sarebbe riferibile a un organismo che non si costruirebbe oggi soltanto sulla base di criteri formali più o meno sostanziali, ma che si definirebbe e ridefinirebbe dinamicamente e costantemente attraverso vari processi di combinazione tra simultanei livelli (o strati) multi-scalari di informazione e sovrapposizione (fisici e geografici, ma anche demografici, ecologici, economici, sociopolitici, socioculturali, ecc.) e reti o maglie di interconnessione e interrelazione (infrastrutturali, tecnologiche, di trasporto, di energia, di comunicazione, di flusso e/o connessione, ecc.), tra i quali si innescano processi simultanei di azione e reazione coniugati a seconda della loro maggiore o minore capacità di interazione, efficienza e complementarità (Fargas and Papazian, 1992; Barahona and Ballesteros, 1997; Gausa, 2018).

La forza e la debolezza di questo scenario complesso risiedono proprio in questa costante dinamica di mutazione, rinnovamento, trasformazione, variazione, costruzione e riciclo, attraverso cambi e scambi, tra strati, stati, stadi e possibili scenari (Figg. 8, 9) che invitano a riconoscere alcuni dei molteplici livelli di definizione associati alle proprie capacità e potenzialità del sistema, al fine di orientarli strategicamente attraverso nuovi criteri (o vettori) operativi e attraverso nuove logiche – collettivamente e qualitativamente (pro)attive – volte a generare strategie operative (e formulazioni evolutive) con un approccio sensibile e sistemico, capace di sintetizzare intenzionalmente piani selettivi di informazioni e reti connettive di interazione in nuovi insiemi.

Infatti lavorare con mappe / schemi analitici e/o informazionali (tendenziali), ma anche strategici e/o relazionali (intenzionali), aiuta a formulare e combinare strutture e processi, in grado di registrare e selezionare i dati (o livelli) più rilevanti, (ri)elaborandoli, condensandoli e (inter)attivandoli per meglio combinarne le proiezioni più qualitative (Fig. 10), se non tutte quantomeno quelle più potenzialmente incidentali e strumentali.

Il progresso della computazione info-grafica (GIS, Photoshop, Illustrator, Rhyno, Grasshopper, BIM, ecc.) è stato essenziale per una fertile associazione tra 'mappa operativa' (elaboratrice) e 'mappa di battaglia' (istruttrice), avvicinandosi a un'effettiva combinazione tra 'mappa-schema analitico' e 'mappa-ideogramma sintetico' come possibile formulazione contemporanea tra riconoscimento, registrazione, rappresentazione e re-informazione (Gausa, 2018; Fig. 11). In particolare le denominate 'mappe di battaglia' (Gausa, 2012) sarebbero volte non solo a descrivere un territorio, ma a proiettarlo per prevedere, anticipare e orientare le sue future evoluzioni; sono interpretabili come sistemi operativi di riconoscimento e riposizionamento, quindi diagnosi critiche e risposte attive allo stesso tempo), strumenti capaci di sintetizzare efficaci scommesse tra possibili eventi e movimenti, relazioni e variazioni, riferiti a modelli basilari di organizzazione (criteri di azione).

Complessità e n-Città: verso un nuovo urbanismo avanzato | Esplorare nuove strategie 'multinter', quindi multi-livello e inter-reti, multi-territoriali e inter-urbane, multi-scalari e inter-relazionali, ma anche 'multi(m)plicative' e inter-attive, rappresenta la sfida di questo nuovo tipo di approcci generati dallo sviluppo della rivoluzione informazionale stessa, decisi a lavorare con logiche delle complessità proprie di un organismo in costante evoluzione entropica (Nel.lo, 2001; Rueda, 2011; Gausa, 2019) riformulando le pratiche, ma anche le terminologie dell'urbanistica tradizionale ('urbs+istica', cioè, 'appartenente nella sostanza alla città') attraverso il lemma, coniato da Ildefons Cerdá (1867; Rueda, 2011), 'urbanismo' ('urbs+ismus', cioè 'collegato – qualitativamente – alla città').

In tal modo si determina una nuova modalità operativa con approcci trasversali (o transdisciplinari) chiamati a lavorare con nuove formulazioni spaziali e tecnologie digitali, nuove sensibilità ambientali e nuove aspettative sociali, ma soprattutto con una equazione per una nuova 'visione' multilivello basata sul 5IN: INformazione + INterazione + INterconnessione + INtegrazione + INnovazione (Gausa, 2018). Riconoscere, esplorare e 'aggettivare' questo scenario, generato al di là delle tradizionali narrazioni del 'ritorno alla storia' degli anni '70 e '80 o del 'ritorno alla tecnica' degli anni '80 e '90 o del 'ritorno al design' (e all'oggetto) degli anni '90 e 2000, ha stimolato molte delle ricerche che hanno caratterizzato gli ultimi decenni (Gausa and Vivaldi, 2021).

Come abbiamo sottolineato dopo anni di revisionismo storico e di calligrafia strumentale (moderna e post-moderna) gli ultimi decenni del XX secolo sono stati caratterizzati dall'impatto dell'universo digitale e dalla componente computazionale, hardware e software. Il crescente interesse pioneristico per le nuove letture della città poliedrica, irregolare e multilivello – Fractal City, Multi-layer-City – si ritro-

vano in molte delle esplorazioni orientate a un riconoscimento più complesso (analitico-sintetico) della condizione urbana e del suo possibile incrocio con la natura (Fargas and Papazian, 1992; Batty and Longley, 1997).

A partire dai primi anni del 2000 abbiamo assistito allo sviluppo dell'era digitale con la definitiva affermazione di Internet, con la crescita esponenziale del Web 2.0, chiamato a standardizzare (grazie al codice www.) i protocolli di accesso, la connettività, e con la comparsa dei primi social-networks, questi ultimi destinati a favorire un nuovo quadro di relazioni e di scambi interconnessi, non solo operativamente 'virtuali', ma 'reali' nelle conseguenze socio-economiche, culturali, ambientali e spaziali, grazie anche al forte all'incremento (dal 2007) delle applicazioni per smartphones (Gausa and Vivaldi, 2021).

Se la città-territorio postmoderna si era rivelata come un complesso 'poli-territorio' di relazioni, destinato apparentemente a favorire l'implementazione diffusa di usi e funzioni su un suolo 'arteriale' esteso e 'discontinuamente' accessibile, quindi 'a portata di mano' (Harvey, 1985; Rueda, 2011), l'evoluzione qualitativa – e non speculativa – di questo nuovo organismo urbano-territoriale così contemplato, evidenziava la necessità di favorire non solo approcci socioeconomici e urbano-territoriali più responsabili, ma anche nuovi dispositivi di relazione e di coordinamento tra luoghi e intra-luoghi, sistemi e sottosistemi, 'in rete e in reti' (Gausa, 2009; Fig. 12).

La lettura e l'articolazione di questa condizione diversificata e integrata (in rete e in reti) si profila come una progressiva traslazione dalla nozione stessa di rete / net (il vecchio paradigma della città metropolitana neomoderna) al concetto di rete / network, intesa come nuova logica connettiva / distributiva, più flessibile, elastica e plurale, volta a definire un nuovo paradigma della geo-urbanità urbano-territoriale. Ciò ha dato vita a uno scenario multi-scalare, dinamico e decisamente incompiuto, fatto di coesistenze ed esperienze potenzialmente interconnesse e con siti e situazioni (singolari e locali) concertati in sistemi o schemi, intesi come 'tratti e contratti' comuni, plurali e globali (Fig. 13).

Il termine Network-City (o Mesh-City) evidenzia questo desiderio di esplorare un'organizzazione 'geo-ordita' (in rete e in reti) concepita come un sistema vibrante 'dis-denso' (discontinuamente denso), di sistoli (di compressione e/o intensificazione) e diastoli (di dilatazione e/o articolazione) che si afferma sia nei suoi diversi spazi nodali sia nelle sue ampie aree internodali, in cui si intrecciano in reti paesaggistico-infrastrutturali nuclei di densità variabile, flussi di mobilità diversificata, paesaggi operativi e spazi collettivi di vocazione relazionale, ma anche, trame e patrimoni (storici o moderni) o valori ambientali esistenti (da consolidare) e nuovi sviluppi misti, innovativi o emergenti combinati in mosaici di densità e spazialità variabili, topologicamente ed ecologicamente intrecciati (Gausa, 2003, 2009; Figg. 14, 15).

Da un territorio extraurbano si tratta quindi di passare a un territorio interurbano, rafforzando e riattivando le strutture esistenti (multi-città come sistema policentrico e poli-focale), coordinando le diverse matrici del paesaggio (inteso come sistema operativo) e articolando i diversi sistemi di interconnessione (mobilità e programmazione urbana come sistemi misti), attraverso modelli e politiche destinate a combinare logiche globali e declinazioni locali in nuovi formati volti a facilitare strutture 'confedera-

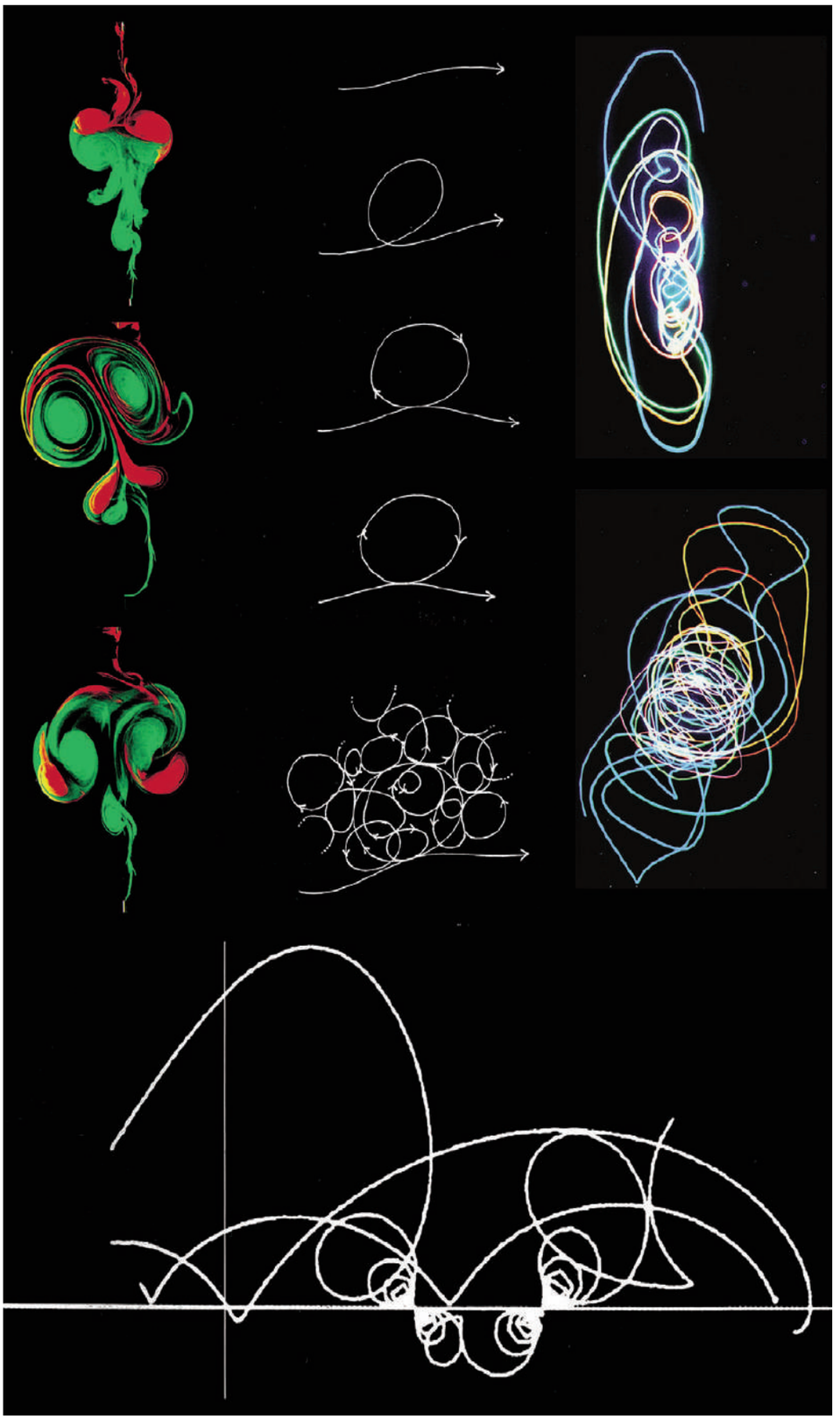




Fig. 2 | Chaotic, informal, and nonlinear formations: Entropic dance, attractors, and interconnections; Flow diagrams (source: Briggs, 1992; Ho, 1997).

Fig. 3 | Der Vorhang des 21 Jahrhunderts – Complex mountain fold thrusts (source: Ito, 1994).

te', diversificate e 'asimmetricamente' equilibrate – cooperanti – capaci di articolare nuove competenze e valenze sovracomunali (Nel.lo, 2001; Puig Ventosa, 2011).

La nozione di Re-Citying (interpretabile foneticamente anche come Re-Siting) allude alla ridefinizione urbana (città come materia re-informata) in cui la prospezione degli approcci multi-urbani (in rete e in reti) permette di riattivare la città-nodale e sfruttare le preesistenze, a partire da uno sviluppo più che endogeno, 'endo-generativo' e induttivo. Da un movimento verso l'esterno, di espansione delle città, si tratta di passare, contemporaneamente, a un movimento verso l'interno (Fig. 16), dalla crescita materiale ed espansiva, allo sviluppo relazionale (e ambientale) intensivo.

E nello specifico si tratta di consolidare e rafforzare (riattivando, riciclando e 'ri-naturalizzando') i centri nodali attraverso la formulazione di nuovi schemi, trame e circuiti diversificati, più porosi ed eco-strutturali, nonché attraverso la riformulazione – o re-informazione – delle antiche fabbriche urbane (quartieri storici o peri-urbanità moderne); di collegare (ri-articolando e riurbanizzando) le 'aureole' (o macchie) disperse causate da un'espansione periurbana diffusa; di delineare e/o rimodellare (riprofilando) i bordi (perimetri, margini, limiti) attraverso nuove operazioni di rinforzo architettonico / paesaggistico; di connettere a diverse scale nodi e margini recuperando ramificazioni e maglie interne per mettere in relazione trasversalmente città, infrastrutture e paesaggio; di promuovere operazioni di condensazione città-città, di transizione città-paesaggio o di riqualificazione città-infrastrutture attraverso nuove trame, sezioni, circuiti e modelli matriciali (Gausa and Ricci, 2014; Fabian and Munarin, 2017; Gausa 2022).

Di fronte alle dinamiche meccanicistiche della città diffusa, ma anche di fronte al paradigma della grande città compatta e omogeneizzante, una terza via tende a difendere dunque questa nuova definizione 'intrecciata' o 'interlacciata' della n-Città, concordata (e accordata) alle condizioni e caratteristiche geografiche dei propri contesti: concependo la città 'verso fuori e verso dentro', promuovendo operazioni di collegamento (o ricollegamento) interurbano, ma anche di rinforzo (e riciclo) urbano con interventi di ristrutturazione e/o riprogrammazione, e supportando sempre di più l'idea stessa del paesaggio, non solo come vuoto residuale e interstiziale, ma come un autentico sistema operativo, produttivo, performativo ed inter-connettivo, aperto all'uso, all'attività o alla programmazione mista in sinergia con i modelli multidimensionali – a mosaici intrecciati – generati da tessuti e tasselli (Gausa, 2009; Llop, 2011; Rueda, 2011).

Complessità e n-Città: interazione e interattività | Il secondo decennio del XXI secolo ha già metabolizzato uno sviluppo esponenziale delle tecnologie digitali in rete (smartphones, apps, big data, real-time data) che hanno moltiplicato le potenzialità d'interazione tra spazi, contesti, media ed utenti, avviando così una fase di nuove capacità, destinate come sono ad assumere rapidamente una condizione ibrida – fisica e virtuale, materiale e immateriale, naturale e artificiale, biologica e xenologica – della '(iper) realtà' contemporanea (Gausa and Vivaldi, 2021).

I concetti di Smart-Cities, Sense-Cities o Intelligent-Cities (nel secondo decennio del XXI secolo) definiscono un nuovo tipo di 'gestione' urbana in cui la città tende a essere intesa come un sistema me-

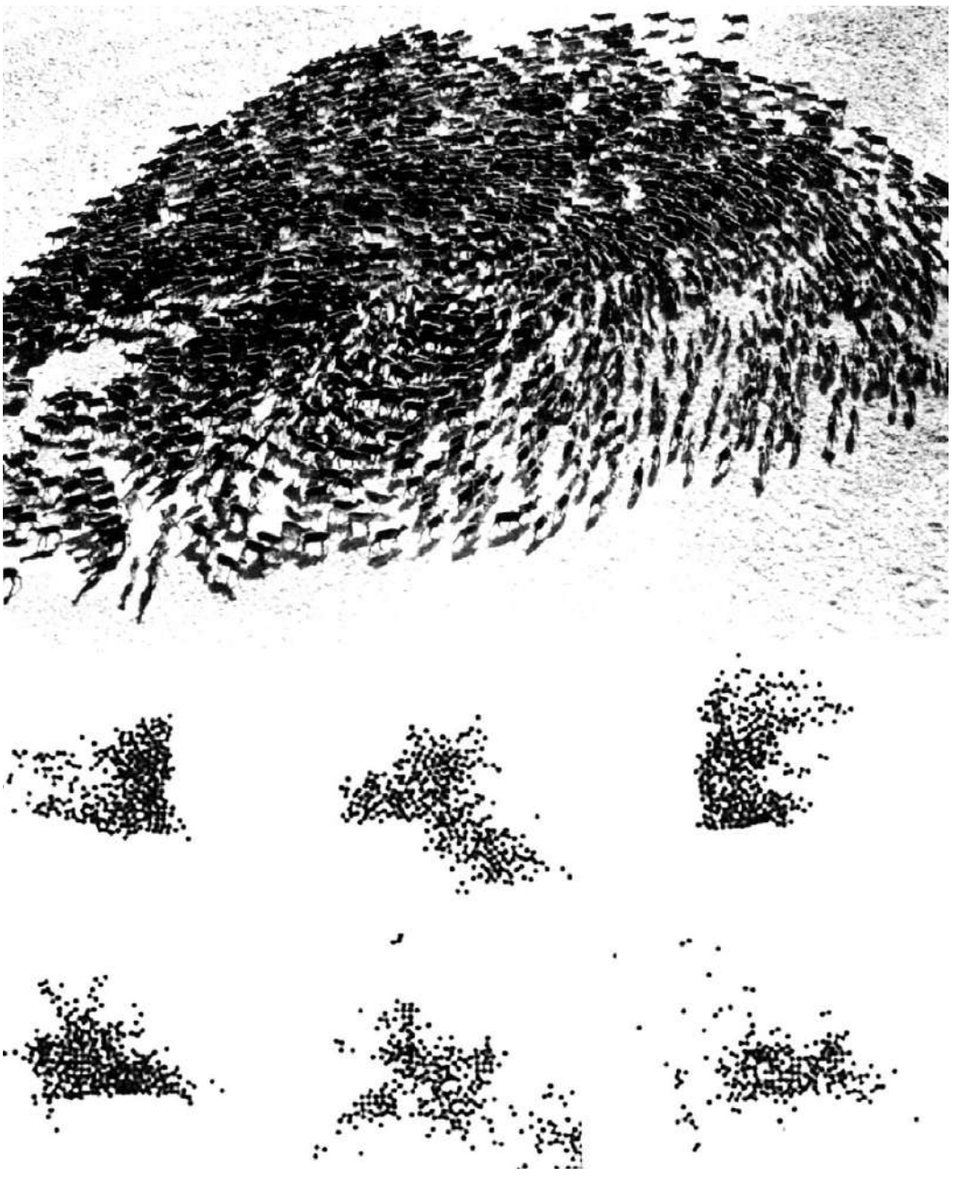


Fig. 4 | Spatio-temporal dynamical systems: Herd of reindeer reacting to the flight of a helicopter; Distributions, combinations, fields, and fluctuations of a flock of birds (credits: B. Le Va).

Next page

Fig. 5 | Spatio-temporal dynamical systems: Clusters of hippos; Clustering, density sets and diffuse dilations (credits: M. Gausa, 2018).

Fig. 6 | Aerial view of a self-organised settlement, Sokota (Africa): occupation points, separation spaces, displacement channels, and internal linkages (source: Arch+ n. 121, 1994).

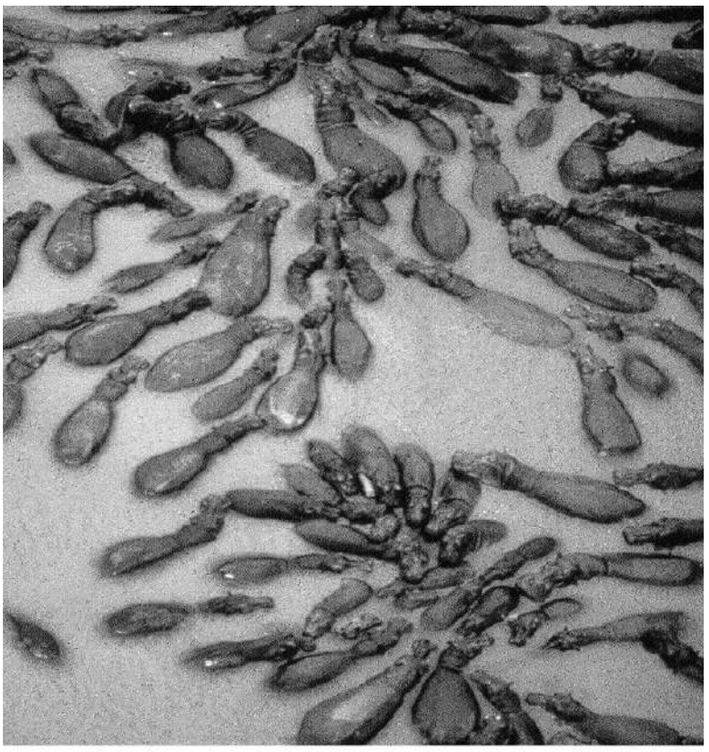
so-informazionale, un 'milieu', tra condizioni e informazioni. Questo sistema è destinato a integrare, elaborare e ipoteticamente migliorare diversi fattori e servizi urbani per spazi – teoricamente e tendenzialmente – più positivi, sicuri e qualitativi, promuovendo una gestione più efficiente (on-line e on-realtime) del traffico, dell'energia, dell'acqua, della salute, dei rifiuti, degli usi, delle attività, dei rischi e delle minacce ambientali, della produttività agricola e di un paesaggio operativo orientato a un uso più equilibrato del suolo (Komninos, 2008; Ratti and Claudel, 2016).

Una tendenza questa che alla fine del primo decennio del XXI secolo sembrava condurre la n-City verso una dimensione progressivamente parametrica (e parametrizzabile), in cui la nozione stessa di informazione era intesa come dato o indicatore – economico, funzionale, ambientale, ecc. – tanto implicitamente ottimizzato quanto esplicitamente ottimizzabile (Ratti and Claudel, 2016; Tucci and Ratti, 2022). L'esplorazione di questa nuova capacità, attiva e reattiva (responsiva e adattiva), si coniuga invece con una condizione 'iper-connettiva' attenta ai processi non solo partecipativi, ma co-produttivi (co-decisivi e co-decisionali), che diventano fattori di una sistema progressivamente ampliato nelle sue prestazioni, definizioni e applicazioni (Figg. 17, 18).

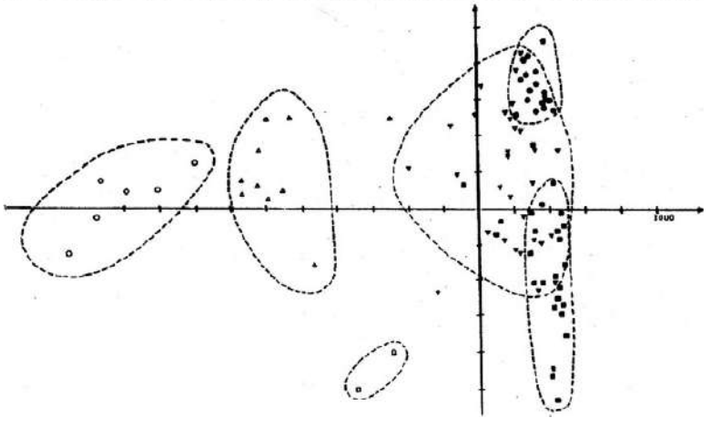
In questo senso, il concetto di Co-Cities allude oggi all'esplorazione di un nuovo paradigma: quello della città 'co-operata' (coniugata, collegata e co-partecipata) e alla sua traslazione verso un'intelligenza collettiva (comune), connettiva (inter-relazionata) e correttiva (sostenibile) – co(ll/nn/rr)ettiva – più sinergicamente (ed empaticamente) coinvolta e inter-comunicata (Common Cities, Learning-Cities & Smart Citizens, ecc.), chiamata ad esplorare un nuovo tipo di interazione (e d'interattività) sociale e ambientale, decisamente 'co-attante' (Latour, 2007; D'Arienzo and Younès, 2018; Fig. 19).

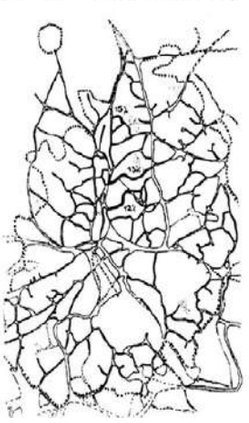
Si definisce pertanto una nuova logica, anche qui, diversificata, dinamica, intrecciata e complessa, volta a coniugare una supertecnologia della connettività e dello scambio (dati, messaggi ed esperienze, informazioni e mobilitazioni) con una volontà di azione diretta e spontanea, non necessariamente ipertecnologica, ma decisamente attiva e attivista, 'inter-attiva' e 'inter-attivante', legata aduna dimensione più performativa e operativa dello spazio pubblico come spazio relazionale, operativo e performante, un nuovo spazio-interfaccia, decisamente (inter)attivo, tra città e cittadini, ambienti ospiti e specie ospitate, agenti biologici e flussi ecologici sia urbani che interurbani (Gehl, 2010; Markopoulou, 2015). Questa nuova logica è sensibile (più eco- e socio- empatica) ad ambiti e ambienti sempre più eterogenei e complessi, progressivamente esposti a situazioni di rischio, deficit, conflitto e vulnerabilità, condizioni che costituiscono criticità devastanti per le popolazioni più fragili (stress urbano e umano, rischio ambientale, deficit abitativo e alimentare, inquinamento, carbonizzazione, migrazioni, ghettizzazione, aumento delle soglie di povertà, ecc.) e problemi associati alla complessità (geo)urbana stessa, che ha necessità di esplorare processi resilienti e intelligenti allo stesso tempo – 'resili(g)enti' – aperti all'innovazione tecnologica, strategica e creativa (Gausa, 2020; Canessa, 2020).

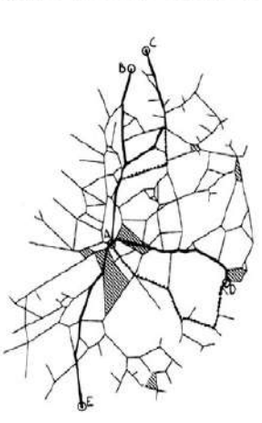
Complessità e nuove sfide: declinazioni Co-In | Nelle ricerche proprie del periodo caratterizzato dalla rivoluzione digitale e da una nuova logica informazionale urbano-territoriale, il binomio Co-In (as-











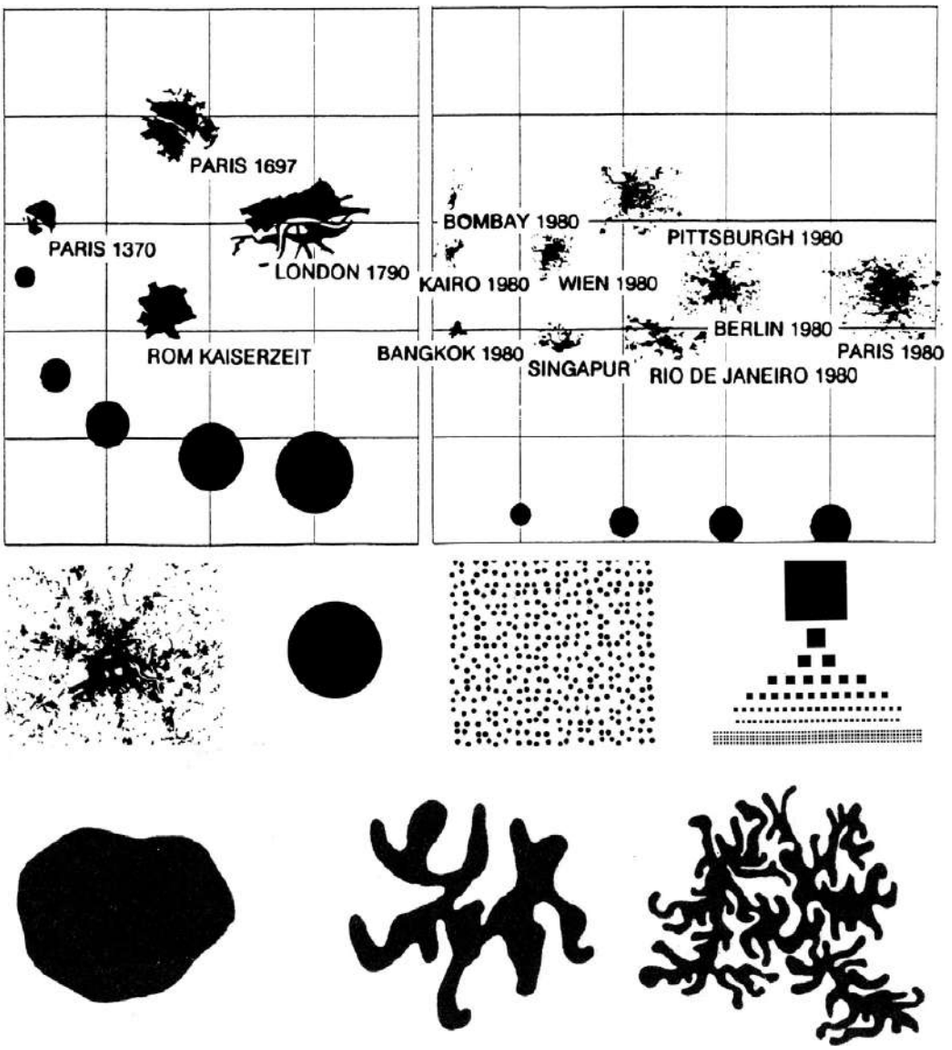
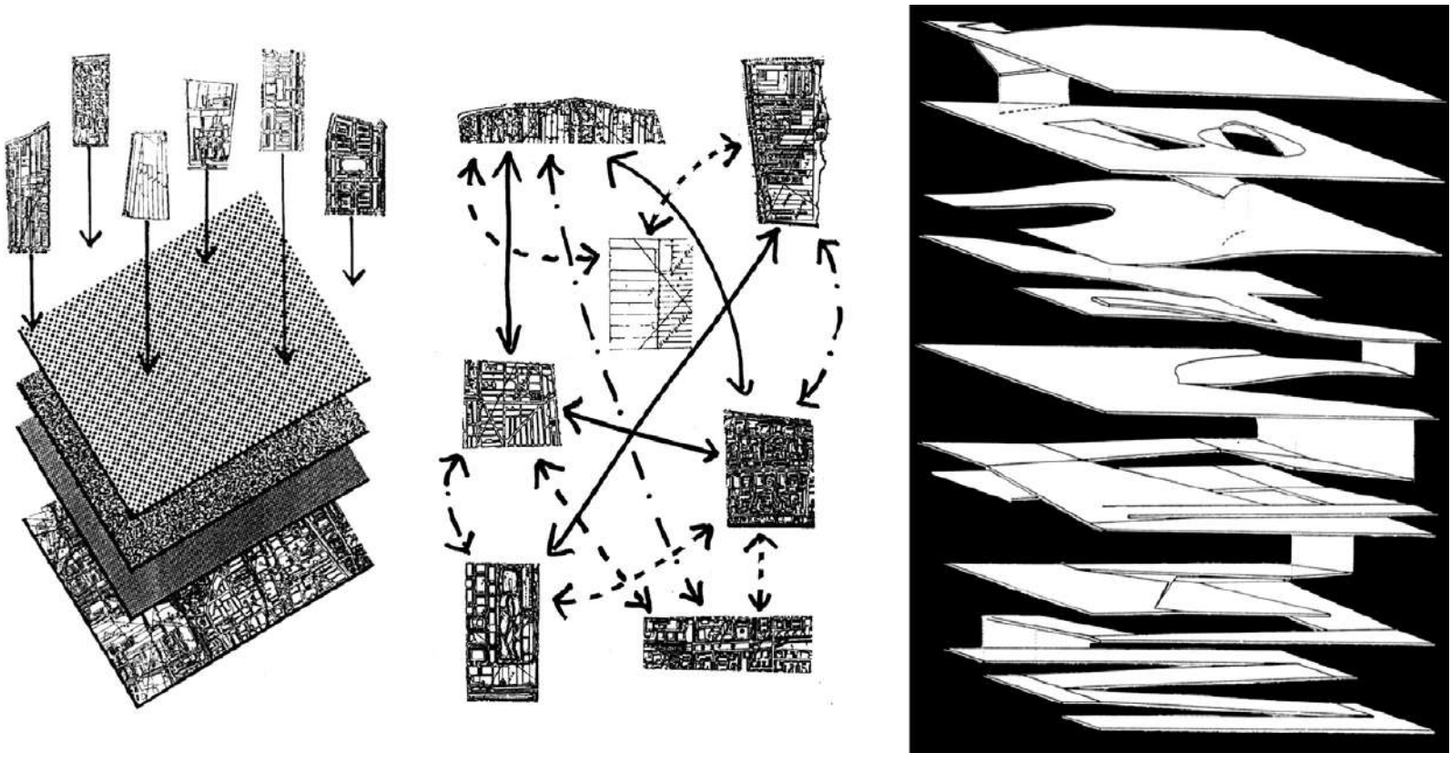


Fig. 7 | Fractal city: the city epitomises complex dynamic systems (source: Batty and Longley, 1997; Mandelbrot, 1975).

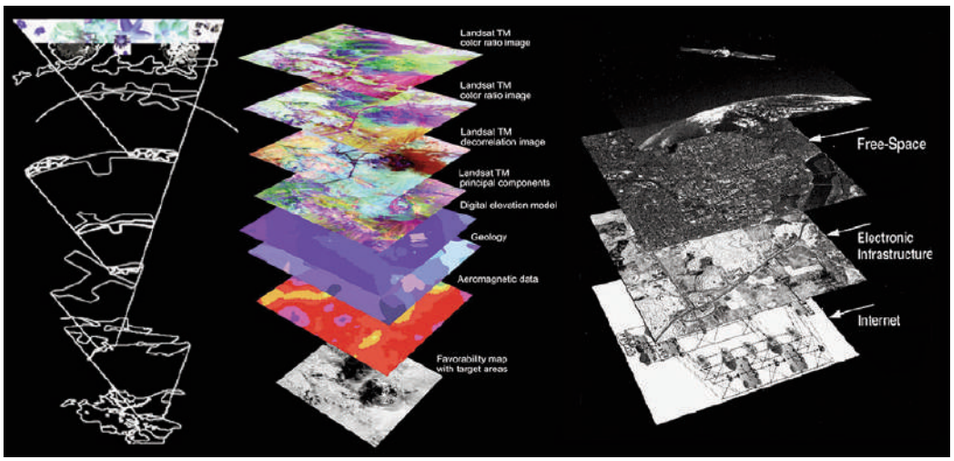
Fig. 8 | Multi-layer City: layers of information and networks of connections (credits: Neutelings, 1997); Translation to a new architectural formulation, Jussieu Library (credit: Neutelings, 1997; OMA, 1992).

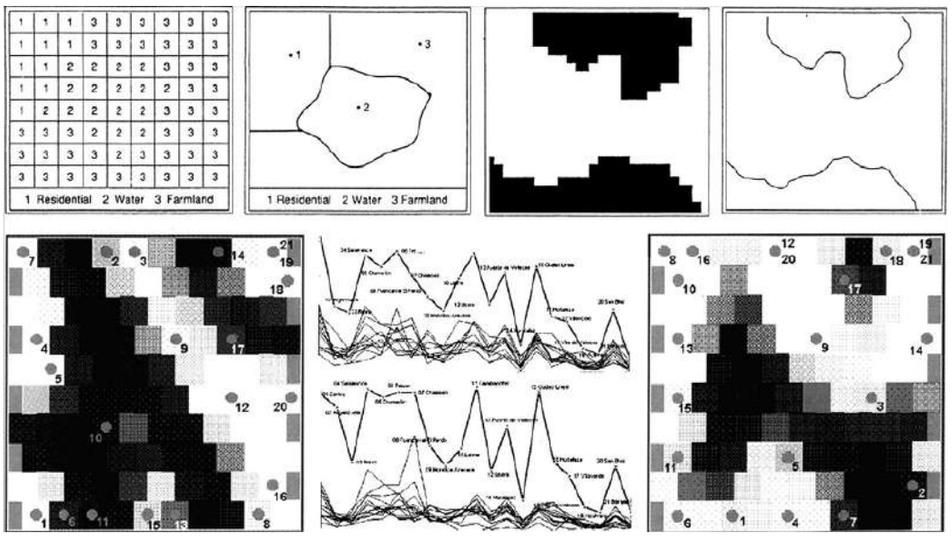


sociato alle nozioni di Complessità e Informazione) si ripete di modo ricorsivo con diverse declinazioni legate ad altri periodi della storia recente: Combinatorietà / Interscambio 1990-2000; Connettività / Interazione 2000-2010; Comunità / Interattività 2010-2020: in tutti questi casi è comunque evidente l'importanza del binomio Concettualità / Interconettività. Questi Co-In rappresentano la 'moneta di scambio' su cui si è giocata l'evoluzione stessa del concetto 'spazio / tempo / informazione' e di un nuovo pensiero più complesso e olistico, accomunato dalla forte convinzione che al di là della pura gestione efficiente, la città e i suoi cittadini continuano ad aver bisogno di concetti conduttori, di criteri di azione e di immaginari comuni e condivisi (Gausa and Vivaldi, 2021).

Oggi si tratta di ripensare la possibile qualità propositiva implicita nel nuovo scenario geo-urbano (urbano ed interurbano) dell'inter-polarità e dell'internodalità, del paesaggio e dei 'pa(e/s)saggi' di incontro, della connettività e della percorribilità (infra- ed eco- strutturali). Si richiede una nuova comprensione multi-relazionale dell'idea di luogo e del contesto (come un campo di forze 'articolato', in rete), ma anche dei nostri habitat intesi come formati ibridi, misti, tra programmi, flussi, usi, utenti e agenti (sociologici e biologici).

Innovazione, conservazione e mutazione, protezione e trasformazione, prevenzione e induzione, valori patrimoniali e innovativi, fattori ambientali e incidentali, spazi sensori (e sensibili) e sensoriali (o sensuali), scenari referenziali (identitari, locali) e trasversali (olistici, globali) promuovono logiche orientate a lavorare con una nuova complessità – e complicità – associata alla natura polifonica stessa della n-Città (Florida 2002; Carta, 2007; Ricci, 2013), il tutto integrando, in modo topologico, livelli sovrapposti e intrecciati di informazione attraverso schemi in rete/reti, topologicamente flessibili (pro-positivi e pre-positivi) multi- e poli-, infra- e intra-, inter- e





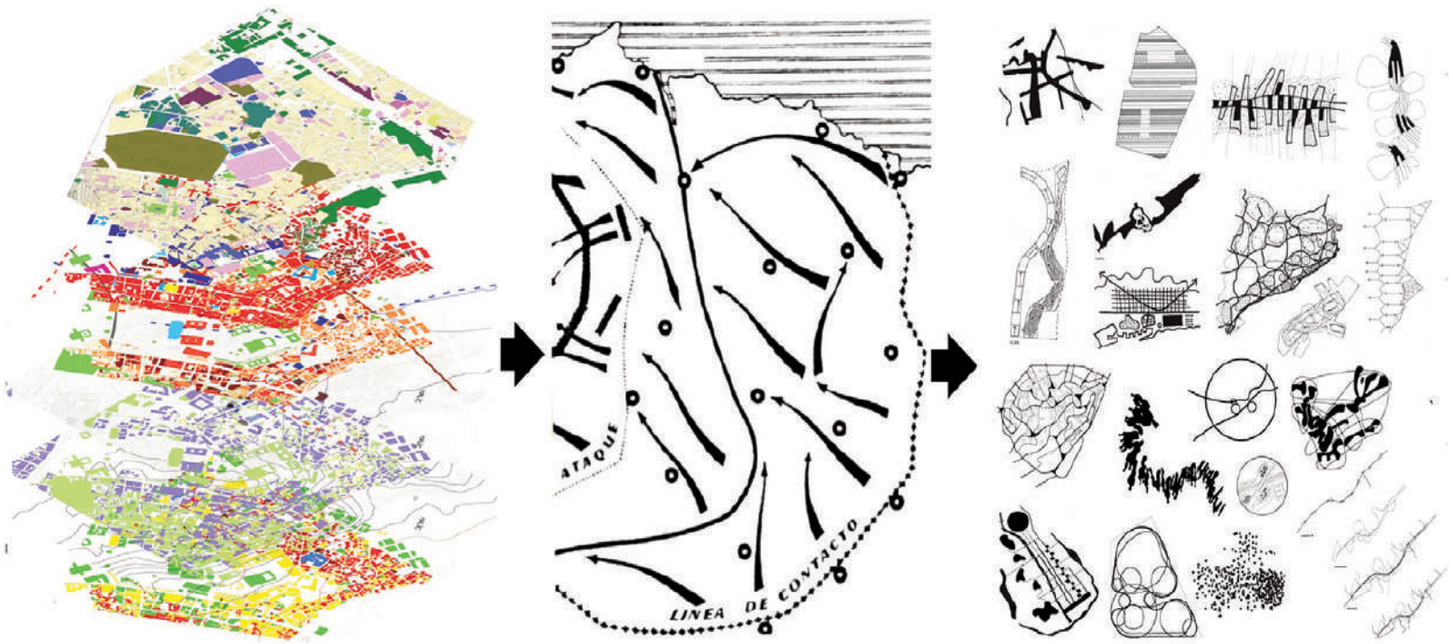
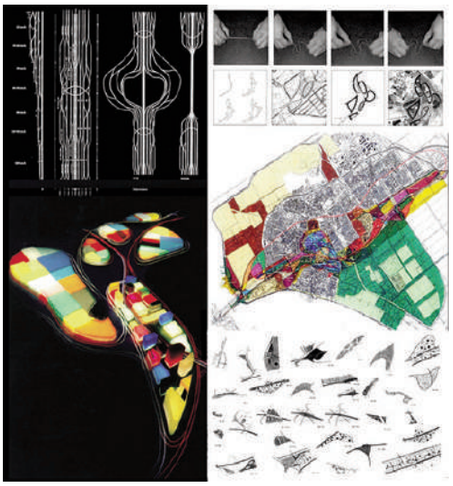
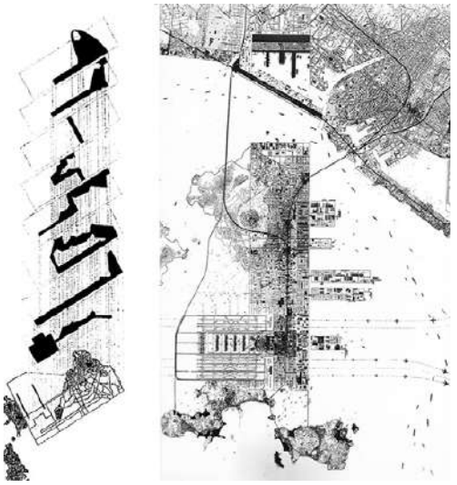
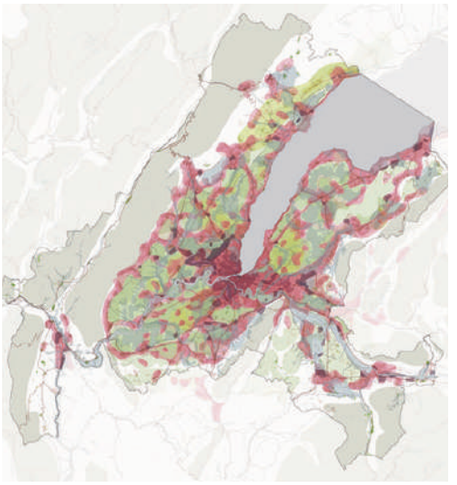
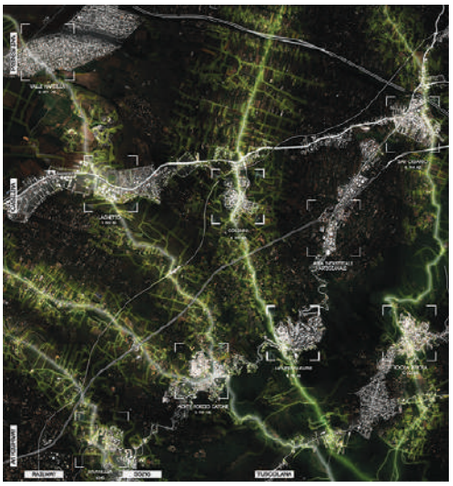
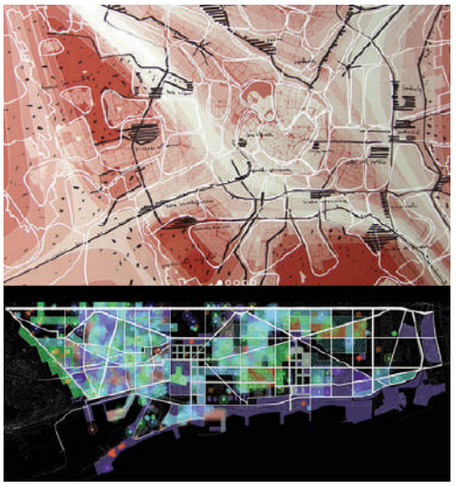
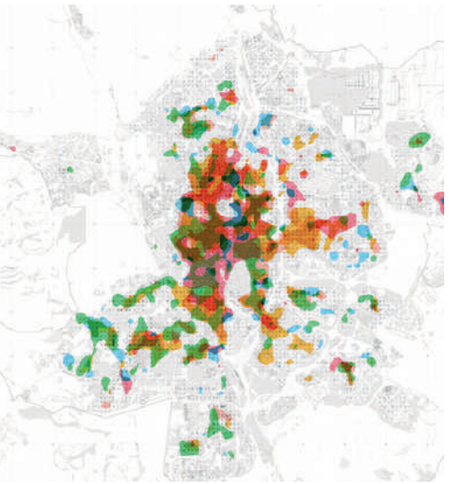


Fig. 9 | Multi-layer City: Multi-scalar Overlays; GIS Analysis Maps (credit: Gausa and Nabito, 2010; S. Perella, 2010).

Fig. 10 | New operational maps: Maps of abstract data and digital simulations of variable density urban processes (credit: Ballesteros-Barahona, 2008; M. Gausa, 2018).

Fig. 11 | n-Cities: complex analyses and strategic syntheses: Battle-Maps (strategic battle maps) for a multilevel and multi-scale urban approach (credit: M. Gausa, M. Marengo, and GicLab, 2012).

trans-, exo- ed endo-, tecto- e techno-, proto- e topo-, co- ed eco-, hyper- e info- strutturali.

Gli schemi devono essere capaci di favorire l'integrazione di reti più immateriali (socio-ambientali) tradotte in una nuova urbanità civico-affermativa più (e)co-attiva, reattiva e responsiva. Oggi nuovi dispositivi sensoriali (moltiplicati da sistemi online e on-real-time) consentono agli spazi urbani di trasmettere la propria storia o proprietà, di gestire il livello di comfort ambientale, di variare temporaneamente la configurazione, ma anche di cambiare il colore, le texture, l'illuminazione e le funzioni (miste) o bio-strutturali (ibride) nel tempo.

Ma una tale condizione intrecciata (e orientata) tra informazioni, realtà, dati, ambiti e ambienti è sufficiente ad assicurare nuove definizioni / organizzazioni qualitative, spaziali e relazionali, nella complessità dei territori urbani? Forse no se questa si limita alla pura gestione e ottimizzazione smart (tecno-informativa), poiché un valore aggiunto importante, legato alla forza concettuale, strategica e poetica, del sistemico e del sensuale (inteso come narrativamente comunicabile e trasmissibile), è necessario per garantire possibili 'orizzonti' condivisi e condivisibili tra sistemi sociali, spaziali e territoriali, tanto esplicitamente complessi quanto implicitamente (inter)connessi (Ricci, 2019; Gausa, 2018; Gausa, 2020). Coniugare informazione reagente e visione attraente è sempre più una delle grandi sfide che deve fronteggiare il nostro tempo per assicurare nuovi rapporti concertati con l'ambiente e tra gli ambienti, attraverso scambi o interazioni chiamati a unire concezioni, combinazioni e connessioni (multivalenti e polivalenti) del tipo on-set, on-net, on-site e on-line, oltre che in motu e in situ.

L'avventura che ha sostenuto tutte queste visioni (pro)positive – determinate a sconfiggere il nichilismo urbano o la critica scettica – mostra un intenso desiderio di abbracciare la cultura attuale, rivendicando l'importanza e il ruolo dell'architettura e dell'urbanismo contemporanei, associati a una nuova logica interpretativa e creativa, tecnologica e scientifica, sociale e politica (Fig. 20). Possiamo parlare infatti di un'avventura culturale collettiva (e non di un mero elenco di 'marchi', più o meno iconici), decisa a coniugare attività progettuale e riflessione intellettuale per continuare a definire qualitativamente i nostri habitat, il tutto in accordo con le preoccupazioni e le richieste ambiziose – piuttosto che con le inerzie contingenti – della società stessa poiché la sinergia 'in', 'tra' e 'con' corrisponde a un frame ambientale e a una vocazione integrale / integrativa – inform(azion)almente – più complessa.

Around the mid-20th century, almost simultaneously, groundbreaking contributions were made in various fields of knowledge linked to telecommunications, computing, and technological and digital development. For instance, IBM's advancements in computational systems (instrumental for the Apollo Moon landing in 1969) and the implementation of Windows-based technologies preceded the first internet network tests in 1968. Studies on biological and thermodynamic entropic fluctuations (Prigogine, 1961), non-periodic flows and chaos theory (Lorenz, 1963), elementary particles (Gell-Mann and Ne'mann, 1964) and 'dynamic systems' (Forrester, 1969) anticipated the research of Benoit Mandelbrot (1975) on topologically irregular natural processes, known as 'fractals'. The discovery of the triple helical structure of DNA (Crick et alii, 1961) and the launch of the Human Genome Project also joined considerations raised in Silent Sprint (Carson, 1962) and the Gaia Hypothesis (Lovelock, 1972), fostering a critical environmental awareness that would develop in subsequent years (Gausa and Vivaldi, 2021).

The cited research and discoveries proposed a holistic correlation among elements, systems, and environments in a multiple (and dynamic) evolution, a vision crystallised in a new operational logic associated with more complex (and relational) interpretations and constructions, not only of physical space (and hence architectural space) but also of our habitats. This logic focuses on the development of processes (and systems) rather than object (and episodic) design: these evolving systems (plural, mutable, irregular) indicate a shift from a static, figurative conception of space to a dynamic and relational one, which is more transversal and interactive. This embodies a new complex logic associated with a new tripartite concept of space / time / information with

Previous page

Fig. 12 | Land-Links, Network-City, Mesh-City: interwoven developments in variable networks, proposed for Almere South (credit: MVRDV, 1998-2000).

Fig. 13 | Land-Links, Network-City, Mesh-City. Seoul New City-Airport Project, the city as a differential system of programmes and configurations (credit: Rem Koolhaas, OMA, 1995-96).

Fig. 14 | Land-Links, Network-City, Mesh-City: 'projet pour le Grand Genêve', interwoven developments in networks (credit: M. Topalovic – ETH Zurigo, F. Hertweck – UniLux, and R. Jenni – Rambureau, 2020).

Fig. 15 | Land-Links, Network-City, Mesh-City: project for the Roma 2025 Consultation, 'Sistoli and Diastoli in rete / reti' for the Roman countryside (credit: IAAC, S. Brandi, M. Ingrassia, and M. Gausa, 2015).

Fig. 16 | Re-Citying: re-naturalisation and interconnection project with development rings and arcs in Milan, designed by Metrograma (2007-2008); Barcelona-Mar, Multi-Ramblas, mixed green belt programmes, designed by Actar Arquitectura + Intelligent Coast (2010).

Fig. 17 | Smart-Cities, Intelligent Cities: a cartogram of Madrid with flow variations according to the density of geo-localised 300 thousand km data (credit: Architetti, 2017).

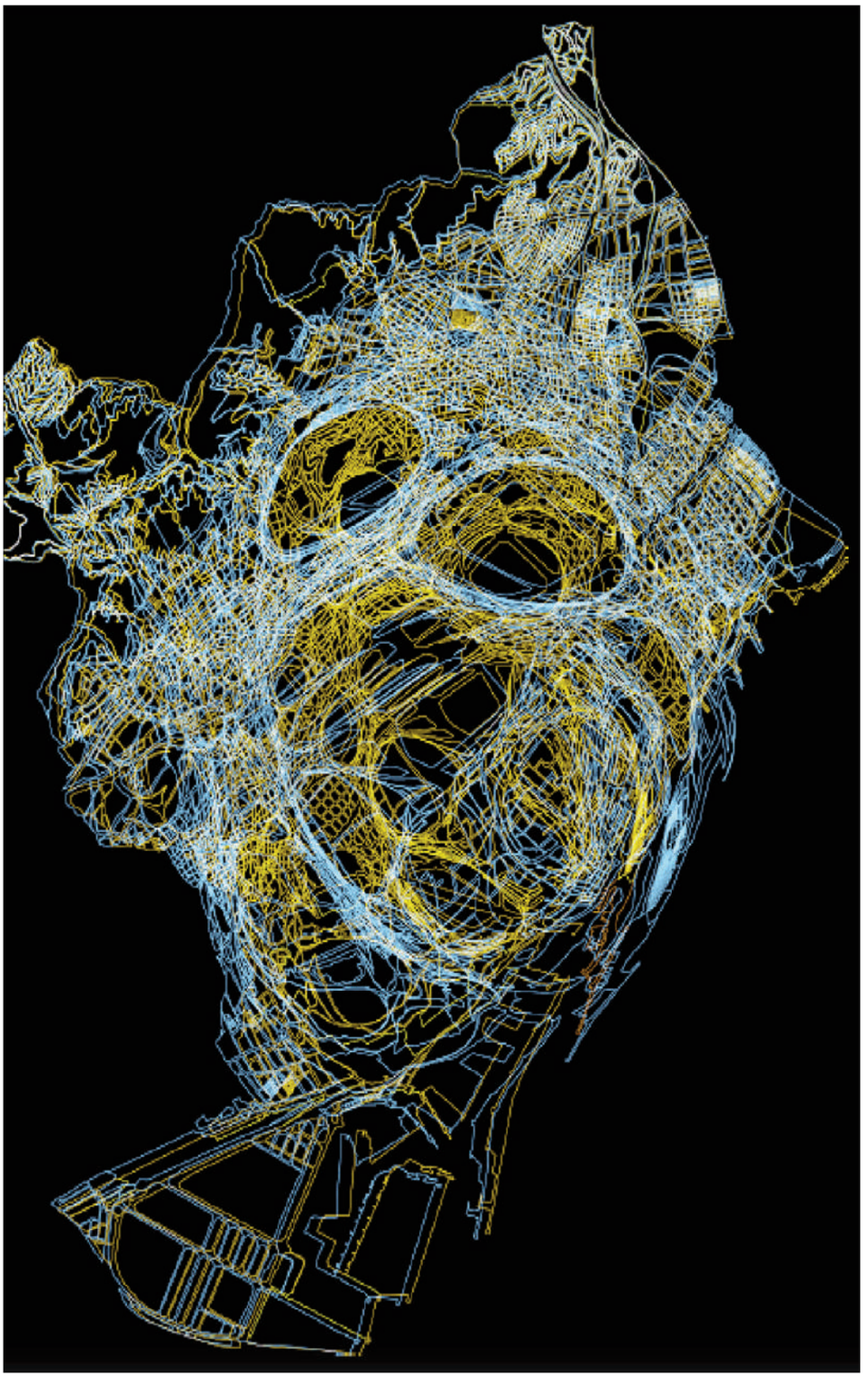


Fig. 18 | Smart-Cities, Intelligent Cities: a cartogram of Barcelona deformed according to the density of geo-localised 300 thousand km data (credit: Architetti, 2017).

diverse scientific and cultural implications (Gausa Navarro, 2018; Fig. 1).

Complexity and dynamic systems: spatiotemporal and urban-territorial organisations | The term complex – from the Latin 'complexus' ('cum + plectus', 'woven' or 'intertwined') – defines a 'multiple and relational whole or process, connected to form a common organism or system' [1]. In the renowned dialogue Journey into Complexity between physicist Giorgio Parisi and philosopher Mauro Ceruti, the latter notes that we might say something complex is intertwined or repeatedly coiled, where complexity evokes a plurality of components and simultaneously an idea of unity, almost an oxymoron (Parisi and Ceruti, 2013). Complex systems, as identified, are heterogeneous (or plural) systems comprising multiple and interdependent informational structures and/or agents whose evolutionary paths translate into multi-scalar (global and local) symbiotic phenomena of reciprocal interaction and relationship (Gausa, 2003).

This notion of complexity refers to the simultaneous ability to combine and activate (or rather, inter-activate) multiple layers of information, not always harmonious, within a single infrastructure of exchange (Fig. 2). Within or among these 'interwoven' structures (or organisms), diverse informational interactions, exchanges, and consequently dynamic changes, evolutions, or variations occur with varying degrees of holistic impact (from the Greek term 'holon', meaning 'a common whole') on their entropic development properties (Glansdorff and Prigogine, 1971; Brans, Stengers and Vincke, 1996). However, complex and dynamic systems should be considered together (Ekeland, 1995).

Unlike 'complex' systems, 'complicated' processes may also exhibit a profusion of situations that do not imply mutually evolutionary and/or constructive (relational and/or synergistic) interactions but are somewhat purely cumulative and sometimes conflicting. The definitions of these processes would be limited to a single level rather than interconnected and woven levels (Parisi and Ceruti, 2013). Paraphrasing the definition from the Treccani Dictionary[2], a qualitative characteristic of a complex system is the (con)figuration of a cohesive or organic aggregate, intertwined and composed of interacting parts, which confers properties upon the whole that do not arise from the mere juxtaposition of parts. This is the specific property of complex systems, whose variability in manifestation suggests a new investigative methodology, as opposed to the traditional

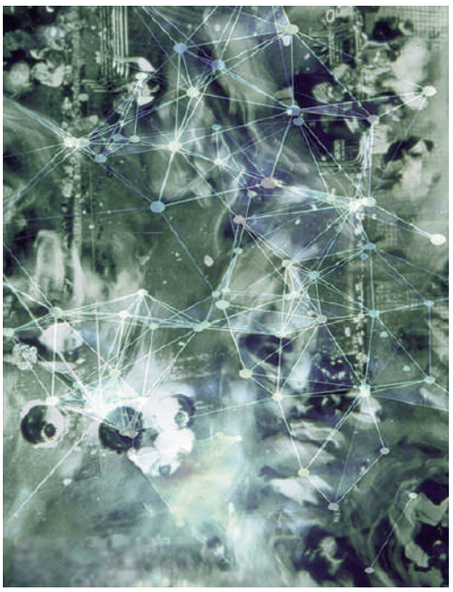


Fig. 19 | Co-Cities, from a new collective intelligence to a new urban mediation: information and interaction combined in spontaneous and participatory technological solutions (photo by A. Goula; collage by M. Gausa).

tendency to reduce everything to the simple or essential.

Climate change, demographic shifts, economic fluctuations, traffic flows, employment processes, natural configurations, the human brain and its neural connections, social organisations, and their political and/or spatial interpretations are some examples of complex dynamic systems; generally, our habitats can be considered mutable environments, with unpredictable, variable, and heterogeneous behaviours that lead to the emergence of unexpected evolutionary phenomena, linked to processes of (pseudo)spontaneous self-organisation, nonlinear development, and differential recursion (Fig. 3). Cities and territories are also complex, entropic dynamic systems (often unnecessarily complicated). The phonetic fusion between complexity and 'city' in several languages (CompleCittà) proves surprisingly revealing.

In both cities and dynamic, irregular (chaotic, in the scientific sense) systems, the movements and trajectories of constituent elements in conditions of free development and expansion tend to evolve spontaneously and unpredictably (Becker et alii, 1994; Helbing et alii, 1994; Ekeland, 1995; Fig. 4). However, despite this apparent 'formal indiscipline', the multiple trajectories and evolutions generally refer to essential criteria or models that serve as 'horizons of certainty', underlying specific processes: action criteria or generating impulses capable of directing the trajectories by referring them to nuclear 'instructions' (patterns) that modify, alter, adapt, transform, and ultimately evolve 'within' and 'with' the environment (Helbing et alii, 1994). Consequently, it would be possible to model, to some extent, complexity to forecast a potential structure and project it in terms of a conceivable 'operational recursion', more or less systemic, a pseudo-determined indeterminacy, according to James Forrester (1971).

Cities and territories follow evolutionary processes of self-organisation or pseudo-organisation, increasingly diverse, discontinuous, and disjunctive, with variable movements of fluctuation that generate diverse configurations of 'full', 'empty', and 'link' spaces. These elements appear independent and varied yet are inherently interconnected (and conjugated) through different, topologically intertwined networks (Batty and Longley, 1997; Figg. 5, 6). The matrix-like combination of full /empty / link, volume / surface / grid, and between-space in / between-space / inter-space (or trans-space) reveals a new paradigm among Nature, Landscape, and City, with topologically complex, fluctuating, or fractal geometries (Fig. 7).

It has already been noted how the digital revolution has progressively accompanied the expansion of the traditional city – with more or less recognisable centres and peripheries – toward new, increasingly extensive, multifaceted, and irregular structures. This shift is leading to configurations that can be understood as 'poly-centres' and 'para-peripheries', 'peri-urbanities', and 'meta-urbanities', in which 'urbs', 'natus', 'technos', and 'structus' coalesce simultaneously (Schröder et alii, 2018; Gausa and Ricci, 2014).

In the accelerated transition between centuries, the former walled city (Site-Cite-City) has oscillated toward a new dispersed poly-urbanity (Sprawl City, Ink-stain City, Spot City or Patchwork City) characterised by conflicting environmental consequences and random dynamics due to the lack of holistic strategies capable of guiding uncertain and unruly processes. We thus find ourselves facing urban organisms that are increasingly called upon to highlight, in an increasingly 'explicit' manner, their own 'implicit' condition. This is characterised by a 'system of systems' that are complex, heterogeneous, plural, and simultaneous in an accelerated, dynamically variable evolution and, therefore, systematically and substantively in a complex state (Ascher, 1997; Batty and Longley, 1997; Gausa, 2003).

The Past-City with urban revisionism, the Patch-City (or Net-City) with the development of its infrastructures, and the Icon City with objectivity have characterised contemporary urban models with greater or lesser incidence depending on the contexts. These are models that cultures (especially Western ones) have explored in the face of a confused (and diffuse), multiple and multiplied dimension of new territories of (inter)relation, destined to alleviate the perplexity of a discipline – that of urban planning – trapped in a self-referential spiral of old and new determinist forms / formulas, understood as mechanisms of action. With their forms / formulas, these models can now not address the challenges of a new, metabolically impure and evolutionarily unpredictable city, with a growing ability to combine information and interaction parameters (of interpretation and exchange) in overlapping, simultaneous layers. Neither the first model (formalistic), the second (structuralist), nor the third (object-based) can respond to the challenges of this multi-city system (a process city in constant evolution) that is increasingly promiscuous and systemically complex (Barahona and Ballesteros, 1997; Gausa, 2018).

Complexity and n-City: operational maps and battle maps | If the modern, post-modern metropolis has succumbed in the face of the post-postmodern 'metapolis', this is now – in the midst of the information age – declined as a possible Multi-polis (or Poli-Polis): a contemporary n-Polis or n-City (Gausa and Vivaldi, 2021). The concept of the n-City translates to that complex, multilevel condition in which a new type of systemic organism accentuates the degree of information interaction as the exchanges between the city's dynamic and decidedly heterogeneous and diverse systems and subsystems of interpretation and structure increase.

The term n-City alludes – referring directly to the mathematical universe – to a differential condition elevated to the 'n' (nth) power (determinable and indeterminable at the same time), to the nth (multiple and multiplied) overlapping sequences of information interactions that define the multiple and apparently 'dis-orchestrated' organism (the city), but also to the faculty, in parallel, to direct it from possible latencies, presences and valences that are as immanent as they are inherent and inter-falling.

The term n-City would refer to an organism that would not only be built today based on more or less substantial formal criteria but would be dynamically and constantly defined and redefined through varied processes of combination between simultaneous multi-scalar levels (or layers) of information and overlapping (physical and geographical, but also demographic, ecological, economic, socio-political, socio-cultural, etc.) and networks or meshes of interconnection and interrelatedness (infrastructural, technological, transport, energy, communication, flow and/or connection, etc.), between which simultaneous processes of conjugated action and reaction are triggered depending on their greater or lesser capacity for interaction, efficiency and complementarity (Fargas and Papazian, 1992; Barahona and Ballesteros, 1997; Gausa, 2018).

The strength and weakness of this complex scenario lie precisely in this constant dynamic of mutation, renewal, transformation, variation, construction and recycling through changes and exchanges between layers, states, stages and possible scenarios (Figg. 8, 9) that invite one to recognise some of the multiple levels of definition associated with the system's capacities and potentialities, in order to strategically orient them through new operational criteria (or vectors) and new logics – collectively and qualitatively (pro)active – aimed at generating operational strategies (and evolutionary formulations) with a sensitive and systemic approach, capable of intentionally synthesising selective planes of information and connective networks of interaction into new sets.

Working with maps / analytical schemes and/or informational (tendential) but also strategic and/or relational (intentional) help to formulate and combine structures and processes, capable of recording and selecting the most relevant data (or levels), (re)processing them, condensing and (inter)activating them better to combine their more qualitative projections (Fig. 10), if not all of them at least those most potentially incidental and instrumental.

The advancement of info-graphic computation (GIS, Photoshop, Illustrator, Rhyno, Grasshopper, BIM, etc.) has been essential for a fertile association between an 'operational map' (processor) and 'battle map' (instructor), approaching an effective combination of 'analytical map-scheme' and 'synthetic map-ideogram' as a possible simultaneous formulation between recognition, registration, representation and re-information (Gausa, 2018; Fig. 11). In particular, the so-called 'battle maps' (Gausa, 2012) would be aimed not only at describing a territory but at projecting it in order to foresee, anticipate and orientate its future evolutions; they can be interpreted as operational systems of recognition and repositioning, thus critical diagnoses and active responses at the same time), tools capable of synthesising effective bets between possible events and move-

ments, relations and variations, referring to basic models of organisation (criteria of action).

Complexity and n-City: towards a new advanced urbanism | Exploring new 'multinter' strategies, i.e. multilevel and inter-network, multi-territorial and inter-urban, multi-scalar and inter-relational, but also 'multi-(m)plicative' and inter-active, represents the challenge of this new type of approaches generated by the development of the informational revolution itself, determined to work with the logic of the complexities proper to an organism in constant entropic evolution (Nel.lo, 2001; Rueda, 2011; Gausa, 2019) reformulating the practices, but also the terminologies of traditional urbanism ('urbs+istica', i.e., 'belonging in substance to the city') through the lemma, coined by Ildefons Cerdá (1867; Rueda, 2011), 'urbanism' ('urbs+ismus', i.e., 'connected – qualitatively – to the city').

This determines a new mode of operation with transversal (or transdisciplinary) approaches called to work with new spatial formulations and digital technologies, new environmental sensitivities and new social expectations, but above all with an equation for a new multilevel 'vision' based on the 5IN: INformation + INteraction + INtegration + INnovation (Gausa, 2018). Acknowledging, exploring and 'adjectivalising' this scenario, generated beyond the traditional narratives of the 'return to history' of the 1970s and 1980s or the 'return to technology' of the 1980s and 1990s or the 'return to design' (and the object) of the 1990s and 2000s, has stimulated much of the research that has characterised the last decades (Gausa and Vivaldi, 2021).

As we pointed out earlier, after years of historical revisionism and instrumental (modern and post-modern) calligraphy, the last decades of the 20th century were characterised by the impact of the digital universe and the computational component, hardware and software. The growing pioneering interest in new readings of the multifaceted, irregular and multi-layered city – Fractal City, Multi-layer-City – can be found in many of the explorations oriented towards a more complex (analytical-synthetic) recognition of the urban condition and its possible intersection with nature (Fargas and Papazian, 1992; Batty and Longley, 1997).

Since the early 2000s, we have witnessed the development of the digital era with the definitive establishment of the Internet, with the exponential growth of Web 2.0, called upon to standardise (thanks to the www.) access protocols, connectivity, and with the appearance of the first social-networks, the latter destined to foster a new framework of interconnected relations and exchanges, not only operationally 'virtual', but 'real' in their socio-economic, cultural, environmental and spatial consequences, thanks also to the substantial increase (since 2007) of applications for smartphones (Gausa and Vivaldi, 2021).

If the post-modern city-territory had revealed itself as a complex 'poly-territory' of relations, apparently intended to favour the widespread implementation of uses and functions on an extended and 'discontinuously' accessible 'arterial' terrain, thus 'within reach' (Harvey, 1985; Rueda, 2011), the qualitative – and not speculative – evolution of this new urban-territorial organism thus contemplated, highlighted the need to foster not only more responsible socio-economic and urban-territorial approaches, but also new devices of relationships and coordination between places and intra-places, systems and sub-systems, 'in networks and networks' (Gausa, 2009; Fig. 12).

The reading and articulation of this diversified and integrated condition (in networks and nets) looms as a progressive shift from the very notion of network / net (the old paradigm of the neo-modern metropolitan city) to the concept of network / net, understood as a new connective / distributive logic, more flexible, elastic and plural, aimed at defining a new paradigm of urban-territorial geo-urbanity. This has created a multi-scalar, dynamic and decidedly unfinished scenario of potentially interconnected co-existences and experiences with (singular, local) sites and situations concerted in systems or schemes, understood as common, plural and global 'traits and contracts' (Fig. 13).

The term Network-City (or Mesh-City) highlights this desire to explore a 'geo-ordered' (networked and networked) organisation conceived as a 'dis-dense' (discontinuously dense) vibrating system of systoles (of compression and/or intensification) and diastoles (of expansion and/or articulation). This system is thus affirmed in its various nodal spaces as well as in its broad internodal areas, in which nuclei of variable density, diversified mobility flows, operational landscapes and collective spaces of relational vocation, but also, plots and heritages (historical or modern) or existing environmental values (to be consolidated) and new mixed, innovative or emerging developments combined in mosaics of variable density and spatiality, topologically and ecologically intertwined (Gausa, 2003, 2009; Figg. 14, 15).

It is, therefore, a matter of moving from an extra-urban territory to an inter-urban territory, reinforcing and reactivating existing structures (multi-city as a polycentric and poly-focal system), coordinating the different landscape matrices (landscape as an operational system) and articulating the different interconnection systems (mobility and urban planning as mixed systems), through models and policies designed to combine global logics and local declinations in new formats aimed at facilitating 'confederated', diversified and 'asymmetrically' balanced – cooperating – structures capable of articulating new supra-municipal competences and values (Nel.lo, 2001; Puig Ventosa, 2011).

The notion of Re-Citying (which can also be interpreted phonetically as Re-Siting) alludes to urban redefinition (city as re-informed matter) in which the exploration of multi-urban approaches (networked and networked) allows for the reactivation of the city-nodal and the exploitation of pre-existences, starting from a development that is more than endogenous, 'endo-generative' and inductive. It is a matter of moving from an outward movement of city expansion, moving simultaneously to an inward movement (Fig. 16), from material and expansive growth to relational (and environmental) intensive development.

And specifically, it is about consolidating and reinforcing (reactivating, recycling and 're-naturalising') nodal centres through the formulation of new, more porous and eco-structural patterns, textures and diversified circuits, as well as through the reformulation – or re-information – of the old urban factories (historical neighbourhoods or modern peri-urbanities); to connect (re-articulating and re-urbanising) the dispersed 'auras' (or spots) caused by diffuse peri-urban expansion of delineating and/or reshaping (re-profiling) the edges (perimeters, margins, limits) through new operations of architectural / landscape reinforcement; of connecting at different scales nodes and margins by recovering ramifications and internal meshes in order to transversally relate city, infrastructure and landscape to promote operations of city-city condensation, city-landscape transition or city-infrastructure redevelopment through new

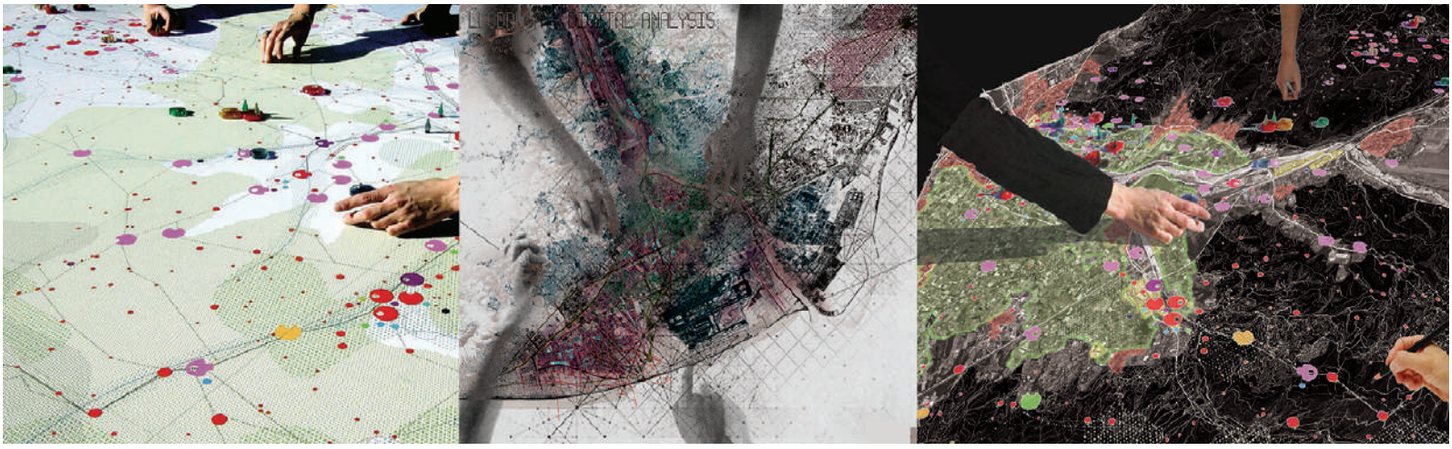


Fig. 20 | Factors PRO, Pro-positively Managing the Complex City: Catalunya a map of strategic games (credit: Soriano-Palacios, Ricerca HiCat, 2003); Baix Llobregat Agricultural Park, a park of parks (credit: Actar Arquitectura and Gic Lab Unige, 2017-2019); Albenga, Glass City, new integrative strategies (credit: GicLab Unige, 2015-2016).

textures, sections, circuits and matrix models (Gausa and Ricci, 2014; Fabian and Munarin, 2017; Gausa, 2022).

In the face of the mechanistic dynamics of the diffuse city, but also the face of the paradigm of the large compact and homogenising city, a third way tends to defend this new 'interwoven' or 'interlaced' definition of the n-City, agreed (and tuned) to the conditions and geographical characteristics of its contexts: conceiving the city 'outwards and inwards', promoting operations of inter-urban connection (or reconnection), but also of urban reinforcement (and recycling) with restructuring and/or reprogramming interventions, and increasingly supporting the very idea of landscape not only as a residual and interstitial void but as an authentic operational, productive, performative and inter-connective system, open to use, activity or mixed programming in synergy with the multidimensional patterns – interwoven mosaics – generated by textiles and tesserae (Gausa, 2009; Llop, 2011; Rueda, 2011).

Complexity and n-Cities: interaction and interactivity | The second decade of the 21st century has already metabolised an exponential development of networked digital technologies (smartphones, apps, big data, real-time data) that have multiplied the potential for interaction between spaces, contexts, media and users, thus initiating a phase of new capabilities, destined as they are to rapidly assume a hybrid condition – physical and virtual, material and immaterial, natural and artificial, biological and xenological – of contemporary '(hyper)reality' (Gausa and Vivaldi, 2021).

The concepts of Smart-Cities, Sense-Cities or Intelligent-Cities (in the second decade of the 21st century) define a new type of urban 'management' in which the city tends to be understood as a meso-informational system (a 'milieu' between conditions and information). This system is intended to integrate, process and hypothetically improve various urban factors and services for – theoretically and tendentially – more positive, safe and qualitative spaces, promoting more efficient (online and on-real-time) management of traffic, energy, water, health, waste, uses, activities, environmental hazards and threats, agricultural productivity and a more balanced land-use oriented operating landscape (Komninos, 2008; Ratti and Claudel, 2016).

This is a trend that at the end of the first decade of the 21st century seemed to lead the n-City towards a progressively parametric (and parameterisable) dimension, in which the very notion of information was understood as data or indicators – economic, functional, environmental, etc. – as implicitly optimised as explicitly optimised (Ratti and Claudel, 2016; Tucci and Ratti, 2022). The exploration of this new capacity, both active and reactive (responsive and adaptive), is instead combined with a 'hyper-connective' condition attentive to processes that are not only participatory but co-productive (co-decisive and co-decision-making), which become factors in systematics progressively expanded in its performance, definitions and applications (Figg. 17, 18).

In this sense, the concept of Co-Cities alludes today to the exploration of a new paradigm: that of the 'cooperated' (conjugated, connected and co-participated) city and its translation towards a collective (shared), connective (inter-connected) and corrective (sustainable) – co(ll/nn/rr)ettive – more synergistically (and empathically) involved and inter-communicated (Common Cities, Learning-Cities & Smart Citizens etc.), called upon to explore a new type of social and environmental interaction (and interactivity), decidedly 'co-acting' (Latour, 2007; D'Arienzo and Younès, 2018; Fig. 19).

A new logic is thus defined, again, diverse, dynamic, interwoven and complex, aimed at combining a super-technology of connectivity and exchange (data, messages and experiences, information and mobilisations) with a willingness for direct and spontaneous action, not necessarily hyper-technological, but decidedly active and activist, 'inter-active' and 'inter-activating', linked to a more performative and operational dimension of public space as a relational, operational and performative space, a new space-interface, decidedly (inter)active, between city and citizens, host environments and host species, biological agents and ecological flows both urban and inter-urban (Gehl, 2010; Markopoulou, 2015).

This new logic is sensitive (more eco- and socio-empathic) to increasingly heterogeneous and complex spheres and environments, progressively exposed to situations of risk, deficit, conflict and vulnerability, conditions that constitute devastating criticalities for the most fragile populations (urban and human stress, environmental risk, housing and food deficits, pollution, carbonisation, migration, ghettoisation, rising poverty thresholds, etc.) and problems associated with (geo)urban complexity itself, which needs to explore processes that are resilient and intelligent at the same time – 'resili(g) ents' – open to technological, strategic and creative innovation (Gausa, 2020; Canessa, 2020).

Complexity and new challenges: Co-In declinations | In the research of the period characterised by the digital revolution and a new urban-territorial informational logic, the binomial Co-In (associated with the notions of Complexity and Information) is repeated recursively with different declinations linked to other periods of recent history: Combinatoriality / Interchange 1990-2000; Connectivity / Interaction 2000-2010; Community / Interactivity 2010-2020. In all these cases, however, the importance of the Conceptuality / Interactivity binomial is evident. These Co-Ins represent the 'bargaining chip' on which the very evolution of the concept of 'space / time / information' and a new, more complex and holistic thinking has been played out, united by the firm conviction that beyond purely efficient management, the city and its citizens continue to need conductive concepts, criteria for action and common, shared imaginaries (Gausa and Vivaldi, 2021).

Today, it is a question of rethinking the possible propositional quality implicit in the new geo-urban (urban and inter-urban) scenario of inter-polarity and inter-nodality, of landscape and 'pa(e/s)essages' of encounter, connectivity and walkability (infra- and eco-structural). It calls for a new multi-relational understanding of place and context (as an 'articulated', networked field of forces), but also of our habitats understood as hybrid, mixed formats, between programmes, flows, uses, users and agents (sociological and biological).

Innovation, conservation and mutation, protection and transformation, prevention and induction, heritage and innovative values, environmental and incidental factors, sensory (and sensitive) and sensory (or sensual) spaces, referential (identity, local) and transversal (holistic, global) scenarios promote logic oriented to work with a new complexity – and complicity – associated with the very polyphonic nature of the n-City (Florida 2002; Carta, 2007; Ricci, 2013), all by integrating, topologically, overlapping and interwoven levels of information through networked, topologically flexible (pro-positive and pre-positive) multi- and poly-, infra- and intra-, inter- and trans-, exo- and endo-, techto- and techno-, proto- and topo-, co- and eco-, hyper- and info- structural schemas.

Schemes must be able to foster the integration of more immaterial (socio-environmental) networks translated into a new civic-affirmative urbanity that is more (e)co-active, responsive and responsive. Today, new sensory devices (multiplied by online and on-real-time systems) enable urban spaces to convey their history or ownership, manage environmental comfort levels, temporarily vary configuration, and change colour, texture, lighting and (mixed) or bio-structural (hybrid) functions over time.

However, is such an intertwined (and oriented) condition between information, reality, data, spheres and environments sufficient to ensure new qualitative, spatial and relational definitions / organisations in the complexity of urban territories? Perhaps not if this is limited to purely smart (techno-informative) management and optimisation, since a significant added value, linked to the strength of the conceptual, the strategic and the poetic, the systemic and the sensual (understood as narratively communicable and transmissible), is necessary to ensure possible shared and sharable 'horizons' between social, spatial and territorial systems, as explicitly complex as they are implicitly (inter)connected (Ricci, 2019; Gausa, 2018; Gausa, 2020). Combining responsive information and attractive vision is increasingly one of the significant challenges facing our time in order to ensure new concerted relationships with the environment and between environments through exchanges or interactions called upon to unite (multivalent and polyvalent) conceptions, combinations and connections of the on-set, on-net, on-site and online type, as well as in motu and situ.

The adventure that sustained all these (pro)positive visions – determined to defeat urban nihilism or sceptical criticism – shows an intense desire to embrace current culture, claiming the importance and role of contemporary architecture and urbanism, associated with a new interpretative and creative, technological and scientific, social and political logic (Fig. 20). Indeed, we can speak of a collective cultural adventure (and not a mere list of more or less iconic 'brands'), determined to combine design activity and intellectual reflection in order to continue to define our habitats qualitatively, all by the ambitious concerns and demands – rather than the contingent inertia – of society itself, since the synergy 'in', 'between' and 'with' corresponds to an environmental frame and an integral / integrative vocation that is decidedly – and inform(act)ally – more complex.

Notes

1) For more information, consult the RAE, Diccionario de la Lengua Española, Madrid.

2) In general terms, a complex system is a set of variable elements that are also strongly interconnected in their temporal evolution, so the single knowledge of each of them is not sufficient to establish the overall evolution of the system. Ecosystems, financial markets and the nervous system are examples of complex systems. Although there is no unanimous formal definition, it can be said that a complex system has specific essential characteristics: it is composed of a considerable number of interacting subsystems; it presents emergent characteristics, i.e. ordered behaviour resulting from interactions between subsystems when the subsystems themselves or their connections exceed a certain number; it is highly structured; it presents feedback mechanisms (whereby an output response also becomes an input stimulus); it is characterised by nonlinear dynamics that are sensitive to initial conditions. A large number of variables thus characterises a complex system, and observable behaviour depends to a large extent on how subsystems organise themselves and interact with each other. For the definition of 'complexity', see the webpage: treccani.it/enciclopedia/complessita [Accessed 16 September 2024]

References

Ascher, F. (1997), *Métapolis ou l'avenir des villes*, Odile Jacob, Paris.

Barahona, M. and Ballesteros, J. (1997), "La ciudad que no se ve", in *Fisuras de la cultura contemporánea | Revista de arquitectura de bolsillo*, vol. 5, pp. 118-161. [Online] Available at: dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2620142 [Accessed 7 October 2024].

Batty, M. and Longley, P. A. (1997), "The Fractal City", in *Architectural Design*, vol. 129, pp. 74-83.

Becker, S., Brenner, K., Frankhauser, P., Humpert, K., Kull, U., Schaur, E., Teichmann, K. and Wilke, J. (1994), "Selbstorganisationen urbaner strukturen", in *Arch+*, vol. 121, pp. 57-68.

Brans, J.-P., Stengers, I. and Vincke, P. (eds) (1996), *El tiempo y el devenir a partir de la obra di Ilya Prigogine*, Gedisa, Barcelona.

Briggs, J. (1992), *Fractals – The Patterns of Chaos – Discovering a New Aesthetic of Art, Science and Nature*, Simon & Schuster, New York.

Canessa, N. V. (2020), *Resili(g)ence – GOA Resili(G)ent City*, Actar Publishers, New York.

Carson, R. (1962), *Silent Spring*, Houghton Mifflin Co, Boston.

Carta, M. (2007), *Creative City – Dynamics*, *Innovations*, *Actions*, ListLab, Trento-Barcelona.

Cerdá, I. (1867), *Teoría general de la urbanización y aplicación de sus principios y doctrinas a la reforma y ensanche de Barcelona*, Imprenta Española, Madrid.

Crick, F. H. C., Barnett, L., Brenner, S. and Watts-Tobin, R. J. (1961), "General Nature of the Genetic Code for Proteins", in *Nature*, vol. 192, issue 4809, pp. 1227-1232. [Online] Available at: nature.com/articles/1921227a0 [Accessed 7 October 2024].

D'Arienzo, R. and Younès, C. (eds) (2018), *Synergies Urbaines – Pour un métabolisme collectif des villes*, Métis Presses, Paris.

Ekeland, I. (1998), "What is Chaos Theory?", in *Review (Fernand Braudel Center)*, vol. 21, issue 2, pp. 137-150. [Online] Available at: jstor.org/stable/40241422 [Accessed 7 October 2024].

Fabian, L. and Munarin, S. (eds) (2017), *Re-Cycle Italy – Atlante*, LetteraVentidue, Siracusa.

Fargas, J. and Papazian, R. (1992), "Territorio y Modelización", in *Quaderns d´Arquitectura i Urbanisme*, vol. 194, pp. 90-95.

Florida, R. (2002), *The rise of the creative class*, Basic Books, New York.

Forrester, J. W. (1971), "Counterintuitive behavior of social systems", in *Theory and Decision*, vol. 2, pp. 109-140. [Online] Available at: doi.org/10.1007/BF00148991 [Accessed 7 October 2024].

Forrester, J. W. (1969), *Urban Dynamics*, Pegasus Communications, Arcadia. [Online] Available at: anarch.cc/uploads/jay-forrester/urban-dynamics.pdf [Accessed 7 October 2024].

Gausa Navarro, M. (2018), "Periphery-Peripherals, 1980-2015 – From the Postmodern Era to the Information Age", in Schröder, J., Carta, M., Ferretti, M. and Lino, B. (eds), *Dynamics of Periphery – Atlas for a Creative Resilient Habitats*, Jovis, Berlin, pp. 62-75.

Gausa, M. (2022), "Topologie verdi e paesaggi oltre il paesaggio – 30 anni di ricerche avanzate sulla ibridizzazione del verde | Green topologies and landscapes beyond the land – A 30-year research on green hybridization", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 14-25. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1112022 [Accessed 7 October 2024].

Gausa, M. (2020), *Resili(g)ence – Intelligent Cities / Resilient Landscapes*, Actar Publishers, New York.

Gausa, M. (2019), "Resili(g)ence – Città Intelligenti / Paesaggi Resilienti | Resili(g)ence – Smart Cities / Resilient Landscape", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 6, pp. 14-25. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/622019 [Accessed 7 October 2024].

Gausa, M. (2018), *Open(ing) – Space-Time-Information & Advanced Architecture 1900-2000 – The Beginning of Advanced Architecture*, Actar Publishers, New York.

Gausa, M. (2012), "The diagram as a map of battle and negotiation", in Pyo, M. and Seonwook, K. (eds), *Architectural and Program Diagrams – Vol. 1 – Construction and Design Manual*, DOM Publishers, Berlin, pp. 216-247.

Gausa, M. (2009), *Multi-Barcelona, Hiper-Catalunya – Estrategias para una nueva Geo-Urbanidad*, ListLab, Trento and Barcelona.

Gausa, M. (2003), "Multiciudades, geourbanidades, hiperterritorios", in *Pasajes de arquitectura y crítica*, vol. 51, pp. 46-49.

Gausa, M. and Ricci, M. (2014), *MedNet Report 0.1 – Report Convegno Med.Net.It*, ListLab, Trento and Barcelona.

Gausa, M. and Vivaldi, J. (2021), *The Threefold Logic of Advanced Architecture – Conformative, Distributive and Expansive Protocols for an Informational Practice – 1990-2020*, Actar Publisher, New York.

Gehl, J. (2010), *Cities for People*, Island Press, Washington (US).

Gell-Mann M. and Ne'mann, Y (1964), *The Eightfold Way – A Review with a Collection of Reprints*, W.A. Benjamin Inc. Publishers, New York.

Glansdorff, P. and Prigogine, I. (1971), *Thermodynamics Theory of Structure, Stability and Fluctuations*, Wiley-Interscience, London-New York.

Harvey, D. (1985), *The Urbanization of Capital – Studies in the History and Theory of Capitalist Urbanization*, Johns Hopkins University Press, Baltimore.

Helbing, D., Hilliges, M., Molnar, P., Schweitzer, F. and Wunderlin, A. (1994), "Strukturbildung dynamischer Systeme", in *Arch+*, vol. 121, pp. 69-75. [Online] Available at: researchgate.net/profile/Frank-Schweitzer/publication/245078447_Strukturbildung_dynamischer_Systeme/links/00b7d51dd54315597f000000/Strukturbildung-dynamischer-Systeme.pdf [Accessed 7 October 2024].

Ho, M.-W. (1997), "The New Age of the Organism", in *Architectural Design Profile*, vol. 129, pp. 44-51.

Ito, T. (1994), "Der Vorhang des 21 Jahrhunderts", in *Arch+*, vol. 119/120, pp. 32-35.

Komninos, N. (2008), *Intelligent Cities and Globalization of Innovation Networks*, Routledge, London.

Latour, B. (2007), *Reassembling the Social – An Introduction to Actor-Network-Theory*, Oxford University Press, New York.

Llop, C. (2011), "De les solucions habitacionals a la construcció social de l'hàbitat – Del dret a l'habitatge al dret al plaer d'habitar!", in Gausa, M. and Cros, S. (eds), *Cap a un Habitat(ge) sostenible*, Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya (CADS), Generalitat de Catalunya, Barcelona, pp. 113-116.

Lorenz, E. N. (1963), "Deterministic Nonperiodic Flow", in *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 20, issue 2, pp. 130-141. [Online] Available at: scott.physics.ucsc.edu/pdf/lorenz_1963.pdf [Accessed 7 October 2024].

Lovelock, J. E. (1972), "Gaia as seen through the atmosphere", in *Atmospheric Environment*, vol. 6, issue 8, pp. 579-580. [Online] Available at: doi.org/10.1016/0004-6981(72)90076-5 [Accessed 7 October 2024].

Mandelbrot, B. (1975), *Les Objets Fractals – Forme, Hasard et Dimension*, Flammarion, Paris.

Markopoulou, A. (2015), "In(Form)ation – Architecture of Data & Code", in *IaaC Bits*, vol. 1, pp. 1-13. [Online] Available at: issuu.com/iaacbits/docs/1.3.3_areti_markopoulou/0 [Accessed 7 October 2024].

Nel.lo, O. (2001), *Ciutat de ciutats – Reflexions sobre el procés d'urbanització a Catalunya*, Editorial Empúries, Barcelona.

Parisi, G. and Ceruti, M. (2013), "Viaggio nella Complessità", in *formulas.it*, 07/12/2013. [Online] Available at: formulas.it/sito/viaggio-nella-complessita/ [Accessed 7 October 2024].

Prigogine, I. (1961), *Introduction to Thermodynamics of Irreversible Processes*, Wiley, New York.

Puig Ventosa, I. (2011), "Polítiques econòmiques locals per avançar cap a formes més sostenibles d'habitatge i d'ocupació", in Gausa, M. and Cros, S. (eds), *Cap a un Habitat(ge) sostenible*, Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya (CADS), Generalitat de Catalunya, Barcelona, pp. 51-56.

Ratti, C. and Claudel, M. (2016), *The City of Tomorrow – Sensors, Networks, Hackers, and the Future of Urban Life*, Yale University Press, New Haven.

Ricci, M. (2019), *Habitat 5.0 – L'architettura nel Lungo Presente*, Skira, Milano.

Ricci, M. (2013), *New Paradigms*, ListLab, Trento.

Rueda, S. (2011), "Models d'ordenació del territori més sostenibles (o un nou urbanisme per abordar els reptes de la societat actual)", in Gausa, M. and Cros, S. (eds), *Cap a un Habitat(ge) Sostenible*, Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya (CADS), Generalitat de Catalunya, Barcelona, pp. 31-40.

Schröder, J., Carta, M., Ferretti, M. and Lino, B. (eds) (2018), *Dynamics of periphery – Atlas for Emerging Creative Resilient Habitats*, Jovis, Berlin.

Tucci, G. and Ratti, C. (2022), "La Tecnologia come abilitatore di un nuovo ecosistema urbano responsivo – Intervista a Carlo Ratti (CRA Studio) | Technology as an enabler of a new ecosystem responsive urbanism – Interview with Carlo Ratti (CRA Studio)", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 190-201. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12172022 [Accessed 7 October 2024].

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 30-39
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/1622024

ARTICLE INFO

Received 13 September 2024
Revised 28 September 2024
Accepted 05 October 2024
Published 30 December 2024

LA CITTÀ IDEALE

THE IDEAL CITY

Federico M. Butera

ABSTRACT

Il superamento dei limiti planetari mostra che l'integrità funzionale della biosfera è in grande pericolo. La causa è nelle attività umane, che sono il prodotto dell'attuale modello economico e culturale. Il sistema complesso ambiente, con le strette interconnessioni fra i diversi limiti planetari, è strettamente connesso con l'altro sistema complesso che è la società umana e insieme formano un sovra-sistema la cui stabilità è a rischio. La più importante causa di questa instabilità è rappresentata dai centri urbani, a causa del loro metabolismo, il cui esame permette di individuare le azioni da intraprendere al fine di minimizzarne gli impatti ambientali e sociali. Poiché anche i centri urbani sono pure sistemi complessi per metterle in atto bisogna abbandonare i modelli di pianificazione finora seguiti, e utilizzarne uno ad essi adatto.

The planetary boundaries transgressions show that the functional integrity of the biosphere is in great danger. The cause lies in human activities, which are the product of the current economic and cultural model. The complex environmental system, with its tight interconnections between various planetary boundaries, is closely linked to another complex system: human society. Together, they form a super-system whose stability is at risk. The most significant cause of this instability is represented by urban centres, due to their metabolism, the analysis of which allows us to identify actions to minimise their environmental and social impacts. To implement these actions, since urban centres are also complex systems, we must abandon the planning models followed so far and adopt one more suitable for them.

KEYWORDS

città sostenibile, economia circolare, limiti planetari, metabolismo urbano, sistemi complessi

sustainable city, circular economy, planetary boundaries, urban metabolism, complex systems



Federico M. Butera, Engineer and PhD honoris causa in Architecture, is Emeritus Professor at the Politecnico di Milano (Italy). Since the 1970s, he has been engaged in research and scientific dissemination in energy efficiency and renewable energy sources in the built environment, including in developing countries. His scientific work has also resulted in projects in Italy and abroad, focused on buildings and settlements powered exclusively by renewable sources. Mob. +39 348/33.13.272 | E-mail: federico.butera@polimi.it

Lo sviluppo umano post-industriale ha dato vita a un processo di trasformazione del clima e degli ecosistemi terrestri, col risultato di estati sempre più calde, alluvioni, siccità e incendi sempre più frequenti ed estesi, carestie sempre più prolungate. Un modo di svilupparci che, unito all'aumento della popolazione mondiale, mette a rischio di collasso numerosi sistemi vitali per l'equilibrio del sistema Terra, distruggendo ecosistemi critici e innescando cambiamenti irreversibili nei sistemi biofisici che sono alla base della stabilità climatica olocenica che ha favorito la civiltà umana. Stiamo mettendo a rischio la resilienza dell'intero sistema planetario, società umane comprese, con effetti che colpiscono in modo sproporzionato le popolazioni più vulnerabili, cioè i Paesi più poveri (ma anche i più poveri nei Paesi ricchi), e le comunità indigene.

Come i sistemi biofisici diventano meno resilienti con la perdita di biodiversità, così i sistemi socioeconomici – a causa della spinta verso la massimizzazione dell'efficienza economica, cioè del profitto, che porta alla fagocitazione di una costellazione di piccole aziende da parte di poche grandi multinazionali – perdono diversità e resilienza a fronte di perturbazioni. Ma i due sistemi, quello ambientale e quello socioeconomico, sono interconnessi, così la crisi planetaria del cambiamento climatico e della perdita di biodiversità sta alimentando crisi socioeconomiche come i conflitti per il territorio e le risorse, le migrazioni, il deterioramento della salute e l'aumento delle disuguaglianze; scelte economiche e finanziarie a loro volta causano crisi ambientali e una condizione di incertezza sul futuro (Antonini, 2019).

È la policrisi di un unico sistema complesso (Morin, 2020; Losasso and Verde, 2020) che comprende la biosfera e la tecnosfera, la natura e noi, una delle cui caratteristiche è quella di poter raggiungere punti critici, di instabilità, superati i quali può scatenarsi un collasso globale: biofisico, economico e sociale. Per uscire dalla policrisi e dai pericoli che ne conseguono, per allontanarci dal precipizio che abbiamo davanti, dobbiamo impegnare collettivamente la volontà politica, le risorse economiche e i valori sociali e culturali per dirigerci verso un futuro in cui il progresso umano non vada a scapito dell'integrità ecologica e dell'equità sociale.

Finora abbiamo operato all'interno di un paradigma secondo il quale la natura è un pozzo di risorse inesauribili di nostra proprietà, ignorando ciecamente che anche noi siamo natura, ne siamo parte integrante, e che danneggiare la natura equivale a danneggiare noi stessi: senza integrità ambientale non c'è né benessere né equità sociale, dunque bisogna cambiare paradigma, operare una discontinuità.

Costruire il nuovo paradigma | Condizione necessaria per mettere in atto il cambiamento di paradigma è il rientro nello 'spazio operativo sicuro', come è stato definito lo spazio contenuto dentro i limiti planetari (Rockström et alii, 2009), cioé quei valori che non devono essere oltrepassati per garantire la funzionalità sul lungo periodo dei principali processi biofisici che permettono il mantenimento dell'equilibrio, della stabilità del sistema Terra (Fig. 1). Questi processi sono nove, fra loro interconnessi, e abbiamo superato il limite in ben sei di essi (Richardson et alii, 2023):

1) cambiamento climatico, conseguenza dell'aumento della temperatura media superficiale della Terra; aumentando la concentrazione di gas serra in atmosfera, la temperatura superficiale aumenta; ciò è causa del cambiamento climatico con tutti i suoi effetti;

2) integrità della biosfera, caratterizzata dalla diversità genetica (misurata dal numero di specie che si estinguono all'anno) e dalla diversità funzionale (misurata dalla quantità di carbonio estratto dall'atmosfera e intrappolato nella biosfera), confrontata con quella dell'Olocene usata come riferimento;

3) flussi biogeochimici dell'azoto e del fosforo, che abbiamo alterato a causa dell'immissione continua di grandi quantità di composti azotati artificiali e di fosfati richiesti dal sistema produttivo agricolo;

4) ciclo idrogeologico terrestre, che abbiamo alterato soprattutto attraverso l'uso delle risorse idriche nell'agricoltura, ma anche nell'industria e nei centri urbani, alterazione che interessa sia i flussi di acqua provenienti da risorse idriche superficiali o sotterranee (detta acqua blu) sia in quelli provenienti dalle precipitazioni (detta acqua verde);

5) cambiamenti nell'uso dei suoli, causati da deforestazione selvaggia, riduzione delle aree umide e delle praterie a favore dell'agricoltura, espansione delle città, costruzione di infrastrutture per il trasporto; tali cambiamenti hanno ridotto la quantità di CO_2 assorbita dalla vegetazione e dal suolo e hanno causato il rilascio di carbonio accumulato nei terreni naturali, danneggiando anche l'integrità della biosfera;

6) nuove entità, tra cui sostanze chimiche prodotte dall'uomo che si accumulano negli ecosistemi e li avvelenano, come plastica, pesticidi e una vasta gamma di altri composti chimici e di organismi biologici.

L'interconnessione fra questi sei processi fa sì che per garantire l'equilibrio e la stabilità del sistema Terra occorre affrontarli in un quadro di insieme, non separatamente. Il superamento dei limiti planetari ci indica anche la responsabilità della crisi ambientale, che ricade principalmente nel modo di produrre (di quali risorse naturali ci serviamo) e nelle quantità prodotte (quante risorse naturali estraiamo).

Essendo il modo di produzione (metodo e quantità) a causare il degrado ambientale e a mettere a rischio la nostra generazione ma soprattutto quelle future, allora la causa prima va ricercata nel modello economico e culturale perché è questo che guida il modo di produrre e quanto produrre, mosso com'è dall'imperativo della crescita senza limite dei flussi e degli accumuli di ricchezza, come dimostrato dall'ossessione della crescita del PIL, anno dopo anno, senza limite, che è il principio guida del capitalismo neoliberista, che ha nel consumismo e nell'obsolescenza programmata dei prodotti due pilastri fondamentali.

Da questo deriva che per realizzare il cambiamento di paradigma, per rientrare nello 'spazio operativo sicuro', occorre un cambiamento culturale, dei valori, strettamente interconnesso al modello economico. Un cambiamento culturale richiesto è il ritorno di un valore che il capitalismo neoliberista ha reso desueto: la sobrietà, virtù decantata fin dall'antichità dai filosofi e da tutte le religioni. La sobrietà è aspramente avversata dal modello economico dominante, perché nemica del consumismo e quindi dell'aumento senza limiti della crescita; un altro cambiamento richiesto riguarda l'avidità, oggi considerata una virtù: chi più guadagna, chi più è ricco, chi più accumula è da ammirare ed emulare. Anche in passato c'erano gli avidi, ma erano socialmente e moralmente condannati: l'avidità era un vizio, non una virtù, e vizio deve tornare ad essere.

Naturalmente, è ingenua utopia pensare di eliminare vizi quali l'avidità e lo sperpero, perché sono pulsioni umane innate; ciò che si può e si deve fare è contenerle entro limiti tali da non permettere di danneggiare società e ambiente.

Il ruolo delle città e il metabolismo urbano | Supponendo di voler procedere al cambiamento di paradigma nei modi sopra indicati, da che parte cominciare? Un ineludibile punto di partenza è costituito dai centri abitati, dalla megapoli al villaggio. Essi, infatti, pur ospitando il 55% della popolazione mondiale (UNDESA, 2019), consumano il 79% del cibo globalmente prodotto (FAO, Rikolto and RUAF, 2022; Erwin, 2022), il 75% di tutte le risorse naturali estratte e sono responsabili del 60-80% di tutte le emissioni di gas serra (EMF, 2017): sono i principali responsabili della crisi ambientale e quindi occorre che affrontino la sfida di rientrare nello 'spazio operativo sicuro', creando le condizioni per favorire il cambiamento di paradigma (Lauria and Azzalin, 2021), tenendo conto che anche la città è un sistema complesso, e che qualsiasi scelta, azione in un ambito finisce per avere degli effetti su molti altri, che a loro volta poi possono esercitare un'influenza di ritorno.

Al fine di ridurre la pressione dei centri abitati sull'ambiente occorre prima di tutto identificarne le cause, che risiedono nel loro metabolismo, come illustrato in Figura 2, la cui rappresentazione permette di mettere il metabolismo in relazione con i limiti planetari.

L'ingresso di materiali e prodotti incide sul cambiamento climatico a causa delle emissioni incorporate (le emissioni che hanno avuto luogo nelle diverse fasi del processo di realizzazione di tutti i prodotti, a partire dalle escavazioni del materiale grezzo in miniera fino allo smaltimento e che ai prodotti vanno attribuite), sul cambiamento di uso del suolo per le miniere che forniscono la materia prima, e tutti e due i cambiamenti incidono sulla integrità della biosfera; inoltre determina la quantità di rifiuti prodotti e quindi incide sui limiti planetari che la loro produzione contribuisce a superare.

Il cibo impatta, attraverso la sua produzione, sul cambiamento climatico a causa delle emissioni di metano – principalmente causate dagli allevamenti intensivi di ruminanti – e di protossido di azoto generato dai fertilizzanti azotati (Valenti and Pasquero, 2021); impatta inoltre, a causa di questi ultimi e di quelli a base di fosforo, sul ciclo geo-biochimico di questi due elementi; impatta pure sul cambiamento di uso del suolo (foreste, praterie, zone umide, trasformate in campi coltivabili). A tutto questo va aggiunto l'impatto sulla integrità della biosfera, a causa degli effetti letali dei pesticidi sulla fauna e sulla flora: i pesticidi, inoltre, assieme agli ormoni e agli antibiotici usati negli allevamenti intensivi, vanno ad arricchire il flusso delle nuove entità che alterano gli equilibri naturali. E non è finita, perché la produzione agricola assorbe circa il 70% delle risorse idriche utilizzate dall'uomo, ed è quindi causa prima dell'impatto sul ciclo idrogeologico.

L'energia fossile (e la quota di elettrica generata da fonti fossili), utilizzata per alimentare gli edifici, i trasporti, le attività produttive e i servizi urbani, è causa di emissioni di CO_2, e quindi incide sul cambiamento climatico, al pari dell'acqua, il cui approvvigionamento incide sul ciclo idrogeologico. Inoltre

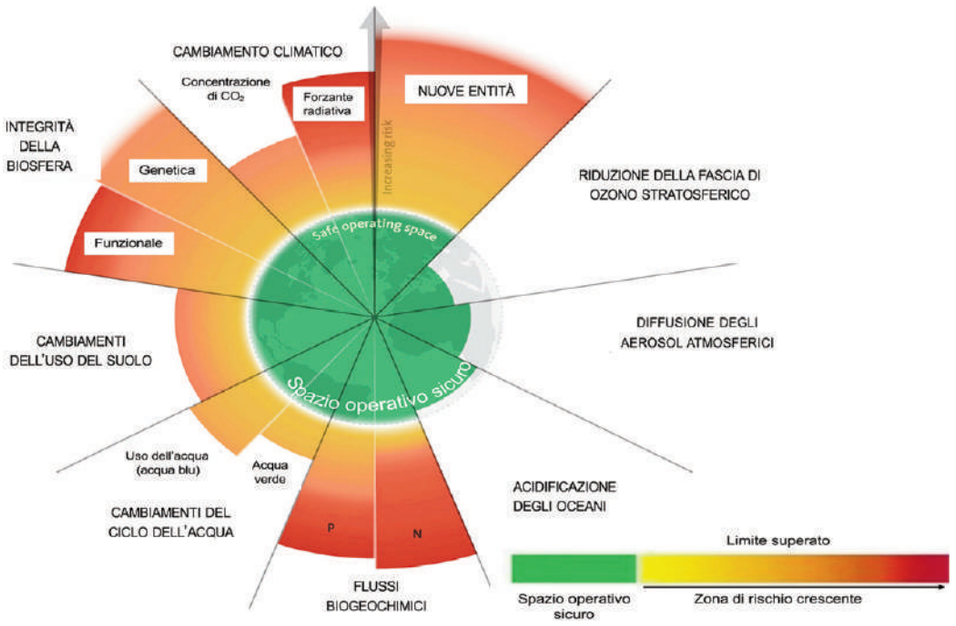


Fig. 1 | Planetary boundaries (source: SRC, 2024; adapted by the Author).

vi è ciò che il metabolismo urbano produce e nello specifico:
a) prodotti finiti, derivanti dalle attività manifatturiere, e servizi, il tutto destinato all'esportazione dai confini municipali;
b) la già considerata CO_2 prodotta dai combustibili fossili e il calore che ne deriva;
c) le acque reflue che, trattate, danno luogo ad acqua immessa nei corpi idrici vicini e fanghi, che vengono usati o smaltiti (riusarli come fertilizzanti significa recuperare azoto e fosforo, evitando di alterare il loro ciclo biogeochimico, ma nella maggior parte dei casi, specie nei Paesi in via di sviluppo, essi finiscono in discarica, contribuendo al superamento del limite planetario);
d) le acque piovane, inevitabilmente contaminate dal dilavamento delle superfici stradali, vanno anche loro a inquinare acque e terreno circostanti, con impatto sulla integrità della biosfera;
e) i rifiuti inorganici, una quota non indifferente dei quali finisce dispersa nell'ambiente, contiene molta plastica, che ormai ha invaso ogni angolo della terra e del mare, contribuendo fortemente al superamento del limite delle nuove entità;
f) i rifiuti alimentari, che nella maggior parte dei casi finiscono per marcire sui terreni e nell'acqua dove vengono dispersi, oppure vengono sotterrati nelle discariche, dando luogo alla produzione di metano che contribuisce al cambiamento climatico (solo nei centri abitati dei Paesi sviluppati – e non tutti e non sempre – sono trattati in modo da riutilizzarne i nutrienti, principalmente azoto e fosforo).

In conclusione i centri abitati contribuiscono al superamento di tutti e sei i limiti planetari e ne sono la principale causa. Per avere un'idea quantitativa dell'impatto causato dalla produzione di beni e di cibo, basti sapere che a scala mondiale le emissioni in essi incorporate sono pari a quelle di funzionamento, cioè tanto gas serra per realizzare i prodotti, altrettanto per servirsene (Circle Economy, 2020). Questo è il risultato del modo in cui funziona il metabolismo urbano, basato sul principio prendi-usa-getta, che è in netto contrasto con quello che ha governato gli ecosistemi e la biosfera tutta per centinaia di milioni di anni, basato sulla circolarità: la stessa materia viene usata più e più volte grazie a un processo ciclico il cui motore sono gli organismi viventi e l'energia che lo anima è quella solare. A questo modello i centri abitati devono fare riferimento, cercando di imitarlo, per uscire dalla spirale della estrazione crescente, senza limiti, di risorse dall'ambiente, e i modi ci sono.

Gli edifici | Il primo passo è quello di massimizzarne l'efficienza energetica. Le regole per farlo sono ben note, da tempo consolidate in un'ampia letteratura e sono diventate norme dettate dalle direttive europee[1] (Azzalin, 2024) sulle prestazioni energetiche degli edifici e in particolare la Energy Performance of Buildings Directive (EU/2024/1275) e la revisione della Energy Efficiency Directive (EU/2023/1791). Per abbandonare completamente le fonti fossili occorre sostituire caldaie, scaldaacqua e cucine a gas con pompe di calore e cucine a induzione, tutte apparecchiature alimentate dall'elettricità che deve essere prodotta da fonti rinnovabili. In questo modo le emissioni di funzionamento possono essere azzerate.

Ma c'è l'altro capitolo da affrontare, quello dei materiali, delle loro emissioni incorporate. Bisognerà minimizzare l'uso del cemento, la cui produzione è causa a livello globale dell'8% delle emissioni (Editorial Board, 2021). Si dovrà cercare di usare materiali alternativi, con emissioni incorporate più basse: ne esistono già oggi e molti altri sono vicini alla commercializzazione, ma non basta. Specie per l'Europa, in cui la ristrutturazione di edifici esistenti prevale di gran lunga sulla costruzione di nuovi, bisognerà privilegiare la decostruzione alla demolizione, per favorire il riuso di componenti edilizi, quali per esempio i mattoni in laterizio (Baratta et alii, 2023); il riciclo del cemento e del ferro è inoltre passo essenziale verso la minimizzazione dell'impatto ambientale del settore (Scalisi and Sposito, 2021). Sul tema delle emissioni incorporate centrale è il ruolo dei regolamenti edilizi.

Le città e il cibo | La produzione del cibo – oltre che essere causa del 24% delle emissioni globali di gas serra, con gli allevamenti intensivi principali contributori con il loro 14,5% (FAO, 2016) – contribuisce, si è visto, al superamento di tutti i limiti planetari; per ridurne l'impatto si può agire su due fronti: modello di produzione agricola e allevamenti intensivi.

Il modo di coltivare attuale è governato da un modello di tipo industriale, teso alla massimizzazione della produttività, a scapito dell'ambiente. La via alternativa passa attraverso l'adozione delle pratiche agroecologiche (Fassio, Cionchi and Tondella, 2020; Sommariva, Canessa and Tucci, 2022; Follesa et alii, 2024), che riproducono, arricchendole con le nuove conoscenze scientifiche e con le innovazioni tecnologiche, i principi del modello produttivo, circolare, autosufficiente, che ha caratterizzato l'agricoltura per millenni, facendo a meno di fertilizzanti artificiali e pesticidi. Le città, per ridurre il contributo dell'agricoltura al superamento dei limiti planetari, possono adottare politiche che mirano alla riduzione del consumo di carne e alla promozione del cibo prodotto mediante pratiche agro-ecologiche; possono farlo, per esempio, partendo dall'alimentazione scolastica, con menù adeguati, e creando nei bambini consapevolezza di ciò che mangiano, in modo che la trasferiscano a casa.

La mobilità e la città dei 5-10 minuti | Quasi un quarto delle emissioni totali del settore trasporti ha luogo in contesto urbano[2] e la strada maestra verso il loro azzeramento passa attraverso la drastica riduzione del numero delle auto circolanti, per il contributo che esse danno al cambiamento climatico sia in relazione alle emissioni incorporate (meno auto, meno emissioni incorporate), sia a quelle di funzionamento (meno auto, meno carburante usato, meno CO_2 emessa). È una linea, questa, condivisa in tutti gli scenari di decarbonizzazione al 2050 proposti nei Paesi sviluppati, e si basa sulla revisione del concetto di mobilità, puntando a un modello urbano che permetta a tutti, in ogni quartiere di una città o in ogni piccolo centro, di trovare i servizi di uso frequente (negozi di alimentari, scuola, bar, ecc.) a breve distanza dalla propria abitazione: non più di 5-10 minuti a piedi (Steuteville, 2017). È la città del 5-10 minuti (Fig. 3). In una simile prospettiva, integrato in un sistema che contempla una

rete capillare di piste ciclabili, servizi pubblici collettivi e car sharing elettrico (presto anche taxi con guida autonoma), il futuro parco auto urbano, tutto elettrico, è destinato ad assottigliarsi sempre di più, liberando spazio per il verde e per le aree pedonali (Fabbri, 2023). Il verde urbano ha molteplici funzioni positive: assorbe CO_2 e quindi compensa parte delle emissioni, filtra gli inquinanti presenti nell'aria, aumenta la biodiversità, ma non solo: ombreggiando il terreno e attraverso l'evapotraspirazione si attenua il fenomeno della cosiddetta 'isola di calore urbana', che comporta nelle città una temperatura più alta di quella delle aree rurali circostanti, anche di molti gradi. Quindi il verde urbano contribuisce anche ad attenuare le ondate di calore, con due vantaggi: riduce i consumi per il condizionamento e la mortalità causata dalla persistenza di alte temperature (Tucci, Altamura and Pani, 2023).

La città dei 5-10 minuti attenua l'impatto urbano su tre limiti planetari: il cambiamento climatico (riduzione delle emissioni + aumento dell'assorbimento della CO_2 per l'estensione del verde), la integrità della biosfera (grazie al verde aumenta la biodiversità) e ciclo idrogeologico (più superficie pervia legata all'aumento del verde al posto dell'asfalto). La città dei 5-10 minuti, decentrando i servizi propone una città 'a misura d'uomo' composta da quartieri / piccoli centri ricchi di vita con un'altra ricaduta, quella occupazionale derivante dal ritorno di numerose piccole attività di varia natura. In questo quadro non c'è spazio per centri commerciali, centri direzionali, che concentrano servizi e spingono all'uso dell'auto.

Il flusso di energia | Per quanto si rendano efficienti i settori edilizia e trasporti, una certa quantità di energia è sempre necessaria, e dovrà tutta provenire da fonti rinnovabili, in una prospettiva di completa sostenibilità. Per questo saranno i tetti degli edifici, ricoperti di pannelli fotovoltaici, a fornirne una quota; un'altra potrà venire dal biogas ottenuto dalla digestione anaerobica di rifiuti organici, da syngas da gassificazione dei residui di potatura e da eventuali micro-aerogeneratori se il luogo è ventoso, ma certamente tutto questo non può bastare a soddisfare la domanda. Una parte dell'energia, tutta elettrica grazie alla completa elettrificazione dei settori edilizia e trasporti, dovrà provenire dal contributo della rete nazionale pure alimentata da fonti rinnovabili. Centrale, in tutto questo, sarà il ruolo della cosiddetta 'smart grid' (Fig. 4), per regolare i carichi, le produzioni e gli accumuli (le batterie necessarie per fornire energia quando non c'è sole o non c'è vento).

L'economia circolare | Economia circolare non significa economia del riciclo, erroneamente ritenendo che col riciclo di tutti i rifiuti non si estrarrebbe più materia dall'ambiente perché si usa sempre la stessa, e quindi niente più impatto ambientale. Non è così perché il riciclo implica comunque estrazione di risorse dall'ambiente; bisogna infatti alimentare un processo chimico, meccanico o termico che richiede materia ed energia: si usa la stessa materia più altra ed energia, e comunque intercettare tutti i rifiuti è impossibile.

L'economia circolare, come declinata dalla Commissione Europea, prevede che i prodotti siano a basse emissioni incorporate, durevoli, riusabili, rigenerabili, riparabili e, alla fine del loro ciclo di vita, facilmente riciclabili, estendendone così la vita il più possibile (European Commission, 2020; Fig. 5). In questa logica il flusso di rifiuti è minimo, si riduce la produzione, e quindi l'estrazione di risorse, e aumenta la manutenzione. Per realizzare questo obiettivo occorre che vengano sviluppati i servizi necessari (riparazione, noleggio, prestito, scambio o condivisione, ecc.) e che si incoraggino i cittadini a orientarsi verso questi servizi invece di acquistare nuovi prodotti in sostituzione dei vecchi (Olivastri and Tagliasco, 2024). Attraverso l'economia circolare l'impatto su tutti i limiti planetari si riduce fortemente: è un passo obbligato per rientrare nello spazio operativo sicuro, perché è un modello economico che cerca di imitare il modello circolare degli ecosistemi.

I cambiamenti di stile di vita | La realizzazione dell'economia circolare implica due passaggi non facili: il cambiamento di stile di vita dei cittadini e la creazione di un sistema di leggi, regolamenti, infrastrutture e ambiente culturale che lo favoriscano (Ness, 2024). I cambiamenti di stile di vita sono di varia natura. Dato che una quota non indifferente delle emissioni incorporate si trova nei prodotti alimentari, dovremo adeguare la nostra dieta e le nostre preferenze sulla base di esse, minimizzando il consumo di carne, acquistando prevalentemente prodotti agricoli locali, assicurandoci che siano prodotti con pratiche agroecologiche.

Passando agli altri acquisti, dovremo intanto rinunciare alla cosiddetta 'fast fashion', cioè tutti quei capi di abbigliamento a basso prezzo che vanno fuori moda rapidamente, si sostituiscono con altri nuovi e finiscono fra i rifiuti (Kasper and Stroomer, 2021), perché il settore abbigliamento è fra quelli che più contribuiscono alla crisi ambientale[3]. Dovremo tenere più a lungo gli oggetti che abbiamo, cercare di farli riparare invece di buttarli nei rifiuti e ricomprarli nuovi (Casciani, 2023). Tutte le volte che è possibile, dovremo cercare di acquistare prodotti sfusi, o imballati con contenitori riusabili, invece di quelli avvolti da imballaggi monouso di plastica, di carta o cartone. Dovremo valorizzare l'usato e imparare a noleggiare invece di comprare quei prodotti che usiamo occasionalmente: dovremo reimparare ad essere sobri.

Riflessioni conclusive: i presupposti non tecnici della città sostenibile | La città sostenibile delineata si può realizzare con le tecniche e le tecnologie già oggi disponibili, ma anche con tutta la disponibilità a cambiare i comportamenti da parte dei cittadini; poca strada si può fare se chi governa la città non svolge un ruolo propositivo e di facilitazione, attraverso politiche adeguate.

Ricade sul governo locale l'onere di dare vita alla città dei 5-10 minuti, che dovrà affrontare la feroce opposizione non solo dei cittadini riluttanti a qualsiasi cambiamento, ma anche e soprattutto di

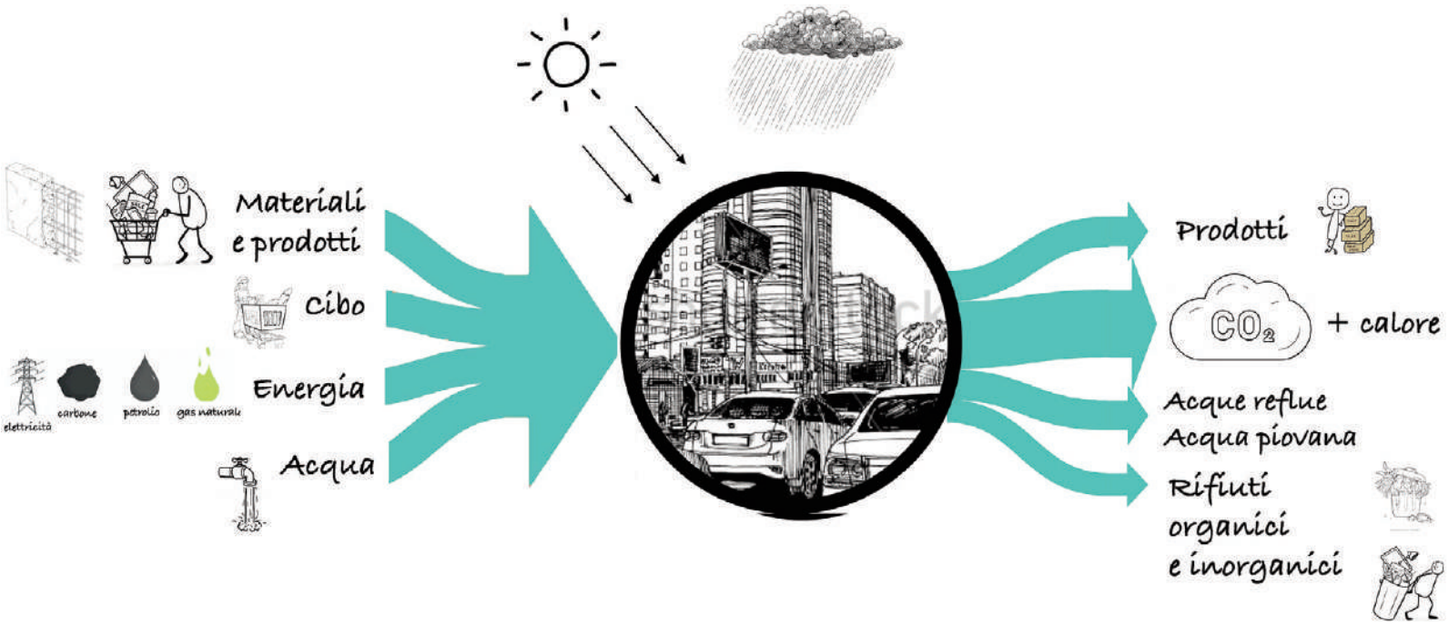


Fig. 2 | Urban metabolism (credit: the Author, 2024).

quelli che vedono i loro interessi compromessi, con l'eliminazione dei grandi supermercati e dei centri commerciali, con la riduzione del numero di auto e del carburante consumato: multinazionali o comunque potenti finanzieri. La città dei 5-10 minuti è solo un esempio. Un altro è la dura opposizione che chi governa la città incontrerebbe pure quando volesse favorire la vendita dei prodotti sfusi, danneggiando così chi dalla plastica usa e getta e in generale dalle confezioni trae i suoi profitti.

Ricapitolando, unendo le misure sopra indicate i centri abitati cambiano faccia e si prefigurano quartieri o piccoli centri vivaci, con poche auto, ricchi di verde, di relazioni personali e di piccole attività commerciali, artigianali e di servizio decentrate, con una economia basata più sulla manutenzione che sulla produzione.

Sembra tutto molto bello, è la visione della città ideale, ma non bisogna dimenticare che la città, con il suo metabolismo, le persone, le imprese, gli attori tutti che nella città vivono e che la animano, è un sistema complesso, in cui tutto è interconnesso, e come tale va trattato per riuscire a raggiungere l'obiettivo voluto: la sua sostenibilità ambientale, economica e sociale. Per farlo, adottando il nuovo paradigma di cui si è discusso sopra, non si possono adoperare i metodi di pianificazione dello sviluppo adottati finora, perché coerenti col vecchio paradigma e capaci solo di riprodurlo. Un metodo alternativo adatto alla realizzazione del nuovo paradigma potrebbe essere il backcasting (Robinson, 1990), un metodo di pianificazione che parte dalla definizione di un futuro desiderabile e poi lavora a ritroso per identificare, passo passo, le politiche e i programmi che collegheranno quel futuro specificato al presente[4] (Fig. 6), permettendo di introdurre discontinuità rispetto al passato.

La domanda fondamentale del backcasting è: se vogliamo raggiungere un certo obiettivo, quali azioni devono essere intraprese per arrivarci? Il processo è a tappe, dal presente al futuro, in ciascuna delle quali si identifica un'azione che si ritiene sia necessaria per raggiungere l'obiettivo finale, e su questa azione ci si confronta con tutti gli attori interessanti, al fine di vagliarne i pro e i contro, chi ci guadagna e chi ci perde, quali sono gli impatti sui limiti planetari, per poi prendere la decisione finale: attuare l'azione come proposta, o modificata o, se appare opportuno, cancellarla.

Questo approccio permette di tenere il più possibile sotto controllo le risposte del sistema complesso città alle sollecitazioni a cui ci si propone di sottoporlo, cioè le azioni che si intende mettere in atto a ogni tappa. Naturalmente occorre realizzare un efficiente sistema di monitoraggio dei possibili effetti delle azioni, indispensabile anche per riconoscere in tempo le sempre possibili imprevedibili perturbazioni esterne o interne, e reagire tempestivamente.

Post-industrial human development has triggered a process of climate and terrestrial ecosystem transformation, resulting in increasingly hot summers, more frequent and widespread floods, droughts, fires, and prolonged famines. This mode of development, combined with the growing global population, puts many vital systems essential for the balance of the Earth system at risk of collapse, destroying critical ecosystems and triggering irreversible changes in the biophysical systems that underpin the Holocene climatic stability that have favoured human civilisation. We are jeopardising the resilience of the entire planetary system, including human societies, with effects disproportionately impacting the most vulnerable populations, namely poorer countries (but also the poorest in wealthy countries) and Indigenous communities.

As biophysical systems become less resilient with the loss of biodiversity, so too do socio-economic systems – driven by the push to maximise economic efficiency, that is, profit, leading to the absorption of a constellation of small businesses by a few large multinational corporations – losing diversity and resilience in the face of disruptions. However, these two systems, the environmental and the socio-economic, are interconnected, meaning that the planetary crisis of climate change and biodiversity loss is fuelling socio-economic crises such as conflicts over land and resources, migration, deteriorating health, and rising inequalities. Economic and financial choices, in turn, cause environmental crises and uncertainty about the future (Antonini, 2019).

This is the poly-crisis of a single complex system (Morin, 2020; Losasso and Verde, 2020), encompassing the biosphere and the technosphere, nature and us, one of the characteristics of which is the ability to reach critical points of instability, beyond which a global collapse – biophysical, economic, and social – can be triggered. To overcome the poly-crisis and the dangers it entails, to step back from the precipice we are facing, we must collectively engage political



Fig. 3 | The 5- 10-minute city (source: RESISTIRÉ, n.d.; adapted by the Author).

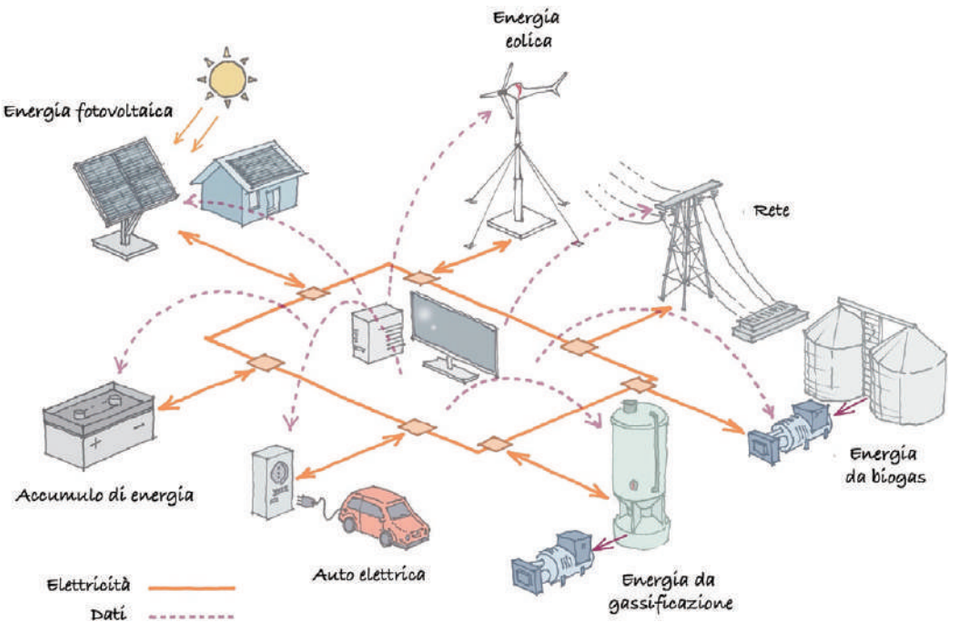


Fig. 4 | The smart grid (source: UN-Habitat, 2018; adapted by the Author).

will, economic resources, and social and cultural values to move toward a future where human progress does not come at the expense of ecological integrity and social equity.

So far, we have operated within a paradigm in which nature is seen as an inexhaustible well of resources that we own, blindly ignoring that we are also nature, an integral part of it, and harming nature means harming ourselves. Without environmental integrity, there is no well-being or social equity, so a paradigm shift is necessary; a discontinuity must be created.

Building the new paradigm | A necessary condition to implement this paradigm shift is to return to the 'safe operating space', defined by the space within planetary boundaries (Rockström et alii, 2009). Planetary boundaries are those thresholds that must not be crossed to ensure the long-term functionality of the major biophysical processes that maintain the balance and stability of the Earth system (Fig. 1). These processes are nine, interlinked. We have exceeded the limit in six of them (Richardson et alii, 2023):
1) climate change, a consequence of the increase in the Earth's average surface temperature; as greenhouse gas concentrations in the atmosphere rise, surface temperature increases, causing climate change and all its effects;
2) biosphere integrity, characterised by genetic diversity (measured by the number of species that go extinct per year) and functional diversity (measured by the amount of carbon extracted from the atmosphere and trapped in the biosphere), compared to that of the Holocene, used as a reference;
3) biogeochemical flows of nitrogen and phosphorus, which we have altered due to the continuous introduction of large quantities of artificial nitrogen compounds and phosphates required by the agricultural production system;
4) the terrestrial water cycle, which we have altered primarily through the use of water resources in agriculture, but also in industry and urban centres, affects both flows of water from surface or groundwater resources (called blue water) and those from precipitation (called green water);
5) land-use changes, caused by deforestation, reduction of wetlands and grasslands in favour of agriculture, urban expansion, and infrastructure construction; these changes have reduced the amount of CO_2 absorbed by vegetation and soil and caused the release of carbon stored in natural soils, also damaging biosphere integrity;
6) new entities, including human-made chemicals that accumulate in ecosystems and poison them, such as plastic, pesticides, and a wide range of other chemical compounds and biological organisms.

The interconnection between these six processes means that to ensure the balance and stability of the Earth system, they must be addressed as a whole, not separately. The exceeding of planetary boundaries also points to the responsibility for the environmental crisis, which primarily lies in how we produce (which natural resources we use) and how much we produce (how many natural resources we extract).

Since the way of production (method and quantity) is causing environmental degradation and putting our generation, still especially future ones, at risk, the root cause must be sought in the economic and cultural model. This model drives how and how much we produce, driven by the imperative of limitless growth in flows and accumulations of wealth, as demonstrated by the obsession with GDP growth, year after year, without limits, which is the guiding principle of neoliberal capitalism, based on consumerism and planned product obsolescence as fundamental pillars.

This leads to the conclusion that, to achieve the paradigm shift and return to the 'safe operating space', a cultural change in values is necessary, which is closely linked to the economic model. One cultural change required is the return of a value that neoliberal capitalism has rendered obsolete: sobriety, a virtue extolled since ancient times by philosophers and all religions. Sobriety is strongly opposed by the dominant economic model because it is the enemy of consumerism and, thus, of limitless growth. Another required change concerns greed, which is now considered a virtue: those who earn the most, are the richest, and accumulate the most are admired and emulated. In the past, greed existed, but it was socially and morally condemned: greed was a vice, not a virtue, and it must return to being so. Naturally, it is naïve to think of eliminating vices such as greed and wastefulness, as they are innate human drives. What we can and must do is contain them within limits so that they do not harm society and the environment.

The role of cities and urban metabolism | Assuming we want to proceed with the paradigm shift as indicated above, where should we start? An unavoidable starting point is settlements, from megacities to villages. Although they host 55% of the world's population (UNDESA, 2019), they consume 79% of globally produced food (FAO, Rikolto and RUAF, 2022; Erwin, 2022), 75% of all extracted natural resources, and are responsible for 60-80% of all greenhouse gas emissions (EMF, 2017). They are the main contributors to the environmental crisis, and therefore they must face the challenge of returning to the 'safe operating space', creating conditions to promote the paradigm shift (Lauria and Azzalin, 2021), taking into account that cities are also complex systems. Hence, any choice or action in one area ends up affecting many others, which in turn can exert feedback.

To reduce the pressure of settlements on the environment, we must first identify the causes, which lie in their metabolism, as illustrated in Figure 2, whose representation allows urban metabolism to be related to planetary boundaries.

The input of materials and products impacts climate change due to embodied emissions (the emissions that occur at various stages of the production process of all products, from raw material extraction to disposal, which are attributed to the products), changes in land use for the mines that provide raw materials, both of which affect biosphere integrity. Additionally, this determines the amount of waste produced, thus contributing to exceeding planetary boundaries through their production.

Food impacts climate change through its production due to methane emissions – mainly caused by intensive ruminant farming – and nitrous oxide generated by nitrogen fertilisers (Valenti and Pas-

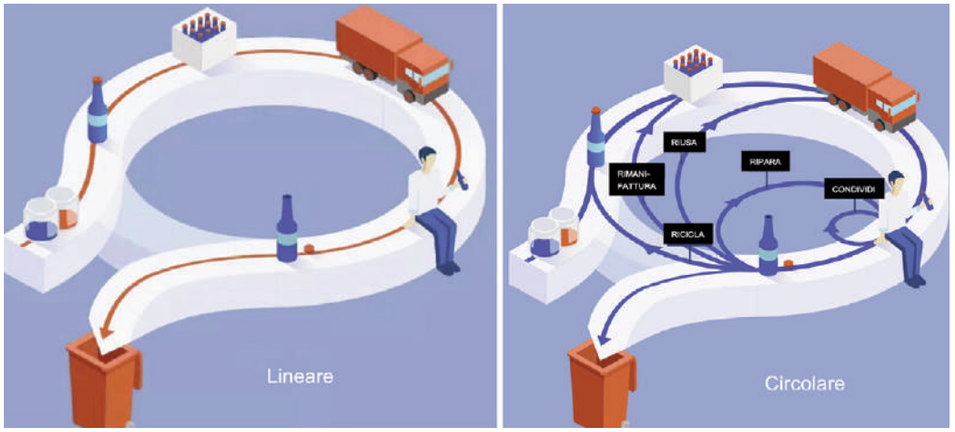


Fig. 5 | Circular economy vs. linear economy (source: Migliorini, 2020; adapted by the Author).

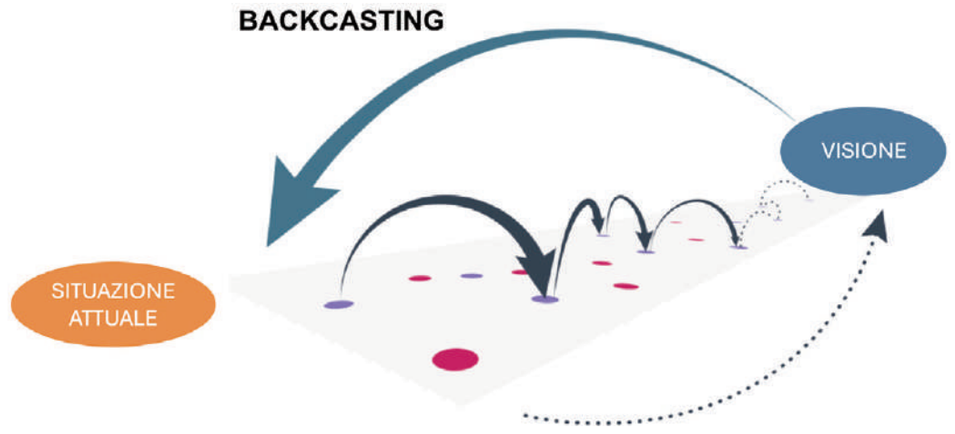


Fig. 6 | The Backcasting method (source: dpmc.govt.nz, 2023; adapted by the Author).

Next page

Fig. 7 | The future garden at the intersection of Consell de Cent and Enrique Granados La Razón in Barcelona (source: larazon.es, 2021).

quero, 2021). It also affects the biochemical cycle of nitrogen and phosphorus due to using nitrogen and phosphorus-based fertilisers, and it impacts land use changes (forests, grasslands and wetlands transformed into arable land). Additionally, there is an impact on the integrity of the biosphere due to the lethal effects of pesticides on fauna and flora. Pesticides, along with hormones and antibiotics used in intensive livestock farming, contribute to the flow of new entities that disrupt natural balance. Moreover, agricultural production absorbs about 70% of the water resources used by humans, making it a primary driver of the impact on the hydrogeological cycle.

Fossil energy (including the share of electricity generated from fossil fuels), used to power buildings, transportation, production activities, and urban services, causes CO_2 emissions and thus contributes to climate change, similar to how water supply affects the hydrogeological cycle. Then there's what urban metabolism produces, specifically:
a) finished products from manufacturing and services, destined for export beyond city boundaries;
b) the already considered CO_2 produced by fossil fuels and the resulting heat;
c) wastewater, which after treatment is released into nearby water bodies and sludge, which is either used or disposed of (reusing it as fertiliser recovers nitrogen and phosphorus, preventing the disruption of their biogeochemical cycle, but in most cases, especially in developing countries, it ends up in landfills, contributing to the breach of planetary boundaries);
d) rainwater, inevitably contaminated by runoff from street surfaces, also pollutes surrounding water and soil, affecting the integrity of the biosphere;
e) inorganic waste, a significant portion of which is dispersed into the environment, contains much plastic that has now invaded every corner of the earth and sea, heavily contributing to the breach of the new entities boundary;
f) food waste, which in most cases rots on the land and in the water where it is dispersed or is buried in landfills, producing methane that contributes to climate change (only in urban centres in developed countries – and not all of them – are they treated to reuse nutrients, primarily nitrogen and phosphorus).

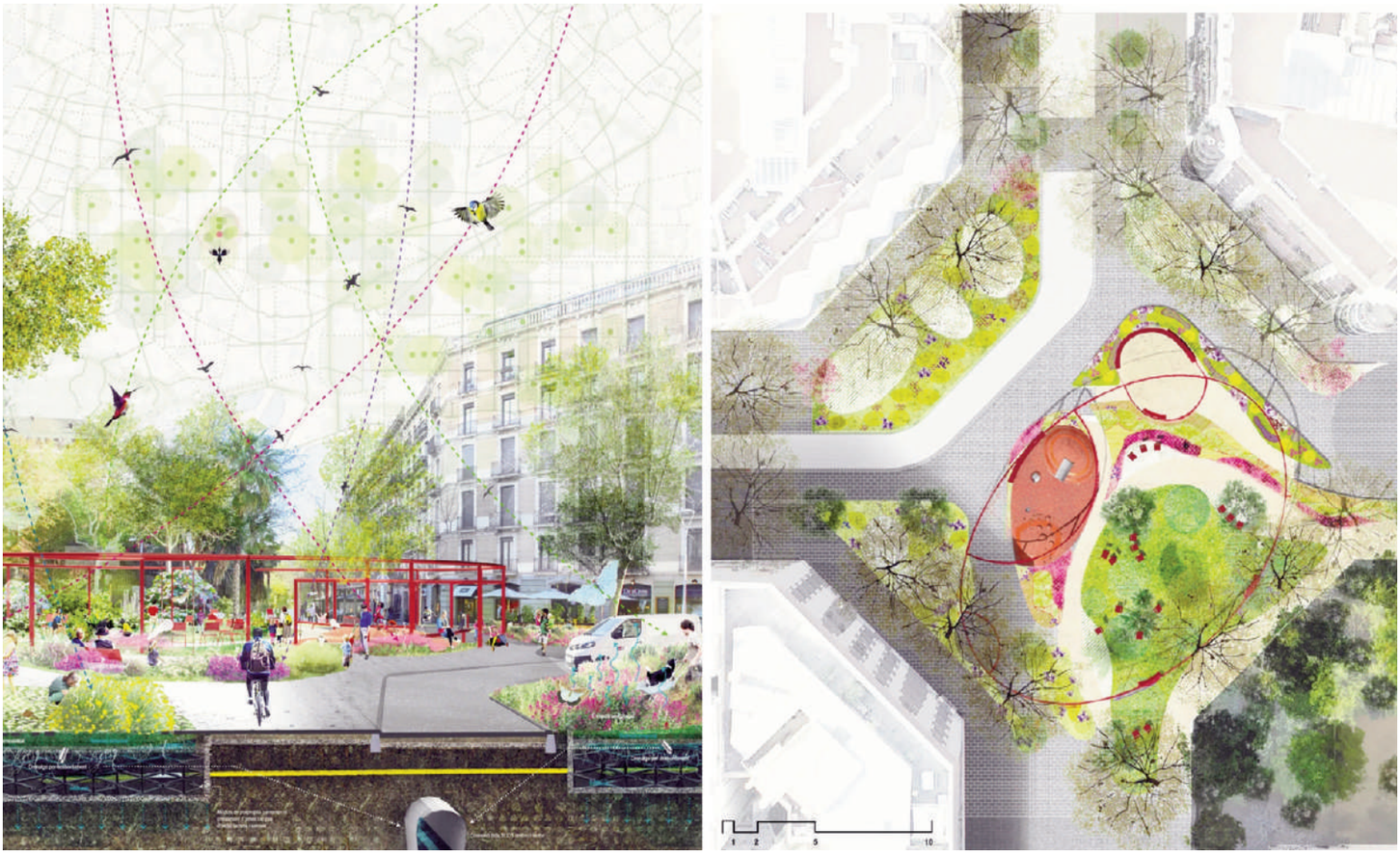
In conclusion, settlements contribute to the breach of all six planetary boundaries and are the main cause. To get an idea of the quantitative impact caused by the production of goods and food, consider that globally, the emissions embedded in them are equal to those from operation: that is, as much greenhouse gas is emitted to produce the products as to use them (Circle Economy, 2020). This is the result of the way urban metabolism works, based on a take-use-dispose principle, which sharply contrasts with the circular system that has governed ecosystems and the entire biosphere for hundreds of millions of years, which is based on circularity: the same matter is used repeatedly thanks to a cyclical process whose engine is living organisms and the energy that feeds it is solar energy. Settlements must refer to this model, trying to imitate it, to escape the spiral of limitless extraction of resources from the environment, and there are ways to do so.

Buildings | The first step is to maximise energy efficiency. The rules for doing so are well known, well established in extensive literature, and have become regulations dictated by European directives[1] (Azzalin, 2024) on building energy performance, specifically the Energy Performance of Buildings Directive (EU/2024/1275) and the revision of the Energy Efficiency Directive (EU/2023/1791). To completely abandon fossil fuels, gas boilers, water heaters, and stoves must be replaced with heat pumps and induction cooktops, all powered by electricity generated from renewable sources. This can eliminate operational emissions.

However, there is another issue to address: the materials and their embedded emissions. The use of cement, whose production accounts for 8% of global emissions (Editorial Board, 2021), must be minimised. Alternative materials with lower embedded emissions should be used: some already exist, and many others are close to commercialisation. But this is not enough. Especially in Europe, where renovation of existing buildings far outweighs new construction, deconstruction should be favoured over demolition to promote the reuse of building components, such as bricks (Baratta et alii, 2023); recycling cement and iron is also an essential step towards minimising the environmental impact of the sector (Scalisi and Sposito, 2021). Building regulations play a central role in addressing embedded emissions.

Cities and food | Food production – is not only responsible for 24% of global greenhouse gas emissions, with intensive livestock farming contributing 14.5% (FAO, 2016) – but also contributes to the transgression of all planetary boundaries. Its impact can be reduced in two ways: through the agricultural production model and intensive livestock farming.

Current farming is governed by an industrial model aimed at maximising productivity at the ex-



pense of the environment. The alternative path lies in adopting agroecological practices (Fassio, Cionchi and Tondella, 2020; Sommariva, Canessa and Tucci, 2022; Follesa et alii, 2024), which replicate and enhance by new scientific knowledge and technological innovations the principles of the circular, self-sufficient production model that has characterised agriculture for millennia, doing away with artificial fertilisers and pesticides. Cities can reduce agriculture's contribution to the breach of planetary boundaries by implementing policies aimed at reducing meat consumption and promoting food produced through agroecological practices. They can start, for example, with school meals, offering appropriate menus and raising children's awareness of what they eat so that they can bring that knowledge home.

Mobility and the 5-10 minute city | Almost a quarter of total transportation emissions occur in urban settings[2], and the main path to reducing them to zero involves drastically reducing the number of cars on the road. This is due to both their embedded emissions (fewer cars mean fewer embedded emissions) and operational emissions (fewer cars mean less fuel used and less CO_2 emitted). This strategy is shared across all decarbonisation scenarios for 2050 in developed countries and is based on revising the concept of mobility, aiming for an urban model that allows everyone in every neighbourhood of a city or small town to find frequently used services (grocery stores, schools, cafes, etc.) within a short distance from their homes: no more than 5-10 minutes on foot (Steuteville, 2017). It is the 5-10 minute city (Fig. 3). In such a scenario, integrated with a system of extensive bike lanes, public transport services, and electric car-sharing (soon including self-driving taxis), the future urban car fleet, fully electric, is set to shrink, freeing up space for greenery and pedestrian areas (Fabbri, 2023). Urban greenery has multiple positive functions: it absorbs CO_2, compensates for part of the emissions, filters air pollutants, and increases biodiversity. Moreover, by shading the ground and through evapotranspiration, it mitigates the urban heat island effect, where city temperatures are much higher than in surrounding rural areas. This way, urban greenery also helps reduce heatwaves, with two advantages: it lowers air conditioning consumption and reduces heat-related mortality (Tucci, Altamura and Pani, 2023).

The 5-10 minute city reduces urban impacts on three planetary boundaries: climate change (reduced emissions + increased CO_2 absorption from greenery), biosphere integrity (biodiversity increases with more green space), and the hydrogeological cycle (more permeable surfaces due to replacing asphalt with greenery). This city model decentralises services and proposes a human-scale city made up of lively neighbourhoods and small centres, with additional benefits from the return of numerous small businesses. In such a context, there is no room for shopping malls or business centres, which concentrate services and encourage car use.

Energy flow | No matter how efficient the building and transport sectors become, a certain amount of energy will always be needed, and it will all have to come from renewable sources to ensure complete sustainability. Rooftops covered with photovoltaic panels will provide a share of this energy; another share could come from biogas obtained from anaerobic digestion of organic waste, syngas from gasifying pruning residues, and possibly micro-wind turbines in windy locations, but this will not be enough to meet demand. Part of the energy, all-electric due to the complete electrification of buildings and transport, will have to come from the national grid, which must also be powered by renewable sources. The so-called 'smart grid' (Fig. 4) will play a central role in managing loads, production, and storage (the batteries needed to supply energy when the sun is not shining or the wind is not blowing).

The circular economy | The circular economy is not just about recycling, which is often mistakenly thought to mean that if all waste is recycled, no more resources would be extracted from the environment since the same materials are reused, resulting in no environmental impact. This is not true because recycling still requires resource extraction from the environment. A chemical, mechanical, or thermal process must be powered, which uses materials and energy: the same material is reused, but along with additional material and energy, and it's impossible to intercept all waste.

The circular economy, as defined by the European Commission (2020; Fig. 5), aims for products to have low embodied emissions, be durable, reusable, regenerable, repairable, and, at the end of their life cycle, easily recyclable – thus extending their life as much as possible. In this way, the waste stream is minimised, production is reduced, and therefore resource extraction is limited while maintenance increases. Achieving this goal requires developing the necessary services (repair, rental, lending, exchange,



Fig. 8 | A rendering of the Eixample superblock project in Barcelona (credit: Ajuntament de Barcelona).

or sharing, etc.) and encouraging citizens to use these services instead of replacing old products with new ones (Olivastri and Tagliasco, 2024). Through the circular economy, the impact on all planetary boundaries is significantly reduced. It is a crucial step in staying within the safe operating space, as it mimics the circular ecosystems model.

Lifestyle changes | Implementing the circular economy involves two challenging steps: changing citizens' lifestyles and creating a system of laws, regulations, infrastructures, and cultural environments that encourage this shift (Ness, 2024). Lifestyle changes can take various forms. Since a significant portion of embodied emissions are found in food products, we must adapt our diets and preferences accordingly, minimising meat consumption, prioritising locally produced agricultural goods, and ensuring they are produced using agroecological practices.

When it comes to other purchases, we should avoid 'fast fashion', where inexpensive clothing quickly goes out of style, is replaced by new items, and ends up as waste (Kasper and Stroomer, 2021), as the fashion industry is one of the largest contributors to the environmental crisis[3]. We should keep our items for longer, trying to repair them instead of discarding and replacing them with new ones (Casciani, 2023). Whenever possible, we should opt for unpackaged products or those packaged in reusable containers rather than single-use plastic, paper, or cardboard. We should value second-hand goods and learn to rent instead of buy products we use occasionally, adopting a more mindful approach to consumption.

Concluding thoughts: the non-technical foundations of a sustainable city | The sustainable city envisioned can be realised with the technologies and techniques available today, but even with the willingness of citizens to change their behaviours, little progress can be made without proactive leadership from city governance, which must implement suitable policies. Local governments bear the responsibility of creating the 5-10 minute city, which will face fierce opposition, not only from citizens resistant to any change but also, and especially, from those whose interests are threatened by the elimination of supermarkets and shopping centres, and the reduction of cars and fuel consumption – powerful multinational or financial interests. The 5-10 minute city is just one example. Another is the strong opposition that local governments would encounter if they tried to promote the sale of bulk products, hurting those who profit from disposable plastics and packaging.

In summary, combining the measures outlined above reshapes urban centres into vibrant neighbourhoods or small districts with few cars, plenty of greenery, personal relationships, and decentralised small commercial, artisanal, and service activities, with an economy based more on maintenance than production.

It sounds beautiful – a vision of the ideal city – but we must not forget that the city, with its metabolism, people, businesses, and all the actors that bring it to life, is a complex system where everything is interconnected. It must be treated as such to achieve the desired goal: its environmental, economic, and social sustainability. To adopt the new paradigm discussed above, we cannot rely on the same planning methods used so far, as they are aligned with the old paradigm and only capable of reproducing it. An alternative method suitable for realising the new paradigm could be backcasting (Robinson, 1990), a planning method that starts by defining a desirable future and then works backward to identify, step by step, the policies, and programs that will link that future to the present[4] (Fig. 6), allowing for discontinuities from the past.

The key question in backcasting is: if we want to achieve a certain goal, what actions need to be taken to get there? The process progresses step by step from the present to the future, identifying an action at each stage deemed necessary to achieve the final goal. Each action is discussed with all interested parties to weigh its pros and cons, determine who benefits and who loses, and assess its impacts on planetary boundaries before making the final decision: to implement the action as proposed, modify it, or, if deemed appropriate, cancel it.

This approach allows close monitoring of the complex urban system's responses to the stimuli being introduced – the actions implemented at each stage. Naturally, an efficient monitoring system for the possible effects of these actions must be established, essential for timely recognising any unpredictable internal or external disturbances and responding promptly.

Notes

1) For more information on the Energy Performance of Buildings Directive (EU/2024/1275) and Energy Efficiency Directive (EU/2023/1791), see the webpage: energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en [Accessed 16 September 2024].

2) For information on The New EU Urban Mobility Framework, see the webpage: transport.ec.europa.eu/transport-themes/urban-transport/sustainable-urban-mobility_en [Accessed 16 September 2024].

3) For information on the EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles, see the webpage: environment.ec.europa.eu/strategy/textiles-strategy_en [Accessed 16 September 2024].

4) A method for working backward from a desirable future to identify the actions needed to help shape the desired future(s) was developed by the Department of the Prime Minister and Cabinet, New Zealand. For more information, see the webpage: dpmc.govt.nz/our-programmes/policy-project/policy-methods-toolbox/futures-thinking/backcasting [Accessed 16 September 2024].

References

Antonini, E. (2019), "Incertezza, fragilità, resilienza | Uncertainty, fragility, resilience", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 6, pp. 6-13. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/612019 [Accessed 16 September 2024].

Azzalin, M. (2024), "Indicatore Smart Readiness per l'edilizia – Asset digitali per la transizione energetica | Smart Readiness indicator for buildings – Digital asset for energy transition", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 148-159. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15112024 [Accessed 16 September 2024].

Baratta, A. F. L., Andreotti, J., Trulli, L. and Calcagnini, L. (2023), "L'innovazione di prodotto per la transizione ecologica – Il riciclo del laterizio e del vetro | Product innovation for the ecological transition – Brick and glass recycling", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 227-236. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13192023 [Accessed 16 September 2024].

Casciani, D. (2023), "Moda e design modulare – Modularità come strategia di design per la sostenibilità | Fashion and modular design – Modularity as a design strategy for sustainability", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 326-337. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14282023 [Accessed 16 September 2024].

Circle Economy (2020), *The Circularity Gap Report 2020 – When circularity goes from bad to worse – The power of countries to change the game*. [Online] Available at: pacecircular.org/sites/default/files/2020-01/Circularity%20Gap%20Report%202020.pdf [Accessed 16 September 2024].

Editorial Board (2021), "Concrete needs to lose its colossal carbon footprint", in *Nature*, vol. 597, pp. 593-594. [Online] Available at: doi.org/10.1038/d41586-021-02612-5 [Accessed 16 September 2024].

EMF – Ellen MacArthur Foundation (2017), *Cities in the Circular Economy – An Initial Exploration*. [Online] Available at: emf.thirdlight.com/file/24/MC1eXz-MW2hx60MCEvuM6Pt5sI/Cities%20in%20the%20circular%20economy%3A%20An%20initial%20exploration.pdf [Accessed 16 September 2024].

Erwin, D. (2022), *Urban and peri-urban agriculture – Overview, conclusions and recommendations– An annex to Urban and peri-urban agriculture – From production to food systems*, FAO and Leuven, Rikolto, Rome. [Online] Available at: doi.org/10.4060/cb9734en [Accessed 16 September 2024].

European Commission (2020), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A new Circular Economy Action Plan for a Cleaner and more Competitive Europe*, document 52020DC0098, COM/2020/98 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2020%3A98%3AFIN [Accessed 16 September 2024].

Fabbri, I. (2023), "Smart Hubs – Una rete di oggetti urbani multifunzionali a supporto della micromobilità a Ferrara | Smart Hubs – A network of multifunctional urban objects to support micromobility in Ferrara", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 304-315. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14262023 [Accessed 16 September 2024].

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2016), *The state of food and agriculture – Climate change, agriculture and food security*. [Online] Available at: fao.org/3/a-i6372e.pdf [Accessed 16 September 2024].

FAO, Rikolto and RUAF (2022), *Urban and peri-urban agriculture sourcebook – From production to food systems*, FAO and Rikolto, Rome. [Online] Available at: doi.org/10.4060/cb9722en [Accessed 16 September 2024].

Fassio, F., Cionchi, E. and Tondella, A. (2020), "La circular economy for food nelle città del futuro – Buone pratiche per la definizione di Smart Food | The circular economy for food in future cities – Good practices that define Smart Food", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 8, pp. 244-253. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/8232020 [Accessed 16 September 2024].

Follesa, S., Corti, M., Struzziero, D. and Piluso, A. (2024), "Design del sistema alimentare per comunità resilienti – Agricoltura urbana e spazi sostenibili | Food system design for resilient communities – Urban agriculture and sustainable spaces", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 306-315. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15252024 [Accessed 16 September 2024].

Kasper, M. and Stroomer, E. (2021), "Moltiplicare le vite dei tessuti – Raccolta e riciclo dei tessuti nell'Africa urbanizzata | Multiplying textile lives – Textile collection recycling in urban Africa", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 9, pp. 224-231. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/9222021 [Accessed 16 September 2024].

Lauria, M. and Azzalin, M. (2021), "Paradigmi | Paradigms", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 9, pp. 12-21. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/912021 [Accessed 16 September 2024].

Losasso, M. and Verde, S. (2020), "Strategie progettuali di adattamento urbano ed edilizio in scenari di multirischio ambientale | Design strategies for urban and building adaptation in environmental multi-risk scenarios", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 8, pp. 64-73. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/862020 [Accessed 16 September 2024].

Migliorini, C. (2020), "La Sostenibilità attraverso l'Economia Circolare Transnazionale (SCRCE)", in *epale.ec.europa.eu*, 20/04/2020. [Online] Available at: epale.ec.europa.eu/it/blog/la-sostenibilita-attraverso-leconomia-circolare-transnazionale-scrce [Accessed 16 September 2024].

Ness, D. (2024), "La decarbonizzazione degli edifici sarà sufficiente? – Limitare e ridistribuire l'aumento di superficie costruita | Will decarbonising buildings be enough? – Constrain and redistribute growth in floor area", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 84-97. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1562024 [Accessed 16 September 2024].

Olivastri, C. and Tagliasco, G. (2024), "Servizi per il riuso e il riparo – L'allestimento tra touchpoints e infrastrutture relazionali | Services for reuse and repair – The arrangement between touchpoints and relational infrastructures", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 324-331. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15272024 [Accessed 16 September 2024].

RESISTIRÉ (n.d.), *Paris as a 15-minute city – Better Stories, Environment, France.* [Online] Available at: resistire-project.eu/better-stories/paris-as-a-15-minute-city/ [Accessed 16 September 2024].

Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummu, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., Petri, S., Porkka, M., Rahmstorf, S., Schaphoff, S., Thonicke, K., Tobian, A., Virkki, V., Wang-Erlandsson, L., Weber, L. and Rockström, J. (2023), "Earth beyond six of nine planetary boundaries", in *Science Advances*, vol. 9, issue 37, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.1126/sciadv.adh2458 [Accessed 16 September 2024].

Robinson, J. B. (1990), "Futures under glass – A recipe for people who hate to predict", in *Futures*, vol. 22, issue 8, pp. 820-842. [Online] Available at: doi.org/10.1016/0016-3287(90)90018-D [Accessed 16 September 2024].

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S. III, Lambin, E., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., De Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R. W., Fabry, V. J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. and Foley, J. (2009), "Planetary boundaries – Exploring the safe operating space for humanity", in *Ecology and Society*, vol. 14, issue 2, article 32. [Online] Available at: ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/ [Accessed 16 September 2024].

Scalisi, F. and Sposito, C. (2021), "Strategie e approcci 'green' – Un contributo dall'off-site e dall'upcycling dei container marittimi dismessi | Green strategies and approaches – A contribution from the off-site and upcycling of discarded shipping containers", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 92-119. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1092021 [Accessed 16 September 2024].

Scialoja, A. (2020), "Parla il sociologo – Edgar Morin – Per l'uomo è tempo di ritrovare sé stesso", in *Avvenire.it*, newspaper online, 15/04/2020. [Online] Available at: avvenire.it/agora/pagine/per-luomo-tempo-di-ritrovare-se-stesso [Accessed 16 September 2024].

Sommariva, E., Canessa, N. V. and Tucci, G. (2022), "Azioni verdi per città innovative – Il nuovo paesaggio agroalimentare | Green actions for innovative cities – The new agri-food landscape", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 150-161. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/11132022 [Accessed 16 September 2024].

SRC – Stockholm Resilience Centre (2024), *Planetary Boundaries*. [Online] Available at: stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html [Accessed 16 September 2024].

Steuteville, R. (2017), "Great idea – Pedestrian shed and the 5-minute walk", in *Public Square | A CNU Journal*, newspaper online, 07/02/2017. [Online] Available at: cnu.org/publicsquare/2017/02/07/great-idea-pedestrian-shed-and-5-minute-walk [Accessed 16 September 2024].

Tucci, F., Altamura, P. and Pani, M. M. (2023), "Modulare le dinamiche urbane in chiave climatica – Spazi intermedi e neutralità climatica | Modulating urban dynamics from a climate perspective – In-between spaces and climate neutrality", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 204-215. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14172023 [Accessed 16 September 2024].

UN-Habitat (2018), *Energy and Resource Efficient Urban Neighbourhood Design Principles for Tropical Countries – Practitioner's Guidebook*. [Online] Available at: unhabitat.org/sites/default/files/2020/06/gh046e_compressed.pdf [Accessed 16 September 2024].

UNDESA – United Nations Department of Economic and Social Affair (2019), *World Urbanization Prospects – The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)*, United Nations, New York. [Online] Available at: population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf [Accessed 16 September 2024].

Valenti, A. and Pasquero, C. (2021), "La seconda vita dei micro organismi – Il design biodigitale per una nuova ecologia dello spazio e del comportamento | The second life of micro-organisms – Bio-digital design for a new ecology of space and behaviour", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 9, pp. 42-53. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/942021 [Accessed 16 September 2024].

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 40-49
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/1632024

ARTICLE INFO

Received 14 October 2024
Revised 18 October 2024
Accepted 20 October 2024
Published 30 December 2024

IA GENERATIVA E COMPLESSITÀ
Verso un nuovo paradigma nel design digitale rigenerativo

GENERATIVE AI AND COMPLEXITY
Towards a new paradigm in regenerative digital design

Consuelo Nava, Alessandro Melis

ABSTRACT

La sintesi di intelligenza artificiale, deep learning e progettazione parametrica nell'ambito del design digitale rigenerativo ha il potenziale per rimodellare in modo significativo la fase di pre-progettazione in scenari climatici. Attraverso la formulazione di un nuovo flusso di lavoro che collega i processi computazionali con la progettazione incentrata sull'uomo è possibile realizzare un approccio più adattabile alla progettazione ambientale, che non solo anticipa le complessità del nostro ambiente costruito, ma favorisce anche una creatività collettiva reattiva e resiliente. Partendo dall'abstract e dall'introduzione, si propone un focus che indaga la complessità e il campo emergente della progettazione digitale rigenerativa, in particolare nell'ambito degli scenari climatici. La premessa fondamentale è che la capacità di apprendimento profondo e di elaborazione del linguaggio naturale dell'IA può andare oltre i semplici risultati visivi per affrontare sfide progettuali ricche di sfumature e sfaccettature.

The synthesis of artificial intelligence, deep learning and parametric design in regenerative digital design can significantly reshape the pre-design phase in climate scenarios. By formulating a new workflow linking computational processes with human-centred design, it is possible to realise a more adaptive approach to environmental design that anticipates the complexities of our built environment and fosters responsive and resilient collective creativity. Starting from the abstract and introduction, a focus is proposed to investigate the complexity and emerging field of regenerative digital design, particularly in climate scenarios. The basic premise is that AI's deep learning and natural language processing capabilities can go beyond simple visual outcomes to address nuanced and multifaceted design challenges.

KEYWORDS

intelligenza artificiale, design digitale rigenerativo, tecnologie abilitanti, tecnologie emergenti, esattazione

artificial intelligence, regenerative digital design, enabling technologies, emerging technologies, exaptation

Consuelo Nava is a Full Professor of Technological and Environmental Design of Architecture, Director of the Department of Architecture and Territory of the 'Mediterranea' University of Reggio Calabria (Italy) and Scientific Coordinator of ABITAlab, a laboratory active on the Reggio Calabria site of the ABITA Inter-University Centre. She investigates the issue of innovation and sustainability of the project through frontier research experiences based on the most recent paradigms of technologies for the environment, their evolution of enabling and emerging technologies, and the application of emerging technologies to regenerative digital design in climate change scenarios. E-mail: consuelo.nava@unirc.it

Alessandro Melis is the first Chair of the IDC Foundation and Professor at the School of Architecture and Design of the New York Institute of Technology (USA). In 2021, he was Curator of the Italian Pavilion at the Venice Biennale and was appointed Ambassador of Italian Design in 2021 in Paris and 2022 in New York and Washington. He was Director of the International Cluster for Sustainable Cities at the University of Portsmouth and Director of Postgraduate Engagement at the University of Auckland. His research topics include studies of architecture and palaeontology, the visioning of resilient communities in climate change scenarios, and transdisciplinary insights into exactitude in architecture. Email: amelis@nyit.edu



Come premessa assumiamo una visione più ampia dell'uso dell'IA nella sua applicazione all'ingegneria e all'architettura incentrata sull'uomo, richiamando un importante contributo della letteratura recente, pubblicato sulla rivista Computers in Human Behavior Reports, dal titolo Towards Human-centered Artificial Intelligence (AI) in Architecture, Engineering, and Construction (AEC) Industry (Rafsanjani and Nabizadeh, 2023, p. 1) in cui si considera «[…] Human-centered AI, mainly via natural language processing and machine reading comprehension, can understand and learn from human interests, preferences, languages, and behaviors for providing human-centered environments, systems, and approaches that satisfy human interests and preferences». Come benefici chiave si prevede che l'Intelligenza Artificiale (IA) incentrata sull'uomo porti all'ottimizzazione dell'elaborazione architettonica, al miglioramento delle capacità di progettazione e ingegnerizzazione, alla gestione dei progetti basata sui dati, al miglioramento della collaborazione e al potenziamento della sicurezza.

La personalizzazione dell'IA incentrata sull'uomo e la formazione dei suoi sistemi sono considerate le sfide principali nello sviluppo di questa tecnologia nel settore AEC. È chiaro che si stanno prendendo in considerazione anche i rischi di un tale utilizzo, il che supporta anche il Rapporto 2023 del WEF, in cui la mappa dell'impatto delle tecnologie emergenti sulla percezione delle comunità rivela un senso di paura e sfiducia verso l'uso di tali tecnologie avanzate, una importante sfida sociale (WEF, 2023).

Non si può negare che l'IA in architettura svolga un ruolo importante nei processi di automazione, ma nelle condizioni specifiche in cui il mondo fisico deve essere collegato al mondo digitale e viceversa, attraverso un processo che coinvolge la modellazione nella ricerca applicata, cambia l'approccio stesso alla progettazione (Nava, 2024). Un nuovo rapporto tra progetto, tecnologia e nuova cibernetica si profila in ambito di transizione digitale ed ecologica in cui la stessa cibernetica «[…] diventa allo stesso tempo il modello attraverso cui interpretiamo la realtà e la struttura di assiomi e regole di trasformazione tramite cui strutturiamo il nostro agire razionale» (Zaffagnini and Palmini, 2022, p. 25).

Questo approccio integrativo enfatizza l'accoppiamento degli algoritmi di IA – principalmente quelli coinvolti nell'apprendimento automatico (ML) e nell'apprendimento profondo (DL) – con suggerimenti in linguaggio naturale per facilitare i processi decisionali nella fase di pre-progettazione. Tali suggerimenti fungono da 'ponti' linguistici, guidando l'IA verso risposte ottimali che non sono solo basate sull'immagine, ma anche radicate negli aspetti funzionali, performativi ed esperienziali del design.

La sfida consiste quindi nel creare un ambiente di progettazione generativa in cui le capacità dell'IA non siano semplicemente reattive, ma si impegnino attivamente nella complessità della progettazione guidata dai dati; ciò comporta l'utilizzo di reti neurali e algoritmi genetici (Russell and Norvig, 2016) per prevedere e visualizzare le prestazioni ambientali, i comportamenti degli utenti e le risposte dei materiali (Abdel-Rahman et alii, 2019). Posizionando l'IA all'interno di questo quadro più ampio di progettazione digitale rigenerativa, i progettisti possono gestire in modo più efficace obiettivi contrastanti, come bilanciare l'efficienza energetica con le preferenze estetiche o ottimizzare la sostenibilità senza compromettere la funzionalità (Melis, Pievani and Lara-Hernandez, 2024).

Un nuovo metodo di design: verso un nuovo flusso di lavoro con approcci integrativi all'IA e alla progettazione parametrica | L'attuale dibattito sulla Progettazione Assistita dall'Intelligenza Artificiale (AIAD) tende a focalizzarsi sulle capacità di text-to-image, come esemplificato da sistemi quali Dall-E 2, Stable Diffusion e MidJourney (Melis, Fadhil and Battistoni, 2024). Sebbene questi strumenti eccellano nella generazione di contenuti visivi informati da suggerimenti chiave, essi rappresentano solo un aspetto del più ampio potenziale dell'IA. L'integrazione dell'IA nei processi di progettazione parametrica, che tradizionalmente si basano su modelli matematici per simulare le condizioni climatiche e ottimizzare le prestazioni ambientali, suggerisce un'applicazione dell'IA più ricca di quella attualmente in uso. Sorge quindi la domanda: come può l'IA generativa, in particolare i modelli di DL, essere sfruttata più efficacemente per affrontare le sfide della progettazione che comprendono dimensioni ambientali, sociali e tecnologiche complesse?

In questo contesto è importante affrontare il processo di discretizzazione, ovvero il metodo di scomporre i dati continui in intervalli discreti a fini computazionali. La discretizzazione è un passaggio cruciale quando si utilizzano strumenti di simulazione ambientale (ad esempio Lady Bug ed ENVI-met) e la capacità dell'IA di elaborare grandi quantità di dati offre un'opportunità interessante per perfezionare i modelli predittivi nell'ambito degli scenari climatici. Unendo questi strumenti con algoritmi generativi basati sull'IA emerge un nuovo flusso di lavoro, in cui l'IA contribuisce alla fase di pre-progettazione attraverso continui cicli di feedback che affinano e migliorano le soluzioni progettuali (Melis, Pievani and Lara-Hernandez, 2024).

Il processo rigenerativo, inteso nelle sue relazioni di produzione e scambio di dati-informazioni-risorse, è stato più volte descritto nel suo profilo innovativo come capace di guidare la progettazione e la discussione dei temi della sostenibilità in modo 'avanzato' e con risultati di 'alta performatività', in grado di lavorare per scenari di adattamento e mitigazione del clima, rispondendo a diversi stati di impatto sull'ecosistema fisico. Da un punto di vista digitale è in grado di produrre e scambiare visioni preventive e predittive: il design rigenerativo assume così un carattere organizzativo per individuare opzioni che portino a nuove soluzioni attraverso l'uso di tecnologie adattive. In effetti il design ecologico e sostenibile ha sempre avuto nella sua natura la capacità di comprendere la necessità della sua struttura argomentativa e processuale (Nava, 2023).

Si propone quindi la costruzione di un nuovo flusso di lavoro che rifonda metriche, pratiche, piattaforma, strumenti, interazioni (Nava, 2022b), reinterpretando il quadro operativo adottato della progettazione rigenerativa di tipo socio-ecologico. La sua operatività si fonda tra la fase degli strumenti che praticano l'ottimizzazione multi-obiettivo e la fase delle interazioni; tale processo, secondo l'approccio del salto di scala, introduce, attraverso processi di DL, gli strumenti di modellazione diffusa per la produzione di immagini dal testo, che si collocano nelle stesse interazioni come spazio di discretizzazione per la visualizzazione di opzioni di scenario o tempi di scenario, la cui visualizzazione è prodotta con l'IA.

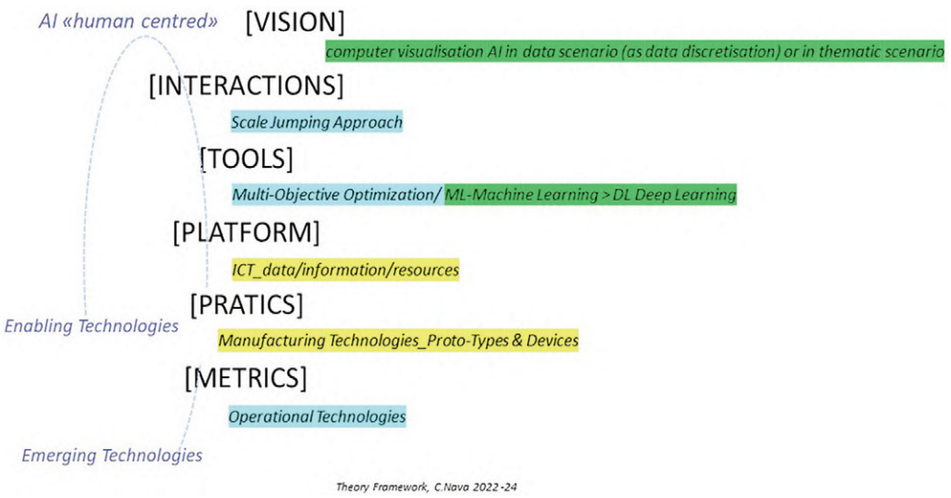
Poiché il carattere incentrato sull'uomo è fortemente enfatizzato, a causa della necessità di produrre tali visualizzazioni, dalla selezione generativa personalizzata ai fini della formulazione predittiva e prescrittiva di interventi sugli scenari emergenti, si è proceduto a sviluppare un nuovo quadro operativo che viene illustrato in Figura 1. È chiaro che alcune delle metriche sono alimentate dai nuovi paradigmi e che le stesse vengono messe in discussione come tecnologie operative. Le pratiche sono discusse nella capacità di realizzare prototipi digitali e fisici che tracciano la 'forma generativa' delle immagini create con l'IA su scenari di simulazione ottenuti dal processo rigenerativo[1]. La piattaforma operativa rimane 'dati / informazioni / risorse', dove è evidente che i dati e le informazioni degli algoritmi di IA si aggiungono a quelli dei processi rigenerativi, estendendo il contenuto del DL attraverso la definizione dei caratteri della visualizzazione informatica.

Le attività di ricerca condotte da ABITAlab sulle tecnologie abilitanti i processi di innovazione (Nava, 2019; Weber and Rohracher, 2012), fin dalla loro prima sperimentazione, esprimono attraverso la digitalizzazione un sapere esperto nel rapporto tra 'dati / informazioni / risorse', con l'ambizione di definirne ambiti 'intelligenti' di operatività e prodotti evoluti in termini di innovazione tecnologica di tipo incrementale. L'impatto sociale di tale scenario evoluto è differentemente registrabile in termini di prodotti immateriali e materiali, valutando l'efficienza del funzionamento di dispositivi, reti, strumentazioni e processi ottimizzati.

Nel settore industriale, con particolare riferimento alle costruzioni, lo sviluppo sperimentale è applicato a esercizi sul metabolismo urbano, sull'ecologia e circolarità delle risorse, sull'automazione dell'housing, sul cantiere evoluto industrializzato disposto dal design digitale, fino alla capacità del progetto di gestire e operare con una quantità di dati e quindi di informazioni per il processo progettuale, mai esperito prima, e alla capacità di optare tra strategie e configurazioni alternative per le scelte più complesse in ambito di trasformazione dell'ambiente costruito (Nava, 2024; Mussinelli, 2023).

Le attività di ricerca condotte da ABITAlab sulle tecnologie emergenti per i processi più avanzati e ad alto impatto ecologico (Nava, 2023), assorbendo il dato digitale dalle KETs (Key Enabling Technologies), operano all'interno di livelli di conoscenza e del loro trasferimento, al fine di aumentare la consapevolezza degli utenti finali sui prodotti e sui processi, verso l'uso di dispositivi sempre più performanti, la cui innovazione di tipo radicale spinge a che la diffusione della disponibilità degli stessi e il loro uso produca un alto impatto socio-tecnico, rappresentando la necessità di evolvere la scienza verso i confini più estremi, ma anche più indirizzati a ottenere i livelli più alti di qualità totale e di benessere degli utenti.

I processi rigenerativi studiati e organizzati per il progetto ambientale alla scala territoriale, urbana e di cluster rappresentano la più efficace condizione con cui le tecnologie emergenti connettono le strumentazioni più evolute con l'interfaccia dei comportamenti umani, come condizione principale del successo degli stessi esercizi applicati. Si pensi alla capacità della prototipazione alla scala 1:1 di personalizzare i prodotti (compreso le case) e alle condizioni per cui la circolarità delle risorse investe un secondo livello di uso delle stesse, avanzando le



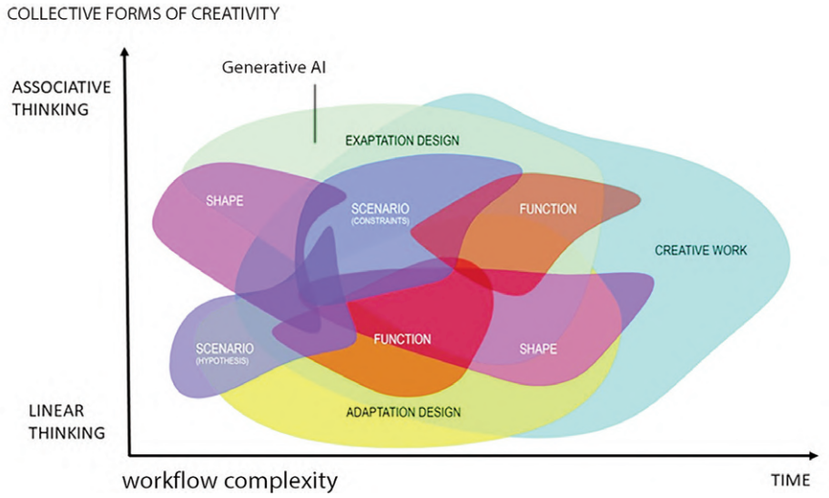


Fig. 1 | New Re-Generative Digital Design framework (credit: C. Nava, 2024).

Fig. 2 | Diagram describing the complexity of the design workflow extended to 'exaptation' mechanisms (credit: the Authors, 2024).

teorie del riciclo con quelle dell'upcycling per tecnologie e prodotti migliorati.

E ancora, all'uso dell'IA, come opportunità per aumentare la propria condizione previsionale del progetto urbano e di architettura in scenari rigenerativi in cui il design dell'ottimizzazione e del 'salto di scala' divengono nuovi livelli di operatività del progetto predittivo e interscalare. E infine si pensi al settore dei materiali avanzati, capaci di ibridare la materia di tipo biogenica con quella di tipo antropogenica, ai fini dei processi di decarbonizzazione ancora troppo impattanti, come quelli che operano attraverso i processi costruttivi di tipo industriale (Nava, 2024; Yildirim, 2022).

Verso l'applicazione al design rigenerativo: approccio multidominio, ottimizzazione e salto di scala | Il ruolo dell'IA nel promuovere la creatività e affrontare la complessità è strettamente allineato alla sua capacità di interpretare e agire su grandi insiemi di dati multidimensionali (Fig. 2). Nell'ambito della progettazione urbana e dell'architettura l'integrazione dell'IA offre un modo per andare oltre le singole narrazioni dello spazio e verso approcci più olistici, adattabili e resilienti; questa capacità di sintesi interdisciplinare sottolinea il potenziale dell'IA come mediatore tra le dimensioni tangibili e intangibili della progettazione architettonica.

L'IA può funzionare non solo come generatore di immagini, ma anche come motore per la 'geostrategizzazione', ossia per l'analisi dei dati geografici insieme a fattori comportamentali, culturali e ambientali per informare le strategie di progettazione adattiva. Queste strategie si estendono a una miriade di applicazioni, dalla previsione dell'utilizzo dell'energia e dal monitoraggio delle prestazioni degli edifici fino al miglioramento delle esperienze degli utenti e all'immaginazione di scenari urbani futuri (Melis and Pievani, 2022).

L'idea della 'mutazione per diffusione', che è la tecnica di trasformazione e generazione di immagini attraverso i sistemi di IA, serve come punto di partenza per considerare come l'IA generativa potrebbe analogamente 'mutare' i paradigmi tradizionali del design. Il processo di progettazione diventa un dialogo iterativo tra l'intuizione umana e l'intelligenza della macchina, in cui i confini tra creatore e strumento diventano sempre più labili: è qui che l'IA funge da catalizzatore per la 'exaptation' (termine usato per descrivere come strutture o concetti esistenti vengono cooptati per nuove funzioni) spingendo i designer a ripensare e riconfigurare le relazioni spaziali e funzionali all'interno del loro lavoro (Melis, Pievani and Lara-Hernandez, 2024).

Inoltre la nozione di creatività collettiva emerge come elemento cruciale di questo discorso; piuttosto che rafforzare una divisione binaria tra umani e macchine, l'IA favorisce una partnership simbiotica in cui il design è un processo esattivo che consente alle idee di evolvere oltre i vincoli lineari della coscienza. Ciò si allinea con la tesi più ampia secondo cui la creatività è intrinsecamente associativa, emergendo attraverso reti di influenza, collaborazioni interdisciplinari e cicli di feedback iterativi: l'IA diventa quindi un amplificatore di queste connessioni, aprendo nuovi percorsi di sperimentazione ed esplorazione. Su tali premesse è quindi possibile costruire un nuovo flusso di lavoro, di tipo rigenerativo, in grado di lavorare su domini digitalmente connessi e informati sia da strumenti di data-climate, che utilizzano la modellazione parametrica (Naboni and Havinga, 2019; Nava, 2022a), sia da informazioni prodotte (immagini) con la modellazione diffusa che utilizza processi di AI, le cui fasi possono essere descritte come segue:

– Fase 1, costruzione del quadro operativo che mostra i domini collegati digitalmente (intento progettuale, processo e risultati del quadro);
– Fase 2, correlazione degli obiettivi ai dati e individuazione delle relazioni con gli oggetti dello studio, attraverso la personalizzazione dei componenti realizzata con la modellazione parametrica (Figg. 3-5);
– Fase 3, accoppiamento tra le attività di generazione degli oggetti e l'azione degli strumenti di rigenerazione;
– Fase 4, salto di scala 1 con comprensione degli obiettivi in conflitto, multidominio e ottimizzazione degli obiettivi e prima visualizzazione dei modelli predittivi sugli scenari climatici (Figg. 6-8);
– Fase 5, salto di scala 2 con analisi dell'integrazione multidominio attraverso il Machine Learning Regenerative Digital Design e dell'integrazione multidominio attraverso il Deep Learning (Figg. 9, 10);
– Fase 6, produzione di modelli di previsione e delle relative immagini attraverso operazioni di text-to-image e di visualizzazione computerizzata AI in uno scenario di dati (come discretizzazione dei dati) o in uno scenario di tipo informatico (Fig. 11).

Nel contesto del design digitale rigenerativo e della sua attenzione agli scenari climatici (IPCC, 2023), i principi della 'exaptation' possono guidare il processo creativo verso soluzioni adattive e multifunzionali. La ridondanza insita in molti sistemi di progettazione – sotto forma di spazio in eccesso, resistenza strutturale o proprietà dei materiali – non deve essere vista come uno spreco, ma come una riserva di possibili innovazioni. Ciò è in linea con il concetto di evolvibilità nella biologia evolutiva, dove le caratteristiche apparentemente inefficienti di un organismo contengono il potenziale per futuri

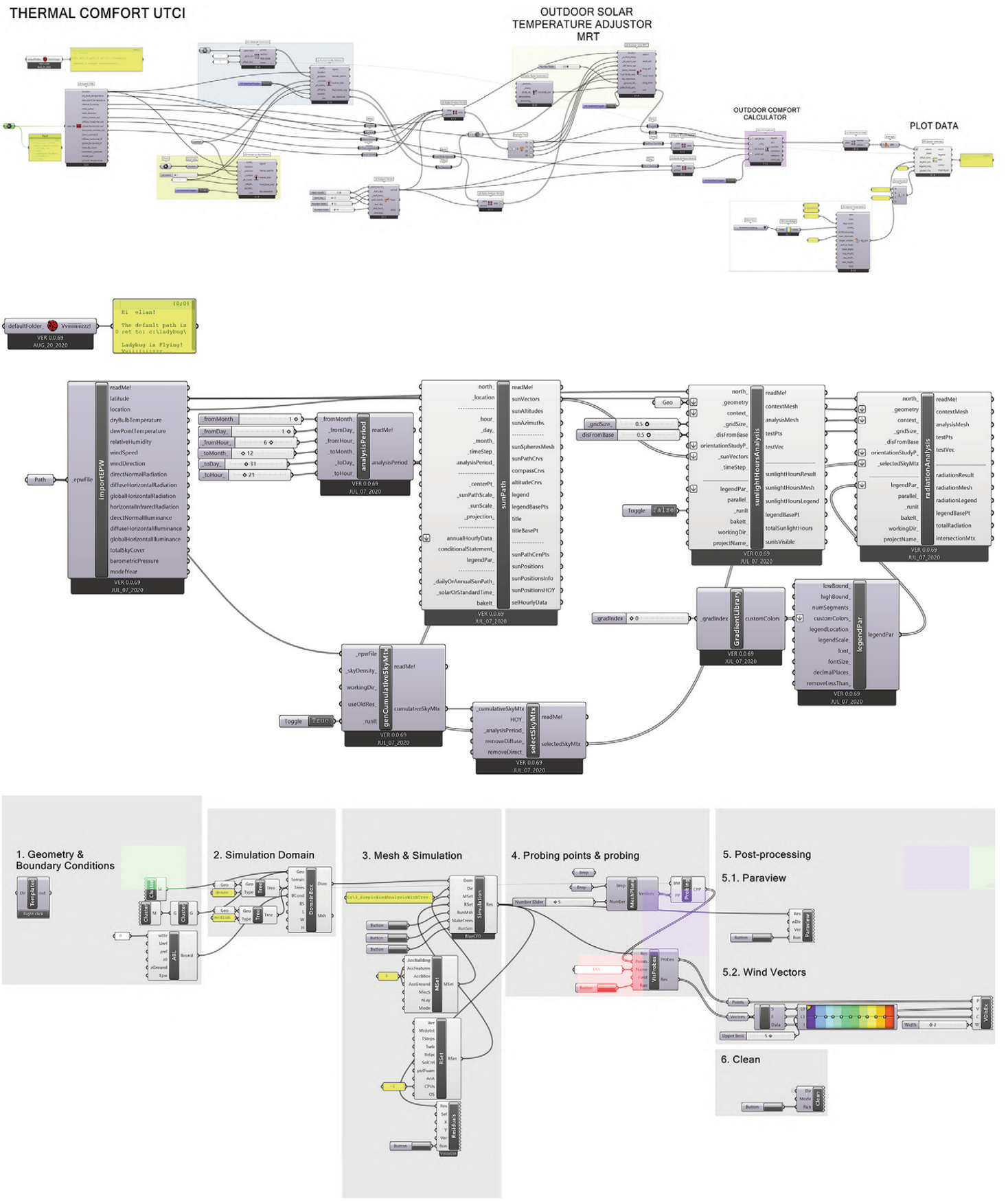


Fig. 3 | Phases 2 and 3: script developed for the thermal comfort analysis of the workflow process with Grasshopper / Plug-in (credit: ABITAlab; processed by D. Laganà, 2023).

Fig. 4 | Phases 2 and 3: script developed for the Sunlight Hours Analysis and Solar Radiation Analysis (credit: ABITA

Fig. 5 | Phases 2 and 3: script developed for Wind Flow Analysis (credit: ABITAlab; processed by E. Catalano, 2024).

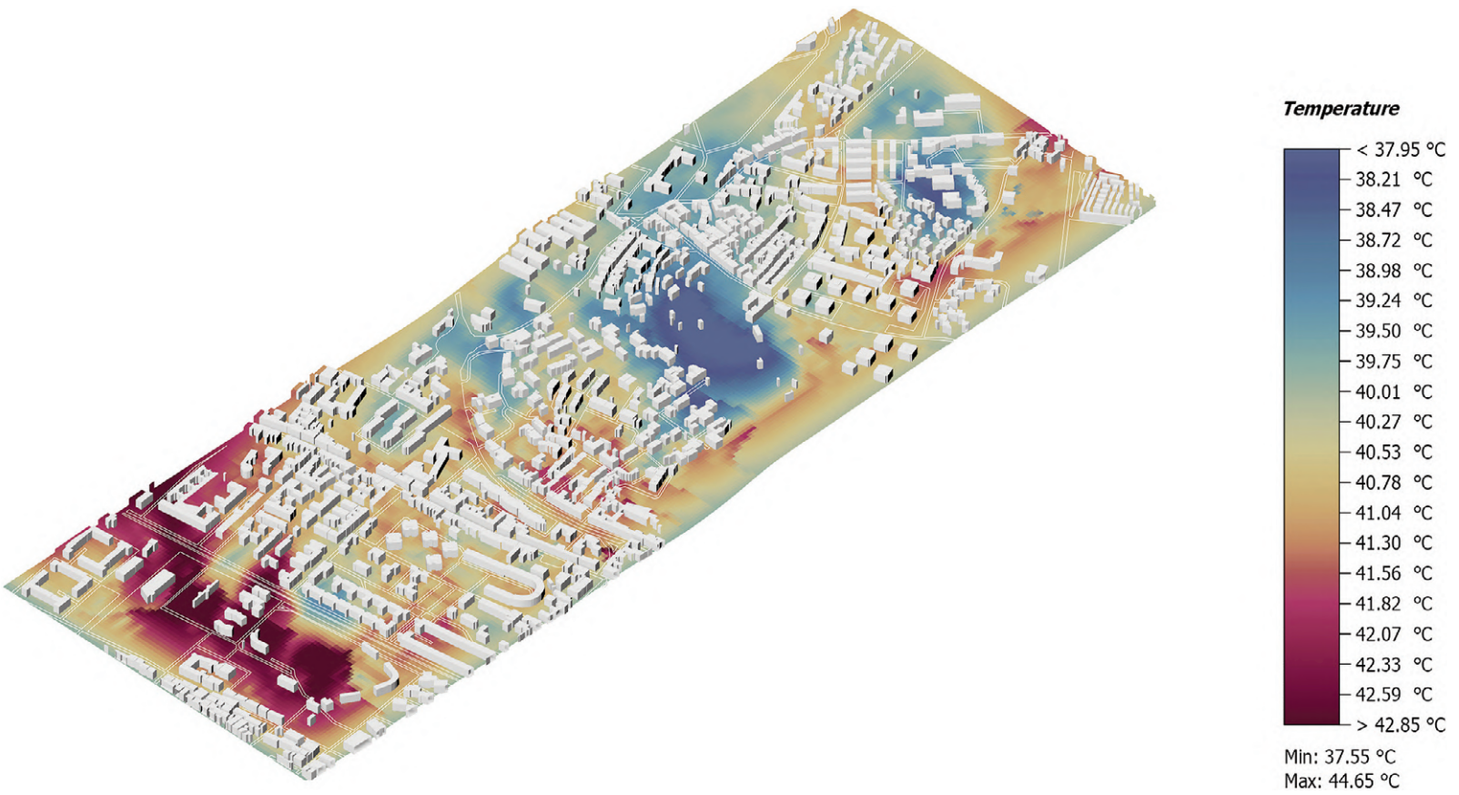


Fig. 6 | Step 4: Visualisation of the Reggio Cal.Sud temperature cluster, processed with ENVI-met scenario 2050, critical day 11 July (credit: ABITAlab; processed by E. Catalano, 2024).

adattamenti e risposte ai cambiamenti ambientali (Pievani and Serrelli, 2011).

Riflessioni conclusive sulla convergenza della complessità: exaptation, ridondanza e potenzialità del design adattivo | Nei processi di progettazione parametrica la flessibilità di simulare e regolare un'ampia gamma di variabili consente di esplorare le opportunità latenti all'interno di uno spazio di progettazione. Le capacità generative dell'IA migliorano ulteriormente questo processo, consentendo ai progettisti di esplorare diverse permutazioni e percorsi che potrebbero non essere immediatamente evidenti. I sistemi di intelligenza artificiale, attraverso l'apprendimento profondo, possono aiutare a riconoscere i modelli di ridondanza o di potenziale inutilizzato all'interno di dati e strutture, consentendo di cooptare questi elementi per nuovi scopi, in modo simile all'adattamento nei sistemi biologici (Tattersall, 2010).

La convergenza dell'IA generativa e della complessità del design apre nuove strade per esplorare il potenziale dell'adattamento all'interno delle pratiche creative. Sfruttando l'IA per modellare, prevedere e suggerire usi alternativi per gli elementi di design, i professionisti possono andare oltre i tradizionali schemi adattivi e abbracciare l'imprevedibilità intrinseca dei sistemi complessi. Questa prospettiva non solo arricchisce il processo creativo, ma si allinea anche a un'etica di sostenibilità e resilienza in cui la ridondanza e la multifunzionalità diventano risorse per rispondere ai mutevoli contesti ambientali e sociali.

In sintesi la complessità nel design, intesa attraverso la lente evolutiva dell'adattamento, enfatizza la fluidità della forma e della funzione e incoraggia l'apertura alle possibilità emergenti dei sistemi di progetto. Integrando questi principi nei flussi di lavoro assistiti dalla IA e nei processi di progettazione parametrica i designer possono coltivare una pratica adattabile, innovativa e profondamente in sintonia con il potenziale di trasformazione creativa (Figg.12, 13).

Comprendere la complessità del design attraverso la lente della 'exaptation' (Fig. 14) significa riconoscere che l'origine e lo sviluppo delle caratteristiche del design non sono sempre lineari o guidati dallo scopo: come le ali dell'airone nero, inizialmente adattate per la termoregolazione e in seguito cooptate per proiettare ombre atte a catturare le prede (McLachlan and Liversidge, 1972), gli elementi di design possono servire a scopi multipli e stratificati nel tempo. In architettura ciò potrebbe manifestarsi come spazi o materiali originariamente destinati a un uso che vengono ripensati in risposta a esigenze culturali o ambientali in evoluzione.

Questi spostamenti funzionali sono parte integrante della pratica della progettazione creativa, in cui le strutture non sono solo modellate per gli scopi previsti, ma anche dalle opportunità impreviste che si presentano al designer. Il concetto di 'spandrels' – spazi architettonici che emergono come sottoprodotti di vincoli strutturali, ma che forniscono un valore estetico o funzionale non previsto – funge da metafora per questo tipo di complessità (Gould and Vrba, 1982): proprio come gli 'spandrels' in biologia si riferiscono a tratti non adattivi poi cooptati per nuovi usi, così anche gli elementi di design architettonico e urbano possono emergere da vincoli e poi essere riutilizzati, fornendo un'opportunità per applicazioni innovative e funzionalità migliorate.

La 'exaptation' evidenzia pertanto il valore della polifunzionalità e della ridondanza, caratteristiche che, pur essendo apparentemente inefficienti o costose, fungono da riserva di potenziali trasformazioni. Così come il 'DNA spazzatura' ridondante del genoma umano funge da deposito per futuri geni funzionali (Pievani and Serrelli, 2011), anche gli elementi di design all'interno dell'architettura, dell'urbanistica e dei sistemi ambientali possono contenere possibilità latenti di riutilizzo. Questa prospettiva invita i progettisti a considerare la complessità non come una sfida da controllare, ma come un terreno fertile per scoprire allineamenti inaspettati e funzioni emergenti, con la necessità però di controllare anche l'impatto socio-etico che l'uso di tecnologie emergenti e approcci multiscalari producono nell'avanzamento di processi di innovazione distruttiva e radicale, per affrontare le sfide più globali verso la neutralità climatica e carbonica (Wiarda and Doorn, 2023).

As a premise, we take a broader view of the use of human-centred AI in its application to engineering and architecture, recalling an essential contribution from the recent literature published in the journal Computers in Human Behavior Reports, entitled Towards Human-centred Artificial Intelligence (AI) in Architecture, Engineering, and Construction (AEC) Industry (Rafsanjani and Nabizadeh, 2023, p. 1) which considers «[…] Human-centered AI, mainly via natural language processing and machine reading comprehension, can understand and learn from human interests, preferences, languages, and behaviours for providing human-centred environments, systems,

and approaches that satisfy human interests and preferences». As key benefits, human-centred Artificial Intelligence (AI) is expected to lead to optimised architectural processing, improved design and engineering capabilities, data-driven project management, collaboration, and enhanced security.

The personalisation of human-centred AI and the training of its systems are considered the main challenges in developing this technology in the AEC sector. The risks of such use are also being considered, which also supports the WEF's 2023 Report, in which the map of the impact of emerging technologies on community perceptions reveals a sense of fear and distrust towards the use of such advanced technologies, a major societal challenge (WEF, 2023).

It cannot be denied that AI in architecture plays a vital role in automation processes, but in the specific conditions where the physical world needs to be connected to the digital world and vice versa, through a process involving modelling that, especially in applied research, changes the very approach to design (Nava, 2024). A new relationship between design, technology and the new cybernetics looms in the digital and ecological transition in which cybernetics itself «[…] becomes both the paradigm through which we interpret reality and the system of assumptions and rules that guides our rational agency» (Zaffagnini and Palmini, 2022, p. 31).

This integrative approach emphasises coupling AI algorithms – mainly those involved in machine learning (ML) and deep learning (DL) – with natural language suggestions to facilitate decision-making processes in the pre-design phase. Such suggestions act as linguistic 'bridges', guiding AI towards optimal responses that are not only image-based but also rooted in design's functional, performative and experiential aspects.

The challenge is, therefore, to create a generative design environment in which AI capabilities are not merely reactive but actively engage in the complexity of data-driven design. This involves using neural networks and genetic algorithms (Russell and Norvig, 2016) to predict and visualise environmental performance, user behaviour and material responses (Abdel-Rahman et alii, 2019). By positioning AI within this broader regenerative digital design framework, designers are faced with more effectively managing conflicting goals, such as balancing energy efficiency with aesthetic preferences or optimising sustainability without compromising functionality (Melis, Pievani and Lara-Hernandez, 2024).

A new design method: towards a new workflow with integrative approaches to AI and parametric design | The current debate on Artificial Intelligence Assisted Design (AIAD) tends to focus on text-to-image capabilities, as exemplified by systems such as Dall-E 2, Stable Diffusion, and Mid-Journey (Melis, Fadhil and Battistoni, 2024). Although these tools excel in generating visual content informed by key prompts, they represent only one aspect of the broader potential of AI. Integrating AI into parametric design processes, which traditionally rely on mathematical models to simulate climatic conditions and optimise environmental performance, suggests a more prosperous AI application than is currently in use. The question then arises: how can generative AI, particularly DL models, be more effectively harnessed to address design challenges that include complex environmental, social and technological dimensions?

In this context, it is essential to address the discretisation process, i.e., decomposing continuous data into discrete intervals for computational purposes. Discretisation is a crucial step when using environmental simulation tools (e.g., Lady Bug and ENVI-met), and the ability of AI to process large amounts of data offers an exciting opportunity to refine predictive models in the context of climate scenarios. Combining these tools with AI-based generative algorithms generates a new workflow in which AI contributes to the pre-design phase through continuous feedback loops that refine and improve design solutions (Melis, Pievani and Lara-Hernandez, 2024).

The regenerative process, understood in its relations of production and exchange of data-information-resources, has been repeatedly described in its innovative profile as capable of guiding the design and discussion of sustainability issues in an 'advanced' way and with 'high performativity' results, able to work for climate adaptation and mitigation scenarios, responding to different states of impact on the physical ecosystem. From a digital perspective, it can produce and exchange preven-

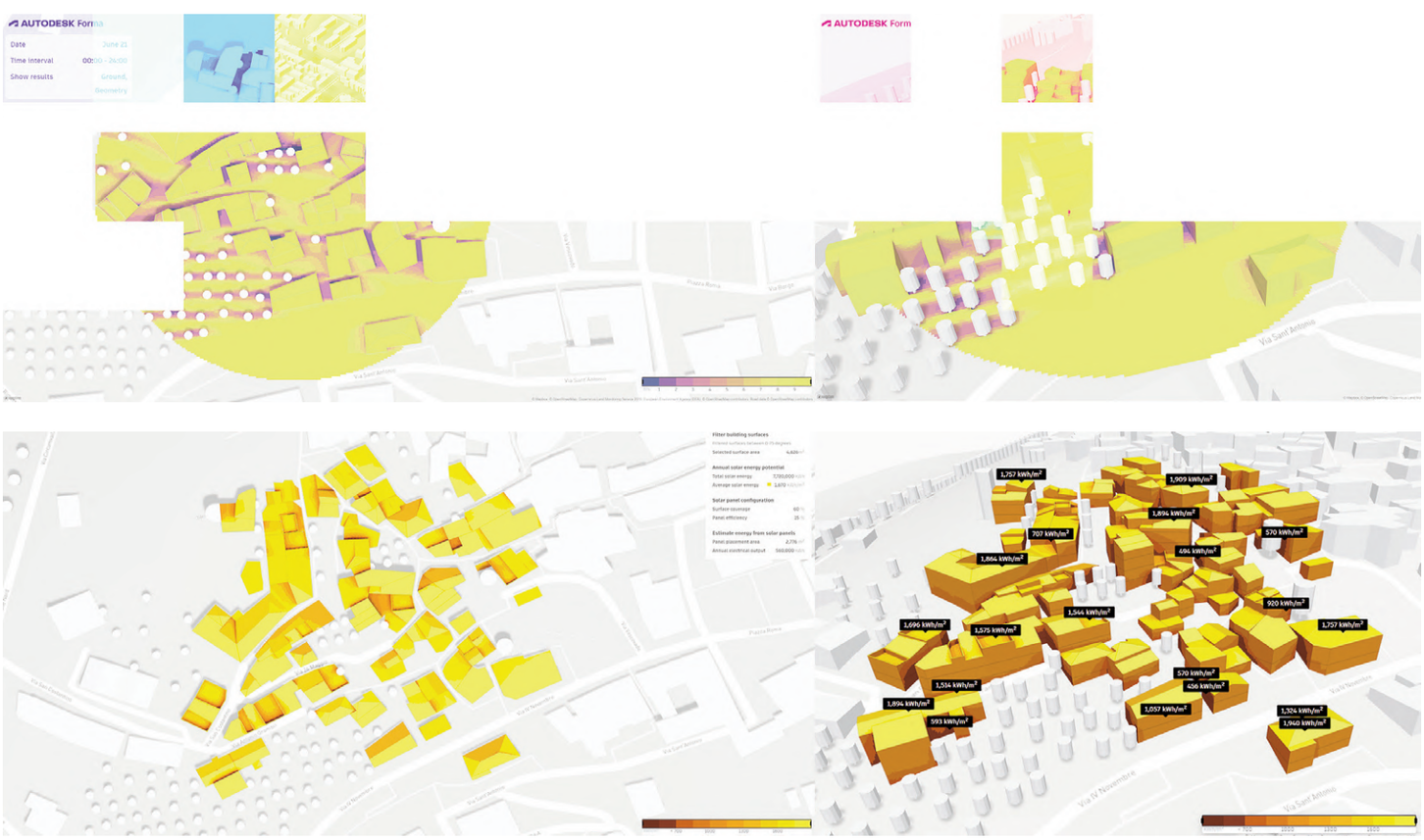
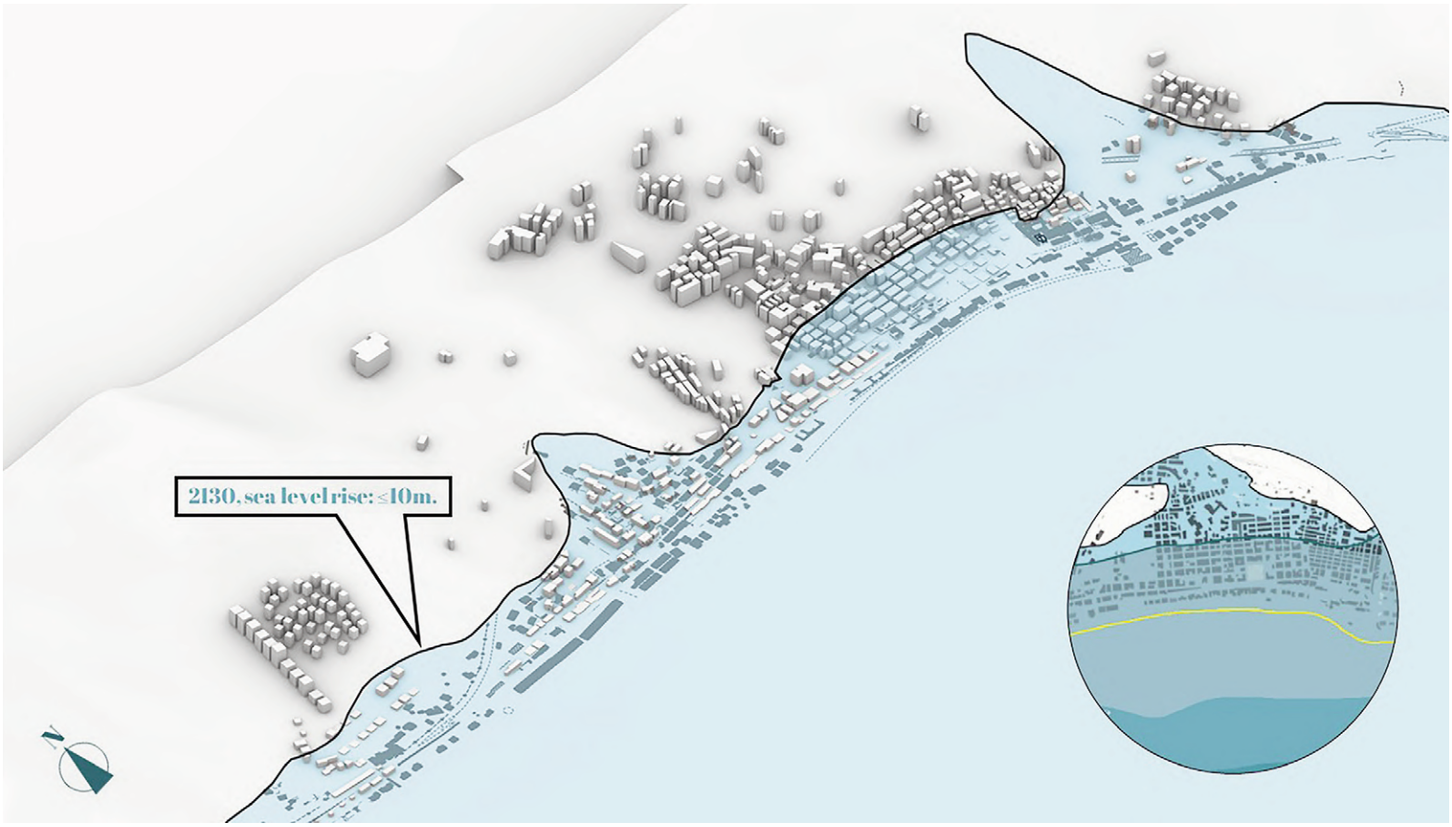


Fig. 7 | Step 4: Sunlight Hours Analysis for a cluster in Bova (RC) on 21 June 2023 processed with Forma Autodesk (credit: ABITAlab; processed by E. Catalano, 2024).

Fig. 8 | Phase 4: Radiation Analysis on a building cluster in Bova (RC, IT) for 21 June 2023, highlighting the highest solar exposure values (figure on right) processed with Forma Autodesk (credit: ABITAlab; processed by E. Catalano, 2024).



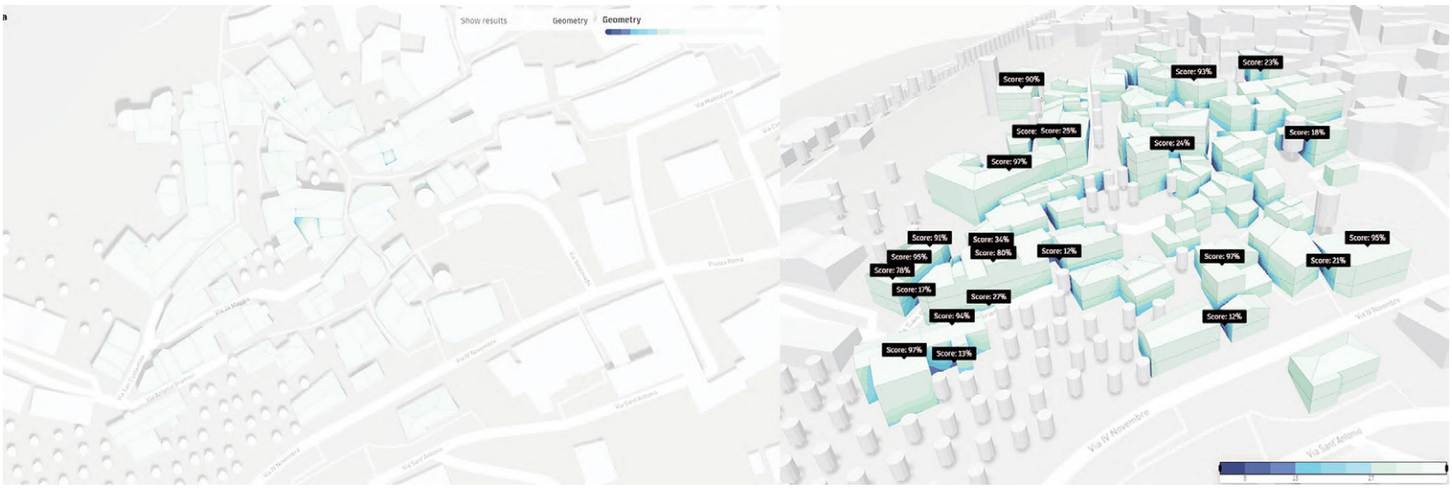
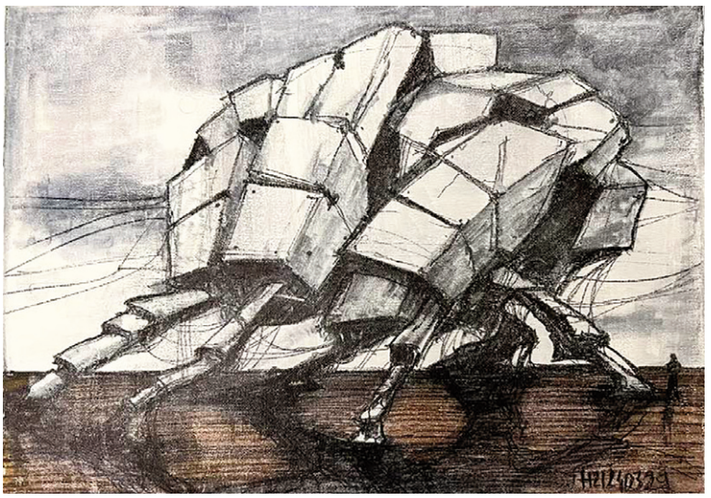


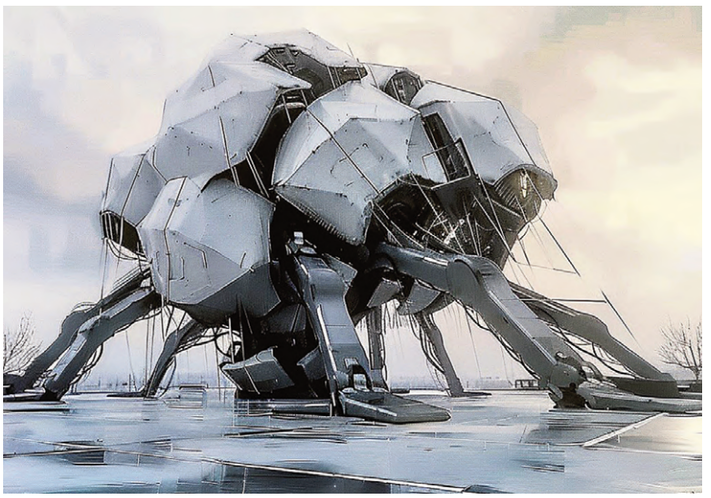


Fig. 9 | Phase 5: model on flooding / rising effect studies on the Bova coastline, prepared for Medways (credit: ABITAlab, 2021).

Fig. 10 | Step 5: model on Daylight Potential Analysis for a building cluster in Bova (RC), simulated for 21 June 2023, highlighting the brightest values (figure on right) processed with Forma Autodesk (credit: ABITAlab; processed by E. Catalano, 2024).

Fig. 11 | Thematic scenery visualised on the computer (credit: V. Cordì, 2024).





Figg. 12, 13 | Land Bug Machine H21240328: acrylic and ink on canvas, new painting series; analogue exaptation on generative AI (credits: A. Melis).

tive and predictive visions: regenerative design thus takes on an organisational character to identify options that lead to new solutions through adaptive technologies. Indeed, ecological and sustainable design has always had in its nature the ability to understand the necessity of its argumentative and processual structure (Nava, 2023).

Therefore, it is proposed to construct a new workflow that recasts metrics, practices, platforms, tools, and interactions (Nava, 2022b), reinterpreting the adopted operational framework of socio-ecological regenerative design. Its operationalisation is founded between the phase of tools practising multi-objective optimisation and the phase of interactions; this process, according to the scale leap approach, introduces, through DL processes, the diffuse modelling tools for the production of images from text, which are placed in the same interactions as a discretisation space for the visualisation of scenario options or scenario times, the visualisation of which is produced with AI.

As the human-centred nature is strongly emphasised due to the need to produce such visualisations by customised generative selection for predictive and prescriptive formulation of interventions on emerging scenarios, a new operational framework has been developed and illustrated in Figure 1. Practices are discussed in the ability to create digital and physical prototypes that trace the 'generative form' of images created with AI on simulation scenarios obtained from the regenerative process[1]. The operational platform remains 'data / information / resources', where it is evident that the data and information of the AI algorithms are added to those of the regenerative processes, extending the content of the DL through the character definition of computer visualisation.

The research activities conducted by ABITAlab on the technologies enabling innovation processes (Nava, 2019; Weber and Rohracher, 2012), since their first experimentation, express through digitisation an expert knowledge in the relationship between 'data / information / resources', with the ambition of defining 'intelligent' spheres of operation and evolved products in terms of incremental technological innovation. The social impact of this evolved scenario can be differentially recorded in terms of intangible and material products, evaluating the efficiency of optimised devices, networks, instruments and processes.

In the industrial sector, with particular reference to construction, experimental development is applied to exercises on urban metabolism, the ecology and circularity of resources, the automation of housing, and the evolved industrialised construction site arranged by digital design, up to the ability of the project to manage and operate with a quantity of data and thus of information for the design process, never experienced before, to the ability to opt between alternative strategies and configurations for the most complex choices in the sphere of transformation of the built environment (Nava, 2024; Mussinelli, 2023).

The research activities carried out by ABITAlab on emerging technologies for the most advanced processes with a high ecological impact (Nava, 2023), absorbing digital data from KETs (Key Enabling Technologies), operate within levels of knowledge and their transfer to increase end-users' awareness of products and processes, towards the use of increasingly high-performance devices, whose radical innovation pushes the spread of their availability and use to produce a high socio-technical impact, representing the need to evolve science towards the most extreme boundaries, but also more aimed at achieving the highest levels of total quality and user welfare. The regenerative processes studied and organised for environmental design at the territorial, urban and cluster scale represent the most effective condition by which emerging technologies connect the most advanced instrumentation with the interface of human behaviour as the primary condition for the success of the same applied exercises. One thinks of the capacity of prototyping on a 1:1 scale to customise products (including houses), of the conditions whereby the circularity of resources invests a second level of resource use, advancing theories of recycling with those of upcycling for improved technologies and products.

Again, AI is an opportunity to increase the already predictive status of urban and architectural design in regenerative scenarios in which optimisation and 'leap of scale' design become new levels of predictive and inter-scalar design operation. Finally, think of the sector of advanced materials, capable of hybridising biogenic type matter with anthropogenic type matter for decarbonisation processes that are still too impactful, such as those operating through industrial-type construction processes (Nava, 2024; Yildirim, 2022).

Towards application to regenerative design: multi-domain approach, optimisation and leap of scale | The role of AI in fostering creativity and addressing complexity is closely aligned with its ability to interpret and act on large multi-dimensional datasets (Fig. 2). In the field of urban design and architecture, the integration of AI offers a way to move beyond single narratives of space and towards more holistic, adaptive and resilient approaches. This capacity for interdisciplinary synthesis underlines the potential of AI as a mediator between the tangible and intangible dimensions of architectural design.

AI can function as an image generator and an engine for 'geo-strategisation' (i.e., for analysing geographical data with behavioural, cultural and environmental factors to inform adaptive design strategies). These strategies extend to many applications, from predicting energy use and monitoring building performance to improving user experiences and imagining future urban scenarios (Melis and Pievani, 2022).

The idea of 'mutation by diffusion', transforming and generating images through AI systems, is a starting point to consider how generative AI could similarly 'mutate' traditional design paradigms. The design process becomes an iterative dialogue between human intuition and machine intelligence, in which the boundaries between creator and tool become increasingly blurred. It is here that AI acts as a catalyst for 'exaptation' (a term used to describe how existing structures or concepts are co-opted for new functions), prompting designers to rethink and reconfigure spatial and functional relationships within their work (Melis, Pievani and Lara-Hernandez, 2024).

Moreover, collective creativity emerges as a crucial element of this discourse. Rather than reinforcing a binary division between humans and machines, AI fosters a symbiotic partnership in which design is an exacting process that allows ideas to evolve beyond the linear constraints of consciousness. This aligns with the broader thesis that creativity is inherently associative, emerging through networks of influence, interdisciplinary collaborations and iterative feedback loops: AI then becomes an amplifier of these connections, opening up new avenues for ex-

perimentation and exploration. On these premises, it is possible to build a new regenerative kind of workflow, capable of working on digitally connected domains informed both by data-climate tools, which use parametric modelling (Naboni and Havinga, 2019; Nava, 2022a) and by information produced (images) with diffuse modelling using AI processes, whose phases or can be described as follows:
– Step 1, construction of the operational framework showing the digitally connected domains (design intent, process and results of the framework);
– Step 2, correlation of the objectives to the data and identification of the relationships with the objects of the study through the customisation of the components using parametric modelling (Figg. 3-5);
– Step 3, coupling between object generation activities and the action of regeneration tools;
– Step 4, scale-up 1 with an understanding of conflicting, multi-domain and optimised targets and first visualisation of predictive models on climate scenarios (Figg. 6-8);
– Step 5, staircase 2 with analysis of multi-domain integration through Machine Learning Regenerative Digital Design) and multi-domain integration through Deep Learning (Figg. 9, 10);
– Step 6, production of prediction models and associated images utilising text-to-image and AI computer visualisation in a data scenario (such as data discretisation) or a computer scenario (Fig. 11).

In the context of regenerative digital design and its focus on climate scenarios (IPCC, 2023), the principles of 'exaptation' can guide the creative process towards adaptive and multifunctional solutions. The redundancy inherent in many design systems – excess space, structural strength or material properties – should not be seen as wasteful but as a reservoir of possible innovation. This is in line with the concept of evolvability in evolutionary biology, where the seemingly inefficient features of an organism contain the potential for future adaptations and responses to environmental changes (Pievani and Serrelli, 2011).

Concluding reflections on the convergence of complexity: exaptation, redundancy and the potential of adaptive design | In parametric design processes, the flexibility to simulate and adjust a wide range of variables allows for exploring latent opportunities within a design space. The generative capabilities of AI further enhance this process, allowing designers to explore permutations and paths that may take time to develop. Through deep learning, AI systems can help recognise patterns of redundancy or unused potential within data and structures, allowing these elements to be co-opted for new purposes, similar to adaptation in biological systems (Tattersall, 2010).

The convergence of generative AI and design complexity opens new avenues to explore the potential of adaptation within creative practices. By harnessing AI to model, predict and suggest alternative uses for design elements, practitioners can move beyond traditional adaptive patterns and embrace the inherent unpredictability of complex systems.

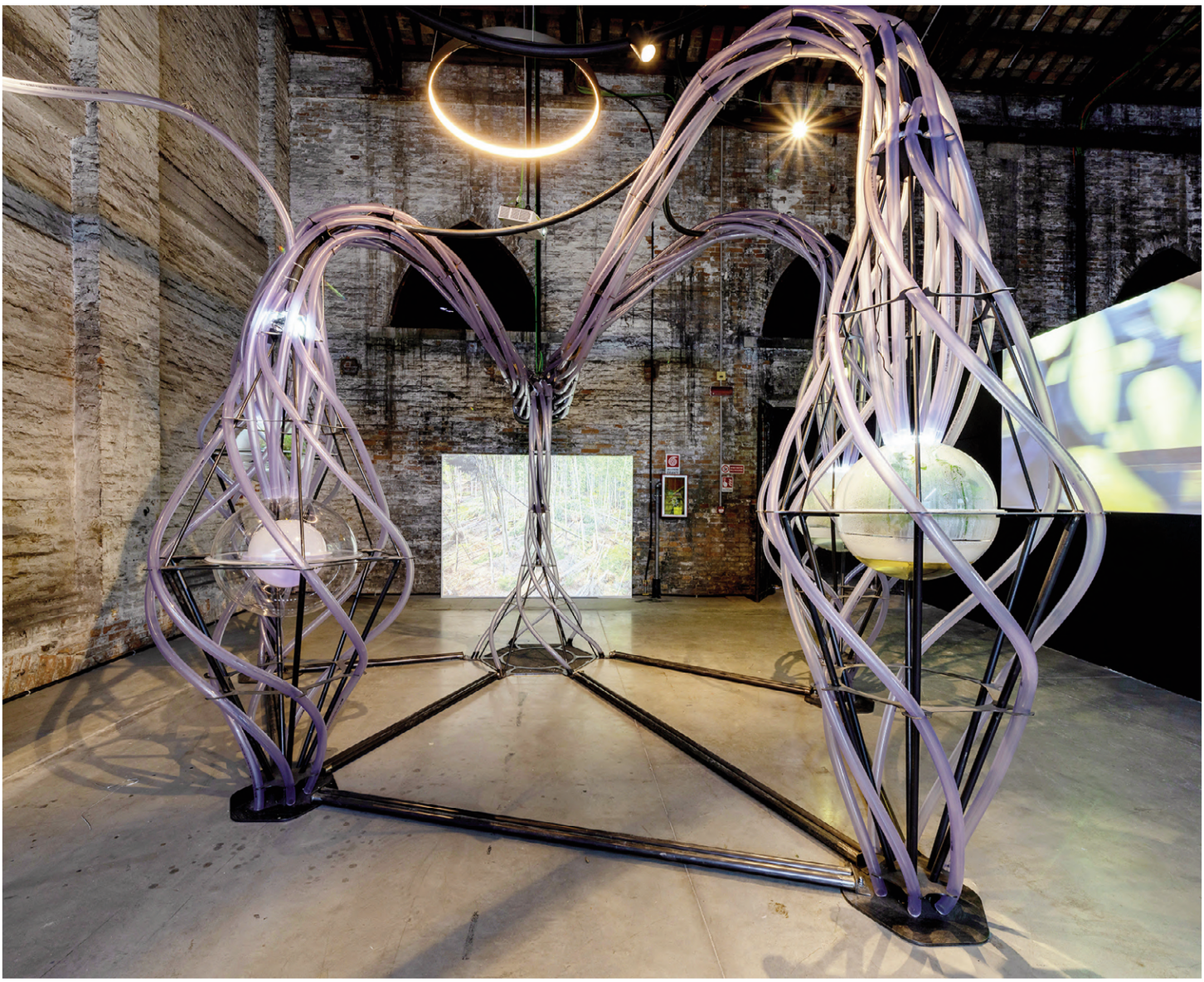


Fig. 14 | 'Genome', installation realised according to the criteria of 'exaptation', at the Italian Pavilion – Venice Biennale 2021 (credit: PNAT, Heliopolis 21, L. Donovan-Stumbles, and D.Gyokchepanar; photo by A. Avezzù).

This perspective enriches the creative process and aligns with an ethos of sustainability and resilience in which redundancy and multifunctionality become resources for responding to changing environmental and social contexts.

In sum, complexity in design, understood through the evolutionary lens of adaptation, emphasises the fluidity of form and function and encourages openness to the emerging possibilities of design systems. By integrating these principles into AI-assisted workflows and parametric design processes, designers can cultivate an adaptive, innovative practice and be deeply attuned to the potential for creative transformation (Figg.12, 13).

Understanding the complexity of design through the lens of 'exaptation' (Fig. 14) means recognising that the origin and development of design features are only sometimes linear or purpose-driven. Like the wings of the black heron, initially adapted for thermoregulation and later co-opted to cast shadows to capture prey (McLachlan and Liversidge, 1972), design elements can serve multiple and layered purposes over time. In architecture, this could manifest as spaces or materials initially intended for one use being rethought in response to changing cultural or environmental needs.

These functional shifts are an integral part of creative design practice, in which structures are not only shaped by the intended purposes but also by the unforeseen opportunities presented to the designer. The concept of 'spandrels' – architectural spaces that emerge as by-products of structural constraints but provide unanticipated aesthetic or functional value – serves as a metaphor for this type of complexity (Gould and Vrba, 1982): just as 'spandrels' in biology refer to non-adaptive traits that are then co-opted for new uses, so too architectural and urban design elements can emerge from constraints and then be re-used, providing an opportunity for innovative applications and improved functionality.

Exaptation' therefore, emphasises the value of multifunctionality and redundancy, features that, while seemingly inefficient or expensive, act as a reservoir for potential transformation. Just as the human genome's redundant 'junk DNA' is a repository for future functional genes (Pievani and Serrelli, 2011), design elements within architecture, urbanism and environmental systems may also contain latent possibilities for reuse. This perspective invites designers to consider complexity not as a challenge to be reduced or controlled but as a fertile ground for discovering unexpected alignments and emerging functions, with the need, however, also to control the socio-ethical impact that the use of emerging technologies and multi-scalar approaches produce in advancing disruptive and radical innovation processes to address more global challenges towards climate and carbon neutrality (Wiarda and Doorn, 2023).

Notes

1) See, for example, the AI exhibition ABITAlab 2023 – Digital exhibition – Emerging Technologies vs Atmosphere and AI Visions. ABITAlab's research and ATELIER22's thesis pathway challenge architectural design in transition cities, proposing customised and AI-produced images capable of expressing the generative value of emerging technologies before re-engaging with their formal value in a regenerative expression of ecological and digital quality that goes beyond performance. For more information, see the webpage: abitalab-unirc.com/ai-visions [Accessed 16 October 2024].

References

Abdel-Rahman. A., Kosicki M., Michalatos, P. and Tsigkari, M. (2019), "Design of thermally deformable laminates using machine learning", in Zingoni, A. (ed.) *Advances in Engineering Materials, Structures and Systems – Innovations, Mechanics and Applications*, Taylor & Francis Group, London. [Online] Available at: discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10114522/ [Accessed 16 October 2024].

Gould, S. J. and Vrba, E. S. (1982), "Exaptation – A missing term in the science of form", in *Paleobiology*, vol. 8, issue 1, pp. 4-15. [Online] Available at: jstor.org/stable/2400563 [Accessed 16 October 2024].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2023*), Climate Change 2023 – Synthesis Report – Contribution of working groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Online] Available at: doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647 [Accessed 16 October 2024].

McLachlan, G. R. and Liversidge, R. (1972), *Roberts Birds of South Africa*, Cape & Transvaal Printers Ltd., Cape Town.

Melis, A. and Pievani, T. (2022), "Exaptation as a design strategy for resilient communities", in Rezaei, N. (ed.) *Transdisciplinarity – Integrated Science*, vol. 5, Springer, Cham, pp. 307-327. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-94651-7_15 [Accessed 16 October 2024].

Melis, A., Fadhil, F. and Battistoni, M. (2024), "Floating acrobats – Exploring exaptation in architecture through artificial intelligence", in Giordano, A., Russo, M. and Spallone, R. (eds), *Advances in Representation – Digital Innovations in Architecture, Engineering and Construction*, Springer, Cham, pp. 885-896. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-62963-1_54 [Accessed 16 October 2024].

Melis, A., Pievani, T. and Lara-Hernandez, J. A. (2024), *Architectural exaptation – When function follows form*, Taylor & Francis.

Mussinelli, E. (2023), "Tecnologie abilitanti e qualità del progetto | Enabling technologies and project quality", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 25, pp. 11-15. [Online] Available at: doi.org/10.36253/techne-14626 [Accessed 16 October 2024].

Naboni, E. and Havinga, L. (2019), *Regenerative design in digital practice – A Handbook for the Built Environment*, Eurac, Bolzano. [Online] Available at: issuu.com/kadk/docs/regenerative_design_in_digital_practice_lowres [Accessed 16 October 2024].

Nava, C. (2024), "Human-Centred AI in the Post-Optimisation Regenerative Process for Climate Scenarios", in Calabrò, F., Madureira, L., Morabito, F. C. and Piñeira Mantiñán, M. J. (eds), *Networks, Markets & People – NMP 2024 – Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 1189, Springer, Cham, pp. 76-97. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-74723-6_7 [Accessed 16 November 2024].

Nava, C. (2023), *Tecnologie Emergenti per il Progetto Rigenerativo – 5 questioni teoriche su Innovazione e Sostenibilità dalla prassi della Ricerca di frontiera*, Aracne, Roma.

Nava, C. (2022a), "Regenerative Design and Hybrid Buildings to Address Climate Change", in Calabrò, F., Della Spina, L. and Piñeira Mantiñán, M. J. (eds), *New Metropolitan Perspectives – Post Covid Dynamics –Green and Digital Transition, between Metropolitan and Return to Villages Perspectives*, Springer International Publishing, Cham, pp. 1889-1901. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-06825-6_182 [Accessed 16 October 2024].

Nava, C. (2022b), "Reggio Calabria – La cultura tecnologica della Progettazione ambientale", in Attaianese, E. and Losasso, M. (eds), *La ricerca nella Progettazione ambientale – Gli anni 1970-2008*, SITdA Cluster della Progettazione Ambientale, Maggioli, Santarcangelo di Romagna, pp. 242-269. [Online] Available at: sitda.net/wp-content/uploads/2023/09/916.50788_e-book_Attaianese_La-ricerca-nella-Progettazione-ambientale_bassa-risol.pdf [Accessed 16 October 2024].

Nava, C. (2019), *Ipersostenibilità e Tecnologie abilitanti – Teoria, Metodo, Progetto*, Aracne, Roma.

Pievani, T. and Serrelli, E. (2011), "Exaptation in human evolution – How to test adaptive vs exaptive evolutionary hypotheses", in *Journal of Anthropological Sciences | Rivista di Antropologia*, vol. 89, pp. 9-23.

Rafsanjani, H. N. and Nabizadeh, A. H. (2023), "Towards human-centered artificial intelligence (AI) in architecture, engineering, and construction (AEC) industry", in *Computers in Human Behavior Reports*, vol. 11, article 100319, pp. 1-9. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.chbr.2023.100319 [Accessed 16 October 2024].

Russell, S. J. and Norvig, P. (2016), *Artificial Intelligence – A Modern Approach*, Pearson Education Limited, Malaysia.

Tattersall, I. (2010), *Paleontology – A Brief History of Life*, Oxford University Press.

Weber, K. M. and Rohracher, H. (2012), "Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change – Combining insights from innovation systems and multi-level perspective in a comprehensive 'failures' framework", in *Research Policy*, vol. 41, issue 6, pp. 1037-1047. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.respol.2011.10.015 [Accessed 18 October 2024].

WEF – World Economic Forum (2023), *The Global Risk Report 2023*. [Online] Available at: weforum.org/publications/global-risks-report-2023/ [Accessed 18 October 2024].

Wiarda, M. and Doorn N. (2023), "Responsible innovation and societal challenges – The multi-scalarity dilemma", in *Journal of Responsible Technology*, vol. 16, article 100072, pp. 1-6. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jrt.2023.100072 [Accessed 18 October 2024].

Yildirim E. (2022), "Text to Image Generation A.I. in Architecture", in Kozlu, H. (ed.), *Art and Architecture – Theory, Practice and Experience*, Livre de Lyon, Lyon, pp. 97-119.

Zaffagnini, T. and Palmini, O. (2022), "Retrospettive e prospettive sul rapporto tra progetto, tecnologia e neocibernetica | Past and future of the connection between project, technology and neocybernetics", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 24-35. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1222022 [Accessed 18 October 2024].

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 50-59
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/1642024

ARTICLE INFO

Received 04 September 2024
Revised 20 September 2024
Accepted 26 September 2024
Published 30 December 2024

LA FORMAZIONE DELL'ARCHITETTO IN REALTÀ COMPLESSE
Un nuovo approccio sul piano cognitivo

ARCHITECT TRAINING IN MULTIFACETED ENVIRONMENTS
A new cognitive level approach

Andrea Giachetta, Linda Buondonno

ABSTRACT

Questo contributo trae origine dalla consapevolezza che viviamo oggi in una realtà talmente complessa che molti dei presupposti sui quali si basava, fino a qualche decennio fa, l'attività di progettare le trasformazioni del nostro ambiente per abitarlo sono completamente saltati. Su queste basi si intende argomentare la necessità di un allargamento sul piano cognitivo dei processi formativi per le nuove generazioni di architetti, focalizzandosi sull'uso delle immagini mentali. Un tale approccio, utile per la sempre più indispensabile auto-formazione continua degli architetti, può abituare a modalità più appropriate e flessibili di prefigurazione degli spazi, nei loro aspetti percettivi e materico-costruttivi e potrebbe inoltre servire – come alcuni recenti esperimenti mostrano – per affrontare meglio la transizione digitale, uno degli aspetti più pervasivi della complessità contemporanea.

This paper originates from the awareness that today we live in such a complex world that many of the assumptions on which, until a few decades ago, we based the activity of planning how to transform our environment for living have gone completely awry. On this basis, we will put forward an argument for a cognitive expansion of the training processes for new generations of architects, focusing on the use of mental images. Such an approach, useful for the increasingly indispensable continuous self-training of architects, can accustom them to more appropriate and flexible methods of planning spaces, in their perceptual and material-constructive aspects and could also be helpful – as some recent experiments show – for better tackling the digital transition, one of the most widespread and integrated aspects of contemporary complexity.

KEYWORDS

complessità, formazione al progetto, scienze cognitive, immagini mentali, tecnologie digitali

complexity, project training, cognitive sciences, mental images, digital technologies

Andrea Giachetta, Architect and PhD, is a Full Professor at the Department of Architecture and Design, University of Genova (Italy), where he teaches in the Doctoral and Bachelor's Program in Design, Construction Engineering, Architecture Sciences, of which he was the Coordinator. He is also responsible for research in the fields of sustainable design, its technological-social implications, and educational innovation. Mob. +39 347/963.68.36 | Email: andrea.giachetta@unige.it

Linda Buondonno, Architect and PhD, is a Research Fellow at the Department of Architecture and Design, University of Genova (Italy). She obtained her PhD with research on mental images and software in architecture, and she was among the winners of the Call for Research Experts and Young Talents in Artificial Intelligence 2023 promoted by the Architects' Council of Europe. Email: linda.buondonno@edu.unige.it

La formazione delle nuove generazioni di architetti progettisti è, nell'era della complessità, un tema cruciale del quale, purtroppo, ci si occupa molto meno di quanto si dovrebbe, restando spesso ancorati a modelli non del tutto rispondenti alle nuove sfide da affrontare. Progettare architettura implica una complessa attività previsionale per guidare (si pretenderebbe oggi responsabilmente) i possibili processi di trasformazione degli ambienti che abitiamo, attraverso i mezzi culturali, tecnici ed economici che, in ogni epoca e condizione, possediamo. Ma questa complessa attività può fondarsi oggi sui presupposti sui quali si è basata fino a qualche decennio fa? O meglio, in altri termini, in quale misura possiamo disporre ancora di dati certi per esercitarla e, prima ancora, per imparare ad affrontarla?

I tentativi fatti nel corso della storia per condensare in compendi manualistici quanto necessario ad apprendere come si progetta architettura sono innumerevoli. Senza scomodare Vitruvio, tra i più pregevoli – oltre a una moltitudine di scritti forse meno degni – vi sono sicuramente i famosi Précis des Leçons d'Architecture di Jean Nicolas Louis Durand, un vero e proprio abbecedario (pubblicato, in varie edizioni, dal 1802, in oltre trent'anni di lezioni all'école Polytechnique) con il quale lo studio dell'architettura viene ridotto a «[…] a small number of fruitful ideas, […] and simple combinations could achieve results that would be as rich and varied as language itself» (Durand, cit. in Gomez, 1983, p. 316).

Probabilmente fino a qualche generazione fa era ancora ragionevole cercare di fornire una serie di elementi base e regole combinatorie per insegnare a progettare architettura, anche perché il repertorio di conoscenze acquisito negli anni di studio poteva poi essere speso, arricchito dall'esperienza, in un'intera vita professionale. Nella nostra epoca tuttavia questo tipo di approccio non pare più né seriamente pensabile né strutturalmente possibile. Oggi infatti le conoscenze necessarie per affrontare con consapevolezza un progetto architettonico sono tante, cambiano, si aggiornano, sommandosi alle esistenti, così velocemente che quelle apprese negli anni di formazione invecchiano in pochissimo tempo, specie se frutto del semplice travaso di contenuti stilistico-tecnologici docente-discente.

Linguaggi e tendenze si modificano sempre più rapidamente, anche per il moltiplicarsi esponenziale dei veicoli di comunicazione. Nell'arco di una sola generazione si susseguono trasformazioni del gusto un tempo impensabili e questo avviene anche in relazione ai cambiamenti relativi alle competenze riconosciute come professionalizzanti, alle esigenze dei vari attori del processo edilizio, ai bisogni abitativi, lavorativi, commerciali, produttivi, di svago, socioeconomici, ecc. Due eclatanti esempi sono stati il periodo della pandemia da Covid-19 (Carpo, 2020) e un singolo evento come l'11 settembre, con implicazioni importantissime sui rapporti tra spazi confinati ed esterni o sulle logiche commerciali, distributive, di sicurezza, ecc.

La situazione non cambia – semmai si complica – in relazione ai sistemi strutturali e impiantistici, ai componenti, agli elementi e ai materiali edilizi, con una vera e propria rivoluzione negli ultimi decenni improntata al concetto di sostenibilità, nelle sue più diverse e mutevoli declinazioni. Per di più, in architettura, le nuove tecnologie e i nuovi materiali normalmente non soppiantano quelli esistenti, piuttosto vi si sommano; cosicché se oggi non siamo in grado di capire come potremo costruire tra vent'anni, sicuramente sappiamo che in parte costruiremo ancora come nei secoli passati.

Le trasformazioni tecnologico-costruttive determinano inoltre modificazioni rilevanti delle logiche organizzative e delle dinamiche di cantiere; basti pensare all'impiego, negli ultimi anni, dei sistemi di prefabbricazione leggera (Russo Ermolli and Galluccio, 2019; Bellini, Arcieri and Gullace, 2023) e della stampa 3D di componenti edilizi se non di interi edifici (Russo and Moretti, 2020). Ancor più considerevole è il rapido susseguirsi di nuove norme, vincoli, modelli gestionali e di finanziamento, per non parlare della pervasività crescente degli strumenti digitali di modellazione, controllo, condivisione dei dati e ottimizzazione dei parametri progettuali, con relativi cambiamenti nell'organizzazione del lavoro (Sposito, 2022). Si tratta, in sostanza, di un vero e proprio intreccio incessante di rilevanti trasformazioni in esponenziale crescita nei prossimi anni: è il mondo della complessità, cumplexus, intrecciato-con, intrecciato insieme (Cerruti, 2018).

In questo mondo non sono più pensabili regole universalmente valide e ripetibili da inserire in qualche sorta di manuale; non è più immaginabile una formazione al progetto come semplice travaso di conoscenze storico-critiche, stilistico-compositive, gestionali e tecnico-scientifiche (Raiteri, 2014); non sono più accettabili le pur legittime pretese di certezza di chi intende imparare il mestiere dell'architetto (Sacchi, 2021) e neppure è forse più pensabile che quello dell'architetto sia considerato un vero e proprio mestiere, perdendo sempre più – per quanto possa far gioco richiamarle – le sue peculiarità legate alla manualità, all'artigianalità, al metter su bottega.

Progettare architettura non è questione sempre più difficilmente insegnabile per la sua (fortunatamente) inevitabile componente di ineffabilità; lo è strutturalmente e da quasi tutti i punti di vista, persino (e forse maggiormente proprio) da quello tecnico-scientifico che sembrava poter offrire, fino a qualche decennio fa, saldi punti di ancoraggio oggi ormai del tutto saltati.

Nell'era della complessità e dell'intreccio sempre più rapido di trasformazioni l'unico principio che possa dirsi strutturalmente valido è proprio la mancanza di certezze; non accettarlo porta a semplificazioni che non possono che essere aberranti, come sostiene Peter Sloterdijk (2018, pp. 57, 58) quando afferma che «[…] wherever manifestations of the extreme were encountered in the course of the twentieth century, there was always an uprising against complexity». Questo è riscontrabile anche in campo architettonico, dove progettare significa sempre più e strutturalmente risolvere un problema 'mal definito' (Webber and Rittel, 1973; Zambelli, 2019), ovvero dettato da richieste e con dati di contesto sempre più vaghi e interpretabili e con un immenso campo di possibili risposte alternative che si generano solo avanzando idee per cercarle.

Proprio per questo si dice che gli scienziati adottino strategie rivolte al problema, mentre gli architetti siano direttamente orientati alla soluzione (Lawson, 2005; Zambelli, 2021) elaborata spesso prima di aver compreso del tutto il problema: è oggi esattamente quel che può definirsi il 'gettare in avanti', il 'pro-iacere', il progettare architettura.

Questa distinzione tra scienziati e architetti, per certi versi condivisibile, porta a pensare una cosa per altri versi non vera e cioè che si possa insegnare a risolvere un problema di tipo scientifico, mentre si debba lasciare ormai alla sola innata creatività e intuizione ogni problema progettuale in architettura; il che tradurrebbe il lavoro di chi dovrebbe insegnare a progettare architettura in quello di un mero scopritore di talenti e il senso degli esercizi di apprendimento in una sorta di compilazione di cartine di tornasole utili a individuare o meno predisposizione, predestinazione ed elezione.

Non sarebbe una resa inaccettabile quella di pensare a tutto il nostro sistema formativo come a una sorta di talent show? Se è vero che per il 'gettare in avanti', il 'pro-gettare' architettonico non ci sono più semplici precetti da manuale da svelare, è proprio inevitabile anche arrendersi all'idea che tutta questa incertezza strutturale implichi che non esistano più metodologie formative applicabili? Ovviamente è sperabile di no e forse occorre solo avanzare in tal senso proposte come quella a seguire.

Una possibile proposta: la formazione delle abilità cognitive del progettista | La formazione dell'architetto e del designer più in generale richiede notoriamente un quadro molto articolato di competenze piuttosto eterogenee. Prevede infatti insegnamenti di base su tematiche molto diverse, da quelle storico-critiche a quelle compositive e grafico-rappresentative, da quelle tecnologico-costruttive a quelle strutturali e fisico-tecniche, fino a quelle gestionali, economiche, paesaggistiche, ecosistemiche e tante altre ancora (in continuo, anche se a volte un po' lento, aggiornamento, spesso anche all'insegna di effimere esigenze di mercato).

Una tale articolata e generale formazione serve a fornire ai futuri architetti alcune delle nozioni di base necessarie a progettare in diverse circostanze (dalla realizzazione ex novo, 'permanente' o temporanea, agli interventi di riqualificazione e restauro) e alle differenti scale, visto che il celebre slogan 'from the spoon to the city' di Ernesto Nathan Rogers (che parafrasava il motto di Hermann Muthesius) offre forse ancora spunti di riflessione sul futuro (Larcher and Dalla Costa, 2020), nonostante le alterne fortune, gli scetticismi, le difese di campo e settore (Bulegato and Chiesa, 2015) e l'incombente e irragionevole moda odierna della specializzazione a ogni costo dei Corsi di Laurea per architetti.

Ma i futuri designer, oltre a conoscere gli elementi di base che servono loro per progettare (dovendo aver comunque sempre chiara e chiarita l'aleatorietà e provvisorietà delle nozioni acquisite), devono soprattutto imparare 'come si fa a progettare'. Questa competenza – salvo eccezioni e rare e fortunate possibilità di interventi concreti sul campo – viene normalmente acquisita attraverso insegnamenti di tipo laboratoriale (talora con differenti declinazioni e accenti, ad esempio sulla composizione, la tecnologia, l'urbanistica, ecc.) nei quali i discenti dovrebbero imparare (da questi diversi punti di vista) a progettare, essenzialmente attraverso simulazioni del processo progettuale.

Nell'ambito di questi insegnamenti più specificatamente rivolti a favorire l'apprendimento dell'attività progettuale in sé, la didattica si basa prevalentemente, oltre che sull'esercizio simulato delle





Figg. 1, 2 | Moments of discussion between architecture professors and psychologists, as part of the Didactic Innovation project of the Course of Studies in Architecture Sciences of the University of Genova (credits: University of Genova, 2022).

varie competenze sopra menzionate, sulla discussione e valutazione, non sempre peraltro oggettivabile, degli 'esiti' dei processi immaginativi dei partecipanti. È un sistema comune, ampiamente rodato nelle Scuole di Architettura e di grande efficacia, ma forse oggi – alla luce di quanto osservato in premessa – quantomeno raffinabile. In questo sistema infatti si prendono in considerazione, analizzandoli e giudicandoli, gli elaborati prodotti dai designer in formazione per presentare le loro idee progettuali – ovvero disegni, plastici, relazioni, ecc. – intervenendo al più sulle tecnicalità di realizzazione di questi elaborati e, nei casi più fortunati, 'insegnando a pescare' (Campo Baeza, 2020), ovvero facendo sì che questa realizzazione avvenga sempre più in modo autonomo da parte dei discenti.

Tuttavia, nella relazione che si instaura tra chi insegna e chi apprende, si trascurano quasi del tutto i processi cognitivi che sono legati alle fasi immaginative necessarie alla generazione di questi stessi elaborati. Si discute, si corregge, si valuta cioè solo l'esito del prodotto, ovvero – semplificando – la bontà dei progetti, ma non si lavora (o si lavora solo molto poco, accidentalmente e parzialmente) sui processi mentali che ne hanno permesso il concepimento.

I processi cognitivi nell'insegnamento dell'architettura e del design più in generale costituiscono un terreno fertile, ma perlopiù inesplorato per diverse ragioni. Innanzitutto sarebbe necessaria l'introduzione di competenze nuove, quelle di esperti in scienze cognitive, che poco si affacciano nei normali Corsi di Laurea in Architettura, salvo rare eccezioni e piccole sperimentazioni[1] (Figg. 1, 2); l'inserimento di queste nuove competenze però può trovare resistenze specie quando queste intervengano nell'ambito della creatività progettuale e del suo insegnamento che gli architetti ritengono di loro stretto appannaggio: il potenzialmente ricco terreno dei processi cognitivi in architettura ha bisogno di essere innanzitutto riconosciuto come campo di azione nella formazione al progetto, mentre sembra se ne ignori quasi completamente l'esistenza.

Una maggiore consapevolezza e un miglior controllo di questi processi cognitivi sarebbero invece indispensabili per dotare i futuri architetti di strumenti di autoformazione permanente, sempre più utili in un ambito soggetto a continue, rapide, interconnesse e quindi complesse trasformazioni culturali, tecnologiche, normative, dei mezzi espressivi e del gusto estetico.

Queste trasformazioni rischiano di rendere, in breve tempo, obsoleti i presupposti culturali, i concetti funzionali e d'uso, i precetti stilistici e le regole tecnologico-costruttive apprese e quindi superati i giudizi di valore sui lavori svolti durante il percorso formativo. In altri termini, può avere davvero poco senso per coloro che apprendono ricevere solo valutazioni su una presunta correttezza funzionale, formale, espressiva e costruttiva dei loro elaborati progettuali, se queste valutazioni possono non essere più valide o essere completamente sovvertite nel giro di pochi anni.

Se è vero che la storia dell'architettura è fatta, in fondo, di costanti, talora quasi impercettibili, talora dirompenti 'superamenti' degli insegnamenti dei 'padri', al giorno d'oggi non sembra più essere così. L'impressionante velocità delle continue e intrecciate trasformazioni delle condizioni al contorno, sopra delineata, obbliga infatti a drastici cambiamenti che sono perlopiù subìti e difficili da elaborare criticamente. Questo processo impedisce spesso di tradurre le continue novità in vera innovazione culturale anche in ambito architettonico, dove è sempre più difficile – forse ha ragione Vittorio Gregotti (2013) – 'separare l'originalità dalla trovata'.

Acquisire invece la capacità di gestire meglio le proprie facoltà immaginative in un processo progettuale, ovvero comprendere più adeguatamente quali abilità, strategie, processi e stili cognitivi si adottano (Paivio, 1971; Kozhevnikov, Kosslyn and Shephard, 2005; Blazhenkova and Kozhevnikov, 2009; Kosslyn and Miller, 2013; Chiorri, 2022), persino involontariamente come ad esempio nel Mind-Wandering (Vannucci and Agnoli, 2019; Vannucci, 2022) potrebbe invece rivelarsi una risorsa molto utile e duratura.

Se un architetto impara con quali modalità prefigurare lo spazio e quali abilità mentali mettere in campo quando progetta, a seconda delle proprie attitudini e caratteristiche psicologiche, sarà in grado, nel corso degli anni, di gestire meglio le sue facoltà immaginative da progettista anche relazionandole al rapido mutare delle circostanze al contorno, dei modi e delle mode del vivere, pensare e costruire l'architettura, con nuovi materiali e tecnologie, persino nel confronto con i sempre più indispensabili strumenti della prima, seconda (Carpo, 2017) e forse terza (IA) 'svolta' digitale. Ma, in termini più concreti, cosa può realmente significare lavorare nella formazione degli architetti considerando meglio i processi cognitivi?

Un esempio di approccio: le immagini mentali nella modellazione del progetto | Per comprendere meglio l'approccio cognitivo tramite le immagini mentali, si provi con la mente ad aggirarsi intorno al e per il Pantheon romano[2]; con un minimo di concentrazione (a meno che non si sia afantasici, condizione tuttavia assai rara) è possibile 'vederne' la rotonda all'esterno e all'interno, la cupola, l'oculo e i cassettoni e percepire, nel gioco di colori e ombre della materia, persino il magico effetto di sospensione che la luce che penetra dall'alto genera, specie in alcuni momenti del giorno e dell'anno. Tuttavia, a meno di essere storici esperti o aver visitato di recente l'edificio, pochi o nessuno probabilmente saprebbe dire con esattezza quante sono le colonne del pronao o il numero dei cassettoni (che pure, in qualche modo, 'vedete') e forse neppure quello dei loro ordini.

Si tratta delle immagini mentali che, proprio per questa loro precisione e imprecisione a un tempo, indefinitezza e malleabilità, possono potenzialmente rappresentare uno dei più potenti strumenti dell'approccio cognitivo al progetto di architettura cui si è fatto sopra riferimento. Nel processo progettuale, infatti, può essere di fondamentale importanza per l'architetto avere la possibilità di fare un'esperienza simil-percettiva dello spazio che sta prefigurando, salvaguardando però, almeno inizialmente, un certo grado di indeterminazione fondamentale per mantenere aperte diverse possibilità di configurazione (Rowe, 2017).

Le immagini mentali sono, da tempo, un tema ampiamente studiato e dibattuto (Giachetta, 2019) nel campo della filosofia, da Aristotele, Cartesio, John Locke e David Hume fino a Jean-Paul Sartre e alle più recenti interpretazioni (Dennett, 1993; Zhok, 2014; Nanay, 2018; Montani, 2022), così come nel campo delle scienze cognitive (Kosslyn, 1983; Ko-

zhevnikov et alii, 2013; Oliverio, 2013), delle neuroscienze (Pearson, 2019; Abraham, 2020), della linguistica (Paivio, 1971) e dell'arte (Arnheim, 1969; Zeki, 1999), ma incredibilmente quasi del tutto sconosciuto e misconosciuto nell'ambito delle teorie del progetto architettonico e, di conseguenza, nella pratica del suo insegnamento.

Tuttavia negli ultimi anni anche in Italia, benché timidamente, recenti e specifiche trattazioni sull'impiego delle immagini mentali nel progetto architettonico e nella didattica del progetto, che coinvolgono anche psicologi (Giachetta, 2022), numeri di rivista dedicati[3] e sperimentazioni didattiche sempre condotte con la partecipazione di psicologi (Lavarello et alii, 2021) cominciano a mostrare le potenzialità dell'introduzione di un approccio cognitivo nella pratica professionale e soprattutto nella formazione degli architetti.

A titolo di esempio una delle potenzialità dell'impiego didattico di esercizi per stimolare le immagini mentali è far comprendere ai progettisti in formazione l'importanza di prefigurare e definire nella propria mente, prima di rappresentarlo, il progetto architettonico che si accingono ad affrontare, imparando così a «[…] disegnare quel che si immagina piuttosto che immaginare cosa disegnare» (Giachetta, 2022, p. 23): sembra un gioco di parole, ma non lo è. Infatti molti progettisti alle prime armi, per cominciare a prefigurare uno spazio architettonico, partono spesso dal disegno delle sue piante, per procedere poi con estrusione di pareti e alzati.

Con questo procedimento (di cui non si contesta qui la legittimità in assoluto) essi però spesso non sono in grado di cogliere e governare – nonostante l'immediatezza delle restituzioni software 3D – l'effettiva complessità degli spazi architettonici che progettano, né di apprezzarne efficacemente la tridimensionalità, la multi-sensorialità e la ricchezza percettiva – anche nel carico di ricordi del proprio vissuto – che le rappresentazioni mentali possono invece restituire in modo molto più efficace.

Imparare a impiegare bene le immagini mentali per progettare, proprio per il richiamo che il loro uso implica a precedenti esperienze spaziali, percettive e propriocettive vissute in modo immersivo, può avere quindi importanti implicazioni anche in relazione a una migliore comprensione delle relazioni spaziali (profondità, sopra-sotto, interno-esterno, luci-ombre), oltre che degli aspetti (non solo visivi, ma anche tattili e uditivi) legati alla consistenza materiale e costruttiva dell'architettura, comprendendo anche meglio il gioco circolare di rimandi tra il generale e il dettaglio, tra il tutto e la parte.

Quelli sommariamente enunciati non sono che alcuni degli aspetti che fanno comprendere quanto le immagini mentali possano essere considerate un eccezionale 'strumento di modellazione' per l'architettura che dovrebbe far parte del bagaglio formativo dell'architetto, al pari di altri che già si sperimentano nei Corsi di Laurea (come i plastici di studio, i modelli rappresentati dal disegno a mano e al computer, quelli fisico-tecnici e strutturali, ecc.) con cui interfacciarsi nelle varie fasi di evoluzione e precisazione del progetto. Proprio questa interazione tra sistemi di modellazione architettonica apre un ulteriore tema che nuovamente riporta alla questione della complessità e che vale la pena di richiamare: è il tema del rapporto delle immagini mentali con la modellazione software (Fig. 3).

Un possibile sviluppo: l'interconnessione tra modelli immaginativi e software | Alcune sperimentazioni[4] condotte recentemente con la collaborazione di docenti di psicologia e neurofisiologia (Buondonno et alii, 2023; Buondonno and Leandri, 2024; Buondonno and Giachetta, 2024) hanno indagato la possibile interazione tra immagini mentali e uso di software, coinvolgendo in vari step novanta studenti (Tab. 1) e trenta professionisti esperti e utilizzando questionari e strumenti psicometrici già validati o costruiti ad hoc, così come procedure elettroencefalografiche (Figg. 4-6).

Queste sperimentazioni, sebbene se ne riconoscano i limiti nel ristretto numero di test eseguiti e soggetti per ora coinvolti, hanno prodotto primi risultati molto promettenti: mostrano infatti importanti differenze tra alcuni soggetti (studenti) che in condizioni di progetto date sono stati invitati a prefigurare solo mentalmente gli spazi e altri che sono stati invece obbligati a usare il computer, facendo emergere che i primi sono meno concentrati e hanno un minor controllo metrico dello spazio, ma sono in grado di elaborare un numero maggiore di idee e lo fanno in modo meno astratto, calandosi maggiormente nella realtà (Fig. 7).

Altre differenze riguardano l'uso del computer in ambito progettuale, attribuite al differente stile cognitivo dei soggetti (professionisti) coinvolti nei test e dei quali era stata preliminarmente verificata la propensione per uno stile cognitivo (Kozhevnikov, Kosslyn and Shephar, 2005; Blazhenkova and Kozhevnikov, 2009; Kosslyn and Miller, 2013) di tipo 'object', ovvero più orientato alla visualizzazione di immagini mentali pittoriche e dettagliate, o 'spatial', caratterizzato da un maggior controllo spaziale e nella rotazione di immagini mentali (Fig. 8).

Si tratta solo di primi risultati che, insieme ad altri ottenuti con esperimenti cognitivi su tematiche in qualche modo connesse (Bilda and Demirkan, 2003; Ibrahim and Pour Rahimian, 2010; Cote, Mohamed-Ahmed and Tremblay, 2011; Häggman et alii, 2015; Daemei and Safari, 2018; Ranscombe et alii, 2019; Leandri et alii, 2021), sembrano poter aprire un campo di ricerca enorme e ancora tutto da esplorare sulle interazioni, a livello cognitivo e nelle fasi prefigurative di un progetto di architettura, tra capacità immaginativa, modelli grafici e digitali.

Questi studi potrebbero essere un valido supporto, da un lato ai futuri architetti e designer per meglio impiegare i software che sempre più inevitabilmente utilizzeranno, favorendo e non ostacolando la creatività, dall'altro alle aziende per implementare i software tenendo conto proprio delle abilità e degli stili cognitivi dei progettisti. Si tratta, evidentemente, di aspetti fondamentali – e che non potranno più essere trascurati – nella formazione dei futuri architetti e, più in generale, di tutti coloro che si misureranno con attività creative e progettuali.

Non sarebbe certo qui possibile affrontare anche il tema dell'IA in relazione alle sue applicazioni in architettura e nella formazione dei futuri architetti, ma è del tutto evidente che la tematica di studio e sperimentazione alla quale si è fatto sopra riferimento è centrale per affrontare seriamente la questione dell'interfaccia tra intelligenza umana e artificiale nelle attività progettuali. Lo studio dei processi cognitivi dell'architetto sembra, infine, rappresentare un ambito complementare a quello che affronta lo studio della risposta fisiologica, emotiva – conscia e inconscia – del corpo nello spazio (Canepa, 2022, 2024; Fig. 9).

Conclusioni: una promettente strada in salita | Quella brevemente tracciata in questo articolo, per quanto inusuale e – in qualche modo – forse bizzarra per alcuni, è una proposta che gli autori sono fermamente convinti possa essere molto efficace nella formazione delle nuove generazioni di architetti e sulla quale ritengono ci siano ampi spazi di ricerca, lavoro e dibattito nei prossimi anni. Le potenzialità dell'approccio cognitivo non vanno assolutamente trascurate non solo per la loro ampiezza e il loro interesse, ma soprattutto perché riguardano la formazione al progetto di architettura e quindi il futuro dell'architettura stessa e del nostro abitare il Pianeta.

I possibili percorsi di ricerca sono ancora quasi del tutto da inventare in un apparato teorico generale transdisciplinare che deve confrontarsi con non trascurabili problemi di comunicazione e linguaggio e individuare e sperimentare i giusti approcci, ad esempio a partire da quello neurofenomenologico (Varela, 1996). Soprattutto è necessaria una sperimentazione continua e più allargata, che fornisca maggiori evidenze sulle diverse abilità cognitive che gli architetti mettono in campo per progettare con strumenti manuali o digitali, ma soprattutto occorrono idee sul modo in cui si potrà prendere piena consapevolezza di queste abilità per svilupparle più compiutamente.

I possibili rischi – particolarmente elevati in questo caso, trattandosi di processi mentali e immaginativi – sono rappresentati dalle eccessive semplificazioni, riduzioni, schematizzazioni, dall'incapacità di cogliere e apprezzare le differenze individuali per valorizzarle senza che questo implichi la tentazione di classificazioni ingabbianti e di banali ricette e soluzioni operative in pillole.

Al di là di questi rischi si tratta comunque di una strada difficile da percorrere perché il campo di indagine è ancora tutto sommato sconosciuto, richiede un cambio di prospettiva generale non

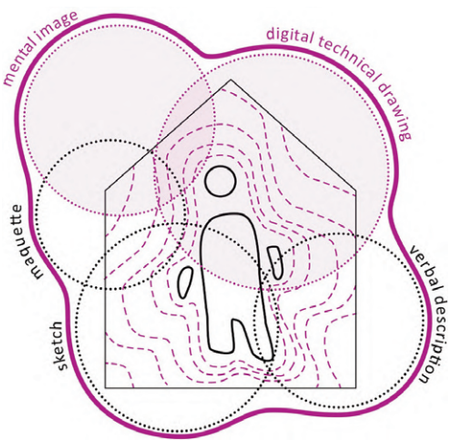


Fig. 3 | Synthetic representation of the different modelling systems involved in the design process (credit: L. Buondonno, 2023).

facile da comprendere e riguarda processi mentali in un momento storico in cui il concetto stesso di mente sta cambiando proprio nell'interazione tra mente, corpo, ambiente e strumenti, non ultimi quelli digitali (Clark and Chalmers, 1998; Ihde and Malafouris, 2019; Bruner, 2018).

E ancora, perché tratta argomenti legati ai processi mentali, che spesso spaventano gli architetti, normalmente curiosi, ma estremamente cauti se si sentono privati di competenze e invasi nel più intimo campo di una spesso mal intesa creatività di tipo iniziatico, oppure perché implica – nell'interazione con il campo delle scienze cognitive – una collaborazione con nuove competenze estranee all'ambito del progetto architettonico, in un mondo accademico che, pur dichiarandosi favorevole alla transdisciplinarità, di fatto la nega o quantomeno la ostacola, perdendo l'occasione di aggiornarsi anch'esso di fronte alle sfide della complessità che non possono che trovare risposte tanto originali e incodificabili quanto corali.

Training new generations of architectural designers is a crucial issue in the age of complexity. Unfortunately, it receives much less attention than it should, often remaining anchored to models that do not fully respond to the new challenges to be faced. Designing architecture calls for complex foresight to guide (and now also in a responsible way) the possible processes of transforming the environments we live in, using the cultural, technical and economic means we possess according to the period and condition. However, can this complex activity still be rooted on the assumptions it was based on until a few decades ago? Or put another way, to what extent can we still rely on certain data to exercise it, and even before that, to learn how to address it?

Over time, there have been countless efforts to create a concise compendium of manuals encompassing all the essential information needed for learning architectural design. Passing over Vitruvius, one of the most noteworthy – as well as a multitude of perhaps less worthy writings – they certainly include the famous Précis des Leçons d'Architecture by Jean Nicolas Louis Durand, an accurate ABC guide (published, in various editions, since 1802, in more than thirty years of lectures at the École Polytechnique) with which the study of architecture is reduced to «[...] a small number of fruitful ideas, [...] and simple combinations could achieve results that would be as rich and varied as language itself» (Durand, cited in Gomez, 1983, p. 316).

Until a few generations ago, it was probably still reasonable to try to provide a series of basic elements and combination rules to teach how to design architecture, also because the collection of knowledge acquired over years of study could then be used, enriched by experience, over an entire professional career. Today, however, this type of approach no longer seems seriously conceivable or structurally possible. Indeed, a vast amount of knowledge is now necessary to take on an architectural project. It changes, is updated, and is added to the existing knowledge so quickly that what you learned while training becomes outdated in no time at all, especially if it was simply a transfer of stylistic-technological content from teacher to student.

Languages and trends are undergoing increasingly rapid changes, also due to the exponential increase in communication channels. In the space of a single generation, there have been transformations of taste that were once unthinkable and this also happens in relation to the changes connected to the skills considered professionalising ones, to the needs of the various players in the construction process, to living needs, working needs, commercial, productive, leisure, socio-economic needs, etc. Two striking examples were the period of the Covid-19 pandemic (Carpo, 2020) or a single event such as 11 September, with major implications on the relationships between confined and external spaces or on commercial, distribution, security logics, etc.

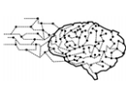
In relation to structural and plant engineering systems, components, elements and building materials the situation remains unchanged, if anything it has become more complicated, with a real revolution, in the last few decades, associated with the concept of sustainability, in its various and evolving forms. Moreover, in architecture, new technologies and new materials do not normally replace existing ones; rather, they add to them. Therefore, if today we are not able to understand how we will be able to build in twenty years, we certainly know that building will still partly be like it was in the past.

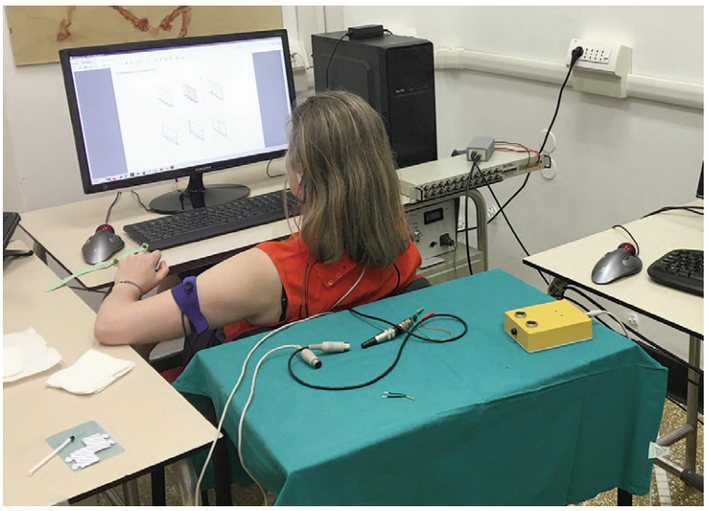
Technological-constructive transformations also lead to significant changes in organisational logics and site dynamics; just think of the use, in recent years, of lightweight prefabricated systems (Russo Ermolli and Galluccio, 2019; Bellini, Arcieri and Gullace, 2023) and 3D printing of building components, or even of entire buildings (Russo and Moretti, 2020). Even more noteworthy is the rapid succession of new regulations, restrictions, management and financing models, not to mention the increased use of digital tools for modelling, control, data sharing and optimisation of project parameters, with related changes in work management (Sposito, 2022). It is, essentially, an incessant tangle of significant transformations that will undoubtedly undergo exponential growth in the coming years; it is the world of complexity, cum-plexus, tangled with, tangled together (Cerruti, 2018).

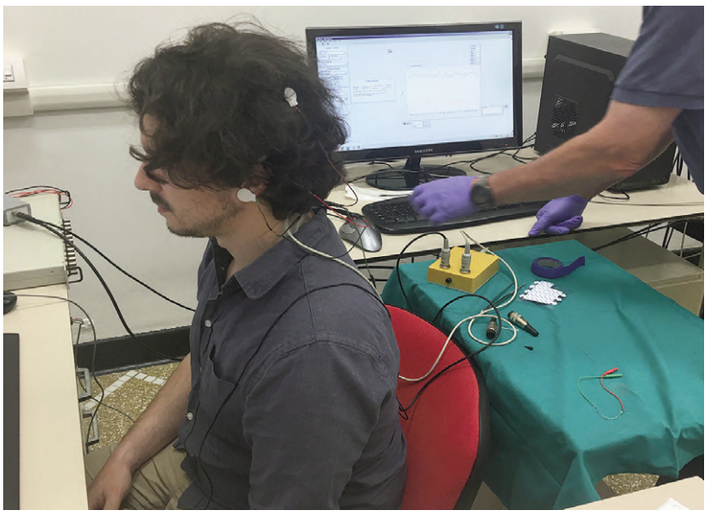
In this world, universally valid and repeatable rules that can be included in some sort of manual are no longer conceivable. It is no longer imaginable that training for a project could be a simple transfer of historical-critical, stylistic-compositional, managerial and technical-scientific knowledge (Raiteri, 2014). Even the legitimate claims to be given certainties of those who intend to learn the profession of the architect are no longer acceptable (Sacchi, 2021). Indeed, it may not even be conceivable any more that the profession of the architect be considered a true trade, as it is increasingly losing its distinctiveness connected to manual skills, craftsmanship, and setting up a workshop, as much as we like to recall them.

Designing architecture is not something that is increasingly difficult to teach due to its (fortunately) inevitable component of ineffability; it is so structurally and from almost all viewpoints, even (and perhaps more inherently) from the technical-scientific one, which, until a few decades ago, seem to be the strongest, but has now been completely lost.

In the era of complexity and the increasingly rapid tangle of transformations, the only principle that can be considered structurally valid is precisely the lack of certainty; not accepting it leads to simplifications that can only be considered undesirable, as Peter Sloterdijk (2018) argues when he states that «[...] wherever manifestations of the extreme were encountered in the course of the twentieth century, there was always an uprising against complexity». This can also be found in the architectural field, where designing increasingly and structurally means solving a 'wicked' problem (Webber and Rittel, 1973; Zambelli, 2019), that is to say, one dictated by requirements and with increasingly vague and interpretable contextual data and with an immense range of possible alternative answers that,

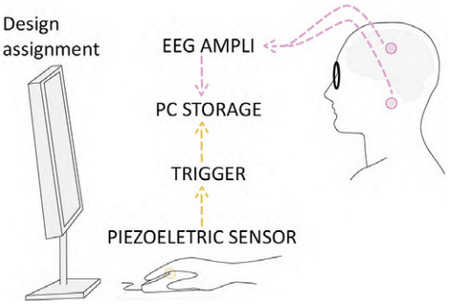
		SESSION	February		April		May
90 bachelor students 2 aleatory groups 2 conditions: MI Modeling tool: Mental Imagery DIG Modeling tool: 2D-3D CAD		DESIGN ASSIGNMENT	Canopy and seats		Meditation space		
	TASK	CONDITION	MI 	DIG 	MI 	DIG 	Assessment of individual differences
		GROUPS	A	B	B	A	
	POST TASK	QUESTIONNAIRES	Ad hoc questionnaire PANAS		Ad hoc questionnaire PANAS		
		GROUPS	A+B		A+B		A+B





Previous page

Tab. 1 | Schematic representation of the arrangement of the experiment involving architecture students (credit: L. Buondonno, 2023)



Figg. 4, 5 | Subjects photographed during the experiment recorded cortical activity while performing a guided drawing task (credits: L. Buondonno, 2023).

Fig. 6 | Schematic representation of the arrangement of the experiment involving professional architects (credit: L. Buondonno, 2024).

moreover, are generated only by proposing ideas to search for them.

For this precise reason, scientists are said to adopt problem-focused strategies, whereas architects are directly solution-focused (Lawson, 2005; Zambelli, 2021). The solution is often drawn up before fully understanding the problem: today, this is exactly what can be defined as 'pro-jecting' or 'anticipating' architecture solutions.

This distinction between scientists and architects, in some respects justifiable, leads us to think something that, in other respects, is not true; namely that solving a scientific problem can be taught, whereas any design problem in architecture has to be left to innate creativity and intuition. This would transform the work of those who should be teaching how to design architecture into that of a mere talent scout and the sense of the learning exercises into a sort of compilation of litmus tests useful to identify predisposition, predestination and choice.

Would it not be unacceptable capitulation to think of our entire training system as a sort of talent show? If it is true that for the 'pro-jecting', or designing architecture there are no longer simple precepts to be taught from manuals, is it really inevitable that we have to accept the idea that all this structural uncertainty implies that no more applicable training methodologies exist? Obviously, we hope not, and perhaps we only need to make proposals like the following in this regard.

A possible proposal: developing the cognitive abilities of the designer | Training the architect and, more generally the designer is known to require a complex framework of rather heterogeneous skills. In fact, it entails basic teachings on a wide range of topics, from historical and critical subjects to compositional and graphic representation, from technological and constructive topics to structural and physical-technical ones, up to management, economics, landscapes, ecosystem topics, and many others (they are also continuously updated, although sometimes a little slowly, often trying to meet too short-lived market needs).

Such comprehensive general training provides future architects with some of the basic notions necessary for designing in different circumstances (from new, 'permanent' or temporary construction, to redevelopment and restoration projects) and at different scales. Indeed, Ernesto Nathan Rogers' famous slogan 'from the spoon to the city' (paraphrasing Hermann Muthesius' motto) perhaps still offers ideas for reflecting on the future (Larcher and Dalla Costa, 2020), despite the alternating fortunes, scepticisms, field and sector defences (Bulegato and Chiesa, 2015) and today's incumbent and unreasonable tendency towards specialisation at any cost in Architecture Degree Courses.

However, future designers, in addition to knowing the basic elements they need to design (while always being aware of the uncertain and provisional nature of the notions learned), must above all learn 'how to design'. Exceptions apart and in rare and fortunate circumstances of concrete interventions in the field, this skill is normally acquired through workshop teaching (sometimes with different variations and aspects, for example, on composition, technology, urban planning, etc.) in which learners are supposed to learn (from these different viewpoints) to design, essentially through simulations of the design process.

Within the scope of these teachings, more specifically aimed at fostering the learning of the project activity itself, training is mainly based not only on the simulated exercise of the various aforementioned skills (when it is successful and they can be integrated), but also on discussion and evaluation of the 'outcomes' of the imaginative processes of the beginner participants, which is not always objectively achievable. It is a common system, widely tried and tested in the Schools of Architecture and highly effective, although today – in light of the observations made in the introduction – it could be refined somewhat. Indeed, this system actually takes into consideration, analyses, and evaluates the works produced by the trainee designers, to present their design ideas – i.e. drawings, models, reports, etc. – intervening primarily in the technical creation of these works and, in the best-case scenarios, 'teaching them to fish' (Campo Baeza, 2020), that is ensuring that this realisation occurs increasingly autonomously by the learners.

However, in the relationship between those who teach and those who learn, the cognitive processes related to the imaginative phases necessary to produce these documents have been almost completely neglected. Therefore, we discuss, we correct, and we evaluate only the outcome of the product, or more simply, the worth of the projects, but we do not work (or we work only very little, accidentally and partially) on the mental processes that led to its conception.

For several reasons, the cognitive processes in teaching architecture and design more generally constitute fertile yet mostly unexplored ground. First, it would be necessary to introduce new skills, those of cognitive sciences experts who barely appear in the normal Degree Courses in Architecture, with rare exceptions and limited experiments[1] (Figg. 1, 2). Including these new skills can meet resistance, especially when they come within the field of design creativity and its teaching, which architects consider their exclusive domain. However, what above all

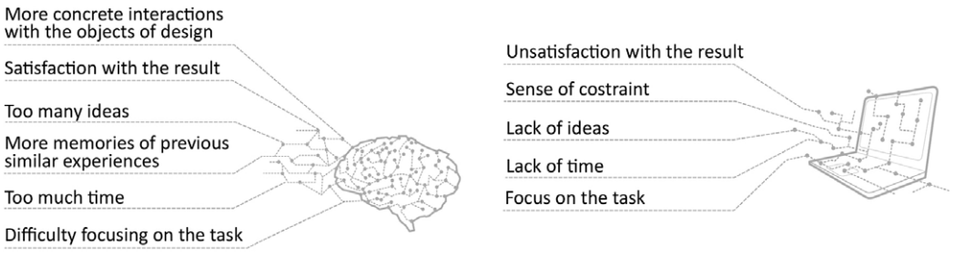


Fig. 7 | Brief representation of the most relevant results from the experiment involving the students (credit: L. Buondonno, 2023).

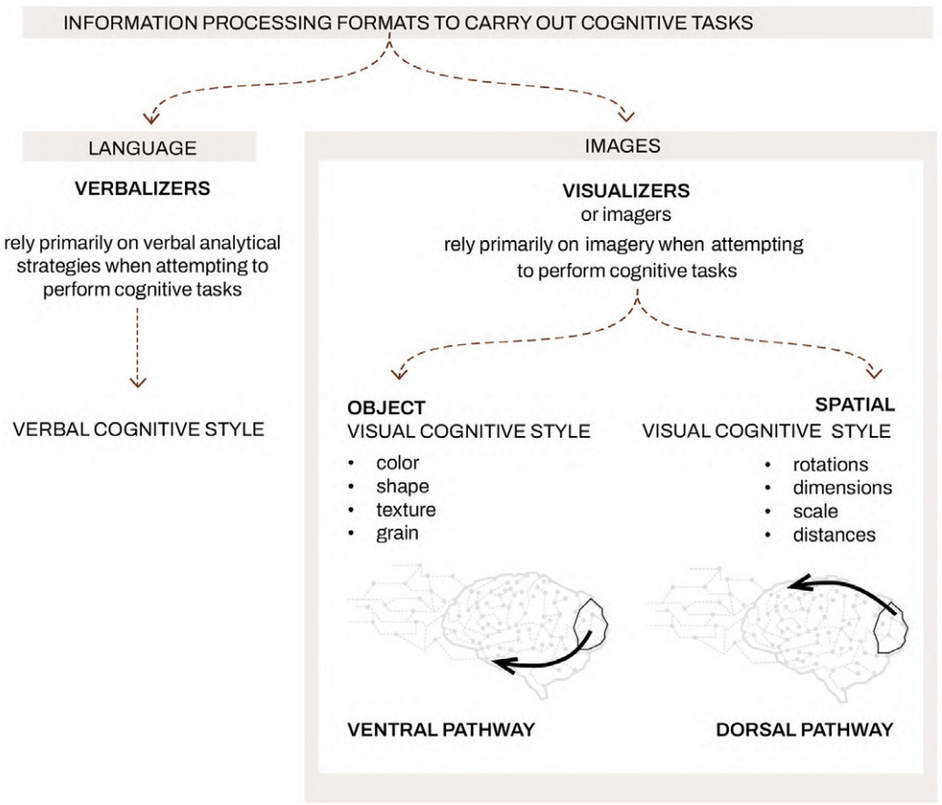


Fig. 8 | Brief representation of verbal, 'object' visual and 'spatial' visual cognitive styles and their neural correlates (credit: L. Buondonno, 2024).

happens is that the potentially fertile ground of cognitive processes in architecture needs to be recognised, first of all, as a field of action in design training, while it seems that its existence is almost completely ignored.

Greater awareness and better control of these cognitive processes would, however, be essential to equip future architects with permanent self-training tools, increasingly useful in an environment subject to continuous, rapid, interconnected and therefore complex transformations of a cultural, technological, and regulatory nature, as well as transformations of expressive means and aesthetic tastes.

These transformations risk making the cultural assumptions, the functional and use concepts, the stylistic precepts and the technological-constructive rules learned obsolete in no time at all. Therefore, the value judgments on the works carried out during the training itself will become obsolete (not very useful, even disorienting). In other words, it may make little sense for learners to receive only assessments on the alleged functional, formal, expressive and constructive correctness of their project designs, if these assessments are no longer valid (or completely subverted) within a few years.

If it is true that the history of architecture is fundamentally made up of constant, sometimes almost imperceptible, sometimes disruptive 'obsolescence' of the teachings of the 'masters', it now no longer seems to be so. Indeed, the incredible speed of the continuous and tangled transformations of the underlying conditions, outlined above, forces drastic changes that are mostly undergone and difficult to deal with critically. This process often prevents the continuous new developments from being translated into true cultural innovation, even in the architectural field, where it is increasingly difficult, as Vittorio Gregotti (2013) possibly correctly says, 'to separate originality from gimmickry'.

However, acquiring the ability to better manage one's imaginative faculties in a design process, that is to understand more adequately which abilities, strategies, processes, and cognitive styles are adopted (Paivio, 1971; Kozhevnikov, Kosslyn and Shephard, 2005; Blazhenkova and Kozhevnikov, 2009; Kosslyn and Miller, 2013; Chiorri, 2022), even involuntarily as in the case of Mind-Wandering (Vannucci and Agnoli, 2019; Vannucci, 2022), could prove to be a very useful and lasting resource.

If an architect learns how to envision space and what mental skills to deploy when designing, according to their own aptitudes and psychological characteristics, over the years they will be able to better manage imaginative skills as a designer, even relating them to the rapid changes of the surrounding circumstances, of the ways (and trends) of living, thinking, and constructing architecture, with new materials and technologies, even in comparison with the increasingly indispensable tools of the first, second (Carpo, 2017), and perhaps third (AI) digital 'revolution'. In more concrete terms, though, what can training architects by better considering cognitive processes really mean?

An example of an approach: mental images in the modelling of the project | To better understand the cognitive approach through mental images, try to let your mind wander around the Pantheon in Rome[2]; unless you suffer from aphantasia, or the inability to mentally visualise, which is a very rare condition, with little concentration you can 'visualise' the rotunda outside and inside, the dome, the oculus and the coffers and perceive, in the play of colours and shadows of the materials, even the magical suspending effect generated by the light that penetrates from above, especially at certain times of the day and year. However, unless you are an experienced historian or have recently visited the building, few or no one would probably be able to say exactly how many columns there are in the portico or the number of coffers (which you also, somehow, 'visualise') and perhaps not even the number of rings.

These are the mental images that, precisely because of their simultaneous precision and imprecision, this indefiniteness and malleability can potentially represent one of the most powerful tools of the cognitive approach to the architectural project referred to above. Indeed, it can be of fundamental importance in the design process for the architect to have the possibility of experiencing a similar perception of the space that is being envisaged, while initially preserving a certain degree of indeterminacy to keep various configuration possibilities open (Rowe, 2017).

Mental images have long been a widely studied and debated topic (Giachetta, 2019) in the field of philosophy, from Aristotle, Descartes, John Locke and David Hume to Jean-Paul Sartre and the most recent interpretations (Dennett, 1993; Zhok, 2014; Nanay, 2018; Montani, 2022), as well as in the field of cognitive sciences (Kosslyn, 1983; Kozhevnikov et alii, 2013; Oliverio, 2013), neurosciences (Pearson, 2019; Abraham, 2020), linguistics (Paivio, 1971) and art (Arnheim, 1969; Zeki, 1999), but incredibly almost completely unknown and misunderstood within the theories of architectural design and, what is worse, in the practice of its teaching.

However, in recent years, even in Italy, be it as it may gingerly, recent and specific discussions on the use of mental images in architectural design and in the teaching of design, which also involve psychologists (Giachetta, 2022), dedicated magazine issues[3] and didactic experiments also conducted with the participation of psychologists (Lavarello et alii, 2021) have begun to show the potential of introduc-

ing a cognitive approach in professional practice and especially in the training of architects.

For instance, one potential didactic use of exercises to stimulate mental images is to make trainee designers understand the importance of prefiguring and defining the impending architectural project in their minds, before representing it, thus learning to draw what you imagine rather than imagine what to draw (Giachetta, 2022). It seems like a play on words, but it is not. Indeed, many novice designers, in order to begin envisioning an architectural space, often start by drawing the floorplans and then proceed with the extrusion of walls and elevations.

However, by using this procedure (whose legitimacy is not being contested here per se), they are often unable to grasp and manage the actual complexity of the architectural spaces they design, in spite of the immediacy of 3D software renderings, nor to effectively appreciate their three-dimensionality, multisensory nature, and perceptual richness – enhanced by personal experiences and laden with memories – which mental representations can, instead, convey much more effectively.

Learning to effectively employ mental images for design can have significant implications. This is because their use involves recalling previous immersive experiences related to spatial, perceptual, and proprioceptive aspects. This can lead to a better understanding of spatial relationships (such as depth, above-below, inside-outside, and light-shadow), as well as aspects related to the material and constructive consistency of architecture (which include not just visual but also tactile and auditory elements). Additionally, it can help in better understanding the interplay between the general and the detailed, between the whole and its parts.

These brief examples are just some of the aspects that make us understand how mental images can be considered an exceptional 'modelling tool' for architecture that should be part of the architect's training armamentarium, along with the others that are already included in Degree Courses (such as architectural study models, freehand and computer-design models, physical-technical and structural ones, etc.) with which to interface in the various phases of evolution and clarification of the project. This interaction between architectural modelling systems introduces a further theme that once again brings us back to the question of complexity and that is worth recalling: the theme of the relationship of mental images with software modelling (Fig. 3).

A possible development: the interconnection between imaginative models and software | Some experiments[4] recently conducted with the collaboration of professors of psychology and neurophysiology (Buondonno et alii, 2023; Buondonno and Leandri, 2024; Buondonno and Giachetta, 2024) have investigated the possible interaction between mental images and the use of software, involving ninety students (Tab. 1) and thirty experienced professionals in various steps and using already validated or ad hoc questionnaires and psychometric tools, as well as electroencephalographic procedures (Figg. 4-6).

Despite recognising the limits of the small number of tests performed and of subjects involved for now, these trials have produced very promising initial results. Indeed, they highlight major differences between some subjects (students) who, under given design conditions, were invited to only mentally prefigure the spaces and others who were instead forced to use the computer, indicating that the former are less concentrated and have less metric control of space, but are able to process a greater number of ideas and do so in a less abstract way, engaging more deeply in the reality (Fig. 7).

Other differences concern the use of the computer in the design field, attributed to the different cognitive style of the subjects (professionals) involved in the tests and whose propensity for an 'object' type cognitive style (i.e. more oriented to the visualisation of pictorial and detailed mental images) or a 'spatial' type one (characterised by greater spatial control and in the rotation of mental images) had been previously verified (Kozhevnikov, Kosslyn and Shephar, 2005; Blazhenkova and Kozhevnikov, 2009; Kosslyn and Miller, 2013; Fig. 8).

These are only the initial results and together with others obtained with cognitive experiments on issues in some way connected (Bilda and Demirkan, 2003; Ibrahim and Pour Rahimian, 2010; Cote, Mohamed-Ahmed and Tremblay, 2011; Häggman et alii, 2015; Daemei and Safari, 2018;



Fig. 9 | Experiment with virtual reality as part of the RESONANCES Project (credit: A. Mendoza, 2022).

Ranscombe et alii, 2019; Leandri et alii, 2021) they seem to be able to open up a huge field of research with everything still to be explored on the interactions, at the cognitive level and in the prefigurative phases of an architecture project, between imaginative capacity, graphic and digital models.

These studies could provide valuable support, on the one hand, to future architects and designers to better use the software they will increasingly inevitably use, promoting rather than hindering creativity; on the other hand, to companies to implement the software while taking into account the skills and cognitive styles of the designers. These are obviously fundamental aspects – and can no longer be overlooked – in the training of future architects and, more generally, of all those who will engage in creative and design activities.

It would certainly not be possible here to address the issue of AI in relation to its applications in architecture and in the training of future architects, but it is quite clear that the subject of study and experimentation referred to above is central to seriously address the question of the interface between human and artificial intelligence in design activities. The study of the architect's cognitive processes seems, finally, to represent a complementary field to the one concerning the study of the physiological and emotional responses – both conscious and unconscious – of the body in space (Canepa, 2022, 2024; Fig. 9).

Conclusions: a promising uphill road | The proposal briefly outlined in this article, although unusual and – in some ways – perhaps bizarre for some, is a proposal that the authors are firmly convinced can be very effective in training the new generations of architects and on which they believe there will be ample space for research, work and debate in the coming years. The potential of the cognitive approach must not be overlooked not only for its breadth and interest, but above all because it concerns training in architectural design and therefore the future of architecture itself and of our life on the planet.

Potential research paths are still almost entirely to be invented within a general transdisciplinary theoretical framework that must address significant communication and language problems and identify and experiment with the right approaches, for instance starting from the neurophenomenological one (Varela, 1996). Continuous and extended experimentation is especially necessary to provide more evidence on the various cognitive skills that architects employ in designing with manual or digital tools. However, what is especially needed are ideas on how to fully understand these skills in order to develop them more completely.

In this case, the possible risks are particularly high, because they concern mental and imaginative processes. They consist of excessive simplifications, reductions, schematisations, the inability to grasp and appreciate individual differences to enhance them without this implying the temptation of confining classifications and trivial recipes and operational one-size-fits-all solutions.

Beyond these risks, however, it is a difficult road to travel because the field of investigation is still largely unknown. It requires a change of general perspective that is not easy to understand and concerns mental processes at a time when the very concept of mind is changing precisely in the interaction between mind, body, environment and tools, not least digital ones Clark and Chalmers, 1998; Ihde and Malafouris, 2019; Bruner, 2018).

Also, because it deals with topics related to mental processes, which often frighten architects, who are normally curious, but extremely cautious if they feel deprived of skills and that their most intimate field has encroached with an often-misunderstood creativity of an initiatory type, or because, by interacting with the field of cognitive sciences, it implies an extensive collaboration with new expertise outside the realm of architectural design. Indeed, architecture is an academic world that, despite declaring itself in favour of transdisciplinarity, actually denies or at least hinders it, thereby missing the opportunity to also update itself in the face of the challenges of complexity that can only be met with responses that are as original and unclassifiable as they are collective.

Notes

1) In this case, reference is made to the didactic innovation project carried out within the Degree Course in Architecture Sciences, at the University of Genova, between 2019 and 2022, coordinated at the time by Prof. A. Giachetta (Corso di Laurea in Scienze dell'Architettura UniGe, 2021).

2) The experiment was inspired by a work by Jean-Paul Sartre (1940), which probably refers to the neoclassical Pantheon in Paris.

3) In particular, reference is made to issue 7 of the GUD magazine entitled 'Sinapsi | Synapse', on which articles by architects, philosophers as well as neuroscientists and psychologists of the calibre of Giacomo Rizzolatti, Giovanni Vecchiato, Fausto Caruana, Dario Costi, Antonella Marchetti, Cinzia Di Dio, Sergio Agnoli and Manila Vannucci are published. [Online] Available at: stefanotermanieditore.it/portale/gud-design-2/gud-archives/gud07-01_2023-sinapsi-synapse/ [Accessed 10 September 2024].

4) Some experiments were conducted as part of funding obtained by Linda Buondonno, the winner in 2023 of the Call for Research Experts and Young Talents in Artificial Intelligence, issued by the Architects' Council of Europe. The call can be viewed on the website: ace-cae.eu/activities/call-for-research-experts-and-young-talents-in-artificial-intelligence/ [Accessed 30 August 2024].

References

Abraham, A. (2020), "Surveying the Imagination Landscape", in Abraham, A. (ed.), *The Cambridge Handbook of the Imagination*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.1017/9781108580298.001 [Accessed 10 September 2024].

Arnheim, R. (1969), *Visual Thinking*, University of California Press, Berkeley.

Bellini, O. E., Arcieri, M. and Gullace, M. T. (2023), "Sistemi abitativi modulari off-site – Soluzioni speditive per l'abitare da studenti | Off-site modular housing systems – Expeditious solutions for student residence", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 152-163. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14122023 [Accessed 10 September 2024].

Bilda, Z. and Demirkan, H. (2003), "An insight on designers' sketching activities in traditional versus digital media", in *Design Studies*, vol. 24, issue 1, pp. 27-50. [Online] Available at: doi.org/10.1016/S0142-694X(02)00032-7 [Accessed 10 September 2024].

Blazhenkova, O. and Kozhevnikov, M. (2009), "The new object-spatial-verbal cognitive style model – Theory and measurement", in *Applied Cognitive Psychology*, vol. 23, issue 5, pp. 638-663. [Online] Available at: doi.org/10.1002/acp.1473 [Accessed 10 September 2024].

Bruner, E. (2018), *La mente oltre il cranio – Prospettive di archeologia cognitiva*, Carocci Editore, Roma.

Bulegato, F. and Chiesa, R. (2015), "Note sull'insegnamento della storia del design in Italia – 1950/1990", in Peruccio, P. P. and Russo, D. (eds), *Storia Hic et Nunc – La formazione dello storico del design in Italia e all'estero*, Umberto Allemandi, Torino, pp. 68-103. [Online] Available at: iris.unipa.it/bitstream/10447/224263/1/Articolo%20DR %20Storia%20hic%20et%20nunc.pdf [Accessed 7 September 2024].

Buondonno, L. and Giachetta, A. (2024), "Mental images and digital models in architecture", in Diaconescu, O., Armenciu, D. N., Ionitâ, B. M., Duminică, C., Dunel, A., Haiduc, S., Ilie, O. and Stan, A. (eds), *20 Architectural Experiences – Proceedings – International Conference of Architecture and Design, 30-31/10/2023*, Accademia Adrianea Edizioni, Roma, pp. 196-201.

Buondonno, L. and Leandri, G. (2024), "Images choices by object and spatial oriented thinkers – An EEG study", in Leandri, G. (ed.), *IDEA – Innovation design application – 2024 Edition*, Genova University Press, Genova, pp. 13-22. [Online] Available at: gup.unige.it/IDEA-Innovation-Design-Application-2024 [Accessed 10 September 2024].

Buondonno, L., Vannucci, M., Chiorri, C. and Giachetta, A. (2023), "Mental imagery and digital media in architectural design process – An experimental study", in Leandri, G. (ed.), *IDEA – Investigating Design in Architecture – 2023 Edition*, Genova University Press, Genova, pp. 126-136. [Online] Available at: gup.unige.it/IDEA-Investigating-Design-in-Architecture [Accessed 10 September 2024].

Campo Baeza, A. (2020), "Per una sapienza architettonica", in Faroldi, E. and Vettori, M. P. (eds), *Insegnare l'Architettura – Due Scuole a confronto*, Letteraventidue, Siracusa, pp. 34-41.

Canepa, E. (2024), "Empathic imagination – Nurturing architectural creativity in Video Games and Virtual Reality simulations", in Leandri, G. (ed.), *IDEA – Innovation design application – 2024 Edition*, Genova University Press, Genova, pp. 109-127. [Online] Available at: gup.unige.it/IDEA-Innovation-Design-Application-2024 [Accessed 10 September 2024].

Canepa, E. (2022), *Architecture is Atmosphere – Notes on Empathy, Emotions, Body, Brain, and Space*, Mimesis International, Milano.

Carpo, M. (2020), "The pandemic changed everything – Or so we thought", in *The Architect's Newspaper*, 26/06/2020. [Online] Available at: archpaper.com/2020/06/the-pandemic-changed-everything-or-so-we-thought/ [Accessed 10 September 2024].

Carpo, M. (2017), *The Second Digital Turn – Design beyond intelligence*, The MIT Press, Cambridge (US).

Ceruti, M. (2018), *Il tempo della complessità*, Raffaello Cortina Editore, Milano.

Chiorri, C. (2022), "Il ruolo dei processi cognitivi nella progettazione architettonica", in Giachetta, A. (ed.), *Architettura e immagini mentali – Processi cognitivi per il progetto dello spazio costruibile nell'era della complessità*, FrancoAngeli, Milano, pp. 89-95.

Clark, A. and Chalmers, D. (1998), "The Extended Mind", in *Analysis*, vol. 58, issue 1, pp. 7-19. [Online] Available at: jstor.org/stable/3328150 [Accessed 10 September 2024].

Corso di Laurea in Scienze dell'Architettura UniGe (ed.) (2021), *Un anno di didattica – Innovazione e ricerca nella Scuola di Architettura di Genova*, Sagep Editori, Genova.

Cote, P., Mohamed-Ahmed, A. and Tremblay, S. (2011), "A Quantitative Method to Compare the Impact of Design Media on the Architectural Ideation Process", in Leclercq, P., Heylighen, A. and Martin, G. (eds), *CAAD Futures 2011 – Proceedings of the 14th International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures, Liège, Belgium, 4-8 July 2011*, Les Editions de l'Université de Liège, Liège, pp. 539-555. [Online] Available at: papers.cumincad.org/data/works/att/cf2011_p051.content.pdf [Accessed 10 September 2024].

Daemei, A. B. and Safari, H. (2018), "Factors affecting creativity in the architectural education process based on computer-aided design", in *Frontiers of Architectural Research*, vol. 7, issue 1, pp. 100-106. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.foar.2017.09.001 [Accessed 10 September 2024].

Dennett, D. C. (1993), *Consciousness Explained*, Penguin, London.

Giachetta, A. (2022), *Architettura e immagini mentali – Processi cognitivi per il progetto dello spazio costruibile nell'era della complessità*, FrancoAngeli, Milano.

Giachetta, A. (2019), "Prefigurazioni – Esercitare l'immaginazione; immaginare la materialità", in Giachetta, A., Novi, F. and Raiteri, R. (eds), *La costruzione dell'idea, il pensiero della materia – Riflessioni sul progetto di architettura*, FrancoAngeli, Milano, pp. 13-66.

Gregotti, V. (2013), *Il sublime al tempo del contemporaneo*, Einaudi, Torino.

Häggman, A., Tsai, G., Elsen, C., Honda, T. and Yang, M. C. (2015), "Connections Between the Design Tool, Design Attributes, and User Preferences in Early Stage Design", in *Journal of Mechanical Design*, vol. 137, issue 7, article 071408, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1115/1.4030181 [Accessed 10 September 2024].

Ibrahim, R. and Pour Rahimian, F. (2010), "Comparison of CAD and manual sketching tools for teaching architectural design", in *Automation in Construction*, vol. 19, issue 8, pp. 978-987. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.003 [Accessed 10 September 2024].

Ihde, D. and Malafouris, L. (2019), "Homo Faber Revisited – Postphenomenology and Material Engagement Theory", in *Philosophy & Technology*, vol. 32, pp.195-214. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s13347-018-0321-7 [Accessed 10 September 2024].

Kosslyn, S. M. (1983), *Ghosts in the Mind's Machine – Creating and Using Images in the Brain*, W.W. Norton and Co., New York.

Kosslyn, S. M. and Miller, G. W. (2013), *Top Brain, Bottom Brain – Surprising Insights into How You Think*, Simon & Schuster, New York.

Kozhevnikov, M., Kosslyn, S. and Shephard, J. (2005), "Spatial versus object visualizers – A new characterization of visual cognitive style", in *Memory & Cognition*, vol. 33, issue 4, pp. 710-726. [Online] Available at: doi.org/10.3758/BF03195337 [Accessed 10 September 2024].

Kozhevnikov, M., Kozhevnikov, M., Yu, C. J. and Blazhenkova, O. (2013), "Creativity, visualization abilities, and visual cognitive style", in *British Journal of Educational Psychology*, vol. 83, issue 2, pp. 196-209. [Online] Available at: doi.org/10.1111/bjep.12013 [Accessed 10 September 2024].

Larcher, C. and Dalla Costa, V. (2020), *Disegnare un cucchiaio per cambiare la città*, Quodlibet, Macerata.

Lavarello, A., Battistini, J., Buondonno, L., Dighero, A., Giachetta, A., Leonardi, M. and Rava, G. P. (2021), "Innovazione didattica nei laboratori di tecnologia del II anno", in Dipartimento di Architettura e Design dell'Università di Genova (ed.), *Un anno di didattica – Innovazione e ricerca nella scuola di architettura di Genova*, Sagep Editori, Genova, pp. 84-97. [Online] Available at: sagep.it/prodotto/un-anno-di-didattica/ [Accessed 10 September 2024].

Lawson, B. (2005), *How Designers Think – The Design Process Demystified*, Routledge, London. [Online] Available at: doi.org/10.4324/9780080454979 [Accessed 10 September 2024].

Leandri, G., Leone, C., Stara, S. and Leandri, M. (2021), "Movement related cortical potentials and meaningful drawing", in *Journal of the Neurological Sciences*, vol. 429, supplement, article 118555. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jns.2021.118555 [Accessed 10 September 2024].

Montani, P. (2022), *Destini tecnologici dell'immaginazione*, Mimesis Edizioni, Milano.

Nanay, B. (2018), "Multimodal mental imagery", in *Cortex*, vol. 105, pp. 125-134. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.cortex.2017.07.006 [Accessed 10 September 2024].

Oliverio, A. (2013), *Immaginazione e memoria – Fantasia e realtà nei processi mentali*, Mondadori Università, Milano.

Paivio, A. (1971), *Imagery and verbal processes*, Holt, Rinehart & Winston, New York. [Online] Available at: archive.org/details/imageryverbalpro0000paiv/page/n3/mode/2up [Accessed 10 September 2024].

Pearson, J. (2019), "The human imagination – The cognitive neuroscience of visual mental imagery", in *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 20, pp. 624-634. [Online] Available at: doi.org/10.1038/s41583-019-0202-9 [Accessed 10 September 2024].

Pérez-Gómez, A. (1983), *Architecture and the Crisis of Modern Science*, The MIT Press, Cambridge (US).

Raiteri, R. (2014), *Progettare progettisti – Un paradigma della formazione contemporanea*, Quodlibet, Macerata.

Ranscombe, C., Zhang, W., Rodda, J. and Mathias, D. (2019), "Digital Sketch Modelling – Proposing a Hybrid Visualisation Tool Combining Affordances of Sketching and CAD", in Wartzack, S. and Schleich, B. G. (eds), *Proceedings of the Design Society* – 22nd *International Conference on Engineering Design (ICED19) – Responsible Design for Our Future, Delft, The Netherlands, 5-8 August 2019*, Cambridge University Press, pp. 309-318. [Online] Available at: doi.org/10.1017/dsi.2019.34 [Accessed 10 September 2024].

Rowe, P. G. (2017), *Design thinking in the digital age – The incidents*, Sternberg Press, London.

Russo Ermolli, S. and Galluccio, G. (2019), "Industrializzazione Edilizia e Prefabbricazione tra Materialità e Immaterialità | Building Industrialization and Prefabrication between Materiality and Immateriality", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 5, pp. 93-100. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/5102019 [Accessed 10 September 2024].

Russo, D. and Moretti, M. (2020), "Shamballa, il Paradiso può attendere – Come la stampa 3D sostiene il futuro | Shamballa, Heaven can wait – How 3D printing will sustain the future", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 8, pp. 32-43. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/832020 [Accessed 10 September 2024].

Sacchi, L. (2021), *Il mestiere di architetto*, Letteraventidue, Siracusa.

Sartre, J.-P. (1940), *L'imaginaire – Psychologie phénoménologique de l'imagination*, Librairie Gallimard, Paris.

Sloterdijk, P. (2018), *What Happened in the 20th Century?*, Polity Press, Cambridge.

Sposito, C. (2022), "Riflessioni e traiettorie di ricerca interdisciplinari sulla transizione digitale | Reflections and trajectories for interdisciplinary research on the digital transition", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 2-13. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1202022 [Accessed 10 September 2024].

Vannucci, M. (2022), "Vagare con la mente – Spreco o opportunità per un futuro progettista?", in Giachetta, A. (ed.), *Architettura e immagini mentali – Processi cognitivi per il progetto dello spazio costruibile nell'era della complessità*, FrancoAngeli, Milano, pp. 96-103.

Vannucci, M. and Agnoli, S. (2019), "Thought Dynamics – Which Role for Mind Wandering in Creativity?", in Beghetto, R. A. and Corazza, G. E. (eds), *Dynamic Perspectives on Creativity – New Directions for Theory, Research, and Practice in Education*, Springer, Cham, pp. 245-260. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-99163-4_14 [Accessed 10 September 2024].

Varela, F. J. (1996), "Neurophenomenology – A Methodological Remedy for the Hard Problem", in *Journal of Consciousness Studies*, vol. 3, issue 4, pp. 330-349. [Online] Available at: ingentaconnect.com/content/imp/jcs/1996/00000003/00000004/718 [Accessed 10 September 2024].

Webber, M. M. and Rittel, H. W. J. (1973), "Dilemmas in a General Theory of Planning", in *Policy Sciences*, vol. 4, issue 2, pp. 155-169. [Online] Available at: urbanpolicy.net/wp-content/uploads/2012/11/Rittel+Webber_1973_Policy-Sciences4-2.pdf [Accessed 10 September 2024].

Zambelli, M. (2021), "L'analogia – L'euristica dell'architettura e del design", in *Op.Cit. | Selezione della critica d'arte contemporanea*, vol. 170, pp. 5-14. [Online] Available at: opcit.it/cms/wp-content/uploads/2021/01/OpCit_170_21.pdf [Accessed 10 September 2024].

Zambelli, M. (2019), *La mente nel progetto – L'analogia e la metafora nell'architettura e nel design*, didapress, Firenze.

Zeki, S. (1999), *Inner Vision – An Exploration of Art and the Brain*, Oxford University Press, Oxford.

Zhok, A. (2014), *Rappresentazione e realtà – Psicologia fenomenologica dell'immaginario e degli atti rappresentativi*, Mimesis Edizioni, Milano.

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 60-73
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/1652024

Article Info

Received 20 September 2024
Revised 15 October 2024
Accepted 17 October 2024
Published 30 December 2024

RIGENERAZIONE CLIMATICA GREEN DEGLI STREETSCAPES
L'esperienza di De Urbanisten ad Anversa

GREEN CLIMATE-ADAPTIVE STREETSCAPES REGENERATION
The De Urbanisten Experience in Antwerp

Marcello Corradi, Timo Stevens, Ina Macaione, Alessandro Raffa, Bianca Andaloro

Abstract

Il contributo si propone di esplorare il tema della complessità in architettura attraverso alcune delle sfide del nostro tempo. Riflettere sulla trans-disciplinarità in architettura significa avventurarsi in territori incerti: l'architettura utilizza modalità ibride per comprendere la realtà, collegando conoscenze scientifiche e non, così come intuizioni teoriche e pratiche. L'articolo presenta una ricerca in corso sugli streetscape adattivi al clima e con soluzioni basate sulla natura applicata alla Città di Matera (IT), con un focus sul ruolo dei processi di rigenerazione urbana in cui la relazione tra progetto e ricerca è fondamentale. All'interno di questo quadro teorico e operativo il testo riflette sul contributo cruciale dello Studio di Architettura olandese De Urbanisten e sul relativo approccio alla complessità contemporanea, con particolare attenzione all'adattamento climatico e all'inclusività della natura, prendendo in esame l'esperienza progettuale del Waterplan per la Città Anversa (Belgio) e il progetto pilota che ne è seguito, Wapper, attualmente in fase di realizzazione.

The contribution aims to explore the theme of complexity in relation to some of the current and urgent challenges of our time. Reflecting on trans-disciplinarity in architecture means venturing into uncertain territory: architecture employs hybrid ways of understanding reality, bridging scientific and non-scientific knowledge, as well as theoretical and practical insights. The paper introduces an ongoing research about nature-based climate-adaptive streetscape applied in the City of Matera, focusing on the role of research-driven design processes in urban regeneration. Inside this theoretical and operational framework, the paper reflects upon the crucial contribution of the globally Dutch architectural Studio De Urbanisten and its spatial approach to contemporary complexity, with a focus on climate adaptation and nature inclusivity. In this regard, the paper discusses the ongoing Research by design experimentation for the Belgian City of Antwerp, which resulted in a global Masterplan and a pilot project currently under implementation.

Keywords

architettura adattiva al clima, soluzioni basate sulla natura, streetscapes, rigenerazione urbana, De Urbanisten

climate-adaptive architecture, nature-based solutions, streetscapes, urban regeneration, De Urbanisten

Marcello Corradi, Landscape Designer, is a Member of De Urbanisten (The Netherlands) since 2019. E-mail: marcellocorradi@urbanisten.nl

Timo Stevens, Urban Designer, was a Member of De Urbanisten (The Netherlands) from 2015 to 2024. E-mail: timostevens@urbanisten.nl

Ina Macaione, Architect, is an Associate Professor at the Dipartimento per l'Innovazione Umanistica, Scientifica e Sociale, University of Basilicata (Italy). E-mail: ina.macaione@unibas.it

Alessandro Raffa, Architect PhD, is an Assistant Professor RTD A PON R&I FSE-REACT-EU at the Dipartimento per l'Innovazione Umanistica, Scientifica e Sociale, University of Basilicata (Italy). E-mail: alessandro.raffa@unibas.it

Bianca Andaloro, Architect and PhD, is a PNRR Tech4You Post-Doctoral Research Fellow at the Dipartimento per l'Innovazione Umanistica, Scientifica e Sociale of the University of Basilicata (Italy). E-mail: bianca.andaloro@unibas.it

La complessità della realtà (Heath-Carpentier, 2023; Prigogine, 1987), definita dall'interdipendenza dei sistemi e dei fenomeni (Yacov, 2018), richiede nuovi metodi e forme di conoscenza. L'architettura permette di collegare conoscenze scientifiche e non scientifiche, saperi teorici e pratici, fungendo da lente critica per comprendere e generare complessità. Tra le diverse incertezze contemporanee (Antonini, 2019), come il cambiamento climatico, gli approcci progettuali complessi, sistemici e transdisciplinari sono essenziali in quanto ridefiniscono il concetto di complessità attraverso quadri collaborativi multi-scalari e multi-temporali, basati su scenari e multi-stakeholders; al contempo la crescente consapevolezza dei rischi climatici ha trasformato la percezione del cambiamento climatico da disastro imminente a risorsa immaginativa che modella identità e possibilità future (Hulme, 2009; Losasso, 2016).

In tale ottica si colloca il presente articolo che illustra i risultati di una ricerca in corso incentrata sugli aspetti spaziali della rigenerazione basata sulla natura e adattiva al clima degli streetscape, rispetto al caso specifico della città di Matera (IT). Sviluppando una metodologia operativa e delle linee guida per ricercatori, progettisti e pianificatori, la ricerca affronta il tema della complessità intrinseca nella rigenerazione dei paesaggi stradali urbani. Nell'ambito della definizione di una metodologia operativa sperimentale un contributo significativo proviene dall'attività di ricerca attraverso il progetto condotta dallo Studio olandese De Urbanisten, e in particolare dal recente Piano per la Città di Anversa; inoltre attraverso l'approfondimento del progetto pilota Wapper, si evidenzia in che modo il progetto possa confrontarsi, trasformandola, con la dimensione spaziale della complessità contemporanea.

Pertanto il presente articolo intende inquadrare il tema della complessità nel progetto di rigenerazione urbana nell'attuale dibattito teorico e nelle pratiche urbane a livello mondiale, facendo riferimento alla letteratura sul complesso intreccio tra adattamento climatico, Nature-based Solution (NbS) e progettazione negli streetscapes urbani. Rispetto alla dimensione spaziale della rigenerazione urbana degli streetscape basati sulla natura e adattivi al clima, dall'analisi della letteratura si evidenziano alcuni gap di carattere teorico e operativo, rispetto ai quali l'articolo introduce una metodologia di ricerca e un approccio transdisciplinare che, attraverso intrecci tra ricerca e progetto, intende confrontarsi con la complessità del tema.

Viene quindi introdotto e discusso l'approccio alla ricerca progettuale di De Urbanisten, con particolare riferimento al Piano per la Città di Anversa e il suo streetscape-pilota Wapper e, infine, l'interpretazione critica del progetto rispetto alle finalità della ricerca in corso, che mira a evidenziare principi e procedure progettuali adottati dallo Studio olandese, a cui riferirsi per la complessità delle sfide e delle urgenze urbane della contemporaneità nel progetto di trasformazione della Città di Matera.

Transdisciplinarietà e Design Research per affrontare la complessità della rigenerazione basata sulla natura e adattativa al clima negli streetscapes: gap e metodologia di ricerca | Gli streetscape sono sistemi complessi (Mansouri and Matsumoto, 2009) – comprendono gli spazi della strada, i marciapiedi, le aree verdi, i sistemi di gestione delle acque, gli edifici e i servizi pubblici – e svolgono un ruolo cruciale nel modellare le qualità ambientali, sociali ed estetiche delle città.

Negli ultimi anni la rigenerazione urbana green è divenuta più complessa (Green City Network, 2020), accogliendo la sfida del cambiamento climatico (Macaione, Raffa and Andaloro, 2024) ed elaborando strategie di mitigazione e adattamento (Raffa, 2023), anche attraverso approcci basati sulla natura. In tal senso l'integrazione di NbS (World Bank, 2021; European Commission, 2021) nel progetto di rigenerazione degli streetscape offre numerose opportunità per potenziare la resilienza climatica, migliorare la biodiversità, le connessioni ecologiche, il benessere delle persone e la qualità dello spazio (Andaloro, de Waal and Suurenbroek, 2022), ma pone anche delle sfide.

Le città pioniere nell'adattamento climatico hanno riconosciuto il potenziale della rigenerazione basata sulla natura e adattativa al clima degli streetscapes (Nature-based Climate-adaptive streetscape Regeneration – NBCASR): molte stanno sperimentando soluzioni pilota per trasformarli in nuovi spazi pubblici multifunzionali, come Los Angeles (Yu and O'Leary, 2024) e Groningen (van Driessche et alii, 2021). Nonostante ciò gli approcci settoriali esistenti, insieme al divario esistente tra politiche e implementazione (Rossi, 2019), non riescono a cogliere pienamente le complessità interdipendenti di questo fenomeno urbano globale; anche il Design Research è ad oggi piuttosto limitato e non riesce a sfruttare appieno il proprio potenziale per confrontarsi e ridefinire le complessità della NBCASR, in una prospettiva spaziale: la ricerca non riesce a innovare le pratiche progettuali consolidate, in particolare nei contesti urbani medi e piccoli, che spesso sono in ritardo nell'adozione di strategie di adattamento.

La ricerca in corso, che si nutre di due progetti finanziati dall'Unione Europea, cerca di affrontare questo problema attraverso l'approccio del Design-as-Search (Nijhuis and Bobbink, 2012), con l'obiettivo di innovare Design Research e pratiche progettuali consolidate. Attraverso la definizione di principi, procedure e strumenti orientati al progetto la ricerca si propone di sviluppare un approccio integrato per trasformare gli spazi infrastrutturali monofunzionali in ambienti urbani verdi e multifunzionali, capaci di adattarsi alle sfide del cambiamento climatico e di migliorare la resilienza e la qualità urbana. La ricerca ha inoltre sollevato una riflessione sul ruolo del Design-as-Search nella NBCASR e su come sfruttare il suo carattere transdisciplinare per affrontare la complessità (Salingaros, 2014; Herr, 2002), sia a livello teorico che applicativo.

Riflettere sulla transdisciplinarità in architettura significa avventurarsi in un territorio incerto: implica riconsiderare il ruolo della disciplina nel presente, confrontarsi con la sua complessità intrinseca e interrogarsi su come affrontare gli intrecci complessi che caratterizzano la NBCASR. L'architettura impiega modalità ibride per comprendere la realtà, collegando conoscenze scientifiche e non scientifiche, teoriche e pratiche: il suo progetto è un atto critico orientato alla comprensione della complessità del fenomeno, contribuendo nel contempo a generare nuova complessità attraverso la sua dimensione trasformativa.

Nel contesto delle incertezze contemporanee, gli approcci progettuali complessi, sistemici e transdisciplinari sono essenziali per affrontare nuove e pressanti sfide (Vermeulen and Witjes, 2020). Riconoscendo la complementarietà (Nicolescu, 2010) tra conoscenza disciplinare – l'architettura e le sue 'designerly way of knowing' (Cross, 2001; Findeli, 2005) – e transdisciplinarità (Raffa, 2024; Doucet and Janssens, 2011), la ricerca in corso incorpora e adatta le caratteristiche della ricerca transdisciplinare (Lawrence and Després, 2004) per abbracciare la complessità della NBCASR (Tab. 1). L'approccio Design-as-Search mira inoltre a colmare il divario tra teorie e pratiche attuali (Hauberg, 2011; Schreurs and Martens, 2005; Frayling, 1993), al fine di migliorare entrambe. La metodologia di ricerca è strutturata in tre fasi integrate: 1) Research about Design; 2) Research-by-Design; 3) Research-driven Design.

La Research about Design ha due obiettivi principali: a) comprendere a fondo la NBCASR come fenomeno urbano complesso, analizzandone le caratteristiche e le interconnessioni multilivello, attraverso la raccolta di un ampio corpus di progetti, sia realizzati che non, su scala globale; b) definire una metodologia operativa, fatta di principi, procedure e strumenti progettuali possibili attraverso una literature review di framework progettuali esistenti (Furchtlehner, Lehner and Lika, 2022; Chanse et alii, 2021; Cabanek, Zingoni de Baro and Newman, 2020), report e documenti di città e Organizzazioni e analisi e confronto di una selezione di casi di studio, scelti tra i progetti precedentemente raccolti, in particolare tra Stati Uniti e Europa Centro-Settentrionale: tra questi il Piano per Antwerp e il progetto Wapper di De Urbanisten, oggetto della seconda parte di questo contributo.

La ricerca poi entra nella sua fase contestuale attraverso l'applicazione della metodologia operativa elaborata a partire dai processi deduttivi della fase di Research about Design.

La fase di Research-by-Design sfrutta la dimensione esplorativa del Design-as-Search, intrecciando ricerca e progetto per generare nuova conoscenza. Attraverso un approccio iterativo e di feedback multilivello questa fase mira a produrre soluzioni urbane innovative e desiderabili, piuttosto che sviluppi prevedibili ma meno favorevoli (de Jong, 1992). La fase di Research-by-Design si fonda su un processo iterativo basato sul trial-and-error, come opportunità per affrontare più efficacemente problemi complessi (Toeters et alii, 2012): essa mira a testare e perfezionare la metodologia operativa, applicandola negli streetscape della Città di Matera, eletta come prototipo sperimentale di città euromediterranea, alla scala di quartiere e urbana.

La scala del quartiere è cruciale per affrontare nello spazio le complesse interrelazioni tra cambiamento climatico, connettività ecologica e biodiversità, mobilità, benessere e salute, equità sociale e inclusività, e considerazioni energetiche. Gli streetscape sono analizzati per valutare vulnerabilità presenti e opportunità future, ma anche per immaginare potenziali trasformazioni spaziali che dialoghino con complessità localmente individuate e generino nuova complessità. Questa fase è cruciale per la definizione della metodologia operativa e contribuisce a costruire nuove conoscenze, di cui altri ricercatori delle discipline del progetto potranno beneficiare.

Infine la fase di Research-driven Design mira a supportare progettisti e Amministratori locali nello sviluppo di progetti di NBCASR, capaci di affrontare la complessità del contesto locale e generare soluzioni spaziali innovative. Le conoscenze accumulate nelle fasi precedenti verranno tradotte in esi-

ti progettuali (Roggema, 2017) e testate successivamente anche attraverso progetti pilota. Questa fase porterà alla definizione di linee guida operative che serviranno a trasformare gli streetscape di Matera in un sistema reticolare basato sulla natura, con l'obiettivo di rafforzare la resilienza climatica su scala urbana; inoltre potranno in futuro ispirare processi simili in altre città con caratteristiche analoghe.

Matera come prototipo sperimentale e il Piano di De Urbanisten per Anversa come modello | La Città di Matera è stata selezionata come ologramma della complessità propria delle città euro-mediterranee di medie dimensioni in un clima che cambia e come prototipo in cui testare, nella fase di Research-by-Design e Research-driven-Design, rispettivamente la metodologia operativa, le strategie e le azioni spaziali nei suoi streetscape. Questa scelta deriva dalla mancanza di sperimentazioni NBCASR riscontrate nella letteratura, che coinvolgono streetscape urbani in ambito euro-mediterraneo. Oltre ai gap dimensionali e geografici evidenziati, la città presenta caratteristiche intrinseche che consentono di affrontare, insieme ai caratteri di eccezionalità di città Patrimonio UNESCO e città-laboratorio del Moderno, una serie di tematiche ricorrenti in altri contesti urbani della regione euro-mediterranea, a partire dallo spazio infrastrutturale.

Matera rappresenta un caso rilevante per riflettere sulle NbS in un contesto euro-mediterraneo, grazie alla sua antica gestione sostenibile delle risorse idriche, caratterizzata dall'integrazione di sistemi artificiali e naturali (cisterne, canalizzazioni, ba-

Transdisciplinary characteristics to embrace complexity into the design research for Nature-based Climate Adaptive Streetscape's Regeneration

1	**Understanding the actual world** **Understanding a global phenomenon**. The research recognizes the nature-based climate adaptive streetscapes' regeneration as a global urban phenomenon, expanding the analysis to case studies from different cultural, social and climatic contexts. The objective is to have a broad picture of current tendencies and future perspectives, capturing its complexity on a global scale. This understanding has also contributed to unveil present asymmetries, both of scale – medium and small size cities do not take advantage from this opportunity – and geographical – North Central Europe and US are leading compared to other areas, like the Mediterranean region, where only few cities are experimenting on this topic.
2	**Tackle complexity in science and challenges knowledge fragmentation, dealing with research problems and organization that are defined from complex and heterogenous domains** **Integrative approach**. Integrating insights from various scientific disciplines such as ecology, climate science, environmental science, sociology, and engineering and non-scientific source of knowledge, i.e., local knowledge. **System thinking** allows to frame streetscapes as complex systems with interconnected components. System Thinking helps in understanding how different elements (e.g., green, blue and grey infrastructure, public space, flows, climate, usage patterns) interact and affect one another, allowing for the development of adaptive strategies that consider these interactions. **Interdisciplinary collaboration and Knowledge synthesis**. Bringing together experts from diverse fields in the different research phases ensures that fragmented knowledge is integrated into a cohesive design approach, bridging gaps between theoretical research and practical application. The design-as-search approach allow to synthesize information from various sources to create a unified and shared understanding to be translated into real world actions. **Framework Development**. Integrate various strands of knowledge can help organize and apply research findings in a practical context. The framework provides a structured approach to addressing complex issues and aligning different research domains with design objectives. **Adaptive Research Processes & Feedeback loops**. The design-as-search process outputs (framework and guidelines) is conceived as flexible and adaptive to address the evolving nature of complex issue. This includes iterative cycles of design, testing, and refinement, where new insights lead to adjustments through and between the research phases. Implementing feedback mechanisms allows researchers and designers to continuously learn from their experiences and outcomes. This iterative approach helps in refining the framework and expand its adaptability and applicability to different contexts. **Stakeholders' engagement**, including local communities, policymakers, and practitioners, helps in identifying and addressing research problems from multiple perspectives. Their input had ensured that the research is relevant and applicable to real-world challenges.
3	**Modes of Knowledge characterized by hybrid nature, non-linearity and reflexivity** **Integrating different modes**, quantitative and qualitative, i.e, on-site explorations, literature review, analytical-comparative process, participatory approaches, cross-disciplinary workshops, and reflexive modes, i.e., critical reflection and iterative feedback loops is critical to address the complexity of the phenomenon.
4	**Accept local contexts and uncertainty** **Context**. The complexity of nature-based climate adaptive streetscape regeneration arises from the need to harmonize multiple elements, competences and approaches. Effective design research must also be sensitive to local contexts. This means recognizing and incorporating the unique environmental, cultural, and socio-economic characteristics of a specific area. By tailoring solutions to local conditions which at the same time have a multi-scalar, multi-temporal and shaded among the stakeholders involved, researchers and designers can create more relevant and impactful regeneration strategies that address the specific needs and opportunities of the community inside the city. **Uncertainty** is an inherent part of designing for climate adaptation, as future climate conditions and their impacts can be unpredictable. Design research must embrace this uncertainty by adopting flexible and adaptive strategies that can be adjusted as new information and conditions emerge.
5	**Includes the practical reasoning of individuals with the constraining and affording nature of social, organizational contexts** **Practical reasoning**. This involves understanding how individuals – designers, planners, community members, or policymakers – make decisions based on their practical experiences, knowledge, and objectives. Their reasoning processes shape how design solutions are conceived and implemented, reflecting their needs, priorities, and interactions with the environment. **Social and organizational contexts**. Social factors, such as community values, social norms, and stakeholder interests, influence the design process, both as constrain (e.g., resistance to change) or afford (e.g., support and collaboration). Organizational context: Organizational structures and processes impact how design research is and applied. Constraints may include limited resources or bureaucratic hurdles, expertise, funding, or institutional support.
6	**Close and continuous collaboration between actors during all phases of the research** **Collaborative decision-making** leverages the strengths and insights of multiple stakeholders – urban planners, landscape architects, environmental scientists, local communities, policymakers, and engineers – leading to more informed, balanced, and context-sensitive outcomes. This collective approach also reduces the risk of knowledge fragmentation and increases the likelihood of developing comprehensive, resilient, and adaptable streetscape regeneration solutions. **Co-creation**. Engaging stakeholders in all phases – from problem identification to design development, implementation, and evaluation – facilitates co-creation and shared ownership of the solutions. This collaborative approach helps to align goals, build trust, and foster commitment among all parties.
7	**Oriented towards action, making linkage not only across disciplinary boundaries but also between theoretical development and professional practices** By **bridging different disciplines, theory and practices** the research elaborate an operational framework which define principles and procedures which is foundational to frame, understand and manage from a design perspective the complexity of nature-based climate adaptive streetscapes regeneration. Alongside the framework, specific guidelines are developed to support practitioners in applying the research findings to real-world projects.

cini di raccolta, orti giardino, ecc.) che hanno dato forma all'ecosistema dei Sassi, al suo spazio aperto, comprese le strade e il costruito. La rilevanza del caso studio è anche legata alla sua rifondazione moderna che nel Piano di Piccinato (1953-1956) ha previsto un'infrastruttura verde pensata come armatura pubblica della nuova espansione – caratterizzata da parchi e fasce verdi, giardini e orti, viali alberati – progressivamente erosa da processi di artificializzazione e impermeabilizzazione delle nuove espansioni dentro e ai margini della città moderna.

Le espansioni recenti si caratterizzano per un sovradimensionamento di spazi infrastrutturali impermeabili e un sottodimensionamento di spazio verde pubblico di qualità; le trasformazioni dell'ultimo secolo rendono già oggi la città più vulnerabile agli effetti di precipitazioni intense e concentrate, periodi prolungati di siccità e ondate di calore. Le progressive impermeabilizzazioni dei suoli e artificializzazioni della topografia, oltre a provocare allagamenti nella parte moderna e contemporanea, trasformano le strade del nucleo storico in 'torrenti', con impatti negativi sull'economia, sull'ambiente, sulla sicurezza e sulla salute pubblica.

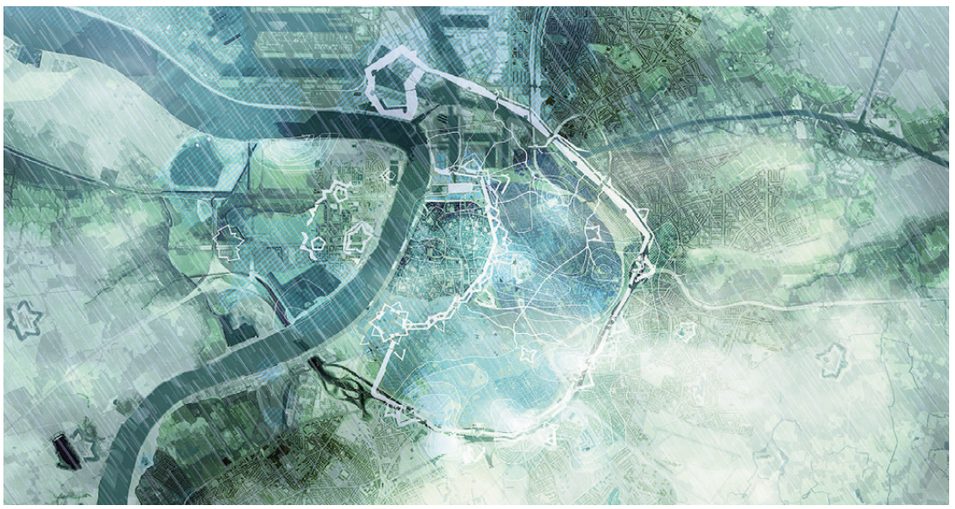
Queste riflessioni hanno informato la parte applicativa della ricerca, nella quale il reticolo urbano di spazi infrastrutturali della città viene prefigurato come parte della sua infrastruttura ecologica[1], in cui nuove nature urbane diventano occasione per moltiplicare lo spazio pubblico (De Capua and Errante, 2019), per contribuire a una gestione sostenibile della risorsa idrica (sia per la raccolta che per il deflusso delle acque) e migliorare la qualità urbana. In una prima fase si è scelto di agire sugli streetscape alla scala di quartiere della parte moderna e contemporanea della città, dove sono stati individuati gli ambiti più vulnerabili da attenzionare prioritariamente, individuati con l'idea in futuro di estendere la sperimentazione a tutto il corpo urbano.

Nella fase di Research-about-Design si è quindi guardato a esperienze e progetti di NBCASR che potessero informare, da un punto di vista metodologico-operativo e strategico, le fasi successive di ricerca sulla Città di Matera, e tra questi il Piano di De Urbanisten per Anversa. Le due città, pur nelle diversità geografiche, economiche, storiche e sociali, presentano alcune analogie: entrambe, prima dell'avvento della Modernità, sono state plasmate sull'uso sostenibile della risorsa idrica. Il sistema dei Sassi ha tra le motivazioni d'iscrizione nell'elenco del Patrimonio Mondiale dell'Umanità proprio quella gestione sostenibile dell'acqua che ha plasmato il suo antico abitato, tra spazio aperto e costruito, in un continuo sconfinamento tra natura e artificio, anche attraverso l'implementazione di soluzioni oggi identificabili come NbS. In particolare strade e spazi pubblici della città antica, ma anche la morfologia degli edifici, erano parte di un sistema articolato di raccolta delle acque, all'interno di un contesto dove tale risorsa era scarsa. Inoltre le due città hanno visto progressivamente marginalizzare il ruolo della propria rete idrografica, naturale e artificiale, ed erodere gli spazi verdi attraverso una impermeabilizzazione incontrollata, compromettendo la resilienza urbana agli effetti del cambiamento climatico e, in certi casi, anche la qualità degli spazi urbani. Entrambe affrontano oggi gli effetti, seppur con intensità diverse, dei cambiamenti dei pattern di precipitazioni, sempre più concentrate e violente, e ondate di calore che si espandono nel tempo.

Il Piano di De Urbanisten per Anversa, nel solco di un'attività di ricerca attraverso il progetto carat-

Previous page

Tab. 1 | Characters of a transdisciplinary research embedded into Nature-based Climate-adaptive Streetscape Regeneration design research (source: Lawrence and Després, 2004; adapted by A. Raffa, 2024).



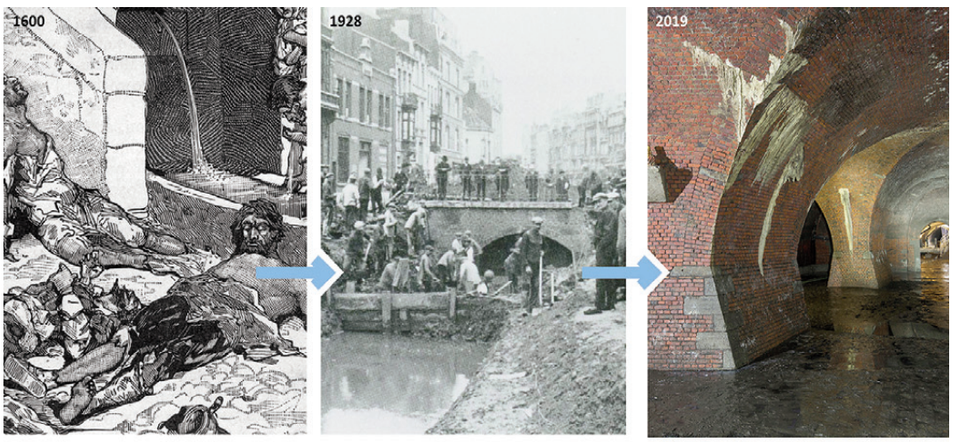






Fig. 1 | Antwerp Waterplan, General Plan of the City of Antwerp (credit: De Urbanisten, 2019).

Fig. 2 | Significant steps in the historical evolution of the Ruien in Antwerp Waterplan (credit: De Urbanisten, 2019).

Fig. 3 | Damages in Antwerp Berchem after a storm in 2016 (source: deredactie.be; credit: De Urbanisten, 2019).

teristica dello Studio olandese in cui la gestione della variabilità odierna delle precipitazioni diventa occasione di miglioramento della qualità urbana, rappresenta una coraggiosa e innovativa proposta per affrontare le sfide del cambiamento climatico in maniera proattiva, in particolare la gestione sostenibile della risorsa idrica, come opportunità di rigenerazione dello spazio pubblico e degli streetscapes urbani, esplorando le intersezioni complesse tra storia, natura, cultura e dinamiche contemporanee. La logica che permea il Piano, i metodi e le procedure impiegate, così come i progetti pilota alla scala di quartiere, rappresentano un modello possibile di NBCASR che ha contribuito a informare la strutturazione della metodologia operativa, nella fase di Research about Design, e le procedure messe in campo in quella di Research-by-Design.

La complessità nella visione progettuale di De Urbanisten per Anversa | Il concetto di complessità, per il quale vari ambiti, scale e questioni progettuali convergono verso un obiettivo condiviso, è centrale nel lavoro dello Studio di Architettura olandese De Urbanisten. Fondato nel 2009 da Florian Boer e Dirk van Peijpe, lo Studio integra conoscenze di ecologia e adattamento climatico allo studio di fenomeni urbani, sociali, climatici e culturali, interrogandosi sulle opportunità che possono scaturire dall'interazione delle questioni climatiche nel progetto di architettura alle diverse scale.

A partire già dai primi progetti che hanno reso maggiormente noto lo Studio, come la Piazza Benthemplein (2009), passando per il Zomerhofkwartier (2014-2017) fino al più recente progetto per il Hofbogenpark (2023), il progetto architettonico, urbano e di paesaggio si confronta con un determinante approccio di Research-by-Design, che integra l'attenzione per la ricerca alla produzione urbana. In particolare, il rapporto del progetto con le infrastrutture naturali verdi e blu è particolarmente ricercato e integrato nella progettazione; in questo quadro lo Studio ricerca anche una continua collaborazione con le comunità locali e i Comuni, definendo visioni di sviluppo urbano a breve e a lungo termine, come nel caso del Waterplan di Anversa (Fig. 1), adottato dalla Municipalità nel 2019.

La Città di Anversa, situata lungo l'estuario del fiume Schelda, ha una storia complessa profondamente legata all'acqua: la sua posizione strategica sul fiume ha favorito la crescita di un porto medievale in un vivace centro urbano, rendendolo un importante polo economico europeo. Storicamente la città era attraversata da piccoli corsi d'acqua, tra cui i Ruien, per il trasporto e il drenaggio che, con la modernizzazione della città nel corso del XIX e del XX secolo (Fig. 2), sono stati coperti e integrati nel sistema fognario. Il passaggio da una città centrata sull'acqua a una città minerale ha emarginato i suoi sistemi idrologici naturali: la costruzione urbana densa ha coperto corsi d'acqua e spazi verdi, riducendo la resilienza dell'ecosistema cittadino e la capacità di adattarsi ai cambiamenti climatici (Boer et alii, 2019a).

Negli ultimi anni gli effetti del cambiamento climatico, e in particolar modo i frequenti e intensi eventi di pioggia, hanno messo sotto pressione il vecchio sistema fognario, causando inondazioni urbane e problemi di circolazione (Figg. 3, 4); inoltre il rapido drenaggio durante le forti piogge e i prolungati periodi di siccità hanno evidenziato la necessità di una strategia di gestione dell'acqua adattiva al clima (Boer et alii, 2019a).

Avviato nel 2018 dal Comune di Anversa, il Waterplan di De Urbanisten mira a rispondere alle esigenze a breve e lungo termine della città sulla gestione dell'acqua, trasformando Anversa in una 'watersensitieve stad' ('città sensibile all'acqua'; Boer et alii, 2019a) attraverso il suo storico rapporto fisico e visivo con l'elemento naturale dell'acqua: anziché limitarsi a risolvere le questioni legate alla gestione dell'acqua da un punto di vista esclusivamente infrastrutturale, si propone di integrare l'acqua nel tessuto urbano come elemento vivente. Un tale obiettivo implica un cambiamento cruciale nella gestione del progetto, passando da soluzioni esclusivamente tecniche a un approccio più complesso, olistico e integrato, che tiene in considerazione anche le dimensioni sociali, ecologiche e spaziali della gestione dell'acqua stessa.

Il Waterplan di Anversa sviluppa una metodologia che pondera le esigenze attuali della città, il contesto storico e le sfide future, definendo tre 'città dell'acqua' (Fig. 5): 1) la Città dell'Acqua Artificiale, che include il moderno sistema fognario e l'infrastruttura tecnica, attualmente sotto pressione a causa delle sfide climatiche; 2) la Città dell'Acqua Nascosta, che rappresenta le strutture idriche storiche come i Ruien, ora coperte ma con potenziale non sfruttato per la gestione dell'acqua; 3) la Città dell'Acqua Naturale, che comprende l'idrologia naturale dell'area, la topografia e le acque sotterranee. Il Piano mira ad armonizzare questi elementi per una gestione sostenibile dell'acqua, assicurando che i sistemi artificiali siano supportati da elementi storici e naturali (Boer et alii, 2019a).

Dall'intreccio di questi tre sistemi è possibile definire una strategia di adattamento climatico per le diverse aree del territorio: con il supporto delle iniziali fasi di analisi il Piano sviluppa undici tipologie di città dell'acqua, basate sulle caratteristiche spaziali del tessuto urbano di Anversa[2] (Fig. 6). Per ciascu-

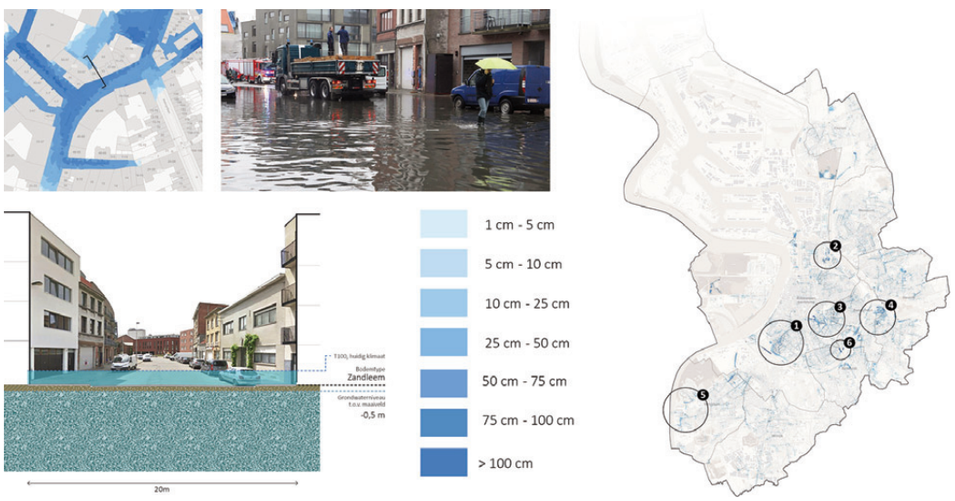


Fig. 4 | Detailed water model for problematic areas in case of extreme rain in Antwerp Waterplan, developed by De Urbansiten (credit: De Urbanisten, 2019).

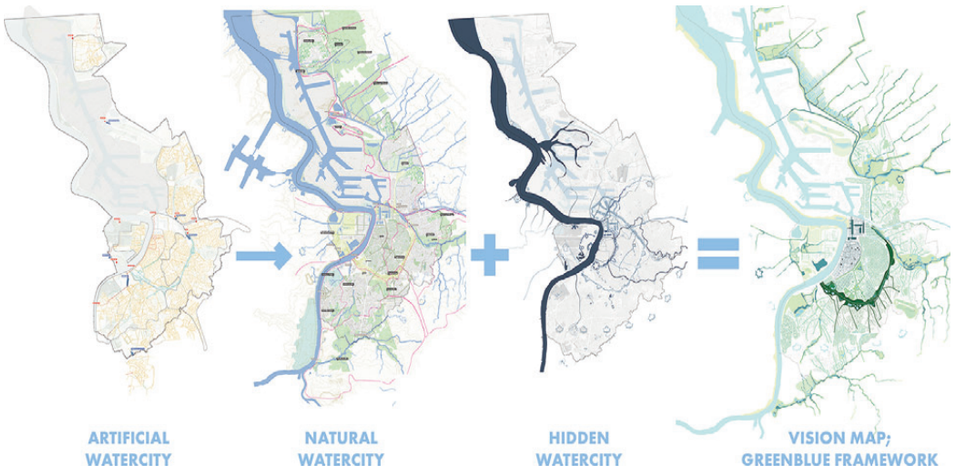


Fig. 5 | Antwerp Waterplan, ambitions of the Plan and representation of the three cities: the Artificial Watercity, the Natural Watercity, and the Hiddel Watercity (credit: De Urbanisten, 2019).

Next page

Fig. 6 | Overview of the eleven different typologies of the Watercity in Antwerp Waterplan (credit: De Urbanisten, 2019).

Fig. 7 | Example of the methodology structure for rainwater cascade and watercourses in Antwerp Waterplan (credit: De Urbanisten, 2019).

Fig. 8 | Antwerp Plan for integrating the green and blue framework in Antwerp Waterplan (credit: De Urbanisten, 2019).

na tipologia, si propongono specifiche strategie di gestione della risorsa idrica, relative anche alle necessità e alle opportunità del luogo (Fig. 7); il Piano include inoltre un Framework urbano verde-blu, per integrare spazi verdi e corpi d'acqua in una rete a supporto della biodiversità, con l'obiettivo di creare opportunità ricreative e migliorare la resilienza ai cambiamenti climatici (Fig. 8). Infine il Waterplan sviluppa tre progetti pilota, concepiti per testare e affinare le metodologie proposte su scala ridotta: si tratta di laboratori di innovazione, che declinano il nuovo concetto di sensibilità all'acqua e creano soluzioni possibili per una gestione controllata e misurabile; tra i tre progetti vi è il Wapper[3], che il Comune ha scelto per il successivo sviluppo.

Situata nel cuore di Anversa, Wapper è uno streetscape storico che sorge sopra una sezione dei Ruien, e ospita attività commerciali, ricreative e residenziali (Figg. 9, 10). L'obiettivo del progetto pilota del Waterplan era (ri)utilizzare l'acqua dei Ruien come elemento visibile e interattivo dello spazio pubblico; il progetto, approvato dal Comune nell'estate 2024 e attualmente in fase di ulteriore definizione, prevede un sistema di superficie articolato in tre sezioni, ciascuna relativa a diversi tipi di elementi naturali.

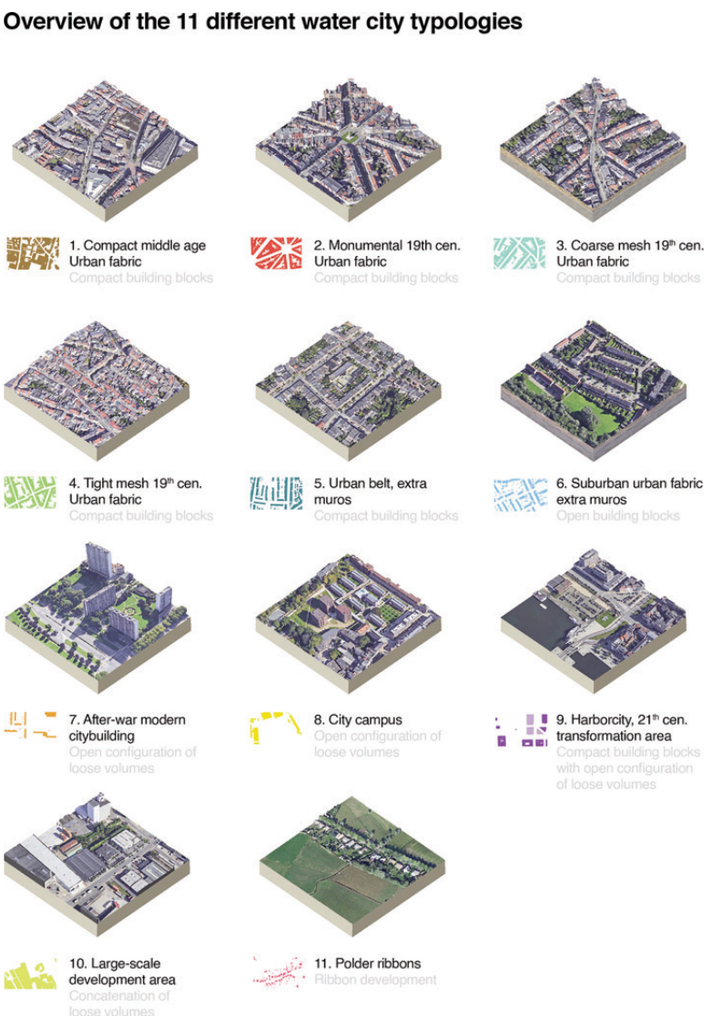
L'elemento d'acqua visibile in superficie è suddiviso in tre zone distinte, ognuna delle quali capace di offrire un'esperienza diversa ai visitatori (Fig. 11): 1) la prima zona, sul lato Meir della piazza, è caratterizzata da fontane ludiche che spruzzano acqua seguendo diversi pattern e formando una sagoma visibile dei Ruien sottostanti (l'area è progettata per essere facilmente accessibile ai passanti, in particolare ai bambini, che possono interagire con l'acqua e godere dei suoi effetti rinfrescanti durante i mesi estivi); 2) la seconda zona, situata al centro della piazza, presenta un corso d'acqua che guida l'acqua purificata dal biofiltro verso il Meir; 3) la terza zona, situata sul lato Hopland della piazza, è dedicata alla purificazione delle acque piovane (l'acqua viene pompata dai Ruien e filtrata attraverso la vegetazione, creando uno spazio verde che valorizza l'elemento naturale della piazza).

Attraverso le tre zone, il progetto crea un sistema a circuito chiuso in cui l'acqua piovana proveniente dagli edifici circostanti e dalle aree pavimentate viene raccolta, filtrata e riutilizzata all'interno della piazza. Anche la sezione sotterranea dei Ruien viene utilizzata come serbatoio per immagazzinare l'acqua piovana, che viene poi monitorata per garantire la qualità, filtrata attraverso un biofiltro e pompata in superficie anche per la fontana. Questo sistema non solo riduce la domanda sull'approvvigionamento di acqua potabile della città, ma garantisce che sia disponibile durante i periodi di siccità. Il progetto prevede anche un sistema di gestione dell'acqua in eccesso durante forti piogge che ne prevede il deflusso nei Ruien tramite un sistema di sovrappieno (Fig. 12).

Rendendo l'acqua visibile e tangibile nel cuore della città il progetto mira inoltre a favorire una connessione profonda con residenti e passanti, recuperando la relazione storica della città con l'acqua. Con la crescita e l'evoluzione continua della città, progetti per streetscape come Wapper rivestono un ruolo fondamentale nel modellare il futuro della città, contribuendo a definire il futuro sostenibile e vivibile della città di Anversa.

Interpretare la complessità progettuale attraverso il framework di ricerca | Il progetto Wapper è una componente cruciale nell'ambizioso Piano di sviluppo del Waterplan di Anversa, che mira a definire una integrazione equilibrata tra i sistemi idrici artificiali e quelli nascosti e naturali della città. Il progetto pertanto permette una riflessione sulla necessità di ripensare il modo di progettare la transizione climatica e ambientale. Combinando la trasformazione dello spazio pubblico con i modelli di gestione dell'acqua, e attraverso il supporto, lungo tutte le fasi, dei dati relativi ai cambiamenti climatici locali (in particolare riguardo allo stress da calore, alle inondazioni e alla siccità), lo Studio olandese ha sviluppato una soluzione capace di considerare anche gli aspetti sociali e ambientali della rigenerazione urbana.

Inoltre come progetto pilota del Waterplan di Anversa, il Wapper permette di delineare altri due obiettivi di trasformazione: da un lato dimostrare la





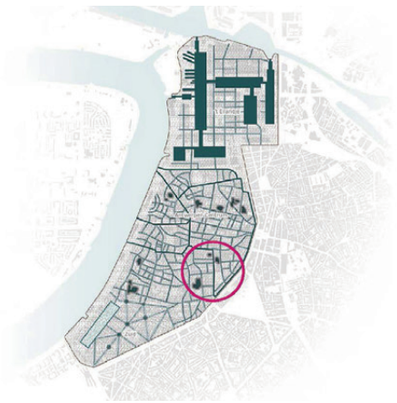
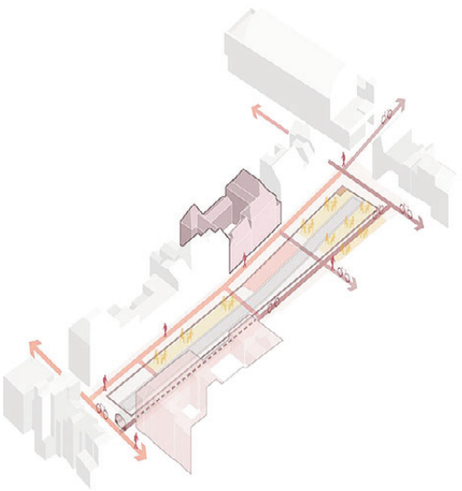
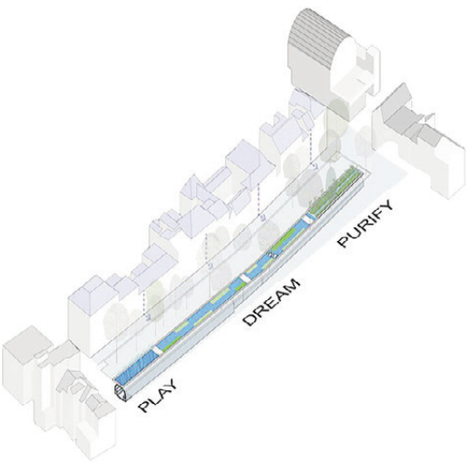


Fig. 9 | The Wapper: the City of Antwerp's site Plan and the localisation of the project site in the Antwerp Waterplan (credit: De Urbanisten, 2019).



Fig. 10 | The Wapper: current state of the site (credit: De Urbanisten, 2019).





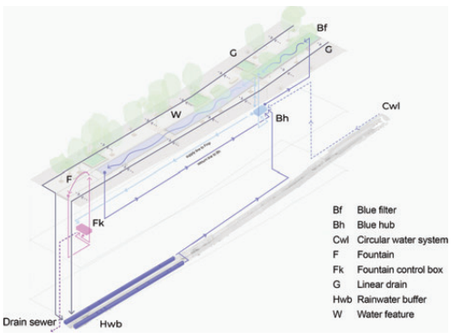


Fig. 11 | The Wapper: axonometries show the pedestrian and cycle flows in the public spaces and the water management in the three-part project (credit: De Urbanisten, 2024).

Fig. 12 | The Wapper: schematic axonometry of integrating the water management system in the public space design (credit: De Urbanisten, 2024).

fattibilità dei progetti per streetscape climatico-adattivi basati sulla natura come trasformazioni spaziali che integrano questioni tecniche nella definizione dello spazio, dall'altro dimostrare la possibilità di adattare, scalandolo, l'approccio del Waterplan in diversi luoghi. Utilizzando il framework operativo di ricerca precedentemente introdotto si possono delineare in Wapper alcuni caratteri progettuali specifici e ricorrenti nella progettazione NBCARS: interdisciplinarietà, inter-scalarità, multi-temporalità e multi-soggetto definiscono la peculiarità della resilienza adattiva urbana, esplicitando la complessità delle materie e dei soggetti coinvolti nelle diverse fasi del processo progettuale (Macaione, Raffa and Andaloro, 2024). La coesistenza di questi caratteri rende evidente la complessità intrinseca del progetto, rivelando un cambiamento di paradigma nel modo di concepire, sviluppare e costruire il progetto per lo spazio pubblico contemporaneo (Tab. 2): in particolare, come mostrato in Figura 13, si possono trarre le riflessioni che seguono.

Rispetto alla interdisciplinarietà, il progetto Wapper beneficia dell'impalcato teorico del Waterplan di Anversa, sostenuto da diversi esperti collaboranti nella definizione dell'intero sistema complesso del tessuto urbano (Background, Knowledge). Inoltre il progetto risponde alle previsioni climatiche relative al cambiamento di specifici parametri nei prossimi cento anni (Background), e queste informazioni influenzano la modellazione dello spazio stesso. Infine non solo il Wapper risponde ai bisogni della popolazione di Anversa, ma contribuisce anche al benessere di diversi ecosistemi naturali e animali (Trans-specist).

L'inter-scalarità è visibile nella relazione tra il Waterplan di Anversa e il progetto Wapper, e in particolare negli obiettivi e nelle visioni che delineano Anversa come una città sensibile all'acqua (Coexistence): sviluppando ulteriormente il Wapper come progetto pilota lo Studio olandese dimostra la replicabilità dell'approccio, così come la possibilità di ampliarlo in luoghi diversi. Inoltre sia il Wapper che il Waterplan di Anversa si relazionano all'interno della complessa programmazione dei Piani e Programmi del Comune di Anversa rispetto al tema delle future transizioni. Negli ultimi anni infatti, in risposta al European Water Framework Directive (European Union, 2000), è stato formulato l'Integrated Water Policy Decree (CIW, n.d.) per le Fiandre, e successivamente, il Green Plan (Stad Antwerpen, 2023) sul futuro delle infrastrutture verdi della città.

A una scala diversa invece il Rainwater Plan (Water-link, n.d.) esplora la sicurezza idrica in caso di inondazioni, supportando la ricerca del Waterplan. In aggiunta, il Lively Landscape (Levendig Landschap; Stad Antwerpen, n.d.) mira a creare una robusta struttura verde urbana attraverso cinque Superparchi, mentre il report Giving Space to the City of Tomorrow (Ruimte geven aan de stad van morgen; Apostel et alii, 2018) ha fornito la base per lo Strategic Spatial Structure Plan, sviluppato a partire dal 2019. Infine è utile ricordare lo Urban Development in Antwerp, il Piano della città sviluppato dalla Municipalità insieme agli architetti italiani Bernardo Secchi e Paola Viganò (2009; Lorquet, 2012), in cui l'idea della Città Aperta ha supportato lo sviluppo di una città sostenibile, vivibile e resiliente in cui spazi pubblici, aree verdi e sistemi idrici possano essere collegati all'interno di un tessuto urbano coeso (Fini and Pezzoni, 2011).

In termini di multi-temporalità lo sviluppo del Wapper, come progetto streetscape-pilota del Waterplan, supporta la creazione di immaginari significativi per la città e per l'impatto che una tale trasformazione possa avere sulla sua vita quotidiana. Questo mostra l'importanza di procedere attraverso un processo composto da diverse fasi, nelle quali diversi stakeholder possono apportare nuovi e diversi stimoli allo sviluppo del progetto. Pensato per far parte della vita quotidiana della popolazione di Anversa, il Wapper sarà accessibile ogni gior-

	Parameter	Description
Inter-disciplinarity	Background	The project is based on pieces of knowledge which belongs to other disciplines
	Knowledge	The project benefits from knowledge related to different fields
	Co-working	The project is developed with the collaboration of experts from different knowledge fields
	Trans-specist	The project takes into account the needs of other-than-human subjects
Inter-scalarity	Coexistence	The project results in a complex combination of (design) scales
	Pilot project	The project is designed as a pilot case of a bigger (development) project or programme
	Up-scaling	The project is designed in a way that allows for its upscaling process
	Interoperability	The spatial devices of the smaller scales are deeply interrelated with the larger scales
	Replicability	The project is designed or built in a way that can be replicated in analogous circumstances or environments
	Modularity	The project is designed or built in a modular way
	Digital network	The project benefits from a digital layer of relations and knowledge (digital twin, generative approach, real-time sensors, monitoring, adaptive devices, etc.)
Multi-temporality	Phases	The project is developed through phases, related to its design, implementation or realisation
	Scenario-based design	The project is developed by taking into account scenarios of transformations
	Time flexibility	The project embeds many and different temporalities, allowing for a continuous fruition (24/7)
	Adaptability	The project relates to the rhythm of the city and its inhabitants, adapting its fruitions to the changing of the time and of times
Multi-subject	Stakeholders	The project involves, at the different stages, multiple types of stakeholders
	Community understanding	Possibility of engaging the community in the process of understanding their needs
	Participation	Participation of the community in the design phase, together with the design firms in charge
	Community engagement	Public presentations of the work with the community, and (co-)stewardship of the public spaces
	Public subjects	The project benefits from the presence of public institutions
	Private subjects	The project benefits from the presence of the private sector

Tab. 2 | Design characters of Nature-based Climate-adaptive streetscapes within the Research Framework (credit: B. Andaloro, 2024).

no per tutto il giorno (time flexibility), permettendo un uso libero degli spazi (Fig. 14). Infine il progetto è profondamente elaborato a partire dalla definizione di scenari di trasformazioni, che considerano il cambiamento di determinate caratteristiche del luogo nel tempo, come l'aumento della temperatura (e il conseguente cambiamento del tasso di evaporazione), il tasso di precipitazioni o il tempo di deflusso delle acque.

Il carattere multi-soggetto è implicito nella presenza dei molteplici stakeholder coinvolti: commissionato dal Comune di Anversa, insieme al maggiore fornitore di acqua delle Fiandre Waterlink e alla società di trattamento delle acque reflue Waterfin, il progetto Wapper è sviluppato da De Urbanisten in collaborazione con OMGEVING e D+A Consult (Private and Public sector). L'eterogeneità degli stakeholder coinvolti contribuisce alla complessità del progetto, rivelando il suo potenziale come catalizzatore della rigenerazione urbana, e già durante lo sviluppo del Waterplan sono state promosse numerose attività di coinvolgimento e partecipazione delle comunità.

Riconoscendo che gli interventi top-down non possono essere sufficienti per affrontare le sfide complesse della gestione delle acque urbane (Boer et alii, 2019b), il Piano sostiene un approccio partecipativo in particolar modo riferito alla comprensione delle esigenze locali e la condivisione di alcune scelte progettuali (Community understanding, Participation, Community engagement; Fig. 15). Organizzando incontri, esposizioni e workshop collaborativi, De Urbanisten ha contribuito a sensibilizzare sul tema dell'acqua in città, incoraggiando i cittadini verso il tema dell'adattamento climatico e dell'inclusività della natura.

L'intreccio di questi caratteri contribuisce a mostrare le diverse sfaccettature del processo di rigenerazione urbana, evidenziando il ruolo complesso del progetto di architettura nell'accogliere i molteplici aspetti della composizione dello spazio. Sviluppando un approccio adattivo al clima e basato sulla natura, lo streetscape di Wapper suggerisce un forte interesse delle comunità locali e della Municipalità verso una rigenerazione urbana vivibile, sostenibile e verde della città, con attenzione alle sfide e alle esigenze globali (Fig. 16).

Conclusioni | La natura intricata della realtà, caratterizzata dall'interdipendenza tra sistemi e fenomeni, richiede l'adozione di nuove metodologie ed epistemologie; fare leva sulla dimensione transdisciplinare dell'architettura significa riconsiderare la disciplina all'interno di un contesto globale complesso, affrontando nel contempo anche le sfide locali. Nella NBCASR, l'approccio transdisciplinare risulta dunque fondamentale, beneficiando della multi-scalarità dei processi progettuali coinvolti.

Nel quadro delle ricerche sulla rigenerazione urbana degli streetscape, rispetto alla quale sono stati individuati gap in letteratura relativi alla insufficiente integrazione di approcci progettuali basati sulla trasformazione fisica dello spazio urbano e sociale, si ritiene che il caso di Anversa possa costituire un modello da cui astrarre elementi invarianti del progetto adattivo al clima e basato sulla natura. In particolare, sebbene il Waterplan esprima le potenzialità e le necessità di uno specifico territorio, è possibile considerare la metodologia di ricerca (e di progetto) proposta e attuata esemplare e replicabile. Il processo sviluppato da De Urbanisten è infatti iterativo, multi-scalare e multi-disciplinare, capace di supportare lo sviluppo di una visione futura e resiliente per la città; è inoltre un modello che propone la scomposizione di tutti gli elementi della città, dalle infrastrutture (grigie, verdi e blu) alle materie (naturali e artificiali), fino al suo Patrimonio (culturale, materiale e immateriale). Nella scomposizione, e successiva ricomposizione ragionata, il Waterplan individua il potenziale di trasformazione del territorio, fino alla piccola scala dello streetscape.

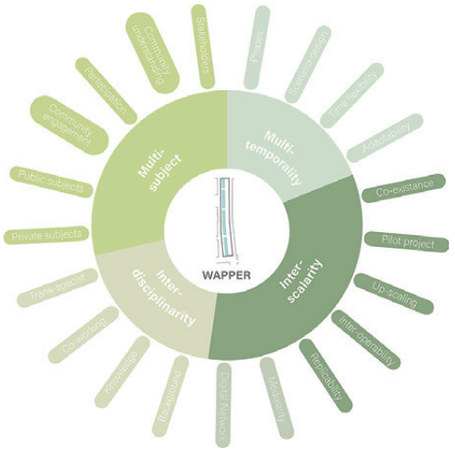


Fig. 13 | The Wapper: synthetic elaboration of the design characters of the project Wapper (credit: B. Andaloro and A. Raffa, 2024).

Il Waterplan ribadisce inoltre la necessità dell'integrazione delle questioni climatiche nel progetto di architettura alle diverse scale, rendendo le criticità delle opportunità per la trasformazione fisica dello spazio urbano, attraverso gli streetscape. Infine l'attenzione per la scala del quartiere, attraverso la quale gli streetscape sono sviluppati nelle loro specificità locali, contribuisce a rendere il Waterplan anche uno strumento guida per l'attuazione di NBCASR a supporto delle municipalità.

Questi tratti invarianti del progetto, che trovano riscontro nel progetto pilota dello streetscape di Wapper, permettono di delineare le necessarie indicazioni meta-progettuali per casi studio relativi a quelle città che devono rispondere alle sfide climatiche, contribuendo a un futuro urbano più sostenibile e resiliente.

Nell'abito della ricerca sugli streetscape adattivi al clima e basati sulla natura, che vede come caso applicativo la Città di Matera, si evidenzia la necessità di ripensare gli strumenti della progettazione architettonica e urbana, proprio a partire dalla complessità del tema. L'emergenza climatica, che l'area mediterranea sta affrontando, costituisce infatti una forte opportunità per sviluppare scenari di trasformazione adattivi al clima e basati sulla natura. In questo modo si ritiene possibile sviluppare soluzioni progettuali per una rigenerazione urbana degli streetscape, proprio a partire dalle indicazioni processuali e progettuali dei modelli di riferimento. L'approccio del Waterplan, insieme ai metodi e alle procedure adottati, così come alla presenza di progetti pilota a scala di quartiere, costituiscono un modello potenziale di NBCASR che ha fornito un contributo significativo alla definizione della metodologia operativa.

In conclusione, l'approccio Design-as-Search di De Urbanisten sottolinea l'importanza di un processo iterativo che bilanci la dimensione multilivello degli spazi pubblici, nella città storica, moderna e contemporanea. La strategia, sensibile al contesto e adattabile alle incertezze future, valorizza gli ecosistemi e promuove l'equità sociale, favorendo il coinvolgimento della comunità. In questo modo si ritiene cruciale evidenziare la necessità di colmare il divario tra conoscenze scientifiche e non, teorie e pratiche per sviluppare una metodologia operativa flessibile e adattiva e proporre una riflessione sulla ricerca architettonica che si confronta con la complessità, attraverso metodologie transdisciplinari e design-based più performanti.

The complexity of reality (Heath-Carpentier, 2023; Prigogine, 1987), defined by the interdependence of systems and phenomena (Yacov, 2018), demands new methods and knowledge forms. Architecture bridges scientific, non-scientific knowledge, and theoretical-practical insights, acting as a critical lens to understand and generate complexity. Among contemporary uncertainties (Antonini, 2019), i.e., climate change, complex, systemic, and transdisciplinary design approaches are crucial. These approaches have reshaped the concept of complexity through multi-scalar, multi-temporal, scenario-based, and multi-stakeholder collaborative frameworks. Such perspectives explore new modes of knowledge and design, profoundly impacting architectural practice. Moreover, the increasing awareness of climate risks has shifted the perception of climate change from a looming disaster to an imaginative resource that shapes identities and future possibilities (Hulme, 2009; Losasso, 2016).

In this context, this article illustrates the results of an ongoing research focused on the spatial aspects of nature-based and climate-adaptive regeneration of streetscapes, specifically concerning the City of Matera (IT). By developing an operational methodology and guidelines for researchers, designers, and planners, the research addresses the intrinsic complexity involved in the regeneration of urban streetscapes. While defining an experimental operational methodology, a significant contribution arises from the Dutch firm De Urbanisten's research activities, particularly through the recent Plan for the City of Antwerp. By delving into the pilot project of the Wapper, the study highlights how the design can engage with and transform the spatial dimension of contemporary complexity.

Therefore, this paper aims to frame the complexity issue in urban regeneration projects within the current theoretical debate and global urban practices, drawing on the literature concerning the intricate interplay between climate adaptation, NbS, and design in urban streetscapes. Regarding the spatial dimension of Nature-based and climate-adaptive urban streetscape regeneration, the literature analysis reveals certain theoretical and operational gaps. In response, this article introduces a research methodology and its transdisciplinary approach, which, through the intersections between research and design, seeks to address the complexity of the topic.

Consequently, the design research approach of De Urbanisten is introduced and discussed, with particular reference to the Antwerp Plan and its Wapper pilot streetscape. Finally, a critical interpretation of the project, throughout the ongoing research objectives, aims to highlight the design principles and procedures adopted by the Dutch firm, through which the complexity of contemporary urban challenges and urgencies can be addressed in the transformation project for the City of Matera.

Transdisciplinarity and Design Research to address the complexity of nature-based and climate-adaptive regeneration in streetscapes: gaps and research methodology | Streetscapes are complex systems (Mansouri and Matsumoto, 2009) that encompass roadways, sidewalks, green spaces, water management systems, buildings, and public services. They play a crucial role in shaping cities' environmental, social, and aesthetic qualities.

In recent years, green urban regeneration has increased in complexity (Green City Network, 2020), driven by the need to address climate change (Macaione, Raffa and Andaloro, 2024) through the development of mitigation and adaptation strategies (Raffa, 2023), including nature-based approaches. In this regard, integrating NbS (World Bank, 2021; European Commission, 2021) into streetscape regeneration projects offers numerous opportunities to enhance climate resilience, biodiversity, ecological connectivity, human well-being, and spatial quality (Andaloro, de Waal and Suurenbroek, 2022), while also posing significant challenges.

Pioneering cities in climate adaptation have recognised the potential of Nature-Based Climate-Adaptive Streetscapes Regeneration (NBCASR), and many are experimenting with pilot solutions to transform these spaces into multifunctional public areas, as seen in Los Angeles (Yu and O'Leary, 2024) and Groningen (van Driessche et alii, 2021). However, existing sectoral approaches, combined with the persistent gap between policy and implementation (Rossi, 2019), fail to capture the interdependent complexities of this global urban phenomenon fully. Furthermore, Design Research has yet to fully exploit its potential to address and redefine the complexities of NBCASR from a spatial perspective. Current research efforts struggle to innovate entrenched design practices, particularly in medium and small urban contexts, which often lag behind in adopting climate adaptation strategies.

The ongoing research, supported by two European Union-funded projects, seeks to address these challenges through the Design-as-Search approach (Nijhuis and Bobbink, 2012), aiming to innovate both Design Research and established design practices. By defining principles, procedures, and design-oriented tools, the research aims to develop an integrated approach for transforming monofunctional infrastructural spaces into green, multifunctional urban environments capable of adapting to climate change challenges and improving urban resilience and quality. The research also reflects on the role of Design-as-Search within NBCASR, exploring how its transdisciplinary nature can be leveraged to address complexity (Salingaros, 2014; Herr, 2002), both theoretically and practically.

Reflecting on transdisciplinarity in architecture, for the purposes of this research, involves venturing into uncertain territory: it requires reconsidering the role of the discipline today, engaging with its intrinsic complexity, and questioning how to address the intricate interactions characterising NBCASR. Architecture employs hybrid methods to understand reality, bridging scientific and non-scientific, theoretical and practical knowledge. Its design process is a critical act aimed at comprehending the phenomenon's complexity while generating new complexity through its transformative dimension.

In the context of contemporary uncertainties, complex, systemic, and transdisciplinary design approaches are essential to tackle new and pressing challenges (Vermeulen and Witjes, 2020). Acknowledging the complementarity (Nicolescu, 2010) between disciplinary knowledge – architecture and its 'designerly ways of knowing' (Cross, 2001; Findeli, 2005) – and transdisciplinarity (Raffa, 2024;

Doucet and Janssens, 2011), this research incorporates and adapts the characteristics of transdisciplinary research (Lawrence and Després, 2004) to embrace the complexity of NBCASR (Tab. 1). The Design-as-Search approach also aims to bridge the gap between current theories and practices (Hauberg, 2011; Schreurs and Martens, 2005; Frayling, 1993), advancing both fields. The research methodology is structured into three integrated phases: 1) Research about Design; 2) Research-by-Design; 3) Research-driven Design.

Research about Design has two main objectives: a) to understand NBCASR as a complex urban phenomenon thoroughly, analysing its characteristics and multilevel interconnections by collecting a large body of completed and in-progress projects on a global scale; b) to define an operational methodology consisting of principles, procedures, and design tools through: a literature review of existing design frameworks (Furchtlehner, Lehner and Licka, 2022; Chanse et alii, 2021; Cabanek, Zingoni de Baro and Newman, 2020), reports and documents from cities and organisations; the analysis and comparison of selected case studies, chosen from the previously collected projects, particularly those from the United States and Central-Northern Europe. Among these, the Antwerp Plan and the Wapper project by De Urbanisten are examined in the second part of this contribution.

The research then moves into its contextual phase, applying the operational methodology developed from the deductive processes of the Research about the Design phase.

The Research-by-Design phase leverages the exploratory dimension of Design-as-Search, intertwining research and design to generate new knowledge. Through an iterative and multilevel feedback approach, this phase aims to produce innovative and desirable urban solutions rather than predictable but less favourable developments (de Jong, 1992). Research-by-Design is founded on an iterative process based on trial and error as an opportunity to address complex problems more effectively (Toeters et alii, 2012). This phase seeks to test and refine the operational methodology, applying it to the streetscapes of the City of Matera, selected as an experimental prototype of a Euro-Mediterranean city at both the neighbourhood and urban scales.

The neighbourhood scale is crucial for spatially addressing the complex interrelations between climate change, ecological connectivity and biodiversity, mobility, well-being and health, social equity and inclusivity, and energy considerations. Streetscapes are analysed to assess existing vulnerabilities and future opportunities, as well as to imagine potential spatial transformations that engage with locally identified complexities and generate new ones. This phase is critical for defining the operational methodology and contributes to building new knowledge that can benefit other design disciplines. Finally, the Research-driven Design phase aims to support designers and local administrators in developing NBCASR projects capable of addressing the complexity of local contexts and generating innovative spatial solutions. The knowledge accumulated in the previous phases will be translated into design outcomes (Roggema, 2017) and subsequently tested through pilot projects. This phase will lead to the definition of operational guidelines for transforming Matera's streetscapes into a nature-based network system, with the aim of enhancing urban-scale climate resilience. These guidelines may also inspire similar processes in other cities with analogous characteristics in the future.

Matera as an experimental prototype and the De Urbanisten Plan for Antwerp as a model | The City of Matera has been selected as a hologram of the complexity inherent in medium-sized Euro-Mediterranean cities within a changing climate, and as a prototype for testing the operational methodology and urban strategies in its streetscapes during the Research-by-Design and Research-driven-Design phases, respectively. This choice stems from the lack of documented NBCASR experiments involving urban streetscapes in Euro-Mediterranean contexts. In addition to addressing the dimensional and geographical gaps identified, the city exhibits intrinsic characteristics that allow it to confront, alongside its exceptional status as a UNESCO World Heritage site and its role as a Modern Laboratory-City, a range of recurring themes in other urban contexts within the Euro-Mediterranean region, particularly in the context of infrastructural spaces.

Matera represents a significant case for exploring NbS within a Euro-Mediterranean context, owing to its ancient, sustainable water management systems that integrate both artificial and natural elements (such as cisterns, channels, collection basins, garden orchards, etc.), which shaped the ecosystem of the Sassi, including its open spaces, roads, and the built environment. The case study's relevance is further tied to its modern refoundation under the Piccinato Plan (1953-1956), which envisioned a green infrastructure as the public framework for new urban expansion – featuring parks, green belts, gardens, and tree-lined avenues. However, these elements have been progressively eroded by the artificialisation and waterproofing of new urban expansions, both outside and inside the Modern City.

Recent urban expansions are characterised by an over-dimensioning of impermeable infrastructural spaces and an under-dimensioning of high-quality public green spaces. These transformations over the last century have made the city increasingly vulnerable to the effects of climate change, including intense, concentrated rainfall, prolonged droughts, and heat waves. The progressive waterproofing of soils and artificialisation of the topography not only cause flooding in the modern and contemporary parts of the city but also transform the streets of the historic core into 'streams', with negative impacts on the economy, environment, public safety, and health.

These reflections have informed the research's applied phase, in which the city's urban network of infrastructural spaces is envisioned as part of its ecological infrastructure[1]. In this context, new urban natures offer an opportunity to expand public space (De Capua and Errante, 2019), contribute to sustainable water resource management (both for collection and runoff), and improve urban quality. In the initial phase, efforts were focused on the streetscapes of the modern and contemporary parts of the city at the neighbourhood scale, prioritising the most vulnerable areas, with the goal of extending the experiment to the entire urban fabric in the future.

During the Research-about-Design phase, the study drew on NBCASR experiences and projects that could inform the subsequent phases of research on the City of Matera from a methodological and strategic standpoint. Among these, the De Urbanisten Plan for Antwerp was of particular interest. The two cities share some notable similarities despite their geographical, economic, historical, and social differences. Both, prior to the advent of Modernity, were shaped by the sustainable use of water resources. The Sassi system, listed as a UNESCO World Heritage site, was recognised in part for its sustainable water management, which shaped the ancient settlement, blending open spaces and built areas into a continuum between nature and artifice, also through the implementation of solutions that today are identifiable as NbS.

Notably, the streets and public spaces of the ancient city, as well as the morphology of the buildings, were part of a sophisticated water collection system in a context where water was scarce. Furthermore, both cities have seen the gradual marginalisation of their natural and artificial hydrographic networks, and the erosion of green spaces due to uncontrolled waterproofing, compromising urban resilience to climate change and, in some cases, diminishing the quality of urban spaces. Today, both cities face the effects



Fig. 14 | The Wapper: the watersystem seen from the Hopland side (credit: OMGEVING and De Urbanisten, 2024).



Figg. 15, 16 | Intensive workshop progress in Antwerp Waterplan; The Wapper: the watersystem seen from the Meir side (credit: De Urbanisten, 2019, 2024).

– though to varying degrees – of changing precipitation patterns, which are increasingly concentrated and intense, as well as prolonged heat waves.

The De Urbanisten Plan for Antwerp, developed in the context of the Dutch Studio's research-through-design approach, is a bold and innovative proposal to proactively address the challenges of climate change, particularly through the sustainable management of water resources. This is an opportunity to regenerate public spaces and urban streetscapes, exploring the complex intersections between history, nature, culture, and contemporary dynamics. The logic, methods, and procedures employed in the Plan, along with the neighbourhood-scale pilot projects, represent a viable model of NBCASR. This model informed the structuring of the operational methodology during the Research-about-Design phase and the procedures implemented in the Research-by-Design phase.

The complexity in the De Urbanisten's design vision for the City of Antwerp | The concept of complexity, where various realms, scales, and design issues converge toward a shared goal, is central to the work of Dutch architecture Studio De Urbanisten. Founded in 2009 by Florian Boer and Dirk van Peijpe, the firm integrates expertise in ecology and climate adaptation with the study of urban, social, climatic, and cultural phenomena, exploring the opportunities that arise from the intersection of climate issues in architectural design across multiple scales.

From its early projects, the Benthemplein Square (2009) to the Zomerhofkwartier (2014-2017), and the Hofbogenpark project (2023), the architectural, urban, and landscape designs are shaped by a research-by-design approach that merges research with urban production. Notably, the integration of green and blue infrastructures plays a crucial role in the firm's design methodology. Furthermore, the design approach emphasises ongoing collaboration with local communities and municipalities, encouraging short- and long-term urban development visions, as for the Antwerp Waterplan (Fig. 1), adopted by the Municipality in 2019.

The City of Antwerp, located along the Scheldt estuary, has a complex history deeply tied to water. Its strategic position on the river fostered the growth of a mediaeval port into a bustling urban centre, making it a key European economic hub. Historically, Antwerp was crisscrossed by waterways like the Ruien, which served for transport and drainage. However, as the city modernised, these waterways were covered and integrated into the sewer system by the 19th and 20th centuries (Fig. 2). Antwerp's shift from a water-centric city to a mineral city has marginalised its natural hydrological systems. Dense urban construction replaced water bodies and green spaces, reducing the city's ecosystem resilience and ability to adapt to climate change (Boer et alii, 2019a).

In recent years, the effects of climate change, including frequent and intense rainfall, have overwhelmed Antwerp's ageing sewer infrastructure, causing urban flooding and circulation issues (Figg. 3, 4). Additionally, rapid drainage during storms leads to water shortages during droughts, highlighting the need for a climate-adaptive water management strategy (Boer et alii, 2019a).

Initiated in 2018 by the Municipality of Antwerp, the development of the Waterplan by De Urbanisten aims to address both the immediate and long-term water management needs of the city while also reconnecting Antwerp with its historical relationship to water. The Waterplan aims to develop the overarching goal to transform the city into a 'watersensitieve stad' (water-sensitive city; Boer et alii, 2019a), by bringing back the physical and visual relationship with the natural element of water. Instead of only dealing with the infrastructural issues related to the water management, the Dutch Studio suggests to integrate water into the fabric of urban life, as a living element. This involves a fundamental shift in how the city approaches water, moving away from purely technical solutions towards a more complex, holistic and integrated approach that considers the social, ecological, and spatial dimensions of water management.

The Antwerp Waterplan is structured around a methodology that balances the city's current needs, historical context, and future challenges. Central to the Plan are three 'water cities' (Fig. 5): 1) the Artificial Water City, which includes the modern sewer system and technical infrastructure, currently under strain due to climate challenges; 2) the Hidden Water City, representing historical water structures like the Ruien, now covered but with untapped potential for water management; and 3) the Natural Water City, encompassing the area's natural hydrology, topography, and groundwater. The Plan aims to harmonise these elements for sustainable water management, ensuring that the artificial systems are supported by both historical and natural elements. (Boer et alii, 2019a).

By reading the intertwining of these three systems, it is then possible to define a climate-adaptive strategy which can be applied in the different areas of the territory: for this reason, and with the support of the initial analysis, the Plan presents eleven water city typologies, based on the spatial characteristics of the urban fabric[2] (Fig. 6). These typologies reflect the diversity of Antwerp's built environment, ranging from densely built-up areas to greener, more open spaces. For each typology, specific water management strategies are proposed, tailored to the particular challenges and opportunities of that area (Fig. 7). Moreover, the Plan also includes a city-wide green-blue framework, which integrates green spaces and water bodies into a cohesive network that supports biodiversity, provides recreational opportunities, and enhances the city's resilience to climate change (Fig. 8).

Finally, the Waterplan develops three pilot projects to test and refine the proposed methodologies on a smaller scale. As laboratories of innovation, the pilot cases make evident the new concept of water sensitivity, creating imaginaries and possible solutions to manage water in a controlled and measurable way. Among them, the Waterplan also includes the Wapper pilot project[3], which the Municipality has identified as an upcoming development.

Located in the heart of Antwerp, the Wapper is a historic streetscape that lies above a section of the Ruien, hosting commercial and recreational activities, and housing (Figg. 9, 10). The scope of the pilot was to suggest the possibility of using the water of the Ruien as a visible and interactive element of the public space. Currently, the Municipality has approved the final design (in the summer 2024), which involves a three-section system dealing with different types of natural elements.

The visible above-ground water feature of the Wapper's design is divided into three distinct zones, each offering a different experience for visitors (Fig. 11): 1) the first zone, located on the Meir side of the square, is characterised by playful fountains that

spray water following various patterns, forming a visible contour of the underlying Ruien (this area is designed to be accessible to the public, particularly children, who can interact with the water and enjoy its cooling effects during the summer months); 2) the second zone lies at the centre of the square, features a flowing watercourse that guides the purified water from the biofilter towards the Meir. This zone is designed to be both functional and aesthetic, with aquatic plants and crossings that allow visitors to experience the water in different ways; 3) the third zone, located on the Hopland side of the square, focuses on the purification of rainwater. Here, the water is pumped up from the Ruien and filtered through vegetation, creating a lush, green space that enhances the square's ecological value.

Through the three stages, the project creates a closed-loop system in which rainwater from surrounding buildings and paved areas is collected, filtered, and reused within the square. Moreover, the wide underground section of the Ruien is used as a buffer for storing rainwater, which is then pumped to the surface and filtered through a biofilter. The purified water is monitored for quality and used in the square's water feature and fountain. This system not only reduces the demand on the city's drinking water supply but also ensures that water is available even during dry periods. The design also includes provisions for handling excess water during heavy rainfall, with any surplus being discharged into the Ruien through an overflow system (Fig. 12).

By making water visible and tangible in the city's heart, the project aims to foster a deeper connection between the residents of Antwerp and their environment. It also serves as a reminder of the city's historical relationship with water and the importance of managing this vital resource in a way that is both sustainable and resilient. As Antwerp continues to grow and evolve, streetscape projects like De Wapper will play a crucial role in shaping the city's future, ensuring that it remains a vibrant, liveable, and sustainable place for future generations.

Interpreting the design complexity through the Research Framework | The Wapper is a critical component of the Antwerp Water Plan's ambition to create a balanced integration of the city's artificial, hidden, and natural water systems. The project allows a reflection on the necessity of rethinking the way to design the climate and environmental transition by taking into account the social and ecological aspects of urban regeneration.

Moreover, the project benefits, in all its stages, from data related to the local changes in the climate, and in particular to heat stress, flooding, and drought. As a pilot project of Antwerp's Waterplan, the Wapper contributes to the delineation of two additional transformation objectives: on the one hand, demonstrating the feasibility of nature-based, climate-adaptive streetscape projects as spatial transformations that integrate technical issues into the definition of space; on the other hand, illustrating the scalability of the Waterplan approach to various locations. By applying the previously introduced research framework, specific and recurring design characteristics in NBCARS can be identified in the Wapper project. These include interdisciplinarity, inter-scalarity, multi-temporality, and multi-subject, which collectively define the distinctive nature of urban adaptive resilience. They also highlight the complexity of materials and stakeholders involved at various stages of the design process (Macaione, Raffa and Andaloro, 2024). The coexistence of these traits makes the complexity embedded in the project evident, revealing a change of paradigm in the way to conceive, develop and build the project for contemporary public space regeneration (Tab. 2). In particular, as shown in Figure 13, the following reflections can be drawn.

In terms of inter-disciplinarity, the Wapper project benefits from the Antwerp Waterplan which is supported by different and several experts for the definition of the whole complex system of the urban tissue (Background, Knowledge). Moreover, the project resonates with climate forecast about the change of certain parameters in the following one hundred years (Background), and this information affects the shaping of the space itself. Finally, not only the Wapper resonate with the needs of the people living in Antwerp, but it also contributes to the well-being of different natural and animal ecosystems (Trans-specist).

The inter-scalarity can be seen in the relationship between the Antwerp Waterplan and the project for the Wapper, specifically in the shared goals and visions of Antwerp as a water-sensitive city (coexistence): by further developing the Wapper as a 'pilot project', the research of the Dutch Studio shows the 'replicability' of the approach, as well as the possibility to 'up-scaling' it in different locations. Moreover, both the Wapper and the Waterplan can be framed into the current strategic policies and plans developed by the Municipality to face the upcoming transitions. For example, in response to the European Water Framework Directive (European Union, 2000), the Municipality developed the Integrated Water Policy Decree (CIW, n.d.) for the Flanders. Subsequently, the Green Plan was developed (Stad Antwerpen, 2023) to elaborate on the future of the green infrastructures of the city.

At a different scale, the Rainwater Plan (Waterlink, n.d.) explores the water safety against flooding, supporting the research of the Waterplan. Furthermore, the Lively landscape (Levendig Landschap; Stad Antwerpen, n.d.) aims to create a robust green structure in the city through five so-called Superparks, while the note Giving Space to the City of Tomorrow (Ruimte geven aan de stad van morgen; Apostel et alii, 2018) forms the basis for the new Strategic Spatial Structure Plan, further developed in 2019 onwards. Finally, it is worth recalling Urban Development in Antwerp, the Municipality Plan developed with the Italian architects Bernardo Secchi and Paola Viganò (2009; Lorquet, 2012), in which the idea of the Open City supported the creation of a sustainable, liveable, and resilient city where public spaces, green areas, and water systems could be seamlessly connected in a cohesive urban fabric (Fini and Pezzoni, 2011).

In terms of multi-temporality, the development of the Wapper as a pilot streetscape project of the Waterplan allowed for some consideration, concerning not only the technical feasibility of the design, but also the importance of the imaginary that it would create and its impact on the daily life of the city. This shows the importance of proceeding through a process of different 'phases' involving various stakeholders, which can bring other values to the project. Thought to be part of the everyday life of the people in Antwerp, the Wapper is also designed to be accessible 24/7 (time flexibility), thus allowing different uses of the spaces (Fig. 14). Finally, the project is profoundly based and strongly supported by a 'scenario-based' approach, which envisions the change of certain characteristics, from the rise of temperature (and the consequent change in the evaporation ratio) to the rainfall forecasts, and the runoff time.

The multi-subject characteristic is implicit in the presence of multiple stakeholders involved. Commissioned by the Municipality, together with the Flanders' largest water supplier Waterlink, and the wastewater treatment company Waterfin, the Wapper project is developed by De Urbanisten in collaboration with OMGEVING and D+A Consult (Private and Public sector). The heterogeneity of the stakeholders involved contributes to showing the project's complexity, revealing its potential as a catalyst for urban regeneration (Stakeholders). Moreover, several activities and phases of community engagement have already been realised during the development of the Waterplan.

Recognising that top-down interventions alone are not sufficient to address the complex challenges of urban water management (Boer et alii, 2019b), the Plan advocates for a more participatory approach which can support a whole understanding of the needs and a complete development of the final result (Community understanding, Participation, Community engagement; Fig. 15). By organising demonstrations, exhibitions, and collaborative workshops, De Urbanisten has contributed to raising awareness on the theme of water in the city, encouraging citizens towards climate adaptation and nature-inclusivity.

The intertwining of these characters contributes to show the different facets of the urban regeneration process, highlighting the complex role of the spatial design hosting the many aspects in the composition of the space. By developing a Nature-based and Climate-adaptive approach, the streetscape of the Wapper suggests a strong interest of the communities and the local Municipality towards liveable, sustainable and green urban regeneration of the city, with an acute attention to the global challenges and needs (Fig. 16).

Conclusions | The intricate nature of reality, with its interdependence of systems and phenomena, claims for the adoption of new methodologies and epistemologies. Leveraging the transdisciplinary dimension of architecture requires rethinking the discipline within a complex global context, while simultaneously addressing local challenges. In the NBCASR framework, a transdisciplinary approach is essential, benefiting from the multi-scalar nature of the design processes involved.

In the context of research on the urban regeneration of streetscapes, gaps in literature have been identified about the insufficient integration of design approaches based on the physical and social transformation of urban space. The Antwerp case can thus be considered a model from which the invariant elements of climate-adaptive and nature-based design can be abstracted. Although the Waterplan reflects the specific potentials and needs of a particular territory, the research (and design) methodology it proposes and implements can be seen as exemplary and replicable.

De Urbanisten's process is iterative, multi-scalar, and multidisciplinary, capable of supporting the development of a resilient future vision for the city. It also provides a model for deconstructing all elements of the city – from infrastructure (grey, green, and blue) to materials (natural and artificial), as well as its her-

itage (cultural, tangible, and intangible). Through this deconstruction, followed by a reasoned recomposition, the Waterplan identifies the potential for territorial transformation, down to the small scale of the streetscape. The Waterplan further emphasises the need to integrate climate issues into architectural design at various scales, transforming challenges into opportunities for the physical transformation of urban space through streetscapes. Its attention to the neighbourhood scale, through which streetscapes are developed in their local specificities, also makes the Waterplan a guiding tool for implementing NBCASR to support municipalities. These invariant characters of the project, exemplified by the Wapper streetscape pilot, provide the necessary meta-design guidelines for case studies in cities facing climate challenges, contributing to a more sustainable and resilient urban future.

In the research on climate-adaptive and nature-based streetscapes, with the City of Matera as the case study, emerges a need to rethink architectural and urban design tools, starting from the complexity of the subject. The climate emergency of the Mediterranean areas offers a significant opportunity to develop climate-adaptive and nature-based transformation scenarios. In this way, it becomes possible to design solutions for the urban regeneration of streetscapes, building on the procedural and design guidelines of reference models. The Waterplan approach, along with its adopted methods and procedures, as well as the presence of pilot projects at the neighbourhood scale, serves as a potential NBCASR model that has significantly contributed to defining the operational methodology.

In conclusion, De Urbanisten's Design-as-Search approach underscores the importance of an iterative process that balances the multilevel dimension of public spaces in historic, modern, and contemporary cities. This context-sensitive and adaptable strategy to future uncertainties values ecosystems and promotes social equity by encouraging community engagement. In this light, bridging the gap between scientific and non-scientific knowledge, theory and practice becomes crucial to develop a flexible and adaptive operational methodology. This also stimulates a reflection on architectural research confronting complexity through more performative transdisciplinary and design-based methods.

Acknowledgements

The contribution is the result of a common reflection of the Authors. However, the paragraph 'Addressing complexity into design research for streetscape regeneration: an Introduction' is attributed to I. Macaione, A. Raffa, and B. Andaloro; 'Transdisciplinarity and Design Research to address the complexity of nature-based and climate-adaptive regeneration in streetscapes: gaps and research methodology' and 'Matera as an experimental prototype and the De Urbanisten Plan for Antwerp as a model' are attributed to A. Raffa, 'The complexity in the De Urbanisten's design vision for the City of Antwerp' is attributed to B. Andaloro, M. Corradi, and T. Stevens, 'Interpreting the design complexity through the Research Framework' is attributed to B. Andaloro; 'Conclusions' is attributed to all the Authors.

NatureCityLAB would like to express their sincere gratitude to De Urbanisten Studio for their valuable contribution to the writing of this article and for their willingness to share the theoretical content of their work and the graphic material published here.

Two ongoing funded research projects supported the paper: i) Urban Green Shape (2022-2025), funded by PON R&I and FSE-REACT-EU – PON 'Research & Innovation' 2014-2020, Axis IV 'Education and research for recovery' – Action IV.4 – 'PhD programmes and research contracts on innovation topics' and Action IV.6 – 'Research contracts on green topics' and FSE-REACT-EU; Research Contract number 38-G-14879-1, CUP C49J2104334000, carried out by A.Raffa, Scientific Referent I. Macaione; the investigation has also been nurtured by the research carried out by A. Raffa as Fulbright Visiting Scholar at the University of Florida, College of Design, Construction and Planning and FIBER-Florida Institute for Built Environment Resilience (08/2023-02/2024);
ii) Next Generation UE – PNRR Tech4You Project funds assigned to Basilicata University (PP4.3.1 – Green Shapes for the Urban-Regeneration Processes, Environmental, Social, Cultural and Tourism Sustainability) – 'Technologies for climate change adaptation and quality of life improvement', field of intervention '1 – New approaches and design paradigms to insertion and development of green shapes in the cities, to raise the architectural and urban quality, the environmental, social and cultural benefits', Code ECS00000009 – CUP C43C22000400006, carried out by B. Andaloro, Scientific Referent I. Macaione (NatureCityLAB_DIUSS, Unibas).

Notes

1) The city's green infrastructure has been deconstructed into a series of existing and potential ecological systems, grouped as follows: a) Molecular system: Comprising the capillary green systems of the Sassi, architectural greenery, urban parks, gardens, public green spaces, green islands of the modern city, and hybrid marginal spaces; b) Linear system: Consisting of the blue-green systems of the Gravine and the green mitigation areas of infrastructural developments; c) Areal system: Including the peri-urban garden systems, agricultural production areas, and protected zones; d) Network system: Encompassing soil demineralisation systems, which integrate the city's urban infrastructural network. The rationale for this decomposition of systems is based on insights from the 'Prato Fabbrica Natura – Il nuovo Piano Operativo' (Barberis and Cattaneo, 2019) and 'Green infrastructure in arid urban contexts – Transitioning ecologies beyond Green Riyadh' (Moscatelli and Raffa, 2023).

2) The eleven typologies are compact medieval urban fabric, monumental 19th century urban fabric, coarse 19th century urban fabric, fine-meshed 19th century urban fabric, urban belt extra muros, suburban belt extra muros, post-war modern urban planning, urban campus, port city 21st century transformation area, large-scale explanation area, and polder ribbons (Boer et alii, 2019a).

3) The Waterplan presents three design variants of the Wapper, each with a different spatial approach: 1) the Stadsplein Wapper suggests the use of the Ruien as a water buffer, while making the flow of water visible on the surface; 2) the Stadsvijver proposes to modify the Ruien through a watershed at the Wapper, thus isolating a portion of the Ruien from the combined sewer system; 3) the Stadsgracht suggests to physical reopen the Ruien, thus embedding it into the public space (Boer et alii, 2019b).

References

Andaloro, B., de Waal, M., and Suurenbroek, F. (2022), "Lo spazio pubblico adattivo – Esplorare la transizione digitale per il benessere sociale e ambientale | Adaptive public spaces – Exploring digital transition for social and environmental benefit", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 68-75. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1262022 [Accessed 21 September 2024].

Apostel, K., Rapp, C., Smits, F. and Van der Veken, K. (eds) (2018), *Ruimte geven aan de stad van margen – Samenvatting van de inspiratienota voor het nieuw – Strategisch Ruimteplan Antwerpen*. [Online] Available at: pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/121039359/Inspiratienota_Ruimtegevenaandestadvanmorgen_Volledigeversie.pdf [Accessed 21 September 2024].

Barberis, V. and Cattaneo, E. (eds), *Prato Fabbrica Natura – Il nuovo Piano Operativo*, Skira, Milano.

Boer, F., Stevens, T., Debucquoy, W., van Dyck, K., Rogiers, H. and van de Vijver, S. (eds) (2019a), *Waterplan Antwerpen – Samenvatting*. [Online] Available at: static1.squarespace.com/static/5f082078d610926644d22e00/t/5fdb212b33c6977cf5b176bf/1608196428480/Waterplan_Samenvatting.pdf [Accessed 21 September 2024].

Boer, F., Stevens, T., Karampournioti, A., Debucquoy, W., van Eerdenbrugh, K., Coomans, O. L. and van Dyck, K. (eds) (2019b). *Waterplan Antwerpen – Deelstudie Ruien en Wapper*. [Online] Available at: antwerpenmorgen.be/nl/projecten/waterplan/tijdlijn [Accessed 21 September 2024].

Cabanek, A., Zingoni de Baro, M. E. and Newman, P. (2020), "Biophilic Streets – A Design Framework for Creating Multiple Urban Benefits", in *Sustainable Earth*, vol. 3, article 7, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.1186/s42055-020-00027-0 [Accessed 21 September 2024].

Chanse, V., Asfari Bajestani, S., Cambpell, A. and McCormik. J. (2021), "Toward a Climate Adaptive Street Framework – Investigating Landscape Performance", in Ranjbar, E. and Pourjafar, M. (eds), *Proceedings of the Second International Conference on Future of Urban Public Space (FUPS 2021), Teheran, Iran, December 8-10, 2021*, Tarbiat Modares University, Tehran, pp. 64-74. [Online] Available at: researchgate.net/publication/368226493_Proceeding_of__the__Second_International_Conference_on_Future_of_Urban_Public_Spaces_FUPS_2021 [Accessed 21 September 2024].

CIW – Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid (n.d.), "Integrated water Policy in Flanders", in *integraalwaterbeleid.be*. [Online] Available at: integraalwaterbeleid.be/en [Accessed 21 September 2024].

Cross, N. (2001), "Designerly Ways of Knowing – Design Discipline Versus Design Science", in *Design Issues*, vol. 17, issue 3, pp. 49-55. [Online] Available at: doi.org/10.1162/074793601750357196 [Accessed 21 September 2024].

De Capua, A. and Errante, L. (2019), "Interpretare lo spazio pubblico come medium dell'abitare urbano | Interpreting public space as a medium for urban liveability", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*,

vol. 6, pp. 148-161. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/6142019 [Accessed 23 September 2024].

de Jong, T. (1992), *Kleine Methodologie Voor Ontwerpend Onderzoek*, Boom Meppel, Amsterdam. [Online] Available at: taekemdejong.nl/Publications/1992/Jong(1992)Kleine%20methodologie%20voor%20ontwerpend%20onderzoek(Meppel)Boom.pdf [Accessed 21 September 2024].

Doucet, I. and Janssens, N. (eds) (2011), *Transdisciplinary Knowledge Production in Architecture and Urbanism – Towards Hybrid Modes of Inquiry*, Springer, Dordrecht. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-94-007-0104-5 [Accessed 21 September 2024].

European Commission | Directorate-General for Research and Innovation (2021), *Evaluating the impact of nature-based solutions – A handbook for practitioners*, Publications Office of the European Union. [Online] Available at: doi.org/10.2777/244577 [Accessed 21 September 2024].

European Union (2000), *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy*, document 32000L006. [Online] Available at: data.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj [Accessed 21 September 2024].

Findeli, A. (2005), "La Recherche-Project – Une Méthode Pour La Recherche En Design", in Michel, R. (ed.), *Erstes Design Forschungssymposium – Symposium, Hochschule für Gestaltung und Kunst Basel, 13-14 Mai 2004*, SwissDesignNetwork, Zurich, pp. 40-51. [Online] Available at: shs.cairn.info/revue-sciences-du-design-2015-1-page-45?lang=fr&tab=texte-integral [Accessed 21 September 2024].

Fini, G. and Pezzoni, N. (2011), "Il Piano strutturale di Anversa – Un nuovo linguaggio urbanistico per la città del XXI secolo | The Antwerp Structure Plan – A new planning language for the twenty-first century city", in *Urbanistica*, vol. 148, pp. 90-98. [Online] Available at: academia.edu/14760544 G_Fini_N_Pezzoni_2011_Il_Piano_Strutturale_di_Anversa_Un_nuovo_linguaggio_urbanistico_per_la_città_del_XXI_secolo_Urbanistica_n_148_pp_90_98 [Accessed 21 September 2024].

Frayling, C. (1993), "Research in Art and Design", in *Royal College of Art | Research Papers*, vol. 1, issue 1, pp.1-5. [Online] Available at: static1.squarespace.com/static/5cc851dfb91449434d7fe52a/t/5d0251c754e8ee0001429ba1/1560433137577/Frayling_Research-in-Art-and-Design.pdf [Accessed 21 September 2024].

Furchtlehner, J., Lehner, D. and Lička, L. (2022), "Sustainable Streetscapes – Design Approaches and Examples of Viennese Practice", in *Sustainability*, vol. 14, issue 2, article 961, pp. 1-21. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su14020961 [Accessed 21 September 2024].

Green City Network (2020), *Charter of the Green City Urban Regeneration – To get out of the crisis, after the pandemic, with more care for our future*. [Online] Available at: greencitynetwork.it/wp-content/uploads/CHARTER-FOR-THE-GREEN-CITY-URBAN-REGENERATION.pdf [Accessed 21 September 2024].

Hauberg, J. (2011), "Research by Design – A Research Strategy", in *AE | Revista Lusófona Arquitectura e Educação | Architecture & Education Journal*, vol. 5, pp. 46-56. [Online] Available at: recil.ulusofona.pt/server/api/core/bitstreams/b1970fe5-54fc-43fa-8159-455e8bd964aa/content [Accessed 21 September 2024].

Heath-Carpentier, A. (ed.) (2023), *The Challenge of Complexity – Essays by Edgar Morin*, Liverpool University Press, Liverpool. [Online] Available at: doi.org/10.2307/j.ctv3029jw9 [Accessed 21 September 2024].

Herr, C. (2002), "Generative Architectural Design and Complexity Theory", in Soddu, C. (ed.), *Proceedings of the 5th International Conference on Generative Art, Milan, Italy, 11-13 December 2002*, Generative Design Lab, Milan, pp. 1-13. [Online] Available at: generativeart.com/on/cic/papersga2002/16.pdf [Accessed 21 September 2024].

Hulme, M. (2009), *Why we disagree about climate change – Understanding Controversy, Inaction and Opportunity*, Cambridge University Press, Cambridge. [Online] Available at: doi.org/10.1017/CBO9780511841200 [Accessed 21 September 2024].

Lawrence, R. J. and Després, C. (2004), "Futures of transdisciplinarity", in *Futures*, vol. 36, issue 4, pp. 397-405. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.futures.2003.10.005 [Accessed 21 September 2024].

Lorquet, A. (ed.) (2012), *Urban Development in Antwerp – Designing Antwerp*, Stadsbestuur, Antwerpen.

Losasso, M. (2016), "Climate risk, environmental planning urban design", in *UPLanD | Journal of Urban Planning, Landscape & environmental Design*, vol. 1, issue 1, pp. 219-232. [Online] Available at: serena.unina.it/index.php/upland/article/view/5039/5626 [Accessed 21 September 2024].

Macaione, I., Raffa, A. and Andaloro, B. (2024), "Climate-Adaptive Nature-Based Regenerative Urban Green Streetscapes – Design Exploration from the City of Matera", in *Sustainability*, vol. 16, issue 16, article 6811, pp. 1-29. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su16166811 [Accessed 21 September 2024].

Mansouri, A. and Matsumoto, N. (2009), "Comparative study of Complexity in Streetscape Composition", in *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, vol. 3, issue 6, pp. 253-261. [Online] Available at: doi.org/10.5281/zenodo.1327724 [Accessed 21 September 2024].

Moscatelli, M. and Raffa, A. (2023), "Infrastrutture verdi in contesti aridi urbani – Ecologie in transizione oltre il Green Riyadh | Green infrastructure in arid urban contexts – Transitioning ecologies beyond Green Riyadh", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 75-86. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1362023 [Accessed 23 September 2024].

Nicolescu, B. (2010), "Methodology of Transdisciplinarity-Levels of Reality, Logic of the Included Middle and Complexity", in *Transdisciplinary | Journal of Engineering & Science*, vol. 1, pp. 17-32. [Online] Available at: doi.org/10.22545/2010/0009 [Accessed 21 September 2024].

Nijhuis, S. and Bobbink, I. (2012), "Design-Related Research in Landscape Architecture" in *Journal of Design Research*, vol. 10, issue 4, pp. 239-257. [Online] Available at: doi.org/10.1504/JDR.2012.051172 [Accessed 21 September 2024].

Prigogine, I. (1987), "Exploring complexity", in *European Journal of Operational Research*, vol. 30, pp. 97-103. [Online] Available at: doi.org/10.1016/0377-2217(87)90085-3 [Accessed 21 September 2024].

Raffa, A. (2024), "Transdisciplinarità come modo del progetto contemporaneo", in Venudo, A., Bisiani, T., Mei, P., Guarrera, F. and De Marco, P. (eds), *Seminario Tre – Interdisciplinarità – Caratteri della ricerca in progettazione architettonica – Incontro nazionale dei ricercatori in progettazione architettonica, Stazione Rogers, Trieste, Maggio 10-11 2024*, Edizioni Università Trieste, Trieste, pp. 78-79. [Online] Available at: openstarts.units.it/handle/10077/35859 [Accessed 21 September 2024].

Raffa, A. (2023), "Disseny De La Resiliència Climàtica Urbana Amb Solucions Basades En La Natura I Infraestructures Verdes – Reptes, Problemes I Bones Pràctiques Per a La Regeneració a Escala De Barri", in *Anuari D'Arquitectura i Societat*, vol. 3, pp. 234-266. [Online] Available at: doi.org/10.4995/anuari.2023.20056 [Accessed 21 September 2024].

Roggema, R. (2017), "Research by Design – Proposition for a Methodological Approach", in *Urban Science*, vol. 1, issue 1-2, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.3390/urbansci1010002 [Accessed 21 September 2024].

Rossi, G. E. (2019), "Adattamento urbano, strategie e progetto – Il divario fra le politiche e la loro implementazione | Urban adaptation, strategies and projects – The gap between policies and their implementation", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 6, pp. 46-57. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/652019 [Accessed 23 September 2024].

Salingaros, N. (2014), "Complexity in Architecture and Design", in *Oz | Journal of the College of Architecture, Planning, and Design Kansas State University*, vol. 36, article 4, pp. 18-25. [Online] Available at: doi.org/10.4148/23 78-5853.1527 [Accessed 21 September 2024].

Schreurs, J. and Martens, M. (2005) "Research by Design as Quality Enhancement", in Kanonier, A., Schimak, G., Dillinger, T., Hirschler, P., Linzer, H. and Voigt, A. (eds), *AESOP Annual Congress Proceedings – The dream of a GREATER Europe – Book of Abstract, Vienna University of Technology, Austria, July 13-17, 2005*, vol. 19, Österreichischer Kunst- und Kulturverlag, Vienna, pp. 223-224. [Online] Available at: proceedings.aesop-planning.eu/index.php/aesopro/issue/view/10 [Accessed 21 September 2024].

Secchi, B. and Viganò, P. (2009), *Antwerp – Territory of a New Modernity*, SUN, Amsterdam.

Stad Antwerpen (2023), *Groenplan Antwerpen – Visienota*. [Online] Available at: www2.businessinantwerp.eu/l/480611/2023-12-19/n6y78d/480611/1702977600NRRIJwKY/00_VISIENOTA_districtsgroenplan_antwerpen__1_.pdf [Accessed 21 September 2024].

Stad Antwerpen (n.d.), *Levendig landschap – Groenplan stad Antwerpen*. [Online] Available at: antwerpen.be/nl/docs/stad/stadsvernieuwing/bestemmingsplannen/SPR_11002_221_10014_00001/SPR_11002_221_10014_00001_GROENPLAN.pdf [Accessed 21 September 2024].

Toeters, M., Ten Bhömer, M., Bottenberg, E., Tomico, O. and Brinks, G. (2012), "Research through Design – Way to Drive Innovative Solutions in the Field of Smart Textiles", in *Advances in Science and Technology*, vol. 80, pp. 112-117. [Online] Available at: doi.org/10.4028/www.scientific.net/AST.80.112 [Accessed 21 September 2024].

van Driessche, M., de Groot, J., van der Meulen, E. R., Ga Leung, C. and Chen, S. (2021), *New Space for Living – Design Guidelines – Quality of Public Spaces*. [Online] Available at: gemeente.groningen.nl/sites/groningen/files/ 2022-03/New-Space-For-Living-Quality-Of-Public-Space.pdf [Accessed 21 September 2024].

Vermeulen, W. J. V. and Witjes, S. (2020), "History and mapping of transdisciplinary research on sustainable development issues – Dealing with complex problems in times of urgency", in Keitsch M. M. and Vermeulen, W. J. V. (eds), *Transdisciplinarity for sustainability – Aligning diverse practices*, Routledge, London, pp. 6-26. [Online] Available at: taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9780429199127-2/history-mapping-transdisciplinary-research-sustainable-development-issues-walter-vermeulen-sjors-witjes [Accessed 21 September 2024].

Water-link (n.d.), *Hemelwaterplan Antwerpen – Overkoepelende nota*. [Online] Available at: water-link.be/sites/default/files/2018-06/Overkoepelende%20nota.pdf [Accessed 21 September 2024].

World Bank (2021), *A Catalogue of Nature-Based Solutions for Urban Resilience*, World Bank, Washington. [Online] Available at: hdl.handle.net/10986/36507 [Accessed 21 September 2024].

Yacov, Y. . (2018), *Modeling and Managing Interdependent Complex Systems of Systems*, Wiley-IEEE Press, Hoboken.

Yu, K. and O'Leary, R. (2024), *Los Angeles Urban Forest Equity – Design Guidebook*, UCLA Luskin Center for Innovation, Los Angeles. [Online] Available at: escholarship.org/uc/item/25h5d5z3 [Accessed 21 September 2024].

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 74-87
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/1662024

Article Info

Received 09 September 2024
Revised 09 October 2024
Accepted 10 October 2024
Published 30 December 2024

IL PROGETTO DELLO SPAZIO PUBBLICO, TRA COMPLESSITÀ E CRISI ECOLOGICA
Da sfida a opportunità per la rigenerazione urbana

PUBLIC SPACE PROJECT, BETWEEN COMPLEXITY AND ECOLOGICAL CRISIS
From challenge to opportunity for urban regeneration

Tommaso Berretta, Federico Desideri, Matteo Staltari

Abstract

La contemporaneità impone condizioni di ipercomplessità, legate alla sovrapposizione delle istanze contestuali con le forze che definiscono l'evoluzione del paesaggio, che le discipline del progetto sono chiamate ad affrontare. Il campo di indagine su cui si articola questa risposta è lo spazio pubblico, ambito strategico su cui sperimentare e mettere in discussione quei paradigmi incapaci di interpretare le attuali condizioni di incertezza, non linearità. Partendo dall'attuale crisi ecologica si propone un approccio che abbandona rigidi assetti formali, abbracciando scenari dagli esiti mutevoli e flessibili. Tale prospettiva, già declinata in casi studio a cavallo tra paesaggio, progetto urbano e spazio pubblico, diventa un paradigma da sfruttare per affrontare le complessità e progettare il disordine aprendo a una ridefinizione del progetto dal punto di vista procedurale e strategico.

Contemporary times impose conditions of hypercomplexity, stemming from the overlap of contextual demands with the forces shaping the evolution of the landscape, which design disciplines are called upon to address. The field of investigation for this response is public space, a strategic area for experimenting with and challenging paradigms that cannot interpret current conditions of uncertainty and non-linearity. Starting from the current ecological crisis, the proposed approach abandons rigid formal structures, embracing scenarios with mutable and flexible outcomes. This perspective, already explored in case studies spanning landscape, urban design, and public space, becomes a paradigm to address complexities and design disorder, opening the way for a redefinition of design from both procedural and strategic viewpoints.

Keywords

complessità, crisi ecologica, spazio pubblico, tempo, rigenerazione urbana

complexity, ecological crisis, public space, time, urban regeneration

Tommaso Berretta, Architect and PhD, is a Research Fellow at the DPDTA of 'Sapienza' University of Rome (Italy). He researches on the relationship between design and heritage with a specific focus on the Roman context, as well as on the role of design within regenerative processes shaped by current regulatory and economic contingencies. Mob. +39 333/225.51.40 | E-mail: tommaso.berretta@uniroma1.it

Federico Desideri, Architect and PhD, is a Research Fellow at the DPDTA of 'Sapienza' University of Rome (Italy). His research focuses on the relationship between natural landscapes and archaeological heritage in Rome, the value of infrastructure in urbanisation processes, and landscape design as a tool for urban regeneration in complex contexts. Mob. +39 335/674.30.28 | E-mail: federico.desideri@uniroma1.it

Matteo Staltari, Architect and PhD Candidate at Roma Tre University (Italy), researches on the topics of ecological crisis and climate change adaptation in public spaces, with a particular focus on urban heat islands. E-mail: matteo.staltari@uniroma3.it

L'attuale contesto con cui il progetto è chiamato a relazionarsi, alle sue diverse e contemporanee scale, presenta una profonda crisi dettata dall'evoluzione delle complessità che gli strumenti di pianificazione e progettazione sono chiamati a leggere, analizzare e affrontare. Se già con la Modernità si è registrato un progressivo incremento delle variabili in campo, costringendo la disciplina generale del progetto ad assumerle come condizioni da governare e risolvere dalla scala vasta a quella dell'edificio, la Contemporaneità sta progressivamente disarticolando questa linearità: non è più l'eterogeneità delle parti o la compresenza delle discipline a costruire le difficoltà di rapporto tra realtà e progetto, ma la complessità prodotta dalle tensioni generate dalle forze – materiali e non – in gioco (Dall'Olio, 2020).

In questo scenario il cambiamento climatico – fenomeno multiscalare e transdisciplinare che investe l'esistenza quotidiana nella sua totalità costituendosi quale 'iperoggetto' per eccellenza (Morton, 2013) – si sovrappone alle già molteplici criticità che amministrazione del territorio e progettazione devono urgentemente affrontare, andando a configurare uno stato di 'ipercomplessità' da gestire sulla base di un approccio altrettanto trasversale e obliquo. Il combinato disposto di questa condizione non solo mette in crisi l'approccio con cui le discipline del progetto affrontano il tema dello spazio urbano, la cui validità si basa sulla rispondenza a necessità di carattere funzionale-quantitativo più che prestazionale, ma colpisce anche la capacità dell'Architettura di costituirsi elemento di organizzazione e razionalizzazione (de Solà-Morales, 1995) capace di garantire un equilibrio tra gli elementi in gioco.

Nell'accogliere l'indeterminatezza del cambiamento climatico all'interno del loro apparato, le scienze naturali sono state costrette ad abbandonare il positivistico determinismo che le contraddistingueva (Scolari, 2017), per ragionare sul piano della probabilità piuttosto che della certezza. Allo stesso modo, le discipline del progetto devono operare delle innovazioni – necessarie, auspicabili o possibili – sui paradigmi che ne guidano l'azione, al fine di trovare nuovi spazi di utilità e forme di adeguatezza. La crisi contemporanea impone al progetto di costruire il futuro non più in forma di assetti formali rigidi e finiti, ma attraverso scenari dagli esiti mutevoli, adattivi e flessibili. Tale approccio ha trovato una sua prima declinazione in alcuni progetti a cavallo tra paesaggio, pianificazione e spazio pubblico, dimostrandosi un paradigma efficace per affrontare la complessità e progettare il disordine contemporaneo (Sendra and Sennett, 2022).

Facendo propria questa analogia il contributo vuole evidenziare come le criticità connesse con i fenomeni di complessità che attualmente investono il paesaggio urbano necessitano la definizione di un nuovo approccio multiscalare e non lineare capace sia di ridefinire i rapporti tra i diversi livelli del processo che gli esiti. In questi termini appare necessario assumere questa incertezza come condizione tipologica del progetto complesso, sfruttandola quale potenziale inespresso in attesa di trasformazione (de Solà-Morales, 2008).

Il contributo è articolato introducendo il contesto culturale di riferimento, l'ipercomplessità contemporanea; dal riconoscimento poi della centralità del ruolo dello spazio pubblico si postula la necessità di mettere in discussione i paradigmi progettuali che guidano le azioni su di esso (UN-Habitat, 2016). La tesi, ovvero l'adozione di un metodo alternativo che reinterpreti la temporalità non più linearmente, ma ammettendo continui movimenti bidirezionali, è costruita a partire dalle ipotesi iniziali e 'validata' attraverso i casi di studio. Il contributo apre infine a possibili estensioni del nuovo paradigma quale metodologia efficace per affrontare i molteplici 'tipi' di complessità, nonché all'individuazione dei limiti di applicazione che l'attuale contesto genera e i possibili futuri sviluppi della ricerca.

Crisi ecologica e complessità | La Terra è ciò 'in cui' e 'di cui' l'Uomo vive, e la sua condizione di abitabilità è compromessa in quanto è venuto meno questo delicato equilibrio: in pochi decenni la popolazione mondiale è aumentata in modo insostenibile, così come sono cresciuti oltre misura la produzione industriale, i rifiuti, l'inquinamento e il cambiamento climatico; 'siamo precipitati nell'Antropocene' (Vidali, 2022), un'era in cui la potenza dell'azione antropica è tale da alterare i processi geologici al pari di una forza naturale (Crutzen and Stoemer, 2000).

Le evidenze scientifiche convergono nel rilevare che i cambiamenti climatici espongono le aree urbane a rischi crescenti; tale vulnerabilità è riconducibile principalmente a due condizioni: «[…] l'insostenibilità della forma e della materia [dell'urbanità moderna che] esacerba globalmente gli effetti dei cambiamenti climatici» (Ingaramo et alii, 2023, p. 98), e il numero di persone colpite, pari a più della metà della popolazione globale (UN-Habitat, 2020). Questa crisi, che coinvolge in maniera diretta ed evidente il paesaggio antropizzato nella sua totalità, può essere definita come 'ecologica' (Fabbri, 2020), nella sua accezione più classica di 'oikos' e 'logos', ovvero di 'discorso sulla casa'. Essa infatti riguarda l'essenza stessa dell'abitare umano, ovvero dell'azione con cui l'homo faber modifica l'ambiente che lo circonda per adattarlo ai propri bisogni; tale azione, ad oggi, è una forza distruttiva che minaccia lo stesso habitat che egli ha eletto a propria casa: questa crisi, in sintesi, rispecchia l'impossibilità, presente o futura, di abitare il nostro pianeta (Valera, 2019).

Il contesto emergenziale di riferimento risultante da questa presa di coscienza non può essere circoscritto a una specifica dimensione disciplinare, ma deve considerare il paesaggio urbano nella sua accezione vasta e polisemica. La complessità che ha contraddistinto l'evoluzione della disciplina nell'ultimo secolo ha integrato, alle questioni di carattere tecnico-disciplinare, le problematiche relative al rapporto progetto / programma e progetto / processo amministrativo. Questo ulteriore incremento delle questioni definisce una non linearità a cui deve corrispondere un cambio nella lettura e interpretazione del contesto: in questo scenario «[…] il concetto stesso di contesto sembra radicalmente trasformarsi, sino a ricomprendere lo scenario allargato e sovrapposto della realtà materiale del territorio urbano e di quella immateriale, ma non meno reale delle politiche e dei processi consumati e futuri» (Desideri and Di Veroli, 2023, p. 39).

Partendo da questo scenario evolutivo, la crisi ecologica si configura quale esempio tipologico di questa condizione di complessità: in essa è possibile rileggere gli effetti sul paesaggio di forze la cui gestione non trova rispondenza negli attuali processi e strumenti di trasformazione del territorio, a causa dell'impossibilità di previsione degli esiti e degli orizzonti futuri con cui il progetto deve dialogare. Questo scenario trova nello spazio fisico aperto il principale riferimento di tale complessità, in quanto luogo di interazione tra i processi di trasformazioni e le diverse dinamiche che i contesti ecologico, economico e sociale declinano sul territorio.

Centralità dello spazio pubblico e necessità di un nuovo paradigma | Nella complessità semantica che contraddistingue il concetto di spazio pubblico, l'ambiguità principale emerge dalla duplice interpretazione del termine 'spazio', il quale può essere concepito sia in senso materiale che immateriale: è caratterizzato da una dimensione tangibile definita da principi compositivi, forma, dimensioni e materiali, ma al tempo stesso rappresenta uno spazio di relazioni, luogo «[…] della vita collettiva delle comunità, espressione della diversità del loro comune patrimonio culturale e naturale e fondamento della loro identità» (INU and BISP, 2013, pp. 1, 2).

A partire da questo dualismo, lo spazio pubblico non può che costituire il naturale contesto operativo su cui declinare trasformazioni rigenerative volte a garantire il benessere individuale e sociale (Bianchetti, 2015), in linea con l'articolo 14 della Carta dello Spazio Pubblico che lo individua quale «[…] principale risorsa a disposizione delle amministrazioni pubbliche su cui costruire politiche integrate e ad ampio raggio di pianificazione urbana, di riqualificazione morfologica e funzionale dei tessuti urbani e di rigenerazione sociale ed economica» (INU and BISP, 2013, p. 2).

Ridefinirne la centralità implica sia sfruttare le caratteristiche di piattaforma generica capace di concedersi a sovrascritture (Robiglio, 2015), sia recuperarne il ruolo di «[…] manufatto autonomo che determina le sequenze della città e spesso i suoi principi organizzativi» (Burrascano, 2008, p. 215). Si tratta di definire un iter mirato a superarne la concezione quale immagine negativa del costruito, recuperandone la visione di spazio fisico e disciplinare, stratificato e multiuso, capace di accogliere le nuove istanze ed esigenze che la città contemporanea produce (Capuano, 2017). Sebbene la definizione di 'pubblico' apra all'inclusione di tutti gli spazi che siano liberamente fruibili dalle persone, in questa sede si è deciso di restringere il campo di indagine agli spazi aperti: strade, piazze, giardini e parchi. La ricerca attinge così da esperienze di progettazione dello spazio pubblico 'aperto', ma abbraccia anche i progetti urbani, in quanto lo spazio pubblico ne costituisce dispositivo strutturante e fondativo (UN-Habitat, 2018).

Considerare lo spazio pubblico quale ambito su cui articolare le riflessioni e le risposte alle criticità individuate, comporta una torsione dell'orizzonte progettuale che sposta l'attenzione dalla scala edilizia – sulla quale si sono già concentrate molte delle riflessioni dell'Architettura cosiddetta 'bioclimatica' – al tessuto connettivo (Desideri, 2023), un passaggio di scala che non si limita alla riconsiderazione della centralità dello spazio pubblico rispetto alle sue potenzialità inespresse, ma comporta un ripensamento della sua stessa progettualità.

In questi termini occorre riconoscere che, come rilevato da De Capua ed Errante (2019, p. 149), «[…] la più diffusa accezione di spazio pubblico [quale progetto di suolo o 'embellissement' (Gregotti, 1993)] non è più sufficiente ad accogliere il rinnovato portato sociale e democratico delle istanze di qua-

lità richieste per la città contemporanea». I paradigmi consolidati scontano infatti una visione incompatibile sia con le sfide ecologiche che sono chiamati ad affrontare (Falzetti and Minuto, 2023) sia con le altre complessità indotte dal sistema. Ciò implica il recupero del progetto quale mezzo che deve cercare nuove attribuzioni di senso tra le diverse componenti della città (MiBACT and Roma Capitale, 2014) e tra esse e le attuali condizioni al contorno. Il progetto quindi, prima che momento di sintesi delle metodologie disciplinari specialistiche, incapaci di guardare al paesaggio nella sua conflittualità, costituisce l'infrastruttura su cui articolare un approccio capace di considerare le complessità tra le sue variabili.

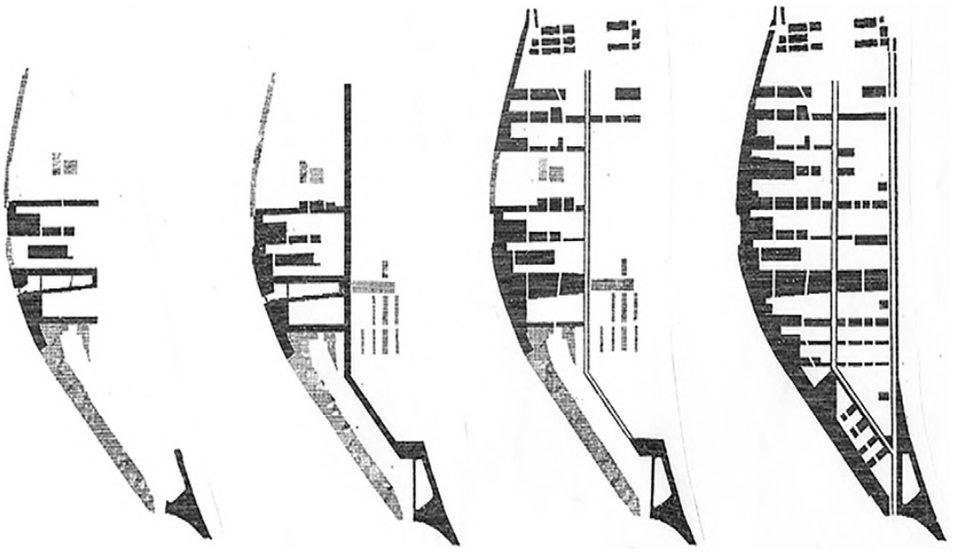
Come già enunciato, l'innovazione dei paradigmi fondativi delle discipline del progetto scaturisce dall'accoglimento delle questioni legate al cambiamento climatico, fenomeno pervaso da un elevato grado di incertezza (Antonini, 2019): il primo grado, seppure largamente superato, ha riguardato il riconoscimento delle attività antropiche tra le cause delle alterazioni del clima; il secondo scaturisce da tutti gli altri fattori che influiscono sulla capacità di determinarne gli sviluppi a livello spaziale, temporale e potenziale, come ad esempio la sua variabilità, l'indisponibilità di strumenti predittivi sufficientemente potenti e i futuri livelli di adattamento delle città e dei territori che ne saranno investiti (Mantziaras, 2024).

A partire da queste condizioni la 'questione ambientale' diviene non più emendabile (Conato and Frighi, 2020), ed effettivamente predispone a una reale innovazione disciplinare che introduce l'incertezza non come variabile antagonista, da sovrascrivere e subordinare all'ordine imposto dal progetto, ma piuttosto come la sua la messa in scena: in altre parole il progetto non può più puntare a configurazioni stabili, ma alla creazione di ambiti che accolgano processi che rifiutano di cristallizzarsi in forma definitiva (Koolhaas and Mau, 1995).

Tale passaggio implica il superamento della città rigida e inerte ereditata dal Novecento, in cui il Modernismo ha anteposto l'ordine alla complessità generando un ecosistema vulnerabile perché incapace di reagire alle sollecitazioni (Sendra and Sennett, 2022), caratterizzandosi per la possibilità di accettare un futuro aperto a diversi scenari secondo un approccio che vuole progettare le condizioni invece di condizionare il progetto (Tschumi, 2005). Affinché ciò sia possibile è inevitabile mettere in discussione la variabile 'tempo': la progettazione degli spazi urbani non può più procedere secondo la tradizionale sequenza decisione-progettazione-trasformazione, ammettendo invece una continua revisione delle variabili e delle risposte, con un andamento ricorsivo e multidirezionale.

Partendo dall'attuale contesto di crisi quale condizione tipologica, la domanda che il contributo declina e analizza è: come può il progetto gestire una temporalità non più 'lineare' (Manigrasso, 2019)? In questi termini è possibile individuare due fasi principali, che costituiscono il riferimento su cui articolare la revisione del rapporto tra i momenti propri dei processi di trasformazione.

La prima è la fase decisionale / progettuale, intesa come ripensamento e revisione strutturale metodologica delle modalità con cui si affrontano i fenomeni spaziali e il loro rapporto con la forma urbana nell'atto della loro analisi, pianificazione e declinazione strategico-progettuale. Nell'attuale temporalità scandita dalla rigidezza dei vari passaggi tecnico-amministrativi, da autoconclusiva procedura deterministica il progetto deve ammettere quadri decisionali aperti e variazioni di assetto in corso d'opera (Gregory and Priore, 2007), ciò implica contestare il modello attuale secondo cui la modifica delle previsioni impone la rimessa in discussione della com-





Figg. 1, 2 | Confluence, Lyon: development phases of the Masterplan; view of the area in the 1960s (credits: Michel Desvigne Paysagiste, 2000; COmmunauté URbaine de Lyon).

Next page

Fig. 3 | Agenti Climatici, Milan: aerial view (source: laboratoriopermanente.com).

ponente politico-amministrativa, determinando un'inerzia al cambiamento disfunzionale a relazionarsi con l'adattabilità a scenari non predeterminabili.

La seconda fase è quella degli esiti, la cui immagine si deve discostare da quella di prodotto finale, oggettuale e determinato; gli esiti costituiscono di fatto l'ultimo passaggio di una proceduralità che deve essere ripercorribile, acquisendo un valore conoscitivo che ne supera lo stato di mero caso di studio, aprendo alla sua considerazione quale ulteriore nodo del processo di trasformazione (Amirante, 2018). Partendo da questa diversa collocazione nel quadro semantico-disciplinare è possibile considerare questi assetti finali non solo come apertura a una pluralità di usi e configurazioni adattive, ma quale parte integrante della ridefinizione del processo.

Attorno a questi due momenti sintesi del processo di trasformazione urbana, si articola il cambio di prospettiva e paradigma proposto innanzitutto quale identificazione degli attuali limiti che condizionano l'inerzia e la capacità di adattamento del sistema. Successivamente si procede ad analizzare una serie di casi studio per valutare le modalità e condizioni in cui il progetto, in maniera autonoma, ha provveduto a scostarsi dai paradigmi tradizionali.

Introduzione ai casi di studio | Partendo da queste considerazioni sono stati selezionati alcuni esempi che offrono una lettura del paesaggio urbano capace di considerarne la variabilità e l'indeterminatezza all'interno delle variabili di progetto. Volendo considerare le risposte alla complessità come un processo proprio del progetto contemporaneo, sono stati presi in esame interventi anche cronologicamente distanti tra loro. Oltre a progetti oggi conclusi, si è voluto anche selezionare casi recenti capaci di portare a sintesi alcune delle più attuali strategie nell'ambito della sostenibilità e della sensibilità verso il cambiamento climatico. Alcuni esempi analizzati mostrano dunque processi evolutivi appena avviati ma, in ogni caso, ricchi di spunti significativi per la ricerca.

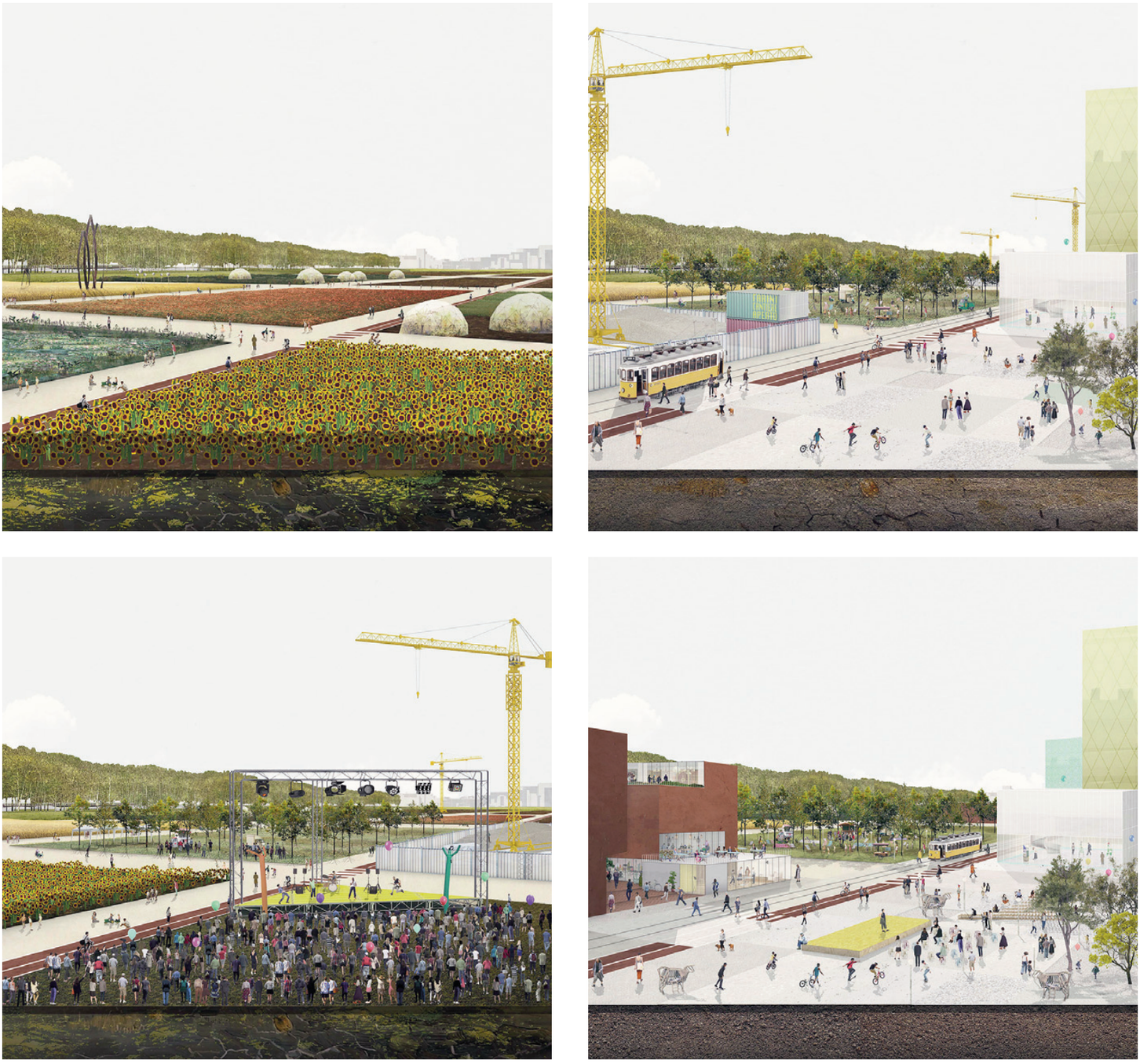
Rispetto alle fasi precedentemente descritte, nella prima categoria di progetti – casi di studio per la fase decisionale / progettuale – si presentano interventi in cui è difficile definire i limiti tra pianificazione, progetto di paesaggio e progetto urbano e che subordinano, alle specificità delle singole discipline, un approccio comune in grado di aprirsi a una variabilità futura.

In seconda analisi si presentano casi di studio in cui si impongono riflessioni sull'adattabilità di specifici spazi urbani alle complessità e criticità imposte dal contesto contemporaneo, declinando soluzioni mirate a considerare la variabilità locale quale esplicito input di progetto. Questa capacità di adattamento dinamico – riflessione che spesso nasce dalla valutazione dei fenomeni ambientali – costituisce un approccio da valorizzare e che deve essere tenuto in considerazione anche rispetto alle altre criticità presenti nel paesaggio contemporaneo.

In ultima analisi è stato volutamente proposto il riferimento a pratiche di urbanistica complementare che possono contribuire a quella circolarità che attualmente appare condizionata dalle rigidezze procedurali: il recupero di una metodologia che parte dal basso, valorizzando i processi temporanei in complementarità agli strumenti formali esistenti, ci fornisce una serie di casi di studio che è necessario considerare nella valutazione delle possibilità di avanzamento della ricerca in ottica presente e futura.

Casi di studio per la fase decisionale / progettuale | L'acquisita consapevolezza dell'incertezza degli scenari futuri spinge il Masterplan a farsi 'palinsesto aperto'. Un contributo significativo alla ricerca può essere rintracciato nella pratica dell'or-





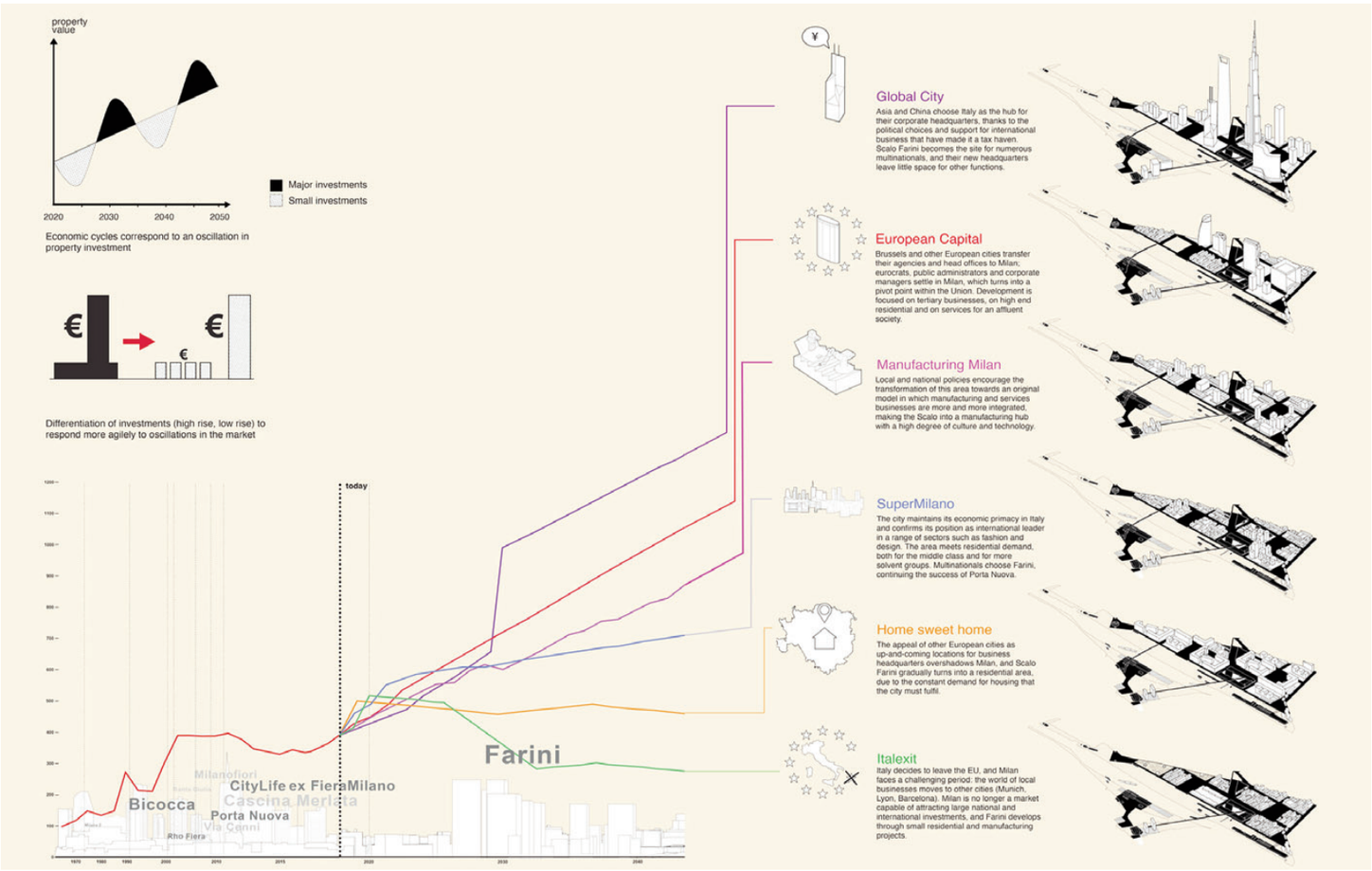
Figg. 4-7 | Agenti Climatici, Milan: the different stages of development (source: laboratoriopermanente.com).

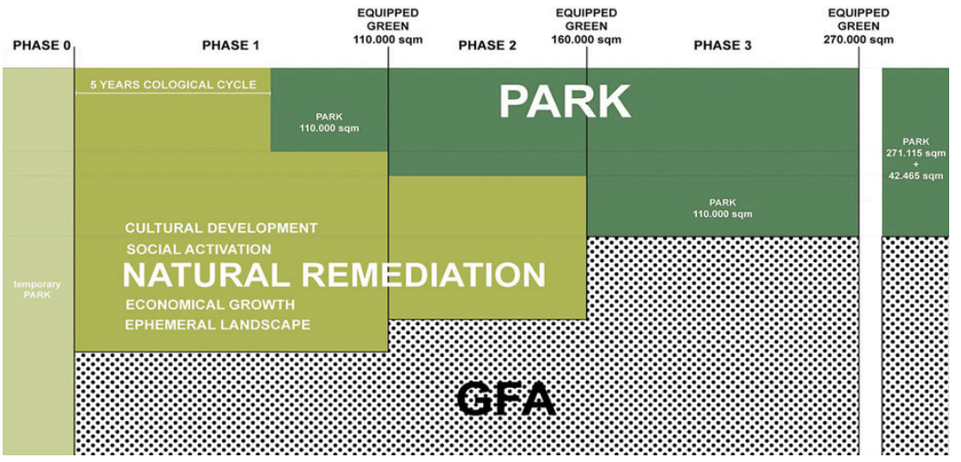
ganizzazione del paesaggio che, rispetto al progetto di architettura, si confronta con materia viva e in continua trasformazione (Celestini, 2016). Fin dalla tradizione moderna tale caratteristica ha caratterizzato l'attitudine alla programmazione nel tempo da parte dei paesaggisti. Non è un caso infatti che sia proprio Michel Desvigne (2009) a proporre un approccio temporale innovativo per superare la staticità degli strumenti del progetto, come nel Piano per Lyon Confluence (Figg. 1, 2): la variabile 'tempo' è utilizzata come strumento generativo del Masterplan per la riqualificazione del quartiere attraverso le 'natures intermédiaires', spazi di transizione tra il paesaggio naturale e l'ambiente costruito che permettono di valorizzare il territorio con un sistema provvisorio di parchi, in attesa di future trasformazioni (Pirina, Comi and d'Abramo, 2024).

La capacità di interrogarsi sulle evoluzioni nel tempo di un contesto – sia esso naturale o antropizzato – appare oggi come una sfida importante in termini di gestione della complessità e di progettazione sostenibile. Gli esempi selezionati mostrano esiti efficienti derivanti non soltanto dall'integrazione metodologica tra paesaggio e Masterplan, ma soprattutto dalla combinazione organica e diacronica dello spazio urbano con la natura.

A partire dal 2000 la Città di Milano ha avviato un interessante Programma di rigenerazione urbana cominciato con il Piano urbanistico di Milano-Porta Nuova, che ha trovato un'importante complementarità nella campagna di liquidazione delle aree ferroviarie dismesse intrapresa da FS-Sistemi Urbani. Tale collaborazione ha condotto alla nascita di interventi come il Villaggio olimpico per Milano-Cortina 2026, con il Masterplan di SOM (COIMA, 2021), e l'area dell'ex Scalo Farini, un progetto congiunto di OMA e Laboratorio Permanente (Fig. 3). Il progetto si traduce in un Piano di sviluppo chiamato Agenti Climatici, che include anche l'area ferroviaria dismessa dello Scalo San Cristoforo, proponendo una visione sistemica con solidi obiettivi ecologici di mitigazione dell'isola di calore e dell'inquinamento (OMA, n.d.; Laboratorio Permanente, n.d.).

L'intervento per lo Scalo Farini propone quattro diverse configurazioni del progetto (Figg. 4-7), in ri-





Figg. 8, 9 | Agenti Climatici, Milan: economic development scenarios; 'time as a resource' (source: laboratoriopermanente.com).

sposta ad altrettante fasi temporali di sviluppo (Figg. 8, 9). Il palinsesto principale che struttura l'impianto è rappresentato dal paesaggio: ampi spazi pubblici naturali sono immaginati per accogliere le attività per il tempo libero e installazioni temporanee. Il complesso includerà il terzo parco più grande di Milano, un elemento chiave per migliorare la qualità della vita nella città consolidata (COIMA, 2019).

L'ambizione del progetto è riuscire a immaginare scenari differenti negli anni, capaci di reagire alle variabili del contesto, a cominciare dalla questione del cambiamento climatico: le condizioni dell'habitat, quelle socio-economiche e la discontinuità della politica rappresentano variabili con cui il Masterplan cerca di fare i conti, offrendosi come strumento di pianificazione aperto ad accogliere gli sviluppi previsti per Milano 2030. Al momento il Masterplan è in fase di sviluppo e le informazioni disponibili si limitano alla descrizione degli obiettivi strategici ancora distanti dalla definizione specifica di un progetto; ciò che appare significativo è certamente la risolutezza nel voler affrontare le fasi della pianificazione con un approccio dinamico, fluido e per certi versi aperto alla partecipazione.

A cavallo del 2021 la Città di Vancouver ha promosso il Sea2City Design Challenge, con l'obiettivo di indagare il futuro di alcune aree minacciate dall'innalzamento del livello del mare e da conseguenti inondazioni. La proposta del gruppo North Creek Collective prevede una revisione dello spazio intercotidale per ridefinire il rapporto tra città e mare. La resilienza prima che negli esiti – cioè i dispositivi fisici e tecnologici di progetto – acquisisce valore quale catalizzatore e acceleratore capace di includere «[…] the unknown and unexpected, especially the impossible futures» (Knauf and Zarate, 2020, p. 21) tra le variabili del processo.

Il progetto per il sito Between Bridges rimodella la sezione della costa per consentirne l'allagamento, considerando sia le maree sia gli eventi critici puntuali (Fig. 10). L'intervento incrementa la capacità di mediazione e dissipazione dell'energia e, contemporaneamente, propone un sistema di percorsi e interventi di riuso-demolizione-nuova costruzione. L'obiettivo è costruire un nuovo paesaggio incre-



Fig. 10 | Sea2City Vancouver: Between Bridges view (source: mvrdv.com, 2022).

mentando la continuità tra vita urbana e vita naturale. A livello metodologico vengono favorite la scalabilità e la modularità degli interventi per consentirne l'adattabilità all'incertezza delle condizioni future (North Creek Collective, 2022). A integrazione della proposta progettuale MVRDV (n.d.) ha prodotto The Sea Level Rise Catalogue (Figg. 11, 12), una raccolta di linee guida, principi e di soluzioni tipologiche declinate nell'area di intervento ma aperte a un'adozione in situazioni simili.

Il progetto può assumersi come riferimento per la capacità di considerare la continuità tra fasi di progetto e tra soggetti coinvolti e committenza, aprendo a una lettura del processo di trasformazione nella quale il progetto non è elemento organizzatore assoluto ma strumento dichiaratamente adattivo e progressivo. Un limite può essere invece individuato nel rapporto tra la fase strategico-programmatica e gli esiti che, pur chiari dal punto di vista degli obiettivi, non riescono effettivamente a declinarsi nella forma di un progetto, rimanendo funzionali a una rappresentazione diagrammatica incoerente con l'evoluzione e la continuità a cui il Programma sembra aspirare. In questi termini il caso di studio si colloca a cavallo tra le fasi individuate, aprendosi alla necessità di una sua ulteriore evoluzione nella forma di uno specifico ridisegno del territorio coerente con le strategie proposte.

Casi studio per la fase ex-post | Così come la variabile 'tempo' può suggerire l'innovazione dei paradigmi propri della fase progettuale, allo stesso modo gli esiti del progetto possono superare una rigida fissità aprendo alla quarta dimensione. L'incertezza, dettata dall'impossibilità di prevedere con un ragionevole grado di affidabilità le necessità future, fa emergere l'esigenza di dotare la città di spazi che ammettano una pluralità di configurazioni e usi 'imprevedibili' (Quinzii and Terna, 2022). L'adattamento delle città al cambiamento climatico ha portato all'ideazione di spazi ibridi in cui il dispositivo impiegato per aumentare la resilienza urbana trascende la dimensione strettamente tecnica e tecnologica, incoraggiando usi collaterali e non convenzionali. Un riferimento tipologico di questo approccio sono le 'watersquares', ormai incluse nella tassonomia degli spazi pubblici quali luoghi che programmaticamente combinano strategie di adattamento a valori come la socializzazione e l'inclusione. Uno degli esempi più celebri è la Watersquare Benthemplein a Rotterdam (Figg. 13-15), su progetto dello studio De Urbanisten e completata nel 2013. L'uso quotidiano della piazza, destinata alle attività ludiche, durante lo scenario emergenziale lascia spazio a una riorganizzazione sia spaziale che funzionale: essa si trasforma in infrastruttura verde-blu capace di contribuire alla resilienza climatica e, simultaneamente, conferire identità al quartiere (De Urbanisten, 2015). La piazza è infatti concepita come un sistema integrato di gestione delle acque meteoriche, in cui le depressioni del terreno che ospitano le aree gioco, in caso di piogge intense, si trasformano in bacini di laminazione le cui acque sono poi riutilizzate per l'irrigazione e per la creazione di un microclima più fresco e salubre.

Questa flessibilità di assetto permette allo spazio urbano di trasformare una criticità – l'allagamento delle aree urbane derivante dall'impermeabilizzazione dei suoli – in un'opportunità, adattandosi dinamicamente alle condizioni ambientali e garantendo continuativamente condizioni di sicurezza e fruibilità. L'intervento olandese rappresenta, a quasi dieci anni dal suo completamento, un riferimento operativo per moltissime strategie di riqualificazione dello spazio pubblico, seppure ad oggi esse non si siano concretizzate in progetti effettivamente realizzati. Appare doveroso infatti evidenziare le possibili ragioni che ne abbiano pregiudicato la replicabilità, da addurre probabilmente all'alto grado di manutenzione richiesto a interventi che coniugano così fortemente aspetti tecnologici con le dotazioni di uno spazio pubblico.

Un ulteriore esempio, che introduce innovativamente l'acqua come elemento fondante dello spazio pubblico è quello proposto a Bangkok dallo studio cinese Turenscape, il cui fondatore Kongjian Yu studia dal 1997 metodi di gestione delle risorse idriche nei territori antropizzati. L'habitat monsonico della capitale thailandese è contraddistinto da due principali climi, quello caldo e umido estivo e quello secco e fresco invernale; il cambiamento climatico, aggravando le condizioni climatiche, ha portato all'intensificazione degli episodi di inondazioni nella stagione umida e periodi di prolungata siccità nella stagione secca. Rispetto a questo tema la ricerca Sponge City (Turenscape, n.d.) vuole cercare di formalizzare un metodo replicabile e adattabile di strategie utili a regolare le acque in eccesso, al fine di trattenerle per poi restituirle durante i periodi aridi. L'ampliamento del Parco Benjakitti (Figg. 16-19) attraverso la costituzione di una foresta pluviale, inaugurata nel 2022 (Turenscape, 2023), è uno dei più recenti esempi di applicazione di questa ricerca.

Nel 2006 le attività della Thailand Tobacco Monopoly, collegate al parco preesistente che già conteneva il Lago Ratchada, sono state dislocate; l'ex area industriale è stata avviata alla riconversione nel Forest Park: una nuova area destinata alla rinaturalizzazione, volta a ricreare una zona umida con un complesso sistema di dighe per la regolazione degli eventi alluvionali, favorendo anche lo sviluppo della biodiversità e contribuendo a bonificare le acque attraverso processi di fitodepurazione. Questa zona umida è composta da quattro vasti bacini d'acqua; le aree irregolari sono state create al posto dei piazzali di cemento dello stabilimento produttivo, le cui macerie ricavate dallo smantellamento delle pavimentazioni sono state impiegate nelle fondazioni di piccole colline artificiali. Tale composizione rende gli isolotti porosi e capillari in modo da assorbire e trattenere l'acqua in eccesso durante le precipitazioni monsoniche.

Il Parco si confronta con scenari mutevoli durante le stagioni sopportando anche l'eventuale allagamento di alcuni percorsi pedonali grazie alla presenza del collegamento diretto e sopraelevato della Skywalk che garantisce l'attraversamento dell'area verde. Rispetto a molte strategie di rinaturalizzazione spontanea all'interno dei tessuti costruiti, che perseguono il solo obiettivo di favorire la biodiversità, questo progetto coniuga la sostenibilità ecologica con la capacità di trasformazione dello spazio; il risarcimento degli ecosistemi si è dimostrato infatti essenziale per contrastare il cambiamento climatico. Contrariamente a molti casi in cui assistiamo esclusivamente alla salvaguardia dell'ambiente a discapito della rigenerazione del paesaggio, le piccole oasi artificiali e inaccessibili della zona umida del Parco Benjakitti contribuiscono attivamente a produrre effetti sullo spazio antropico.

La crescita delle piante acquatiche e igrofile collabora direttamente al consolidamento dei terrapieni che frenano le onde di piena, mentre le loro le radici, grazie ai processi biologici, innescano un'azione di filtraggio degli agenti inquinanti aiutando a bonificare le acque del parco. Infine la giustapposizione tra l'adiacente Lago Ratchada e la nuova zona umida offre una trasposizione della mutata sensibilità ecologica: da un lato l'invasiva opera di ingegneria idrica che si è dimostrata negli anni inefficace al contenimento delle alluvioni; di fianco il nuovo paradigma che lavora sul paesaggio per gestire un progetto complesso che integra l'ingegneria ambientale per costituire un'infrastruttura capace di definire un palinsesto figurativo e funzionale per rigenerare la città.

Progetti transitori ed effimeri | In ultima istanza si rileva un'ulteriore modalità che può ricucire la distanza tra figurazione organizzativa-spaziale a lungo termine, generalmente dettata dalla pianifica-

zione tradizionale, e la variabilità delle necessità imposta dall'evoluzione del sistema 'città': essa può essere rintracciata nel ricorso, ad esempio, a forme di urbanistica complementare. Accogliendo le spinte alla trasformazione dal basso e usi ad interim, la pianificazione apre a una progressività capace di offrire sperimentazioni leggere rispondenti a bisogni contestuali: un cambio di prospettiva che non si presenta come resistenza urbana, antagonista e in opposizione alla pianificazione strutturale, ma come approccio capace di insinuarsi nelle maglie del sistema, aggirandone le rigidità.

In questi termini, come si sta sperimentando per le Superilles a Barcellona (Figg. 20, 21) o per le Piazze Aperte a Milano (Fig. 22), le trasformazioni fisiche indotte e anticipate da queste fasi di urbanistica tattica aprono a una processualità 'temporary to permanent', stadio transitorio di un'operatività sul campo che integra e arricchisce la pianificazione. Essa rende possibile sia un'apertura verso istanze che altrimenti non potrebbero essere rilevate e gestite, sia una capacità di dialogare con le diverse variabili possibili includendo, tra di esse, la non linearità del fattore tempo e la non prevedibilità degli obiettivi di progetto.

Conclusioni | I progetti che si è scelto di mettere a sistema testimoniano come la possibilità di adottare un nuovo paradigma, necessario ad affrontare efficacemente lo stato di ipercomplessità contemporanea, si sia già concretizzata negli ultimi anni in maniera indipendente e con modalità plurime ma affini. I casi studio mostrati assumono una doppia valenza: mostrano l'applicabilità concreta di un approccio temporale non più lineare ma multidirezionale, permettendo anche di estrapolare dalla loro analisi una grammatica di azioni. Gli esiti qui recitano un ruolo in quanto prodotto ma, soprattutto, in quanto elemento capace di essere riletto e riportato in una processualità, cioè nella costruzione di un possibile paradigma. Nella lettura degli esempi risulta oltretutto evidente una contrapposizione tra condizioni in cui il progetto segue l'iter 'tradizionale' e riferimenti in cui la flessibilità non costituisce elemento a contorno, ma carattere imprescindibile all'identità e al funzionamento del progetto.

In questo senso il riferimento alla 'urbanistica tattica', volutamente tenuta fuori dalle due categorie precedentemente individuate per il suo essere a cavallo tra pianificazione ed esiti, tra effimero e permanente, mostra la possibilità di rinunciare alla determinatezza del progetto urbano a favore di una sua progressiva definizione in un assetto flessibile capace quindi anche di adattarsi a scenari non arbitrariamente predefiniti.

La definizione di questo paradigma è, allo stato dell'arte, necessariamente ancora in una fase preliminare e non compiuta, ma sono possibili già alcune considerazioni su come esso possa evolvere. Si è visto come le complessità indotte dal cambiamento climatico costituiscano le premesse e il punto di partenza per un rinnovamento disciplinare, in cui «[…] il progetto deve costruirsi come dispositivo in grado di tradurre in spazio il significato delle trasformazioni in corso» (Montuori, Converso and Rabazo Martín, 2024, p. 140). Partendo da questa considerazione e individuando in maniera esplicita la direzione di sviluppo di tale riflessione disciplinare, appare necessario chiedersi se possa questo approccio, capace di trasformare condizioni di criticità in un'opportunità laddove gli strumenti tradizionali trovavano invece un limite operativo, essere sfruttato includendo tutte quelle condizioni di complessità che producono incertezza e variabilità nel paesaggio urbano.

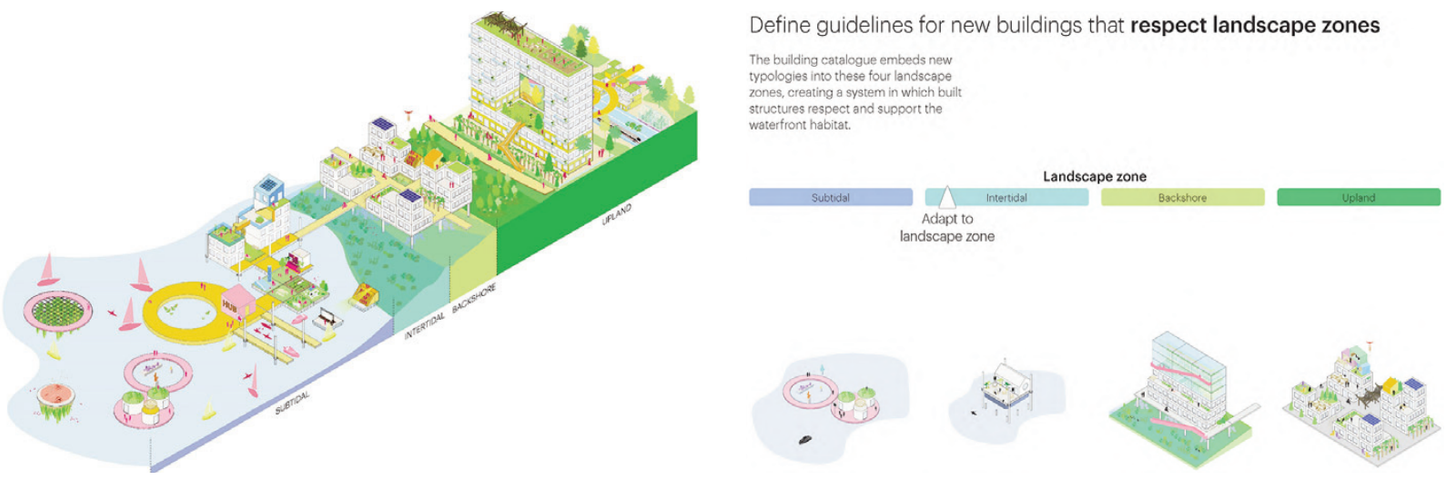
I casi studio, a partire da soluzioni principalmente volte ad affrontare il tema climatico-ambientale, aprono alla possibilità di sfruttare questo paradigma anche in altri ambiti assimilabili per criticità tipologica. Si apre quindi una prospettiva le cui implicazioni investono potenzialmente la totalità dell'ecosistema urbano, individuando ambiti dove il rapporto tra criticità-limiti e potenzialità inespresse appare più evidente e che, quindi, possono figurarsi quali utili punti di partenza su cui declinare gli sforzi.

Il rapporto tra progetto e processo amministrativo, come precedentemente detto, si esplicita quale limite-barriera, ma anche quale spazio evolutivo e occasione di riflessione. Esempio agli antipodi di tale limite è la già citata 'urbanistica tattica' quale possibile riferimento per una necessaria revisione del sistema normativo-procedurale volta a costruire un paradigma capace di aprirsi a quelle condizioni non definibili a priori, in quanto dipendenti da fattori la cui articolazione nel tempo non è né lineare, né uniformabile a una forma data. Questa riflessione richiede una ridefinizione degli obiettivi della pianificazione non in termini prestazionali, ma innanzitutto quale palinsesto che deve poter accogliere condizioni di equilibrio non prestabilite, valide fino a quando l'evoluzione del sistema non concorrerà a renderle obsolete aprendo a una loro revisione.

A seguire, affrontando il problema in maniera diametralmente opposta, queste condizioni impongono un approccio circolare, ripercorribile dalla pianificazione verso gli esiti e viceversa. L'ulteriore nodo individuato a partire dai casi studio risiede proprio nella valutazione degli esiti derubricandone il ruolo quale conclusione oggettuale, finita, per utilizzarli in termini sperimentali ed evolutivi. La proposta progettuale, che prende qui forma di elemento urbano tangibile, svolge un duplice ruolo: sperimentale, in quanto cioè dispositivo che misura effettivamente il grado di coerenza e adattabilità alle condizioni al contorno; processuale, intesa quale possibile elemento di verifica il cui feedback debba essere riassorbito nelle fasi precedenti per dare senso alla circolarità auspicata.

Questi presupposti aprono alla possibilità di estendere il paradigma proposto verso quell'insieme eterogeneo di condizioni complesse, sovrapposte e non lineari, la cui difficoltà di relazione con gli attuali strumenti produce un ritardo evolutivo nella capacità di adattamento alle istanze della contemporaneità. Le problematiche connesse con la gestione del paesaggio storico urbano e i contrasti con la commercializzazione turistica – l'overtourism – e le relative conseguenze sul tessuto socioculturale della città, evidenziano una di queste emergenze nella forma di un palese conflitto in cui il modello pianificatorio attuale fatica a rispondere alla dinamicità delle forze in gioco.

La prospettiva a cui apre il contributo individua la possibilità di ampliare l'adozione di approcci trasformativi adattivi – capaci a rimanere aperti tanto negli esiti quanto nei processi – oltre il limite del progetto di paesaggio. Utilizzando lo spazio pubblico quale telaio infrastrutturale portante di questa possibile trasformazione, si apre un'occasione di riflessione su cui articolare il rapporto tra progetto e gestione delle complessità nell'ottica di individuare nuove modalità di intervento sul territorio, una nuova sostenibilità. Si delinea un orizzonte che si oppone alla sovrascrittura – quale processo oppositivo in grado di generare e accentuare tensioni e degrado – con l'obiettivo di tradurre in spazio tensioni e complessità attuali, rendendole occasione



Figg. 11, 12 | Sea Level Rise Catalogue: typological section; landscape zone (source: mvrdv.com, 2022).

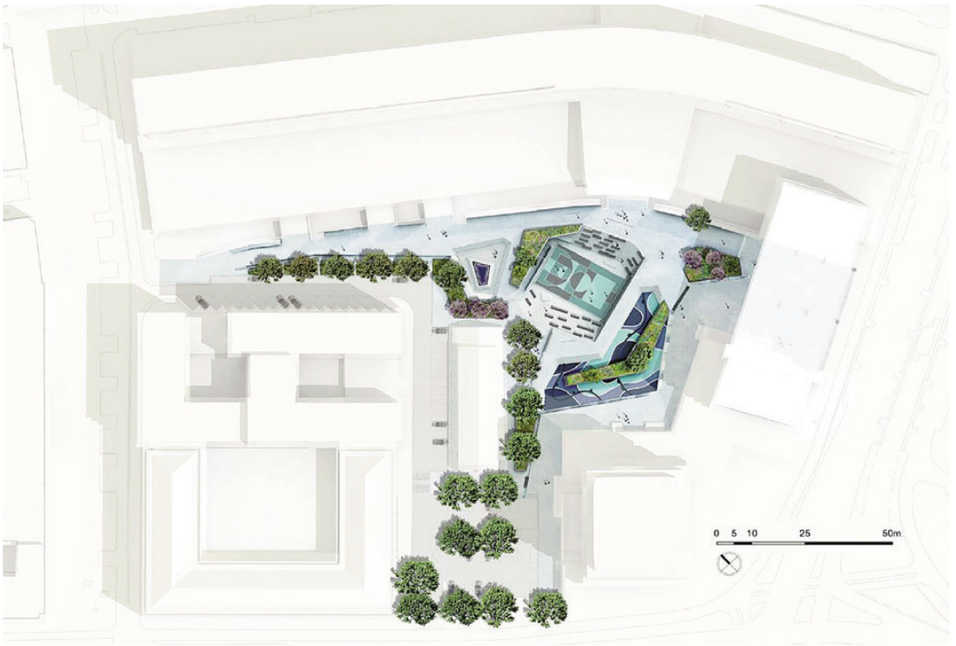
di sviluppo e processualità da integrare con gli strumenti attuativi esistenti.

The current context, with which the project is required to engage at various and simultaneous levels, presents a profound crisis caused by the evolving complexities that planning and design tools must interpret, analyse, and address. Since Modernity, there has been a progressive increase in variables that the general design discipline has had to manage and resolve from broad scales to individual buildings. However, contemporaneity has progressively dismantled this linearity: it is no longer the heterogeneity of the parts or the coexistence of disciplines that creates difficulties between reality and design but rather the complexity generated by the tensions between material and immaterial forces at play (Dall'Olio, 2020).

In this scenario, climate change, a multiscale, transdisciplinary phenomenon affecting daily life in its entirety and representing the quintessential 'hyperobject' (Morton, 2013), adds to the already existing challenges that territorial administration and design urgently need to address, creating a state of 'hypercomplexity' that demands an equally transversal and oblique approach. This combined condition not only calls into question the approach through which design disciplines address urban space, traditionally based on functional-quantitative needs rather than performance-based ones, but also impacts the ability of architecture to organise and rationalise (de Solà-Morales, 1995), ensuring balance among the elements involved.

By integrating the uncertainty of climate change into their framework, natural science has been forced to abandon the positivistic determinism that once defined it (Scolari, 2017), shifting from certainty to probability. Similarly, design disciplines must innovate, whether necessary, desirable, or possible, the paradigms guiding their actions to find new areas of relevance and appropriate forms. The contemporary crisis requires designing the future not as rigid and final forms but through scenarios with adaptable, flexible, and evolving outcomes. This approach was first explored in some projects at the intersection of landscape, planning, and public space, proving to be an effective paradigm for addressing complexity and designing contemporary disorder (Sendra and Sennett, 2022).

Building on this analogy, the contribution aims to highlight how the issues associated with the complexity currently affecting urban landscapes necessitate a new multi-scalar, non-linear approach ca-







Figg. 13-15 | Watersquare Benthemplein, Rotterdam: general site plan; ordinary configuration; flooded configuration (credits: J. Odé; Pallesh + Azarfane; De Urbanisten).

pable of redefining both the process and its outcomes. In this context, uncertainty must be embraced as a typological condition of complex projects, seen as untapped potential awaiting transformation (de Solà-Morales, 2008).

The contribution is structured by first introducing the cultural context of contemporary hypercomplexity. Then, recognising the central role of public space, it postulates the need to question the design paradigms that guide related actions (UN-Habitat, 2016). The thesis, advocating for an alternative method that reinterprets time non-linearly, accepting continuous bidirectional movements, is developed from the initial hypotheses and 'validated' through case studies. Finally, the contribution explores possible extensions of the new paradigm as an effective methodology for addressing the many 'types' of complexity, as well as the current context's limitations and potential future developments for research.

Ecological crisis and complexity | Earth is the very thing 'in which' and 'from which' humanity lives, and its habitability is compromised due to the breakdown of this delicate balance: within a few decades, the world population has grown unsustainably, alongside overproduction, waste, pollution, and climate change. 'We have plunged into the Anthropocene' (Vidali, 2022), an era where human actions have the power to alter geological processes just as a natural force does (Crutzen and Stoemer, 2000).

Scientific evidences converge in showing that climate change exposes urban areas to increasing risks. This vulnerability stems mainly from two conditions: the unsustainability of modern urban form and matter, which globally exacerbates the effects of climate change (Ingaramo et alii, 2023), and the number of affected individuals, amounting to more than half of the global population (UN-Habitat, 2020). This crisis, which directly involves the man-made landscape in its entirety, can be defined as 'ecological' (Fabbri, 2020), in the classical sense of 'oikos' and 'logos', or a 'discourse on home'. It pertains to the essence of human dwelling, the action by which humanity modifies its surroundings to meet its needs. Today, this action has become a destructive force threatening the habitat it once transformed into its home. This crisis, in short, reflects the present or future inability to inhabit our planet (Valera, 2019).

The resulting emergency context cannot be confined to a specific disciplinary dimension but must consider the urban landscape in its broad and multifaceted sense. The complexity that has characterised the discipline's evolution over the past century has integrated technical-disciplinary issues with those related to the relationship between design / program and design / administrative process. This further increase in complexity necessitates a shift in how we interpret the context: in this scenario, the very concept of context seems radically transformed, encompassing both the expanded and overlapping material reality of the urban territory and the immaterial, but equally real, realm of policies and past and future processes (Desideri and Di Veroli, 2023).

From this evolutionary perspective, the ecological crisis exemplifies this condition of complexity. It allows us to reinterpret the landscape's effects of forces whose management is not adequately addressed by current territorial transformation processes and tools due to the unpredictability of future outcomes with which the project must engage. In this scenario, physical open spaces serve as the primary reference for such complexity, as they are the places where transformation processes and the dynamics of ecological, economic, and social contexts intersect.

Centrality of public space and the need for a new paradigm | Within the semantic complexity surrounding the concept of public space, a key ambiguity arises from the dual interpretation of 'space', which can be understood both materially and immaterially: it encompasses a tangible dimension defined by compositional principles, form, sizes, and materials, while simultaneously representing a relational space, a place of the collective life of communities, an expression of the diversity of their shared cultural and natural heritage, and the foundation of their identity (INU and BISP, 2013).

From this duality, public space becomes the natural operational context for regenerative transformations aimed at ensuring individual and social well-being (Bianchetti, 2015), aligned with Article 14 of the Charter of Public Space, which identifies it as the primary resource available to public administrations for building integrated and far-reaching urban planning policies, morphological and functional requalification of urban fabrics, and social and economic regeneration (INU and BISP, 2013).

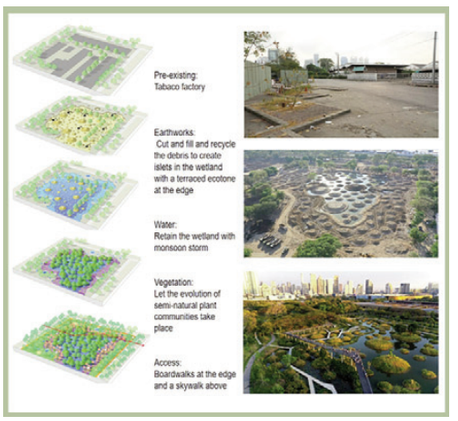
Redefining its centrality involves leveraging its role as a generic platform open to reinterpretation (Robiglio, 2015), while also reclaiming its function as an autonomous artefact that determines the sequences of the city and often its organising principles (Burrascano, 2008). This calls for an approach aimed at overcoming its negative conception as a mere image of the built environment, restoring its vision as a physical and disciplinary space, layered and multi-functional, capable of accommodating new demands and needs produced by contemporary cities (Capuano, 2017). Although the definition of 'public' extends to all spaces freely accessible to people, this analysis focuses specifically on open spaces: streets, squares, gardens, and parks. The research draws from experiences in the design of 'open' public spaces but also embraces urban projects, where public space serves as a structuring and foundational device (UN-Habitat, 2018). Considering public space as the realm for reflecting on and responding to identified issues requires a shift in the design horizon. Attention moves from the building scale, where much of the so-called 'bioclimatic' architecture discourse has already focused, to the connective tissue (Desideri, 2023). This shift involves not just reconsidering the centrality of public space about its untapped potential but also rethinking the very concept of its design.

As noted by De Capua ed Errante (2019), the most widespread interpretation of public space as a ground project or 'embellishment' (Gregotti, 1993) is no longer sufficient to accommodate the renewed social and democratic demands for quality in contemporary cities. Established paradigms struggle with a vision incompatible with both the ecological challenges they must address (Falzetti and Minuto, 2023) and the other complexities induced by the system. This calls for reclaiming design as a tool to seek new meanings between the various components of the city (MiBACT and Roma Capitale, 2014) and between these and the current environmental conditions. The-









Figg. 16-19 | Benjakitty Forest Park: aerial viewes; evolution synthesis (source: turenscape.com, 2023).







Figg. 20, 21 | Superilles, Barcelona: the Superilla Sant Antoni; intersection of Carrer de Roc Boronat and Carrer de Sancho d'Avila (credits: F. Nadeu, 2021; Ajuntament de Barcelona).

Fig. 22 | Piazze Aperte, Milan: Piazza Tito Minniti, mural by Camilla Falsini (source: camillafalsini.it, 2020).

refore, design is not merely the synthesis of specialised disciplinary methodologies, unable to view the landscape in its conflictual nature, but constitutes the infrastructure for articulating an approach capable of considering complexities among its variables.

As previously stated, the innovation of foundational paradigms in design disciplines stems from embracing issues related to climate change, a phenomenon steeped in a high degree of uncertainty (Antonini, 2019). The first stage, now largely surpassed, involved recognising human activities as contributing causes of climate change; the second stage arises from all other factors affecting the ability to determine its spatial, temporal, and potential developments, such as variability, insufficient predictive tools, and the future adaptation levels of cities and territories affected by it (Mantziaras, 2024). Under these conditions, the 'environmental question' becomes unavoidable (Conato and Frighi, 2020), paving the way for true disciplinary innovation. Uncertainty is no longer an antagonist variable to be overridden and subordinated to design-imposed order, but rather it is staged: the project can no longer aim for stable configurations but must create environments that accommodate processes refusing to crystallise into a definitive form (Koolhaas and Mau, 1995).

This shift requires moving beyond the rigid, inert city inherited from the 20th century, where Modernism prioritised order over complexity, creating a vulnerable ecosystem incapable of responding to stresses (Sendra and Sennett, 2022). Instead, it embraces a future open to various scenarios, according to an approach that seeks to design conditions rather than dictate the project (Tschumi, 2005). To achieve this, it becomes essential to question the 'time' variable: urban space design can no longer follow the traditional decision-design-transformation sequence, but must allow for continual revision of variables and responses, with a recursive and multidirectional flow.

Starting from the current crisis as a typological condition, the question this contribution explores is: how can the design process manage a 'non-linear' temporality (Manigrasso, 2019)? Two main phases can be identified, serving as references for revising the relationship between the key moments in the transformation processes. The first phase is the decision-making / design stage, understood as a reconsideration and methodological revision of how spatial phenomena and their relationship with urban form are analysed, planned, and strategically designed. In the current temporality, marked by the rigidity of various technical-administrative stages, the project must transition from a self-contained de-

terministic process to open-ended decision frameworks and adaptable arrangements during implementation (Gregory and Priore, 2007). This challenges the current model, where changes in forecasts necessitate a reassessment of political-administrative components, resulting in inertia that hinders adaptability to unpredictable scenarios.

The second phase involves the outcomes, which should differ from the idea of a final, definitive product; instead, the outcomes represent the final stage of a procedural journey that must be traceable, gaining cognitive value beyond being a mere case study. This opens the way for considering the outcomes as further points in the process of transformation (Amirante, 2018). From this different placement in the semantic-disciplinary framework, it becomes possible to view these final configurations not only as an opening to a plurality of uses and adaptive configurations but as an integral part of the redefinition of the process.

These two moments, syntheses of the urban transformation process, form the basis of the shift in perspective and paradigm, first identifying the current limitations affecting the system's inertia and adaptability. The analysis then moves on to a series of case studies to evaluate how projects independently moved away from traditional paradigms.

Introduction to the case studies | Based on these considerations, several examples have been selected that offer a view of the urban landscape, acknowledging its variability and uncertainty within project variables. To address complexity as a characteristic of contemporary projects, interventions from various periods were examined. In addition to completed projects, recent cases have been selected that synthesise some of the latest sustainability and climate change sensitivity strategies. Some examples show newly initiated evolutionary processes, though still offering significant insights for research.

Regarding the phases previously described, the first category of projects, case studies for the decision-making / design phase, includes interventions where the boundaries between planning, landscape design, and urban design are blurred. They adopt a common approach that transcends the specificity of individual disciplines, opening the door to future variability.

Next, case studies prompt reflection on the adaptability of specific urban spaces to the complexities and challenges posed by the contemporary context. These studies devise solutions that explicitly consider local variability as a project input. This dynamic adaptability, often arising from environmental phenomena, represents an approach that should be valued and considered in relation to other issues in the contemporary landscape.

Lastly, reference is made to complementary urban planning practices that contribute to the circularity currently hindered by procedural rigidity. The recovery of a bottom-up methodology, valuing temporary processes alongside existing formal tools, provides several case studies that must be considered when evaluating research advancements in present and future contexts.

Case studies for the decision-making / design phase | The growing awareness of future uncertainties drives the Masterplan to become an 'open framework'. A significant contribution to the research can be found in landscape organisation practices, which, unlike architectural projects, work with living, constantly evolving material (Celestini, 2016). This characteristic has fostered an approach to long-term planning, especially among landscape designers. Not surprisingly, Michel Desvigne (2009) proposed an innovative time-based approach to overcome the static nature of design tools, as seen in the Lyon Confluence Plan (Figg. 1, 2): The variable of time was used as a generative tool for the Masterplan, revitalising the district with 'intermediate natures', transitional spaces between the natural landscape and the built environment. These spaces enhance the territory through a temporary park system, anticipating future transformations (Pirina, Comi and d'Abramo, 2024).

The ability to anticipate the temporal evolution of a context, whether natural or human, presents a significant challenge in terms of complexity management and sustainable design. The selected examples demonstrate effective outcomes stemming from the methodological integration of landscape and Masterplan and the organic, diachronic combination of urban spaces and nature.

Since 2000, the City of Milan has embarked on an ambitious urban regeneration program, beginning with the Milano-Porta Nuova Plan. A significant complement came from FS-Sistemi Urbani's liquidation of disused railway areas. This collaboration led to projects like the Olympic Village for Milano-Cortina 2026, based on SOM's Masterplan (COIMA, 2021), and the former Scalo Farini area, a joint project by OMA and Laboratorio Permanente (Fig. 3). The project includes a development plan called 'Agenti Climatici' (lit. 'Climate Agents') also encompassing the disused Scalo San Cristoforo railway area, aiming at systemic mitigation of urban heat islands and pollution (OMA, n.d.; Laboratorio Permanente, n.d.).

The Scalo Farini intervention proposes four project configurations (Figg. 4-7), each responding to different development phases (Figg. 8, 9). The landscape is the main structuring element, with large natural public spaces intended for leisure activities and temporary installations. The complex will feature Milan's third-largest park, a key element for enhancing the quality of life in the consolidated city (COIMA, 2019).

The project's ambition is to imagine different future scenarios, that can adapt to contextual variables, such as climate change: habitat conditions, socio-economic conditions, and political instability represent variables with which the Masterplan seeks to come to terms, offering itself as a planning tool open to accommodate the developments planned for Milan 2030. At the moment, the Masterplan is in the development phase, and the available information is limited to the description of strategic objectives that are still far from the specific definition of a project; what certainly appears significant is the resolve to approach the planning stages with an approach that is dynamic, fluid and in some ways open to participation.

Around 2021, the City of Vancouver launched the Sea2City Design Challenge, exploring the future of areas threatened by sea-level rise and flooding. North Creek Collective's proposal redefines the intertidal zone to reimagine the city's relationship with the sea. Resilience, beyond physical and technological outcomes, is valued as a catalyst that includes the unknown and unexpected, especially the impossible futures (Knauf and Zarate, 2020) as process variables.

The Between Bridges project reshapes the coastline to allow flooding, accounting for tides and critical events (Fig. 10). It enhances energy dissipation while introducing reuse, demolition, and new construction systems. The goal is to build a new landscape, strengthening the continuity between urban and natural life. Methodologically, scalability and modularity are favoured to ensure adaptability to uncertain future conditions (North Creek Collective, 2022). To complement the project proposal, The Sea Level Rise Catalogue was also produced by MVRDV (Figg. 11, 12), a compilation of guidelines and typological solutions tailored to the intervention area but adaptable to similar situations (MVRDV, n.d.).

The project can be seen as a reference point for its ability to ensure continuity between project phases and the stakeholders involved, offering a view of the transformation process in which the project is not the absolute organising element but rather a deliberately adaptive and progressive tool. However, a limitation can be identified in the relationship between the strategic-programmatic phase and the outcomes, which, although clear in terms of objectives, fail to take shape as a concrete project. They remain functional to a diagrammatic representation that is inconsistent with the evolution and continuity the Programme aims to achieve. In this sense, the case study straddles the identified phases, highlighting the need for further development in the form of a specific redesign of the area, coherent with the proposed strategies.

Case studies for the ex-post phase | Just as the variable of 'time' can drive innovation in the paradigms of the design phase, the project outcomes can also surpass rigid permanence by embracing a fourth dimension. The uncertainty, arising from the inability to predict future needs with a reasonable degree of reliability, underscores the need to provide the city with spaces that allow for a variety of configurations and 'unpredictable' uses (Quinzii and Terna, 2022). The adaptation of cities to climate change has led to the creation of hybrid spaces where the mechanisms employed to increase urban resilience transcend purely technical and technological aspects, encouraging collateral and unconventional uses.

'Watersquares' are a typological reference for this approach, now included in the taxonomy of public spaces as locations that deliberately combine adaptive strategies with values such as socialisation and inclusion. One of the most famous examples is the Watersquare Benthemplein in Rotterdam (Figg. 13-15), designed by the De Urbanisten studio and completed in 2013. The everyday use of the square, intended for recreational activities, is transformed during emergencies, allowing for both spatial and functional reorganisation. The space becomes a green-blue infrastructure, contributing to climate resilience while simultaneously giving the neighbourhood a sense of identity (De Urbanisten, 2015). The square is designed as an integrated stormwater management system, where the depressions in the ground that host the play areas become retention basins during heavy rains. The collected water is then reused for irrigation to create a cooler, healthier microclimate.

This flexibility in design allows urban space to transform a challenge, flooding in urban areas caused by soil sealing, into an opportunity, adapting dynamically to environmental conditions while continuously ensuring safety and usability. Nearly a decade after its completion, the Dutch intervention serves as a practical reference for many public space revitalisation strategies, even though few have materi-

alised into actual projects. It is important to highlight the potential reasons for this lack of replication, most likely due to the high level of maintenance required for interventions that strongly combine technological aspects with public space features.

Another example that innovatively introduces water as a foundational element of public space is a project in Bangkok by the Chinese firm Turenscape, whose founder, Kongjian Yu, has been studying water management methods in human-modified landscapes since 1997. The monsoon climate of Thailand's capital city is marked by two main seasons: a hot, humid summer and a dry, cool winter. Climate change has worsened these conditions, with the intensifying of flooding during the wet season and prolonged droughts during the dry season. In response to this issue, the research project Sponge City (Turenscape, n.d.) aims to formalise a replicable and adaptable method of strategies to manage excess water, storing it for later use during dry periods. The expansion of Benjakitti Park (Figg. 16-19) through the creation of a rainforest, inaugurated in 2022 (Turenscape, 2023), is one of the most recent applications of this research.

In 2006, the activities of the Thailand Tobacco Monopoly, adjacent to the existing park which already contained Ratchada Lake, were relocated, and the former industrial site was converted into Forest Park: a new area dedicated to rewilding, aimed at recreating a wetland with a complex system of dams to manage flood events, while also encouraging biodiversity and purifying water through phytoremediation processes. This wetland consists of four large water basins; irregular areas were created in place of the cement lots from the former industrial site, with the rubble from the dismantled paving repurposed as the foundations for small artificial hills. This composition makes the islands porous and capable of absorbing and retaining excess water during monsoon rains.

The park adapts to changing conditions throughout the seasons, even accommodating the flooding of some walkways, thanks to the elevated Skywalk that ensures access across the green area. Unlike many spontaneous rewilding strategies within urban areas that focus solely on promoting biodiversity, this project combines ecological sustainability with the ability to transform space. Ecosystem restoration has proven essential in combating climate change. In contrast to many cases where environmental conservation happens at the expense of landscape regeneration, the small, inaccessible artificial islands of Benjakitti Park's wetland actively contribute to shaping the urban space.

The growth of aquatic and water-loving plants directly helps stabilise the embankments that buffer floodwaters, while their roots initiate biological processes that filter pollutants, aiding in the purification of the park's water. Finally, the juxtaposition between the adjacent Ratchada Lake and the new wetland reflects the shift in ecological awareness: on one side, an intrusive water management structure that has proven ineffective in flood control over the years; on the other, a new paradigm that works with the landscape to manage a complex project, integrating environmental engineering to create an infrastructure capable of defining a figurative and functional framework for urban regeneration.

Transitory and ephemeral projects | In the final analysis, another approach emerges that can bridge the gap between long-term organisational-spatial planning, typically dictated by traditional planning, and the evolving needs of the 'urban system'. For example, this approach can be found in the use of complementary urbanism. By embracing bottom-up transformations and interim uses, planning becomes progressive, offering light, experimental responses to contextual needs. This shift in perspective is not framed as urban resistance or opposition to structural planning but rather as a flexible approach that navigates the rigidities of the system. In this sense, as seen in the experiments with Superilles in Barcelona (Figg. 20, 21) and Piazze Aperte in Milan (Fig. 22), the physical transformations induced and anticipated by these phases of tactical urbanism introduce a 'temporary to permanent' process. This transitional stage integrates and enriches planning, allowing the identification and management of needs that would otherwise go unnoticed. It also fosters dialogue with various possible variables, including the non-linearity of time and the unpredictability of project goals.

Conclusions | The projects systematised here demonstrate that a new paradigm, necessary to address the contemporary state of hypercomplexity effectively, has already taken shape in recent years, independently and through multiple but related methods. The case studies presented carry dual significance: they show the practical applicability of a non-linear, multidirectional temporal approach, while also allowing the extraction of a grammar of actions from their analysis. The outcomes play a role not just as a product but, more importantly, as an element that can be reinterpreted and integrated into a process, contributing to the construction of a potential paradigm. The analysis of these examples also highlights a contrast between projects that follow a 'traditional' path and those where flexibility is not peripheral but essential to the identity and function of the project.

In this sense, tactical urbanism, intentionally kept separate from the two previously identified categories due to its position between planning and outcomes, between the ephemeral and the permanent, demonstrates the possibility of abandoning rigid urban project definitions in favour of a progressively defined, flexible framework that can adapt to non-arbitrarily predefined scenarios.

While this paradigm is still in its early, incomplete stages, some observations can be made about its potential evolution. It is clear that the complexities arising from climate change from the premises and starting point for disciplinary renewal, in which the project must act as a tool capable of translating the meaning of ongoing transformations into space (Montuori, Converso and Rabazo Martín, 2024). Starting from this reflection and explicitly identifying the direction of disciplinary development, it becomes necessary to ask whether this approach, capable of turning critical conditions into opportunities where traditional tools once faced operational limits, can be used to address all the complexities that create uncertainty and variability in the urban landscape.

While primarily addressing climate-environmental issues, the case studies open up the possibility of applying this paradigm to similar critical typology areas. This opens a perspective whose implications could potentially affect the urban ecosystem, identifying areas where the relationship between criticality limits and unexpressed potential is most evident, providing useful starting points for future efforts.

As previously mentioned, the relationship between the project and the administrative process reveals itself as both a barrier and an opportunity for evolution and reflection. An example of the extreme opposite of this barrier is the aforementioned tactical urbanism, which offers a reference point for a necessary revision of the regulatory-procedural system. This revision aims to create a paradigm capable of accommodating conditions that cannot be predefined due to factors whose articulation over time is neither linear nor conformable to a given form. This reflection requires a redefinition of planning objectives, not in performance terms, but as a framework that must accommodate non-predefined equilibrium conditions, valid until the system's evolution renders them obsolete, prompting a revision.

Addressing the issue from an opposite perspective, these conditions require a circular approach that can move from planning to outcomes and vice versa. Another key point identified in the case studies is the evaluation of outcomes, stripping them of their role as a final, finished product and instead using them experimentally and evolutionarily. The proposed project, taking the form of a tangible urban element, plays a dual role: experimental, as a device that measures the degree of coherence and adaptability to surrounding conditions, and processual, as a possible feedback element that must be reabsorbed into previous phases to give meaning to the desired circularity.

These premises open up the possibility of extending the proposed paradigm to encompass a heterogeneous set of complex, overlapping, and non-linear conditions. The difficulty in relating these conditions to current tools causes an evolutionary delay in the ability to adapt to contemporary demands. The problems associated with managing the historical urban landscape and the conflicts with tourism commercialisation – over-tourism – and its related socio-cultural impacts on the city underscore one of these urgent issues. This conflict highlights the struggle of the current planning model to respond to the dynamic forces at play.

The perspective offered in this contribution points to the potential for adopting adaptive transformative approaches, capable of remaining open both in outcomes and processes, beyond the landscape project limit. By using public space as the infrastructural framework for this potential transformation, an opportunity for reflection emerges, focusing on the relationship between the project and the management of complexities to identify new intervention methods for the territory: a new sustainability. This framework opposes the process of overwriting, which generates and exacerbates tensions and degradation, with the aim of translating contemporary tensions and complexities into space, turning them into opportunities for development and processes that can be integrated with existing implementation tools.

Acknowledgements

This contribution is the result of a shared reflection by the Authors. Specifically: the introductory paragraph and the 'Centrality of public space and the need for a new paradigm' paragraph are attributed to T. Berretta; the paragraphs 'Ecological crisis and complexity', 'Introduction to the case studies', and 'Case studies for the ex-post phase' to F. Desideri; the paragraphs 'Case studies for the decision-making / design phase', 'Transitory and ephemeral projects', and 'Conclusions' to M. Staltari.

References

Amirante, R. (2018), *Il progetto come prodotto di ricerca – Un'ipotesi*, LetteraVentidue, Siracusa.

Antonini, E. (2019), "Incertezza, fragilità, resilienza | Uncertainty, fragility, resilience", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 6, pp. 6-13. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/612019 [Accessed 28 September 2024].

Bianchetti, C. (2015), "Intimité, extimité, public – Riletture dello spazio pubblico", in *Territorio*, vol. 72, pp. 7-17.

Burrascano, M. (2008), *I frammenti della città europea – Città, architettura, progetto*, Alinea, Firenze.

Capuano, A. (2017), "Lo spazio pubblico tra memoria dell'antico e città del futuro", in *Rassegna di Architettura e Urbanistica*, vol. 151, pp. 18-26. [Online] Available at: quodlibet.it/rivista/9788822909015 [Accessed 28 September 2024].

Celestini, G. (2016), "The Edges of Urbanization – Landscape as a Manifold of Possibilities", in *Rassegna di Architettura e Urbanistica*, vol. 150, pp. 63-70.

Conato, F. and Frighi, V. (2020), "Progetto e complessità – Un approccio multiscalare per attualizzare gli strumenti di controllo del progetto | Design and complexity – A multiscale approach for updating the project's control tools", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 7, pp. 154-163. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/7162020 [Accessed 28 September 2024].

COIMA (2021), "Milano-Cortina 2026, un Villaggio Olimpico carbon neutral", in *coima.com*, 20/09/21. [Online] Available at coima.com/it/urban-stories/milano-cortina-porta-romana-villaggio-olimpico-aperto-sostenibile [Accessed 07 October 2024].

COIMA (2019), "Sistemi Urbani e COIMA SGR – Il team OMA e Laboratorio Permanente vincono il Concorso Farini", in *coima.com*, 11/04/2019. [Online] Available at coima.com/it/media/comunicati-stampa/sistemi-urbani-e-coima-sgr-il-team-oma-e-laboratorio-permanente-vincono-il-concorso-farini [Accessed 07 October 2024].

Crutzen, P. J. and Stoemer, E. F. (2000), "The Anthropocene", in *Global Change Newsletter*, n. 41, pp. 17-18. [Online] Available at: igbp.net/download/18.316f18321323470177580001401/1376383088452/NL41.pdf [Accessed 28 September 2024].

Dall'Olio, L. (2020), *Semplicità – Riflessioni su una dimensione dell'architettura*, Christian Marinotti, Milano.

De Capua, A. and Errante, L. (2019), "Interpretare lo spazio pubblico come medium dell'abitare urbano | Interpreting public space as a medium for urban liveability", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 6, pp. 148-161. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/6142019 [Accessed 28 September 2024].

de Solà-Morales, M. (2008), *A Matter of Things*, NAi Publishers, Rotterdam.

de Solà-Morales, M. (1995), "Terrain Vague", in Davidson, C. (ed.), *Anyplace*, MIT Press, Cambridge (US), pp. 118-123.

De Urbanisten (2015), "Watersquares", in *Lotus*, n. 157, pp. 84-87.

Desideri, P. (2023) "Introduzione – Le isole di calore urbano – Un tema reale per la progettazione architettonica e urbana", in Pone, M. (ed.), *Climactions – La mitigazione dell'Isola di Calore Urbana tra salute e pratiche di rigenerazione*, Quodlibet Studio, Macerata, pp. 7-10.

Desideri, P. and Di Veroli, F. (2023), *La fabbrica del progetto – Note a margine del disegno*, Quodlibet Studio, Macerata.

Desvigne, M. (2009), *Natures Intermédiaires – Les paysages de Michel Desvigne*, Birkhäuser, Basel.

Fabbri, E. (2020), *L'architettura come archè – Appunti sull'hortus apertus*, Edizioni Efesto, Roma.

Falzetti, A. and Minuto, G. (2023), "L'anima sostenibile del passato – Imparare dal presente per rigenerare spazi urbani inattuali | The sustainable soul of the past – Learning from the present to regenerate outdated urban spaces", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 109-118. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1392023 [Accessed 28 September 2024].

Gregory, P. and Priore, R. (2007), "Paesaggio", in *Enciclopedia Italiana – VII Appendice*, Treccani. [Online] Available at: treccani.it/enciclopedia/paesaggio_res-619e732e-9bc6-11e2-9d1b-00271042e8d9_(Enciclopedia-Italiana)/ [Accessed 06 October 2024].

Gregotti, V. (1993), "Gli spazi aperti urbani – Fenomenologia di un problema progettuale", in *Casabella | Il Disegno degli Spazi Aperti*, vol. 597-598, pp. 2-4.

Ingaramo, R., Negrello, M., Khachatourian Saradehi, L. and Khachatourian Saradhi, A. (2023), "Il progetto transcalare delle nature-based solutions per l'Agenda 2030 – Innovazioni e interconnessioni | Transcalar project of nature-based solutions for the 2030 Agenda – Innovations and interconnections", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 97-108. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1382023 [Accessed 28 September 2024].

INU – Istituto Nazione d'Architettura and BISP – Biennale dello Spazio Pubblico (2013), *Carta dello Spazio Pubblico*. [Online] Available at: biennalespaziopubblico.it/wp-content/uploads/2016/12/CARTA_SPAZIO_PUBBLICO.pdf [Accessed 07 October 2024].

Knauf, C. and Zarate, H. (2020), "Wonderful Design for the (un)known", in *Rumoer | Periodical for the Building Technologist*, n. 74, pp. 20-26. [Online] Available at: issuu.com/rumoer/docs/final_digital_copy_rumoer_issue74 [Accessed 07 October 2024].

Koolhaas, R. and Mau, B. (1995), *S,M,L,XL*, Monacelli Press, New York.

Laboratorio Permanente (n.d.), "Agenti Climatici – Milano, IT", in *laboratoriopermanente.com*. [Online] Available at: laboratoriopermanente.com/works/agenti-climatici/ [Accessed 28 July 2024].

Manigrasso, M. (2019), *La città adattiva – Il grado zero dell'urban design*, Quodlibet, Macerata.

Mantziaras, P. (2024), "La previsione strategica urbana nel contesto europeo – Le lezioni di Ginevra e Lussemburgo | Urban strategic foresight in European territories – Lessons from Geneva and Luxembourg", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 30-47. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1522024 [Accessed 28 September 2024].

MiBACT – Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo and Roma Capitale (2014), *Commissione paritetica MiBACT-Roma Capitale per l'elaborazione di uno studio per un piano strategico per la sistemazione e lo sviluppo dell'Area Archeologica Centrale di Roma*. [Online] Available at: cultura.gov.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/1421252504624_Commissione_paritetica_MiBACT_relazione_finale.pdf [Accessed 28 September 2024].

Montuori, L., Converso, S. and Rabazo Martín, M. (2024), "Spazi pubblici della transizione energetica – Un progetto a Nepi per il New European Bauhaus | Public spaces of the energy transition – A design in Nepi for the New European Bauhaus", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 138-147. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15102024 [Accessed 28 September 2024]

Morton, T. (2013), *Hyperobjects – Philosophy and Ecology After the End of the World*, Univerisity of Minnesota Press.

MVRDV (n.d.), "Sea2City Vancouver", in *mvrdv.com*. [Online] Available at: mvrdv.com/projects/828/sea2city-vancouver [Accessed 07 October 2024].

North Creek Collective (2022), *Sea2City Design Challenge – Design, Planning and Costing Brief*. [Online] Available at: vancouver.ca/files/cov/sea2city-design-brief-north-false-creek-report.pdf [Accessed 07 October 2024].

OMA (n.d.), "Scalo Farini", in *oma.com*. [Online] Available at: oma.com/projects/scalo-farini [Accessed 28 September 2024].

Pirina, C., Comi, G. and d'Abramo, V. (2024), "Per una transizione progettuale – Composizione e progetto del verde per la città contemporanea | For a design transition – Green composition and design for the contemporary city", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 124-137. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1592024 [Accessed 28 September 2024].

Quinzii, C. and Terna, D. (2022), *Milano Spazio Pubblico – Un Atlante in divenire dello spazio di tutti | Milan Public Space – An in-progress Atlas of everyone's space*, LetteraVentidue, Siracusa.

Robiglio, M. (2015), "Designing public space – Charters, technology and community", in *UrbanisticaTRE*, vol. 7, pp. 27-32. [Online] Available at: urbanisticatre.uniroma3.it/wp-content/uploads/2015/11/u3_quaderni_07_ low1.pdf [Accessed 28 September 2024].

Scolari, R. (2017), *Catastrofi e cambiamenti climatici – Sette riflessioni su pensiero e rappresentazioni del disastro tecno-naturale*, Mimesis, Milano.

Sendra, P. and Sennett, R. (2022), *Progettare il disordine – Idee per la città del XXI secolo*, Treccani Libri, Roma.

Tschumi, B. (2005), *Architettura e disgiunzione*, Edizioni Pendragon, Bologna.

Turenscape (2023), "Benjakitti ForestPark", in *turenscape.com*, 07/04/2023. [Online] Available at: turenscape.com/en/project/detail/4751.html [Accessed 07 October 2024].

Turenscape (n.d.), "Sponge City", in *turenscape.com*. [Online] Available at: turenscape.com/topic/en/spongecity/index.html [Accessed 07 October 2024].

UN-Habitat (2020), *The Value of Sustainable Urbanization – World Cities Report 2020*. [Online] Available at: unhabitat.org/sites/default/files/2020/10/wcr_2020_report.pdf [Accessed 28 September 2024].

UN-Habitat (2018), *City-wide public space strategies – A Guidebook for City Leaders – Advance review copy*. [Online] Available at: unhabitat.org/sites/default/files/2020/03/cwpss_guidebook_20200116.pdf [Accessed 28 September 2024].

UN-Habitat (2016), *Global Public Space Toolkit – From Global Principles to Local Policies and Practice*. [Online] Available at: unhabitat.org/sites/default/files/2019/05/global_public_space_toolkit.pdf [Accessed 28 September 2024].

Valera, L. (2019), "L'idea di natura in Arne Naess", in *Filosofia*, vol. 64, pp. 15-26. [Online] Available at: doi.org/10.13135/2704-8195/4056 [Accessed 28 September 2024].

Vidali, P. (2022), *Storia dell'idea di natura – Dal pensiero greco alla coscienza dell'Antropocene*, Mimesis, Milano.

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 88-97
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/1672024

Article Info

Received 11 September 2024
Revised 02 November 2024
Accepted 04 November 2024
Published 30 December 2024

CO(MPLEX)CITY
Utente come sensore urbano e mobilità accessibile nel progetto Mobiquity

CO(MPLEX)CITY
User as urban sensor and accessible mobility in the Mobiquity project

Nicola V. Canessa, Chiara Centanaro

Abstract

I nuovi strumenti tecnologici mediali e i processi di co-produzione utilizzati nel progetto in corso POR FESR Mobiquity – Soluzioni Condivise per una Mobilità Sicura e Inclusiva mirano ad aumentare la complessità di lettura della città, identificando in chi vive il territorio l'interlocutore per costruire progetti condivisi e migliorare l'accessibilità ai servizi urbani. Il progetto indaga il tema del trasporto pubblico accessibile a tutti come elemento di riprogettazione della città; tramite l'applicazione di processi transdisciplinari nella multicittà, l'indagine progettuale è costruita attraverso la relazione di dati quantitativi e qualitativi, oggettivi e soggettivi, in un ecosistema decisionale che vede coinvolte le Amministrazioni, l'Università, le Aziende pubbliche di trasporto e i cittadini, per il passaggio alla Co(mplex)city.

The new media technology tools and co-production processes used in the ongoing POR FESR Mobiquity – Shared Solutions for Safe and Inclusive Mobility project aim to increase the complexity of reading the city, identifying those who live the territory the interlocutor to build shared projects and improve the accessibility of urban services. The project investigates the theme of public transport accessible to all as an element of redesigning the city; through the application of transdisciplinary processes in the multicity, the project investigation is constructed through the relationship of quantitative and qualitative, objective and subjective data, in a decision-making ecosystem involving Administrations, the University, public transport companies and citizens, for the transition to the Co(mplex)city.

Keywords

accessibilità, utenze fragili, IoT, co-design, trasporto pubblico

accessibility, fragile users, IoT, co-design, public transport

Nicola Valentino Canessa, Architect and PhD, is an Associate Professor in Urban Planning at the Department of Architecture and Design, University of Genova (Italy), where he coordinates the GIC-Lab. He carries out research activities mainly in the field of the transformation of the city and contemporary territory. He is a Co-Principal Investigator of the PR-FESR Mobiquity project and Adjunct Component of the RAISE. Mob. +39 333/95.18.826 | E-mail: nicolavalentino.canessa@unige.it

Chiara Centanaro, an Architect with a PhD, is a Research Fellow in Urban Planning at the Department of Architecture and Design, University of Genova (Italy). She is part of the GIC-Lab research group and the RAISE Innovation Ecosystem critical mass. Her research investigates the relationships between multimedia technologies and urban design through participatory co-design processes. Mob. +39 347/65.24.024 | E-mail: chiara.centanaro@edu.unige.it

Il contributo esplora le possibilità nei sistemi IoT e nelle piattaforme di gestione dei dati urbani riguardo ai processi di co-progettazione della città in una visione relazionale (Harvey, 1978) e umanista (Vallega, 2004), dove la città rappresenta un ambiente in cui si intrecciano relazioni basate su sistemi di segni complessi (Choay, 2000). In quest'ottica il contributo descrive sia lo stato di avanzamento del progetto in corso POR FESR Mobiquity – Soluzioni Condivise per una Mobilità Sicura e Inclusiva[1] per la Città di Genova sia le implicazioni progettuali sull'empowerment dei cittadini nella governance della città (Ratti and Offenhuber, 2014).

Attraverso una iniziale panoramica dello stato dell'arte dell'applicazione di nuovi processi decisionali nei sistemi della mobilità si esamina il contesto sulla relazione tra città, cittadini e tecnologia, in una progettazione ecosistemica di interfacce fisiche e digitali per aumentare l'accessibilità sia fisica che digitale. I nuovi strumenti tecnologici mediali e i processi di co-produzione utilizzati nei progetti descritti amplificano la complessità di lettura della città.

La seconda parte del contributo descrive l'avanzamento del progetto Mobiquity per migliorare l'accessibilità ai servizi di trasporto per le Persone con Mobilità Ridotta, attraverso Intelligenza Artificiale, sensori e dispositivi IoT per facilitare spostamenti sicuri e coinvolgere gli utenti finali nel miglioramento di servizi / infrastrutture di trasporto, attraverso tavoli di lavoro tra aziende pubbliche, Pubblica Amministrazione (PA), associazioni di cittadini, progettisti e Università. Il processo di sviluppo della soluzione non punta a un risultato unico e definitivo, ma a una serie di ipotesi che si perfezionano continuamente grazie ai contributi degli utenti (De Carlo, 2013).

Obiettivo del contributo è identificare la logica strategica e informativa del progetto e indagare come le informazioni interagiscano e coabitino, come siano coordinate e collegate e al tempo stesso individuali e intrecciate: «[…] combined, their force multiplies in a way which is neither regular nor homogeneous, but rather indeterminate: as open as it plural» (Gausa, 2003, p. 124), in un ecosistema di scambio tra dati quantitativi e qualitativi, tra cittadini, progettisti e PA, in un approccio relazionale e trasversale, olistico e immaginativo.

Città e dati | L'attuale realtà tecnologica si inserisce all'interno della ristrutturazione del sistema capitalista identificato dal sociologo Manuel Castells (2014) come 'informazionalismo', in cui il comportamento sociale è organizzato attorno a reti di informazioni elaborate elettronicamente. Il circuito degli scambi elettronici istantanei crea un nuovo ambiente spaziale complesso, in cui gli utenti si spostano tra spazi che sono fisici ma sempre più virtuali. Grazie alle tecnologie informazionali è possibile coinvolgere cittadini, architetti, attivisti, associazioni nella gestione della città, modificando i processi progettuali, considerando il fatto che, secondo Paul Nakazawa (cit. in Sayegh et alii, 2021), l'innovazione dovrebbe essere più metodologica che tecnica, promuovendo una discussione inter-scalare. Le proporzioni e la forma dell'associazione umana sono plasmate dalla tecnologia (McLuhan, 1967) che in questo contesto facilita la partecipazione dei cittadini alla governance: i problemi più grandi che le città affrontano non sono legati all'efficienza, ma alla partecipazione (Goldsmith and Crawford, 2014) e al diritto alla città (Harvey, 2012).

L'approccio bottom-up inizia dal livello molecolare (Deleuze and Guattari, 1987) per costruire un sistema complesso attraverso il coinvolgimento attivo nel processo decisionale di un crescente numero di persone (Ratti and Claudel, 2016). Inoltre la gestione della complessità delle informazioni necessita di interfacce che possano umanizzare la tecnologia (Sayegh et alii, 2021), generando livelli multipli di interattività per coinvolgere i cittadini nella co-progettazione dell'ambiente urbano (Trisciuoglio, 2021).

A partire dai primi esperimenti che hanno introdotto nuove forme di interazione tra cittadini e Pubblica Amministrazione e coinvolto una grande parte di cittadinanza, sono state individuate piattaforme recenti che integrano diversi livelli di scambio tra gli stakeholders, attraverso strumenti sia digitali che fisici, nel tentativo di costruire nuovi ecosistemi decisionali. L'introduzione di New Urban Mechanics (Ratti and Claudel, 2016) e dell'interfaccia Customer Relationship Management (CRM) dal 2010 a Boston è uno dei primi esperimenti di convergenza tra cittadini e PA. Utilizzando le tecnologie ICT si aumentano le attività di empowerment dei cittadini (Magarò and Baratta, 2019), la consapevolezza delle problematiche dei sistemi urbani e si incoraggiano i cittadini a cercare attivamente soluzioni (Bevilacqua et alii, 2020). Anche New York City ha lanciato il Community Data Portal, raccolta online di mappe di dati interattive accessibili, istruendo i leader dei cinquantanove Community Districts sull'uso del portale: la municipalità ha avuto a disposizione un flusso continuo di soluzioni ai problemi, generando una relazione proattiva diventata la chiave per migliorare le politiche mentre i cittadini hanno potuto partecipare attivamente (Goldsmith and Crawford, 2014) grazie all'accessibilità di dati, e tecnologie. Entrambi i progetti sono stati pionieri nella definizione di una nuova metodologia 'peer production' in cui la parte formativa nel modello collaborativo diventa lo strumento per ampliare l'impatto e integrare nuovi ecosistemi decisionali nelle politiche urbane.

Negli ultimi anni sono emerse piattaforme come il Waag di Amsterdam, attivo dal 1994 su progetti di 'civic interaction design'. Il Waag, che è strutturato in dodici laboratori di ricerca che conducono progetti legati alla tecnologia e alla società, ha ottenuto il ruolo di Futurelab dal Ministero olandese dell'Istruzione, della Cultura e della Scienza[2]. Il progetto europeo AR4CUP 2019 H2020 ha messo a punto strumenti di realtà aumentata per facilitare la pianificazione urbana in modo collaborativo: nel servizio vengono integrati strumenti di analisi dei dati per raccogliere i feedback (Tucci and Ratti, 2022) degli utenti, con l'obiettivo di aiutare i progettisti a perfezionare i progetti urbani[3] verso processi di co-creazione (Mahmoud et alii, 2021).

Lo strumento è stato applicato il 16 dicembre 2019 al progetto Vitae a Milano, vincitore del bando internazionale Reinventing Cities, promosso da C40 Cities Climate Leadership Group per la riqualificazione dell'area del Serio nel quartiere di Porta Romana. L'applicazione si basa sul progetto realizzato da Covivio, Carlo Ratti Associati, Habitech e altri partner tra cui il Politecnico di Milano (Department of Architecture and Urban Studies, Laboratorio di Simulazione Urbana, Prof. Fausto Curti). Sarà da capire in applicazioni future se i cittadini verranno coinvolti nel processo decisionale e quindi in che modo i feedback saranno integrati nei progetti.

Tra le piattaforme open source sviluppate dalla PA è di interesse ParteciPa, promossa dal Dipartimento della Funzione Pubblica e dal Dipartimento per le Riforme Istituzionali della Presidenza del Consiglio dei Ministri Italiano: la piattaforma consente di partecipare alle consultazioni attive prendendo parte al dibattito, inserendo proposte, rispondendo a questionari, seguendo webinar o partecipando agli incontri[4]. Tra i progetti conclusi è da citare Verso una Piena Inclusione delle Persone con Disabilità che, nella prima fase della consultazione aperta tra il 20 ottobre al 20 novembre 2021 ha ricevuto 302 proposte (ParteciPa, 2021). Nonostante la grande potenzialità della piattaforma, soprattutto per il tentativo di estendere il processo sia a strumenti digitali che a incontri fisici, l'impatto è ancora limitato: l'implementazione di processi formativi diffusi potrebbe ampliarne l'applicazione.

La piattaforma Decim, che in catalano significa 'decidiamo', è progettata per promuovere la democrazia partecipativa; sviluppata interamente come software libero e collaborativo, permette di configurare una piattaforma web destinata a incentivare la partecipazione democratica. Tra i primi interventi è stata realizzata la pianificazione strategica del Barcelona City Council nel 2016: «[…] the process involved 39,049 citizens, 24,028 of which participated through the decidim.barcelona, and 15,021 face to face; 1,741 organisations participated in the process (339 through the web and 1,494 via physical meetings)» (Barandiaranet alii, 2024, p. 25).

La partecipazione di cittadini nella definizione di bisogni e strumenti per il miglioramento della qualità urbana è il tema cardine dello Spoke 1 del progetto europeo PNRR RAISE dal titolo Robotics and AI for Socioeconomic Empowerment[5] ancora in corso che, attraverso robotica e intelligenza artificiale, sviluppa soluzioni per migliorare il livello di coinvolgimento e la qualità dell'interazione tra individui e contesto urbano. Obiettivo è definire infrastrutture per comunicare lo 'stato umano' e lo 'stato della città' attraverso dispositivi che reagiscano allo stato del contesto fisico. Le strategie di rigenerazione mirano a coinvolgere l'ecosistema in processi partecipati che affrontano il tema dell'inclusione: l'attività si svolge all'interno dei Living Labs per accelerare il processo di adozione delle tecnologie in processi di co-design. Il processo di adozione delle tecnologie e la metodologia di coinvolgimento di cittadini e Pubblica Amministrazione nel processo è in fase di sperimentazione.

Mobiquity | Il progetto Mobiquity ha come obiettivo la riduzione del gap di accessibilità al trasporto pubblico per le Persone a Mobilità Ridotta (PMR) che, inevitabilmente, costituisce anche un divario in termini di opportunità di accesso ad attività e servizi essenziali (Milocco Borlini, Pecile and Conti, 2023). Tale obiettivo viene sviluppato perseguendo tre distinti target complementari interconnessi: miglioramento accessibilità ai servizi di trasporto; facilitazione degli spostamenti nello spazio urbano in condizioni di sicurezza; coinvolgimento degli utenti nel miglioramento di servizi / infrastrutture di trasporto.

Dal punto di vista delle soluzioni digitali si sta lavorando sulla realizzazione di una suite integrata di applicazioni Vehicle-to-Pedestrian (V2P) e Infrastructure-to-Pedestrian (I2P) in grado di agevolare gli spostamenti delle persone con disabilità in piene condizioni di comfort e sicurezza (Bolici and Gambaro, 2020): le soluzioni proposte non solo assisteranno gli utenti PMR attraverso la messa a disposizione di informazioni specifiche per meglio ac-

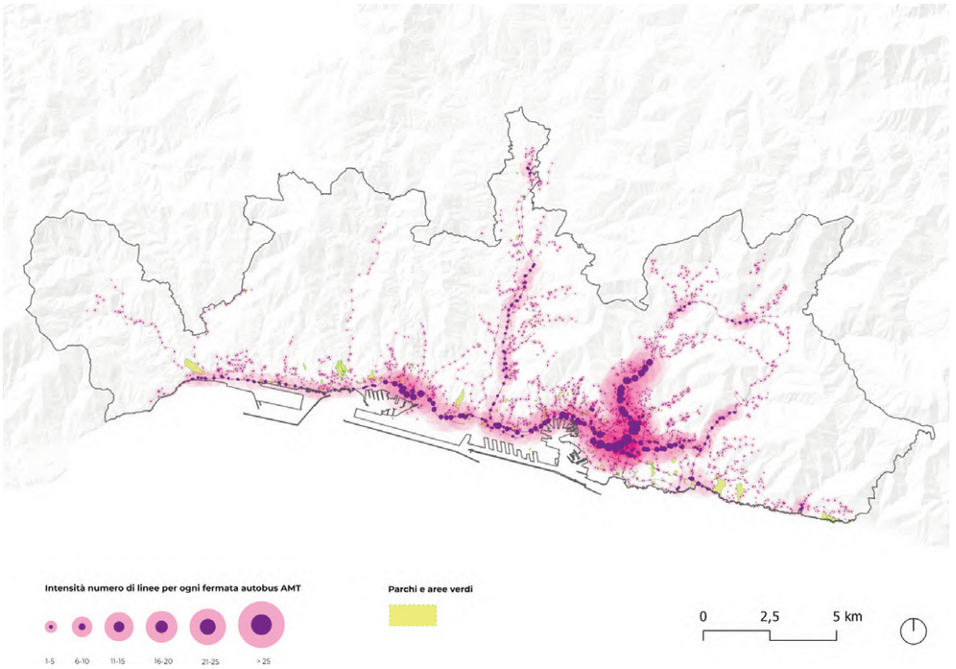
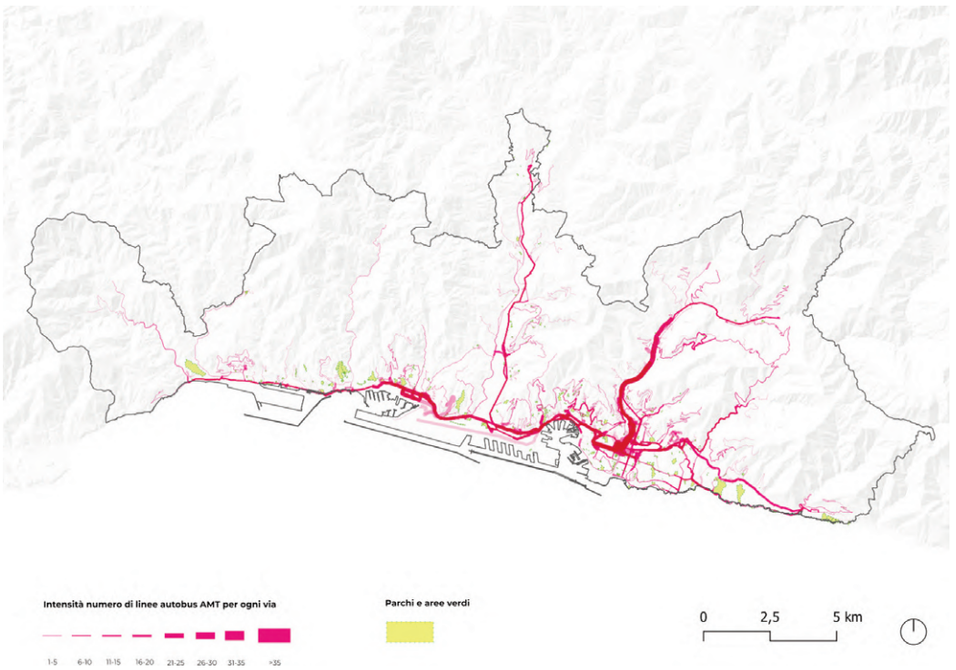


Fig. 1 | Number of bus lines passing through each Genova stop (credit: project Mobiquity, 2024).

Fig. 2 | Intensity of bus passages for each street in Genova (credit: project Mobiquity, 2024).



Next Page

Fig. 3 | Distribution and the reference territory of the bus stops with a buffer of 250 metres for each point (credit: project Mobiquity, 2024).

Fig. 4 | Population distribution with a 200-metre grid, bus stops as point elements, and public transportation lines in Genova (credit: project Mobiquity, 2024).

cedere al servizio e usufruirne, ma grazie all'utilizzo combinato di tecnologie IoT e algoritmi di AI appositamente sviluppati potranno individuare situazioni ambientali particolari su cui intervenire direttamente per ridurre una barriera di accessibilità o prevenire una situazione di pericolo.

L'obiettivo di fondo è consentire all'utente PMR di vivere la propria esperienza di viaggio in pieno comfort e sentendosi sempre sicuro e a proprio agio. L'ambizione del progetto è individuare un set di soluzioni per la mobilità inclusiva in grado di far avanzare lo stato dell'arte in materia di tecnologie assistive, anche grazie a un approccio di co-design. Si è infatti assegnato un ruolo centrale alle community di utenti PRM nel processo di identificazione e progettazione delle soluzioni digitali di mobilità inclusiva, grazie al coinvolgimento delle principali associazioni nazionali[6] che hanno già espresso il loro supporto al progetto.

L'empowerment degli utenti corrisponde a una loro specifica richiesta, sintetizzata nel motto 'nothing about us without us' (Werner, 1998): per realizzare una società realmente inclusiva, nessuna scelta, politica o progettuale, deve essere assunta senza il diretto e totale coinvolgimento dei destinatari finali, in questo caso le comunità dei disabili.

Durante la ricerca sono state analizzate le condizioni di accessibilità territoriali che sono state graficizzate attraverso mappature (Figg. 1-10) del sistema dei trasporti pubblici e delle singole fermate, evidenziando i luoghi con criticità che richiedono una modifica fisica per migliorare l'accessibilità e verificando dove questo sia fattibile anche attraverso interventi immateriali. In parallelo, attraverso tavoli di incontro e living lab, è stato analizzato come i PMR reagiscono sia agli strumenti di comunicazione, tradizionali e dedicati, e come affrontano le diverse condizioni ambientali legate agli spostamenti; l'obiettivo è sviluppare un sistema di esigenze personalizzabili, capace di offrire soluzioni su misura sia per le interfacce che per i servizi.

L'innovazione di questo approccio risiede nel ripensare il concetto di accessibilità nel trasporto pubblico. Nelle politiche europee si parla sempre più di 'accessibilità per tutti', intendendo che gli spazi urbani, e in questo caso i servizi di trasporto, siano fruibili da chiunque, indipendentemente dalla presenza di disabilità. Questo approccio tuttavia non esclude la possibilità di integrare livelli di personalizzazione, specialmente nei servizi, in particolare quelli immateriali: l'obiettivo è permettere a ciascun

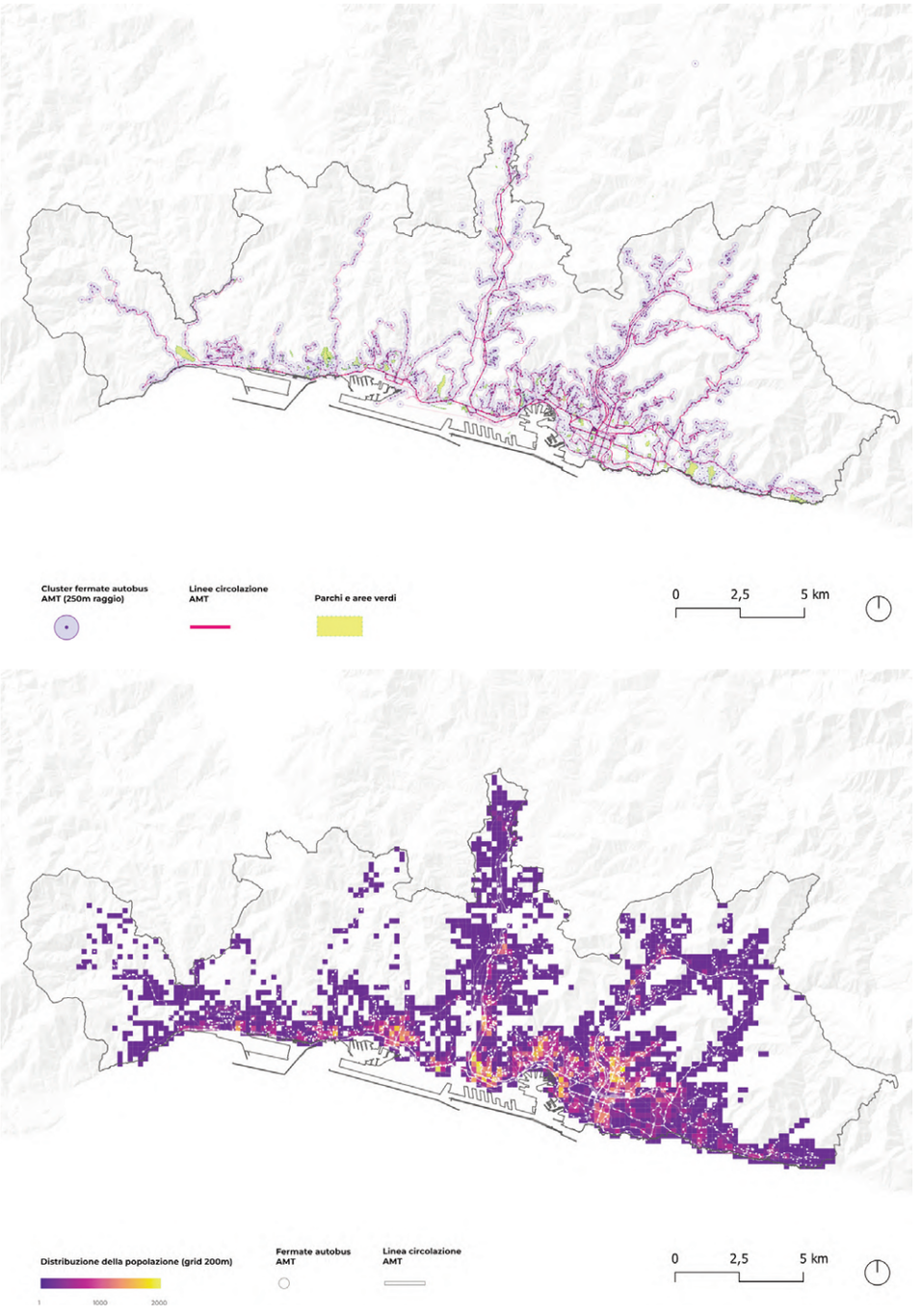
utente di vivere un'esperienza di accessibilità 'su misura' e non semplicemente accettare soluzioni imposte dai decisori pubblici o privati. Anche se oggi questa visione potrebbe sembrare complessa, dato che le nostre città e i loro servizi non sono ancora pienamente accessibili a tutte le categorie di utenti, si ritiene che sia possibile sviluppare entrambe le prospettive in parallelo: la ricerca infatti sta esplorando e sperimentando nuove soluzioni in questa direzione.

Mobiquity, con la sua focalizzazione sull'accessibilità e l'inclusione dei trasporti pubblici, offre un'opportunità unica per ripensare radicalmente il modo in cui progettiamo e programmiamo le nostre città. Questa visione innovativa trascende la mera conformità alle normative sull'accessibilità, promuovendo un approccio proattivo e inclusivo alla progettazione urbana. Attraverso l'integrazione di tecnologie digitali, l'ottimizzazione delle infrastrutture esistenti e la promozione di partnership pubblico-private, il progetto mira a trasformare la città in un luogo più vivibile e sostenibile, ottimizzando, attraverso la mobilità accessibile, la fruizione dello spazio pubblico e dei servizi.

Questo approccio si traduce in una serie di benefici tangibili, tra cui un miglioramento della qualità della vita dei cittadini, una riduzione dell'impatto ambientale e uno stimolo all'economia locale; in particolare una pianificazione urbana che privilegi la mobilità sostenibile, integrando diverse modalità di trasporto e promuovendo l'uso di soluzioni a basso impatto ambientale, consente di creare ambienti urbani più inclusivi e resilienti.

L'obiettivo del progetto è integrare singoli processi, gestiti tramite l'applicazione co-creata insieme alle associazioni coinvolte nel Living Lab, con la trasformazione puntuale dello spazio urbano. Queste modifiche locali, messe in relazione alla rete capillare del sistema dei trasporti, diventano incipit di trasformazione urbana intorno alle singole fermate e ai luoghi di interscambio. Operativamente, tramite la sensorizzazione delle fermate e dei mezzi del trasporto pubblico urbano (Fig. 11), si rende più facilmente individuabile il punto di salita (ad esempio da non vedenti e ipovedenti), si informa sulla disponibilità o meno di posti riservati per PRM a bordo del veicolo e si possono ottenere differenti informazioni, sia visive che audio, sugli autobus in arrivo.

In aggiunta l'applicazione premetterà all'utente di prenotare una fermata sia in banchina che a bordo del mezzo, avere informazioni sul tragitto e su eventuali deviazioni, ma soprattutto informare il conducente della presenza in banchina di un PRM e delle sue esigenze. E ancora, si può lavorare sull'intorno della fermata, ad esempio rendendo intelligente un semaforo per agevolare l'attraversamento in sicurezza dei PRM o facilitando l'individuazione di parcheggi dedicati nei punti di interscambio: l'idea è che queste piccole attività, spesso digitali, che necessitano una trasformazione dello spazio fisico siano legate a un sistema più ampio di trasformazione dei percorsi ciclopedonali urbani, degli spazi verdi e della sosta.



Mobilità e accessibilità | Il progetto si fonda sui concetti chiave della UN Convention on the Rights of Persons with Disabilities (UNCRPD) che le definisce come «[…] persons with disabilities […] include those who have long-term physical, mental, intellectual or sensory impairments which in interaction with various barriers may hinder their full and effective participation in society on an equal basis with others» (UN, 2014, p. 17). Una di queste barriere è l'accessibilità, poiché per le persone con difficoltà motorie, il gap di accessibilità di un mezzo di trasporto pubblico si traduce nel gap di opportunità rispetto ad una vita 'normale': diventa difficile usufruire di attività e servizi essenziali (lavoro, istruzione, sanità, acquisti, ecc.), così come potersi costruire un altrettanto importante spazio sociale (frequentare amici, partecipare ad attività culturali e ricreative, usufruire del proprio tempo libero, ecc.).

L'Unione Europea, così come tutti gli Stati Membri, ha ratificato la UNCRPD e si è quindi impegnata ad assicurare piena accessibilità dei servizi pubblici, inclusi i trasporti, e a intraprendere misure appropriate affinché gli operatori del settore considerino tutti gli aspetti dell'accessibilità per le persone con disabilità (European Commission, 2011). In realtà la libertà di mobilità è ancora oggi un diritto negato o comunque fortemente compromesso per gran parte dei cittadini italiani ed europei: si stima che in Italia le persone con disabilità siano 3,5 milioni (Morino, 2023) mentre in Europa tale numero arriva a 87 milioni (European Council, 2024). Tali numeri raddoppiano se consideriamo tra le PMR anche anziani con difficoltà motorie, persone con invalidità temporanee o con particolari impedimenti (famiglie con bimbi e passeggino).

Solo nel 2011 l'Unione Europea ha emesso il Regolamento (EU) n. 181/2011 relativo ai diritti dei passeggeri nel trasporto pubblico (European Parliament and Council of the European Union, 2011), anche se è rimasto una soluzione non soddisfacente per gli utenti con disabilità: come evidenziato da

uno studio recente a livello europeo (TRIPS, 2020), le persone non apprezzano soluzioni specifiche che rischiano di essere percepite come discriminatorie, poiché contribuiscono alla segregazione sociale mentre la vera inclusione si realizza eliminando le barriere e garantendo che tutti i cittadini possano accedere agli stessi servizi. Un passo avanti solo parziale, a livello legislativo, si è avuto con l'emissione dell'European Accessibility Act (European Parliament and Council of the European Union, 2019), recepito in Italia con il recente Decreto Legislativo 27 maggio 2022, n. 82 (Presidente della Repubblica, 2022) che affronta in misura più diretta il tema della mobilità, definendo specifici requisiti di accessibilità per i servizi di trasporto.

L'accessibilità e la personalizzazione del trasporto pubblico diventano tematiche progettuali chiave per implementare nuove interfacce, piattaforme (Barns, 2018) e nuove metodologie di lavoro anche attraverso i workshop di co-design (Fagnoni and Olivastri, 2019) nei quali si identificano strumenti di analisi dei dati, implementazione tecnologica e modifica spaziale. Lo spazio digitale e lo spazio fisico si fondono in ciò che Castells (2014) definisce 'virtualità reale' (cit. in Brotton, 2013) per generare un'esperienza di viaggio personalizzata all'interno di un sistema collettivo. Questa sperimentazione metodologica apre a possibili nuovi paradigmi per ritrovare una 'scala umana' nella complessità di multipli livelli di lettura di dati, reti e processi.

L'interpretazione dello spazio urbano cambia in relazione alla comprensione soggettiva, ai sensi che ogni individuo può utilizzare e alle sue possibilità di movimento nella città. Aggregare le informazioni delle esperienze dello spazio, identificare diverse linee di percorsi e differenti necessità di uso a partire dall'accessibilità o meno dei luoghi e dei servizi di mobilità introduce nuove dimensioni qualitative e quantitative nella lettura trans-scalare della città e dei suoi network. Gli strumenti di mappatura che legano le diverse dimensioni di lettura delle componenti urbane diventano la base «[…] to add value and enrich life across a significant segment of the population. At this point, people will be empowered to use such tools creatively and in a personally meaningful way» (Claudel, Nagel and Ratti, 2016, p. 353).

Le morfologie urbane hanno un profondo impatto «[…] on the emotional states and behaviors of people» (Sayegh et alii, 2021, p. 97) e contemporaneamente anche le «[…] interactive interfaces, gestural interactions, and sensory stimuli converge to engender multisensory environments that elicit profound emotional and cognitive response» (Safieddine, 2024, p. 53). Oggi è possibile misurare l'esperienza soggettiva attraverso interviste, questionari o dispositivi mobili (Sayegh et alii, 2021) anche grazie alle 'tecnologie indossabili'. In che modo è possibile quindi costruire letture complesse dei sistemi di mobilità correlando le 'digital personas' con le 'physical identities' (Safieddine, 2024)?

Con il progetto Mobiquity la tecnologia interattiva contribuisce sia alla lettura complessa dello spazio urbano sia alla definizione di strumenti e interfacce fisiche / virtuali di gestione personalizzata dei sistemi urbani. A partire dall'esperienza del corpo umano nello spazio fisico e dall'esperienza digitale dell'interfaccia, vengono creati tavoli di lavoro per sviluppare una progettazione relazionale e ibrida, utilizzando una tecnologia personalizzata e non ne-

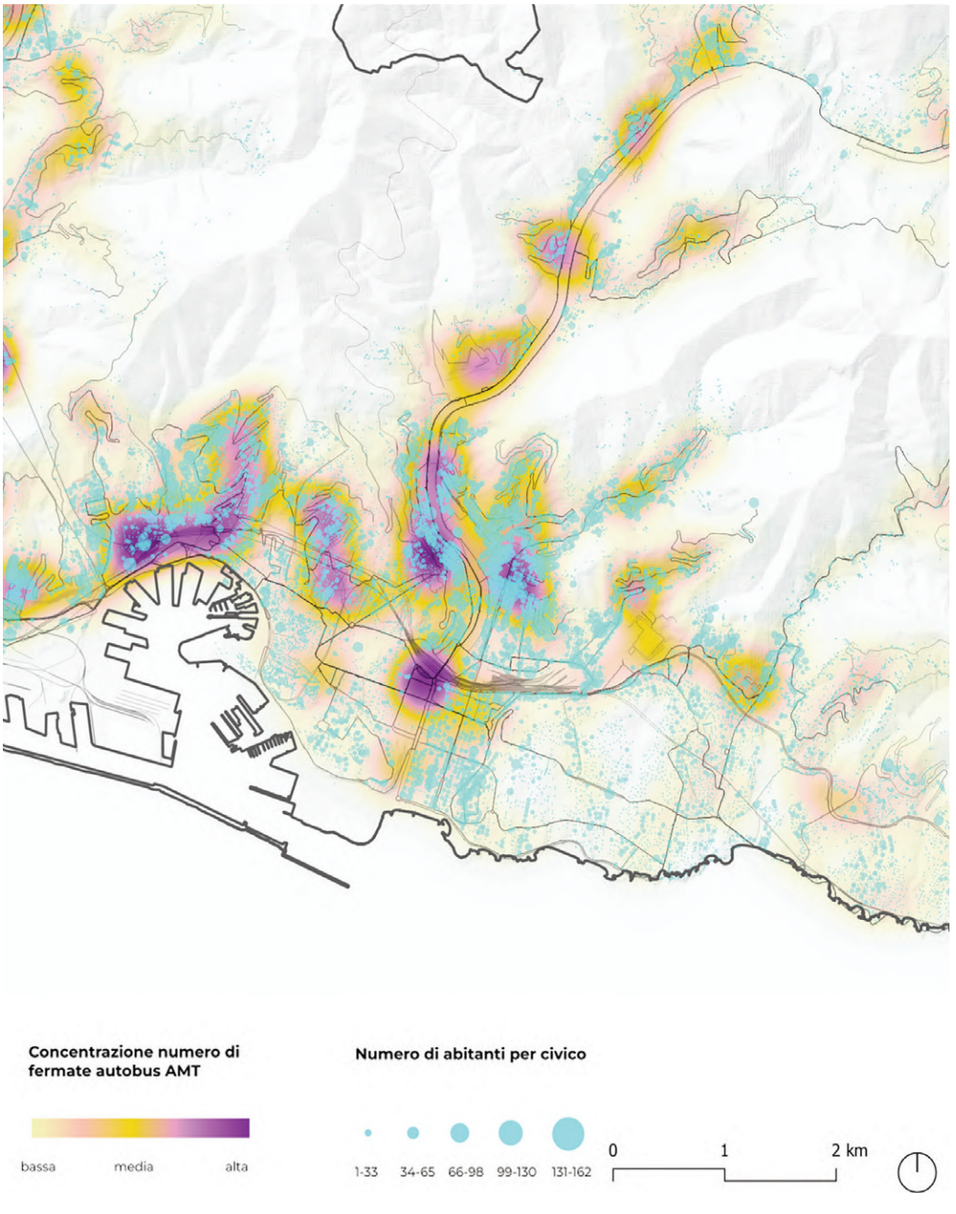


Fig. 5 | Zoom map of downtown Genova and Val Bisagno for the concentration of the number of stops in the area with the population distribution for each civic overlaid (credit: project Mobiquity, 2024).

cessariamente visibile. Infatti secondo Crawford e Goldsmith (2014, pp. 63, 64) «[…] social engagement […] requires five characteristics: well-visualized data, savvy intermediaries, a governmental platform that works, personalized responses from city hall, and resulting real-time information». Il progetto identifica azioni e reazioni tra corpo e interfaccia fisica e digitale, in cui lo spazio-interfaccia comunica al corpo dell'utente le informazioni e l'utente può di conseguenza comunicare col sistema e l'interfaccia per una personalizzazione sensoriale del viaggio, inclusione, accessibilità e un continuo miglioramento dell'interazione e dello spazio.

Conclusioni | Parlare oggi di sicurezza e qualità della vita nel territorio, fa immaginare soluzioni innovative per la gestione di aree urbane, con particolare riferimento alla mobilità intelligente delle persone. Infatti la Smart Mobility include tematiche esplicitamente riferite alle reti di trasporto delle persone, all'interazione del trasporto pubblico con il cittadino (raccolta e diffusione informazioni), alle tecnologie per la sicurezza e il comfort nei trasporti, tutte tematiche particolarmente rilevanti per l'innovazione degli ambienti urbani e la transazione da smart city a smart inclusive communities.

Molti sono gli ostacoli verso una trasformazione consapevole in spazi accessibili delle nostre città, soprattutto di carattere sociale e imprenditoriale, nel senso che generalmente non l'accessibilità dei PMR non è considerata remunerativa dalle società di trasporto. Tuttavia tale affermazione è vera solo in parte, perché le soluzioni che caratterizzano Mobiquity possono avere un ritorno economico quando, sebbene nell'immaginario comune siano indirizzate a facilitare il problema di pochi, diventano strumento per migliorare la qualità della vita e del servizio pubblico di tutta una comunità. In questo senso partire dal virtuale per poi avere ricadute nello spazio fisico, aiuta a ridurre l'impatto economico degli interventi, ma anche a rendere più consapevoli gli utenti delle difficoltà e delle possibilità di intervento.

Infatti se è vero che le versioni 'smart' delle tecnologie assistive, come sedie a rotelle elettriche e digitalmente abilitate, bastoni smart con GPS, occhiali per la realtà aumentata, 'wearable' con sensori, robot assistenti e molte altre soluzioni basate su IoT, possono migliorare l'accesso ai servizi di trasporto e colmare anche il divario degli aggiornamenti infrastrutturali (UITP, 2020), è anche vero che sempre di più è possibile creare un canale personalizzato tra utente e municipalità che migliori sia l'autostima urbana dei cittadini che la fruibilità dello spazio e dei servizi pubblici.

Il progetto Mobiquity lavora su un frammento legato alle politiche sociali urbane, quello della mobilità inclusiva, utilizzando soluzioni digitali che contribuiscono a rendere maggiormente inclusivi i servizi di trasporto, riducendo marginalizzazione e diseguaglianze. Un'ampia gamma di possibilità può essere sbloccata utilizzando i progressi delle tecnologie assistive per migliorare l'accessibilità nella mobilità urbana e di conseguenza ai processi di pianificazione, gestione e trasformazione della città.

Quello che si è potuto vedere nelle fasi di indagine e partecipazione nei Living Lab con le associazioni di utenti fragili è la possibilità di utilizzare i dati raccolti (Candito et alii, 2019) e le applicazioni legate alla vita quotidiana (come quelle per il trasporto pubblico) come piattaforme di partecipazione e di informazione bidirezionale. Se da un lato l'utente ottiene più informazioni sul suo itinerario di viaggio potendo anche interagire con la società che gestrice il servizio per segnalazioni, dall'altro lato la città ottiene informazioni, anonime, su flussi di utenti che permettono una più coerente programmazione urbana.

Per il futuro del progetto si ipotizza lo sviluppo di un sistema di monitoraggio (basato su algoritmi di intelligenza artificiale) dell'affollamento delle fermate opportunamente progettate per elaborare flussi video e immagini acquisite da telecamere. Inoltre è al vaglio lo sviluppo di un sistema di previsione dell'affollamento dei mezzi, sia per dare le maggiori informazioni possibili a tutti gli utenti, sia per migliorare la programmazione della mobilità urbana; definire infatti strumenti previsionali (nel breve / medio periodo) sullo stato di autobus e fermate può essere utile per supportare le decisioni degli operatori del trasporto pubblico, per esempio per variare ove possibile la frequenza dei bus e lavorare nella direzione di una riduzione del traffico privato.

Le soluzioni sviluppate nell'ambito di Mobiquity non si limitano a risolvere criticità locali, ma sono concepite per essere replicabili in un contesto europeo poiché la questione dell'accessibilità è un tema trasversale che coinvolge numerosi Paesi, ognuno con le proprie peculiarità, ma con una base comune di esigenze: la speranza è che quando il 28 giugno 2025 l'European Accessibility Act (European Parliament and Council of the European Union, 2019) entrerà in vigore possa fornire una forte spinta a tutti gli operatori del settore della mobilità pubblica per rendere più accessibili i propri servizi.

The contribution explores the possibilities that IoT systems and urban data management platforms bring to the city's co-design processes in a relational (Harvey, 1978) and humanist (Vallega, 2004) vision, where the city is an environment in which relationships based on complex sign systems interweave (Choay, 2000). From this perspective, the contribution describes both the progress of the ongoing POR FESR Mobiquity – Shared Solutions for Safe and Inclusive[1] Mobility project for the City of Genova and the project implications on citizen empowerment in the governance of the city (Ratti and Offenhuber, 2014). Through an initial overview of the state of the art, the application of new decision-making processes in mobility systems emerges as the context for studying the relationship between cities, citizens and technology in an ecosystem-based design of physical and digital interfaces to increase physical and digital accessibility. The new media technology tools and co-production processes used in the described projects amplify the complexity of reading the city.

The second part of the contribution describes the progress of the Mobiquity project to improve the accessibility of transport services for Persons with Reduced Mobility through Artificial Intelligence, sensors and IoT devices to facilitate safe travel and involve end users in the improvement of transport services / infrastructures, through working tables between public companies, Public Administration (PA), citizens' associations, designers and universities. The solution development process does not aim at a single, definitive result but a series of continuously refined hypotheses thanks to user contributions (De Carlo, 2013). The contribution aims to identify the strategic and informative logic of the project and to investigate how information interacts and cohabits, how it is coordinated and connected and at the same time individual and intertwined: «[…] combined, their force multiplies in a way which is neither regular nor homogeneous, but rather indeterminate: as open as it plural» (Gausa, 2003, p. 124), in an ecosystem of exchange between quantitative and qualitative data, between citizens, designers and PA, in a relational and transversal, holistic and imaginative approach.

Cities and data | The current technological reality is part of the restructuring of the capitalist system identified by sociologist Manuel Castells (2014) as 'informationalism', in which social behaviour occurs around electronically processed information networks. The circuitry of instantaneous electronic exchanges creates a new complex spatial environment where users move between physical but increasingly virtual spaces. Thanks to information technologies, it is possible to involve citizens, architects, activists, and associations in the management of the city, modifying design processes because, according to Paul Nakazawa (cit. in Sayegh et alii, 2021), innovation should be more methodological than technical, promoting inter-scalar discussion. The scale and form of human association comes from technology (McLuhan, 1967), which in this context facilitates citizen participation in governance: the most significant problems cities face are not related to efficiency but to participation (Goldsmith and Crawford, 2014) and the right to the city (Harvey, 2012).

The bottom-up approach starts at the molecular level (Deleuze and Guattari, 1987) and builds a complex system through active involvement in the decision-making of an increasing number of people (Ratti and Claudel, 2016). Furthermore, managing information complexity requires interfaces that can humanise technology (Sayegh et alii, 2021), generating multiple levels of interactivity to involve citizens in co-designing the urban environment (Trisciuoglio, 2021). From the first experiments that introduced new forms of interaction between citizens and public administration and involved a large part of the citizenry, platforms integrating different levels of exchange between stakeholders through digital and physical means have recently come to light to build new decision-making ecosystems.

Introducing New Urban Mechanics (Ratti and Claudel, 2016) and the Customer Relationship Management (CRM) interface in 2010 in Boston is one of the first experiments in converging citizens and PA. Using ICT technologies increases citizen empowerment (Magarò and Baratta, 2019) and awareness of problems in urban systems and encourages citizens to seek solutions actively (Bevilacqua et alii, 2020). New York City also launched the Community Data Portal, an online collection of accessible interactive data maps, instructing the leaders of the fifty-nine Community Districts on how to use the portal: the municipality was provided with a continuous flow of solutions to problems, generating a proactive relationship that became the key to improving policies while citizens were able to actively participate (Goldsmith and Crawford, 2014) thanks to the accessibility of data, and technologies. Both projects were pioneers in defining a new 'peer production' methodology in which the training part in the collaborative model becomes the tool for broadening impact and integrating new decision-making ecosystems into urban policies.

In recent years, platforms such as Waag in Amsterdam, which has been active since 1994 on 'civic interaction design' projects, have emerged. The Waag, structured in twelve research laboratories conducting projects related to technology and society, was awarded the role of Futurelab by the Dutch Ministry of Education, Culture and Science[2]. The European project AR4CUP 2019 H2020 has developed augmented reality tools to facilitate urban planning collaboratively: data analysis tools are integrated into the service to collect user feedback (Tucci and Ratti, 2022) to help planners refine urban projects[3] towards co-creation processes (Mahmoud et alii, 2021).

The tool will become applicable on 16 December 2019 to the Vitae project in Milan, the winner of the international competition Reinventing Cities, promoted by C40 Cities Climate Leadership Group to redevelop the Serio area in the Porta Romana district. The application relies on the project realised by Covivio, Carlo Ratti Associati, Habitech and other partners, including the Politecnico di Milano (Department of Architecture and Urban Studies, Urban Simulation Studio, Prof. Fausto Curti). Future applications must understand whether citizens will be involved in decision-making and how feedback will ultimately feed into the projects.

Among the open source platforms developed by the PA, ParteciPa, promoted by the Department of Public Function and the Department for Institutional Reforms of the Italian Prime Minister's Office, is of interest: the platform allows people to participate in active consultations by taking part in the debate, entering proposals, answering questionnaires, following webinars or attending meetings[4]. Among the completed projects is 'Verso una Piena Inclusione delle Persone con Disabilità' (lit. Towards Full Inclusion of People with Disabilities), which received 302 proposals in the first phase of the consultation open between 20 October and 20 November 2021 (ParteciPa, 2021). Despite the great potential of the platform, especially for the attempt to extend the process to both digital tools and physical meetings, the impact is still limited: the implementation of widespread training processes could broaden its application. The Decim platform, which means 'we decide' in Catalan, is designed to promote participatory democracy. Developed entirely as accessible and collaborative software, it allows the configuration of a web platform designed to encourage democratic participation. Among the first processes was the strategic planning of the Barcelona City Council in 2016: «[…] the process involved 39,049 citizens, 24,028 of which participated through the decidim.barcelona, and 15,021 face to face; 1,741 organisations participated in the process (339 through the web and 1,494 via physical meetings)» (Barandiaranet alii, 2024, p. 25).

The participation of citizens in the definition of needs and tools for the improvement of urban quality is the core theme of Spoke 1 of the ongoing PNRR RAISE European project entitled Robotics and AI for Socioeconomic Empowerment[5] which, through robotics and artificial intelligence, develops solutions to improve the level of involvement and the quality of interaction between individuals and the urban context. The aim is to define infrastructures to communicate the 'human state' and the 'state of the city' through devices that react to the state of the physical context. Regeneration strategies aim to involve the ecosystem in participatory processes that address the issue of inclusion: the activity takes place within Living Labs to accelerate the process of technology adoption in co-design processes. The process of technology adoption and the methodology to involve citizens and public administration are currently undergoing experimentation.

Mobiquity | The Mobiquity project aims to reduce the public transport accessibility gap for Persons with Reduced Mobility (PRM), which, inevitably, also constitutes a gap in terms of opportunities to access essential activities and services (Milocco Borlini, Pecile and Conti, 2023). This objective is developed by pursuing three distinct, complementary and interconnected targets: improving accessibility to transport services, facilitating safe travel in urban space, and involving users in improving transport services / infrastructure.

From the point of view of digital solutions, work is underway on the realisation of an integrated suite of Vehicle-to-Pedestrian (V2P) and Infrastructure-to-Pedestrian (I2P) applications capable of facilitating the movement of persons with disabilities in total comfort and safety (Bolici and Gambaro, 2020). The proposed solutions will not only assist PRM users through the provision of specific information to better access and use the service, but thanks to the combined use of IoT technologies and specially developed AI algorithms, they will be able to identify particular environmental situations on which to intervene directly to reduce an accessibility barrier or prevent a dangerous situation.

The underlying objective is to enable the PRM user to enjoy their travel experience in total comfort and feel safe and comfortable at all times. The project aims to identify solutions for inclusive mobility that can advance the state of the art in assistive technologies, also thanks to a co-design approach. Indeed, a central role has been assigned to the PRM user communities in the identification and design process of digital inclusive mobility solutions, thanks to the involvement of the leading national associations[6] that have already expressed their support for the project.

Users' empowerment corresponds to a specific demand, summarised in the motto 'nothing about us without us' (Werner, 1998): to achieve a truly inclusive society, no choice, policy, or project needs the direct and total involvement of the final recipients, in this case, the communities of disabled people.

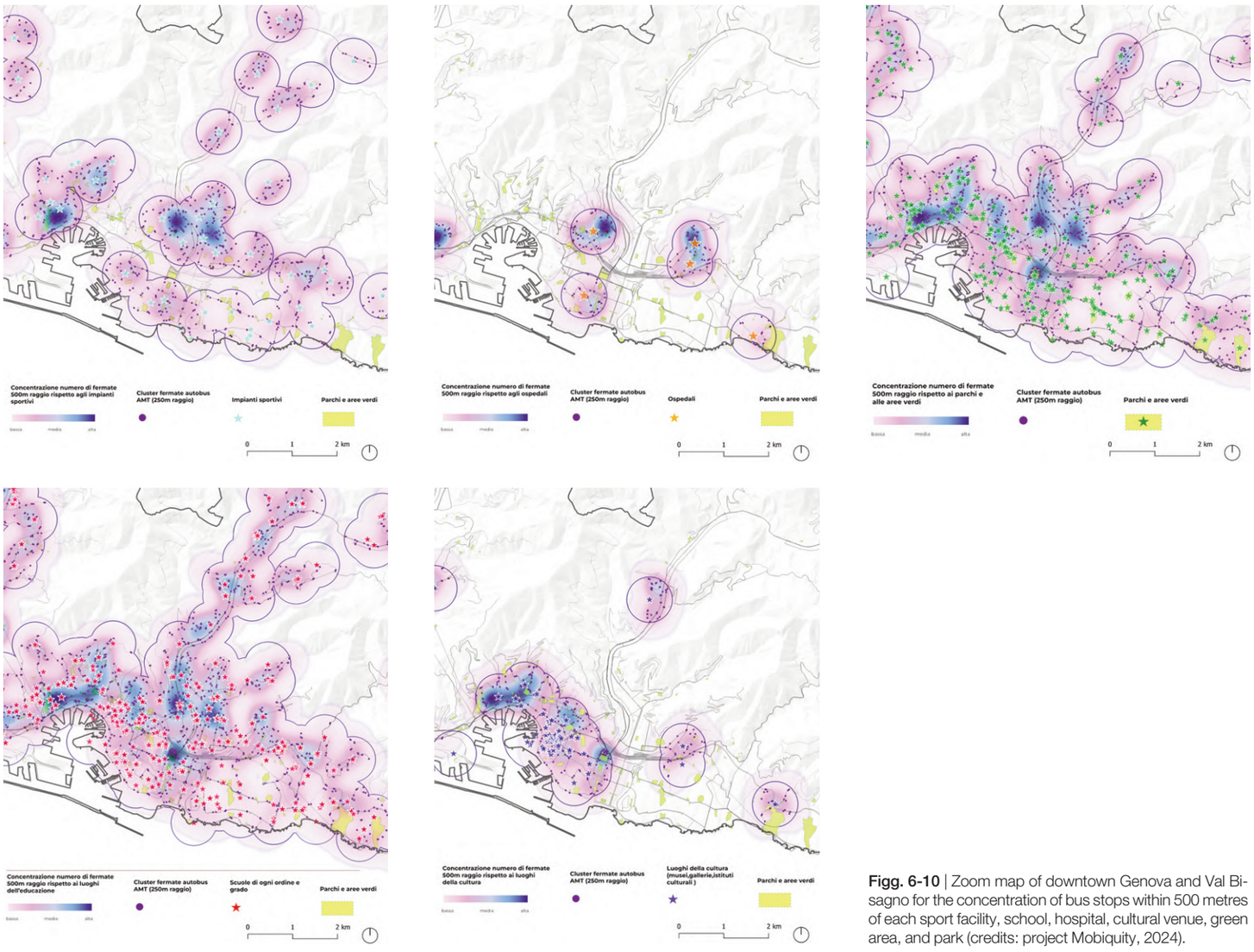
During the research, it was possible to analyse and visualise the conditions of territorial accessibility by mapping (Figg. 1-10) the public transport system and individual stops, highlighting locations with critical issues that require physical changes to improve accessibility and verifying where this is feasible through intangible interventions. In parallel, through meeting tables and living labs, it was analysed how PRM react to traditional and dedicated communication tools and how they cope with the different environmental conditions related to travel. The aim is to develop a system of customisable requirements that offers tailor-made solutions for interfaces and services. The innovation of this approach lies in rethinking the concept of accessibility in public transport. European policies increasingly speak of 'accessibility for all', meaning that urban spaces, and in this case, transport services, are usable by everyone, regardless of disability. This approach, however, does not exclude the possibility of integrating levels of personalisation, especially in services, especially intangible services: the objective is to allow each user to have a 'tailor-made' accessibility experience and not simply to accept solutions imposed by public or private decision-makers. Although this vision may seem complex today, as our cities and their services are not yet fully accessible to all categories of users, we believe it is possible to develop both perspectives in parallel. Research is exploring and testing new ways to move in this direction.

Mobiquity, with its focus on accessibility and inclusion of public transport, offers a unique opportunity to rethink how we design and plan our cities radically. This innovative vision transcends mere compliance with accessibility regulations, promoting a proactive and inclusive approach to urban design. By integrating digital technologies, optimising existing infrastructures and promoting public-private partnerships, the project aims to transform the city into a more liveable and sustainable place, optimising public space and services through accessible mobility.

This approach translates into several tangible benefits, including improved quality of life for citizens, reduced environmental impact, and a stimulus to the local economy. In particular, urban planning that prioritises sustainable mobility integrates different modes of transport and promotes low-emission solutions to create more inclusive and resilient urban environments.

The project aims to integrate individual processes, managed through the application co-created together with the associations involved in the Living Lab, with the punctual transformation of urban space. These local changes in the capillary network of the transport system become incipits of urban transformation around individual stops and interchange locations. From an operational point of view, by raising awareness of urban public transport stops and vehicles (Fig. 11), the boarding point is made more easily identifiable (e.g. for blind and visually impaired persons), information is available on whether or not reserved seats for PRM are on board the vehicle, and various information, both visual and audio, can be obtained on incoming buses. In addition, the application will allow the user to book a stop both at the platform and on board the vehicle, to get information on the route and any detours, but above all, to inform the driver of the presence of a PRM at the platform and of his needs. In addition, once again, work can be done on the surroundings of the stop, for example, by making a traffic light intelligent to facilitate safe crossing of PRM or by facilitating the identification of dedicated parking spaces at interchange points: these small, often digital activities, requiring a transformation of physical space, need a connection to a broader system of transformation of urban cycle paths, green spaces and car parks.

Mobility and accessibility | The project is based on the fundamental concepts of the UN Convention on the Rights of Persons with Disabilities (UNCRPD), which defines them as «[…] persons with disabilities […] include those who have long-term physical, mental, intellectual or sensory impairments which in interaction with various barriers may hinder their full and effective participation in society on an equal basis with others» (UN, 2014, p. 17). One of these barriers is accessibility, since for people with mobility impairments, the accessibility gap of public transport translates into the opportunity gap concerning a 'normal' life: it becomes difficult to take advantage of essential activities and services (work, education, health, shopping, etc.), as well as to be able to build



Figg. 6-10 | Zoom map of downtown Genova and Val Bisagno for the concentration of bus stops within 500 metres of each sport facility, school, hospital, cultural venue, green area, and park (credits: project Mobiquity, 2024).

up an equally important social space (to hang out with friends, participate in cultural and recreational activities, use one's leisure time, etc.).

The European Union, as well as all the Member States, has ratified the UNCRPD and has therefore committed itself to ensuring full accessibility of public services, including transport, and to taking appropriate measures so that operators in the sector consider all aspects of accessibility for people with disabilities (European Commission, 2011). In reality, freedom of mobility is still today a right that is denied or, in any case, strongly compromised for a large part of Italian and European citizens: it is estimated that in Italy, there are 3,5 million people with disabilities (Morino, 2023) while in Europe this number reaches 87 million (European Council, 2024). These numbers double if we consider among PRM also older adults with motor difficulties, people with temporary disabilities or people with particular impediments (families with children and pushchairs).

It was not until 2011 that the European Union enacted Regulation (EU) no. 181/2011 on the rights of passengers in public transport (European Parliament and Council of the European Union, 2011), although it has remained an unsatisfactory solution for users with disabilities: as highlighted by a recent Europe-wide study (TRIPS, 2020), people do not appreciate specific solutions that risk having the perception of being discriminatory, as they contribute to social segregation, whereas true inclusion is achieved by removing barriers and ensuring that all citizens can access the same services. Only a partial step forward, at the legislative level, was taken with the issuance of the European Accessibility Act (European Parliament and Council of the European Union, 2019), transposed in Italy with the recent Legislative Decree no. 82 (Presidente della Repubblica, 2022) of 27 May 2022, which addresses the issue of mobility to a more direct extent, defining specific accessibility requirements for transport services.

The accessibility and personalisation of public transport become key design themes to implement new interfaces, platforms (Barns, 2018) and new working methodologies also through co-design workshops (Fagnoni and Olivastri, 2019) in which tools for data analysis, technological implementation and spatial modification come to light. Digital and physical space merge into what Castells (2014) calls 'real virtuality' (cit. in Brotton, 2013) to generate a personalised travel experience within a collective system. This methodological experimentation opens up possible new paradigms to find a 'human scale' in the complexity of multiple levels of data, networks and processes.

The interpretation of urban space changes in subjective understanding, the senses that each individual can use and his or her possibilities of movement in the city. Aggregating information about spatial experiences, identifying different lines of travel and different needs of use from the accessibility or otherwise of places and mobility services, and identifying new qualitative and quantitative dimensions to the trans-scalar reading of the city and its networks. Mapping tools that link the different dimensions of reading urban components become the basis «[…] to add value and enrich life across a significant segment of the population. At this point, people will be empowered to use such tools creatively and in a personally meaningful way» (Claudel, Nagel and Ratti, 2016, p. 353).

Urban morphologies have a profound impact «[…] on the emotional states and behaviours of people» (Sayegh et alii, 2021, p. 97), and at the same time, the «[…] interactive interfaces, gestural interactions, and sensory stimuli converge to engender multisensory environments that elicit profound emotional and cognitive response» (Safieddine, 2024, p. 53). Today, it is also possible to measure subjective experience through interviews, questionnaires or mobile devices (Sayegh et alii, 2021) thanks to 'wearable technologies'. How can it construct complex read-

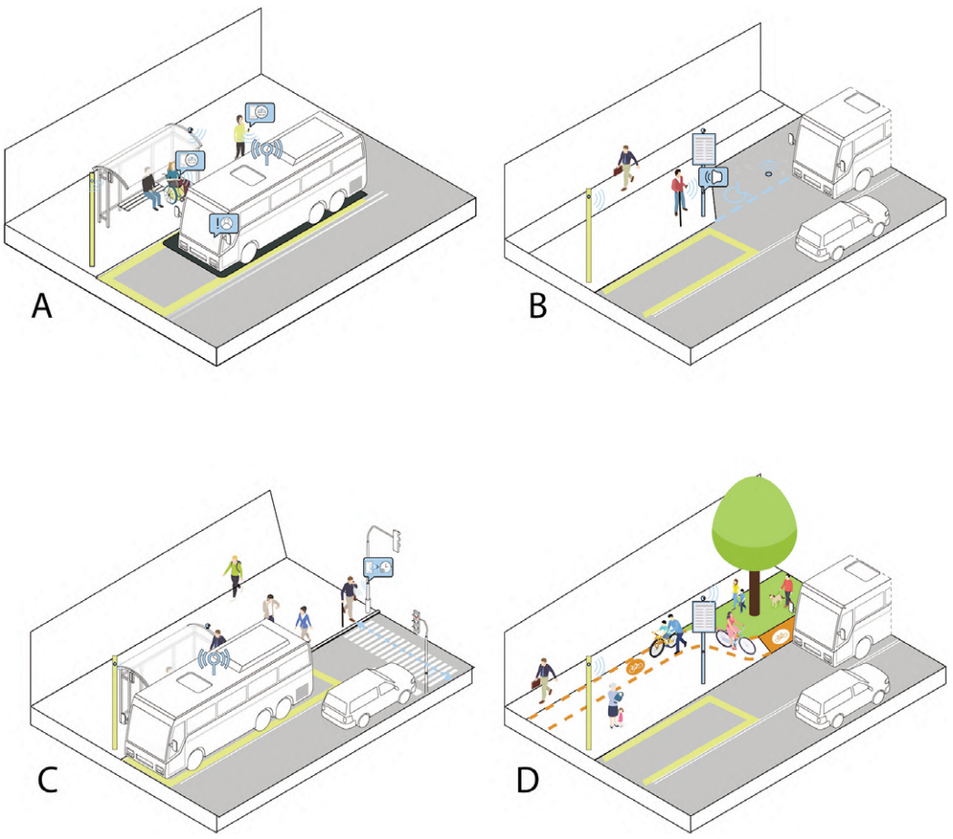


Fig. 11 | Schemes related to the interaction between application and urban space. A) stop identification; B) stop information; C) responsive pedestrian crossing; D) integration of bicycle systems and public spaces (credit: project Mobiquity, 2024).

ings of mobility systems by correlating 'digital personas' with 'physical identities' (Safieddine, 2024)?

With the Mobiquity project, interactive technology contributes to the complex reading of urban space and the definition of physical / virtual tools and interfaces for personalised management of urban systems. Starting with the human body's experience in physical space and the digital experience of the interface, we create working tables to develop relational and hybrid projects using customised and not necessarily visible technology. Indeed, according to Crawford and Goldsmith (2014, pp. 63, 64), «[…] social engagement […] requires five characteristics: well-visualized data, savvy intermediaries, a governmental platform that works, personalised responses from city hall, and resulting real-time information». The project identifies actions and reactions between the body and the physical and digital interface, where the space interface communicates information to the user's body, and the user can consequently communicate with the system and the interface for sensory personalisation of the journey, inclusion, accessibility and continuous improvement of the interaction and space.

Conclusions | Today, talking about safety and quality of life in the territory refers to imagining innovative solutions for managing urban areas, with particular reference to smart mobility. Smart Mobility includes issues explicitly referring to people's transport networks, the interaction of public transport with the citizen (information gathering and dissemination), and technologies for transport safety and comfort. These are particularly relevant to the innovation of urban environments and the transition from smart cities to smart, inclusive communities. There are many obstacles to a conscious transformation of our cities into accessible spaces, mainly of a social and entrepreneurial nature, in the sense that generally, transport companies do not consider the accessibility of PRM profitable. However, this statement is only partly true because Mobiquity solutions can have an economic return when, although in the common imagination, they aim to facilitate the problem of a few, they become a tool to improve the quality of life and public service of an entire community. In this sense, starting from the virtual and having repercussions in the physical space helps reduce the economic impact of interventions. It makes users more aware of the difficulties and possibilities of intervention.

Indeed, while it is true that 'smart' versions of assistive technologies, such as electric and digitally-enabled wheelchairs, smart canes with GPS, augmented reality glasses, sensor 'wearables', robot assistants and many other IoT-based solutions, can improve access to transport services and also bridge the gap of infrastructural upgrades (UITP, 2020), it is also true that it is increasingly possible to create a personalised channel between user and municipality that improves both the urban self-esteem of citizens and the usability of public space and services.

The Mobiquity project works on a fragment related to urban social policies: inclusive mobility. It uses digital solutions that contribute to more inclusive transport services and reduce marginalisation and inequalities. Advances in assistive technologies can unlock a wide range of possibilities by improving accessibility in urban mobility and, consequently, in the city's planning, management, and transformation processes.

What we saw in the survey and participation phases of Living Labs with associations of frail users is the possibility of using collected data (Candito et alii, 2019) and applications related to everyday life (such as those for public transport) as platforms for participation on the one hand and two-way information on the other. If, on the one hand, the user gets more information about his or her travel route by also being able to interact with the company operating the service for reports, on the other hand, the city obtains information, anonymised, on user flows that allow for more coherent urban planning.

For the project's future, we envisage developing a monitoring system (based on artificial intelligence algorithms) for crowding stops, suitably designed to process video streams and images captured by cameras. In addition, the development of a system for forecasting bus crowding is under consideration, both to provide the most excellent possible information to all users and to improve urban mobility planning; in fact, defining forecasting tools (in the short and medium term) on the status of buses and bus stops can be helpful to support the decisions of public transport operators, for example, to vary bus frequencies where possible and to work in the direction of reducing private traffic.

The solutions developed within Mobiquity are comprehensive in solving local criticalities. However, they fit to being replicable in a European context since the topic of accessibility is a transversal topic involving numerous countries, each with its peculiarities but with a daily basis of needs: the hope is that when the l'European Accessibility Act (European Parliament and Council of the European Union, 2019) enters into force on 28 June 2025, it will provide a solid push for all public mobility operators to make their services more accessible.

Acknowledgements

The contribution is the result of the Authors' joint reflection. Notwithstanding this, the introductory paragraph and 'Cities and data' will be attributed to C. Centanaro, the paragraphs 'Mobiquity' and 'Conclusions' to N. V. Canessa, and the paragraph 'Mobility and Accessibility' to both Authors.

Notes

1) Mobiquity is a project financed by P.R. FESR Liguria 2021-2027 – OP 1 – O.S. 1.1 'Developing and strengthening research and innovation capacity and the introduction of advanced technologies' – Action 1.1. – 'Support to the implementation of research and experimental development projects for enterprises aggregated to research and innovation poles', year 2023. Principal Investigators: N. Casiddu and N. V. Canessa (University of Genova). The partnership also includes companies such as TBridge BV.Tech Spa (Leader Partner), Nextage Srl, LogOil Srl, Aitek Spa, GGallery Srl, the Mobility and Transport Agency of the Municipality of Genova (Azienda Mobilità e Trasporti – AMT Spa). The graphic materials produced for this article were developed by F. Favilli (urban scale) and C. Centanaro (details).

2) For more information, see 'Waag Futurelab – Research Agenda 2022-2024' at the webpage: euagenda.eu/publications/waag-futurelab-research-agenda-2022-2024 [Accessed 27 September 2024].

3) For more information, see 'Labsimurb | Laboratorio di Simulazione Urbana Fausto Curti' at the webpage: labsimurb.polimi.it/research/ar4cup/ [Accessed 27 September 2024].

4) For more information, see the webpage: partecipa.gov.it/assemblies/hub-partecipazione [Accessed 7 October 2024].

5) RAISE Innovation Ecosystem was funded by the European Union – NextGenerationEU and by the Italian Ministry of University and Research (MUR), National Recovery and Resilience Plan (NRRP), Mission 4, Component 2, Investment 1.5, project 'RAISE – Robotics and AI for Socio-economic Empowerment' (ECS00000035).

6) The stakeholders involved in the project are the Regional Council for Disability and the Office of the Disability Manager of the Municipality of Genova. In addition, the project involves Associazione Nazionale Guida Legislazione Andicappati Trasporti (ANGLAT), Associazione Ligure Ipovedenti (ALI), Fondazione CEPIM (Centro Italiano Down), Fondazione Chiossone, Unione Italiana Ciechi (UIC) of Chiavari and Genova, Associazione Italiana Sclerosi Multipla (AISM) and the Third Age Course of the University of Genova (UniGe Senior).

References

Barandiaran, X. E., Calleja-López, A., Monterde, A. and Romero, C. (2024), *Decidim, a Technopolitical Network for Participatory Democracy – Philosophy, Practice and Autonomy of a Collective Platform in the Age of Digital Intelligence*, Springer, Cham. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-50784-7 [Accessed 27 September 2024].

Barns, S. (2018), "Smart cities and urban data platforms – Designing interfaces for smart governance", in *City, Culture and Society*, vol. 12, pp. 5-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ccs.2017.09.006 [Accessed 27 September 2024].

Bevilacqua, C., Ou, Y., Pizzimenti, P. and Minervino, G. (2020), "New Public Institutional Forms and Social Innovation in Urban Governance – Insights from the Mayor's Office of New Urban Mechanics (MONUM) in Boston", in *Sustainability*, vol. 12, issue 1, article 23, pp. 1-24. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su12010023 [Accessed 27 September 2024].

Bolici, R. and Gambaro, M. (2020), "Il progetto della sicurezza urbana | The urban security project", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 7, pp. 64-71. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/772020 [Accessed 27 September 2024].

Brotton, J. (2013), *Storia del mondo in dodici mappe* [or. ed. *A History of the World in Twelve Maps*, 2012], Feltinelli Editore, Milano.

Càndito, C., Gausa, M., Pitanti, M. and Sola, G. (2019), "Dati Open Source e Progetto Strategico per la Città Resiliente | Open Source Data and Strategic Project for Resilient City", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 5, pp. 117-126. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/5132019 [Accessed 27 September 2024].

Castells, M. (2014), *La nascita della società in rete* [or. ed. *The rise of the network society*, 1996], Egea, Milano.

Choay, F. (2000), *La città – Utopie e realtà* [or. ed. *L'Urbanisme – Utopies et réalités*, 1965], Einaudi, Torino.

Claudel, M., Nagel, T. and Ratti, C. (2016), "From Origins to Destinations – The Past, Present and Future of Visualizing Flow Maps", in *Built Environment*, vol. 42, issue 3, pp. 338-355. [Online] Available at: doi.org/10.2148/benv.42.3.338 [Accessed 27 September 2024].

De Carlo, G. (2013), *L'architettura della partecipazione*, Quodlibet, Macerata.

Deleuze, G. and Guattari, F. (2014), *Millepiani – Capitalismo e schizofrenia* [or. ed. *Mille plateaux*, 1980], Castelvecchi, Roma.

European Commission (2011), "EU ratifies UN Convention on Disability Rights", in *ec.europa.eu*, 05/01/2011. [Online] ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_11_41138 [Accessed 7 October 2024].

European Council (2024), "Disability in the EU – Facts and figures", *in consilium.europa.eu*, last review 04/03/2024. [Online] Available at: consilium.europa.eu/en/infographics/disability-eu-facts-figures/ [Accessed 27 September 2024].

European Parliament and Council of the European Union (2019), *Directive (EU) 2019/882 of 17 April 2019 on the accessibility requirements for products and services*, document 32019L0882, PE/81/2018/REV/1. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/882/oj [Accessed 7 October 2024].

European Parliament and Council of the European Union (2011), *Regulation (EU) No 181/2011 of the European Parliament and of the Council of 16 February 2011 concerning the rights of passengers in bus and coach transport and amending Regulation (EC) No 2006/2004*, document 32011R0181. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32011R0181 [Accessed 7 October 2024].

Fagnoni, R. and Olivastri, C. (2019), "Hardesign vs Softdesign", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 5, pp. 145-152. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/5162019 [Accessed 27 September 2024].

Gausa, M. (2003), *The Metapolis Dictionary of Advanced Architecture – City, Technology and Society in the Information Age*, Actar, Barcelona.

Goldsmith, S. and Crawford, S. (2014), *The Responsive City – Engaging Communities Through Data-Smart Governance*, Jossey-Bass, San Francisco.

Harvey, D. (2012), *Rebel Cities – From the Right to the City to the Urban Revolution*, Verso, London.

Harvey, D. (1978), *Giustizia sociale e città* [or. ed. *Social Justice and the City*, 1973], Feltrinelli, Milano.

Magarò, A. and Baratta, A. F. L. (2019), "Machine Learning e Architetture Sicure e Inclusive per una Utenza Fragile | Machine Learning and Safe and Inclusive Architecture for Fragile Users", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 5, pp. 109-116. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/5122019 [Accessed 27 September 2024].

Mahmoud, I. H., Morello, E., Ludlow, D. and Salvia, G. (2021), "Co-creation Pathways to Inform Shared Governance of Urban Living Labs in Practice – Lessons from Three European Projects", in *Frontiers in Sustainable Cities*, vol. 3, article 690458, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.3389/frsc.2021.690458 [Accessed 27 September 2024].

McLuhan, M. (1967), *Gli strumenti del comunicare* [or. ed. *Understanding Media*, 1964], Garzanti, Milano.

Milocco Borlini, M., Pecile, A. and Conti, C. (2023), "Oltre il corpo – Ripensare il modulo per favorire l'inclusione sociale | Beyond the body – Rethinking the architectural module to promote social inclusion", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 174-181. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14142023 [Accessed 27 September 2024].

Morino, M. (2023), "La sfida dei Trasporti – Garantire l'accessibilità a 3,5 milioni di disabili", in *Il Sole24 Ore*, newspaper online, 20/06/2023. [Online] Available at: ilsole24ore.com/art/la-sfida-trasporti-garantire-l-accessibilita-35-milioni-disabili-AExGmkWD [Accessed 27 September 2024].

ParteciPa (2021), *Report finale della consultazione – Verso una piena inclusione delle persone con disabilità*. [Online] Available at: disabilita.governo.it/media/1640/report_conclusivo_verso-una-piena-inclusione-delle-persone-con-disabilita_10dicembre-2021.pdf [Accessed 27 September 2024].

Presidente della Repubblica (2022), "Decreto Legislativo 27 maggio 2022, n. 82 – Attuazione della Direttiva (UE) 2019/882 del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 17 aprile 2019, sui requisiti di accessibilità dei prodotti e dei servizi, in *Gazzetta Ufficiale*, Serie Generale, n.152 del 01/07/2022. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/2022/07/01/22G00089/sg [Accessed 7 October 2024].

Ratti, C. and Claudel, M. (2016), *The City of Tomorrow – Sensors, Networks, Hackers, and the Future of Urban Life*, Yale University Press, New Haven.

Ratti, C. and Offenhuber, D. (eds) (2014), *Decoding the city – Urbanism in the Age of Big Data*, Birkhauser, Basilea.

Safieddine, F. (2024), *Spatialization Takes Command – Metaverse Urbanism – Notes on the Future of The Internet, Urbanism, and Life as We Live It*, Actar, New York-Barcelona.

Sayegh, A., Andreani, S., Kalchschmidt, M. and Harvard REAL Lab (2021), *Responsive Environments – An Interdisciplinary Manifesto on Design, Technology and the Human Experience*, Actar, Barcelona.

TRIPS – TRansport Innovation for disabled People needs Satisfaction (2020), *D.2.2 Qualitative-Insights-report*. [Online] Available at: trips-project.eu/wp-content/uploads/2020/10/TRIPS-D.2.2-Qualitative-Insights-report.pdf [Accessed 27 September 2024].

Trisciuoglio, M. (2021), "DIY-City e internet of things – Un'ipotesi di ricerca intorno alla progettazione urbana interattiva | DIY-City and internet of things – A research hypothesis around interactive urban design", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 46-55. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1042021 [Accessed 27 September 2024].

Tucci, G. and Ratti, C. (2022), "La tecnologia come abilitatore di un nuovo ecosistema urbano responsivo – Intervista a Carlo Ratti (CRA Studio) | Technology as an enabler of a new ecosystem responsive urbanism – Interview with Carlo Ratti (CRA Studio)", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 190-201. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12172022 [Accessed 27 September 2024].

UITP (2020), *The Internet of Things in Public Transportation*. [Online] Available at: cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2021/01/IOT-KB-final.pdf [Accessed 27 September 2024].

UN – United Nations (2014), *Convention on the Rights of Persons with Disabilities – Training Guide – Professional Training Series No. 19*. [Online] Available at: ohchr.org/sites/default/files/Documents/Publications/CRPD_TrainingGuide_PTS19_EN_Accessible.pdf [Accessed 27 September 2024].

Vallega, A. (2004), *Le grammatiche della geografia*, Pàtron, Bologna.

Werner, D. (1998), *Nothing About Us Without Us – Developing Innovative Technologies For, By and With Disabled Persons*, Healthwrights, Palo Alto.

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 98-107
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/1682024

Article Info

Received 11 September 2024
Revised 13 October 2024
Accepted 15 October 2024
Published 30 December 2024

INVECCHIAMENTO DELLA POPOLAZIONE E SPAZI URBANI
Nuove sfide digitali per il benessere degli anziani

AGEING POPULATION AND URBAN SPACES
New digital challenges for elderly well-being

Maria Rosario Chaza Chimeno, Rosaria Revellini, Cristiana Cellucci

Abstract

Il saggio propone una lettura critica di alcune delle principali questioni in atto globalmente rispetto alla crescente percentuale di anziani che vive in contesti urbanizzati e che incidono sul benessere degli stessi. Guardare alla complessità urbana rispetto alla coorte anziana significa indagare la costante evoluzione del rapporto persona-ambiente e i limiti esistenti, nonché le conseguenze negative dei cambiamenti climatici e l'influenza di questi sulla salute dei soggetti fragili. In relazione a tali dinamiche, la digitalizzazione viene identificata come sfida trasversale che può supportare l'invecchiamento attivo e in salute. Il contributo affronta le questioni emerse a partire dalla letteratura di riferimento, evidenziando criticità e potenzialità rispetto alla coesistenza di questi temi per possibili scenari di ricerca futuri in campo di progettazione tecnologica e ambientale.

The essay proposes a critical reading of some of the main issues currently underway globally concerning the growing percentage of elderly people living in urbanised contexts affecting their well-being. Looking at urban complexity with respect to the elderly cohort means investigating the constant evolution of the person-environment relationship and the existing limits, as well as the negative consequences of climate change and its influence on the health of frail subjects. In relation to these dynamics, digitalisation is identified as a transversal challenge that can support active and healthy ageing. The contribution addresses the issues emerging from the reference literature, highlighting critical issues and potentialities concerning the coexistence of these themes for possible future research scenarios in the field of technological and environmental design.

Keywords

invecchiamento della popolazione, urbanizzazione, sfide digitali, città e comunità a misura di età, benessere urbano

ageing population, urbanisation, smart-ageing, age-friendly cities and communities, urban well-being

Maria Rosario Chaza Chimeno, Architect and PhD, is a Full Professor in Expresión Gráfica Arquitectónica and Director of E.T.S. Building Engineering at the University of Seville (Spain). Her research interests are mainly focused on Architectural Engineering, Project Management and Architectural Heritage through the use of smart technology. E-mail: chaza@us.es

Rosaria Revellini, Architect and PhD, is a Research Fellow in Architectural Technology and Lecturer at the 'Iuav' University of Venice (Italy). Her research interests are mainly focused on environmental accessibility, in particular age-friendly cities and communities, and new materials for architecture and the built environment. She is also the deputy Director of OFFICINA* Scientific Journal. Mob. +39 346/243.40.13 | E-mail: rosaria.revellini@iuav.it

Cristiana Cellucci, Architect and PhD, is an Assistant Professor in Architectural Technology at the 'Iuav' University of Venice (Italy). Her research interests are mainly focused on human factors as an integral part of the design and on implementing flexibility, inclusiveness and well-being requirements through solutions that improve user interactions with places, equipment and technologies. Mob. +39 380/594.60.17 | E-mail: cristiana.cellucci@iuav.it

La città può essere paragonata a un 'sistema complesso' in costante divenire, luogo di vita e di condivisione sociale che deve far fronte a dinamiche trasformative, temporanee o permanenti, per adattarsi alle necessità e ai bisogni, anch'essi in evoluzione, di chi la vive (Moreno, 2024). In particolare, gli spazi pubblici 'a cielo aperto' sono caratterizzati da cambiamenti qualitativi e quantitativi, tra i quali la crescita della popolazione urbana anziana rappresenta uno dei più significativi (Laurìa, 2017), in quanto condiziona il nascere di nuove 'sfide' per la città stessa.

Le più recenti proiezioni demografiche evidenziano infatti che all'aumento complessivo del numero di anziani corrisponde una crescita in termini percentuali di popolazione over 65 che vive in contesti urbanizzati – popolazione che a livello assoluto sarà pari a circa il 68% di quella mondiale nel 2050, ovvero il 38% in più rispetto al 1950 (UN, 2019a) – ma le città non risultano essere sempre inclusive e 'abilitanti' per questa specifica utenza. La coesistenza dei due fenomeni di invecchiamento della popolazione e urbanizzazione, identificati come mega-tendenze demografiche del XXI secolo, in atto globalmente assieme a crescita demografica e migrazione internazionale (UN, 2019b; Figg. 1, 2), implica dunque una riflessione sugli aspetti sociali, economici e ambientali, ovvero sullo sviluppo sostenibile delle città, dal momento che esso è fortemente influenzato da questi stessi fenomeni (García Ballesteros and Jiménez Blasco, 2016; Leeson, 2018).

La presente riflessione si inserisce all'interno della cornice teorica delle Age-Friendly Cities and Communities (AFCCs; WHO, 2007, 2018), nonché nello specifico ambito disciplinare definito 'urban ageing' (Van Hoof et alii, 2018; Fig. 3), e mira a delineare le attuali dinamiche trasformative da considerare rispetto all'obiettivo di garantire un invecchiamento 'attivo' e in salute in contesti urbanizzati alla luce delle già presenti sfide che riguardano clima e ambiente e che influenzano il modo di vivere e relazionarsi con lo spazio della città e tra le persone.

Se si prende come riferimento il Green Deal Europeo (GDE) ad oggi il Piano di iniziative politiche più importante nel contesto europeo per una transizione verde e digitale verso la neutralità climatica dei Paesi al 2050 (European Commission, 2019), risulta evidente la mancanza di un approccio human-centred tanto che i potenziali impatti sociali delle diverse strategie proposte sono considerati solo marginalmente (Sanchez-Reaza et alii, 2023). Tuttavia il GDE affronta delle tematiche che hanno dirette ripercussioni su salute e benessere nonché sui comportamenti delle persone, come la mobilità sostenibile o soluzioni per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici, i cui effetti potrebbero consentire una fruizione più sicura degli spazi 'a cielo aperto'. Allo stesso modo nel GDE il tema della digitalizzazione riguarda solo il settore industriale, eppure le soluzioni digitali potrebbero essere di supporto anche per il processo di invecchiamento della popolazione e in generale garantire maggiore autonomia di vita alle persone (Milocco Borlini and Conti, 2022).

La critica al GDE è necessaria dal momento che si riconosce l'importanza delle tematiche ivi affrontate, specie in relazione alle ricadute umane e sociali; a partire da questa riflessione il saggio, strutturato in tre paragrafi, interpreta la digitalizzazione come strategia trasversale per affrontare le nuove complessità urbane per la coorte anziana. In particolare nel primo paragrafo viene approfondito il rapporto persona-ambiente e in che modo le soluzioni digitali possono supportare gli anziani nella fruizione degli spazi urbani, constatata l'importanza di vivere tali spazi per la coorte presa a riferimento (Fig. 4); il secondo affronta il tema dei cambiamenti climatici, l'influenza sulla salute dei soggetti più fragili e come il processo di digitalizzazione può favorire un maggiore controllo di specifiche dinamiche negli spazi urbani; nel paragrafo conclusivo vengono illustrate le attuali criticità e proposti degli spunti di riflessione per possibili sviluppi di ricerca.

Persona-ambiente, un rapporto in costante evoluzione | Esiste una correlazione profonda tra l'habitat, l'ambiente fisico e sociale in cui ci siamo formati, e l'habitus, le caratteristiche fisiche, le abitudini acquisite, i modi di fare e di pensare e i comportamenti. Lo spazio influisce sui comportamenti e i modi di vivere condizionano e plasmano gli spazi, e nella logica della teoria del 'person-environment fit' viene dimostrato che tale relazione è tanto più forte quanto più si invecchia (Lawton, 1982). Non si tratta infatti di una condizione statica ma di un rapporto che evolve e procede per successive approssimazioni, tra un orizzonte esterno – i rapporti dello spazio con le proprie parti costituenti e con il suo ambiente contestuale – e un orizzonte interno – tutte le sue determinazioni in relazione all'uomo (Cellucci, 2021).

Per quanto riguarda l'ambiente fisico è da considerare che ad oggi l'attenzione nella sua progettazione è stata rivolta principalmente a persone in buono stato di salute, tralasciando sia l'evoluzione stessa, fisica e cognitiva, della persona sia le diverse necessità che si evidenziano con l'avanzare dell'età (Phillipson et alii, 2024). La progettazione per un utente ideale ha comportato che il muoversi in città è fare esperienza soprattutto dei suoi confini, di natura materiale e immateriale (Lefebvre, 1976), ma la mancanza di determinate caratteristiche dello spazio pubblico acuisce la vulnerabilità del fruitore, specie dei più anziani, accelerandone il declino fisico e l'isolamento sociale.

Sebbene le condizioni di salute delle persone siano in media migliorate grazie al progresso della scienza, della medicina e all'adozione di stili di vita più sani, tanto che studi di gerontologia stanno riconsiderando l'età in cui si 'diventa anziani'[1] (Wettstein et alii, 2024), il processo di invecchiamento comporta alcuni 'cambiamenti' fisici inevitabili (limitazioni alla mobilità, riduzione del visus o dell'udito, perdita della forza, ecc.) e sociali (riduzione delle interazioni con gli altri) determinati dalle condizioni di isolamento e solitudine che dovrebbero essere presi in considerazione nella progettazione dello spazio pubblico.

L'obiettivo di costituire ambienti 'a misura di anziano' comporta l'adozione di un approccio basato sul ruolo dell'anziano-pedone come generatore d'urbanità. La progettazione dello spazio urbano affronta così la questione della differenza fra spazio oggettivato della geografia e spazio soggettivo del paesaggio (Straus and Maldiney, 2005). Il camminare si differenzia da altre forme di viaggio (con mezzi meccanici) per la consapevolezza corporea della traslazione spaziale che si fonda su regole oggettive della geografia (ci si sposta da luogo a luogo) filtrate da una percezione lenta e personale.

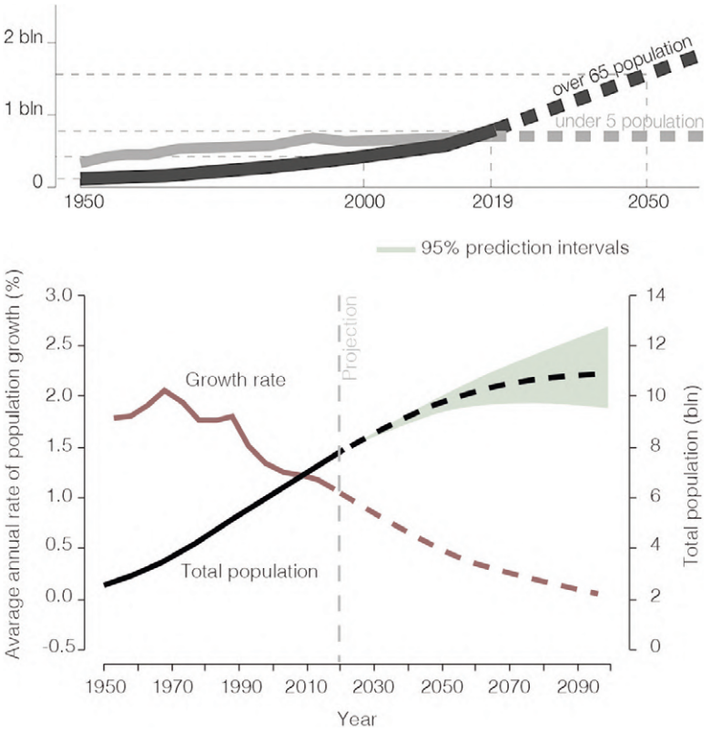
Secondo questa visione la propensione di uno spazio pubblico a favorire il movimento, specie nelle persone più fragili, dipende non solo dall'usabilità e dal rapporto conformativo-dimensionale (spazio accessibile) ma anche dalla capacità dello spazio di essere realtà esperienziale (rapporto psicofisico-metabolico) e 'protesico', in grado cioè di stimolare attività determinanti per la salute. La comprensione della scala umana, intesa come compatibilità degli spazi con le caratteristiche fisiche-sensoriali-cognitive degli anziani, diventa quindi centrale per indagare la qualità dello spazio pubblico attraverso considerazioni sulle condizioni d'uso da parte dei suoi utenti più fragili.

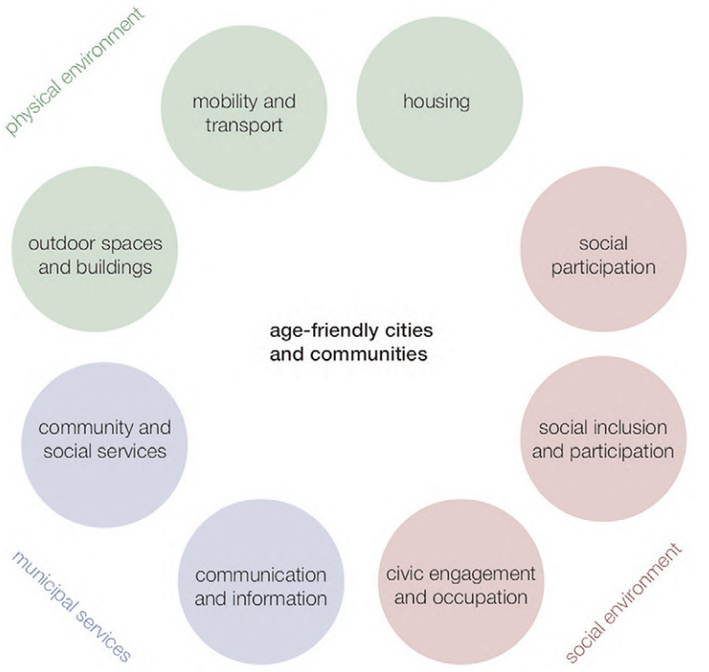
Tale corrispondenza tra utenti, attività e ambiente fisico è stata indagata in letteratura facendo riferimento alle condizioni metrico-dimensionali centrate sull'accessibilità e inclusività dello spazio (Delaney, Parkhurst and Melia, 2017; Milocco Borlini and Conti, 2022), alle condizioni psico-cognitive finalizzate al benessere sensoriale (Cahour, Salembier and Zouinar, 2016), nonché alle condizioni sociali centrate sui processi partecipativi e sulle attività collettive (Gehl, 1987).

Ricerche più recenti evidenziano come tali relazioni possono essere filtrate da dispositivi altamente tecnologici in grado di ponderare gli input prestazionali dell'ambiente rispetto alle caratteristiche individuali dei possibili fruitori (Fong, Fong and Li, 2020; Zhang et alii, 2024); essi si configurano come soluzioni adattive rispetto ai processi evolutivi che caratterizzano sia le prestazioni offerte dallo spazio pubblico sia le capacità psicofisiche degli anziani.

Il ricorso a 'estensioni', ovvero all'uso di dispositivi dai più piccoli e tecnologici come pacemaker o apparecchi acustici, ai più 'invasivi' (rispetto allo spazio) come bastone, deambulatore, sedia a rotelle o protesi robotiche, costruisce una prima forma di adattamento alle caratteristiche dimensionali, materiche e sensoriali offerte dal contesto. Questi dispositivi possono essere integrati con strumenti di localizzazione GSP e alert che individuano la posizione degli anziani o identificano potenziali ostacoli (Figg. 5-7) e un ulteriore miglioramento prestazionale si può ottenere con l'uso di sensori di monitoraggio integrabili in dispositivi indossabili in grado di raccogliere dati diagnostici (es. dati sulla postura, sull'attività fisica o sulle abitudini) al fine di monitorare le condizioni di salute delle persone anziane (biosensori SWD e Internet of Things).

La digitalizzazione fornisce dunque delle soluzioni, spesso non ancora accettate del tutto dalla coorte anziana, di supporto nella fruizione degli spazi urbani – specie quelli difficilmente 'adattabili' come i centri storici – e che modificano ulteriormente la relazione persona-ambiente, evidenziandone le conflittualità ma garantendo una maggiore sensazione di sicurezza e di autonomia di movimento agli utenti. Il principale ostacolo alla diffusione di tali soluzioni è quasi paradossalmente rappresentato dalla ritrosia che ad oggi gli anziani dimostrano verso i dispositivi tecnologici, per una questione di abitudine o più in generale di disinformazione e diffidenza, nonché per i costi mediamente elevati di questi dispositivi (Harris, Blocker and Rogers, 2022): diffondere la cultura 'positiva' della tecnologia rappresenta il primo passo verso un approccio più smart nella vita quotidiana degli anziani.





Figg. 1, 2 | Demographic dynamics underway globally with particular reference to absolute population growth and increase in the percentage of elderly people (source: UN, 2019b; adapted by R. Revellini, 2024).

Fig. 3 | The eight domains of interest characterising age-friendly cities and communities (source: WHO, 2007; adapted by R. Revellini, 2024).

Cambiamenti climatici, maggiori vulnerabilità e transizione digitale | Gli impatti che i cambiamenti climatici hanno sulle città e sugli spazi 'a cielo aperto' sono evidenti nel quotidiano e le conseguenze per la popolazione, specie quella più fragile (bambini, donne in gravidanza, anziani e persone con disabilità) possono essere molto negative (Fig. 8; Tab. 1). È scientificamente provato infatti che temperature estreme e inaspettate diventano causa diretta o indiretta di decesso negli anziani, spesso sommandosi a patologie pregresse (Watts et alii, 2020; Chen et alii, 2024).

I cambiamenti climatici sono identificabili quindi come ulteriore 'ostacolo' per una sicura fruizione degli spazi delle città, in quanto potrebbe essere compromesso o limitato l'uso di aree verdi o aree blu, luoghi fondamentali per apportare benefici alla salute mentale e fisica di chi ne fruisce, in quanto la loro presenza incentiva l'attività fisica all'aria aperta e più in generale la permanenza e il contatto con l'esterno (Andreucci, Russo and Olszeweska-Guizzo, 2019; Dall'O', 2020; Fig. 9). La vulnerabilità al caldo o al freddo estremo, a fenomeni piovosi intensi e ormai non più eccezionali, gli impatti di inondazioni o altri simili disastri sono alcune delle principali cause di un aumento di sensazione di paura e ansia nelle persone anziane, con la conseguente opposizione a uscire di casa e quindi a un maggiore isolamento (Haq, 2021; White et alii, 2023).

Le politiche oggi in atto per contrastare i cambiamenti climatici affrontano il tema solo da un punto di vista ambientale, considerando marginalmente queste dinamiche, come avviene nel GDE e nel caso dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2022) in cui sono delineate le principali conseguenze sulla salute fisica e mentale delle persone più vulnerabili, ma non sono previsti Piani di azione specifici (Charveriat et alii, 2023).

Tuttavia, l'interesse crescente per le città 'vivibili, sane e per tutti' ha indirizzato diversi processi di rigenerazione urbana associando il concetto di fruibilità dello spazio pubblico da parte degli anziani a tendenze quali l'attività fisica, il benessere, l'esperienza multisensoriale e interattiva. Questo approccio, abbastanza diffuso nell'ambito della ricerca e della progettazione su spazi e infrastrutture per la mobilità, prevede l'uso in ambito urbano di dispositivi tecnologico-ambientali in grado di interagire con la persona e con l'ambiente per svolgere una funzione di mitigazione, monitoraggio e adattamento.

In diverse esperienze internazionali, la mitigazione dei potenziali impatti dei cambiamenti climatici negli spazi pubblici è garantita attraverso soluzioni integrate di infrastrutture verdi, sistemi olistici di Water Sensitive Urban Design e sistemi digitali di Empowerment by Design (acquisizioni di capacità e saperi per la formazione di comunità resilienti) per compensare gli effetti eccedenti le capacità prestazionali dell'ambiente costruito attraverso meccanismi di assorbimento delle polveri sottili, di drenaggio e stoccaggio dell'acqua piovana, di compensazione dell'irraggiamento, di alterazione dell'albedo delle superfici e così via.

In questo contesto teorico-metodologico si ritiene emblematica l'opera dell'architetto Philippe Rahm fortemente incentrata sul tema dei cambiamenti climatici e sul loro impatto sulla progettazione a tutte le scale. Parlando di spazio 'a cielo aperto', la volontà di migliorare la qualità della vita nelle aree pubbliche, nonostante il clima subtropicale caldo e umido di Taiwan, ha portato lo studio di Rahm a utilizzare dei dispositivi specifici (naturali e artificiali) per raffreddare, deumidificare e decontaminare le diverse zone identificate nel Jade Eco Park (Taichung, 2012-2016; Figg. 10, 11). Analizzando in tempo reale parametri come umidità, temperatura e concentrazione di polveri sottili, questi sistemi sono in grado di adattare l'ambiente circostante – attraverso getti di aria calda o fredda, sistemi di vaporizzazione e superfici refrigerati o riscaldate – creando così microclimi ideali per tutti, anche per le persone anziane, spesso dissuase dall'utilizzare gli spazi pubblici a causa di condizioni climatiche non ottimali.

Un ulteriore fronte di sviluppo nell'ambito dei dispositivi tecnologici punta al monitoraggio proattivo del benessere psico-fisico degli utenti, attraverso sensori che analizzano costantemente la qualità dell'aria, come nel progetto Clean Air Nairobi elaborato dal Senseable City Lab del MIT. Il continente africano, a causa di una rapida urbanizzazione e un'industrializzazione basata solo sull'uso di combustibili fossili, presenta un grave problema di inquinamento; a partire dal monitoraggio tramite sensoristica a basso costo il progetto propone il coinvolgimento dei cittadini per diffondere la consapevolezza che una buona qualità dell'aria è necessaria per uno stile di vita sano, sfruttando le prestazioni dei dispositivi utilizzati quasi più come mezzo di divulgazione che come strumento di rilievo effettivo (deSouza et alii, 2017).

Sebbene non esaustivi questi due esempi permettono di evidenziare le potenzialità dei dispositivi tecnologici-digitali applicati all'ambiente urbano, individuabili nell'evoluzione da dispositivi di 'reazione' a dispositivi di 'interazione', in quanto capaci di misurare le condizioni ambientali reali (tramite sensori) e in funzione di esse adattare la propria forma

e le proprie prestazioni in modo reattivo (Cellucci, 2020). L'apparato informatico fonde il naturale e l'artificiale in un nuovo ibrido in cui le persone non sono 'utenti' ma 'partecipanti' e gli spazi-oggetti sono sistemi tecnologici capaci di adattare sia se stessi sia i comportamenti delle persone.

In questo senso i dispositivi tecnologici-digitali si configurano come sistemi adattivi-interattivi a supporto di fattori biotici e abiotici, contribuendo alla trasformazione della città in un ambiente sensibile, reattivo e adattivo capace di valutare in tempo reale le condizioni di salute e sicurezza offerte ai suoi abitanti (Andaloro, de Waal and Suurenbroek, 2022); ciò rischia tuttavia di generare una sovraesposizione degli utenti a eccessivi stimoli sensoriali, se non filtrati dalle specificità sociali, economiche e ambientali locali. Comprendere quindi in che modo queste soluzioni possano risultare 'piacevoli' e accettate come parte integrante del progetto urbano dai fruitori dello spazio, nonché conoscerne le reali potenzialità ed effetti, rappresenta un ulteriore elemento di indagine.

Riflessioni conclusive, limiti e possibili sviluppi futuri | Alla luce del contesto demografico e dello scenario caratterizzato da una popolazione prevalentemente anziana, per lo più fisicamente inattiva e occupata in attività sedentarie, l'attrattività degli spazi della città risulta fondamentale per assicurare il contatto con gli altri e non perdere la relazione con il passare del tempo e delle stagioni (WHO, 2018). Pertanto questi spazi devono garantire condizioni di fruibilità e di movimento atte a favorire il benessere psico-fisico degli utenti in generale e in particolare dei soggetti più fragili, per i quali poter svolgere attività fisica rappresenta un fattore determinante per l'aspettativa di vita (Fig. 12).

Le considerazioni emerse finora portano all'attenzione il tema del 'muoversi' come attività sociale, ricreativa e salutare, e quindi non solo come spostamento nello spazio o tra gli edifici; è proprio la qualità degli spazi tra gli edifici a incentivare o disincentivare le persone a sostare e svolgere le attività non necessarie, ovvero quelle opzionali e sociali (Gehl, 1987), facendo riferimento sia a caratteristiche oggettive e misurabili (presenza di aree verdi, uso del suolo, presenza di arredo urbano, ecc.) che a quelle qualitative e percettive (sensazione di sicurezza e di piacevolezza di uno spazio).

L'attuale quadro teorico sulle Age-Friendly Cities and Communities necessita di essere implementato rispetto a questi temi e rispetto alle attuali dinamiche trasformative della città, per le quali mancano ancora soluzioni adeguate che tengano conto delle persone e del loro benessere. Una visione collettiva, consapevole e diffusa, che si avvalga dell'approccio human-centred anche per affrontare la sfida dei cambiamenti climatici o della digitalizzazione, dovrebbe integrarsi ai programmi specifici sul tema, come il GDE o l'IPCC, in quanto una transizione verde e digitale non è possibile, o comunque risulterebbe parziale, se al contempo non viene garantita una 'transizione umana' attraverso politiche sociali adeguate ai bisogni delle persone (Sanchez-Reaza et alii, 2023; Charveriat et alii, 2023).

Phillipson et alii (2024) si interrogano infatti se l'idea delle AFCCs sia compatibile con l'urbanizzazione contemporanea e con le sfide che la città stessa deve affrontare oggigiorno. La risposta non è scontata, poiché la questione richiede un'analisi integrata di fattori multipli e interconnessi, finora spesso considerati in modo isolato; essi inoltre sottolineano la necessità di redigere un'agenda condivisa a livello internazionale che consideri l'invecchiamento come una tendenza ineludibile a livello globale per prevenire o ridurre le diseguaglianze nella vita urbana.

In tal senso l'adozione della logica esigenziale-prestazionale per rispondere ai bisogni della coorte anziana potrebbe essere utile a ri-pensare spazi inclusivi e per tutte le età, affrontando le diverse questioni emerse nel presente saggio. L'utilizzo di processi valutativi, per esempio, favorirebbe la comprensione delle mancanze o delle modifiche da apportare allo spazio urbano (Revellini, 2023), ma al contempo risulta altrettanto importante il ruolo che le Pubbliche Amministrazioni dovrebbero svolgere per lo sviluppo di spazi 'age-friendly' che tengono conto dei più svariati fattori.

Tuttavia le procedure amministrative tendono sempre più a separare le dimensioni tecnologico-costruttive da quelle ambientali-relazionali e non favoriscono il soddisfacimento della domanda di fruibilità degli spazi pubblici da parte degli anziani. Quest'ultimo aspetto si rileva significativo soprattutto all'interno dei tessuti urbani delle città storiche, dove la tendenza restaurativa di un'immagine storicizzata dello spazio pubblico non ammette l'integrabilità con soluzioni, materiali e dispositivi moderni dal punto di vista sia materico-formale che prestazionale.

Un esempio potrebbe essere la città lagunare di Venezia, il cui centro storico sempre più 'grigio', data l'elevata percentuale di residenti over 65, deve far fronte a esternalità significative – dall'overtourism a fenomeni climatici specifici come l'acqua alta – che spesso ne limitano la fruizione in autonomia e sicurezza. Anche se in ambito di accessibilità ambientale molto è stato fatto negli anni per rendere la città più inclusiva, per le sue specificità e sulla base dei temi finora emersi, Venezia potrebbe assurgere a essere un caso-studio di riferimento per la sperimentazione e la valutazione di specifiche dinamiche poi generalizzabili in altri contesti urbani (Tatano and Revellini, 2021).

Come emerso nei paragrafi precedenti si può ricorrere a soluzioni digitali che supportino l'anziano a svolgere le attività quotidiane in autonomia così come per monitorare parametri relativi al clima o a fattori atmosferici. I processi di pianificazione includono sempre più l'IoT o l'IA nelle dinamiche di trasformazione della città e, alla luce del contesto descritto, si inizia a parlare di smart city accessibile[2] mentre in termini di ambiente costruito le tecnologie smart e domotiche (telemedicina, telesupporto) rappresentano un segmento di mercato emergente e strategico con un impatto significativo sulla cosiddetta Silver Economy. Nonostante l'importanza della digitalizzazione è fondamentale evitare di immaginare una città 'invasa' da sensori nella quale si delega alla sola sensoristica la soluzione alle complesse problematiche quali-quantitative esistenti nello spazio urbano.

In questo ambito possono delinearsi dei possibili scenari di ricerca futuri, scalabili e interpretabili soprattutto a partire dalla scala di quartiere che riguardano: a) lo sviluppo e l'implementazione di strumenti per la valutazione degli spazi pubblici basati sull'analisi quantitativa di fonti e dati ufficiali, anche integrati con sistemi GIS, che permetterebbero di identificare le reali problematiche dello spazio urbano per agire in maniera mirata e puntuale sulle criticità che emergono; b) l'analisi e la raccolta di dati qualitativi, relativi alle percezioni soggettive e alle emozioni delle persone anziane nella fruizione dell'ambiente costruito nonché di quello naturale, in quanto hanno effetti significativi sui comportamenti nella mobilità e sulla loro ponderazione rispetto alle caratteristiche individuali degli utenti; c) la sperimentazione di sistemi integrati di sensori permanenti (per comprendere i comportamenti delle persone), sensori mobili (ad esempio app per registrare dati ambientali e localizzazioni GPS) e biosensori indossabili (per catturare emozioni umane attraverso parametri biofisiologici) per supportare e migliorare i processi decisionali e di pianificazione.

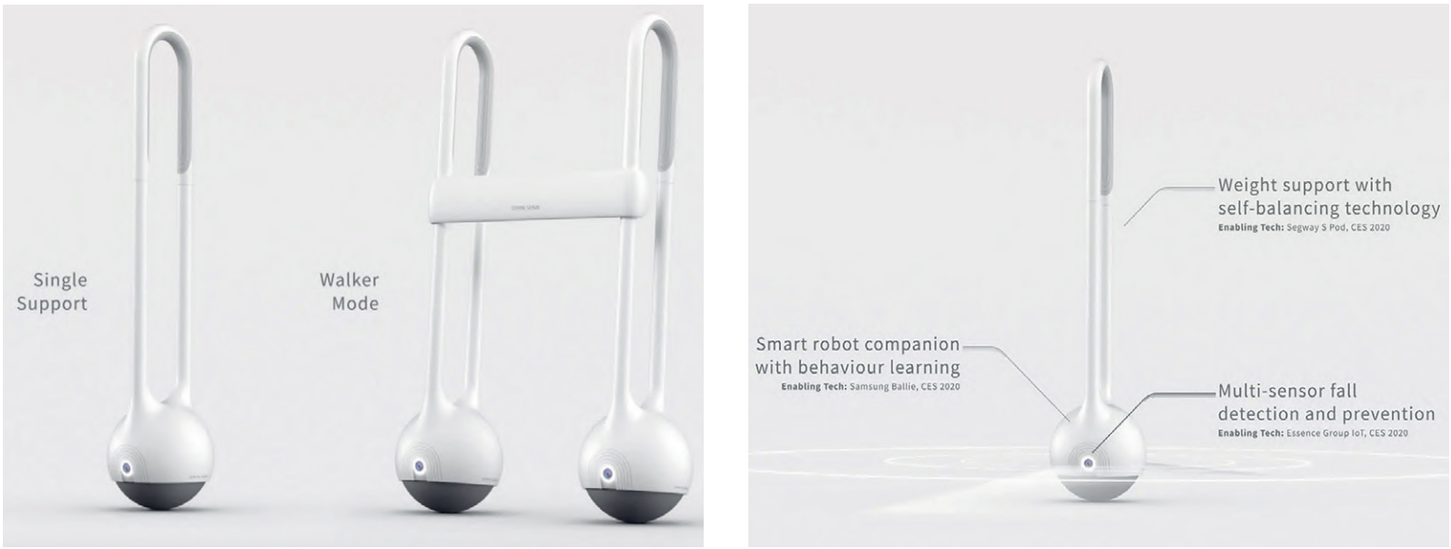
Tali scenari, che hanno ricadute più ampie della semplice fruizione degli spazi aperti da parte degli anziani e in generale di tutti i cittadini, riguardano la reinterpretazione dello spazio urbano e delle sue componenti come dispositivi che possono abilitare diversi e nuovi livelli di interazione fra persone, comunità, natura e tecnologie e nello stesso tempo rigenerare la vita in città e immaginarne la sua evoluzione nel tempo.

The city can be compared to a 'complex system' in constant evolution, a place of life and social sharing that must cope with transformative dynamics, temporary or permanent, to adapt to the needs and requirements, also evolving ones, of those who live there (Moreno, 2024). In particular, 'open-air' public spaces are characterised by qualitative and quantitative changes, among which the growth of the elderly urban population is one of the most significant (Laurìa, 2017) as it conditions the birth of new 'challenges' for the city itself.

The most recent demographic projections show that the overall increase in the number of elderly peo-



Fig. 4 | Experiencing the outdoor space on the doorstep is a typical habit of the Mediterranean area, mainly thanks to the climate, which still today allows the elderly, and not only them, to stop just outside their homes to spend time and observe what is happening (credit: R. Revellini, 2024).



Figg. 5, 6 | Stride Senze, designed by NOK Design, is an example of a smart cane, even in the walker version, that can intercept obstacles as well as be connected to a family network to communicate any falls of the user (source: designwanted.com, 2022).

ple corresponds to a growth in percentage terms of the population over 65 living in urbanised contexts – a population that, in absolute terms, will be equal to approximately 68% of the world population in 2050, or 38% more than in 1950 (UN, 2019a) – but cities do not always appear to be inclusive and 'enabling' for this specific user group. The coexistence of the two phenomena of population ageing and urbanisation, identified as demographic megatrends of the 21st century underway globally together with population growth and international migration (UN, 2019b; Figg. 1, 2), therefore implies a reflection on the social, economic and environmental aspects, or the sustainable development of cities, since it is strongly influenced by these phenomena (García Ballesteros and Jiménez Blasco, 2016; Leeson, 2018).

This reflection is set in the theoretical framework of Age-Friendly Cities and Communities (AFCCs; WHO, 2007, 2018), as well as in the specific disciplinary field defined as 'urban ageing' (Van Hoof et alii, 2018; Fig. 3), and aims to outline the current transformative dynamics to be considered with respect to the objective of ensuring 'active' and healthy ageing in urbanised contexts in light of the already present challenges regarding climate and environment, which influence the way of living and relating to the space of the city and relations between people.

If we take as a reference the European Green Deal (EGD), to date, the most important plan of political initiatives in the European context for a green and digital transition toward climate neutrality of countries by 2050 (European Commission, 2019), the lack of a human-centred approach is evident, so much so that the potential social impacts of the various proposed strategies are only marginally considered (Sanchez-Reaza et alii, 2023). However, the EGD addresses issues that have direct repercussions on health and well-being as well as on people's behaviour, such as sustainable mobility or solutions for mitigation of and adaptation to climate changes, whose effects could allow a safer use of 'open-air' spaces. Similarly, in the EGD, the issue of digitalisation concerns only the industrial sector, yet digital solutions could also support the population's ageing process and, in general, guarantee greater autonomy of life for people (Milocco Borlini and Conti, 2022).

Criticism of the EGD is necessary since the importance of the issues addressed therein is recognised, especially in relation to the human and social consequences. Starting from this reflection, the essay, structured in three sections, interprets digitalisation as a transversal strategy to address the new urban complexities for the elderly cohort. In particular, the first section examines the person-environment relationship and how digital solutions can support the elderly in the use of urban spaces, noting the importance of living in these spaces for the reference cohort (Fig. 4); the second addresses the issue of climate changes, its influence on the health of the most fragile subjects and the way the digitalisation process can promote greater control of specific dynamics in urban spaces; the final section illustrates the current critical issues and proposes food for thought for possible research developments.

Person-environment, a constantly evolving relationship | There is a profound relation between the habitat, the physical and social environment in which we have formed, and the habitus, physical characteristics, acquired habits, ways of doing and thinking and behaviours. Space influences behaviours, and ways of living conditions and shapes spaces, in fact, the theory of 'person-environment fit' demonstrated that this relationship becomes stronger as one gets older (Lawton, 1982). Indeed, it is not a static condition but a relationship that evolves and proceeds by successive approximations, between an external horizon (the relationships of space with its constituent parts and with its contextual environment) and an internal horizon with all its determinations in relation to man (Cellucci, 2021).

As regards the physical environment, it should be considered that, to date, attention in its design has been mainly directed to people in good health, neglecting both the physical and cognitive evolution of the person and the different needs that emerge with advancing age (Phillipson et alii, 2024). Designing for an ideal user has meant that moving around the city means experiencing above all its material or immaterial boundaries (Lefebvre, 1976), but the lack of certain characteristics of public space increases the vulnerability of users, especially the elderly, accelerating their physical decline and social isolation.

Although people's health conditions have improved on average thanks to the progress of science, medicine and the adoption of healthier lifestyles, so much so that gerontology studies are reconsidering the age at which one 'becomes old'[1] (Wettstein et alii, 2024), the ageing process involves some inevitable physical 'changes' (limitations in mobility, reduction of sight or hearing, loss of strength, etc.) and social 'changes' (reduction of interactions with others) determined by the conditions of isolation and solitude that should be considered in the design of public spaces.

The aim of creating 'elderly-friendly' environments involves adopting an approach based on the role of the elderly pedestrian as a generator of urbanity. The urban space design thus addresses the difference between the objectified space of geography and the subjective space of the landscape (Straus and Maldiney, 2005). Walking differs from other forms of travel (with mechanical means) due to the bodily awareness of spatial translation that is based on objective rules of geography – one moves from place to place – filtered by a slow and personal perception.

According to this vision, the propensity of public space to encourage movement, especially in the most fragile people, depends not only on usability and the conforming-dimensional relationship (accessible space) but also on the capacity of the space to be an experiential reality (psycho-physical-metabolic relationship) and a 'prosthetic' one, that is, one capable of stimulating activities that are crucial for health. Understanding the human scale, understood as the compatibility of spaces with the physical-sensorial-cognitive characteristics of the elderly, therefore becomes central to investigating the quality of the public space through considerations of the conditions of use by its most fragile users.

This correspondence between users, activities, and physical environment has been investigated in

literature by referring to the metric-dimensional conditions centred on the accessibility and inclusiveness of space (Delaney, Parkhurst and Melia, 2017; Milocco Borlini and Conti, 2022), the psycho-cognitive conditions aimed at sensory well-being (Cahour, Salembier and Zouinar, 2016), and the social conditions centred on participatory processes and collective activities (Gehl, 1987).

More recent research highlights how these relationships can be filtered by highly technological devices capable of weighing the performance inputs of the environment with respect to the individual characteristics of the potential users (Fong, Fong and Li, 2020; Zhang et alii, 2024). These devices are configured as adaptive solutions with respect to the evolutionary processes that characterise both the performances offered by the public space and the psychophysical abilities of the elderly.

The use of 'extensions', or the use of devices from the smallest and most technological, such as pacemakers or hearing aids, to the most 'invasive' (with respect to space), such as a cane, walker, wheelchair or robotic prosthesis, constructs a first form of adaptation to the dimensional, material and sensorial characteristics offered by the context. These devices can be integrated with GSP localisation tools and alerts that identify the position of the elderly or identify potential obstacles (Figg. 5-7). A further improvement in performance can be obtained from the use of monitoring sensors that can be integrated into wearable devices capable of collecting diagnostic data (e.g., data on posture, physical activity or habits) in order to monitor the health conditions of elderly people (SWD biosensors and Internet of Things).

Digitalisation, therefore, provides solutions, often not yet fully accepted by the elderly cohort, to support the use of urban spaces – especially those that are difficult to 'adapt' such as historic centres – which further modify the person-environment relationship by highlighting conflicts but ensuring a greater sense of safety and autonomy of movement for users. The main obstacle to the spread of such solutions is almost paradoxically the reluctance that, to date, the elderly demonstrate towards technological devices, due to a question of habit or misinformation and distrust, as well as the average high costs of these devices (Harris, Blocker and Rogers, 2022). Spreading the 'positive' culture of technology represents the first step towards a smarter approach in the daily lives of the elderly.

Climate changes, increased vulnerabilities and digital transition | The impacts that climate changes have on cities and open-air spaces are evident in everyday life, and the consequences for the population, especially the most fragile (children, pregnant women, elderly and people with disabilities) can be very negative (Fig. 8; Tab. 1). It is scientifically proven that extreme and unexpected temperatures become a direct or indirect cause of death in the elderly, often adding to previous pathologies (Watts et alii, 2020; Chen et alii, 2024).

Climate changes can therefore be identified as a further 'obstacle' to the safe use of city spaces, as the use of green areas or blue areas – places that are fundamental for bringing benefits to the mental and physical health of those who use them, and whose presence encourages physical activity in the open air and more generally staying in and being in contact with the outside – could be compromised or limited (Andreucci, Russo and Olszeweska-Guizzo, 2019; Dall'O', 2020; Fig. 9). Vulnerability to extreme heat or cold, to no longer exceptional intense rainfall, the impacts of floods or other similar disasters are some of the main causes of an increase in the feeling of fear and anxiety in older people, with consequent reluctance to leave their homes and therefore greater isolation (Haq, 2021; White et alii, 2023).

The policies currently in place to combat climate change only address the issue from an environmental point of view, marginally considering these dynamics, as occurs in the EGD and the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2022), in which the main consequences on the physical and mental health of the most vulnerable people are outlined, but no specific action plans are envisaged (Charveriat et alii, 2023). However, growing interest in 'liveable, healthy and universal' cities

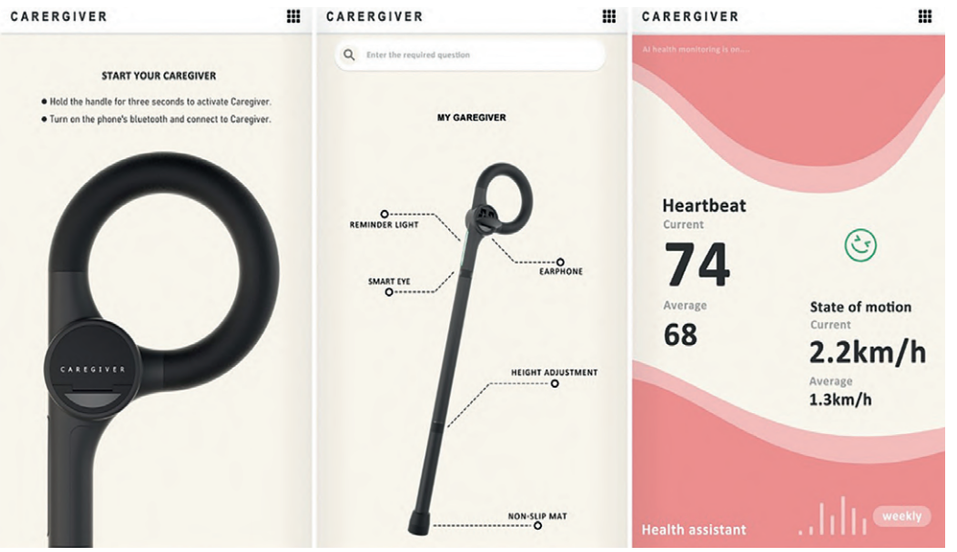


Fig. 7 | The smart Caregiver cane designed by Ma Tianyu is made thanks to sensor-based technology. Various sensors allow identification of the user's position to signal their presence through light, which is especially useful during night hours, and connection with earphones or their smartphone via Bluetooth (source: yankodesign.com, 2022).



Fig. 8 | The four main risk factors that negatively affect the health and well-being of the elderly (source: HelpAge International, 2023; adapted by R. Revellini, 2024).

has driven several urban regeneration processes by associating the concept of usability of the public space by the elderly with trends such as physical activity, well-being, and multisensory and interactive experiences. This approach, quite widespread in research and design on spaces and infrastructures for mobility, involves the use in urban areas of technological-environmental devices capable of interacting with the person and the environment to perform a mitigation, monitoring and adaptation function.

In several international experiences, the mitigation of the potential impacts of climate changes in public spaces is guaranteed through integrated green infrastructure solutions, holistic systems of Water Sensitive Urban Design and digital systems of Empowerment by Design (acquisitions of skills and knowledge for the formation of resilient communities) to compensate for the effects exceeding the performance capabilities of the built environment through mechanisms of absorption of fine dust, drainage and storage of rainwater, compensation of radiation, alteration of the albedo of surfaces and so on.

In this theoretical-methodological context, the work of architect Philippe Rahm, strongly focused on climate change issues and their impact on design at all scales, is considered emblematic. Speaking of 'open-air' spaces, the desire to improve the quality of life in public areas despite Taiwan's hot and humid subtropical climate has led Rahm's study to use (natural and artificial) specific devices to cool, dehumidify and decontaminate the different areas identified in the Jade Eco Park (Taichung, 2012-2016; Figg. 10, 11). By analysing parameters such as humidity, temperature and concentration of fine dust in real-time, these systems are able to adapt the surrounding environment – through jets of hot or cold air, vaporisation systems, and refrigerated or heated surfaces – creating ideal microclimates for everyone, even for the elderly, who are often discouraged from using public spaces by less than optimal climate conditions.

A further front of development in the field of technological devices aims at proactively monitoring the psycho-physical well-being of users, through sensors that constantly analyse air quality, as in the Clean Air Nairobi project developed by the MIT Senseable City Lab. In this connection, the African continent, due to rapid urbanisation and industrialisation based only on the use of fossil fuels, presents a serious pollution problem. Starting from monitoring through low-cost sensors, the project proposes the involvement of citizens to spread awareness that good air quality is necessary for a healthy lifestyle by exploiting the performance of devices used almost more as a pretext for dissemination than as an effective survey tool (de Souza et alii, 2017).

Although not exhaustive, these two examples allow us to highlight the potential of technological-digital devices applied to the urban environment, identifiable in the evolution from 'reaction' devices to 'interaction' devices, as they are capable of measuring real environmental conditions (via sensors) and adapting their shape and performance in a reactive way accordingly (Cellucci, 2020). The IT apparatus merges the natural and the artificial in a new hybrid in which people are not 'users' but 'participants', and the object-spaces are technological systems capable of adapting both themselves and people behaviours. In this sense, technological-digital devices are configured as adaptive-interactive systems to support biotic and abiotic factors, contributing to the transformation of the city into a sensitive, reactive and adaptive environment capable of evaluating in real-time the health and safety conditions offered to its inhabitants (Andaloro, de Waal and Suurenbroek, 2022); however, this risks leading to overexposure of users to excesses of sensorial stimuli, if not filtered by local social, economic and environmental specificities. Therefore, understanding how these solutions can be 'pleasant' and accepted as an integral part of the urban project by users of the space, as well as knowing their real potential and effects, represents a further element of investigation.

Concluding considerations, limits and possible future developments | In light of the demographic context and the trend scenario characterised by a predominantly elderly population, mostly physically inactive and engaged in sedentary activities, the attractiveness of city spaces is essential to ensuring contact with others and not losing the relationship with the passing of time and seasons (WHO, 2018). Therefore, these spaces must guarantee conditions of usability and movement to promote the psycho-physical well-being of users in general and, in particular, of the most fragile subjects, for whom being able to carry out physical activity represents a determining factor for life expectancy (Fig. 12).

The considerations that have emerged so far highlight the theme of 'moving' as a social, recreational and healthy activity, and therefore, not only as a movement in space or between buildings. It is precisely the quality of the spaces between buildings that encourages people to stop and carry out unnecessary activities, i.e., optional and social ones,

	Climate Driver	Exposure	Health Outcome	Impact
Extreme Heat	More frequent, severe, prolonged heat events	Elevated temperatures	Heat-related death and illness	Rising temperatures will lead to an increase in heat-related deaths and illnesses
Outdoor Air Quality	Increasing temperatures and changing precipitation patterns	Worsened air quality (ozone, particulate matter, and higher pollen counts)	Premature death, acute and chronic cardiovascular and respiratory illnesses	Rising temperatures and wildfires and decreasing precipitation will lead to increases in ozone and particulate caloradar and esprior / illnesses and death
Flooding	Rising sea levels and more frequent or intense extreme precipitation, hurricanes, and storm surge events	Contaminated water, debris, and disruptions to essential infrastructure	Drowning, injuries, mental health consequences, gastrointestinal and other illness	Increased coastal and inland flooding exposes populations to a range of negative health impacts before, during, and after events
Vector-Borne Infection (Lyme Disease)	Changes in temperature extremes and seasonal weather patterns	Earlier and geographically expanded tick activity	Lyme disease	Ticks will show earlier seasonal activity and a generally northward range expansion, increasing the risk of human exposure to Lyme disease-causing bacteria
Water-Related Infection (Vibrio vulnificus)	Rising sea surface temperature, changes in precipitation, and runoff affecting coastal salinity	Recreational water or shellfish contaminated with Vibrio vulnificus	Vibrio vulnificus induced diarrhoea and intestinal illness, wound and bloodstream infections, death	Increases in water temperatures will alter timing and location of Vibrio vulnificus growth, increasing exposure and risk of waterborne illness
Food-Related Infection (Salmonella)	Increases in temperature, humidity and season length	Increased growth of pathogens, seasonal shifts in incidence of Salmonella exposure	Salmonella infection, gastrointestinal outbreaks	Rising temperatures increase Salmonella prevalence in food; longer seasons and warming winters increase risk of exposure and infection
Mental Health and Well-Being	Climate change impacts, especially extreme weather	Level of exposure to traumatic events, like disasters	Distress, grief, behavioural health disorders, social impacts, resilience	Changes in exposure to climate-or weather-related disasters cause or exacerbate stress and mental health consequences, with greater risk for certain populations

Tab. 1 | The main impacts of climate on people's health (source: health2016.globalchange.gov; adapted by C. Cellucci, 2024).

or discourages them from so doing (Gehl, 1987), referring both to objective and measurable characteristics (presence of green areas, land use, presence of street furniture, etc.) and to qualitative and perceptive ones (feeling that a space is safe and pleasant).

The current theoretical framework on AFCCs needs to be implemented with respect to these issues and the current transformative dynamics of the city, for which adequate solutions that take people and their well-being into account are still lacking. A collective, conscious and widespread vision, which also uses the human-centred approach to address the challenge of climate change or digitalisation, should be integrated with specific programs on the topic, such as the EGD or the IPCC, as a green and digital transition is not possible, or in any case would be partial if at the same time a 'human transition' is not guaranteed through social policies adequate to people's needs (Sanchez-Reaza et alii, 2023; Charveriat et alii, 2023).

Phillipson et alii (2024) indeed question whether the idea of AFCCs is compatible with contemporary urbanisation and with the challenges that the city itself has to face today. The answer is not obvious, since the issue requires an integrated analysis of multiple and interconnected factors, so far often considered in isolation. The authors also underline the need to draft a shared agenda at an international level that considers ageing as an unavoidable trend at a global level to prevent or reduce inequalities in urban life.

In this sense, the adoption of the need-performance logic to respond to the needs of the elderly cohort could help rethink inclusive and all-age spaces, addressing the various issues that have emerged in this essay. The use of evaluation processes, for example, would promote an understanding of the shortcomings of the urban space or the changes to be made to it (Revellini, 2023), but at the same time, the role that Public Administrations should play in the development of 'age-friendly' spaces that take into account the most varied factors is equally important.

However, administrative procedures increasingly tend to separate the technological-constructive dimensions from the environmental-relational ones and do not favour satisfaction of the demand for the usability of public spaces by the elderly. The latter aspect is particularly significant within the urban fabrics of historic cities, where the restorative tendency of a historicised image of public space does not allow for integration with modern solutions, materials and devices from both a material-formal and performance point of view.

An example could be the city of Venice, whose historic centre is increasingly 'grey', given the high percentage of residents over 65, and has to deal with significant externalities – from excessive tourism to specific climatic phenomena such as high water – which often limit its use in autonomy and safety. Although in the field of environmental accessibility much has been done over the years to make the city more inclusive, due to its specificities and on the basis of the themes that have emerged so far, Venice could become a reference case of study for experimentation with and evaluation of specific dynamics that can then be generalised in other urban contexts (Tatano and Revellini, 2021).

As has emerged in the previous sections, digital solutions can be used to support the elderly in carrying out daily activities independently, as well as



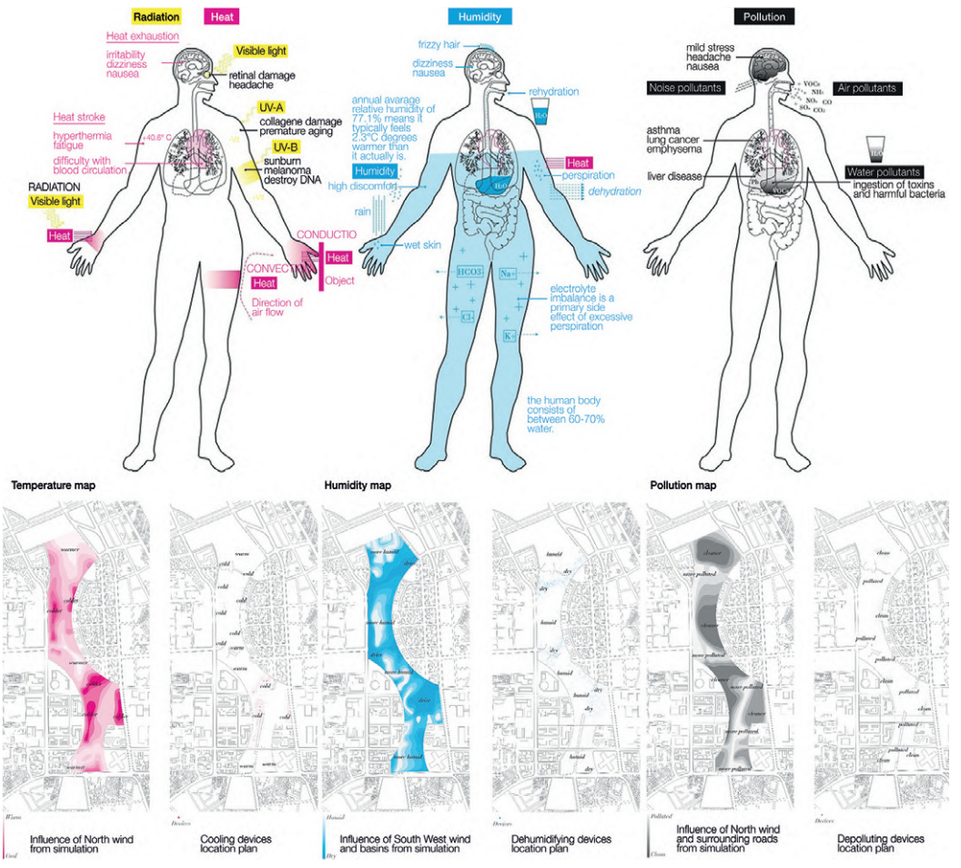


Fig. 9 | The Venetian sottoportego (or sottoportico) is one of the forms of shelter from the summer heat for the elderly (credit: R. Revellini, 2024).

Fig. 10 | Heat, humidity, and pollution, as three factors that have physiological consequences on the body, are mapped and investigated in the creation of the proposal for the Jade Eco Park by Philippe Rahm (source: archdaily.com, 2022).





to monitor parameters relating to climate or atmospheric factors. Planning processes increasingly include IoT or AI in the dynamics of city transformation; in light of the context described, we are starting to talk about accessible smart cities[2] while in terms of the built environment, smart and home automation technologies (telemedicine, tele-support) represent an emerging and strategic market segment with a significant impact on the so-called Silver Economy. Despite the importance of digitalisation, it is essential to avoid imagining a city 'invaded' by sensors in which the solution to the complex qualitative and quantitative problems existing in the urban space is delegated to these alone.

In this context, possible future research scenarios can be outlined, scalable and interpretable especially starting from the neighbourhood scale, which concern the following: a) development and implementation of tools for evaluation of public spaces based on the quantitative analysis of official sources and data, also integrated with GIS systems, which would make it possible to identify the real problems of the urban space in order to act in a targeted and timely manner on the critical issues that emerge; b) analysis and collection of qualitative data, relating to the subjective perceptions and emotions of elderly people in the use of the built environment as well as the natural one, as they have significant effects on mobility behaviours and on their weighting with respect to the individual characteristics of users; c) experimentation with integrated systems of permanent sensors (to understand people's behaviours), mobile sensors (for example apps to record environmental data and GPS locations) and wearable biosensors (to capture human emotions through bio-physiological parameters) to support and improve decision-making and planning processes.

These scenarios, which have wider implications than the simple use of open spaces by the elderly and, in general, by all citizens, concern the reinterpretation of urban space and its components as devices that can enable different and new levels of interaction between people, communities, nature and technologies and at the same time regenerate life in the city and imagine its evolution over time.

Fig. 11 | Environmental device for controlling and mitigating external temperature through steam jets and cold or hot air in the Jade Eco Park by Philippe Rahm (source: archdaily.com, 2022).

Fig. 12 | In the historic centre of Venice, elderly people encounter various obstacles in the use of the urban space: if, on the one hand, bridges constitute the main 'barrier' to movement, on the other hand, they stimulate more intense physical activity than walking (credit: R. Revellini, 2024).

Acknowledgements

The present contribution is the result of a joint reflection by the Authors. Nevertheless, the introduction is to be attributed to R. Revellini, 'Climate changes, increased vulnerabilities and digital transition' to R. Revellini and C. Cellucci, 'Person-environment, a constantly evolving relationship' and 'Concluding considerations, limits and possible future developments' paragraphs are to be attributed to R. Revellini, C. Cellucci and M. R. Chaza Chimeno.

This research was funded under the iNEST Interconnected Northeast Innovation Ecosystem research programme from the resources of the National Plan for Recovery and Resilience (NRP), M4C2 – investment 1.5. Creation and strengthening of 'Innovation Ecosystems for Sustainability', funded by the European Union, NextGenerationEU, CUP F43C22000200006.

Notes

1) If 60 years was considered old in the 1950s, today, an elderly person is considered over 65. Contemporary gerontology proposes moving this 'threshold' from 65 to 75.

2) For example, see the LETIsmart project designed by SCEN. For more information, visit the web page: letismart.it/city/la-smart-city-accessibile/ [Accessed 19 September 2024].

References

Andaloro, B., de Waal, M. and Suurenbroek, F. (2022), "Lo spazio pubblico adattivo – Esplorare la transizione digitale per il benessere sociale e ambientale | Adaptive public spaces – Exploring digital transition for social and environmental benefit", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 68-75. [Online]

Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1262022 [Accessed 11 October 2024].

Andreucci, M. B., Russo, A. and Olszeweska-Guizzo, A. (2019), "Designing urban green blue infrastructure for mental health and elderly wellbeing", in *Sustainability*, vol. 11, issue 22, article 6425, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su11226425 [Accessed 19 September 2024].

Cahour, B., Salembier, P. and Zouinar, M. (2016), "Analyzing lived experience of activity", in *Le Travail Humain*, vol. 79, issue 3, pp. 259-284. [Online] Available at: doi.org/10.3917/th.793.0259 [Accessed 19 September 2024].

Cellucci, C. (2021), "Adattabilità come strategia di rigenerazione circolare", in *EcoWebTown Journal of Sustainable Design*, vol. 24, pp. 141-149. [Online] Available at: ecowebtown.it/n_24/ [Accessed 13 October 2024].

Cellucci C. (2020), "Strategie di Interactive-Adaptive Surfaces per l'Habitat Urbano", in Perriccioli, M., Rigillo, M., Russo Ermolli, S. and Tucci, F. (eds), *Design in the Digital Age – Technology, Nature, Culture*, Maggioli, Napoli, pp. 454-458.

Charveriat, C., Bodin, E., Cartier, B. and Haq, G. (2023), *Climate justice in an ageing world – Discussion paper*, HelpAge International, London. [Online] Available at: helpage.org/wp-content/uploads/2023/11/Climate-justice-in-an-ageing-world.pdf [Accessed 19 September 2024].

Chen, K., de Schrijver, E., Sivaraj, S., Sera, F., Scovronick, N., Jiang, L., Roye, D., Lavigne, E., Kyselý, J., Urban, A., Schneider, A., Huber, V., Madureira, J., Mistry, M. N., Cvijanovic, I., MCC Collaborative Research Network, Gasparrini, A. and Vicedo-Cabrera, A. M. (2024), "Impact of population aging on future temperature-related mortality at different global warming levels", in *Nature Communications*, vol. 15, article 1796, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1038/s41467-024-45901-z [Accessed 19 September 2024].

Dall'O', G. (2020), "Renaturing Cities – Green and Blue Urban Spaces as Paradigms of Urban Planning", in *Green Planning for Cities and Communities. Novel incisive approaches to sustainability*, Springer, Cham, pp. 43-65. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-41072-8_3 [Accessed 19 September 2024].

Delaney, H., Parkhurst, G. and Melia, S. (2017), "Walking and cycling on shared-use paths – The user perspective", in *Proceedings of the Institution of Civil Engineers | Municipal Engineer*, vol. 170, issue 3, pp. 175-184. [Online] Available at: doi.org/10.1680/jmuen.16.00033 [Accessed 19 September 2024].

deSouza, P., Nthusi, V., Klopp, J. K., Shaw, B. E., Ho, W. O., Saffell, J., Jones, R. and Ratti, C. (2017), "A Nairobi experiment in using low cost air quality monitors", in *Clean Air Journal*, vol. 27, issue 2, pp. 12-42. [Online] Available at: doi.org/10.17159/2410-972X/2017/v27n2a6 [Accessed 11 October 2024].

European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN [Accessed 19 September 2024].

Fong, B., Fong, A. C. M. and Li, C. K. (2020), *Telemedicine technologies – Information technologies in medicine and digital health*, John Wiley & Sons, Hoboken.

García Ballesteros, A. and Jiménez Blasco, B. (2016), "Envejecimiento y urbanización – Implicaciones de dos procesos coincidentes", in *Investigaciones Geográficas*, vol. 89, pp. 58-73. [Online] Available at: dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8748581 [Accessed 19 September 2024].

Gehl, J. (1987), *Life Between Buildings – Using Public Space*, Van Nostrand Reinhold, New York.

Haq, G. (2021), "The forgotten generation – Older people and climate change", in Bell, K. (ed.), *Diversity and Inclusion in Environmentalism*, Routledge, London, pp. 118-131.

Harris, M. T., Blocker, K. A. and Rogers, W. A. (2022), "Older Adults and Smart Technology – Facilitators and Barriers to Use", in *Frontiers in Computer Science*, vol. 4, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.3389/fcomp.2022.835927 [Accessed 11 October 2024].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022), "Health, Wellbeing, and the Changing Structure of Communities", in Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Tignor, M., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A. and Rama, B. (eds), *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability – Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, New York, pp. 1041-1170. [Online] Available at: doi.org/10.1017/9781009325844.009 [Accessed 19 September 2024].

Laurìa, A. (ed.) (2017), *Piccoli spazi urbani – Valorizzazione degli spazi residuali in contesti storici e qualità sociali*, Liguori Editore, Napoli.

Lawton, M. P. (1982), "Competence, environmental press, and the adaptation of older people", in Lawton, M. P., Windley, P. G. and Byerts, T. O. (eds), *Aging and the environment – Theoretical approaches*, Springer, New York, pp. 33-59.

Leeson, G. W. (2018), "The Growth, Ageing and Urbanisation of our World", in *Journal of Population Ageing*, vol. 11, pp. 107-115. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s12062-018-9225-7 [Accessed 19 September 2024].

Lefebvre, H. (1976), *La produzione dello spazio*, Moizzi, Milano.

Milocco Borlini, M. and Conti, C. (2022), "Conoscenza e rilevamento smart per una città accessibile – Sperimentare sul territorio del Friuli Venezia Giulia | Knowledge and smart sensing for an accessible city – Experimenting on the territory of Friuli Venezia Giulia", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 46-57. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1242022 [Accessed 11 October 2024].

Moreno, C. (2024), *La città dei 15 minuti – Per una cultura urbana democratica*, Add, Torino.

Phillipson, C., Doran, P., Yarker, S. and Buffel, T. (2024), "Aging in the urban context", in Cutchin, M. and Rowles, G. D. (eds), *Handbook on Aging and Place*, Edward Elgar, Cheltenham, Northampton, pp. 259-276.

Revellini, R. (2023), "Spazi pubblici age-friendly – Come valutarli adeguatamente per migliorarne la qualità | Age-friendly Public Spaces – How to Properly Assess them to Improve their Quality", in De Santis, M., Marzi, L., Secchi, S. and Setola, N. (eds), *Specie di Spazi – Promuovere il benessere psico-fisico attraverso il progetto | Species of Spaces – Fostering psycho-physical well-being by design*, Anteferma, Conegliano, pp. 258-265. [Online] Available at: doi.org/10.57623/979-12-5953-089-9 [Accessed 6 October 2024].

Sanchez-Reaza, J., Ambasz, D., Djukic, P. and McEvoy, K. (eds) (2023), *Making the European Green Deal Work for People – The Role of Human Development in the Green Transition*, World Bank Group, Washington. [Online] Available at: openknowledge.worldbank.org/entities/publication/7b1fcc3c-f44f-4a11-9828-9ae191a746c6 [Accessed 19 September 2024].

Straus, E. and Maldiney, H. (2005), *L'estetico e l'estetica – Un dialogo nello spazio della fenomenologia*, Mimesis, Milano.

Tatano, V. and Revellini, R. (2021), "Accessibilità urbana a Venezia tra conservazione e inclusione | Urban Accessibility in Venice, between Conservation and Inclusion", in Germanà, M. L. and Prescia, R. (eds), *L'accessibilità nel patrimonio architettonico – Approcci ed esperienze tra tecnologia e restauro | Accessibility in Architectural Heritage – Approaches and experiences between technology and restoration*, Anteferma, Conegliano, pp. 244-251.

UN – United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019a), *World Urbanization Prospects – The 2018 Revision*, ST/ESA/SER.A/420. [Online] Available at: population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf [Accessed 19 September 2024].

UN – United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019b), *World Population Prospects 2019 – Highlights*, ST/ESA/SER.A/423. [Online] Available at: population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf [Accessed 19 September 2024].

Van Hoof, J., Kazak, J. K., Perek-Białas, J. M. and Peek, S. T. M. (2018), 'The Challenges of Urban Ageing – Making Cities Age-Friendly in Europe', in *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 15, issue 11, article 2473, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.3390/ijerph15112473 [Accessed 19 September 2024].

Watts, N., Amann, M., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Beagley, J., Belesova, K. et alii (2020), "The 2020 report of The Lancet Countdown on health and climate change – Responding to converging crises', in *The Lancet*, vol. 397, issue 10269, pp. 129-170. [Online] Available at: doi.org/10.1016/S0140-6736(20)32290-X [Accessed 19 September 2024].

Wettstein, M., Park, R., Kornadt, A. E., Wurm, S., Ram, N. and Gerstorf, D. (2024), "Postponing old age – Evidence for historical change toward a later perceived onset of old age", in *Psychology and Aging*, vol. 39, issue 5, pp. 526-541. [Online] Available at: doi.org/10.1037/pag0000812 [Accessed 19 September 2024].

White, B. P., Breakey, S., Brown, M. J., Smith, J. R., Tarbet, A., Nicholas, P. K. and Viamonte Ros, A. M. (2023), "Mental Health Impacts of Climate Change Among Vulnerable Populations Globally – An Integrative Review", in *Annals of Global Health*, vol. 89, issue 1, article 66, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.5334/aogh.4105 [Accessed 19 September 2024].

WHO – World Health Organization (2018), *The Global Network for Age-friendly Cities and Communities – Looking back over the last decade, looking forward to the next*. [Online] Available at: iris.who.int/bitstream/handle/10665/278979/WHO-FWC-ALC-18.4-eng.pdf?sequence=1 [Accessed 19 September 2024].

WHO – World Health Organization (2007), *Global age-friendly cities – A guide*. [Online] Available at: iris.who.int/bitstream/handle/10665/43755/9789241547307_eng.pdf?sequence=1 [Accessed 19 September 2024].

Zhang, L., Marcus, C., Lin, D. et alii (2024), "A conformable phased-array ultrasound patch for bladder volume monitoring", in *Nature Electronics*, vol. 7, pp. 77-90. [Online] Available at: doi.org/10.1038/s41928-023-01068-x [Accessed 19 September 2024].

ARCHITECTURE
Essays & Viewpoint

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 108-117
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/1692024

Article Info

Received 06 September 2024
Revised 03 October 2024
Accepted 04 October 2024
Published 30 December 2024

ANALISI DELLA COMPLESSITÀ E DELLE CONTRADDIZIONI IN ARCHITETTURA

CRITIQUING COMPLEXITY AND CONTRADICTION IN ARCHITECTURE

Jonathan Ochshorn

Abstract

Il contributo mette in discussione l'idea che le geometrie complesse degli edifici riflettano la complessità della vita contemporanea e lo fa attraverso l'analisi dell'opera più importante di Robert Venturi dal titolo Complessità e Contraddizioni in Architettura, ma anche avvalendosi delle opere di altri sostenitori di una complessità guidata dal calcolo. Il saggio dimostra che: a) la complessità, piuttosto che essere una qualità assoluta, è relativa nel linguaggio comune; b) la complessità osservata nei sistemi naturali non può essere automaticamente estesa al comportamento umano; c) la vita moderna, contrariamente a quanto spesso si pensa, sta diventando più semplice anziché più complessa; d) la complessità è spesso integrata nei prodotti e nei sistemi in modo tale da risultare inaccessibile alla coscienza comune; e) la complessità architettonica è dovuta a una spinta competitiva verso la notorietà tipica della produzione d'avanguardia, che conduce alla creazione di edifici poco efficienti dal punto di vista energetico e delle prestazioni dell'involucro.

This paper challenges the idea that complex building geometries reflect the complexity of contemporary life; it does so by examining Complexity and Contradiction in Architecture, Robert Venturi's seminal work from 1966, as well as later writings by advocates of a computationally-driven complexity. The essay shows that: a) complexity, rather than being defined absolutely, is relative in everyday speech; b) complexity, as defined in natural systems, cannot be extrapolated to human behavior; c) modern life is becoming simpler, rather than more complex; d) complexity is typically embedded within products and systems and, as such, inaccessible to ordinary consciousness; e) architectural complexity reflects a competitive drive for notoriety associated with avant-garde production, and leads to energy-inefficient buildings with an increased risk of control layer failure.

Keywords

architettura, complessità, contraddizione, disfunzione, Venturi

architecture, complexity, contradiction, dysfunction, Venturi



Jonathan Ochshorn, Architect, is a Professor Emeritus at the Department of Architecture, Cornell University (USA). He is the Author of 'Building Bad – How Architectural Utility is Constrained by Politics and Damaged by Expression' (2021), 'OMA's Milstein Hall – A Case Study of Architectural Failure' (2023), 'Structural Elements for Architects and Builders' (2020), and other studies of architecture and technology. E-mail: jo24@cornell.edu

L'idea che le qualità formali dell'architettura riflettano la complessità della vita contemporanea non è solo errata, ma rappresenta un costrutto ideologico che serve a legittimare forme espressive appariscenti e spesso disfunzionali, tipiche della produzione d'avanguardia. Per mettere in discussione l'uso della 'complessità' come giustificazione delle attuali tendenze in architettura, il saggio argomenta su cinque punti: primo, la complessità nel linguaggio comune non può essere definita come tale in modo assoluto; secondo, la complessità presente nei sistemi naturali non è applicabile al comportamento umano; terzo, gli stili di vita contemporanei sono in gran parte semplici e ordinari, tutt'altro che complessi; quarto, la vera complessità della vita moderna è integrata negli oggetti tecnologici che utilizziamo e rimane invisibile nella quotidianità; quinto, la complessità in architettura è motivata dalla competizione per la notorietà nella produzione d'avanguardia. A sostegno di questa tesi, l'articolo analizzerà il volume Complessità e Contraddizioni in Architettura di Robert Venturi del 1966 (Fig. 1) e prenderà in esame anche argomentazioni successive che fanno un uso più esplicito della teoria della complessità e della computazione.

Venturi sulla complessità e la contraddizione | A metà del XX secolo le teorie basate sull'utilitarismo dell'architettura e sul funzionalismo del movimento Moderno erano in declino (Forty, 2004), così architetti e critici hanno iniziato a concentrarsi sulla funzione espressiva dell'architettura per spiegare o giustificare le proprie preferenze stilistiche. Il manifesto di Robert Venturi del 1966, Complessità e Contraddizioni in Architettura, promuove questa nuova 'strategia' affermando che: «An architectural element is perceived as form and structure, texture and material. These oscillating relationships, complex and contradictory, are the source of the ambiguity and tension characteristic to the medium of architecture» (Venturi, 1966, p. 26).

Venturi afferma che l'architettura, riflettendo la società moderna, è intrinsecamente complessa e contraddittoria, senza però mai dimostrare come complessità e contraddizione possano riflettersi nella forma architettonica o fornire esempi di complessità intrinseca della struttura o degli impianti tecnologici. Per Venturi, la complessità e la contraddizione non risiedono tanto nei termini equivalenti di 'utilità' e 'solidità' di Vitruvio, quanto nelle opportunità che offrono per un'espressione soggettiva e ironica, simile alla 'piacevolezza' vitruviana. In altre parole la complessità e la contraddizione che Venturi individua e utilizza sono frutto della sua creatività, derivando da manipolazioni formali e stilistiche di natura soggettiva. Gli esempi che Venturi offre mostrano come l'apparenza delle forme architettoniche possa convivere con una realtà opposta, qualcosa che erroneamente interpreta come 'contraddizione'. Forme edilizie che potrebbero essere semplici vengono rese complesse, non perché la complessità risolva dilemmi funzionali altrimenti irrisolvibili, ma perché la complessità stessa è una preferenza estetica o stilistica a priori del progettista.

Per Venturi la complessità deriva il più delle volte da ciò che egli chiama contraddizione, ossia qualcosa di «[…] inherent in perception […] that results from the juxtaposition of what an image is and what it seems» (Venturi, 1966, p. 27) Tale visione si riscontra sicuramente nelle opere architettoniche, ma non si tratta di contraddizioni, poiché 'ciò che una cosa è' e 'come questa appare' sono due stati perfettamente compatibili: l'essere non contraddice l'apparire (Fig. 2). Una contraddizione è un'incompatibilità logica tra due proposizioni possibile solo nel pensiero; pertanto ciò che Venturi definisce contraddizione – la disgiunzione tra una realtà e il pensiero su di essa – è in realtà l'opposto. Il piacere che si trae dall'accostamento tra 'ciò che è' e 'ciò che sembra' non nasce dalla possibilità o dall'attesa di una contraddizione, ma dalla consapevolezza che, poiché la contraddizione non è possibile, deve entrare in gioco l'ironia.

Colin Rowe[1], nella sua recensione del 1967 del libro di Venturi, mette in evidenza come Venturi utilizzi spesso termini come 'paradosso', 'ridondanza' e 'ambiguità', evitando accuratamente l'uso improprio del termine 'contraddizione'. Al contrario di quanto affermato da Venturi, il quale sostiene che «Joseph Albers calls 'the discrepancy between physical fact and psychic effect' a contradiction which is 'the origin of art'» (Venturi, 1966, p. 27), Albers non ha mai utilizzato il termine 'contraddizione' in quel contesto, ma usava parole come 'inganno', 'illusione', 'fantasia' e 'immaginazione' quando si riferiva alla «[…] relativity and instability of color» (Albers, cit. in Fundación Juan March, 2014, p. 253).

In ambito filosofico, soprattutto da parte di Hegel e Marx, si sostiene che la contraddizione possa esistere nella realtà, non solo nel pensiero, tuttavia questa variante della logica classica, ancora oggetto di dibattito, non è rilevante per la tesi di Venturi. Infatti in Hegel e Marx la contraddizione serve a spiegare il movimento e il cambiamento, non a giustificare interpretazioni ironiche di una struttura statica come una facciata o una pianta; alla luce di ciò si potrebbe supporre che Venturi abbia utilizzato il termine 'contraddizione' per sfruttare credibilità e prestigio derivanti in particolare dall'associazione con Marx.

Complessità e semplicità sono relative | La maggior parte degli edifici moderni è costituita da stanze, corridoi, atrii, scale, ecc., cioè da una serie di tipologie spaziali programmate non molto diverse da quelle descritte da Vitruvio 2000 anni fa (Vitruvio, 1914, Libro VI, Capitolo VII). Gli stessi tipi di spazi – e simili strategie organizzative – si possono vedere nell'Humanities Building di Venturi del 1973 (Fig. 3) e nella Casa delle Nozze d'Argento di Pompei, risalente a 2000 anni fa, descritta nella traduzione di Vitruvio di Morgan risalente al primo Novecento (Fig. 4). Nonostante le diverse funzioni – una è una casa romana a Pompei, l'altra un edificio per l'istruzione nello Stato di New York – i diversi piani di entrambi i manufatti presentano un'organizzazione topologica sorprendentemente simile, che non può definirsi complessa. Complessità e semplicità non sono infatti qualità assolute, ma relative, almeno nel linguaggio quotidiano; inoltre i sistemi strutturali degli edifici, sia moderni che antichi, raramente aggiungono complessità formale al progetto, e l'integrazione degli spazi con le griglie strutturali di colonne o muri portanti è generalmente semplice.

Poiché l'organizzazione planimetrica e le condizioni culturali e programmatiche dell'Humanities Building di Venturi non risultano davvero 'complesse', l'architetto sceglie di valorizzare soluzioni compositivo-formali e decorative 'ironiche': ad esempio l'inserimento di uffici a un'estremità dell'edificio per creare una facciata concava a cui annettere uno spazio 'informale' all'aperto oppure l'uso di una bicromia sulla facciata anteriore. L'idea che la complessità sia una qualità imprescindibile dell'architettura non è sorretta da argomentazione logica; Venturi infatti attribuisce l'aggettivo 'complesso' agli edifici che apprezza e quando si tratta di edifici relativamente semplici introduce un 'deus ex machina' – una presunta complessità interna – percepibile solo da tecnici e addetti ai lavori (Venturi, 1966).

La teoria della complessità non è applicabile al comportamento umano | La complessità non può essere definita in modo assoluto nel linguaggio quotidiano; è piuttosto un concetto relativo, sebbene possa assumere un significato più preciso in alcune discipline scientifiche: ad esempio complesso equivale a qualcosa caratterizzato «[…] feedback effects [or] non-linear phenomena, maximum entropy production, networking, and […] their unpredictable and sudden switch from one state to another» (Bardi, 2020, pp. 33, 51). Nel linguaggio comune definiamo 'complesso' ciò che è composto da molte parti distinte ma connesse, tuttavia questa definizione è imprecisa poiché non esiste un numero esatto che stabilisca cosa si intenda per 'molti', il che rende impossibile determinare la complessità di un oggetto in modo universale: ciò che appare 'complesso' per una persona può essere 'semplice' per un'altra.

Le definizioni fornite dalle diverse discipline scientifiche risultano generalmente poco utili per spiegare le cause della 'complessità' in architettura. Ad esempio Bardi (2020, p. 33) sostiene che «[…] feedbacks are the defining elements of a complex system. A system is complex if, and only if, it shows strong feedback effects». In architettura una teoria della complessità può generare progetti 'complessi', ma resta autoreferenziale, basata sugli interessi formali del progettista piuttosto che su un'analisi della struttura, del programma funzionale o del sito.

Giustificare la complessità formale in architettura con argomenti diversi dal gusto soggettivo del progettista è fuorviante, poiché qualsiasi stile può adattarsi ai programmi funzionali della vita moderna. Ad esempio Venturi elogia il Philadelphia Saving Fund Society Building (Figg. 5, 6), che apprezza (Venturi, 1966), ma critica il Seagram Building (Figg. 7, 8), che non incontra il suo gusto (Venturi, 1966); da un punto di vista funzionale, entrambi gli edifici sono costituiti principalmente da piani di uffici (serviti da ascensori, bagni e impianti tecnologici) e sono sorretti da una struttura portante in pilastri e travi. I diversi linguaggi espressivi non hanno alcun impatto sulla loro capacità di funzionare e l'organizzazione funzionale dei piani, in entrambi gli edifici, è del tutto ordinaria.

Ciò che interessa a Venturi e agli altri sostenitori della complessità architettonica non è determinare scientificamente se o come il programma architettonico sia 'complesso', ma piuttosto la soggettività della forma espressiva. Secondo Venturi (1966, p. 39) l'edificio della Philadelphia Saving Fund Society (PSFS) «[…] gives positive expression to the variety and complexity of its program. It integrates a shop on the first floor and a big bank on the second with offices above and special rooms at the top».

Tuttavia le destinazioni dell'edificio PSFS non sono poi così diverse da quelle inserite nel Seagram Building di Mies e programmi funzionali molto più

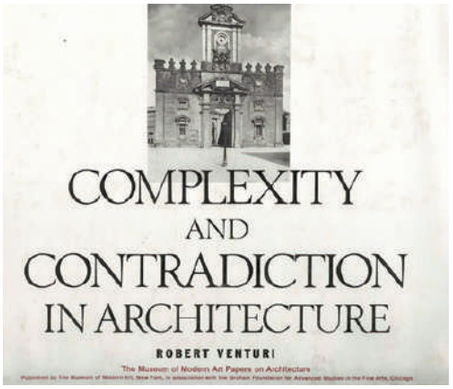




Fig. 1 | The iconic cover of the second edition of Venturi's 'Complexity and Contradiction in Architecture'.

Fig. 2 | What something is and how it appears are perfectly compatible, not in contradiction with each other – being does not negate appearance: 'Objects in mirror are closer than they appear' (credit: J. Ochshorn, 2018).

complessi possono essere ospitati perfettamente in edifici modernisti minimalisti: è il caso dell'Everett M. Dirksen U.S. Courthouse di Chicago (IL), anch'esso progettato da Mies, che negli anni '90 ha subito un'importante modifica strutturale per inserire aule di tribunale a due piani senza modificare i prospetti dell'edificio (Nevin Hedlund Architects, n.d.). La 'complessità' all'interno del manufatto non ha quindi necessariamente a che fare con gli aspetti linguistico-formali dell'involucro architettonico e definire l'organizzazione degli spazi del programma funzionale come 'semplice' o 'complessa' è del tutto soggettivo e relativo.

Infine, sebbene la complessità possa essere definita come caratteristica dei sistemi naturali, tale definizione non dovrebbe estendersi al comportamento umano. Caws (2015, p. 520) afferma che, mentre gli oggetti fisici analizzati nelle scienze naturali sono regolati da leggi che ne spiegano il comportamento, gli oggetti culturali esaminati nelle scienze umane sono influenzati dalle credenze e dalle intenzioni degli agenti umani: «One cardinal principle that emerges from a consideration of this distinction is that it is futile to try to solve problems in the human sciences with tools appropriate to the natural sciences».

Le vite comuni sono semplici | I sostenitori della complessità in architettura suggeriscono che la complessità della vita moderna, che si manifesta in programmi edilizi e condizioni urbane complessi, richieda un'architettura complessa. Tuttavia gli elementi di questa presunta complessità sono raramente enumerati: gli unici esempi forniti – ad esempio l'edificio PSFS descritto in precedenza – riportano un'organizzazione e distribuzione di spazi e funzioni relativamente semplici su piani sovrapposti, serviti da scale e ascensori e da un comune sistema impiantistico meccanico, elettrico e idraulico.

La tesi di Venturi tuttavia presenta difetti più gravi poiché da un lato afferma che la 'complessità' e la 'contraddizione' caratterizzano la società moderna, dall'altro sostiene che questi elementi possono essere utilizzati per descrivere la 'forma' dell'architettura; tuttavia anche se molti elementi della vita odierna sono indubbiamente complessi, questa complessità opera, in generale, al di sotto della superficie della vita di tutti i giorni. In altre parole l'effettiva complessità della vita moderna è spesso mascherata, almeno per la maggior parte dei lavoratori, da azioni ripetitive e da un senso di alienazione, spesso causato dall'abuso di droghe o alcolici (Grant et alii, 2017). In effetti l'eliminazione della complessità (abilità) sul posto di lavoro capitalista è una caratteristica piuttosto che un difetto, poiché «[…] the very concept of skill becomes degraded along with the degradation of labor […] to such a point that today the worker is considered to possess a 'skill' if his or her job requires a few days' or weeks' training» (Braverman, 1974, p. 444).

Invece di essere complesse le vite moderne che conduciamo sono spesso semplici, banali e segnate da una 'tranquilla disperazione' (Thoreau, 1910): ci alziamo, andiamo al lavoro, mangiamo, beviamo, dormiamo e ripetiamo le stesse azioni nei giorni successivi. A livello più elementare le attività domestiche quotidiane di cui si occupa l'uomo moderno – lavare, cucinare, fare la spesa, pulire e così via – sono spesso molto più semplici di quanto non fossero anche solo cento anni prima della pubblicazione del libro di Venturi. Prima del 1890 pochi alimenti venivano preparati in fabbrica, gli acquirenti acquistavano pollame ancora vivo per poi ucciderlo e spennarlo, bisognava rimuovere le squame dai pesci, il caffè verde doveva essere tostato e macinato, i pan di zucchero dovevano essere pestati, la farina setacciata, le noci sgusciate e l'uvetta privata dei semi (Digital History, n.d.); la vita moderna semmai ha semplificato i doveri quotidiani rispetto alle epoche precedenti.

È vero che lo sviluppo della società moderna ha visto un'enorme espansione del numero e del tipo di vocazioni specializzate ed è vero che le interazioni tra tutte le entità private e pubbliche che fanno parte della società moderna formano una matrice altamente complessa e fluida, ma questa complessità sociale è raramente percepita come tale nella vita quotidiana: sperimentiamo invece la banale uniformità dei nostri schemi di movimento ripetitivi, a prescindere dal fatto che la somma di tutti i movimenti di tutti i membri della società sia complessa o addirittura caotica. In ogni caso l'architetto non è incaricato di progettare la società nel suo complesso.

La complessità è incorporata nei nostri strumenti | La complessità si può trovare praticamente in ogni aspetto della nostra vita, ma in una forma generalmente nascosta all'interno di prodotti e sistemi e come tale inaccessibile alla coscienza comune. Per esempio i software che consentono e ottimizzano l'utilizzo degli ascensori nei grattacieli sono sofisticati e complessi, ma questa complessità è del tutto nascosta agli utenti dell'edificio (e persino ai progettisti), che conoscono solo i pulsanti 'su' e 'giù' dell'ascensore.

Grazie alla complessità integrata nei nostri oggetti / impianti tecnologici, l'uomo, sia nel lavoro che nel tempo libero, non si confronta con essa, ma con un mondo semplificato. «Not as with the instrument, which the worker animates and makes into his organ with his skill and strength, and whose handling therefore depends on his virtuosity. Rather, it is the machine which possesses skill and strength in place of the worker, is itself the virtuoso, with a soul of its own in the mechanical laws acting through it» (Marx, 1973, p. 614). La complessità, in altre parole, è sempre più incorporata nei sistemi, nei prodotti e nei dispositivi che definiscono la vita contemporanea, piuttosto che rivelarsi come tale alla nostra coscienza ordinaria.

Questo approccio moderno alla complessità è stato esemplificato da Steve Jobs nella progettazione dei dispositivi Apple, che puntano a una semplicità ottenuta attraverso la padronanza della complessità, piuttosto che dalla sua ignoranza (Isaacson, 2012). Nella progettazione dell'iPhone Jobs avrebbe considerato assurda l'idea di rappresentare visivamente la complessità e le contraddizioni delle molteplici funzioni di un telefono; non sorprende quindi che nel progetto non siano stati coinvolti né Venturi né altri sostenitori della complessità architettonica!

Da questa prospettiva l'interesse per la complessità architettonica può essere visto come una risposta alla semplificazione, sia programmatica che estetica, incarnata dall'iPhone e da altri prodotti simili della cultura moderna. Tuttavia esprimere una complessità idealizzata distorcendo la geometria degli edifici fino a renderli disfunzionali non cambia la banalità di fondo della vita moderna, né la sua base capitalistica: la macchina continua a essere la virtuosa, come sostenuto da Marx a metà del XIX secolo.

La complessità architettonica è guidata dalla competizione per la notorietà dell'avanguardia | La complessità della forma architettonica (comprese le geometrie esterne, la disposizione interna di stanze e spazi e le superfici materiche) non riflette la complessità della vita contemporanea, ma piuttosto la spinta disfunzionale e competitiva per la notorietà che caratterizza la produzione architettonica d'avanguardia. Laddove si manifesta la complessità, in particolare nelle manipolazioni formali distorte degli edifici d'avanguardia, essa risulta essere una complessità autoinflitta.

Ciò diventa evidente quando si esaminano le piante di edifici geometricamente complessi, che devono in qualche modo conciliarsi con la forma complessiva dell'edificio: anche quando le piante vengono piegate o distorte le unità sottostanti ('partis') rimangono topologicamente banali, regolate da un'organizzazione normativa e socialmente necessaria di stanze, corridoi, scale e ascensori, deformate per adattarsi alla geometria complessa dell'involucro dell'edificio o per il gusto di farlo, indipendentemente dalla funzione legata al commercio (Figg. 9, 10), alla residenza (Figg. 11, 12) o all'istruzione (Figg. 13, 14).

È indubbiamente vero che tale complessità, deliberatamente creata, può in alcuni casi stimolare il turismo ('effetto Bilbao') o coinvolgere (o irritare)

in altro modo la comunità a cui è destinata. Un tale approccio svela il vero obiettivo della produzione d'avanguardia, che sfrutta la complessità architettonica o una serie di tendenze stilistiche in competizione tra loro: rafforzare ricchezza e potere attraverso una serie di stili in continua evoluzione che rispondono alle esigenze delle diverse classi e sottoculture in competizione nella società moderna. Ma questo approccio può anche generare edifici disfunzionali (Ochshorn, 2021) e in particolare inefficienza energetica e soluzioni di continuità dell'involucro edilizio.

Nel 2021 il Passive House Institute US[2] ha confrontato le geometrie edilizie 'compatte' con quelle 'complesse', concludendo che la forma compatta degli edifici è energeticamente più efficiente poiché essi hanno una superficie dell'involucro termico inferiore per unità di superficie utile condizionata rispetto agli edifici geometricamente complessi. Altrettanto problematiche sono le discontinuità dell'involucro che diventano più probabili quando la geometria di un edificio è piegata, frammentata o si discosta in altro modo dalle forme semplici. Le intersezioni di questi piani discontinui o non ortogonali, se non rigorosamente progettati in esecutivo e costruiti con cura, determinano problemi nella continuità dell'isolamento termico e di integrità delle barriere all'aria, all'acqua e al vapore. Ad esempio il MIT ha citato in giudizio l'architetto e i costruttori dello Stata Center, evidenziando diversi problemi legati alla progettazione dell'involucro, tra cui fenomeni di condensa e infiltrazioni d'azqua (Hawkinson, 2010)

Ulteriori giustificazioni sulla complessità dell'architettura | Venturi ha giustificato la complessità in architettura sostenendo che l'architettura diventa complessa per accogliere o riflettere (esteticamente) l'effettiva complessità del mondo. Una seconda giustificazione per la progettazione e la costruzione di edifici complessi è emersa decenni dopo la pubblicazione del volume di Venturi e presenta molte varianti, tutte riferite al potenziale degli algoritmi computazionali appena scoperti per creare forme complesse.

Per Charles Jencks (1997) la forma architettonica diventa complessa non come riflesso di una complessità programmatica, ma perché 'le nuove scienze della complessità', che sono i principi di una sensibilità postmoderna, caratterizzano la società contemporanea e per questa sola ragione dovrebbero riflettersi nel linguaggio architettonico. Sigfried Giedion (2009) fa uso simile della 'scienza' per argomentare particolari forme di espressione: 'the zeitgeist made me do it'; tuttavia l'idea che le forme espressive debbano riflettere la relatività einsteiniana (o la meccanica quantistica o altre tendenze del momento) quando applicate alla nostra vita quotidiana è, come suggerì Einstein stesso dopo aver visto il libro di Giedion, semplicemente una 'sciocchezza' (Molella, 2002).

Greg Lynn, quattro anni dopo Jencks, giustifica le geometrie sempre più complesse rese possibili dalla 'animazione al computer', senza riferirsi a una complessità programmatica intrinseca. Riferendosi al prodotto della renderizzazione al computer, egli contrappone le coordinate cartesiane alle superfici topologiche e osserva un sottoprodotto estetico, ossia, come sostiene Lynn (1999, p. 18), «[…] the predominance of deformation and transformation techniques available in a time-based system of flexible surfaces. These are not merely shapes but the expression of the mathematics of the topological medium». Lynn usa il termine 'aesthetic consequence' per suggerire che, poiché è ora possibile modellare e costruire certe superfici topologiche, il loro utilizzo diventa una necessità estetica piuttosto che una semplice scelta stilistica.

Patrik Schumacher (2011) difende la sua posizione a favore di forme complesse derivate dal calcolo invocando la complessità sociale come criterio per misurare il progresso architettonico, ma non mostra adeguatamente perché questa presunta complessità sociale crei necessariamente

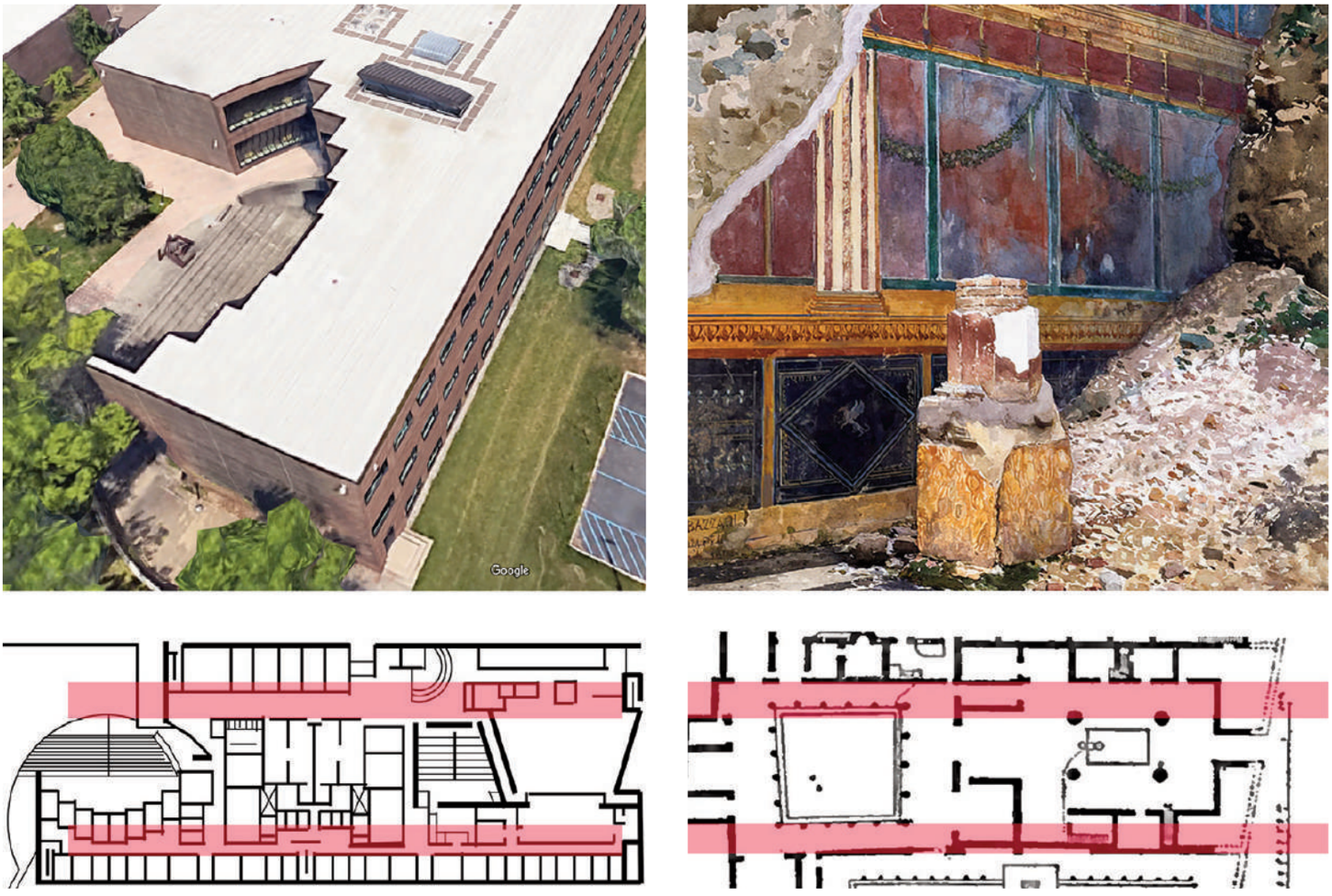


Fig. 3 | Humanities Building, SUNY Purchase (1973) in New York, designed by Venturi and Rauch (credits: floor plans redrawn and edited by J. Ochshorn, including highlighted circulation patterns; imagery © 2024 Google, Imagery © 2024 Airbus, Map data © 2024).

Fig. 4 | House of the Silver Wedding in Pompei (credits: floor plans redrawn and edited by J. Ochshorn, including highlighted circulation patterns; Pompeii watercolor by L. Bazzani, 1895).

edifici complessi: nel mondo ci sono certamente più funzioni specializzate rispetto al passato, ma non è questa complessità di per sé a giustificare i cambiamenti stilistici. Praticamente tutte le funzioni moderne possono essere ospitate in edifici più vecchi e stilisticamente 'obsoleti', anche grandi impianti di produzione con ampie luci che si basano però su progressi ingegneristici e non necessariamente revisioni stilistiche. Si può realizzare una fabbrica neoclassica o una sala da concerto, ma la complessità della tecnologia moderna non richiede forme architettoniche altrettanto complesse: impianti elettrici, sistemi HVAC e interfacce informatiche possono integrarsi facilmente in vari stili architettonici, così come negli ambienti in cui vengono utilizzati.

Schumacher non si basa sulla teoria della complessità o sull'animazione computerizzata per giustificare i risultati formali sostenuti da Jencks e Lynn, ma considera queste forme come un modo per rappresentare visivamente composizioni complesse, in cui una moltitudine di parti deve essere integrata senza cadere in un caos visivo illeggibile (Schumacher, 2011, p. 309). In altre parole mentre Venturi abbraccia le 'collisions', guidate da ciò che identifica come complessità e contraddizione, come strategia per la creazione e la critica della forma architettonica, Schumacher preferisce coprire, contenere e nascondere quelle presunte parti complesse all'interno di una forma generale liscia, che tuttavia cerca una sua base geometrica complessa stilisticamente guidata.

Nota conclusiva | La presente critica alla complessità architettonica non ha nulla a che vedere con la soggettività delle preferenze estetiche o delle qualità espressive, e non entra nel merito sul gradimento o meno degli edifici citati. L'argomentazione riguarda invece due aspetti problematici oggettivi degli edifici complessi: in primo luogo si discute che la complessità nella forma architettonica non può essere 'spiegata' né facendo riferimento alla teoria della complessità nelle scienze né a una presunta complessità nella vita moderna; in secondo luogo si descrivono due tipi di disfunzionalità che diventano più probabili con gli edifici complessi, l'inefficienza energetica e il mancato controllo delle prestazioni dell'involucro.

Queste due conclusioni hanno implicazioni rilevanti sia per la teoria che per la pratica architettonica. Nel caso della teoria è necessario riconoscere che gran parte di ciò che viene considerato teoria è più precisamente descritto come una forma di critica, in cui le preferenze del critico (ciò che 'piace' al critico) sono presentate non come critiche soggettive, ma piuttosto come se fossero argomenti logici che spiegano oggettivamente un fenomeno. Nel caso della pratica vari aspetti disfunzionali sono diventati prevalenti a causa della competizione che guida la produzione d'avanguardia, la quale pro-

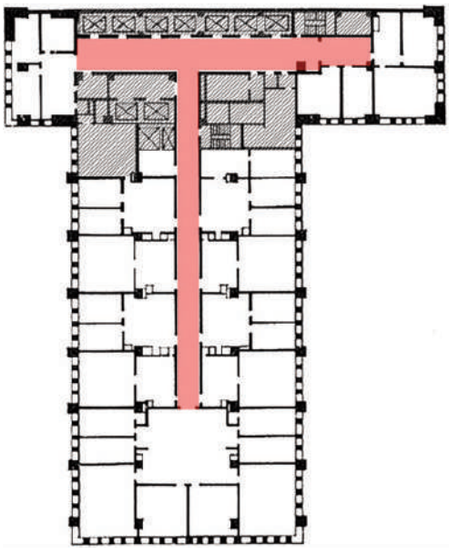




Fig. 5 | Philadelphia Saving Fund Society Building (1932), designed by Lescaze and Howe: typical floor plan (credits: floor plans redrawn and edited by J. Ochshorn, including highlighted circulation patterns).

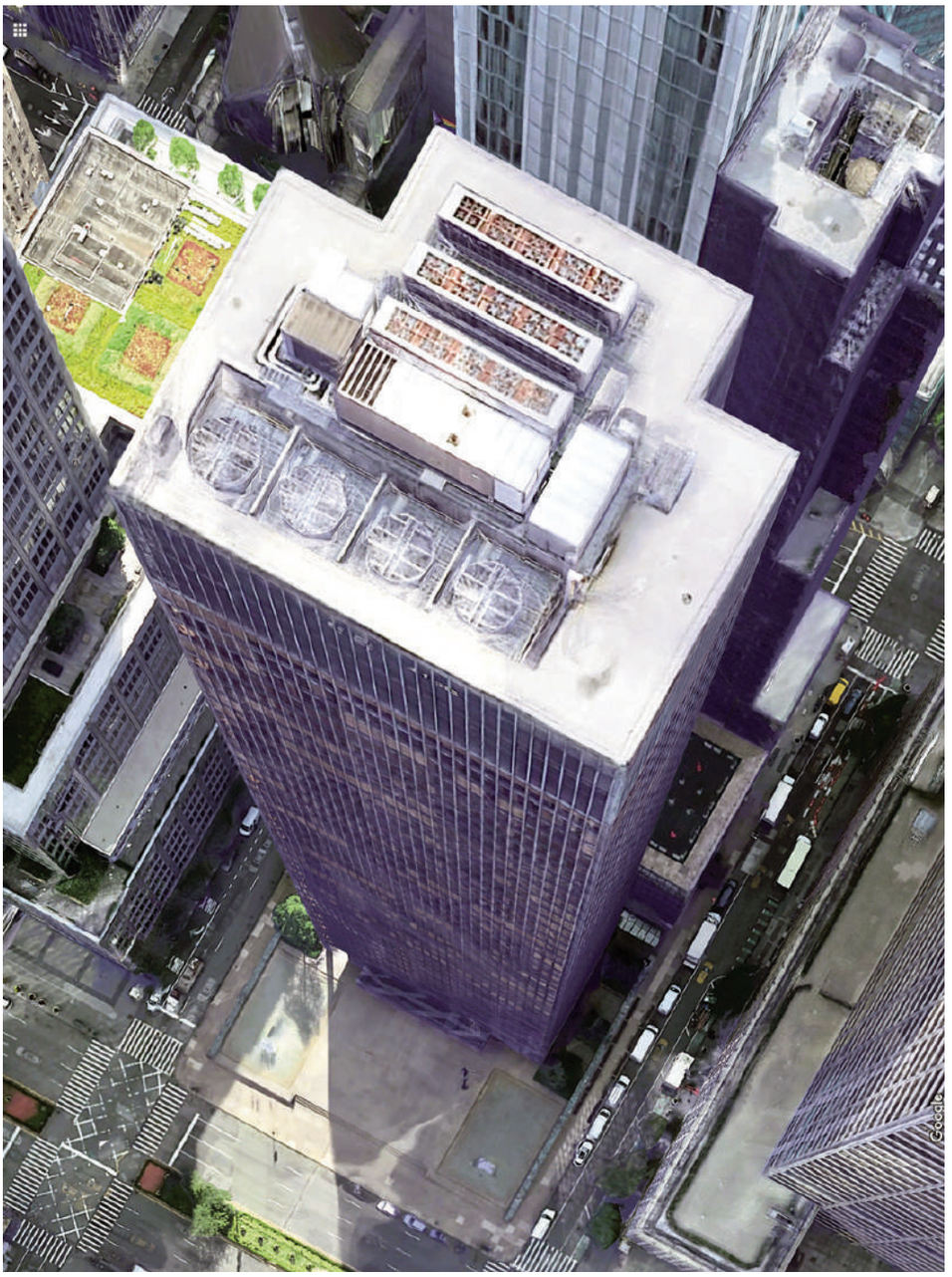
Fig. 6 | Philadelphia Saving Fund Society Building (1932), designed by Lescaze and Howe (credits: imagery © 2024 Google, Imagery © 2024 Airbus, Maxar Technologies, Map data © 2024).

muove invariabilmente tendenze stilistiche che cercano di superare, piuttosto che abbracciare, la logica che potrebbe altrimenti portare a edifici convenzionali ed efficienti.

The idea that formal architectural qualities reflect the complexity of contemporary life is not merely flawed, but is a transparent ideological construct whose rationale is to support the various attention-grabbing – and most often dysfunctional – modes of expression that characterize avant-garde production. To challenge the use of 'complexity' as a logical explanation for current architectural tendencies, my argument proceeds in five steps: first, that complexity, at least in everyday speech, cannot be defined absolutely; second, that complexity as understood in natural systems cannot be extrapolated to human behavior; third, that contemporary lifestyles, rather than being complex, are most often simple and banal; fourth, that the very real complexity omnipresent in modern life is typically embedded in our machinery and, as such, hidden from view; and fifth, that complexity of architectural form is a reflection of the competition for notoriety that drives avant-garde architectural production. To support this claim, the paper will examine Complexity and Contradiction in Architecture, Robert Venturi's seminal work from 1966 (Fig. 1), and summarize several later arguments that are more explicitly based on complexity theory and computation.

Venturi on complexity and contradiction | Theories invoking utilitarian function as the basis of architectural style were becoming less attractive in the mid-20th-century as the 'functionalist' brand of modernism started to lose its sheen (Forty, 2004). In this context, architects and critics began to focus on the expressive function of architecture as a way to explain or justify their stylistic preferences. Robert Venturi's manifesto from 1966, Complexity and Contradiction in Architecture, epitomizes this modified 'strategy': «An architectural element is perceived as form and structure, texture and material. These oscillating relationships, complex and contradictory, are the source of the ambiguity and tension characteristic to the medium of architecture» (Venturi, 1966, p. 26).

Venturi asserts that architecture, reflecting modern society, is inherently complex and contradictory, yet he never demonstrates in what way the world is programmatically complex, and how that programmatic complexity might be reflected in architectural form. Nor does he provide examples of any inherent complexity in structure or mechanical equipment. What is complex (and contradictory) for Venturi are not the modern equivalents of Vitruvius's 'commodity' and 'firmness', but rather the opportunities they provide for subjective and ironic expression – analo-



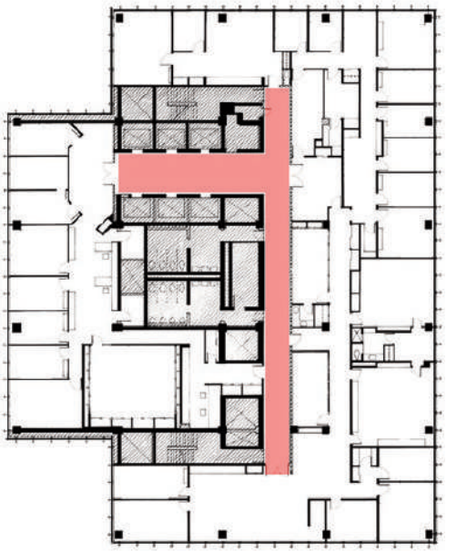


Fig. 7 | Seagram Building (1958) in New York, designed by Mies van der Rowe, Philip Johnson, and others (credits: imagery © 2024 Google, Imagery © 2024 Airbus, Maxar Technologies, Map data © 2024).

Fig. 8 | Seagram Building (1958) in New York, designed by Mies van der Rowe, Philip Johnson, and others: typical floor plan (credits: floor plans redrawn and edited by J. Ochshorn, including highlighted circulation patterns).

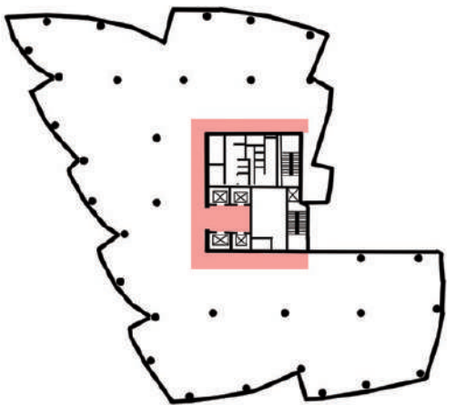
gous to Vitruvius's 'delight'. Put another way, the complexity and contradiction that Venturi finds and exploits are entirely of his own making, based on subjective formal / stylistic manipulations. The examples he gives revel in the discovery that the appearance of architectural forms can coexist with a contrary reality – something he mistakenly labels as 'contradiction'. In other words, building forms that could be simple are made complex, not because complexity resolves otherwise intractable functional dilemmas, but because complexity itself is the designer's a priori aesthetic or stylistic preference.

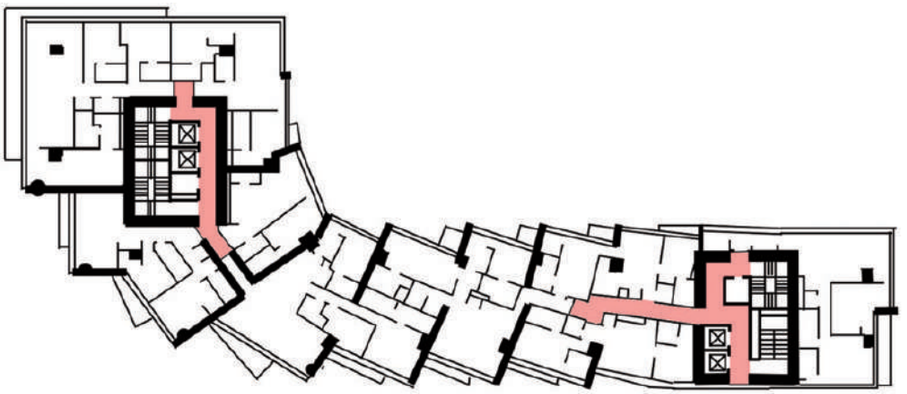
For Venturi, complexity most often results from what he calls contradiction – something «[…] inherent in perception […] that results from the juxtaposition of what an image is and what it seems» (Venturi, 1966, p. 27). Certainly, such juxtapositions are encountered in works of architecture; the problem is that they are not contradictions. This is because what something is and how it appears ('what it seems') are perfectly compatible; being does not negate appearance (Fig. 2). A contradiction is a logical incompatibility between two propositions that is only possible in thought, so what Venturi calls contradiction – the disjunction between something real and something thought about that reality, is actually the opposite of contradiction. Any pleasure obtained from the juxtaposition of 'what is' and 'what it seems' comes, not from the possibility or the expectation of contradiction, but rather from the knowledge that, because contradiction is not possible, irony must be at play.

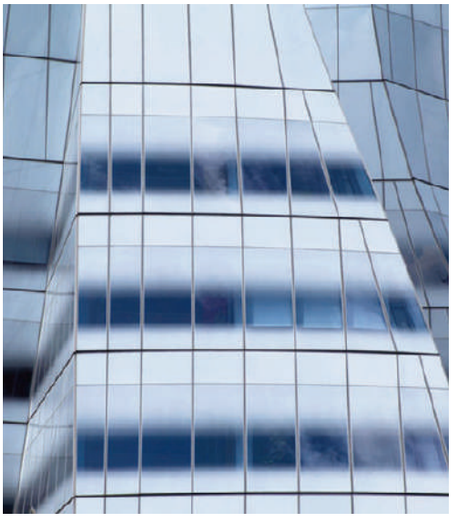
Colin Rowe[1], in his 1967 review of Venturi's book, is therefore quite careful to describe Venturi's preoccupation as something to do with 'paradox', 'redundancy' and 'ambiguity', avoiding as far as possible the inappropriate term 'contradiction'. In the same way, and contradicting Venturi's claim that «Joseph Albers calls 'the discrepancy between physical fact and psychic effect' a contradiction which is 'the origin of art'» (Venturi, 1966, p. 27), Albers himself never used the word 'contradiction' in that context. Instead, Albers used words like 'deception', 'illusion', 'fantasy', and 'imagination' when referring to «[…] the relativity and instability of color» (Albers, cit. in Fundación Juan March, 2014, p. 253).

Now it is true that one can find within philosophical discourse – primarily in Hegel and Marx – the idea that contradiction can exist in reality, and not just in thought. Yet such a deviation from classical logic – still contested within philosophical and Marxist circles – is not directly relevant to Venturi's thesis, since contradiction in both the Hegelian and Marxist sense is intended to explain motion, change, or synthesis, not ironic readings within a static building facade or plan. One might speculate that Venturi used the term because of the cachet or 'street cred' that the word 'contradiction' provides, precisely because of its association with Marx in particular.

Complexity and simplicity are relative | Most modern buildings consist of rooms, hallways, lobbies, stairs, and so on – an array of programmed spatial types not that different from those that Vitruvius described 2000 years ago (Vitruvius, 1914, Book VI, Chapter VII). For example, the same types of spaces – and similar organizational strategies – can be seen in Venturi's Humanities Building from 1973 (Fig. 3) and the 2000-year-old House of the Silver Wedding at Pompeii, illustrated in Morgan's early-20th-century translation of Vitruvius (Fig. 4). In spite of their different functions – one is a Roman house in Pompeii; the other an academic building in New York State – both plans have a remarkably similar topological organization, neither of which can be rigorously defined as being complex. In fact, complexity and simplicity are hardly absolute qualities, but clearly relative ones, at least in everyday speech. Moreover, the structural systems that support such modern and ancient buildings rarely impart any formal complexity to a building's design, and the integration of programmed spaces with structural grids of columns, or load-bearing walls, is rarely problematic.



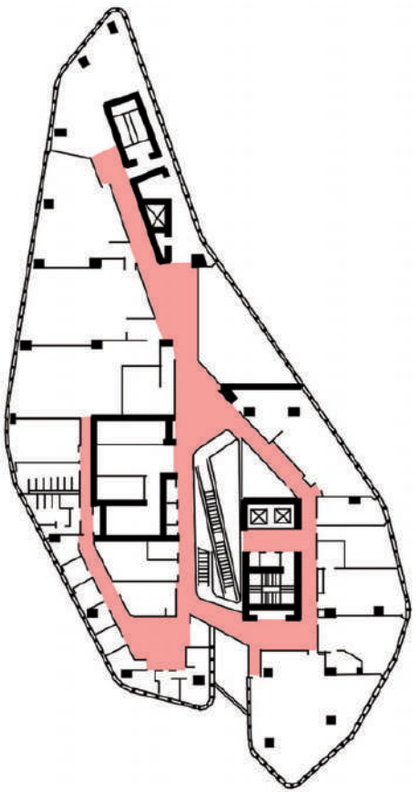


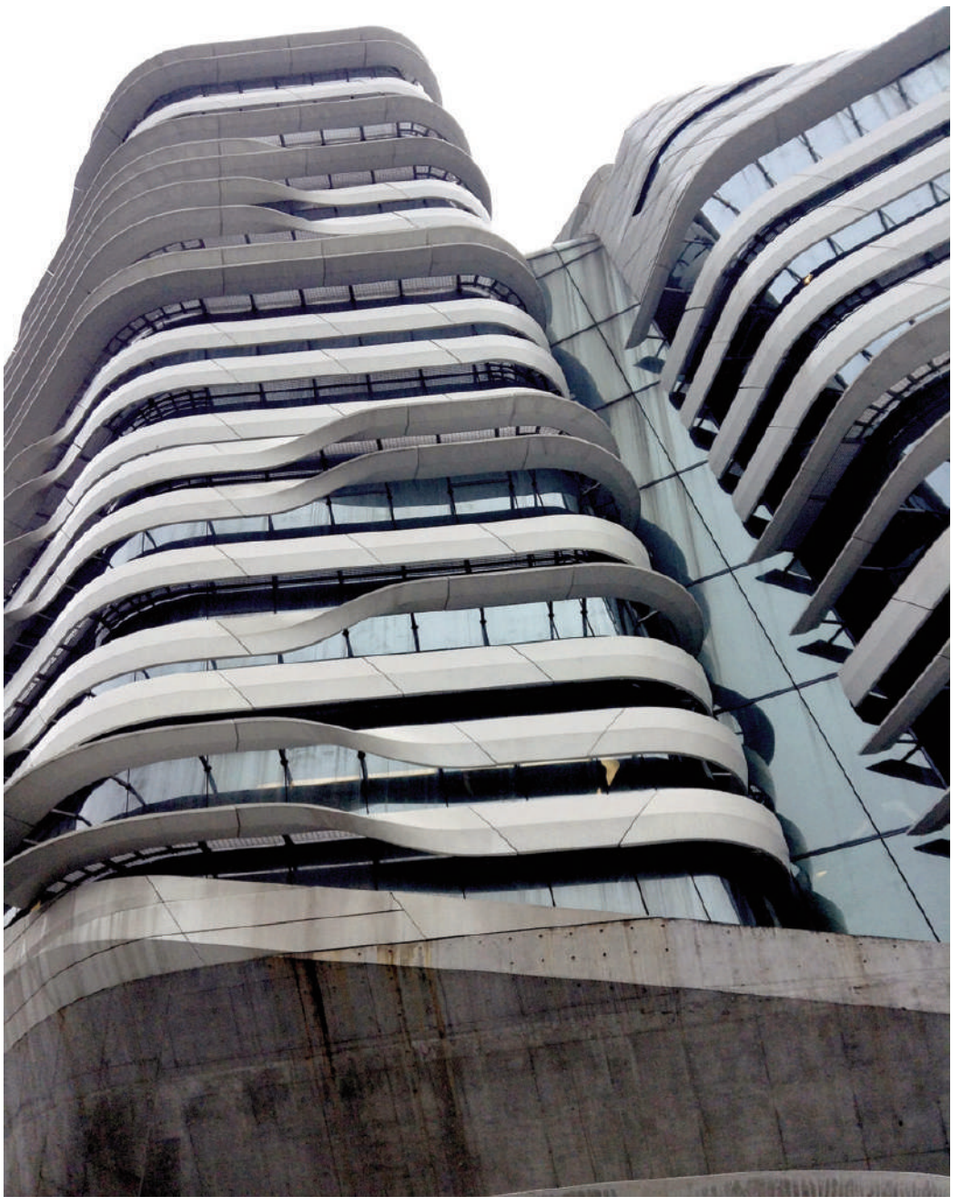




Figg. 9, 10 | IAC Building (2007) in New York, designed by Frank Gehry: typical floor plan and the facade (credits: floor plans redrawn and edited by J. Ochshorn, including highlighted circulation patterns; J. Ochshorn, 2015).

Figg. 11, 12 | IQON Building (2022) in Quito, designed by Bjarke Ingels Group: typical floor plan; view from the street (credits: floor plans redrawn and edited by J. Ochshorn, including highlighted circulation patterns; IQON photo image capture March 2022 ©2024 Google).





Figg. 13, 14 | Jockey Club Innovation Tower (2014) in Hong Kong, designed by Zaha Hadid: typical floor plan; view from the street (credits: floor plans redrawn and edited by J. Ochshorn, including highlighted circulation patterns; Jockey Club photo by J. Ochshorn, 2017).

Since the building plan organization and the cultural / programmatic conditions that generated Venturi's Humanities Building cannot be convincingly described as 'complex', Venturi prefers to prioritize 'ironic' formal and decorative gestures, such as the displacement of repetitive offices at the far end of the building to create a curved backdrop for an informal outdoor lecture/performance/seating space, or the intricate two-color pattern of bricks on the front facade. The idea that complexity is a necessary quality of architecture cannot be sustained with a logical argument. Venturi simply applies the adjective, 'complex' to buildings that he likes. And if he likes buildings that are comparatively simple, he imports a 'deus ex machina' – an alleged inner complexity – that only the connoisseur or the initiated can apprehend (Venturi, 1966).

Complexity theory not applicable to human behavior | Rather than being defined absolutely, complexity is relative in everyday speech, even if it may have absolute meaning within certain academic disciplines, e.g., that something is complex if it is characterized by «[…] feedback effects [or] non-linear phenomena, maximum entropy production, networking, and […] their unpredictable and sudden switch from one state to another» (Bardi, 2020, pp. 33, 51). In everyday speech, something is 'complex' when it consists of many different but related parts, but this definition cannot be used to determine an object's complexity in any given case, since a specific number that constitutes 'many' is not (and cannot be) defined: what appears 'complex' for one person may be 'simple' for someone else.

On the other hand, the precise definitions offered within various academic disciplines are generally useless in explaining the rationale for 'complexity' in architecture. As an example, Bardi (2020, p. 33) claims that «[…] feedbacks are the defining elements of a complex system. A system is complex if, and only if, it shows strong feedback effects». In architecture, this type of complexity theory can certainly be invoked to generate a 'complex' architectural design, but such a methodology is purely self-referential: it originates with the formal interests of the designer, rather than emerging from a functional analysis of structure, program, or site.

To justify the formal manifestations of complexity in architecture by referring to anything other than the subjective taste of the designer is disingenuous, since any number of stylistic systems can accommodate the programs of modern life. For example, Venturi praises the 'both-and' Philadelphia Saving Fund Society Building (Figg. 5, 6), which he likes (Venturi, 1966), but criticizes the Seagram Building (Figg. 7, 8), which he doesn't like (Venturi, 1966). Yet, from a functional standpoint, both buildings consist primarily of office floors (served by elevators, bathrooms, and mechanical systems) supported by columns, girders, and beams. Their different forms of expression have no impact on their ability to function. And the functional organization of the floor plates, in both buildings, is entirely routine.

What Venturi and other apostles of architectural complexity are interested in isn't the scientific determination of whether or how the architectural program is 'complex', but rather the subjectivity of expressive form. According to Venturi (1966, p. 39),

Philadelphia Saving Fund Society (PSFS) Building «[…] gives positive expression to the variety and complexity of its program. It integrates a shop on the first floor and a big bank on the second with offices above and special rooms at the top».

Yet the PSFS building components are not all that different from the various program spaces inserted into Mies's Seagram Building. And far more complex programs can be accommodated perfectly well in minimalist modernist buildings – see, e.g., the Everett M. Dirksen U.S. Courthouse in Chicago (IL), also designed by Mies, which underwent a major structural renovation in the 1990s to insert two-story courtrooms without altering the exterior expression (Nevin Hedlund Architects, n.d.). In other words, interior 'complexity' has nothing necessarily to do with the outward form of expression. And, as argued above, defining such routine organizations of program spaces as 'simple' or 'complex' is entirely relative.

Finally, even if complexity can be defined in natural systems, such definitions should not be extrapolated to human behavior. Caws (2015, p. 520) argues that while physical objects studied in the natural sciences are governed by laws that explain their behavior, the behavior of cultural objects studied in the human sciences is determined by beliefs and intentions of human agents: «One cardinal principle that emerges from a consideration of this distinction is that it is futile to try to solve problems in the human sciences with tools appropriate to the natural sciences».

Ordinary lives are simple | Advocates of complexity in architecture suggest that the complexity of modern life, manifested in complex building programs and urban conditions, requires a complex architecture. Yet the elements of this alleged complexity are rarely enumerated: the only examples given – e.g., the PSFS Building described above – point to relatively simple arrangements of program spaces organized on stacked floors serviced by stairs, elevators, and the usual assortment of mechanical, electrical, and plumbing services.

Venturi's argument has, however, more serious defects in its underlying premise. On the one hand, he asserts that 'complexity' and 'contradiction' characterize modern society and, on the other hand, that they can be characterized as elements of architectural form. However, even though many elements of modern life are undoubtedly complex, this complexity operates, in general, below the surface of ordinary life. In other words, the actual complexity of modern life is most often masked, at least for the bulk of modern workers, by mindless repetition and a sense of alienation, often accompanied by drug or alcohol abuse (Grant et alii, 2017). In fact, the elimination of complexity (skill) in the capitalist workplace is a feature rather than a flaw: «[…] the very concept of skill becomes degraded along with the degradation of labor […] to such a point that today the worker is considered to possess a 'skill' if his or her job requires a few days' or weeks' training» (Braverman, 1974, p. 444).

Rather than being complex, the modern lives we lead are most often simple, banal, and marked by 'quiet desperation' (Thoreau, 1910). We get up, go to work, eat, drink, sleep, and repeat. At a more basic level, the daily domestic tasks that modern humans are charged with – washing, cooking, shopping, cleaning, and so on – are often far simpler than they were even 100 years before the publication of Venturi's book. «Prior to the 1890s, there were few factory-prepared foods. Shoppers bought poultry that was still alive and then had to kill and pluck the birds. Fish had to have scales removed. Green coffee had to be roasted and ground. Loaves of sugar had to pounded, flour sifted, nuts shelled, and raisins seeded» (Digital History, n.d.). Modern life, if anything, has simplified the tasks of living compared to prior epochs.

It is true that the development of modern society has seen an enormous expansion in the number and type of specialized vocations, and it is true that the interactions among all the private and public entities that constitute modern society form a highly complex and fluid matrix. But this societal complexity is rarely apprehended as such in daily life: instead, we experience the banal sameness of our repetitive patterns of movement, whether or not the sum of all such movements by all members of society is complex, or even chaotic. And, in any case, the architect is not charged with the design of society as a whole.

Complexity is embedded in our tools | Complexity may well be found in virtually every aspect of contemporary life, but in a form that is generally hidden from view, embedded within products and systems and, as such, inaccessible to ordinary consciousness. For example, the computer programs enabling and optimizing the deployment of elevators in high-rise buildings are sophisticated and complex, but this complexity is entirely hidden from the building users (and even from the building designers), who are aware only of the elevator's 'up' and 'down' buttons.

With complex knowledge embedded in our machines, the human being, both at work and in leisure, confronts not complexity, but a world devoid of complexity: «Not as with the instrument, which the worker animates and makes into his organ with his skill and strength, and whose handling therefore depends on his virtuosity. Rather, it is the machine which possesses skill and strength in place of the worker, is itself the virtuoso, with a soul of its own in the mechanical laws acting through it» (Marx, 1973, p. 614). Complexity, in other words, is increasingly embedded in the systems, products, and devices that define contemporary life, rather than revealing itself as such to our ordinary consciousness.

This modern attitude toward complexity was most famously manifested by Steve Jobs in the design of Apple devices: «Jobs aimed for the simplicity that comes from conquering, rather than merely ignoring, complexity» (Isaacson, 2012). The idea of visually expressing the complexity or contradictions underlying the phone's numerous functions would have been seen as absurd by Jobs, and it is no accident that neither Venturi nor any of the other apostles of architectural complexity were involved in its design! From this perspective, one can characterize the interest in architectural complexity as a reaction to the simplification (both programmatically and aesthetically) represented by the iPhone and similar products of modern culture. Yet, expressing an idealized complexity by distorting the geometry of buildings to the point that they become dysfunctional neither changes the underlying banality of modern life, nor its capitalist basis. The machine remains the virtuoso, as Marx argued in the mid-19th-century.

Architectural complexity is driven by competition for avant-garde notoriety | The complexity of architectural form (including exterior geometries, interior arrangements of rooms and spaces, and material surfaces) reflects not the complexity of contemporary life, but the dysfunctional and competitive drive for notoriety (to be noticed) that pushes the envelope of avant-garde architectural production. Where complexity occurs, especially in the distorted formal manipulations associated with avant-garde buildings, the formal complexity is self-inflicted.

This becomes evident when examining the floor plans of geometrically complex buildings, which must somehow be reconciled with the overarching building form. Even when floor plans have been bent, twisted, or otherwise distorted, their underlying organizations ('partis') remain topologically banal – after all, they are still governed by a normative, socially necessary organization of rooms, corridors, stairs, and elevators, whether it has been contorted in order to fit within the complex geometry of the building envelope or distorted for its own sake, and whether the building's function is commercial (Figg. 9, 10), residential (Figg. 11, 12), or academic (Figg. 13, 14).

It is undoubtedly true that such deliberately contrived complexity may, in some cases, stimulate tourism ('Bilbao effect') or otherwise engage (or enrage) its intended community. This, in fact, hints at the actual purpose of avant-garde production, whether it exploits architectural complexity or any number of competing stylistic tendencies. The purpose is always to reinforce wealth and power, in part by deploying a constantly changing array of styles that serve the various classes and subcultures competing in modern society, but which can also result in dysfunctional buildings (Ochshorn, 2021). In particular, complexity is correlated with two types of building dysfunction: energy inefficiency and control layer discontinuities.

In 2021, The Passive House Institute US[2] compared 'compact' to 'complex' building geometries and concluded that: «Compact building shape is energy efficient, because compact buildings have less thermal envelope area per unit of conditioned floor area than geometrically complex buildings have». Equally problematic are control layer discontinuities that become more likely when a building's geometry is bent, fragmented, or otherwise deviates from the norm. The intersections of these discontinuous or nonorthogonal planes, if not rigorously detailed and carefully built, cause problems not only with the continuity of thermal insulation, but also with the integrity of air, water, and vapor barriers, leading to a host of potential problems. To cite but one example, MIT sued the architect and builders of its Stata Center, citing numerous problems related to control layer design, including 'mold growth' and 'persistent leaks' (Hawkinson, 2010).

Later justifications for complexity in architecture | Venturi justified complexity by claiming that architecture becomes, or should become, complex in order to accommodate or reflect (aesthetically) the actual complexity of the world. A second justification for designing and constructing complex buildings emerged decades after the publication of Venturi's book, and has many variants, all referencing the potential of newly discovered computational algorithms to create complex forms.

For Charles Jencks (1997), architectural form becomes complex, not as a reflection of any pro-

grammatic complexity, but because 'the new sciences of complexity', which are tenets of a postmodern sensibility, characterize contemporary society and, for that reason alone, should be reflected in architectural expression. This is similar to Sigfried Giedion's use of 'science' to make arguments for particular forms of expression: 'the zeitgeist made me do it' (Giedion, 2009). Yet the idea that forms of expression 'ought to reflect' Einsteinian relativity (or quantum mechanics or some other complex fashion-du-jour) when applied at the scale of our ordinary existence is, as Einstein himself suggested when shown Giedion's book, 'simply bull' (Molella, 2002).

Greg Lynn, writing four years after Jencks, similarly seeks to justify the increasingly complex geometries becoming possible by using what he calls 'computer animation' and, like Jencks, frames his argument without reference to any intrinsic programmatic complexity. Referring to the 'aesthetic consequence' of computer animation, he contrasts what he calls Cartesian coordinates with topological surfaces and notes an aesthetic 'byproduct', «[…] the predominance of deformation and transformation techniques available in a time-based system of flexible surfaces. These are not merely shapes but the expression of the mathematics of the topological medium» (Lynn, 1999, p. 18). Lynn uses terms like 'aesthetic consequence' to disingenuously imply that because certain topological surfaces have become possible to model and construct, their use becomes an aesthetic necessity rather than just a stylistic choice.

Patrik Schumacher (2011, p. 275) defends his advocacy of complex computationally-derived forms by invoking social complexity as a «[…] criterion to measure architectural progress». But Schumacher doesn't adequately show why such alleged social complexity necessarily creates complex buildings. There are certainly more specialized functions in the modern world than in previous epochs, but it is not this complexity per se that motivates stylistic changes.

Virtually all modern functions can be accommodated in older, stylistically 'obsolete' buildings. Even the obvious exceptions – large column-free production facilities, for example – simply require modern engineering advances, but not necessarily stylistic overhauls. One can make a Neoclassical factory or concert hall, but the complexity of modern technology does not require equivalently complex building form: electrical conduits, sophisticated HVAC systems, computer interfaces, and so on, can live quite happily within various architectural styles, as can the environments within which these technologies are created and used.

Schumacher doesn't rely on complexity theory or computer animation to justify or explain the types of formal outcomes advocated by Jencks and Lynn, but rather sees such forms as a way of visually articulating «[…] complex compositions where a multitude of parts needs to be integrated without allowing the composition to descend into illegible visual chaos» (Schumacher, 2011, p. 309). In other words, where Venturi embraces such 'collisions', driven by what he identifies as complexity and contradiction, as a strategy for creating and critiquing architectural form, Schumacher prefers to cover up, contain, and conceal those allegedly complex parts within a smooth overarching form, which nevertheless seeks its own stylistically-driven complex geometric basis.

Concluding disclaimer | My criticism of architectural complexity has nothing to do with the subjectivity of aesthetic preferences or expressive qualities. Whether or not I 'like' some or all of the buildings mentioned in this essay is not relevant. Instead, my argument addresses two objective aspects of complex buildings, both problematic. First, I argue that complexity in architectural form can neither be 'explained' by reference to complexity theory in the sciences nor to an alleged complexity in modern life. Second, I describe two types of dysfunctionality that become more likely with complex buildings – energy inefficiency and control layer failure.

These two conclusions have ramifications for both theory and practice. In the case of architectural theory, it is necessary to acknowledge that much of what counts as theory is more accurately described as a form of criticism, in which the critic's preferences (what the critic 'likes') are presented, not as subjective critiques, but rather as if they were logical arguments objectively explaining a phenomenon. In the case of practice, various forms of dysfunction have become more prevalent due to the competition driving avant-garde production. This competition invariably reinforces stylistic tendencies that seek to overcome, rather than embrace, the logic that might otherwise lead to conventional and efficient buildings.

Notes

1) For more information, see the webpage: nytimes.com/1967/09/10/archives/waiting-for-utopia-complexity-and-contradiction-in-architecture.html [Accessed 27 August 2024].

2) For more information, see the webpage: training.phius.org/mod/scorm/view.php?id=67 [registration required].

References

Bardi, U. (2020), *Before the Collapse – A Guide to the Other Side of Growth*, Springer, Cham. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-29038-2 [Accessed 27 August 2024].

Braverman, H. (1974), *Labor and Monopoly Capital – The Degradation of Work in the Twentieth Century*, Monthly Review Press, New York. [Online] Available at: jstor.org/stable/j.ctt9qfrkf [Accessed 27 August 2024].

Caws, P. (2015), "General Systems Theory – Its Past and Potential", in *Systems Research and Behavioral Science*, vol. 32, issue 5, pp. 514-521. [Online] Available at: doi.org/10.1002/sres.2353 [Accessed 27 August 2024].

Digital History (n.d.), "Housework in Late 19th Century America", in *digitalhistory.uh.edu*, Topic ID 93. [Online] Available at: digitalhistory.uh.edu/topic_display.cfm?tcid=93 [Accessed 27 August 2024].

Forty, A. (2004), *Words and Buildings – A Vocabulary of Modern Architecture*, Thames & Hudson, New York.

Fundación Juan March (ed.) (2014), *Josef Albers – Minimal Means, Maximum Effect*, Fundación Juan March, Madrid. [Online] Available at: monoskop.org/images/1/10/Josef_Albers_Minimal_Means_Maximum_Effect_2014.pdf [Accessed 27 August 2024].

Giedion, S. (2009), *Space, Time and Architecture – The Growth of a New Tradition*, Harvard University Press, Cambridge. [Online] Available at: hup.harvard.edu/books/9780674030473 [Accessed 27 August 2024]

Grant, B. F., Chou, S. P., Saha, T. D., Pickering, R. P., Kerridge, B. T., Ruan, W. J., Huang, B., Jung, J., Zhang, H., Fan, A. and Hasin, D. S. (2017), "Prevalence of 12-Month Alcohol use, high-Risk Drinking, and DSM-IV Alcohol Use Disorder in the United States, 2001-2002 to 2012-2013 – Results from the National Epidemiologic Survey on Alcohol and Related Conditions", in *JAMA Psychiatry*, vol. 74, issue 9, pp. 911-923. [Online] Available at: doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2017.2161 [Accessed 27 August 2024].

Hawkinson, J. A. (2010), "MIT Settles with Gehry over Stat Ctr. Defects", in *The Tech*, vol. 130, issue 14, pp. 1-12. [Online] Available at: thetech.com/issues/130/14/pdf [Accessed 27 August 2024].

Isaacson, W. (2012), "The Real Leadership Lessons of Steve Jobs", in *Harvard Business Review*, vol. 90, issue 4, pp. 92-103.

Jencks, C. (1997), *The Architecture of the Jumping Universe – A Polemic – How Complexity Science is Changing Architecture and Culture*, Academy Editions, London.

Lynn, G. (1999), *Animate Form*, Princeton Architectural Press, New York.

Marx, K. (1973), *Grundrisse*, Penguin Books, London. [Online] Available at: marxists.org/archive/marx/works/download/pdf/grundrisse.pdf [Accessed 27 August 2024].

Molella, A. P. (2002), "Review – Science Moderne – Sigfried Giedion's 'Space, Time and Architecture and Mechanization Takes Command", in *Technology and Culture*, vol. 43, issue 2, pp. 374-389. [Online] Available at: jstor.org/stable/25147909 [Accessed 27 August 2024].

Nevin Hedlund Architects (n.d.), "E. M. Dirksen Federal Building, Courtroom Renovations", in *hedlundarchitects.com*, n.d. [Online] Available at: hedlundarchitects.com/emdirksen-federal-building [Accessed 27 August 2024].

Ochshorn, J. (2021), *Building Bad – How Architectural Utility is Constrained by Politics and Damaged by Expression*, Lund Humphries, London.

Schumacher, P. (2011), *Autopoiesis of Architecture*, John Wiley & Sons, Hoboken.

Thoreau, H. D. (1910), *Walden*, Thomas Crowell & Co., New York.

Venturi, R. (1966), *Complexity and Contradiction in Architecture*, The Museum of Modern Art, New York.

Vitruvius (1914), *Ten Books on Architecture* [or. ed. ca. 30-20 BC], Harvard University Press, Cambridge-London.

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 118-129
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/16102024

Article Info

Received 10 September 2024
Revised 07 October 2024
Accepted 09 October 2024
Published 30 December 2024

IL CENTRO DI FORMAZIONE A SALEZ
Progettare la sostenibilità con interazioni semplici tra utenti e architettura

AN EDUCATIONAL CENTRE IN SALEZ
Designing sustainability through simple interactions between users and architecture

Cristian Dallere, Matteo Tempestini

Abstract

L'articolo analizza il caso studio del Landwirtschaftliches Zentrum come esempio di edificio in grado di promuovere nuove modalità di interazione tra utenti e architettura attraverso tecnologie semplici e analogiche. L'obiettivo del contributo è comprendere come un approccio low-tech, basato su prefabbricazione, materiali locali e soluzioni prive di automazioni, possa favorire consapevolezza e responsabilità negli utenti. Il contributo, redatto a seguito di visite in loco e interviste agli utenti e al Direttore del Centro Markus Hobi, evidenzia come un approccio al progetto di tipo 'strutturale' permetta l'instaurazione di interazioni consapevoli e positive tra utenti e architettura. L'originalità del contributo risiede proprio nell'indagine del ruolo educativo delle citate interazioni, in grado di aprire una nuova prospettiva sulla sostenibilità architettonica.

The article presents the case study of the Landwirtschaftliches Centre as an example of a building capable of promoting new modes of interaction between users and architecture through simple and analogical technologies. The paper aims to understand how a low-tech approach, based on prefabrication, local materials, and solutions without automation, can stimulate user awareness and responsibility. The study, conducted through site visits and interviews with users and the centre's director, Markus Hobi, underlines how a 'structural' design approach can generate conscious and positive interactions between users and architecture. The paper's originality lies in exploring the educational role of these interactions, which can offer a new perspective on architectural sustainability.

Keywords

semplicità costruttiva, interazione utente-architettura, sostenibilità, tecnologie passive, architettura pedagogica

construction simplicity, user-architecture interaction, sustainability, passive technologies, pedagogical architecture

Cristian Dallere is an Architect and PhD Candidate at the Department of Architecture and Design, Politecnico di Torino (Italy). He conducts research on timber constructions in the Alpine context, with a focus on the Austrian region of Vorarlberg. He is a Member of the Institute of Mountain Architecture and the Editorial Board of Archalp, International Journal of Alpine Architecture and Landscape. E-mail: cristian.dallere@polito.it

Matteo Tempestini is an Architect and PhD at the Department of Architecture and Design, Politecnico di Torino (Italy). He conducts research on architectural culture in the Alpine context, particularly in Switzerland and Austria. He is a Member of the Institute of Mountain Architecture and the Editorial Board of Archalp, International Journal of Alpine Architecture and Landscape. E-mail: matteo.tempestini@polito.it

La modernità è stata testimone dell'emergere e del progressivo sviluppo di numerose tecnologie, oggi sempre più complesse, in grado di gestire i parametri ambientali interni degli edifici sfruttando diverse forme di energia. Questo avanzamento tecnologico nel controllo ambientale, realizzato attraverso sistemi impiantistici, ha ridotto il ricorso a una gestione 'strutturale' degli spazi architettonici, ovvero basata su una loro specifica definizione morfologica (Banham, 1984). Già nei primi anni del Novecento si assiste a una parziale meccanizzazione della casa e della sfera domestica, durante quella che Sigfried Giedion (1967) definisce la 'prima fase della meccanizzazione', avvenuta grazie alla sempre più massiccia diffusione dell'elettricità e dei combustibili fossili.

Si apre così la strada verso quello spazio ideale definito come 'planetary interior' (Barber, 2020), ovvero un ambiente ermeticamente sigillato e il cui comfort è garantito da aria condizionata e pura. Tale visione è immaginata dagli architetti del Moderno come Le Corbusier che, in alcuni suoi scritti tra le due guerre mondiali, in pieno spirito modernista, proponeva un ambiente adatto a tutte le nazioni e tutti i climi, in grado di funzionare grazie alle recenti scoperte tecnologiche e impiantistiche (Le Corbusier, 1930, 1937). Alla diffusione del 'planetary interior' contribuirà a partire dagli anni Cinquanta il sempre più ampio utilizzo dei sistemi di condizionamento dell'aria, in particolar modo in gran parte del mondo occidentale (Barber, 2020).

Nonostante sia ormai venuta meno la fiducia nel progetto modernista e sia cresciuta una forte consapevolezza della crisi climatica e dell'impatto ambientale delle costruzioni (European Environment Agency, 2022), l'architettura contemporanea continua a basarsi prevalentemente su un approccio di tipo 'rigenerativo' (Banham, 1984), che mira a garantire prestazioni ambientali attraverso l'uso intensivo di energia e di complessi sistemi tecnologici che sono spesso dotati di numerosi sensori e attuatori capaci di trasformare autonomamente gli stimoli ambientali in segnali elettronici e risposte meccaniche.

Parametri come temperatura, umidità, purezza dell'aria e illuminazione, sia naturale che artificiale, sono gestiti automaticamente, senza bisogno alcuno dell'intervento dell'utente. La grande libertà formale offerta da questo approccio progettuale (Calder, 2022) comporta tuttavia l'installazione di sistemi impiantistici complessi e sempre più autonomi rispetto all'edificio, progettati da specialisti terzi e spesso di difficile gestione e comprensione da parte degli utenti, nonché un elevato consumo di energia e risorse non rinnovabili.

Al contrario, un approccio progettuale di tipo 'strutturale' si fonda sulla gestione degli ambienti interni attraverso soluzioni distributive e morfologiche, come la disposizione strategica degli elementi tecnici o l'impiego di materiali con particolari capacità termoigrometriche. È utile specificare come l'adozione di un simile approccio alla progettazione, teorizzato da Reyner Banham (1984), non conduce esclusivamente alla realizzazione di architetture passive, seppure i due termini possano sembrare intercambiabili. Mentre i cinque concetti fondamentali dello standard Passivhaus prevedono l'isolamento completo degli ambienti interni rispetto all'esterno con tecnologie in grado di garantire un involucro ermetico e impermeabile all'aria (Klingenberg, 2018), un'architettura progettata secondo un approccio 'strutturale' può permettere, e in alcuni casi stimolare, l'apertura degli ambienti e lo scambio verso l'esterno, come nel caso dell'edificio che verrà presentato in questo contributo. Sebbene si caratterizzi per una maggiore complessità nella fase progettuale, allo stesso tempo potenzialmente agevolata dai sempre più sofisticati strumenti digitali (Perriccioli et alii, 2021), questo approccio assicura una maggiore semplicità di utilizzo e manutenzione, favorendo un'interazione diretta tra utenti e architettura.

In questa prospettiva il contributo si propone di esplorare le potenzialità dell'approccio strutturale nell'architettura contemporanea, evidenziandone non solo gli aspetti di sostenibilità, ma anche la capacità di promuovere un'interazione attiva tra gli utenti e lo spazio architettonico. In particolare verrà approfondito come l'uso di soluzioni tecniche semplici e analogiche possa facilitare tale interazione e incoraggiare una gestione partecipativa dell'ambiente, con importanti implicazioni pedagogiche e culturali per gli utenti. La teoria sarà supportata dall'analisi critica di un caso studio: il Landwirtschaftliches Zentrum St. Gallen (Centro di Formazione e Ricerca Agraria del Canton San Gallo) a Salez (Svizzera), realizzato nel 2019 su progetto dell'architetto Andy Senn (Figg. 1, 2).

Verso un'architettura pedagogica sulle interazioni tra utenti ed edificio | I progressi nel controllo ambientale degli edifici attraverso sistemi impiantistici complessi e l'adozione di tecnologie innovative possono avere un impatto negativo sull'esperienza degli utenti, che corrono il rischio di essere alienati dallo spazio in cui vivono, non riuscendo a comprenderlo e controllarlo. Per questo motivo la ricerca recente si è concentrata sempre più sull'importanza dell'interazione attiva tra gli utenti e gli edifici. In questo contesto emerge il filone di studi sull'Human-Building Interaction (HBI) che esplora le modalità con cui gli utenti possono influire sulla gestione dell'ambiente indoor, promuovendo quindi un'interazione attiva con l'architettura.

Diversi studi riguardanti l'Human-Building Interaction (Krukar et alii, 2016; Alavi et alii, 2019) dimostrano che gli utenti che interagiscono in modo attivo con gli edifici tendono a essere più soddisfatti; in particolare Brambilla et alii (2017) sostengono, tramite una sperimentazione empirica, che vi sia una componente psicologica positiva significativa nel controllo dei parametri ambientali tramite tecnologie analogiche. La maggior parte degli studi sull'Human-Building Interaction si concentra tuttavia prevalentemente su sistemi di natura digitale (Alavi et alii, 2016a, 2016b), spesso trascurando il ruolo potenziale delle tecnologie analogiche nel facilitare tali interazioni.

Partendo da questa lacuna il presente contributo si propone di esplorare un approccio alternativo, incentrato su soluzioni tecniche semplici e analogiche, sviluppando il concetto di architettura come 'oggetto performativo', mutuato dalle teorie di Bruno Latour (2022, p. 55), secondo il quale «[…] l'oggetto di una definizione performativa svanisce quando non viene più 'performato'». In base a questo principio si avanza l'ipotesi che l'architettura possa essere considerata come un oggetto performativo: se gli utenti non svolgono alcun ruolo attivo di controllo e gestione, demandato interamente a sensori, attuatori e complessi sistemi impiantistici, l'architettura rimane inaccessibile e invisibile agli utenti; essi restano alienati dall'ambiente che li circonda, senza riuscire a comprenderlo appieno né a sviluppare una consapevolezza e una cultura architettonica e ambientale. Al contrario un'architettura progettata con un approccio 'strutturale' e dotata di sistemi di controllo analogici, come nel caso del Landwirtschaftliches Zentrum, instaura un rapporto performativo con gli utenti, stimolati a interagire con l'edificio per la gestione microclimatica dell'ambiente interno: in tal modo l'architettura si rivela agli utenti, assumendo al contempo un ruolo culturale e pedagogico.

Mentre le analisi e gli studi tradizionali sulla sostenibilità architettonica spesso si concentrano sul rispetto di criteri e valori soglia, questo saggio offre quindi un'interpretazione innovativa, valutando la funzione pedagogica del progetto e la sua capacità di rendere gli utenti più consapevoli e responsabili, contribuendo così a un futuro dell'ambiente costruito più sostenibile. Il rapporto tra utente e architettura viene indagato attraverso il riconoscimento del ruolo attivo di oggetti, materiali e soluzioni tecniche (Yaneva, 2012, 2022) che non solo stimolano l'interazione tra utente e architettura, ma si distinguono anche per la semplicità costruttiva legata all'utilizzo di sistemi prefabbricati, permettendo al progetto di svolgere un duplice ruolo di democratizzazione (Di Virgilio, 2023): da un lato favorisce l'interazione degli utenti con l'edificio, dall'altro semplifica la cantierizzazione e il lavoro dell'impresa costruttrice (Pone, 2022).

Lo studio si basa su diverse visite degli autori al Landwirtschaftliches Zentrum durante l'estate del 2023, oltre che sull'analisi di pubblicazioni (pubblicazioni su riviste di settore, il catalogo del premio Constructive Alps e un volume monografico dedicato al progetto) e di fonti secondarie relative all'edificio, selezionate tramite una ricerca sui principali database online[1]. I sopralluoghi sono stati fondamentali per comprendere e documentare la morfologia, le tecnologie e i materiali utilizzati nel Centro, nonché per osservare i rapporti tra gli utenti e l'architettura. Inoltre sono risultate fondamentali sia le informazioni raccolte attraverso interviste non strutturate[2] con studenti, docenti e il committente e Direttore del Centro, Markus Hobi, sia quelle acquisite dall'impresa di costruzioni Blumer Lehman, che ha fornito dettagli significativi riguardo la costruzione dell'edificio, incluse le foto di cantiere che accompagnano questo saggio.

Le pubblicazioni sul Centro evidenziano il particolare approccio a bassa tecnologia dell'edificio (Simmel, 2022; Kleeblatt, 2020), oltre che le potenzialità didattiche di un'architettura quasi esclusivamente analogica (Sauer, 2019), qualità che hanno permesso al Landwirtschaftliches Zentrum di ottenere il primo posto nel premio internazionale Constructive Alps, dedicato alle costruzioni sostenibili in ambiente alpino (Gantenbein, 2020). L'importanza di questo caso studio risiede nell'approccio performativo adottato, che valorizza l'interazione attiva degli utenti, e nel potenziale superamento dei limiti imposti da soluzioni tecnologiche puramente automatizzate. Il Centro apre quindi la strada a nuove forme di sostenibilità che coinvolgono direttamente gli utenti nella gestione dell'ambiente costruito, contribuendo allo sviluppo di una cultura architettonica e ambientale più consapevole e responsabile, capace di affrontare le sfide della sostenibilità in modo olistico e inclusivo.

Il Landwirtschaftliches Zentrum St. Gallen | Il progetto del Centro nasce dalla consapevolezza del committente, il Canton San Gallo, delle potenzialità di un'architettura a 'bassa tecnologia'. Infatti, fin dal 2010, in vista della pubblicazione del bando di concorso per la realizzazione del Landwirtschaftliches Zentrum, il Cantone ha condotto studi sull'efficienza energetica degli edifici storici e contemporanei in relazione al loro grado di digitalizzazione e automazione (Gross, 2020) con l'obiettivo di comprendere se la crescente complessità dei sistemi di controllo ambientale negli edifici più moderni portasse a un effettivo miglioramento delle prestazioni energetiche.

I risultati di questi studi hanno evidenziato che edifici storici privi di tecnologie automatizzate consumano circa la stessa quantità di energia degli edifici più avanzati, con una differenza che si attesta attorno al 5% (Binotto, 2019); inoltre gli edifici meno complessi tecnologicamente richiedono una manutenzione inferiore e costi di gestione più contenuti. Di conseguenza, la concezione di sostenibilità dell'architetto cantonale Werner Binotto lo ha portato ad adottare un approccio low-tech, sostenibile anche dal punto di vista economico, sia nella fase di gestione che in quella di costruzione, dove l'incidenza dei costi impiantistici è risultata pari al solo 10% del costo totale dell'opera (Gantenbein, 2020). L'importanza del controllo analogico dei parametri ambientali rappresenta quindi uno dei principali requisiti progettuali richiesti dal bando di concorso del Landwirtschaftliches Zentrum, pubblicato nel 2011 (Keller, 2012).

La proposta vincitrice, elaborata dall'architetto svizzero Andy Senn, ha risposto alle richieste del bando attraverso soluzioni particolari nella distribuzione degli spazi e l'adozione di specifici elementi tecnici. L'edificio, che ospita aule, sale riunioni, uffici e un dormitorio per studenti, si configura come una lunga 'manica', con i lati maggiori orientati a Nord e Sud; l'ala Ovest, che ospita il dormitorio su tre piani, è ruotata di 90 gradi rispetto al corpo principale (Figg. 4, 5); l'ala didattica, alta come il dormitorio, si sviluppa su due piani e presenta spazi a doppia altezza come la mensa e l'ingresso.

L'intero complesso è realizzato quasi esclusivamente in legno (Fig. 3), eccezion fatta per il piano seminterrato e i pali di fondazione in calcestruzzo armato, necessari a causa della natura del terreno alluvionale della Valle del Reno; la struttura principale è in abete rosso proveniente da boschi di proprietà cantonale (Merz, 2019), mentre gli elementi esposti alle intemperie sono realizzati in quercia e i rivestimenti interni in abete bianco; la pavimentazione è realizzata con un conglomerato di argilla e caseina che, combinata con un solaio misto in legno e calcestruzzo, fornisce la necessaria inerzia termica alla leggera costruzione lignea (Figg. 6, 7).

Gli elementi strutturali visibili all'interno dell'edificio mettono in risalto una griglia di portali in legno, con un passo di 2,14 metri e luci di 8,5 metri (Fig. 8), che contribuiscono alla caratterizzazione spaziale degli ambienti. La manica del dormitorio, a differenza dell'ala didattica, utilizza un sistema strutturale in pannelli X-LAM, a marcare la differente conformazione degli spazi e le diverse esigenze funzionali. Questo uso di differenti tecnologie costruttive in legno, materiale che viene valorizzato per le sue proprietà fisiche, meccaniche ed ecologiche (Park Associati and Bollinger + Grohmann, 2021), dimostra un approccio consapevole e orientato ai principi dell'economia circolare (Ellen MacArthur Foundation, 2015; Hillebrandt et alii, 2019). In questo senso il Centro si distingue per un'attenta progettazione sia delle connessioni, che consentono un facile smontaggio e rimontaggio dell'intero edificio al termine del primo ciclo di vita (Fig. 9), sia di peculiari componenti impiantistici modulari che garantiscono notevoli economie in fase di gestione del manufatto (Sposito and Scalisi, 2020).

L'approccio sostenibile e consapevole che caratterizza l'uso del legno si riflette anche nelle scelte progettuali per il controllo climatico. I prospetti Nord e Sud presentano ampi ballatoi (Fig. 10), che oltre a caratterizzare fortemente la morfologia dell'edificio, fungono sia da sistema distributivo esterno sia da elemento di schermatura passiva: durante i mesi estivi i ballatoi, insieme alle persiane scorrevoli in legno, offrono una protezione efficace contro la radiazione solare diretta, riducendo il surriscal-



Fig. 1 | The Landwirtschaftliches Centre St. Gallen, viewed from the south, showing the building's integration into the surrounding landscape (credit: the Authors, 2023).

damento degli ambienti interni; al contempo questi spazi lineari servono da aree comuni all'aperto, dove studenti e docenti possono socializzare durante le pause (Fig. 11).

Il controllo climatico all'interno degli spazi dell'ala didattica è affidato direttamente agli utenti. L'edificio infatti non dispone di sistemi automatizzati per il ricambio d'aria: le grandi porte finestre che si aprono sui ballatoi vengono utilizzate per favorire il ricircolo dell'aria durante la bella stagione, creando un legame diretto tra interno ed esterno: questo tipo di ventilazione naturale non solo favorisce la regolazione climatica degli spazi, ma anche la socializzazione e la fruizione degli ambienti esterni da parte degli utenti.

Un'altra soluzione utile per il controllo climatico è la finestra a nastro che corre lungo tutta la facciata scostandosi leggermente verso l'esterno rispetto al tamponamento perimetrale. Questo scostamento crea una fessura che può essere aperta manualmente tramite sportelli, garantendo così una ventilazione continua anche nei periodi invernali, quando l'apertura completa delle porte finestre risulterebbe impraticabile a causa del rigido clima alpino (Fig. 12). Il sistema di ventilazione incrociata è completato da una seconda fila di finestre a nastro, azionabili meccanicamente attraverso un sistema di manovelle e tiranti in acciaio. Queste finestre si affacciano su un tunnel di ventilazione che attraversa l'intera lunghezza dell'edificio e sfocia sopra la copertura a tetto verde estensivo, permettendo lo smaltimento dell'aria viziata e il raffrescamento passivo (Fig. 13). Il tunnel di ventilazione, che rappresenta la spina dorsale dell'edificio, divide il complesso in due maniche ed è collegato a tutti gli ambienti interni, compreso il piano inferiore, dove il ricambio d'aria è ulteriormente potenziato dall'effetto camino.

Impiegando queste soluzioni tecnologiche le interazioni tra edificio e utenti variano in base alle stagioni, riflettendo l'adattabilità del sistema analogico. Durante le calde giornate estive i ballatoi, insieme allo sporto del tetto, funzionano come schermature fisse, mentre le persiane in legno possono essere chiuse per un ulteriore controllo della radiazione solare. A ogni cambio d'ora gli studenti e i docenti aprono le grandi porte finestre e utilizzano il sistema a manovella per attivare la ventilazione incrociata attraverso le finestre a nastro (Fig. 14); in questo modo, oltre che migliorare il comfort interno, si favorisce la socializzazione negli spazi esterni condivisi; in inverno invece, quando le temperature rigide impediscono l'uso delle porte finestre, i piccoli sportelli posti in alto, combinati con le finestre a nastro verso il tunnel di ventilazione, permettono una micro-ventilazione incrociata, assicurando comunque un ricambio d'aria efficace (Fig. 15).

Questo sistema, pur basandosi su soluzioni tecniche analogiche e semplici, dimostra come una progettazione climatica di tipo 'strutturale' possa risultare altamente efficiente quando pensata in sinergia con l'architettura sin dalle prime fasi progettuali. Sebbene un sistema di controllo di tipo analogico possa sembrare meno appetibile e confortevole rispetto a un sistema automatizzato, le esperienze degli utenti testimoniano una soddisfazione generale, dovuta alla sensazione di maggiore controllo e consapevolezza sui parametri ambientali. Una tale dimensione esperienziale rafforza i risultati degli studi sull'Human-Building Interaction menzionati in precedenza, dimostrando che il coinvolgimento diretto degli utenti nella gestione del clima interno può migliorare significativamente la qualità dell'esperienza abitativa.



Fig. 2 | The Landwirtschaftliches Centre St. Gallen viewed from the inner courtyard. The image depicts the connection between the two-storey teaching wing and the three-storey dormitory wing (credit: the Authors, 2023).

Altri casi di studio di architettura low-tech per un differente controllo del comfort ambientale | Il comfort ambientale diviene quindi un obiettivo ricercato dall'utente, perseguito grazie alla peculiare modellazione della forma dell'architettura (Nicol and Roaf, 2017). Nel momento in cui il comfort non è più un requisito fornito dagli impianti e dai sistemi di servizio dell'edificio (Nicol, 2011), si rovescia il rapporto di tipo industriale che ha caratterizzato gran parte della produzione architettonica contemporanea fin dalle prime fasi della meccanizzazione: l'utente non è più mero consumatore di un servizio, ma diviene di nuovo padrone dello strumento (Illich, 2013), ovvero dell'architettura.

Nella contemporaneità un numero sempre maggiore di progettisti persegue questo obiettivo: alcuni casi di studio, con caratteristiche paragonabili a quelle del Landwirtschaftliches Zentrum, sono stati intercettati all'interno del lavoro di ricerca degli autori, con riferimento alla produzione architettonica contemporanea in area alpina e con sistema costruttivo ligneo. In particolare si riferirà di due progetti, entrambi realizzati in Germania.

Il primo è la Haus der Berge, sede del Club Alpino tedesco a Monaco di Baviera, progettata dallo studio Element A Architekten e completata nel 2021: si tratta della riqualificazione di un edificio costruito con struttura in calcestruzzo armato negli anni Settanta del Novecento, i cui lavori di ristrutturazione hanno previsto il mantenimento dello scheletro strutturale in calcestruzzo armato, alto quattro piani, a cui sono stati aggiunti due piani realizzati con struttura in legno massiccio; come nel Landwirtschalfitches Zentrum i lati lunghi dell'edificio sono caratterizzati da balconate lignee in grado di controllare la radiazione solare nelle stagioni più calde.

Nella Haus der Berge il controllo dell'aria interna è realizzato con una particolare soluzione che prevede l'assenza di un impianto di ventilazione meccanica controllata e nel quale la ventilazione naturale è garantita da un sistema di condotti inseriti in una speciale 'cassapanca', posta lungo il perimetro degli ambienti interni. L'aria esterna entra dentro la cassapanca tramite feritoie ricavate lungo la facciata e si scalda passando attraverso un termoconvettore; l'aria calda sale e si immette nell'ambiente per mezzo di fessure nella parte superiore della cassapanca, mentre l'aria di scarico viene estratta a soffitto ed espulsa in copertura.

Si realizza così una soluzione low-tech che permette un ricambio d'aria continuo all'interno dell'edificio senza bisogno di impianti di ventilazione meccanica controllata e senza bisogno di aprire le finestre, soprattutto nelle stagioni più fredde (Zettel, 2024). L'intervento dell'utente è limitato in questo caso alla decisione di accendere o meno il convettore, regolando la temperatura dell'aria immessa nell'ambiente. Al contrario che nel Landwirtschaftliches Zentrum, quindi, le interazioni tra utenti e architettura sono ridotte al minimo, fattore che inficia la potenziale funzione pedagogica dell'edificio.

Un altro edificio di interesse è il Grünes Zentrum a Immenstadt in Algovia (Germania), completato nel 2016 su progetto dello studio tedesco f64 Architekten: l'edificio, che ospita uffici e sale formazione per l'Holzcluster, è realizzato esclusivamente con legno locale e si sviluppa intorno a un nucleo centrale di servizio e distribuzione affiancato da un atrio a tutta altezza caratterizzato dalla presenza di un muro monolitico in terra cruda, che assolve la doppia funzione di controllo igrometrico e di massa di accumulo.

L'elemento più interessante del progetto è indubbiamente il sistema di controllo della qualità dell'aria degli ambienti interni: infatti, al contrario del Landwirtschaftliches Zentrum di Salez, il Grünes Zentrum adotta due sistemi differenziati in base al



Fig. 3 | Construction site photograph of the central distribution corridor, showcasing the doubling of the vertical structure next to the double-height outdoor terrace (credit: Blumer Lehmann | Claude Hausammann, 2017).

livello di privacy degli ambienti. Nei locali a carattere pubblico, come le aule didattiche e le sale riunioni, viene utilizzato un sistema automatizzato di ventilazione meccanica con recupero di calore, mentre nei locali privati come gli uffici il controllo della qualità dell'aria è deputato agli utenti, coadiuvati da sensori che segnalano la necessità di ricambio d'aria e di apertura delle finestre.

La differenziazione dei sistemi di trattamento dell'aria in funzione del livello di privacy degli ambienti adottata nel Grünes Zentrum risulta estremamente rilevante perché in grado di evidenziare una delle criticità riscontrabili nel progetto del Landwirtschaftliches Zentrum di Salez, ovvero il raggiungimento di un livello di comfort ottimale in ambienti abitati da numerose persone, con preferenze e bisogni differenti.

Conclusioni | L'esempio del Landwirtschaftliches Zentrum dimostra come un approccio progettuale di tipo 'strutturale', orientato a ridurre al minimo il consumo energetico per il mantenimento dei parametri ambientali interni, possa anche facilitare interazioni dirette e semplici tra utenti e architettura in grado di rendere l'architettura un oggetto performativo e quindi uno strumento educativo che coinvolge attivamente chi lo vive (DeKay and Tornieri, 2023): in questo senso il progetto non solo garantisce un'ottima efficienza energetica, ma diventa anche un'opportunità formativa per gli utenti, rafforzando gli aspetti pedagogici dell'architettura.

Gli studenti e i docenti che frequentano quotidianamente il Centro hanno l'opportunità di sviluppare una consapevolezza concreta dell'influenza delle condizioni climatiche esterne sull'ambiente interno, qualcosa che sarebbe difficilmente percepibile in un edificio completamente automatizzato e autoregolato. L'interazione diretta con l'ambiente costruito li spinge inoltre a sviluppare un senso critico e una maggiore consapevolezza sia dell'architettura sia del contesto naturale che li circonda. Secondo Marko Sauer (2019) l'approccio progettuale adottato non solo caratterizza l'edificio esteticamente e formalmente, ma instaura un rapporto di responsabilità reciproca tra l'utente e l'edificio: meno tecnologia automatizzata implica una maggiore partecipazione attiva degli utenti e un superamento dell'alienazione spesso associata agli edifici ultratecnologici; la gestione dell'edificio nel Landwirtschaftliches Zentrum diventa quindi una vera e propria misura pedagogica.

Il Centro rappresenta un esempio di architettura sostenibile alternativa, che si discosta dai modelli di architettura rigenerativa ed estremamente energivora, basati solo sulla rispondenza a standard qualitativi e di carattere prescrittivo (Rocca, 2010). In tal senso il progetto offre uno spunto critico per la comunità scientifica internazionale, suggerendo un possibile cambiamento paradigmatico nella concezione dell'architettura sostenibile, in cui comfort e basso consumo energetico non sono in contraddizione, come sostenuto da Senn (2021). Questo cambiamento diventa realizzabile solo attraverso la creazione di cluster collaborativi tra progettisti, costruttori e utenti in grado di mettere in luce il ruolo determinante del committente nel plasmare l'intero processo operativo, come evidenziato da Sposito e Scalisi (2020) e, nel caso specifico oggetto di studio, dagli studi preliminari del Canton San Gallo sugli edifici low-tech (Binotto, 2019).

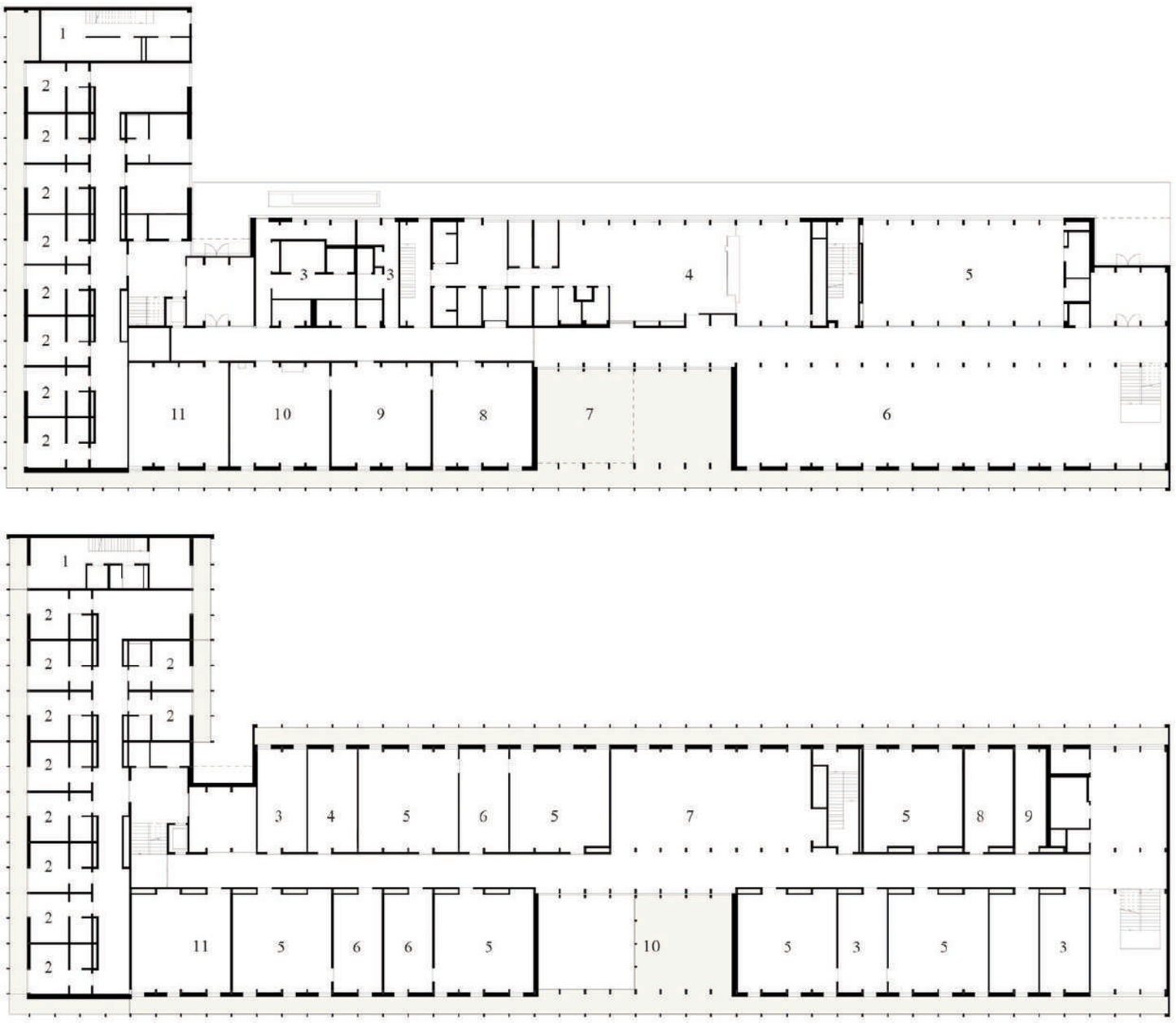
In questo modo il progetto non solo facilita la collaborazione tra le diverse parti coinvolte, ma apre nuove opportunità di ricerca sia per la pratica che per la teoria architettonica: in questo caso il progettista affronta un processo di responsabilizzazione nel quale si fa carico della progettazione complessa di tutti gli elementi tecnici, nell'ottica di semplificare la costruzione e agevolare la cantierizzazione. Tale semplificazione, oltre che garantire un maggiore controllo sull'esecuzione del progetto, incoraggia anche l'uso di strumenti di progettazione che si allineano naturalmente con il computational design, come osservato da Parvin (2013).

Dal punto di vista culturale e socio-economico il contributo presenta implicazioni rilevanti. Esso suggerisce che, in un contesto dominato da architetture ad alta tecnologia, esiste spazio per un approccio che riduce la complessità tecnologica a favore di soluzioni più semplici e analogiche, ma non per questo meno efficaci. Questo approccio potrebbe essere trasferito ad altri contesti, soprattutto in regioni o situazioni con risorse limitate o dove è necessario ripensare il rapporto tra comfort e sostenibilità; le considerazioni qui presentate sono pertanto rilevanti e attuali, sia per la pratica architettonica che per il dibattito scientifico.

Nonostante i numerosi benefici esistono tuttavia anche dei limiti all'approccio progettuale proposto: esso richiede infatti una continua partecipazione attiva dell'utente, cosa che potrebbe non essere sempre compatibile con tutte le tipologie di edifici o contesti sociali. Inoltre, avendo ogni utente preferenze e bisogni differenti, ovvero essendo la sensazione di comfort di difficile oggettivizzazione (Nicol, 2011), la libertà del singolo di regolare le condizioni ambientali di uno spazio può potenzialmente portare a delle controversie, problematica che potrebbe essere risolta, come nel caso del Grünes Zentrum, differenziando il grado di interazione degli utenti in relazione al livello di privacy degli ambienti. Tuttavia è proprio la partecipazione continua che rappresenta la chiave pedagogica del progetto del Landwirtschaftliches Zentrum, poiché spinge gli utenti sia a relazionarsi tra loro che a interagire attivamente con l'edificio e l'ambiente circostante.

Si ritiene quindi che il contributo abbia il pregio di alimentare il dibattito sul concetto di comfort, ponendo al centro la relazione attiva tra utenti e architettura in vista di sviluppi futuri interessanti. Come indicato da Barber (2019) la progettazione del 'discomfort' potrebbe diventare un campo di ricerca cruciale per i progettisti, spingendo la riflessione verso architetture capaci di innescare comportamenti più sostenibili attraverso l'interazione attiva degli utenti. Tale direzione di ricerca fornisce ulteriori spunti per stimolare nuovi studi e arricchire il dibattito sulla sostenibilità nel campo dell'architettura, allontanandosi definitivamente da approcci di carattere prescrittivo e quantitativo.

In contemporary architecture, numerous complex technologies have emerged that can manage the internal environmental parameters of buildings by exploiting various forms of energy. This technological advance in environmental control, performed through mechanical systems, has reduced the appeal of a 'structural' management of architectural spaces, based on their specific morphology (Banham, 1984). In the early twentieth century, a process of partial mechanisation of the home and domestic sphere was underway in what Sigfried Giedion (1967) called the 'first phase of mechanisation', driven by the increasing diffusion of electricity and fossil fuels.



Figg. 4, 5 | Ground floor plan: 1) Hallway; 2) Dormitory room; 3) Dressing room; 4) Kitchen; 5) Auditorium; 6) Canteen; 7) Terrace; 8) Lounge; 9) Didactic kitchen; 10) Classroom; 11) Gym. First-floor plan: 1) Hallway; 2) Dormitory room; 3) Technical room; 4) IT room; 5) Classroom; 6) Group room; 7) Lounge area; 8) Men's toilet; 9) Women's toilet; 10) Terrace; 11) Lounge (credits: A. Senn, 2024; adapted by the Authors).

These technological developments paved the way for the ideal space defined by Barber (2020) as the 'planetary interior': a hermetically sealed environment where comfort is ensured by clean, conditioned air. This vision was embraced in its full modernist spirit by architects such as Le Corbusier, who, in several writings between the two world wars, proposed an environment suitable for all nations and climates, made possible by technological and mechanical discoveries (Le Corbusier, 1930, 1937). The diffusion of the 'planetary interior' was further accelerated from the 1950s onwards by the pervasive adoption of air conditioning, particularly in much of the Western world (Barber, 2020).

Despite the current waning faith in the modernist project and the growing awareness of the climate crisis and the environmental impact of the construction industry (European Environment Agency, 2022), contemporary architecture continues to rely mainly on a 'regenerative' approach (Banham, 1984). This approach aims to provide environmental performance through the intensive use of energy and sophisticated technological systems, frequently comprising numerous sensors and actuators capable of autonomously transforming environmental stimuli into electronic signals and mechanical responses.

Parameters such as temperature, humidity, air purity, and natural and artificial lighting are managed automatically without user intervention. However, the substantial morphological flexibility afforded by this design approach (Calder, 2022) entails the installation of complex and autonomous mechanical systems that operate autonomously. Such systems are often designed by specialists, making them challenging for users to manage or even understand. Furthermore, they consume considerable quantities of energy and non-renewable resources.

A different, 'structural' design approach is based on the management of indoor environments through the strategic placement of technical elements and the use of materials with specific thermo-hygrometric properties, as well as through the manipulation of the layout and morphology of the building. It is important to clarify that adopting this approach, theorised by Reyner Banham (1984), does not necessarily result in passive architectures, although the two terms may appear interchangeable. While the five core concepts of the 'Passivhaus' standard involve the complete insulation of interior spaces from











Figg. 6, 7 | Construction site photographs taken during the installation of the prefabricated façade panels (credits: Blumer Lehmann | Claude Hausammann, 2017).

Fig. 8 | The terrace dedicated to leisure and relax is connected to the network of external balconies (credit: the Authors, 2023).

Fig. 9 | A detailed photograph of the connection between the timber elements of the portals. The connections are secured using metal plates bolted to the timber components (credit: the Authors, 2023).

Fig. 10 | A photograph of the external balcony featuring the wooden sliding shutters visible on the façade (credit: the Authors, 2023).

the outside, using technologies that ensure an airtight and impermeable envelope (Klingenberg, 2018), a building designed according to a 'structural' approach may allow – and in some cases encourage – an opening of spaces and interaction with the outside environment. Although this approach involves greater complexity in the design phase, potentially mitigated by contemporary digital tools (Perriccioli et alii, 2021), it simultaneously ensures greater simplicity in use and maintenance, promoting direct interaction between users and architecture.

From this perspective, this article examines the potential of the structural approach in contemporary architecture, highlighting its sustainability features and its ability to promote active interaction between users and the architectural space. In particular, it examines how simple and analogue technical solutions can facilitate this interaction and encourage participatory management of the environment, with significant pedagogical and cultural implications for users. This theory will be supported by a critical analysis of a case study: the Landwirtschaftliches Zentrum (Agricultural Educational Centre) of the Canton St. Gallen in Salez, Switzerland, designed by architect Andy Senn and built in 2019 (Figg. 1, 2).

Towards a pedagogical architecture for user / building interaction | The implementation of advanced environmental control systems, comprising intricate mechanical plants and technologies, can affect users' experience, alienating them from the space they inhabit by making it difficult to understand and regulate. Consequently, recent research has increasingly emphasised the significance of active interaction between users and buildings. In this context, the field of study known as Human-Building Interaction (HBI) has emerged, with the aim of exploring how users can influence the management of indoor environments, thereby promoting active interaction with architecture.

Several studies on human-building interaction (Krukar et alii, 2016; Alavi et alii, 2019) have demonstrated that users who engage actively with buildings have a higher level of satisfaction. Brambilla et alii (2017) argue, through empirical tests, that there is a notable positive psychological impact when environmental parameters are controlled through analogue technologies. Nevertheless, the majority of studies on human-building interaction focus primarily on digital systems (Alavi et alii, 2016a, 2016b), frequently overlooking the potential role of analogue technologies in facilitating such interactions.

Here, an alternative approach that prioritises simple and analogue technical solutions is examined. This approach develops the concept of a building as a 'performative object'. The concept is borrowed from the sociological theories of Bruno Latour (2022), who suggests that the object of a performative definition becomes imperceptible when it is no longer 'performed'. In accordance with this principle, architecture can be considered a performative object: when users do not play an active role in its control and management, leaving it entirely to sensors, actuators and mechanical systems, it remains inaccessible and invisible to them. As a result, users become estranged from the environment in which they live, unable to comprehend it or cultivate a comprehensive understanding of the architectural and environmental factors that shape their spatial experience.

Architecture designed using a structural approach and equipped with analogue control systems is different. As the Landwirtschaftliches Centre exemplifies, this design fosters a performative relationship with its users, encouraging them to interact with the building to manage the indoor environment. In this manner, the building is revealed to the users, simultaneously assuming a cultural and educational role.

Against the backdrop of existing research in the field of architectural sustainability, which tends to concentrate on the fulfilment of specific criteria and thresholds, this paper presents an innovative interpretation which evaluates the pedagogical function of design and its potential to enhance user awareness and responsibility, thereby contributing to a more sustainable future for the built environment. The relationship between users and architecture is examined by recognising the active role of objects, materials and technical solutions (Yaneva, 2012, 2022). These not only stimulate interaction between users and architecture, but are also characterised by their simple construction, facilitated by prefabricated systems. This approach enables a dual function of the project in terms of democratisation (Di Virgilio, 2023). Firstly, it encourages user engagement with the built environment. Secondly, it streamlines the construction process, offering benefits to the construction company (Pone, 2022).

The study is based on multiple visits by the authors to the Landwirtschaftliches Centre during the summer of 2023, as well as an in-depth analysis of a range of relevant publications. These include articles in specialist journals, the catalogue of the Constructive Alps Award, and a monographic volume dedicated to the project. Secondary sources related to the building were also selected through research in the primary online databases[1]. Site visits were of great importance for gaining insight into the morphology, technologies and materials used, as well as for observing the relationship between users and the built environment. Moreover, the authors gathered valuable information through unstructured interviews[2] with students, teachers, the director of the Centre, Markus Hobi, and representatives of the construction company Blumer Lehman. This company provided indispensable details regarding building construction, including the site photographs accompanying this essay.

The literature on the Centre highlights its low-tech approach (Simmel, 2022; Kleeblatt, 2020) and the educational benefits of its almost entirely analogue systems (Sauer, 2019). These qualities have been recognised with the Landwirtschaftliches Centre receiving the Constructive Alps award for sustainable construction in the Alpine environment (Gantenbein, 2020). The significance of this case study lies in the performative approach it adopts, which encourages active user engagement and has the potential to overcome the limitations imposed by purely automated technological solutions. The Centre thus paves the way for new forms of sustainability that directly involve users in managing the built environment. This contributes to the development of a more conscious and responsible architectural and environmental culture, capable of addressing sustainability challenges holistically and inclusively.

The Landwirtschaftliches Zentrum St. Gallen | The project for the Landwirtschaftliches Centre was inspired by the Canton of St. Gallen's recognition of the potential of 'low-tech' architectural solutions. In 2010, in anticipation of the competition for the design of the Centre, the Canton conducted studies on the energy efficiency of historic and contemporary buildings in relation to their degree of digitalisation and automation (Gross, 2020). The goal was to determine whether the growing complexity of environmental control systems in contemporary buildings was resulting in tangible enhancements in energy performance.

The findings of these studies demonstrated that historical buildings lacking automated technologies consume a comparable quantity of energy to that of more technologically sophisticated ones, with a discrepancy of only approximately 5% (Binotto, 2019). Furthermore, buildings with reduced technological complexity necessitate lower maintenance and management costs. Consequently, the cantonal architect, Werner Binotto, adopted a low-tech approach that was economically sustainable, both in terms of management and construction. The necessity for analogue control of environmental parameters thus became a principal design requirement in the competition brief for the Landwirtschaftliches Centre, published in 2011 (Keller, 2012). Ultimately, the impact of system costs constituted a mere 10% of the overall project expenditure (Gantenbein, 2020).

The winning proposal, developed by Swiss architect Andy Senn, is an effective response to the requirements of the brief, offering specific solutions in terms of spatial distribution and technical elements. The building, which hosts classrooms, meeting rooms, offices and a student dormitory, is organised as a long volume, with its longer sides oriented to the north and south. The west wing, which contains the three-storey dormitory, is rotated 90 degrees from the main body (Figg. 4, 5). The teaching wing, which is of the same height as the dormitory, extends over two floors and is characterised by double-height spaces, including the cafeteria and entrance hall.

The entire complex is built almost entirely in timber (Fig. 3), except for the basement and the reinforced concrete foundation piles, which were necessary due to the alluvial nature of the soil in the Rhine Valley. The primary structure is made of spruce sourced from cantonal forests (Merz, 2019), while the weather-exposed elements are made of oak and the interior finishes are made of white fir. The flooring is composed of a blend of clay and casein, which, in conjunction with a hybrid timber-concrete floor slab, offers the requisite thermal inertia for the lightweight timber structure (Figg. 6, 7).

The visible structural elements within the building emphasise a grid of timber frames with a 2.14-metre spacing and 8.5-metre spans (Fig. 8), thus contributing to the spatial character of the interiors. In contrast to the teaching wing, the dormitory wing is constructed using an X-LAM panel structural system, which reflects its different spatial config-

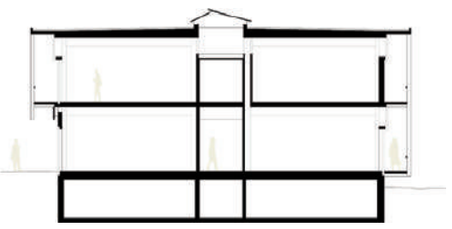


Fig. 11 | Cross-section of the building in the teaching wing (credit: A. Senn, 2024; adapted by the Authors).







urations and functional requirements. The deployment of diverse timber construction techniques, a material renowned for its physical, mechanical and ecological properties (Park Associati and Bollinger + Grohmann, 2021), exemplifies a meticulous approach aligned with the principles of circular economy (Ellen MacArthur Foundation, 2015; Hillebrandt et alii, 2019). In this regard, the Centre is noteworthy for its meticulous design of the joints between structural elements, which facilitate the straightforward disassembly and reassembly of the building at the end of its life cycle (Fig. 9). Additionally, the modular system components have been designed to guarantee substantial savings in management costs (Sposito and Scalisi, 2020).

The sustainable and thoughtful use of timber is also reflected in the design choices for climate control. The north and south façades feature wide balconies (Fig. 10), which strongly define the morphology of the building and act as both external circulation and passive shading systems. In summer, the balconies and wooden sliding shutters provide adequate protection from direct solar radiation, reducing the risk of overheating within the interior spaces. At the same time, these linear spaces serve as outdoor communal areas where students and teachers can socialise during breaks (Fig. 11).

The responsibility for regulating the climate within the classrooms and other shared spaces is delegated to the users. The building is devoid of automated air exchange systems. However, the presence of large glass doors opening onto the balconies facilitates airflow in warm weather, establishing a direct connection between the indoor and outdoor spaces. Natural ventilation assists in regulating the indoor climate, while also encouraging social interaction and the use of outdoor spaces by the building's occupants.

Another helpful solution for climate control is the continuous ribbon window along the façade, which is slightly offset outwards from the perimeter wall. The offset creates a gap that can be opened manually via flaps, ensuring continuous micro-ventilation even in winter, when the harsh Alpine climate makes it impractical to open the glass doors fully (Fig. 12). A second row of ribbon windows completes the cross-ventilation system, which is operated by a mechanical system of cranks and steel rods. These windows open onto a ventilation tunnel that runs the length of the building and exits above the extensive green roof, allowing the release of stale air and passive cooling (Fig. 13). The ventilation tunnel, which acts as the backbone of the building, divides the complex into two portions and is connected to all internal spaces, including the basement, where a chimney effect further enhances air exchange.

Fig. 12 | A photograph of the exterior balcony taken from below. The façade features two metal grilles: the first, positioned 22 cm away from the façade at the bottom, houses a user-controllable flap designed to promote micro-ventilation of the interior spaces; the second grille accommodates the rainwater drainage system and the ventilation layer of the façade (credit: the Authors, 2023).

Fig. 13 | The ventilation tunnel that runs along the entire building length. The windows are controlled analogically by users via cranks (credit: the Authors, 2023).

Fig. 14 | An interior photograph of a classroom, where ribbon windows integrated into the structure can be mechanically opened by users through a system of steel cranks and rods (credit: the Authors, 2023).

The technological solutions adopted in the Landwirtschaftliches Centre enable the interactions between the building and its users to vary in response to seasonal changes, thereby reflecting the adaptability of the analogue system. On hot summer days, the balconies and roof overhangs serve as fixed shading elements, while the wooden shutters can be closed to provide additional solar control. At each class change, students and teachers open the large glass doors and use the crank system to activate cross-ventilation through the ribbon windows (Fig. 14). This enhances the comfort of the indoor environment and facilitates social interaction in the shared outdoor spaces. During the winter months, when external temperatures preclude the use of glass doors, the small flaps at the top and the ribbon windows facing the ventilation tunnel facilitate micro cross-ventilation, thereby ensuring adequate air exchange (Fig. 15).

Although based on simple and analogue technical solutions, this system exemplifies the potential for a structural climate control design to be highly efficient when integrated into the architectural design from the earliest stages. Although an analogue control system may seem less appealing and comfortable than an automated one, user experience suggests a general sense of satisfaction due to greater control and awareness of environmental parameters. This experiential dimension corroborates the findings of studies in Human-Building Interaction, which demonstrate that direct involvement of users in the management of an indoor environment can significantly enhance quality of life.

Other low-tech architecture for the management of environmental comfort | In the Landwirtschaftliches Centre, environmental comfort becomes a goal sought by the user and achieved through the design of architecture (Nicol and Roaf, 2017). When comfort is no longer a requisite provided solely by a building's systems (Nicol, 2011), the industrial relationship that has characterised much of contemporary architectural production since the early days of mechanisation is reversed. The user is no longer simply a consumer of services, but instead regains mastery over the tool (Illich, 2013): architecture itself. This shift in perspective is becoming increasingly prevalent among architects.

The authors' research on contemporary architectural production in the Alpine region and timber construction systems has identified several case studies comparable to the Landwirtschaftliches Centre in Salez. Two projects in the South of Germany stand out as particularly noteworthy.

The first is the Haus der Berge, the headquarters of the German Alpine Club in Munich. It was designed by Element A Architekten and completed in 2021. The project involved the renovation of a concrete building originally constructed in the 1970s. The intervention preserved the four-storey concrete structure, to which two additional solid timber levels were added. As with the Landwirtschaftliches Centre, the long sides of the building have timber balconies to control solar gain in the warmer seasons.

In the German Haus der Berge, indoor air control is achieved through a solution that does not rely on a mechanical ventilation system. Natural ventilation is provided by a series of ducts integrated in a particular 'bench' that encircles the interior spaces. Outside air enters the bench through vents in the façade, is heated as it passes through a convector, and then rises into the room through openings at the top of the bench. Meanwhile, stale air is extracted at the ceiling level and expelled through the roof.

This solution, which relies on relatively simple technology, permits uninterrupted air flow within the building without requiring the use of automated ventilation or the opening of windows, particularly during the winter months (Zettel, 2024). In this instance, user involvement is confined to the decision as to whether the convector should be activated to regulate the temperature of the incoming air. In contrast to the Landwirtschaftliches Centre, the interaction between the user and the building is minimised, thereby reducing the potential educational function of the architecture.

Another interesting architecture is the Grünes Zentrum in Immenstadt im Allgäu, completed in 2016 and designed by the German firm f64 Architekten. The building, which serves as the headquarters for the Allgäu Holzcluster, is built entirely from locally sourced timber and is organised around a central service and distribution core adjacent to a full-height

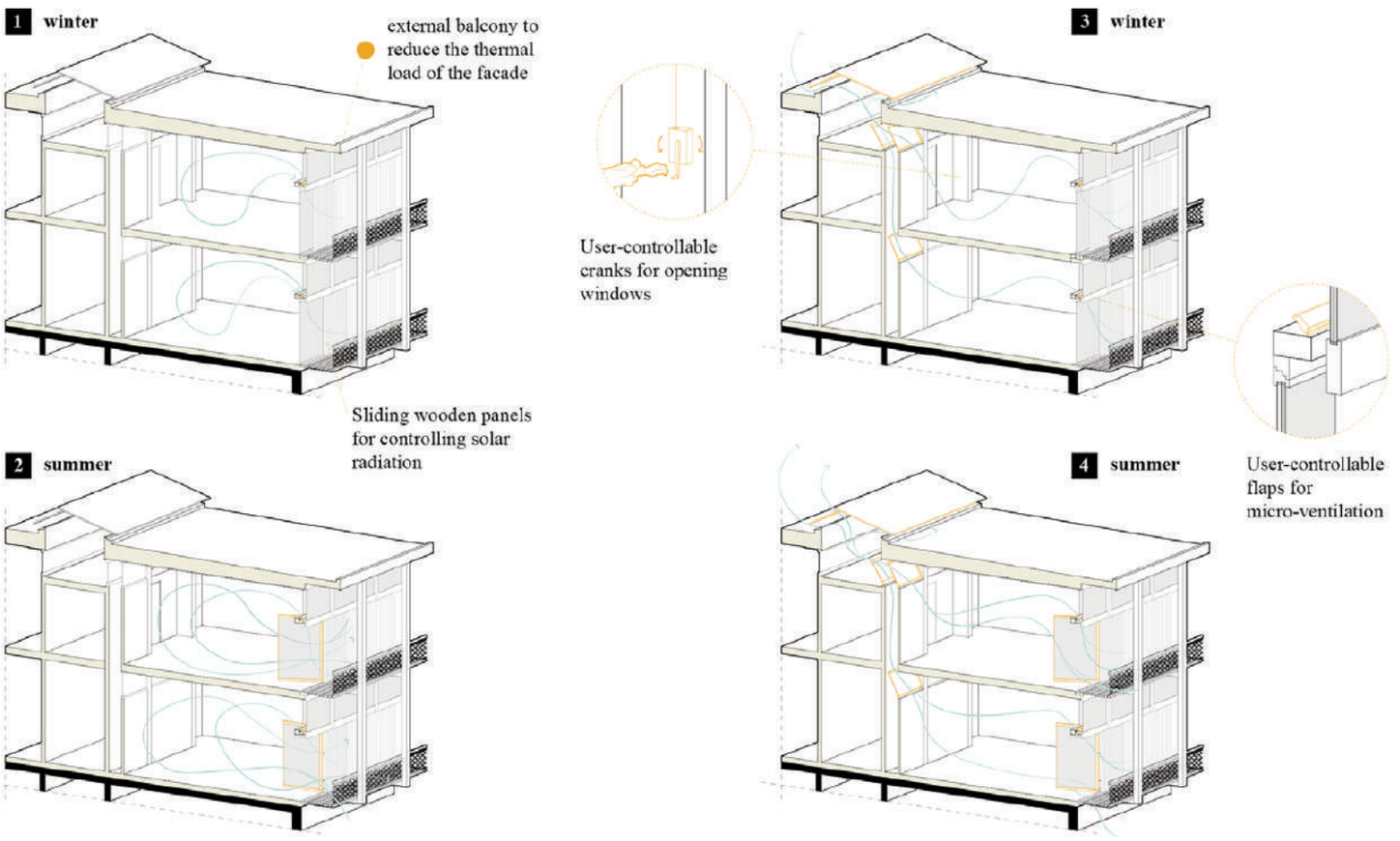


Fig. 15 | The axonometric drawings illustrate four classroom ventilation scenarios: 1) The user-controllable flap is opened to promote micro-ventilation, particularly in winter when external conditions are harsh; 2) During the summer, the windows can be opened to enhance ventilation; 3) To improve cross-ventilation in winter, users can open both the flap and the internal ribbon windows that connect directly to the ventilation tunnel (this configuration is ideal for cooler summer nights to regulate temperature and air quality in the classrooms for the following day); 4) During breaks, especially in summer, this configuration resembles scenario 3, but with the windows fully opened, providing optimal ventilation for the classrooms (credit: the Authors, 2023).

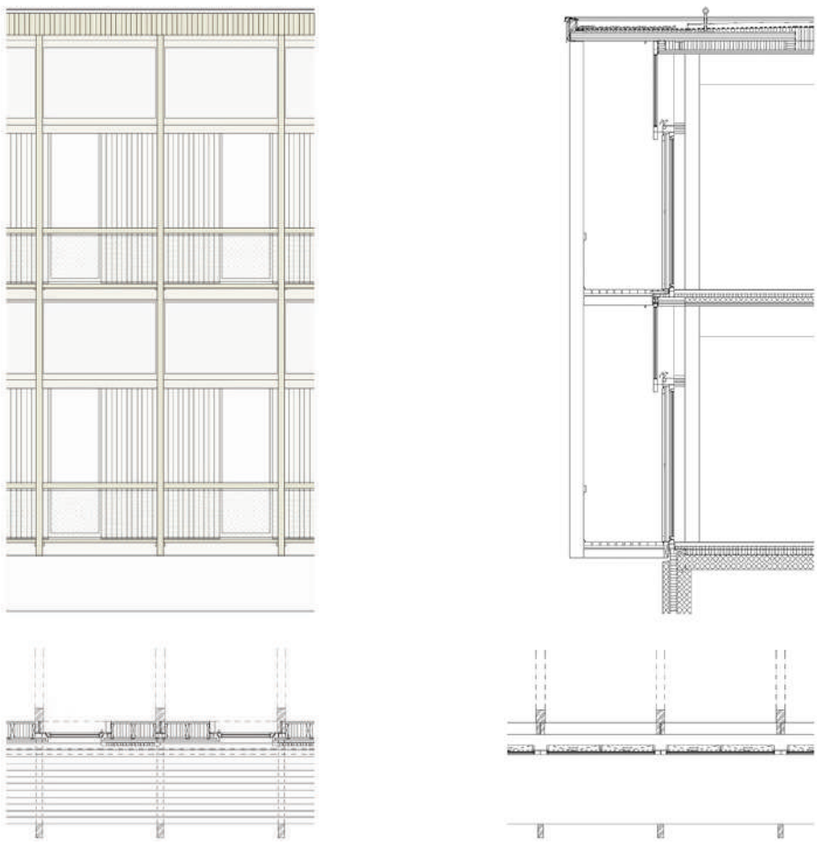


Fig. 16 | Construction details of the exterior balcony plants, elevation and section (source: detail.de, 2023).

atrium. The atrium features a monolithic rammed earth wall that acts both as a moisture regulator and thermal mass.

The most notable feature of the project is the indoor air quality control system. In contrast to the Landwirtschaftliches Centre in Salez, the Grünes Zentrum employs a dual system comprising two distinct ventilation configurations, each designed for spaces with different levels of privacy. In public areas, such as classrooms and meeting rooms, an automated mechanical ventilation system with heat recovery is used. In private areas, such as offices, the responsibility for air quality control is delegated to the users, with the additional support of sensors that indicate when air exchange is required and when windows should be opened.

The differentiation of air treatment systems according to the level of privacy required in specific spaces, as adopted in the Grünes Zentrum, is of considerable relevance, as it highlights a critical issue in the design of the Salez Landwirtschaftliches Centre: achieving optimal comfort in spaces occupied by a large number of people, each with different preferences and needs.

Conclusions | The Landwirtschaftliches Centre is an example of architectural design that employs a structural approach with the objective of reducing energy consumption while ensuring the maintenance of optimal internal environmental parameters. This approach enables direct and simple interactions between users and the built environment, making the building performative and an educational tool that actively engages its occupants (DeKay and Tornieri, 2023). In this manner, the project achieves a high level of energy efficiency and serves as a formative experience for its users, enhancing the pedagogical role of architecture.

Daily use of the Centre by students and teachers enables the formation of a tangible awareness of the impact of external climatic conditions on the indoor environment. This type of awareness is less probable in fully automated and self-regulating buildings. Direct interaction with the built environment can encourage critical thinking and a more profound comprehension of architectural principles and the surrounding natural context. As Marko Sauer (2019) posits, this design approach has the benefit of fostering a mutual responsibility between the user and the building, extending beyond mere aesthetic and formal considerations. In low-tech architecture, users are more actively involved, overcoming the sense of estrangement frequently associated with high-tech buildings. In this context, the management of the Landwirtschaftliches Centre can be regarded as a pedagogical tool.

The Landwirtschaftliches Centre represents an example of alternative sustainable architecture, diverging from the highly energy-intensive regenerative models that rely exclusively on adhering to prescriptive standards (Rocca, 2010). In this sense, the project represents a significant contribution to the international scientific community, suggesting a potential paradigm shift in sustainable architecture, where comfort and low energy consumption are not mutually exclusive, as Senn (2021) asserts. This shift is contingent upon the formation of collaborative clusters between designers, builders and users. The role of the client in shaping the entire operational process should not be underestimated, as Sposito and Scalisi (2020) have observed. In this instance, the preliminary studies carried out by the Canton of St. Gallen on low-tech buildings (Binotto, 2019) constitute a fundamental aspect of the project. In this way, the Landwirtschaftliches Centre fosters collaboration between different stakeholders and opens up new research opportunities for both architectural theory and practice. In this conceptual framework, the designer is responsible for designing all technical elements to simplify the overall building process. This simplification, while ensuring greater control over project execution, also encourages the use of design tools that are naturally aligned with computational design, as Parvin (2013) observed.

The Landwirtschaftliches Centre project has significant implications from a socio-economic and cultural perspective. It suggests that even in a contemporary context characterised by the prevalence of high-tech architectures, there is scope for an approach that minimises technological complexity in favour of simpler, analogue solutions, without compromising effectiveness. Such an approach could be applied in other contexts, particularly in regions with limited resources or where the relationship between comfort and sustainability needs to be re-examined. Therefore, the considerations presented here are both relevant and timely for architectural practice and scientific debate.

Despite its many virtues, the proposed design approach has some limitations. It requires the continuous active involvement of the user, which may not be compatible with all types of buildings or social contexts. Moreover, the freedom to regulate environmental conditions in a space may potentially give rise to conflict, given that each user has different preferences and needs, and comfort is inherently subjective (Nicol, 2011). This issue could be addressed, as exemplified by the Grünes Zentrum, by differentiating the degree of user interaction based on the level of privacy of the spaces. Nevertheless, continuous participation represents the key pedagogical aspect of the project, encouraging users to engage with each other and with the building and its surroundings.

The Landwirtschaftliches Centre makes a valuable contribution to the ongoing debate on the concept of comfort, with a particular focus on the active relationship between users and the built environment. As Barber (2019) observes, the design of 'discomfort' could become a crucial area of research for designers and scholars, prompting reflection on architectural solutions that can encourage more sustainable behaviours through active user involvement. This direction provides further insights for new academic studies and contributes to the discourse on sustainability in architecture, moving away from purely prescriptive and quantitative approaches.

Notes

1) The 'Avery Index to Architectural Periodicals' for international publications and 'e-periodica' for Swiss publications were used, as well as search engines such as 'Google Scholar' for scientific articles and 'BauNetz' for journalistic articles on the projects of the Landwirtschaftliches Centre, the Grünes Zentrum and the Haus der Berge.

2) The interviews were conducted informally within the Institute. The interviewees were asked questions about their level of well-being and comfort with the indoor environment. They were asked to compare their experience in the Institute with other buildings with which they were familiar. Finally, the interviewees were asked to describe their typical day in the building and their interactions with the analogue environmental control systems.

References

Alavi, H. S., Churchill, E. F., Wiberg, M., Lalanne, D., Dalsgaard, P., Fatah gen Schieck, A. and Rogers, Y. (2019), "Introduction to Human-Building Interaction (HBI) – Interfacing HCI with Architecture and Urban Design", in *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, vol. 26, issue 2, article 6, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.1145/3309714 [Accessed 20 September 2024].

Alavi, H. S., Churchill, E. F., Kirk, D., Nembrini, J. and Lalanne, D. (2016a), "Deconstructing human-building interaction", in *Interactions*, vol. 23, issue 6, pp. 60-62. [Online] Available at: doi.org/10.1145/2991897 [Accessed 20 September 2024].

Alavi, H. S., Lalanne, D., Nembrini, J., Churchill, E. F., Kirk, D. and Moncur, W. (2016b), "Future of Human-Building Interaction", in Kaye, J. and Druin, A. (eds), *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '16)*, *May 7-12, 2016, San Jose*, Association for Computing Machinery, New York, pp. 3408-3414. [Online] Available at: doi.org/10.1145/2851581.2856502 [Accessed 20 September 2024].

Banham, R. (1984), *The Architecture of the Well-tempered Environment*, The University of Chicago Press, Chicago.

Barber, D. A. (2020), *Modern Architecture and Climate – Design before Air Conditioning*, Princeton University Press, Princeton.

Barber, D. A. (2019), "After Comfort", in *Log*, issue 47, pp. 45-50. [Online] Available at: doi.org/10.17613/a32kmg16 [Accessed 20 September 2024].

Binotto, W. (2019), "Vorwort", in Baudepartement des Kantons St. Gallen (ed.), *Landwirtschaftliches Zentrum St. Gallen in Salez*, Baudepartement des Kantons St. Gallen, Wittenbach, p. 4.

Brambilla, A., Alavi, H. S., Verma, H., Lalanne, D., Jusselme, T. and Andersen, M. (2017), "Our Inherent Desire for Control – A Case Study of Automation's Impact on the Perception of Comfort", in *Energy Procedia*, vol. 122, pp. 925-930. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.414 [Accessed 20 September 2024].

Calder, B. (2022), *Architettura ed energia – Dalla preistoria all'emergenza climatica*, Einaudi, Torino.

DeKay, M. and Tornieri, S. (2023), "Schemi per la progettazione esperenziale – Combinare pensiero modulare e teoria integrale | Experiential design schemas – Combining modular thinking with integral theory", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 40-49. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1422023 [Accessed 20 September 2024].

Di Virgilio, N. (2023), "Fare molto con poco – Un'architettura modulare, a partire da Walter Segal | Making a lot with little – Modular architecture, starting with Walter Segal", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 164-173. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14132023 [Accessed 20 September 2023].

Ellen MacArthur Foundation (2015), *Growth Within – A Circular Economy Vision for a Competitive Europe*. [Online] Available at: ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Growth-Within_July15.pdf [Accessed 20 September 2024].

European Environment Agency (2022), *Linking circular economy and climate change mitigation in building renovation*, Publications Office of the European Union, Luxembourg. [Online] Available at: eea.europa.eu/publications/building-renovation-where-circular-economy/building-renovation-where-circular-economy/pdfStatic [Accessed 20 September 2024].

Gantenbein, K. (2020), "Il peso della montagna, la passione per il legno", in *Hochparterre*, novembre 2020, pp. 4-8. [Online] Available at: constructivealps.net/wp-content/uploads/2021/12/Hochparterre_it_ConstructiveAlps20.pdf [Accessed 20 September 2024].

Giedion, S. (1967), *L'era della meccanizzazione*, Feltrinelli, Milano. [Online] Available at: archive.org/details/1948.GiedionSigfried18881968.LeraDellaMeccanizzazioneMilano1967MechanizationTakesCommandCONSIGLIATO [Accessed 20 September 2024].

Gross, C. (2020), "Freie Luft – Landwirtschaftliches Zentrum Salez von Andy Senn", in *Werk, Bauen + Wohnen*, vol. 4, pp. 58-63. [Online] Available at: blumer-lehmann.com/dam/jcr:e9d131d7-dc47-43ef-8b52-ae4e4f42adf4/2020-04-werk-bauen-wohnen-landwirtschaftliches-zentrum-salez.pdf [Accessed 20 September 2024].

Hillebrandt, A., Riegler-Floors, P., Rosen, A. and Seggewies, J.-K. (2019), *Manual of Recycling – Buildings as sources of materials*, Detail, Munich.

Illich, I. (2013), *La convivialità – Una proposta libertaria per una politica dei limiti allo sviluppo*, Red Edizioni, Como.

Keller, T. K. (2012), "Bauen in der Ebene", in *Werk, Bauen + Wohnen*, vol. 4, pp. 46-48. [Online] Available at: doi.org/10.5169/seals-349088 [Accessed 20 September 2024].

Kleeblatt, F. (2020), "Lowtech-Musterhaus", in *Baumeister*, December 2020, pp. 20-29.

Klingenberg, K. (2018), "Passive House (Passivhaus)", in Meyers, R. (ed.), *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, Springer, New York, pp. 1-24. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-1-4939-2493-6_351-3 [Accessed 9 October 2024].

Krukar, J., Dalton, R. C. and Hölscher, C. (2016), "Applying HCI Methods and Concepts to Architectural Design (Or Why Architects Could Use HCI Even If They Don't Know It)", in Dalton, N. S., Schnädelbach, H., Wiberg, M. and Varoudis, T. (eds), *Architecture and Interaction – Human-Computer Interaction in Space and Place*, Springer, Cham, pp. 17-35. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-30028-3_2 [Accessed 20 September 2024].

Latour, B. (2022), *Riassemblare il sociale – Actor-Network Theory*, Meltemi, Milano.

Le Corbusier (1937), *Quand les Cathédrales étaient Blanches – Voyage au Pays des Timides*, Plon, Paris.

Le Corbusier (1930), *Précisions – Sur un état présent de l'architecture et de l'urbanisme*, G. Crès et Cie, Paris.

Merz, K. (2019), "Konstruktion in Holz", in Baudepartement des Kantons St. Gallen (ed.), *Landwirtschaftliches Zentrum St. Gallen in Salez*, Ostschweiz Druck AG, Wittenbach, pp. 30-31.

Nicol, J. F. (2011), "Adaptive comfort", in *Building Research & Information*, vol. 39, issue 2, pp. 105-107. [Online] Available at: doi.org/10.1080/09613218.2011.558690 [Accessed 9 October 2024].

Nicol, J. F. and Roaf, S. (2017), "Rethinking thermal comfort", in *Building Research & Information*, vol. 45, issue 7, pp. 711-716. [Online] Available at: doi.org/10.1080/09613218.2017.1301698 [Accessed 6 October 2024].

Park Associati and Bollinger + Grohmann (2021), *INLEGNO – Cambiare prospettiva per costruire il futuro*, LetteraVentidue, Siracusa.

Parvin, A. (2013), "Architecture for the people by the people", in *ted.com*, February 2013. [Online] Available at: ted.com/talks/alastair_parvin_architecture_for_the_people_by_the_people [Accessed 20 September 2024].

Perriccioli, M., Ruggiero, R. and Salka, M. (2021), "Ecologia e tecnologie digitali – L'architettura alla piccola scala come luogo di connessioni | Ecology and digital technologies – Small-scale architecture as a place of connections", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 36-45. [Online] Available at: agathon.it/agathon/article/view/263 [Accessed 20 September 2024].

Pone, S. (2022), "Maker – Il ritorno dei costruttori – Una possibile transizione digitale per l'Architettura | Maker – The return of the builders – A possible digital transition for Architecture", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 14-23. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1212022 [Accessed 20 September 2024].

Rocca, A. (2010), *Architettura – Low cost / Low Tech – Invenzioni e strategie di un'avanguardia a bassa risoluzione*, Sassi Editore, Schio. [Online] Available at: re.public.polimi.it/handle/11311/633440 [Accessed 20 September 2024].

Sauer, M. (2019), "Methoden der Klimaregulierung", in Baudepartement des Kantons St. Gallen (ed.), *Landwirtschaftliches Zentrum St. Gallen in Salez*, Ostschweiz Druck AG, Wittenbach, pp. 32-35.

Senn, A. (2021), "Landwirtschaftliches Zentrum St. Gallen / St Gallen Agricultural Centre", in *Detail*, June 2021, pp. 106-113.

Simmel, C. (2022), "Landwirtschaftliches Zentrum St. Gallen, Salez – Ein Laubengang als Fassaden- und Sonnenschutz", in *Zuschnitt*, September 2022, vol. 86, p. 11. [Online] Available at: proholz.at/fileadmin/flippingbooks/Zuschnitt86/zuschnitt86.pdf [Accessed 20 September 2024].

Sposito, C. and Scalisi, F. (2020), "Ambiente costruito e sostenibilità – Materiali riciclati e Design for Disassembly tra ricerca e buone pratiche | Built environment and sustainability – Recycled materials and Design for Disassembly between research and good practices", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 8, pp. 106-117. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/8102020 [Accessed 20 September 2024].

Yaneva, A. (2022), *Latour for Architects*, Routledge, London.

Yaneva, A. (2012), *Mapping Controversies in Architecture*, Routledge, London.

Zettel, B. (2024), "Haus der Berge in München / Haus der Berge in Munich", in *Detail*, January/February 2024, pp. 64-71.

ARCHITECTURE
Essays & Viewpoint

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 130-143
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/16112024

Article Info

Received 12 September 2024
Revised 09 October 2024
Accepted 10 October 2024
Published 30 December 2024

PATRIMONIO ARCHITETTONICO URBANO E CAMBIAMENTO CLIMATICO
Un'occasione per affrontarne la complessità

URBAN ARCHITECTURAL HERITAGE AND CLIMATE CHANGE
An opportunity to address its complexity

Alessandra Biasi, Veronica Riavis, Isabella Zamboni, Alberto Cervesato

Abstract

Il contributo si riferisce a una ricerca in corso presso l'Università degli Studi di Udine sulla sostenibilità ambientale e sulla valutazione del rischio per il Patrimonio costruito, sollecitato oggi dalle dinamiche del cambiamento climatico. Lo studio si sviluppa, nell'ambito del progetto iNEST Young Researcher's Call, a partire da una ricerca sulle aree rurali montane del Nord-Est italiano e pone a confronto diverse discipline per restituire una conoscenza critica che mira alla salvaguardia dell'ambiente costruito e a incrementarne, se possibile, gli strumenti di gestione in chiave olistica, indagando gli impatti del clima sul tipo dei Daltz, particolarmente rappresentativi del borgo di Andreis (Pordenone). La ricerca si fonda su mirate indagini analitiche, scientificamente e metodologicamente comprovate, per le quali ci si avvale di consulenze specialistiche, con focus sul materiale legno.

This paper discusses ongoing research at the University of Udine on environmental sustainability and risk assessment for built Heritage, which is increasingly affected by climate change. The study is part of the iNEST Young Researcher's Call project, focusing on the rural mountainous areas of northeastern Italy as a case study. It brings together various disciplines to develop critical knowledge aimed at safeguarding built environments and improving holistic management tools. Specifically, it investigates the impact of climate on Daltz architecture, particularly in the village of Andreis (Pordenone, Italy). The research is based on targeted analytical investigations using specialised expertise, with a focus on wooden materials.

Keywords

sostenibilità, complessità, ambiente costruito, multidisciplinarietà, Andreis

sustainability, complexity, built environment, multidisciplinary approach, Andreis

Alessandra Biasi, Architect, is an Associate Professor at the Polytechnic Department of Engineering and Architecture of the University of Udine (Italy). Her research primarily focuses on protecting, revitalising, and managing built Heritage in the context of current environmental issues. Mob. +39 348/33.44.556 | E-mail: alessandra.biasi@uniud.it

Veronica Riavis, Architect and PhD, is a Researcher in Drawing at the Polytechnic Department of Engineering and Architecture, University of Udine (Italy). Her main research areas involve the survey and representation of architecture and cultural Heritage. Mob. +39 349/69.83.712 | E-mail: veronica.riavis@uniud.it

Isabella Zamboni, Archaeologist, Junior Architect, and PhD, is a Researcher in Restoration of the Architecture at the Polytechnic Department of Engineering and Architecture, University of Udine (Italy). Her research primarily focuses on the history of construction techniques, conservation, and multirisk prevention for existing buildings. Mob. +39 349/74.60.921 | E-mail: isabella.zamboni@uniud.it

Alberto Cervesato, Architect and PhD, is a Research Fellow and Contract Professor at the Polytechnic Department of Engineering and Architecture, University of Udine (Italy). His research primarily focuses on enhancing architectural and urban Heritage, a topic also studied at the University of Morón in Buenos Aires (Argentina). Mob. +39 345/97.31.959 | E-mail: alberto.cervesato@uniud.it

Nell'ambito del progetto iNEST[1] Young Researcher's Call, il Gruppo di Ricerca dell'Università di Udine ha individuato nel caso di studio inerente al borgo di Andreis (Pordenone), sito nelle aree rurali montane del Nord-Est italiano (Fig. 1), l'occasione di un confronto interdisciplinare (Rilievo, Restauro, Architettura del Paesaggio) volto a restituire una conoscenza critica oltreché articolata attorno ai temi della salvaguardia e gestione dell'ambiente costruito (Climate Change and Cultural Heritage Working Group, 2019; Potts, 2021). Ciò nell'ottica di approcciare il nodo complesso della sostenibilità ambientale e valutazione del rischio di perdita del Patrimonio costruito a fronte delle anomalie climatiche verificatesi negli ultimi anni (UNDRR, 2022; IPCC, 2023). In questa prospettiva si è inteso approfondire l'iter del progetto di restauro, strettamente interfacciato ai temi del paesaggio, attraverso mirate indagini scientifiche – per le quali ci si avvale della consulenza specialistica del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale del Politecnico di Milano – finalizzate a monitorare le oscillazioni / anomalie climatiche e vagliarne l'incidenza sul Patrimonio architettonico del borgo di Andreis.

L'obiettivo è sondarne su base scientifica la vulnerabilità, abbozzando una strategia previsionale su cui poggiare l'intervento; ciò a intercettare, va sottolineato, un tema a tutt'oggi aperto nello scenario della ricerca inerente alla valutazione del rischio a fronte dei cambiamenti climatici rispetto al quale si è inteso, nei limiti del caso in esame, offrire un primo contributo. Quanto a quest'ultimo, l'Accordo Istituzionale di Collaborazione per Attività di Ricerca, siglato con l'Amministrazione locale nel 2023, assicura la convergenza degli indirizzi analitici intrapresi in direzione della 'Conservazione preventiva programmata', entro cui si orizzonta l'iter progettuale, profilando una valenza metodologica del lavoro di ricerca estendibile a livello territoriale. Questo non senza la consapevolezza che il tema va inquadrato in uno spettro più ampio di valutazione multirischio in corso di approfondimento in un Task[2] parallelo della ricerca iNEST.

Nel merito del progetto di seguito presentato, stante la centralità assegnata alla conoscenza degli aspetti costruttivi e materici con particolare attenzione alla lettura degli impatti delle variazioni del clima (Sesana et alii, 2021), ci si è soffermati sull'analisi degli elementi lignei che costituiscono, caratterizzandolo, il tipo dei Daltz presenti nel borgo di Andreis, maggiormente sollecitato dalle variazioni ambientali (Figg. 2, 3). Il legno, materiale che connota l'architettura e insieme definisce la peculiare identità insediativa del borgo, diviene una costante progettuale che intercetta e interfaccia i percorsi di indagine delle diverse discipline. In primis il Rilievo che, dall'integrazione di tecniche di rilievo diretto e fotogrammetrico (aereo e terrestre) confrontate con la documentazione analogica d'archivio, ricostruisce la morfologia tridimensionale delle architetture dei Daltz a supporto del monitoraggio dello stato di conservazione dei materiali e insieme guida alla campionatura degli elementi lignei oggetto delle indagini di laboratorio.

Ne conseguono esiti e riflessioni che si intrecciano via via con la lettura allargata delle peculiarità insediative del borgo, indagate nell'interscambio tra le scale architettonica e urbana. In questo scenario gli esperti di Architettura del Paesaggio e del Progetto, unitamente all'interpretazione delle valenze culturali del contesto ambientale, sono chiamati a monitorarne le fragilità e, in un'ottica interdisciplinare e multirischio, a concorrere alla promozione di mirate strategie di 'Conservazione programmata' del territorio, oggi sensibilmente sollecitato dai cambiamenti climatici (vedi i rischi meteo-idrogeologico, incendio e sismico).

Si comprende così come elementi altimetrici, orientamento e irraggiamento solare guidino la comprensione – anche in ottica progettuale – della conformazione delle architetture tradizionali, strettamente legate al rapporto osmotico con l'ambiente. Una lettura questa dirimente al fine di comprendere non solo le caratteristiche del borgo, ma anche le sue relazioni e comportamento rispetto ai fattori ambientali. Ciò, in vista di un approccio operativo sostenibile che dia centralità alla conservazione di struttura e materia dell'architettura che oggi definisce l'identità del contesto, nell'ottica di un confronto attivo, partecipato e concreto sui temi e problematiche legate alla mitigazione e adattamento dei cambiamenti climatici (MASE, 2023), obiettivo prioritario del progetto di ricerca.

L'obiettivo è fornire un contributo metodologico alla ricerca degli impatti del cambiamento climatico sul Patrimonio costruito attraverso indagini analitiche mirate in grado di abbozzare strategie previsionali che, vincolate in linea generale ai tempi lunghi della ricerca, restano validi laddove si prendano in esame gli eventi estremi (vedi i fenomeni meteo-idro) monitorabili efficacemente entro i tempi della programmazione in atto. Avendo focalizzato la ricerca sul legno, l'attività diagnostica in corso potrà confermare e quantificare l'incidenza della crisi climatica sul materiale costitutivo dei Daltz e in questo scenario guidare la ricerca e sperimentazione, in programma, di prodotti curativi e protettivi. In questo quadro si stima che i risultati attesi possano essere di interesse per la comunità scientifica.

Conservazione del Patrimonio architettonico urbano e cambiamento climatico: stato dell'arte e orientamenti attuali | Nonostante lo sviluppo di differenti percorsi multidisciplinari di ricerca sulla valutazione, riduzione e gestione della complessità degli impatti del cambiamento climatico sul Patrimonio culturale[3] (Sesana et alii, 2021), è stata recentemente osservata la scarsità di integrazione di misure specifiche nelle politiche europee sul clima (European Commission, 2022). Ciò è quantomeno significativo se si pensa che il tema è discusso nei tavoli internazionali da almeno due decenni, tanto da aver consolidato l'idea che sia necessario, in primo luogo, combinare azioni di mitigazione e adattamento attraverso strategie dedicate alla conservazione del Patrimonio culturale e alla salvaguardia dei suoi valori (Climate Change and Cultural Heritage Working Group, 2019; Potts, 2021) e, in seconda istanza, avvalersi di approcci multirischio (UN, 2015; UNDRR, 2022). Sul quadro normativo italiano, ritenuto incoraggiante dagli esperti, si intende in questo contesto solo richiamare i due strumenti chiave per l'adattamento ai cambiamenti climatici: la Strategia Nazionale (MATTM, 2015) e il Piano Nazionale (MASE, 2023), con riferimenti espliciti alle manifestazioni di degrado e danno dei Beni culturali.

Lo stato dell'arte offerto dalle ricerche nel campo delle scienze dure sull'incidenza dei parametri climatici sui materiali dell'architettura è supportato da un crescente numero di sperimentazioni che consente anzitutto di evidenziare come siano ancora limitate le applicazioni a edifici di interesse culturale e rari i casi studio italiani (Choidis et alii, 2021; Libralato et alii, 2021; Brimblecombe and Richards 2022; Richards and Brimblecombe, 2022; Muradov et alii, 2022; Bonazza and Sardella, 2023; Bretti and Ceseri, 2023; Hernández-Montes et alii, 2023). La maggior parte degli scenari climatici elaborati per il Patrimonio culturale, poi, si riferiscono solamente ad alcuni materiali e risultano ancora limitatamente considerati i sistemi articolati (come centri storici e siti archeologici), in virtù della complessità di azioni sinergiche alle quali sono soggetti.

L'approccio che appare condiviso vede la lotta alla crisi climatica come un percorso da svilupparsi dalla scala regionale a quella locale e da concretizzarsi attraverso mirati strumenti di governance. Questi devono essere supportati da metodologie che considerano i caratteri ambientali del contesto e i dati climatici frutto di opportune procedure di downscaling da fonti globali. Inoltre è dimostrata l'efficacia di interconnessione di questi con le analisi diagnostiche sui materiali allo scopo di orientare le strategie progettuali più idonee.

Per quanto concerne lo sviluppo di strumenti di governo dell'adattamento al cambiamento climatico, la tendenza degli studi più recenti è certamente quella di sviluppare, a partire dal confronto di casi studio europei, linee guida utili per la conoscenza, la gestione dell'emergenza e lo stanziamento delle risorse destinate al controllo e alla prevenzione del Patrimonio culturale[4]. L'intervento sui manufatti è esplicitamente vincolato all'elaborazione di Piani di conservazione (sulla cui concreta messa a punto molto ancora resta da fare) oppure alla diffusione di buone pratiche di manutenzione e conservazione dei caratteri identitari del Patrimonio diffuso ai fini incentivare il rispetto della sostanza antica e di limitare la prassi dilagante di sostituzioni non necessarie (Curtis and Snow, 2017).

La disciplina italiana del Restauro sta riflettendo, in un contesto dinamico e fatto di metodologie non ancora consolidate, su come gestire attraverso il progetto la complessità del mutamento di cause ed effetti del clima sui materiali dell'architettura storica e sul loro contesto in un rapporto di mutuo scambio e condizionamento (Bonazza, Gaddi and Sardella, 2023; Fiorani et alii, 2022, 2023; Fiorani, 2023). Ci si trova a dover agire su più fronti per ridurre le vulnerabilità e per contribuire il più possibile anche alle sfide ecologiche attraverso il miglioramento dell'efficienza energetica (con non poche implicazioni sulla conservazione del Patrimonio culturale)[5] e la riduzione delle emissioni di gas climalteranti causate da cantiere e costruito (UN, 2015).

Volendo trarre le fila degli specifici orientamenti della ricerca è necessario anzitutto tracciare un punto fermo: vagliare analiticamente la reale incidenza dei cambiamenti climatici sul Patrimonio costruito rappresenta il primo passo di una ricerca scientifica che si ponga l'obiettivo di valutare la resilienza dell'architettura storica ai rischi naturali e ambientali per poter poi agire sia sulla riduzione delle vulnerabilità attraverso pratiche di manutenzione sia sul minimizzare i possibili danni, eventuali perdite e/o conseguenti interventi di restauro. Il processo metodologico, a carattere transdiscipli-







Fig. 1 | Orthophoto of the historical centre of Andreis, Province of Pordenone, Italy (credit: Google Earth, 2024).
Figg. 2, 3 | Examples of Daltz (credits: I. Zamboni, 2023).

nare essendo necessario far interagire parametri di natura diversa, deve avvalersi di approcci qualitativi e quantitativi (UNDRR, 2022).

La carenza di studi specifici volti a verificare e quantificare l'esistenza e l'incidenza degli impatti del cambiamento climatico sul Patrimonio costruito a scala locale sono da ritenersi una delle principali cause della scarsa diffusione di azioni concrete a contrasto di tali fenomeni. Certamente la complessità dell'architettura storica, ampiamente stratificata dalle trasformazioni nel tempo, incide anch'essa sulla vulnerabilità e non aiuta ad accelerare i processi di conoscenza che richiedono molta cautela, lunghi tempi di monitoraggio, finanziamenti cospicui per la strumentazione sul campo e per le analisi di laboratorio su singoli materiali e sistemi costruttivi.

La manifestazione della variabilità dei fattori ambientali può diversificarsi molto di luogo in luogo e le serie storiche disponibili in letteratura non sono sufficienti a definire con l'opportuna accuratezza gli scenari di rischio futuri. Ne consegue che i risultati ultimi possono essere trasferibili solo localmente, differentemente dalla metodologia in via di consolidamento, che andrebbe ulteriormente veicolata e riconosciuta quale prassi prioritaria e necessariamente propedeutica all'elaborazione di strategie e progettualità di salvaguardia e conservazione dell'edilizia storica intesa quale Patrimonio culturale.

La fase analitica e diagnostica (il più possibile non distruttiva) deve perciò integrarsi strategicamente nell'iter progettuale di conoscenza del Restauro (Carbonara 2021a) e concretizzarsi nello strumento del Piano di Conservazione (Kehr, 2013; UNI EN 15898:2019). La possibilità di programmare la cura del Patrimonio costruito storico, nella prospettiva ormai condivisa anche a livello internazionale della 'Conservazione preventiva programmata' (Moioli, 2023; AA.VV., 2024), apre parimenti, come dimostrato dall'avanzamento delle norme nel campo del rischio sismico (Presidente del Consiglio dei Ministri, 2011), ad azioni di prevenzione basate sul concetto di 'miglioramento' atte a individuare di volta in volta, a valle di un iter conoscitivo scientificamente strutturato e replicabile, le strategie e le tecniche di intervento più opportune in termini di conservazione, efficacia, compatibilità e sostenibilità (Carbonara, 2021b; Del Curto, Garzulino and Turrina, 2024).

Metodologia, strategia previsionale e valutazione della vulnerabilità: indirizzi di ricerca per la salvaguardia del Patrimonio architettonico del borgo di Andreis | Partiamo da una prima considerazione da cui scaturiscono valutazioni e scelte in ordine a metodo e indirizzi operativi adottati: nel prossimo futuro le variazioni di temperatura previste sono destinate a indurre, o anche a incrementare, fenomeni di pericolosità per cui si rischia la perdita del Patrimonio costruito. Da qui l'adesione a un approccio metodologico nel solco della 'Conservazione preventiva programmata' (Della Torre, 2003) che nei postulati teorici e strategie attuative, su cui si si è a lungo soffermata la cultura del Restauro in Italia, interfaccia la previsione dei fenomeni di pericolosità e conoscenza analitica delle peculiari vulnerabilità dei Beni culturali; ciò per stimare l'effettivo livello di rischio di una loro perdita e conseguente messa a punto di correlate strategie di intervento.

Il quadro di riferimento appare in tal misura aderire compiutamente alle istanze del caso: purtroppo non è così. Accolto l'indirizzo metodologico centrato su sistemi valutativi ancorati alla conoscenza costruttiva e materica dei manufatti, occorre infatti avere accortezza dei limiti insiti nel nodo dell'imprevedibilità o anomalie dei fenomeni ambientali che mettono di fatto fuori gioco il criterio – proprio delle scienze empiriche – di previsione dei fenomeni futuri sulla base dell'osservazione sistematica degli eventi del passato (Sesana et alii, 2021; Sardella et alii, 2020). La consapevolezza di operare entro un orizzonte di ricerca in fieri sotto il profilo dell'aggiornamento delle strategie provvisionali ha stimolato riflessione e approfondimento attorno alle fasi analitiche e operative del progetto.

Ne è conseguita la scelta programmatica di un monitoraggio su basi strumentali affidabili delle anomalie climatiche con particolare riferimento a eventi estremi riscontrabili nell'ambito territoriale del caso studio, entro un arco temporale circoscritto ma sufficiente ad abbozzare scenari utili alla previsione dei fenomeni di pericolosità da correlare opportunamente alla vulnerabilità del Patrimonio costruito del borgo e idonei a vagliarne l'impatto sullo stato conservativo dei materiali costruttivi, in primo luogo il legno che connota la peculiare tipologia dei Daltz lignei (Chinellato and Croatto 2002; Fig. 4), diffusi nel borgo di Andreis (PN). Su questi verte la ricerca sperimentale del progetto iNEST che nello specifico ha coinvolto sei unità abitative individuate secondo criteri condivisi con le Istituzioni locali (stato conservativo, grado di trasformazione, esposizione).

Nello specifico la fase analitica dell'iter progettuale, articolata a partire dal rilievo per il restauro su cui poggiano la mappatura relativa all'analisi dei materiali costitutivi gli elementi dei Daltz, nonché diagnosi di degrado e dissesto degli stessi (Figg. 5-7), è stata commisurata ai parametri del rischio (Fig. 8; Tabb. 1, 2). Ciò a partire dalla programmazione di indagini mirate che, a integrazione del normale quadro analitico, constano di verifiche in sito, tramite l'installazione di una stazione meteorologica di monitoraggio climatico, e di prove di laboratorio su campioni opportunamente selezionati (Choidis et alii, 2021; Brimblecombe and Richards 2022; Richards and Brimblecombe, 2022). Que-

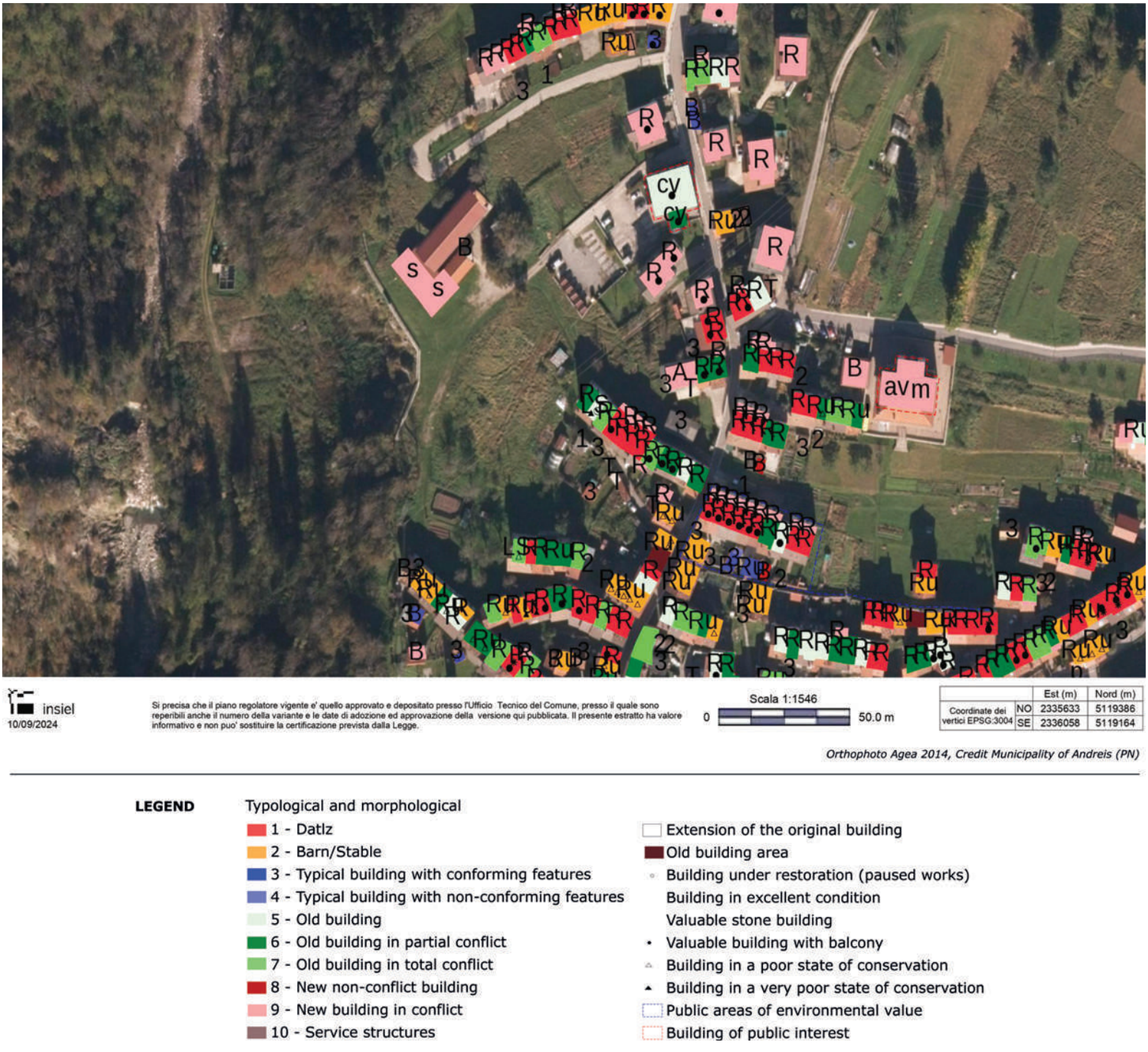


Fig. 4 | Extract of the PRGC (General Urban Plan) of the Municipality of Andreis with a legend of typological and morphological characteristics (credit: EagleFVG, 2024).



Figg. 5-7 | Details: the exfoliation phenomenon of the protective varnish on the wooden elements of the Daltz; the photochemical oxidation phenomenon on wooden balconies; the discovery of boreholes indicating the presence of insects (credits: I. Zamboni, 2023).

ste nello specifico prevedono test diagnostici in camera climatica (da -40 °C a +180 °C con umidità da +5% a +95%), indagini cicliche di invecchiamento in camera climatica (da -40 °C a +180 °C con umidità da +5% a +95% con luci UVA-UVB e IR) e prove di cicli di gelo e disgelo sempre in camera climatica; prove ultrasoniche.

L'obiettivo è abbozzare, attraverso l'interfaccia tra lo scenario emerso dal rilevamento ambientale e i test di laboratorio (il criterio di indagine poggia – in sintesi – sulla simulazione in laboratorio dei fenomeni di pericolosità individuati per via analitica), una strategia previsionale utile a valutare la vulnerabilità del costruito; ciò a fronte di dati accertati scientificamente seppur, va precisato, circoscritti a un microcontesto ambientale. Premessi i limiti si stima tuttavia che in concreto la ricerca oggi al suo avvio individui un percorso idoneo a bilanciare, se non a compensare, i vincoli legati all'imprevedibilità dei cambiamenti climatici, a promuovere la conoscenza ragionata dei rischi per il Patrimonio (Fiorani, 2023) e a favorire l'individuazione di risoluzioni operative affidabili, capaci ovvero di contrastarne gli effetti, in favore della manutenzione programmata dell'architettura storica del borgo, nel rispetto della peculiarità e permanenza dei suoi caratteri insediativi.

In questo scenario il progetto iNest ha in programma la sperimentazione in ambito industriale di prodotti innovativi (protettivi) per il legno, a supporto della messa a punto di buone pratiche che l'Amministrazione ha in vista di adottare e altresì condividere con altre comunità del territorio promuovendo la trasmissione dei risultati ottenuti. L'auspicio, in una prospettiva di più largo respiro, è che la riflessione su metodo e strategia previsionale che anima il progetto possa trovare spazio nell'ambito della ricerca a tutt'oggi aperta sul nodo della valutazione del rischio di perdita del Patrimonio a fronte dell'imprevedibilità e complessità dei cambiamenti climatici.

Strumenti di rilievo e modellazione per il Patrimonio costruito | La documentazione e la rappresentazione dello stato di conservazione del Patrimonio costruito presenta molteplici livelli di complessità (Megarry and Hadick 2021). Sul fronte della rappresentazione, nell'ottica di incrementarne e approfondirne la conoscenza, si ricorre frequentemente a strumenti digitali innovativi integrati a quelli tradizionali. Com'è noto, le nuvole di punti o i modelli fotogrammetrici permettono di replicare con elevata precisione gli edifici oggetto di indagine tramite la successiva modellazione stereometrica classica o parametrica H-BIM, anche mediante librerie e database strutturati (Bruno and De Fino, 2021; Yang et alii, 2020). Questi ultimi divengono strumenti interdisciplinari utili a comprendere, scomporre e analizzare i caratteri dell'architettura grazie a una interpretazione discretizzata che ne arricchisce la lettura e la comprensione (Bianconi and Filippucci, 2019).

Nell'intento di ottimizzare la scelta degli strumenti di rilievo utili alla conoscenza delle tipologie lignee dei Daltz di Andreis, si è svolta una indagine preliminare di carattere metodologico e operativo indagando limiti e lacune degli attuali strumenti di valutazione anche attraverso l'esame di diversi casi applicativi da letteratura (Bianconi and Filippucci 2019; Porzilli and Bertocci, 2019; Riggio et alii, 2018).

La scelta di impiegare la metodologia 'image-based' o 'structure from motion' (fotogrammetria) nella presente ricerca è avvenuta alla luce della versatilità dello strumento, stimato maggiormente idoneo a rappresentare il peculiare contesto di Andreis. L'impiego di tale processo di elaborazione è stato preferito a quello di laser scanner che, benché presenti esiti più accurati nella definizione delle nuvole di punti, non favorisce un agevole rilevamento delle parti sommitali dei Daltz. Nondimeno si è tenuto presente che la qualità del dato restituito è influenzata dalla sorgente dei fotogrammi di input, dalla complessità dell'entità da rilevare, dai suoi materiali componenti, dalle caratteristiche del sito e dalle condizioni meteorologiche di ripresa; fattori questi che sono entrati prioritariamente in gioco nella scelta operata.

Il ricorso a tale tecnica restituisce elaborati grafici che fungono da appoggio all'intero iter procedurale e in particolare supportano la conoscenza materica e dello stato conservativo degli edifici, assicurando la puntuale mappatura di materiali, degradi e dissesti al fine di individuare le vulnerabilità del Patrimonio costruito andreano, come obiettivo del progetto.

Al suo avvio l'indagine ha previsto l'esame della documentazione d'archivio fornita dall'Ente comunale che è stata opportunamente confrontata con gli esiti del rilievo diretto e fotogrammetrico mediante mosaicatura ortogonale dei fronti. La ricostruzione mediante processo 'structure from motion' è stata eseguita interpolando immagini terrestri scattate per mezzo di macchina fotografica reflex e i fotogrammi acquisiti tramite drone, per una media di circa un centinaio di fotografie per ciascun edificio indagato (Figg. 9-11). In fase di elaborazione dati si è reso necessario l'impiego e il confronto di diversi software per ridurre la distorsione nella ricostruzione degli elementi architettonici (scale, ballatoi, ecc.) posti dietro la struttura lignea dei Daltz.

Si rileva, in particolare, che la rappresentazione vettoriale dei prospetti evidenzia sostanziali differenze tra lo stato di progetto post sisma 1976 (datato al 1981) e lo stato di fatto attuale degli edifici a indicare possibili modifiche segnalate a supporto della ricerca sulle fasi di trasformazione dei fabbricati condotte dai componenti del gruppo di studio (Figg. 12, 13): ciò a significare, in uno sguardo allargato, il rapporto che in chiave interdisciplinare lega rappresentazione e conoscenza dell'architettura storica. L'obiettivo è che, nel procedere delle acquisizioni conoscitive, i modelli 3D in scala a disposizione su piattaforme condivise si arricchiscano di nuovi dati a vantaggio non solo del monitoraggio, e dunque del progetto, ma anche della disseminazione a scopi partecipativi.

Architettura e clima: spunti per una progettazione proattiva | Progettare pensando al futuro è diventato sempre più complesso, soprattutto considerando i continui cambiamenti causati dall'uomo e gli effetti sull'ambiente. Il caso studio affrontato si inserisce in più ampio dibattito di sperimentazioni di rigenerazione, sviluppate in particolare nell'ambito dei territori marginali del Nord-Est italiano. Queste aree possono considerarsi dei veri e propri laboratori di sperimentazione per definire possibili modelli di sviluppo diventando esempi da adottare anche in altri contesti territoriali, partendo dal presupposto che le questioni legate ai territori fragili impongono l'individuazione e il rafforzamento di potenzialità locali (Dall'Ara and Villani, 2020;

Baró Zarzo, Poyatos Sebastián and Martínez Martínez, 2020).

L'analisi degli aspetti insediativi legati allo spazio pubblico passa attraverso una revisione degli studi pregressi sui caratteri compositivi e formali del Patrimonio esistente per offrire un approfondimento dei caratteri compositivi e costruttivi in relazione ai fattori di rischio ambientali e climatici. Le costruzioni di Andreis si distinguono per l'uso dei materiali locali, come la pietra e il legno, e per un tipo edilizio che risponde alle esigenze della vita rurale e alle condizioni climatiche montane.

La casa a ballatoio Daltz è realizzata in legno e presenta montanti verticali e parapetti a listelli orizzontali, dove la loggia aveva funzione distributiva per le stanze della casa, proteggeva dalle intemperie, veniva utilizzata per l'essicazione dei prodotti agricoli ed era il luogo dove venivano svolti i lavori domestici e artigianali. Si tratta di un tipo abitativo cieco su due lati che si presta naturalmente a uno sviluppo a schiera, seguendo il miglior orientamento solare e con la facciata scandita dai ballatoi orientata verso Sud (Chinellato and Croatto, 2002). Le strade del borgo, principali e secondarie (Fig. 14), collegano le abitazioni e si aprono in piccole corti interne e in più ampi spazi a uso della collettività, secondo un modello urbano che non solo favorisce la socializzazione tra i membri della comunità, ma rappresenta anche una risposta pratica alla necessità di proteggersi dalle intemperie e dai venti freddi che caratterizzano la zona montuosa. Questi elementi funzionali si fondono con il paesaggio, creando un'architettura che si rivela efficiente e in equilibrio con l'ambiente naturale.

Il borgo di Andreis è un esempio di come l'architettura rurale tradizionale possa essere un modello di sostenibilità e integrazione con il territorio; oggi queste costruzioni rappresentano non solo un Patrimonio culturale, ma anche un insegnamento per le architetture moderne, invitando a ricostruire un equilibrio, ormai compromesso da tempo, tra architettura e paesaggio, tra natura e cultura, attraverso un approccio ecosistemico in grado di promuovere conservazione, produttività e resilienza. La progettazione, risultato di un continuo processo di trasformazione, si adatta alle nuove esigenze del contesto contemporaneo, proponendo soluzioni che a tutte le scale non possono ignorare il recupero e il riuso, nuovi paradigmi dell'architettura. In questa direzione si profila un approccio al riuso adattivo dal punto di vista morfologico, partendo dal presupposto che nonostante la funzione originaria di un edificio ne influenzi in parte l'assetto spaziale, la sua forma risulta 'incorporare' attraverso lo strumento del progetto una più probabile deformazione che può essere in grado di determinare usi differenti nel tempo (Guidetti and Massarente, 2021).

Le opere diventano il frutto di un impegno collettivo volto a ripensare gli spazi urbani, colmando i vuoti e offrendo nuove prospettive sugli spazi urbanizzati e all'architettura spetta il compito difficile di recuperare quelle parti del borgo che nel tempo sono state trascurate. Se l'approccio di conoscenza del costruito con il metodo tipologico (Chinellato, 1985) permette di approcciarsi al progetto architettonico del nuovo con rispetto nelle forme disegnate dal passato e dalla tradizione, conoscere la 'materia' di cui sono fatti gli edifici permette di proporre soluzioni tecnologiche che guardino al futuro in modo proattivo, cercando di prevedere la massima durabilità dei nuovi manufatti realizzati. La tecnica va piegata al processo di gestazione del progetto per produrre rappresentazioni non descrittive ma intenzionali, per rendere una parola o un dettaglio germinali, per costruire scene del tutto capaci di ri-impostare la direzione del fare, per mettere in tensione cose tangibili e intangibili (Marini, 2023).

Fermo restando un approccio legato alla conservazione dei Beni tutelati, si vuole indagare in chiave critica il tema dell'aggiunta del nuovo, ipotizzando che in alcuni contesti le modifiche possano integrarsi alle forme di prescrizione edilizia e di vincolo, predisponendo le condizioni per un adeguamento maggiormente contemporaneo e sistemico (Velo and Cervesato, 2023) attraverso soluzioni virtuose orientate alla sostenibilità ambientale, economica, sociale e culturale, in grado di attivare nuove strategie di attrattività (Blanc, 2020).

Gli esiti della ricerca in corso legati alla indagine sulla vulnerabilità dei materiali da costruzione, in particolare del legno, potranno determinare effetti positivi non solo in termini di manutenzione, ma anche nei progetti di recupero, riuso e rifunzionalizzazione del Patrimonio edilizio, rispetto ai quali occorre avere consapevolezza della distanza che separa il presente – materiale e immateriale – dal progetto originario. Al contempo è necessario che il progetto sia orientato ad accogliere la 'eredità del futuro', in termini di adattabilità agli scenari, anche climatici, perennemente mutevoli con cui l'architettura da sempre si confronta (Germanà and Anania, 2020).

L'approccio progettuale per la conservazione del Patrimonio edilizio e paesaggistico, se supportato da studi e analisi multidisciplinari, può sviluppare strategie innovative per rigenerare edifici, spazi urbani e territori, contrastando gli effetti negativi dei cambiamenti climatici e riducendo le emissioni dei gas serra. Questo implica l'uso di tecnologie edilizie efficienti e materiali a basso impatto ambientale come il legno proveniente da foreste gestite in modo responsabile.

I risultati ottenuti dalla presente ricerca, condotta nell'ambito disciplinare del Restauro, forniranno le basi per decisioni orientate alla sostenibilità e all'adattamento degli edifici garantendo sicurezza e comfort per chi li abita. Al tempo stesso, rivolgendo lo sguardo a un paesaggio sempre più fragile (Tarpino, 2016), è necessario promuovere soluzioni che migliorino la resilienza degli spazi naturali e urbani, favorendo interventi sostenibili per mitigare gli impatti ambientali e promuovere un uso più efficiente delle risorse. La metodologia proposta cerca di ridefinire gli strumenti per un mirato approccio al progetto di rigenerazione in chia-



Fig. 8 | Analysis of the degradation of the Daltz on Via dell'Acquedotto (credit: A. Biasi, 2024).

ve ecologica che, in sinergia con le necessità del luogo, favorisca una più coerente integrazione del nuovo con l'esistente (Falzetti and Minuto, 2023).

Conclusioni e prospettive future | La ricerca in fieri si inserisce nel contesto europeo della lotta ai cambiamenti climatici che intraprende, nella combinazione tra mitigazione, adattamento e conservazione dei valori culturali che il Patrimonio architettonico è in grado di trasmettere, l'unica possibile via per fronteggiarne e rallentarne gli effetti, incrementando la resilienza ai rischi rilevati. L'importanza della conoscenza nell'iter progettuale della disciplina del Restauro è da sempre condivisa, ma per fronteggiare l'imprevedibilità e la mutevolezza degli impatti del clima passato e futuro sui materiali del costruito storico è necessario che il processo conoscitivo possa fare affidamento, per esempio, sulle più aggiornate tecnologie del rilievo digitale, che si integri con scenari climatici scientificamente affidabili riferiti ai singoli parametri ambientali incidenti e che tali dati siano opportunamente calibrati su modelli attinenti al reale contesto locale di appartenenza.

Il rapporto tra architettura e clima, che ha sempre influito sulla Progettazione architettonica del nuovo e del riuso dell'esistente, se studiato, recuperato e reinterpretato può fornire una risposta efficace in chiave sostenibile con implicazioni dalla scala territoriale a quella del design del dettaglio costruttivo e con ricadute misurabili anche nel settore delle costruzioni.

Fra i limiti di questo lavoro vi sono da annoverare i tempi intrinsecamente imposti dalla ricerca, che nel breve periodo potrà aggiungere solo un piccolo tassello alla banca dati utile per la verifica e quantificazione degli impatti della crisi climatica sui materiali lignei di Andreis. Come accennato in precedenza, le architetture storiche presentano una complessità costruttiva e trasformativa che accelera tendenzialmente le manifestazioni di degrado, ma può anche dare esiti imprevedibili in virtù delle interrelazioni specifiche che possono stabilirsi tra diverse componenti del medesimo sistema costruttivo.

La sinergia multidisciplinare, premessa della ricerca in corso, vanta inoltre lo spirito di collaborazione con gli Enti sul territorio, in primis l'Amministrazione locale, che intende, attraverso un processo partecipativo al quale questo lavoro potrà contribuire, aggiornare i propri strumenti di governance e di tutela del Patrimonio culturale alle raccomandazioni previste dalla FVGreen – Disposizioni per lo Sviluppo Sostenibile e la Transizione Ecologica del Friuli Venezia Giulia[6], strategia che recepisce gli strumenti nazionali e internazionali di contrasto ai cambiamenti climatici.

Alla suddetta carenza di studi specifici sui Beni culturali e la loro conservazione si intende fornire un contributo in termini metodologici e scientifici che finalizzi miratamente le risorse a concrete strategie di salvaguardia e conservazione, in accordo con le esigenze della disciplina del Restauro. La metodologia predisposta e in fase di test potrà, infatti, essere replicabile in altri territori del Nord-Est, come richiesto dal progetto iNEST entro cui la ricerca industriale e lo sviluppo sperimentale ricadono. In tal senso la geografia politica delle aree interne friulane, raggruppate in questi territori nella Magnifica Comunità di Montagna delle Dolomiti Friulane, Cavallo e Cansiglio potrebbe rappresentare il veicolo di trasferimento di buone pratiche e strategie condivise.

Tra i desiderata futuri vi è anche quello di utilizzare gli esiti delle ricerche di laboratorio sui materiali lignei dei Daltz per lo sviluppo di innovativi prodotti per il restauro, che possano rispondere alle istanze della sostenibilità (per ambiente e operatori), compatibilità, ed efficacia. Questo consentirà di aggiornare e orientare le scelte tecniche degli specialisti in cantiere, ma anche dei proprietari stessi, sull'attività di manutenzione ordinaria (anche privata) e resilienza nei confronti del degrado condizionato dal cambiamento climatico del Patrimonio diffuso di Andreis, che ne caratterizza l'identità e il senso di appartenenza dei propri abitanti ma anche dei numerosi turisti che vi si recano.

As part of the iNEST[1] Young Researcher's Call project, the University of Udine Research Group has identified the case of the village of Andreis (Pordenone, Italy), located in the rural mountainous areas of northeastern Italy (Fig. 1), as an opportunity for interdisciplinary collaboration. This project involves surveying, restoration, and landscape architecture to develop a comprehensive understanding of the conservation and management of the built environment (Climate Change and Cultural Heritage Working Group, 2019; Potts, 2021). The goal is to address the complex issue of environmental sustainability and the risk of losing built Heritage due to the climate anomalies observed in recent years (UNDRR, 2022; IPCC, 2023). The project delves into the restoration process, closely linked to landscape themes, through targeted scientific investigations conducted in collaboration with the Department of Civil and Environmental Engineering at the Polytechnic University of Milan. These studies monitor climatic fluctuations and assess their impact on the architectural Heritage of Andreis.

The objective is to scientifically assess the vulnerability of this Heritage, sketching out a predictive strategy for interventions. It should be noted that this remains an open issue in the research landscape regarding risk assessment in the face of climate change. The study aims to provide an initial contribution, albeit within the limitations of the specific case. The Institutional Research Collaboration Agreement signed with the local administration in 2023 ensures that the analytical approaches taken align with the concept of 'planned preventive conservation', a central aspect of the project's methodology. This approach also has territorial applicability. The research acknowledges that the issue must be framed within a broader multi-risk assessment currently under investigation in a parallel task[2] of the iNEST project.

Regarding the project presented here, special attention has been given to understanding the constructive and material aspects, particularly in analysing the effects of climate variations (Sesana et alii, 2021). Focus has been placed on studying the wooden elements that characterise the Daltz type of architecture in Andreis, which is particularly affected by environmental changes (Figg. 2, 3). Wood, a material that defines the architecture and the unique identity of the village, has become a key element in the project's interdisciplinary investigations. Initially, direct and photogrammetric surveys (both aerial and terrestrial) were combined with archival documentation to reconstruct the three-dimensional morphology of the Daltz buildings. This supports the monitoring of material conservation and guides the sampling of wooden elements for laboratory analysis.

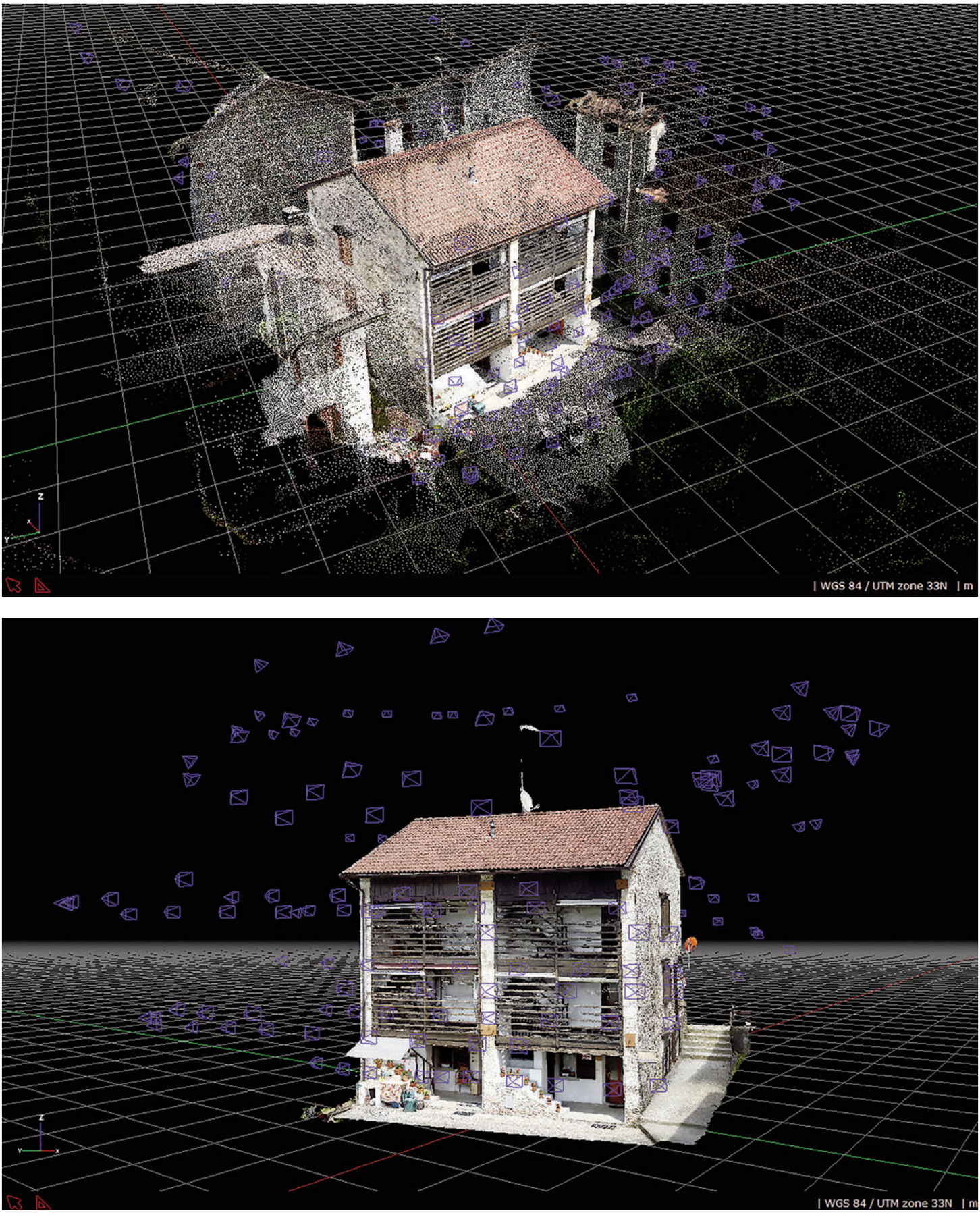
The outcomes and reflections from this analysis broaden the understanding of the village's settlement characteristics, integrating architectural and urban scales. Experts in Landscape Architecture and Project Design, along with the interpretation of

	Biotic Deteroration			Non-Biotic Deteroration	
Phenomena detected	Fungal attack	Fungal attack (moulds)	Holes (insects)	Photochemical oxidation	Evolution of shrinkage cracks
Colour					

Tab. 1 | Detected degradation phenomena (credit: Alessandra Biasi).

Risk class UNI EN355	Description	Moisture	Elements	Biotic risk	
				Primary	Secondary
3	Elements not in contact with the ground but not sheltered	Occasionally more than 20%	Balconies	Fungi	Insects, moulds

Tab. 2 | Biotic degradation: Risk class (credit: Alessandra Biasi).



Figg. 9, 10 | Dense point cloud: photogrammetric process applied to the building in Andreis on Via dell'Acquedotto; 3D model reconstruction with texture: photogrammetric process applied to the building on Via dell'Acquedotto (credits: V. Riavis, 2024).



Fig. 11 | View of the existing state of the building based on the ortho-mosaic photograph obtained by photogrammetry (credit: V. Riavis, 2024).

the cultural significance of the surrounding environment, are called upon to monitor the village's vulnerabilities. From an interdisciplinary and multi-risk perspective, they aim to promote targeted strategies for the 'planned conservation' of the area, which is increasingly stressed by climate change (such as meteorological, hydrogeological, fire, and seismic risks).

It is clear that altimetric elements, orientation, and solar irradiation guide the understanding – and even the design perspective – of the configuration of traditional architectures, closely tied to their osmotic relationship with the environment. This analysis is crucial for understanding not only the characteristics of the village but also its interactions and behaviour concerning environmental factors. The goal is to establish a sustainable operational approach that prioritises the conservation of the structure and materials of the architecture, which today defines the identity of the context while fostering active, participatory, and concrete engagement with issues related to climate change mitigation and adaptation (MASE, 2023), a key objective of this research project.

The aim is to provide a methodological contribution to the study of climate change impacts on built Heritage through targeted analytical investigations that can sketch out predictive strategies. While these strategies are generally bound to the long timelines of research, they remain valid when considering extreme events (such as meteorological and hydrological phenomena), which can be effectively monitored within the timeframe of the current planning. By focusing the research on wood, the ongoing diagnostic activity will be able to confirm and quantify the impact of the climate crisis on the structural material of the Daltz. In this scenario, the research and experimentation on curative and protective products, already planned, will be guided. It is anticipated that the results may be of interest to the scientific community.

Conservation of urban architectural Heritage and climate change: current status and trends | Despite the development of various multidisciplinary research pathways aimed at evaluating, reducing, and managing the complexity of climate change impacts on cultural Heritage[3] (Sesana et alii, 2021), a recent observation highlights the lack of integration of specific measures into European climate policies (European Commission, 2022). This is particularly notable given that the issue has been under discussion in international forums for at least two decades, solidifying the understanding that, first and foremost, it is necessary to combine mitigation and adaptation actions through strategies specifically dedicated to the conservation of cultural Heritage and the safeguarding of its values (Climate Change and Cultural Heritage Working Group, 2019; Potts, 2021) Secondly, a multi-risk approach should be employed (UN, 2015; UNDRR, 2022). In the context of Italian regulations, considered encouraging by experts, it is worth recalling two key tools for climate change adaptation: the National Strategy (MATTM, 2015) and the National Plan (MASE, 2023), which explicitly reference the manifestations of degradation and damage to cultural assets.

State of the art in research on the impact of climate parameters on architectural materials is supported by a growing number of experiments, which first highlight the still limited applications to culturally significant buildings and the scarcity of Italian case studies (Choidis et alii, 2021; Libralato et alii, 2021; Brimblecombe and Richards 2022; Richards and Brimblecombe, 2022; Muradov et alii, 2022; Bonazza and Sardella, 2023; Bretti and Ceseri, 2023; Hernández-Montes et alii, 2023). Most climate scenarios developed for cultural Heritage refer only to specific materials, and articulated systems (such as historic centres and archaeological sites) are still only partially considered, due to the complexity of the synergistic actions to which they are subjected. The generally accepted approach views the fight against the climate crisis as a process to be developed from the regional to the local scale and to be realised through targeted governance tools. These tools must be supported by methodologies that consider the environmental characteristics of the context and climate data derived from appropriate downscaling procedures from global sources. Additionally, the effectiveness of connecting these tools with diagnostic analyses of materials to guide the most appropriate design strategies has been demonstrated.

As for the development of governance tools for climate change adaptation, the trend in the most recent studies is certainly to develop, based on the comparison of European case studies, guidelines useful for knowledge, emergency management, and resource allocation for the control and prevention of cultural Heritage[4]. The intervention in artefacts is explicitly tied to the drafting of conservation plans (a task for which much remains to be done) or the promotion of best practices for maintaining and preserving the identity characteristics of Heritage, to encourage respect for ancient substance and limit the widespread practice of unnecessary replacements (Curtis and Snow, 2017).

Italy's restoration discipline is reflecting, within a dynamic context and amid unestablished methodologies, how to manage, through design, the complexity of the changing causes and effects of climate on historic architectural materials and their context, in a mutually influential relationship (Bonazza, Gaddi and Sardella, 2023; Fiorani et alii, 2022, 2023; Fiorani, 2023). It is necessary to act on several fronts to reduce vulnerabilities and contribute as much as possible to ecological challenges by improving energy efficiency (with considerable implications for cultural Heritage conservation)[5] and reducing greenhouse gas emissions caused by construction sites and buildings (UN, 2015).

Summing up the specific orientations of the research, it is necessary to establish a crucial point: analytically assessing the real impact of climate change on built Heritage is the first step in scientific research aimed at evaluating the resilience of historic architecture to natural and environmental risks. This step then enables action to reduce vulnerabilities through maintenance practices and to minimise potential damage, losses, and subsequent restoration interventions. The methodological process, which is transdisciplinary in nature, as it must integrate parameters of different types, must employ both qualitative and quantitative approaches (UNDRR, 2022).

The lack of specific studies aimed at verifying and quantifying the existence and impact of climate change on built Heritage at the local level is one of the main reasons for the limited dissemination of concrete actions to counter these phenomena. Indeed, the complexity of historic architecture, which is extensively stratified by transformations over time, also influences its vulnerability and does not help accelerate the processes of knowledge, which require great caution, long monitoring periods, and substantial funding for field instrumentation and laboratory analyses on individual materials and construction systems.

Environmental factors can vary significantly from place to place, and the historical data in the literature are insufficient to define future risk scenarios accurately. As a result, the ultimate findings can only be applied locally, unlike the methodology, which is in the process of being consolidated and should be further disseminated and recognised as a priority and essential practice for developing strategies and projects for safeguarding and conserving historic buildings as cultural Heritage.

The analytical and diagnostic phase (which should be as non-invasive as possible) must, therefore, strategically integrate into the knowledge-based restoration process (Carbonara 2021a) and materialise in the tool of the Conservation Plan (Kehr, 2013; UNI EN 15898:2019). The possibility of programming the care of historic built Heritage, in line with the internationally recognized perspective of Planned Preventive Conservation (Moioli, 2023; AA.VV., 2024), similarly opens, as demonstrated by the progress of standards in the field of seismic risk (Presidente del Consiglio dei Ministri, 2011), to prevention actions based on the concept of 'improvement', designed to identify, following a scientifically structured and replicable knowledge process, the most appropriate intervention strategies and techniques in terms of conservation, effectiveness, compatibility, and sustainability (Carbonara, 2021b; Del Curto, Garzulino and Turrina, 2024).

Methodology, predictive strategy, and vulnerability assessment: research directions for safeguarding the architectural Heritage of Andreis village | Let us start with a primary consideration from which evaluations and choices regarding the method and operational guidelines adopted are derived: in the near future, the expected temperature variations are destined to induce or increase hazardous phenomena that threaten the loss of built Heritage. This has led to the adoption of a methodological approach in line with 'Planned Preventive Conservation' (Della Torre, 2003) which, in its theoretical postulates and implementation strategies, long emphasised in Italian restoration culture, interfaces the prediction of hazardous phenomena with the analytical knowledge of the specific vulnerabilities of cultural assets. The goal is to assess the actual risk level of losing them and develop appropriate intervention strategies.

This framework appears to align fully with the case's requirements; unfortunately, this is untrue. While the methodological approach focused on evaluative systems anchored in the constructive and material knowledge of the artefacts is embraced, it is essential to acknowledge the limits inherent in the unpredictability or anomalies of environmental phenomena. These effectively undermine the prin-

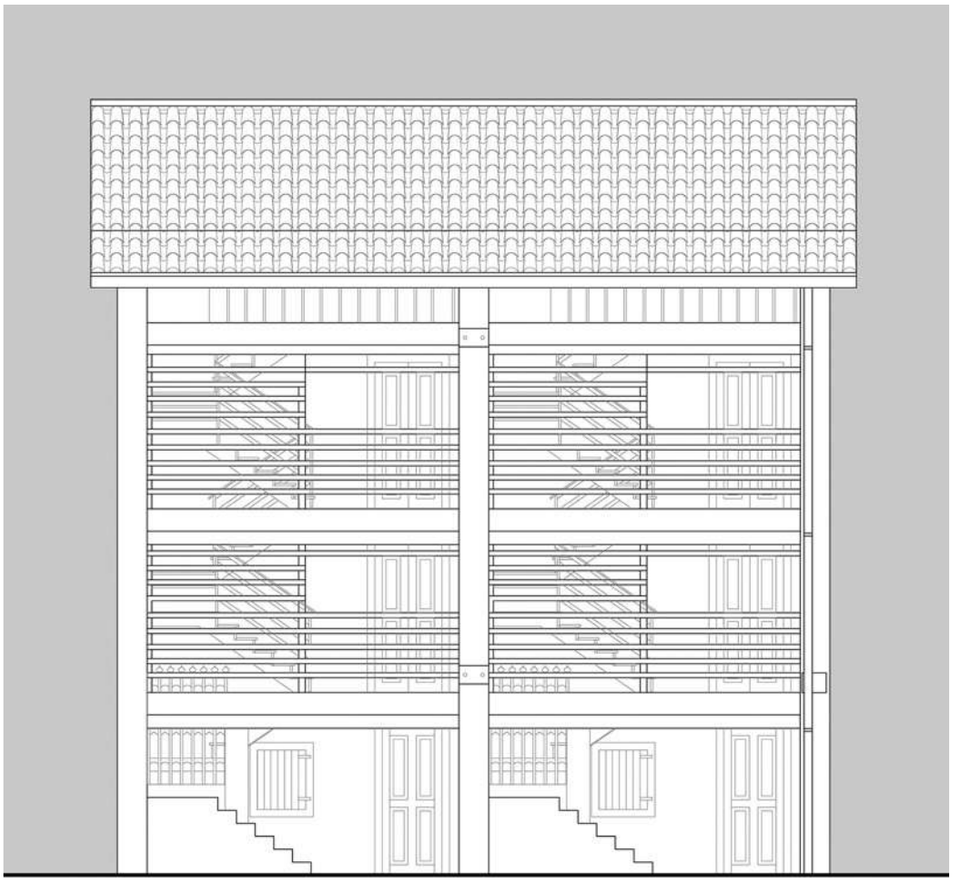




Fig. 12 | Digital representation of the view according to the 1981 consolidation project (credit: V. Riavis, 2024).

Fig. 13 | View of the building reconstructed based on the photogrammetric survey (credit: V. Riavis, 2024).



Fig. 14 | Daltz row (credit: A. Cervesato, 2024).

ciple – common to empirical sciences – of predicting future phenomena based on systematic observation of past events (Sesana et alii, 2021; Sardella et alii, 2020). The awareness of operating within a research horizon that is still evolving in terms of updating predictive strategies has spurred reflection and deeper exploration of the project's analytical and operational phases.

This has led to the programmatic choice of conducting reliable instrumental monitoring of climate anomalies, particularly in reference to extreme events observable within the territorial scope of the case study, over a limited but sufficient time frame to sketch useful scenarios for predicting hazardous phenomena, which can be appropriately correlated with the vulnerability of the built Heritage of the village. Suitable for assessing their impact on the conservation status of the construction materials, particularly wood, which characterises the distinctive wooden Daltz typology (Chinellato and Croatto 2002; Fig. 4), widespread in the village of Andreis (PN). The iNEST project's experimental research focuses on these, specifically involving six residential units selected according to criteria shared with local institutions (conservation status, degree of transformation, exposure).

Precisely, the analytical phase of the project, based on the restoration survey that underpins the mapping of the materials constituting the Daltz elements, as well as the diagnosis of their degradation and structural issues (Figgs. 5-7), was aligned with risk assessment parameters (Fig. 8; Tabb. 1, 2). This was carried out through targeted investigations, supplementing the standard analytical framework with on-site checks (including the installation of a meteorological station for climate monitoring) and laboratory tests on selected samples (Choidis et alii, 2021; Brimblecombe and Richards 2022; Richards and Brimblecombe, 2022). These tests included, among others, diagnostic assessments in climate chambers (ranging from -40 °C to +180 °C with humidity levels from +5% to +95%), cyclic aging investigations in climate chambers (with the same temperature and humidity ranges, alongside UVA-UVB and IR light exposure), freeze-thaw cycle tests in climate chambers, and ultrasonic testing.

The goal was to outline a predictive strategy helpful in evaluating the vulnerability of built Heritage through the interface between the environmental survey data and laboratory tests (essentially based on simulating the hazards identified analytically in the lab). Though scientifically validated, the data remains limited to a specific micro-environmental context. Despite these limitations, the research – currently in its early stages – seeks to establish an approach capable of balancing, if not mitigating, the unpredictability of climate change. It also aims to foster an informed understanding of Heritage risks (Fiorani, 2023) and support the identification of reliable operational solutions to counter these effects, promoting scheduled maintenance of the village's historic architecture while respecting its unique settlement characteristics.

Within this framework, the iNest project plans to test innovative products (protectives) for wood in the industrial sector, supporting the development of best practices that the local administration intends to adopt and share with other communities in the region, promoting the dissemination of achieved results. Looking forward, the hope is that the reflection on methodology and predictive strategy driving the project can contribute to the ongoing research into assessing the risk of Heritage loss due to the unpredictability and complexity of climate change.

Surveying and modelling tools for built Heritage | Documenting and representing the conservation status of built Heritage involves multiple layers of complexity (Megarry and Hadick 2021). From a representation perspective, innovative digital tools are often integrated with traditional methods to enhance and deepen knowledge. It is well known that point clouds or photogrammetric models allow for highly accurate replication of the buildings under investigation through subsequent classical or parametric stereometric H-BIM modelling, often with structured libraries and databases (Bruno and De Fino, 2021; Yang et alii, 2020). These tools become interdisciplinary instruments, helping to understand, break down, and analyse the characteristics of the architecture through a discrete interpretation that enriches its reading and comprehension (Bianconi and Filippucci, 2019).

To optimise the choice of survey tools useful for understanding the wooden typologies of Andreis' Daltz, a preliminary methodological and operational investigation was conducted to explore the limits and gaps in current evaluation tools, referencing several case studies from the literature (Bianconi and Filippucci 2019; Porzilli and Bertocci, 2019; Riggio et alii, 2018).

The decision to use an 'image-based' or 'structure from motion' (photogrammetry) methodology in this research stemmed from the versatility of the tool, deemed most suitable for representing the unique context of Andreis. This process was preferred over laser scanning, which, while producing more accurate point clouds, does not facilitate easy

surveying of the upper parts of the Daltz. It was also noted that the quality of the output data is influenced by the source of the input frames, the complexity of the structure being surveyed, its constituent materials, the site's characteristics, and the weather conditions during capture – factors that played a key role in the decision.

This technique provides graphic outputs that support the entire procedural process, particularly in understanding the materials and conservation status of the buildings. It ensures accurate mapping of materials, degradation, and structural issues, aiming to identify the vulnerabilities of the built Heritage in Andreis, which is in line with the project's objectives.

At the outset, the investigation included an examination of archival documentation provided by the municipal authority, which was cross-referenced with the results of direct and photogrammetric surveys through orthogonal mosaicking of building facades. The 'structure from motion' reconstruction was carried out by interpolating terrestrial images taken with a reflex camera and frames captured via drone, averaging about a hundred photographs per building surveyed (Figg. 9-11). During data processing, it was necessary to use and compare different software tools to reduce distortion in the reconstruction of architectural elements (stairs, balconies, etc.) located behind the wooden structures of the Daltz.

Notably, the vector representation of the facades revealed significant differences between the post-earthquake 1976 project state (dated 1981) and the current state of the buildings, indicating potential modifications that support the study of building transformation phases conducted by the research group (Figg. 12, 13). This highlights the interdisciplinary relationship between representation and understanding of historic architecture. The aim is that as knowledge acquisitions progress, the 3D models, available on shared platforms, will be enriched with new data to benefit not only monitoring and the project itself but also dissemination for participatory purposes.

Architecture and climate: insights for proactive design | Designing for the future has become increasingly complex, especially given the ongoing changes caused by human activity and their effects on the environment. This case study fits into the broader debate on regeneration experiments, particularly in the marginalised territories of northeastern Italy. These areas can be considered true laboratories for experimentation, aiming to define possible development models that can be adopted in other territorial contexts. This approach is based on the premise that issues affecting fragile territories require identifying and strengthening local potential (Dall'Ara and Villani, 2020; Baró Zarzo, Poyatos Sebastián and Martínez Martínez, 2020).

The analysis of settlement aspects related to public space involves revisiting previous studies on the compositional and formal characteristics of existing Heritage, offering a deeper understanding of these elements in relation to environmental and climatic risk factors. The constructions in Andreis stand out for their use of local materials, such as stone and wood, and for a building typology that responds to the needs of rural life and the mountain climate.

The Daltz balcony houses are made of wood with vertical posts and horizontal slatted parapets, where the loggia served as a distribution area for the house's rooms, protected from the weather, were used for drying agricultural products, and were a place for domestic and craft work. It is a blind residential type on two sides, naturally lending itself to terraced development, following the best solar orientation, with the facade and balconies facing south (Chinellato and Croatto, 2002). The village's main and secondary streets (Fig. 14) connect the houses and open into small internal courtyards and larger communal spaces, according to an urban model that not only encourages socialisation among community members but also provides a practical response to the need for protection from the cold winds characteristic of the mountainous area. These functional elements blend with the landscape, creating an architecture that proves efficient and in harmony with the natural environment.

The village of Andreis exemplifies how traditional rural architecture can be a model of sustainability and integration with the territory. Today, these constructions represent not only cultural Heritage but also a lesson for modern architecture, inviting a reconstruction of a balance (long since compromised) between architecture and landscape, nature and culture, through an ecosystemic approach that promotes conservation, productivity, and resilience. The design, as a result of a continuous process of transformation, adapts to new contemporary needs, proposing solutions that, at all scales, cannot ignore recovery and reuse, now new paradigms of architecture. In this direction, an approach to adaptive reuse emerges from a morphological perspective, based on the premise that while the original function of a building partially influences its spatial configuration, its form 'incorporates' through design the potential for deformation that can determine different uses over time (Guidetti and Massarente, 2021).

The works become the product of a collective effort aimed at rethinking urban spaces, filling in gaps, and offering new perspectives on urbanised spaces. Architecture faces the challenging task of restoring those parts of the village that have been neglected over time. If the approach to understanding built Heritage through typological methods (Chinellato, 1985) allows for respectful architectural projects that honour forms shaped by the past and tradition, knowing the 'material' of the buildings makes it possible to propose technological solutions that proactively look to the future, aiming to ensure the maximum durability of new constructions. The technique must be adapted to the project's gestation process to produce representations that are not merely descriptive but intentional, making words or details seminal, capable of realigning the direction of action and creating tension between tangible and intangible elements (Marini, 2023).

While maintaining a conservation approach for protected assets, this project seeks to critically explore the theme of adding the new, hypothesising that in some contexts, modifications can integrate with building regulations and constraints, preparing the conditions for a more contemporary and systemic adaptation (Velo and Cervesato, 2023). This is done through virtuous solutions aimed at environmental, economic, social, and cultural sustainability, capable of activating new strategies of attractiveness (Blanc, 2020).

The ongoing research findings related to the vulnerability of building materials, particularly wood, may yield positive effects not only in terms of maintenance but also in projects aimed at restoration, reuse, and repurposing of architectural Heritage. It is essential to be aware of the gap between the present, both material and immaterial, and the original design. At the same time, the project must embrace the 'legacy of the future' by ensuring adaptability to ever-changing scenarios, including climatic ones, which architecture has always faced (Germanà and Anania, 2020).

A design approach for conserving the built and landscape Heritage, supported by multidisciplinary studies and analyses, can develop innovative strategies for regenerating buildings, urban spaces, and territories, countering the negative effects of climate change and reducing greenhouse gas emissions. This involves using efficient construction technologies and low-environmental-impact materials, such as wood from responsibly managed forests.

The results obtained from this research, conducted within the field of Restoration, will provide the foundation for decisions aimed at sustainability and building adaptation, ensuring safety and comfort for inhabitants. At the same time, in light of an increasingly fragile landscape (Tarpino, 2016), it is necessary to promote solutions that enhance the resilience of natural and urban spaces, encouraging sustainable interventions to mitigate environmental impacts and promote more efficient use of resources. The proposed methodology seeks to redefine the tools for a targeted approach to ecological regeneration, fostering a coherent integration of the new with the existing structures (Falzetti and Minuto, 2023)

Conclusions and prospects | The ongoing research fits within the European context of combating climate change, where the combination of mitigation, adaptation, and conservation of cultural values transmitted by architectural Heritage is the only viable way to face and slow its effects while increasing resilience to identified risks. Knowledge has always played a critical role in the design process of Restoration, but to confront the unpredictability and variability of climate impacts, both past and future, on the materials of historic structures, the knowledge process must rely on the latest digital surveying technologies. These technologies should integrate scientifically reliable climate scenarios and be appropriately calibrated to models relevant to the local context.

The relationship between architecture and climate, which has always influenced the design of new constructions and the reuse of existing ones, if studied, recovered, and reinterpreted, can provide an adequate response in sustainable terms, with implications from territorial to construction detail scales, and measurable outcomes in the construction sector.

Among the limitations of this work are the inherent time constraints of research, which in the short term may add only a tiny contribution to the database helpful in assessing and quantifying the climate crisis's impact on wood materials in Andreis. As previously mentioned, historic architectures exhibit constructive and transformative complexities that tend to accelerate degradation processes but can also produce unpredictable results due to the specific interrelationships between different components of the same construction sys-

tem. This point will need further clarification in the future. The multidisciplinary synergy, the premise of the ongoing research, also highlights the collaborative spirit with local entities, especially the local administration. Through a participatory process, to which this work will contribute, they aim to update their governance and protection tools for cultural Heritage according to the recommendations set forth by FVGreen – Provisions for Sustainable Development and the Ecological Transition of Friuli Venezia Giulia[6]. This strategy aligns with national and international tools to combat climate change.

Given the lack of specific studies on cultural Heritage and its conservation, this research aims to provide a methodological and scientific contribution that will direct resources toward concrete strategies for safeguarding and preserving Heritage, in line with the Restoration discipline.

The proposed and tested methodology can be replicated in other regions of the Northeast, as requested by the iNEST project, within which the industrial research and experimental development are situated. In this context, the political geography of the internal areas of Friuli, grouped in the Magnifica Comunità di Montagna delle Dolomiti Friulane, Cavallo, and Cansiglio, could serve as a vehicle for transferring best practices and shared strategies. Among the future aspirations is the use of the research results on wooden materials from the Daltz for the development of innovative restoration products that meet the demands of sustainability (for both the environment and operators), compatibility, and effectiveness. This will allow for the technical choices of specialists on-site and even property owners themselves to be updated and guided in terms of routine maintenance (even privately) and resilience to climate-induced degradation of the widespread Heritage of Andreis, which defines the identity and sense of belonging for its inhabitants and the numerous tourists who visit the area.

Acknowledgements

This research is funded by the PNRR M4C2 project – Investment 1.5 – Funded by the European Union's Next Generation EU – CUP G23C22001130006 Project code ECS_00000043 – Project 'iNEST – Interconnected Nord-Est Innovation Ecosystem – Young Researchers' Call UNIUD – Spoke 4 – P.I. Dott. I. Zamboni'. This work interfaces and connects with the research of the 'iNEST – Interconnected Nord-Est Innovation Ecosystem' project funded by NextGenerationEU, ECS_00000043 – CUP UNIUD G23C2200 1130006, (Thematic Area: Digital, Industry, Aerospace) through the National Recovery and Resilience Plan (PNRR), Mission 4 – Education and Research; Component 2 – From Research to Business; Investment 1.5. Research Area – Spoke 4 – City, Architecture, and Sustainable Design (Leader: 'IUAV' University of Venice, Coordinator Prof. L. Fabian); Representative for the University of Udine: Prof. A. Sdegno; Representative for the Disciplinary Sector 08/CEAR-11B Restoration of Architecture: Prof. A. Biasi.

The contribution results from a shared reflection by the Authors. Nevertheless, the introductory paragraphs and 'Methodology, predictive strategy, and vulnerability assessment: research directions for safeguarding the architectural Heritage of Andreis village' are attributed to A. Biasi, the paragraphs 'Conservation of urban architectural Heritage and climate change: current status and trends' and 'Conclusions and prospects' to I. Zamboni, the paragraph 'Surveying and modelling tools for built Heritage' to V. Riavis, and the paragraph 'Architecture and climate: insights for proactive design' to A. Cervesato.

Notes

1) iNEST Project – Interconnected Nord-Est Innovation Ecosystem funded by Next-GenerationEU.

2) Task 2.3 of Spoke4 in iNEST on the Heritage, Recovery, and Conservation theme is coordinated by CORILA – Consortium for the Coordination of Research on the Venice Lagoon System and the IUAV University of Venice.

3) For a recent reflection on the definition of Cultural Heritage, see Carbonara, 2021a, pp. 55-57.

4) This is the case with the scientific outputs from the ProteCHt2save project; the Italian case study of Ferrara was published in Barone et alii, 2020. For more information, also refer to the webpage: programme2014-20.interreg-central.eu/Content.Node/ProteCHt2save.html [Accessed 14 September 2024].

5) The topic of improving energy efficiency in existing architectural Heritage opens up many other reflections, which are examined in the following bibliography: MIBACT, 2015; Battisti, 2016; CEN EN 16883:2017; Carbonara, 2021b; Aveta, 2023; Trovò, 2022; GBC, 2016; Buda, 2023; Del Curto, Garzulino and Turrina, 2024.

6) Regional Law of February 17, 2023, No. 4, 'FVGreen – Provisions for Sustainable Development and the Ecological Transition of Friuli Venezia Giulia'. For more information, refer to the webpage: bur.regione.fvg.it/newbur/visionaBUR ?bnum=2023/02/22/8 [Accessed 14 September 2024].

References

AA.VV. (2024), *Atti del XXXIX Convegno Scienza e Beni Culturali, 2024 – La conservazione preventiva e programmata – Venti anni dopo il Codice dei beni culturali*, *Bressanone*, *2-5 Luglio 2024*, Edizioni Arcadia Ricerche, Venezia.

Aveta, C. (2023), "Conservazione e nuove frontiere tecniche pluridisciplinari", in *Restauro Archeologico*, vol. 30, issue 1, pp. 118-123. [Online] Available at: doi.org/10.36253/rar-14285 [Accessed 11 September 2024].

Baró Zarzo, J. L., Poyatos Sebastián, J. and Martínez Martínez, N. (2020), "Contrastare lo spopolamento nell'entroterra della Spagna – Proposte tra Arte, Design e Architettura | Fighting against depopulation in inland Spain – Alternatives from Art, Design and Architecture", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 8, pp. 138-147. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/8132020 [Accessed 11 September 2024].

Barone, P., Donvito, G., Flor, M., Franco, G., Musso, S. F. and Rota, P. (2020), *Centri storici e adattamento ai cambiamenti climatici – Linee Guida dal caso studio di Ferrara*, ANCSA – Associazione Nazionale Centri Storico-Artistici, Gubbio. [Online] Available at: ancsa.org/pubblicazioni/collana-documenti/centri-storici-e-adattamento-ai-cambiamenti-climatici-linee-guida-dal-caso-studio-di-ferrara/ [Accessed 11 September 2024].

Battisti, A. (2016), "Linee guida di indirizzo per l'efficienza energetica nel patrimonio culturale | Guidelines for energy efficiency in the cultural heritage", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 12, pp. 65-73. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techne-19336 [Accessed 11 September 2024].

Bianconi, F. and Filippucci, M. (eds) (2019), *Digital Wood Design – Innovative Techniques of Representation in Architectural Design,* Springer, Cham. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-03676-8 [Accessed 11 September 2024].

Blanc, F. (2020), "Patrimoni in divenire – Progettare la loro rigenerazione | Heritages in progress – Designing their regeneration", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 8, pp. 54-63. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/852020 [Accessed 16 September 2024].

Bonazza, A., Gaddi, R. and Sardella, A. (2023), "Cambiamenti climatici e patrimonio culturale – Metodi e strumenti di protezione e valutazione del rischio", in *Materiali e Strutture | Problemi di conservazione*, vol. 24, pp. 89-110. [Online] Available at: edizioniquasar.it/products/materiali-e-strutture [Accessed 16 September 2024].

Bonazza, A. and Sardella, A. (2023), "Climate Change and Cultural Heritage – Methods and Approaches for Damage and Risk Assessment Addressed to a Practical Application", in *Heritage*, vol. 6, issue 4, pp. 3578-3589. [Online] Available at: doi.org/10.3390/heritage6040190 [Accessed 11 September 2024].

Bretti, G. and Ceseri, M. (2023), "Climate Change Effects on Carbonation Process – A Scenario-Based Study", in *Heritage*, vol. 6, issue 1, pp. 236-257. [Online] Available at: doi.org/10.3390/heritage6010012 [Accessed 11 September 2024].

Brimblecombe, P. and Richards, J. (2022), "Moisture as a Driver of Long-Term Threats to Timber Heritage – Part II – Risk Imposed on Structures at Local Sites", in *Heritage*, vol. 5, issue 4, pp. 2966-2986. [Online] Available at: doi.org/10.3390/heritage5040154 [Accessed 11 September 2024].

Bruno, S. and De Fino, M. (2021), "Decision-making for historic building diagnosis by logical inference in HBIM approach – The case of onsite inspection of timber elements", in *SCIRES-IT | SCIentific RESearch and Information Technology*, vol. 11, issue 2, pp. 67-82. [Online] Available at: dx.doi.org/10.2423//i22394303v11n2p67 [Accessed 11 September 2024].

Buda, A. (2023), *Conservazione ed efficienza energetica dell'edilizia storica – Uno strumento operativo per le scelte di progetto*, Nardini Editore, Firenze.

Carbonara, G. (2021a), "La 'Valorizzazione' – Per una rinnovata vitalità dei monumenti | 'Valorisation' – For a renewed vitality of the monuments", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 9, pp. 54-61. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/952021 [Accessed 11 September 2024].

Carbonara, G. (2021b), "La 'sostenibilità' come nuovo parametro del Restauro | Sustainability as a new parameter in restoration", in *Recupero e Conservazione Magazine – Restauro e Sostenibilità | Heritage and Sustainability*, numero speciale, pp. 98-107. [Online] Available at: recmagazine.it/magazine/focus.html [Accessed 11 September 2024].

CEN EN 16883:2017 (2017), *Conservation of cultural heritage – Guidelines for improving the energy performance of historic buildings*. [Online] Available at: standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/189eac8d-14e1-4810-8ebd-1e852b3effa3/en-16883-2017?srsltid=AfmBO-orNbN1030l8DlaNq1eJxUoRAfjGngiUk1M8znY-FCKAGmMIoLcB [Accessed 11 September 2024].

Chinellato, F. (1985), *Tipologia e tecnologia dell'habitat rurale in Friuli*, Università degli Studi di Udine, Dipartimento di Urbanistica e Pianificazione, Udine.

Chinellato, F. and Croatto, G. (2002), *Percorsi di Architettura spontanea dalla Valcellina alla Val Colvera*, vol. 1, Forum, Udine.

Choidis, P., Kraniotis, D., Lehtonen, I. and Hellum, B. (2021), "A Modelling Approach for the Assessment of Climate Change Impact on the Fungal Colonization of Historic Timber Structures", in *Forests*, vol. 12, issue 7, article 819, pp. 1-28. [Online] Available at: doi.org/10.3390/f12070819 [Accessed 11 September 2024].

Climate Change and Cultural Heritage Working Group (2019), *The Future of Our Pasts – Engaging Cultural Her-*

itage in Climate Action – Outline of Climate Change and Cultural Heritage, ICOMOS, Paris. [Online] Available at: icomos.org/en/77-articles-en-francais/59522-icomos-releases-future-of-our-pasts-report-to-increase-engagement-of-cultural-heritage-in-climate-action [Accessed 11 September 2024].

Curtis, R. and Snow, J. H. (eds) (2016), *Short Guide – Climate change adaptation for traditional buildings*, Historic Environment Scotland, Edinburgh. [Online] Available at: historicenvironment.scot/archives-and-research/publications/publication/?publicationId=a0138f5b-c173-4e09-818f-a7ac00ad04fb [Accessed 11 September 2024].

Del Curto, D., Garzulino, A. and Turrina, A. (2024), "Sostenibilità e transizione energetica – Prospettive per un approccio integrato al Patrimonio costruito | Sustainability and energy transition – Perspectives for an integrated approach to the built heritage", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 114-123. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/158 2024 [Accessed 11 September 2024].

Della Torre, S. (2003), "La conservazione programmata – Una strategia per il patrimonio storico-architettonico", in *La conservazione programmata del patrimonio storico architettonico – Linee guida per il piano di manutenzione e consuntivo scientifico*, Edizioni Angelo Guerini e Associati, Milano, pp. 15-20.

European Commission | Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture (2022), *Strengthening Cultural Heritage Resilience for Climate Change – Where the European Green Deal meets Cultural Heritage*, Publications Office of the European Union. [Online] Available at: op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/4bfcf605-2741-11ed-8fa0-01aa75ed71a1/language-en [Accessed 11 September 2024].

Falzetti, A. and Minuto, G. (2023), "L'anima sostenibile del passato – Imparare dal presente per rigenerare spazi urbani inattuali | The sustainable soul of the past – Learning from the present to regenerate outdated urban spaces", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design,* vol. 13, pp. 109-118. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1392023 [Accessed 11 September 2024].

Fiorani, D. (2023), "Cambiamenti del clima e conservazione del patrimonio – Nodi e strategie per una gestione possibile", in *Materiali e strutture | Problemi di conservazione*, vol. 24, pp. 5-8. [Online] Available at: edizioniquasar.it/collections/materiali-e-strutture/products/materiali-e-strutture [Accessed 11 September 2024].

Fiorani, D., Acierno, M., Donatelli, A., Martello, A. and Cutarelli, S. (2023), *Centri storici, digitalizzazione e restauro – Applicazioni alle ultime normative della Carta del Rischio*, vol. II, Sapienza Università Editrice, Roma. [Online] Available at doi.org/10.13133/9788893772778 [Accessed 11 September 2024].

Fiorani, D., Acierno, M., Donatelli, A., Cutarelli, S. and Martello, A. (2022), *Centri storici, digitalizzazione e restauro – Applicazioni e prime normative della Carta del Rischio*, vol. I, Sapienza Università Editrice, Roma. [Online] Available at doi.org/10.13133/9788893772082 [Accessed 11 September 2024].

GBC – Green Building Council Italia (2016), *GBC Historic Building – Manuale CBC Historic Building – Per il restauro e la riqualificazione sostenibile degli edifici storici*, GBC Italia, Rovereto. [Online] Available at gbcitalia.org/-wp-content/uploads/2021/08/Manuale-GBC-HB-2016-mar21.pdf [Accessed 11 September 2024].

Germanà, M. L. and Anania, F. (2020), "Incompiuto, una nuova linea di partenza – Progettare la differenza per un futuro sostenibile | Unfinished Buildings, a new point of departure – Designing difference for a sustainable future", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 8, pp. 148-159. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/8142020 [Accessed 11 September 2024].

Guidetti, E. and Massarente, A. (2021), "Configurazioni, deformazioni, mutazioni – Criteri di analisi morfologica nel riuso adattivo | Configurations, deformations, mutations – Criteria of morphological analysis in adaptive reuse", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 9, pp. 82-91. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/982021 [Accessed 11 September 2024].

Hernández-Montes, E., Hdz-Gil, L., Coletti, C., Dilaria, S., Germinario, L. and Mazzoli, C. (2023), "Prediction Model for the Evolution of the Deterioration of Bricks in Heritage Buildings in Venice Caused by Climate Change", in *Heritage*, vol. 6, issue 1, pp. 483-491. [Online] Available at: doi.org/10.3390/heritage6010025 [Accessed 11 September 2024].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2023), *AR6 Synthesis report – Climate Change 2023*. [Online] Available at: ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/ [Accessed 11 September 2024].

Kehr, J. S. (2013), *Conservation Plan – A guide to the preparation of conservation plans for places of European cultural significance*, Australia ICOMOS, Melbourne. [Online] Available at: openarchive.icomos.org/id/eprint/-2146/-1/ICOMOS-Australia-The-Conservation-Plan-7th-Edition.pdf [Accessed 11 September 2024].

Libralato, M., De Angelis, A., D'Agaro, P., Cortella, G. and Saro, O. (2021), "Multiyear hygrothermal performance simulation of historic building envelopes", in *IOP Conference Series | Earth and Environmental Science*, vol. 863, article 012045, pp. 1-8. [Online] Available at: doi.org/10.1088/1755-1315/863/1/012045 [Accessed 11 September 2024].

Marini, S. (2023), "In sezione dentro la teoria | In section inside the theory", in *Dromos – Sguardi sulla teoria italiana della progettazione architettonica | Views on the italian theory of architectural design*, vol. 10, Altralinea, Firenze, pp. 14-15.

MASE – Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2023), *Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*. [Online] Available at: mase.gov.it/notizie/clima-approvato-il-piano-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici [Accessed 11 September 2024].

MATTM – Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (2015), *Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*. [Online] Available at: mase.gov.it/notizie/strategia-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici-0 [Accessed 11 September 2024].

Megarry, W. and Hadick K. (2021), "Lessons from the Edge – Assessing the impact and efficacy of digital technologies to stress urgency about climate change and cultural heritage globally", in *The Historic Environment | Policy & Practice*, vol. 12, issue 3-4, pp. 336-355. [Online] Available at: doi.org/10.1080/17567505.2021.1944571 [Accessed 11 September 2024].

MiBACT – Ministero della Cultura (2015), *Linee di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel Patrimonio Culturale – Architettura, centri e nuclei storici e urbani*. [Online] Available at: soprintendenzapdve.beniculturali.it/la-soprintendenza-informa/atti-di-indirizzo/linee-guida-di-indirizzo-per-il-miglioramento-dellefficienza-energetica-nel-patrimonio-culturale/ [Accessed 11 September 2024].

Moioli, R. (2023)*, La Conservazione preventiva e programmata – Una strategia per il futuro – Premesse, esiti e prospettive degli interventi di Fondazione Cariplo sul territorio*, Nardini Editore, Firenze.

Muradov, M., Kot, P., Markiewicz, J., Lapiński, S., Tobiasz, A., Onisk, K., Shaw, A., Hashim, K., Zawieska, D. and Mohi-Ud-Din, G. (2022), "Non-destructive system for in-wall moisture assessment of cultural heritage buildings", in *Measurement*, vol. 203, article 111930, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111930 [Accessed 11 September 2024].

Porzilli, S. and Bertocci, S. (2019), "3D Digital Systems for the Documentation and Representation of the Wooden Heritage Between Finland and Russia – Survey Methods and Procedures for Detailed Analysis", in Bianconi, F. and Filippucci, M. (eds), *Digital Wood Design – Innovative Techniques of Representation in Architectural Design*, Springer, Cham, pp. 565-593. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-03676-8_22 [Accessed 11 September 2024].

Potts, A. (2021), *European Cultural Heritage Green Paper – Putting Europe's shared heritage at the heart of the European Green Deal – Executive Summary*, Europa Nostra, The Hague and Brussels. [Online] Available at: fondazionescuolapatrimonio.it/wp-content/uploads/2021/03/European-Cultural-Heritage-Green-Paper_Executive-Summary.pdf [Accessed 11 September 2024].

Presidente del Consiglio dei Ministri (2011), "DPCM 9 febbraio 2011 – Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008", in *Gazzetta Ufficiale*, n. 47 del 26/02/2011, suppl. ord. n. 54. [Online] Available at: veneto.cultura.gov.it/normativa-e-disposizioni/dpcm-9-febbraio-2011-valutazione-e-riduzione-del-rischio-sismico-del [Accessed 11 September 2024].

Richards, J. and Brimblecombe, P. (2022), "Moisture as a Driver of Long-Term Threats to Timber Heritage – Part I – Changing Heritage Climatology", in *Heritage*, vol. 5, issue 3, pp. 1929-1946. [Online] Available at: doi.org/10. 3390/heritage5030100 [Accessed 11 September 2024].

Riggio, M., D'Ayala, D., Parisi, M. A. and Tardini, C. (2018), "Assessment of heritage timber structures – Review of standards, guidelines and procedures", in *Journal of Cultural Heritage*, vol. 31, pp. 220-235. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.culher.2017.11.007 [Accessed 11 September 2024].

Sardella, A., Palazzi, E., von Hardenberg, J., Del Grande, C., De Nuntiis, P., Sabbioni, C. and Bonazza, A. (2020), "Risk Mapping for the Sustainable Protection of Cultural Heritage in Extreme Changing Environments", in *Atmosphere*, vol. 11, issue 7, article 700, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.3390/atmos11070700 [Accessed 11 September 2024].

Sesana, E., Gagnon, A. S., Ciantelli, C., Cassar, J.-A. and Hughes, J. J. (2021), "Climate change impacts on cultural heritage – A literature review", in *WIREs Climate Change*, vol. 12, issue 4, article e710, pp. 1-29. [Online] Available at: doi.org/10.1002/wcc.710 [Accessed 11 September 2024].

Tarpino, A. (2016)*, Il Paesaggio fragile – L'Italia vista dai margini*, Einaudi Editore, Torino.

Trovò, F. (2022), "Tra sostenibilità ambientale e contrasto ai cambiamenti climatici – Quali scenari per il Restauro?", in AA.VV., *Atti Convegno SBC 2022 – La qualità dell'intervento sui beni culturali – Attualità, problemi e prospettive*, Arcadia Ricerche, Venezia, pp. 313-325. [Online] Available at: arcadiaricerche.eu/prodotto/atti-convegno-sbc-2022-la-qualita-dellintervento-sui-beni-culturali/ [Accessed 11 September 2024].

UN – United Nations (2015), *Transforming our world – The Agenda 2030 for Sustainable Development*. [Online] Available at: sdgs.un.org/2030agenda [Accessed 11 September 2024].

UNDRR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction (2022), *Technical guidance on comprehensive risk assessment and planning in the context of climate change*. [Online] Available at: undrr.org/publication/technical-guidance-comprehensive-risk-assessment-and-planning-context-climate-change [Accessed 11 September 2024].

UNI EN 15898:2019 (2019), *Conservation of cultural heritage – Main general terms and definitions*. [Online] Available at: store.uni.com/en/uni-en-15898-2019 [Accessed 11 September 2024].

Velo, L. and Cervesato, A. (2023), "Moduli compositivi – Prospettive per antichi patrimoni verso la transizione ecologica | Project modules – Prospects for ancient heritage towards ecological transition", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 116-125. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1492023 [Accessed 11 September 2024].

Yang, X., Grussenmeyer, P., Koehl, M., Macher, H., Murtiyoso, A. and Landes, T. (2020), "Review of built heritage modelling – Integration of HBIM and other information techniques", in *Journal of Cultural Heritage*, vol. 46, pp. 350-360. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.culher.2020.05.008 [Accessed 11 September 2024].

ARCHITECTURE
Essays & Viewpoint

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 144-155
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/16122024

Article Info

Received 21 September 2024
Revised 11 November 2024
Accepted 12 November 2024
Published 30 December 2024

PATRIMONIO PER UN FUTURO SOSTENIBILE
Il principio teorico della reversibilità e i suoi riflessi in architettura

HERITAGE FOR A SUSTAINABLE FUTURE
The theoretical principle of reversibility and its reflections on architecture

Roberta Fonti

Abstract

Il tema della reversibilità in architettura è inquadrato focalizzando l'attenzione sul tema dell'aggiunta del nuovo all'esistente e su come questa 'immissione' possa essere resa reversibile nell'ottica di preservare la preesistenza in relazione alle idee gemmate nella cultura italiana del Restauro e di promuoverne nuove idee nella progettazione architettonica e nel riuso sostenibile di materiali edili, a seconda delle diverse stagioni del Kunstwollen. Le esperienze, che il contributo espone criticamente, sono orientate verso la possibilità di assicurare l'effettiva reversibilità degli interventi, mentre si affronta il tema della progettazione di elementi architettonici reversibili e si rivisitano tecniche e materiali tradizionali, reinterpretati sotto una chiave inedita, anche in relazione ai temi dell'incremento demografico e del bisogno crescente di 'flessibilità' propri dell'era contemporanea.

The theme of reversibility in architecture focuses on the addition of the new to the existing and how this 'input' can be made reversible to preserve the pre-existing ideas budding in the Italian culture of Restoration and promoting new ideas in architectural design and the sustainable reuse of building materials, according to the different seasons of Kunstwollen. The experiences, which the contribution critically exposes, are oriented towards the possibility of ensuring the effective reversibility of interventions while addressing the theme of the design of reversible architectural elements and revisiting traditional techniques and materials, reinterpreted in a new key, also about the themes of demographic increase and the growing need for 'flexibility' typical of the contemporary era.

Keywords

riuso, reversibilità, circolarità, flessibilità, aggiunta

reuse, reversibility, circularity, flexibility, addition



Roberta Fonti, Architect and PhD, is a Research Associate at the Department of Architecture, School of Engineering and Design Technical University of Munich (Germany). She conducts research mainly in the field of restoration and architectural theory; she has worked as a designer and consultant for public and governmental bodies. E-mail: roberta.fonti@tum.de

La reversibilità è uno dei temi fondamentali con cui si sono confrontate generazioni di architetti e conservatori, ed è in effetti un'enucleazione teoretica propria della disciplina del Restauro. Il concetto di reversibilità nel Restauro, spesso accostato a quello della 'distinguibilità' dell'intervento, ha dimostrato una natura mutabile nel tempo e ha sostenuto l'opportunità che la rimozione non implichi alcuna sottrazione di materia storica e che la riconoscibilità dell'integrazione sia resa evidente anche con una semplice incisione della data di realizzazione del nuovo elemento nella preesistenza. Così è accaduto a Venezia nel Palazzo Ducale, nella Cattedrale di Milano e nel Duomo di Colonia, ma anche a Santa Maria del Fiore, dove la facciata monumentale è un completamento novecentesco, o in altri interventi eseguiti in ragione della 'armonia' stilistica.

La reversibilità ha trovato ampia applicazione nel restauro delle superfici architettoniche, con particolare riferimento alle pitture murali, e delle opere d'arte (Baldini, 1978), rispondendo all'esigenza di distinguere le reintegrazioni nell'opera preesistente, intese come atto di rimodulazione critica delle lacune[1] (Fig. 1), garantendone la reversibilità. Sebbene siano emersi in Italia nell'ambito del Restauro e dunque siano connessi al tema delle reintegrazioni delle lacune, i lineamenti concettuali del principio della 'reversibilità' sono stati trasposti a questioni di più ampia portata, non solo limitate alle reintegrazioni di componenti strutturali perdute, ma estese anche all'aggiunta, ovvero all'innesto di nuova 'materia', nelle fabbriche architettoniche esistenti.

Tuttavia nel panorama internazionale la sua applicazione ha incontrato significative limitazioni, dovute alle difficoltà concrete nel rendere reversibile il carattere dell'intervento, e solo raramente ha trovato riscontro pratico nella realtà professionale di architetti e restauratori. Operando sul Patrimonio architettonico la questione è resa ulteriormente problematica dalla necessità che le applicazioni garantiscano la stabilità strutturale, ovvero forniscano un'adeguata risposta sia alle azioni dinamiche degli agenti esterni che dei terremoti, senza trascurare le azioni eccezionali dovute al fuoco, ma anche ai carichi ordinari assegnati a seconda delle diverse classi d'uso; ulteriori questioni sembrano emergere se l'intervento reversibile si confronta con le nuove sfide legate al cambiamento climatico e al riscaldamento globale.

Dalla teoresi della reintegrazione di una parte dell'opera perduta, nel tempo, e soprattutto a seguito di più duttili interpretazioni della Carta di Venezia del 1964 (Lamaire, 1995) legate alla necessità di messa in valore dei Beni architettonici, si è assistito all'evolversi del concetto di reversibilità nella direzione degli adeguamenti e delle aggiunte rese necessarie dalla volontà di rivitalizzare i fabbricati storici nell'ambito sociale cui appartengono, reinserendoli nella coscienza comune in una dimensione d'uso di senso attuale. In quest'ottica l'aggiunta e la sua reversibilità diventano la prospettiva verso la quale i progettisti sono rivolti nel tentativo di raggiungere un compromesso soddisfacente fra l'esigenza conservativa del manufatto storico e la sicurezza dell'aggiunta 'reversibile' stessa.

Questo problema si pone in maniera ancora più esacerbata se si guarda alle centinaia di coperture installate negli ultimi decenni in aree archeologiche. Si possono richiamare esempi di strutture progettate insistendo sul Bene archeologico stesso, con diversi livelli di reversibilità (Minissi, 1988) a seconda dello stato 'allotropico' del Bene (Brandi, 2001), ovvero delle priorità legate al rudere quale oggetto di contemplazione o alle opere d'arte in esso contenute (come ad esempio gli apparati musivi), da preservare mantenendo l'orografia del suolo archeologico pressoché inviolata e garantendo un grado di reversibilità dell'intervento maggiore rispetto alle più recenti installazioni[2]. Le invasive perforazioni alterano sovente le storicizzate topografie di scavo, anch'esse da preservare, indirizzando l'intervento verso l'ottenimento di un'immagine del sito che va oltre la realtà delle rovine; esse si legano indissolubilmente ai suoi 'amministratori' o a questioni di gusto: questioni centrali dunque che trovano nel fondamentale contributo di Alois Riegl alcune illuminate anticipazioni e temi ancora oggi attuali.

Per Riegl (1903) ciò che è ammesso da una generazione può non essere accolto da un'altra, che tenderà a decidere autonomamente a seconda della dimensione estetica in cui si riconosce e a modificare (anche irreversibilmente) la condizione e l'immagine delle opere. A tal proposito si può ricordare che il ciclo giottesco delle storie della Vera Croce nella Basilica di San Francesco in Arezzo è stato obliterato alla vista per secoli; soltanto in tempi di revival medievale si è deciso di far riemergere ciò che oggi è un'opera d'arte ammirata da molti, ma al prezzo della totale distruzione di ogni apparato decorativo sovrapposto nel corso dei secoli. Anche nella Chiesa di Santa Maria in Cosmedin a Roma è stata demolita la facciata del Sardi, completamente rimossa per dar luce alle fattezze paleocristiane e medievali del monumento.

La natura di questi interventi si lega sovente al soddisfacimento del bisogno di codificare uno stile identitario nazionale, con esiti che comportano estese demolizioni e ricostruzioni di ciò che appare non integro dietro la veste barocca. In questo senso è emblematico il commento del Giovannoni (1929) che denota un pentimento dello stesso circa la decisione drastica della rimozione della facciata, a pochi decenni dall'intervento. Anche Camillo Boito (1893) osservava come il far rivivere un'opera nascosta sotto le spoglie barocche e le centinaia di stratificazioni che la caratterizzano non fosse cosa di poco conto.

Richiamando ancora Riegl si evidenzia come i processi di riappropriazione critica di un Bene (Lombardi Satriani, 2004) siano alla base della sua 'conservazione partecipata', sebbene alcuni esempi nella storia attestino approcci talvolta distruttivi. Partendo dalla necessità di dare pari dignità alle stratificazioni storiche di un edificio, ad esempio Brandi richiama il caso del Pantheon di Roma nel suo saggio Il Vecchio sul Nuovo (Brandi et alii, 2005; Brandi, 2007), evidenziando come sia stato errato rimuoverne le 'orecchiette' (ovvero i campanili) e quanto una moderna sensibilità oggi ci spinga a tollerare e ammirare le tracce materiali stratificate del passato. Si ritiene che ciò abbia contribuito ad alimentare la necessità di operare delle 'aggiunte' contraddistinte dal carattere della reversibilità, in grado di rispettare le diverse fasi storiche di un monumento e la sua immagine, per trasmetterlo ai posteri dandogli però 'nuova vita' (Giovannoni, 1929).

Partendo dalle considerazioni appena tracciate il criterio della 'reversibilità' sembra oggi assumere una peculiare centralità in ambito architettonico, con particolare riferimento agli interventi di riuso di edifici atti a soddisfare i nuovi bisogni delle società moderne nei centri storici europei, ma anche rispetto alle questioni emergenti poste dall'insostenibilità ecologica dell'industria dell'acciaio e del cemento armato[3] (European Commission, n.d.) e al crescente bisogno di alloggi[4] (UN, n.d.).

Tra le questioni più problematiche nelle esperienze di conservazione dell'architettura emergono la fruizione dei Beni vincolati e loro variazione d'uso, spesso necessità inderogabile per la rivitalizzazione dei manufatti esistenti in molti centri storici. Il tema dell'adeguamento funzionale viene spesso affrontato sottovalutando gli irreversibili danni causati dall'adattamento degli spazi interni a nuove destinazioni d'uso; in tali circostanze la ricerca di una consonanza perfetta fra architettura esistente e adeguamento funzionale può risultare irraggiungibile per svariate ragioni, ma ciò definisce spesso le premesse che conducono alla necessità dell'aggiunta di nuovi volumi, pur preservando le peculiarità storico-morfologiche delle fabbriche esistenti e l'immagine storicizzata delle facciate[5], così come già rilevato da Giovannoni (1929).

I temi assai rilevanti della 'reintegrazione' e della 'integrazione' sono stati dunque declinati in diverse soluzioni, che spaziano dagli approcci sensibili alle teorie boitiane-giovannoniane delle forme semplici e dell'aggiunta minima agli interventi 'moderni' che lasciano spazio all'impiego di materiali nuovi, spesso in stridente contrasto con le preesistenze (Russo, 2021).

Riflettendo sul dialogo fra architettura moderna e ambienti storici, nel suo saggio Il Linguaggio Moderno dell'Architettura, Zevi (1973) evidenzia la necessità di difendere l'antico minacciato dall'invadenza del nuovo; contemporaneamente non tralascia il rischio che l'affermazione dei valori architettonici contemporanei sia insidiata da datate teorie che reprimono il nuovo, contestando di fatto le tesi giovannoniane. Zevi considera inoltre impossibile conciliare gli antichi valori linguistici con i nuovi per due ragioni: impedire la costruzione di nuovi edifici nei tessuti storici, che vanno tutelati; favorire la realizzazione di opere schiettamente moderne fuori dai tessuti antichi.

Si tratta ancora oggi di questioni, sia nella dimensione teoretica che nella prassi operativa, emergenti e tra le più delicate che gli architetti sono chiamati ad affrontare per adeguare l'esistente e concepire il nuovo, dando un contributo significativo alla riduzione delle emissioni globali dovute al settore edile, responsabile in modo preponderante delle emissioni globali di CO_2, soprattutto per la produzione di materiali quali cemento, acciaio e plastica.

In tale ottica il saggio si pone l'obiettivo di guardare al tema dell'aggiunta in architettura e alla sua reversibilità, sia alla scala dell'edificio che a quella urbana, rivelando il potenziale di questo concetto teorico, fino a questo momento confinato all'ambito del Restauro architettonico, quale applicazione pratica nella progettazione di nuovi edifici, con particolare attenzione ai temi della economia circolare, della rifunzionalizzazione e di nuovi impieghi della pietra da taglio. Pertanto il contributo affronta il tema della reversibilità nell'ambito delle politiche ecologiche globali, del cambiamento climatico e dell'impiego di materiali a impatto ridotto, riportando alcune pratiche di progettazione reversibile e risvolti applicativi nell'edilizia residenziale ancora in fase sperimentale.

Reversibilità, rifunzionalizzazione e cambiamento climatico: alcune questioni | Nonostante i progressi fatti nella ricerca (Giallocosta, 2019; Ness, 2024), ad esempio con il Net-Zero Circular Concrete (KIT, 2024), la nostra capacità di comprendere co-



Fig. 1 | Church of San Pietro la Monte in Civate (credit: R. Fonti, 2021).

me trasformare l'industria delle costruzioni in catene di produzione ecocompatibili è ancora limitata (Antonini, 2019): studi sull'impiego di metalli completamente riciclabili, come il piombo, sono ancora scarsi[6], mentre risulta quasi assente, nel panorama delle soluzioni sostenibili, l'uso di materiali naturali quali la pietra da taglio, presumibilmente a causa dei costi elevati per l'estrazione e il trasporto, ma anche per la mancanza di manodopera specializzata nell'impiego di tecniche un tempo tramandate da generazione in generazione e ormai perdute.

Già nel terzo decennio dello scorso secolo Piacentini (1930) rilevava che il processo di meccanizzazione era in atto: i nuovi materiali artificiali erano preferiti ai naturali e si diffondevano i cementi, i surrogati del legno, il ferro, il linoleum e la gomma, anche in rotoli facilmente trasportabili e più semplici da applicare rispetto ai pavimenti tradizionali. Nel medesimo testo Piacentini (1930, p. 61) faceva presente che «[…] non possiamo essere moderni a tutti i costi [solo perché] ci dobbiamo difendere dal sole cocente e dall'eccessivo caldo per sei mesi dell'anno», ritenendo che in Italia vi era ancora una buona disponibilità di materiali nobili, come pietre, marmi e terre cotte, di semplice lavorazione e a buon mercato. Legambiente (2021) puntualizza che anche il significativo impatto delle attività estrattive sul paesaggio non incentiva tali dinamiche[7]; inoltre le costruzioni in muratura sono spesso percepite come sistemi rigidi nella loro concezione d'insieme, che non consentono modifiche delle aperture o nella distribuzione spaziale degli ambienti interni e che risultano complesse da trasformare al fine di soddisfare i moderni requisiti energetici dei nuovi edifici, anche per via degli ingenti spessori degli apparati murari o dell'umidità di risalita a contatto con i terreni vegetali (Franzoni, 2018).

Ricerche sull'impiego del legno (Di Virgilio, 2023; Romano and Di Monte, 2023) come materiale da costruzione sostenibile, dei materiali argillosi, della terra cruda e dei materiali in fibre naturali, nonostante la loro grande rilevanza, sono considerate esterne allo scopo di questa ricerca poiché s'intende promuovere la sostenibilità in architettura progettando edifici realizzati in pietra, in grado di accelerare l'economia circolare. Allo stesso tempo occorre mitigare l'impatto dell'attività estrattiva sul paesaggio riutilizzando i materiali secondo una catena ecosostenibile che ne estende la vita (Scalisi and Sposito, 2021; Sposito and Scalisi, 2020).

Si ritiene invece indispensabile recuperare la conoscenza perduta sull'impiego della pomice (La Greca, 2009) e incentivare lo studio e gli impieghi del piombo (ELSIA, 2006) al fine di aumentare le prestazioni energetiche degli edifici riducendo al contempo i problemi legati all'umidità di risalita tipica delle opere murarie in pietra da taglio.

In quest'ottica emerge la necessità di rivisitare i sistemi costruttivi in una prospettiva sostenibile, più in sintonia con la cultura locale, il clima e l'ambiente incoraggiando così la mitigazione e l'adattamento al cambiamento climatico (UNESCO, 2023) e ripensandoli in una nuova prospettiva 'circolare' verso forme architettoniche e progetti strutturali capaci di reinventare le città del futuro che a viva voce ci chiedono di ragionare su sistemi completamente reversibili (UNEP, 2024).

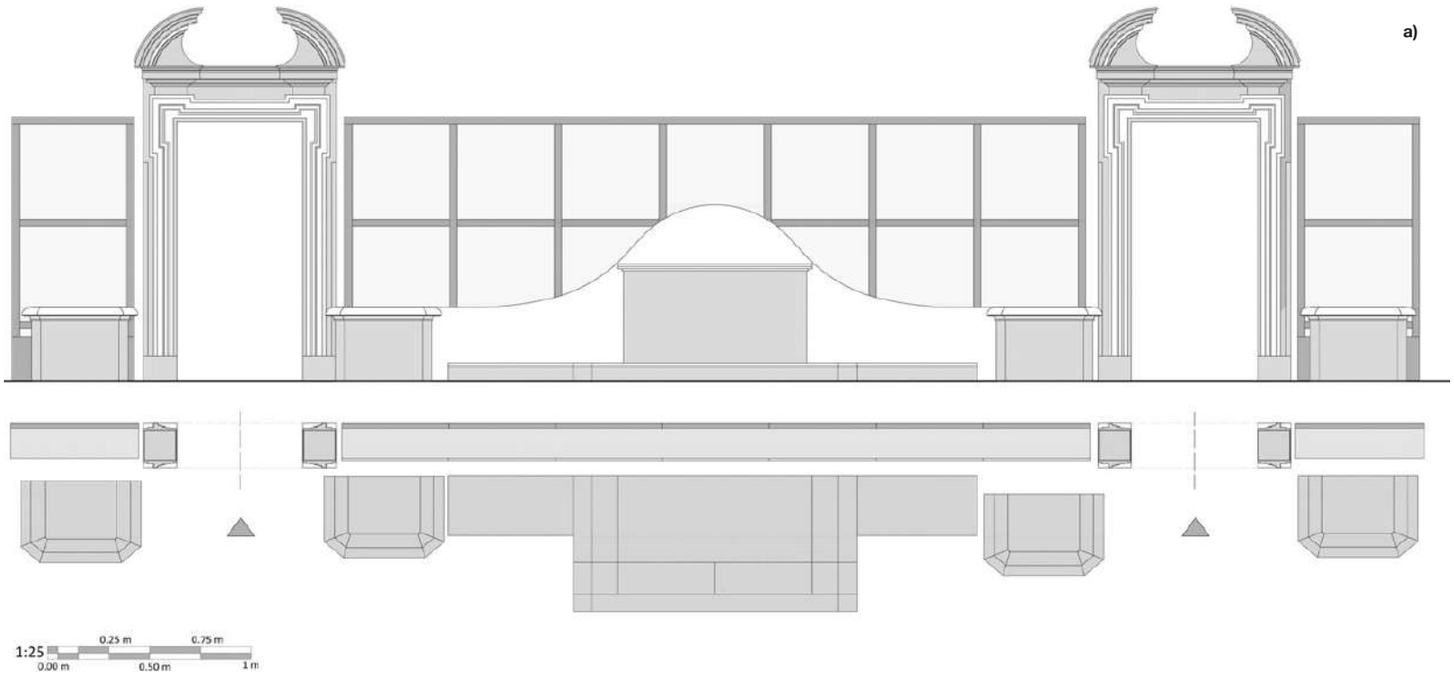
Possibili strategie per il 'restauro reversibile': prime esperienze | Nel 2016 si sono svolti gli interventi di restauro e adeguamento dell'altare maggiore della Chiesa di San Cajetan a Monaco di Baviera[8]: la Chiesa presenta dimensioni imponenti con pilastri ed elementi architettonici in stile barocco sopravvissuti alla Seconda guerra mondiale; l'altare maggiore si estende per oltre 13 metri, si eleva per 4 metri di altezza ed è completato da quattro sculture disposte tra due porte monumentali (Fig. 2a).

Dopo la Seconda guerra mondiale l'edificio è rimasto incompiuto per circa settant'anni e le quattro grandi sculture centrali sono state riportate nella loro posizione soltanto negli anni 2000. Il riposizionamento delle statue nel loro originario contesto è stato affrontato con nuove strategie: pur nel rispetto della cornice storica l'ambientazione ha previsto l'aggiunta di alcuni elementi che esplicitano l'intento di connotare il 'nuovo' carattere della Chiesa di San Cajetan valorizzando il suo antico altare maggiore (Fig. 2b).

In particolare è stata ideata una sorta di quinta scenica costituita dall'accostamento di una griglia rigida in legno a un diaframma di tessuto, che funge da sfondo e disvela un motivo estetico a doppia faccia. La parte anteriore presenta un disegno geometrico che, simile a una predella, è diviso in sette pannelli verticali, mentre la parte posteriore lascia spazio a una superficie interamente dorata composta da un tessuto che corre dall'alto verso il basso (Fig. 2c); questa sorta di retablo serve da predella per la pala d'altare posizionata alle sue spalle. I profili in legno sono sviluppati secondo una serie di elementi privi di decorazione (Fig. 2d), con elementi di rinforzo cruciformi (Fig. 2e), la cui sequenza è interrotta, nel 2018, da due porte monumentali progettate con profili ispirati alla tradizione barocca, che interrompono la linearità del disegno attraverso i loro elementi decorativi (Fig. 3). È stato inoltre progettato un elemento curvo che dona centralità al tabernacolo e ha lo scopo di evocare nuovamente l'idea di un tabernacolo sferico (Fig. 4).

Le quattro sculture sono state inoltre poste su nuove basi (Fig. 5) e, contrariamente al progetto originario, adattate alle quattro diverse dimensioni dei busti; il nucleo interno della base è realizzato in legno e posato in opera in forma di piastre, impilate e collegate mediante connettori verticali in legno. Il progetto dell'altare nel suo complesso è caratterizzato da un design completamente reversibile: ogni elemento è stato installato a pavimento in una composizione bilanciata di volumi semplicemente appoggiati e zavorrati alla base, utilizzando piastre di legno e cemento nascoste negli elementi inferiori (Fig. 6). Lo stesso sistema è stato utilizzato per definire i pilastri delle due porte, riuscendo anche a stabilizzare le aperture senza praticare alcun foro di fondazione lungo la pavimentazione nonostante gli elevati rapporti di snellezza fra gli elementi.[9]

Il secondo caso studio si lega alle misure di 'conservazione preventiva' per le necropoli di Porta No-





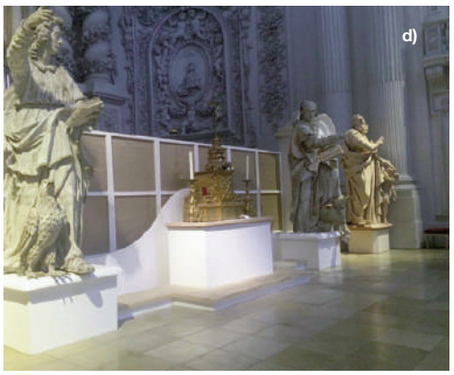




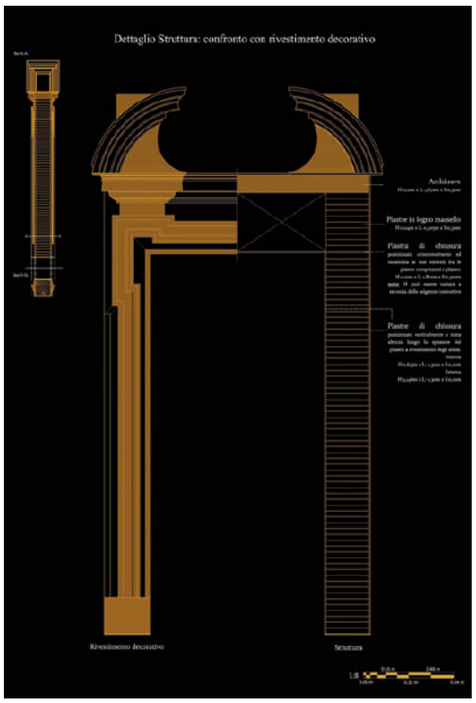








Fig. 2 | The new temporary high altar, a mediation between a design devoted to the restoration of the altar in its Baroque features and a design in simple forms limited to a few signs and aimed at giving equal dignity to each historical phase through the use of textile materials and wood: a) project; b) overall photo of end of work; c) detail photo of the simple elements area of the presbytery reserved for the Theatine monks; d) front view of the part exposed to the public; e) details (credit: R. Fonti, 2018)



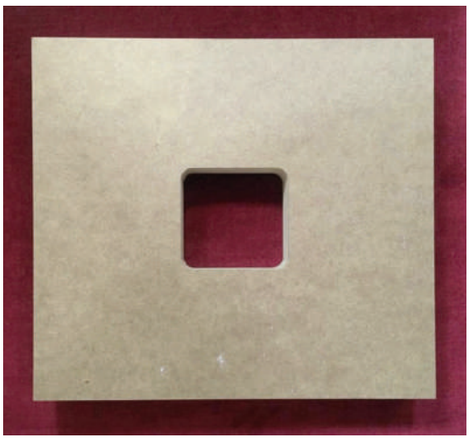


Fig. 3 | Theatini Church: monumental altar doors, project (credits: R. Fonti, 2018).

cera e via Nucerina a Pompei, dove è stata prevista nel 2017 una tipologia innovativa di copertura protettiva con fondazioni reversibili, zavorrate in piombo e corten, finanziata da Phoenix Pompeji e.V. di Monaco di Baviera[10]. Tale copertura, oltre ad essere stata concepita nel rispetto del criterio della reversibilità, ottempera ai seguenti sette principi guida alla progettazione: 1) impiego di materiali compatibili con le condizioni ambientali del sito, ma senza prescindere dal principio di massima riconoscibilità dell'intervento; 2) impiego di materiali resistenti agli agenti atmosferici; 3) disegno modulare e adattabilità alle diverse topografie dei terreni; 4) affidabilità strutturale sotto carichi ordinari, straordinari ed eccezionali; 5) cantierabilità del progetto in zona archeologica, trasportabilità manuale degli elementi e assemblaggio con l'ausilio di semplici trabattelli; 6) costi di manutenzione estremamente ridotti o assenti; 7) costi di realizzazione ammortizzati da quelli di manutenzione ed alta qualità dei materiali impiegati.

Per il vincolo di base del sistema di copertura protettiva si è scelto l'impiego di elementi in acciaio corten e piombo, con connessioni base-colonna di tipo a cerniera, appoggiati direttamente sul suolo archeologico, concepiti per lavorare in attrito e stabilizzati alla traslazione orizzontale grazie all'impiego di contrappesi in piombo. La struttura principale della copertura è stata progettata per lavorare in campo elastico, secondo un modello di rotazione rigida della colonna e momento zero alla base (Fig. 7). La scelta del piombo, oltre ad essere basata su necessità estetico-architettoniche, è volta a minimizzare l'altezza complessiva della base per via del suo peso specifico; inoltre il suo impiego è stato preferito sia per la versatilità (elementi impilabili, facilmente trasportati a mano e assemblati in situ) che per le qualità ecosostenibili, se impiegato nella forma di pani di piombo e lastre (Fig. 8).

REversible BUildings for Sustainable and temporary cities (REBUS) | Passando ora a contestualizzare i temi della sostenibilità e della reversibilità, già centrali nelle discipline della conservazione del Patrimonio storico, nell'ambito della nuova architettura (anche per favorirne l'accostamento all'antico) è possibile richiamare i lineamenti della ricerca REversible BUildings for Sustainable and temporary cities (REBUS), sviluppata nell'ambito del progetto europeo EUQTCollider che ne ha finanziato una prima fase tuttora in via di svolgimento[11]. La ricerca si pone l'obiettivo di progettare unità abitative, isolate o in serie, completamente reversibili, ma allo stesso tempo stabili e confortevoli, concepite per essere realizzate sia in contesti rurali che cittadini. Questa tipologia di edifici completamente reversibili, ora in fase sperimentale, è concepita per rispettare il nostro Pianeta affrontando le nuove sfide del cambiamento climatico, della globalizzazione e della crescita demografica, le note questioni derivanti da fenomeni migratori, della messa in valore del Patrimonio architettonico esistente (Lauria and Azzalin, 2021) e del bisogno sempre crescente di alloggi della società odierna (Pieper, 2024), il tutto in un'ottica di mobilità continua tra nazioni e continenti diversi.

In risposta a queste sfide gli edifici REBUS sono concepiti in pietra, stabili ma smontabili, e senza fondazioni che alterino la morfologia del suolo grazie all'impiego di materiali come il piombo e la pomice derivante dal riciclo delle bottiglie[12]. Il sistema costruttivo è ispirato alla progettazione dei templi di età antica poiché sfrutta l'impiego della pietra da taglio incastrata e posata in opera a secco, secondo configurazioni stabili d'equilibrio basate sul bilanciamento dei pesi con fondazioni di tipo continuo superficiali che, assumendo la forma di un'ampia piattaforma di base continua, ricordano il profilo di un crepidoma[13]. Il sistema, se necessario, può essere stabilizzato da un vincolo laterale, ovvero da una fasciatura metallica, mentre i muri vengono inseriti in apposite sagomature create nella piattaforma, rivestite di piombo e atte ad accogliere i paramenti verticali. La piattaforma è destinata a funzionare anche come blocco di base in grado di ospitare condutture impiantistiche di varia natura.

Il piombo riciclato – materiale che possiede il più elevato peso specifico mai scoperto in natura – sarà utilizzato come zavorra e isolatore termico, posto in opera sotto forma di pani, in punti specifici, in modo da funzionare come carico concentrato o distribuito nelle sommità murarie, così da stabilizzarle contro azioni dinamiche quali vento o terremoti e carichi eccentrici, ma anche per proteggere le creste murarie dagli agenti atmosferici. Inoltre le lastre di piombo posizionate alla base dei muri proteggeranno le murature da eventuali fenomeni di umidità di risalita, migliorando di conseguenza le prestazioni energetiche globali dell'edificio. In aggiunta è previsto l'uso di vetro riciclato e rimodellato in forma di blocchi di pomice artificiale nelle parti interne delle pareti per migliorare il comfort termico negli edifici e soddisfare i più moderni requisiti energetici in edilizia (Fig. 9).

Pavimentazioni e coperture sono progettate con l'ausilio del calcestruzzo romano: le coperture piane sono ideate come elementi monolitici modulari con leggera precompressione, applicando strati di pomice inglobati in uno strato di malta di calce e cocciopesto che funge da finitura e posati in opera mediante macchinari pesanti; la precompressione è ottenuta mediante un vincolo laterale, una fasciatura realizzata in piombo a vincolo variabile. L'uso della malta di calce anziché dei calcestruzzi armati favorisce processi di prefabbricazione degli elementi che, grazie al minore tempo di maturazione e presa, permette alla calce di completare i processi di carbonatazione, che sono alla base dell'impatto zero di CO_2 dei materiali prodotti all'interno del ciclo della calce.

Tuttavia vanno valutati alcuni rischi operativi: mentre è ben nota la capacità del cemento armato di funzionare come una piastra e di interporsi tra le pareti in modo da ridistribuire le sollecitazioni in tutta la scatola muraria, la capacità delle lastre a base di calce di funzionare come un corpo rigido durante i processi di posa in opera e reinsediamento è limitata. D'altra parte sappiamo che il cocciopesto è alla base della progettazione del calcestruzzo romano (Lamprecht, 1993): l'ipotesi è che possa funzionare come blocco rigido su una campata piuttosto ampia, indipendente dal supporto in situ, sfruttando una precompressione minima data dalle cinture metalliche all'intorno, così da indurre un comportamento ad arco a spinta eliminata; pertanto, similmente alle volte piane e alle piattebande alla francese, svilupperà una curva delle pressioni interna al suo spessore.

La pomice renderà le lastre più leggere e facilmente trasportabili, adatte a garantire l'abbattimento dei carichi in testa alle costruzioni murarie soddisfacendo, al contempo, i requisiti di resistenza al fuoco. La capacità della pomice di resistere alle sollecitazioni di compressione risulta però limitata; tuttavia in tempi contenuti è possibile rinforzarla con strati di incannucciato posti in opera con colle animali e gesso alabastro[14] e posizionati all'intradosso, soprattutto nelle fasi di trasporto.

Mentre è noto il comportamento nel piano e fuori dal piano delle costruzioni in muratura a secco[15], l'efficacia dei vincoli di base muratura-muratura è ancora sconosciuta, non essendo in possesso di esempi tramandati della trattatistica storica o sui metodi costruttivi tradizionali. Qualora l'uso di questa sorta di 'crepidoma' come blocco di base (in muratura, posto in opera con giunti a secco) non dovesse essere sufficiente a garantire il vincolo di ba-

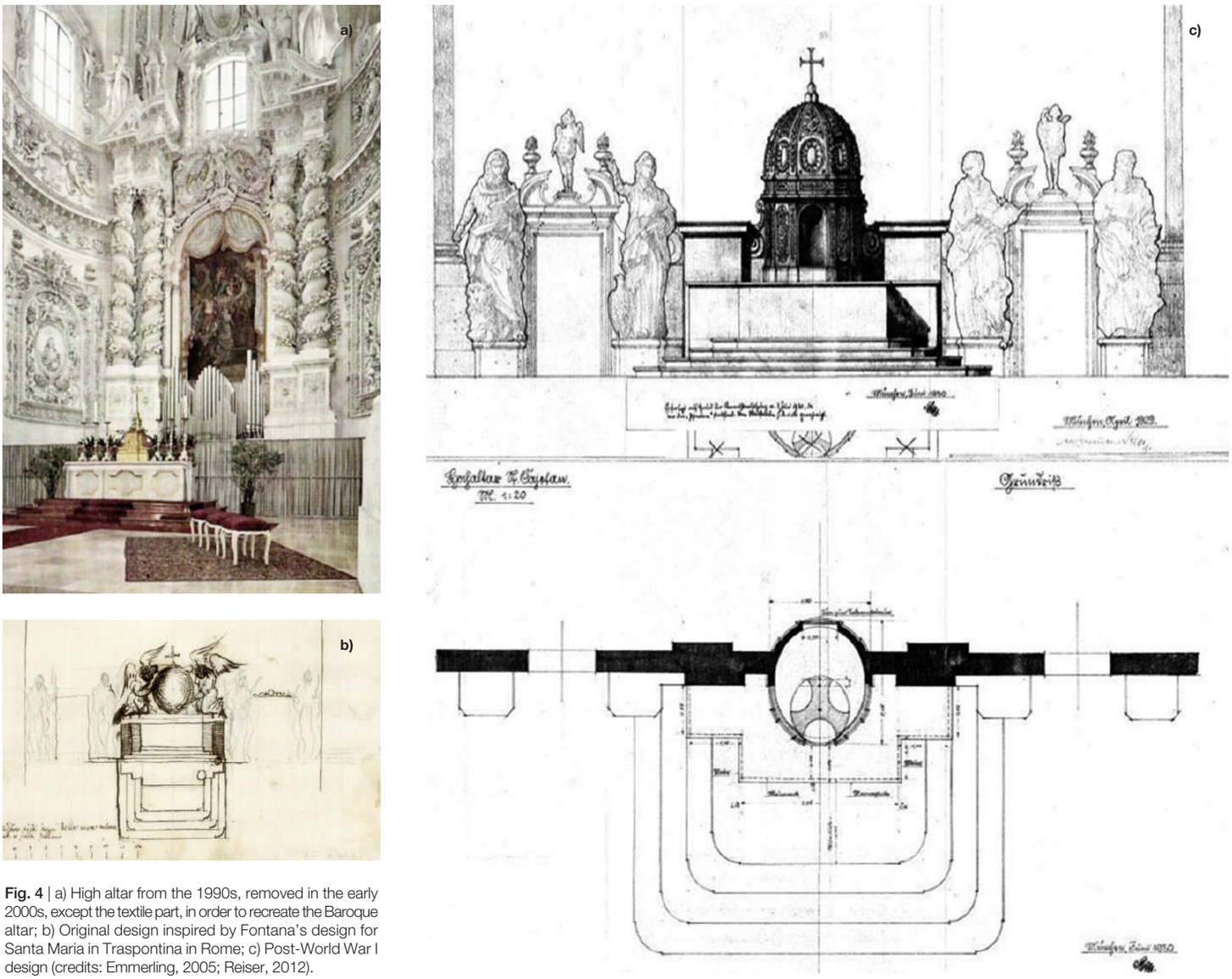


Fig. 4 | a) High altar from the 1990s, removed in the early 2000s, except the textile part, in order to recreate the Baroque altar; b) Original design inspired by Fontana's design for Santa Maria in Traspontina in Rome; c) Post-World War I design (credits: Emmerling, 2005; Reiser, 2012).

se alle murature e fornire loro un equilibrio traslazionale si potrebbe rinforzare il crepidoma con una 'cintura' di piombo posizionata al suo bordo esterno e nascosta dagli scalini di accesso, consentendo al contempo configurazioni flessibili dei muri all'interno dell'intera piattaforma.

Riflessioni conclusive | Il criterio della reversibilità, centrale nella disciplina del Restauro in Italia e in altri Paesi europei, può essere considerato una condizione necessaria alla riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra e di flessibilità abitativa delle società moderne, sia negli interventi sul Patrimonio architettonico che nel progetto di nuovi edifici. Le attività sviluppate nell'ambito della ricerca REBUS, prevedono l'utilizzo esclusivo di materiali naturali e riciclabili come il calcare, il piombo, il vetro e i mattoni, alla base di sistemi costruttivi completamente reversibili, standardizzabili e modulari, in grado di realizzare costruzioni solide in una grande varietà di forme. Si ottengono così edifici facilmente trasferibili e riadattabili grazie all'utilizzo di fondazioni reversibili (no-footings on ground) e di murature poste in opera a secco (no-joint mortar) con diverse tipologie d'incastro.

Le attività di ricerca, che trovano fondamentali premesse nelle due originali esperienze prima richiamate, sono ovviamente rivolte anche alla riattivazione del Patrimonio architettonico esistente che manca di integrità, poiché giunto a noi in stato lacunoso o che richiede una nuova destinazione d'uso. Inoltre la ricerca è orientata verso le problematiche del rinforzo di edifici esistenti per resistere alle azioni del sisma sfruttando i fenomeni di dissipazione legati all'impiego di muratura montata a secco (Lourenço et alii, 2005; Pulatsu et alii, 2019; Vlachakis et alii, 2023) e i sistemi di fondazione reversibili, che lavorano per attrito, ma confinati alle loro estremità.

L'impiego di edifici reversibili offre utili prospettive alle necessità di integrare nei fabbricati esistenti nuovi corpi di fabbrica per integrare le funzioni mancanti. Inoltre, considerati quali 'emergency preparedness measure' (Schreyer, 2023), possono fornire alloggi simili a vere e proprie abitazioni, contribuendo alla riduzione dei costi operativi e all'abbattimento dei tempi di esecuzione (in quanto a secco sono infatti facili da montare), installate direttamente su terreni incontaminati che potranno ritornare tali in futuro, evitando così costi di scavo e trasporto a discarica. I materiali tradizionali e le tecniche costruttive reversibili possono in tal modo contribuire anche alla risoluzione di problemi sociali di estrema rilevanza ed attualità, come l'accessibilità del costo dell'alloggio.

Reversibility is one of the fundamental themes that generations of architects and conservators have grappled with and is, in fact, a theoretical statement proper to the discipline of Restoration. The concept of reversibility in Restoration, often juxtaposed to that of the 'distinguishability' of the intervention, has demonstrated a mutable nature over time and has substantially been oriented in the opportunity that the removal does not imply any subtraction of historical material and that the recognisability of the integration is made evident even with a simple engraving of the date of realisation of the new element in the pre-existence. It was the case in Venice in the Doge's Palace, Milan Cathedral and Cologne Cathedral, but also in Santa Maria del Fiore, where the monumental façade is a twentieth-century completion or in other interventions carried out on account of stylistic 'harmony'.



Fig. 5 | Reversible foundations, wooden ballast elements (credits: R. Fonti, 2018).

Reversibility has found wide application in the restoration of architectural surfaces, with particular reference to wall paintings and works of art (Baldini, 1978). It responds to the need to distinguish reintegrations in the pre-existing work, understood as an act of critical remodelling of the gaps[1] (Fig. 1), guaranteeing their reversibility. Although emerging in Italy in the field of Restoration and thus relating to the theme of reintegration of gaps, the conceptual lineaments of the principle of 'reversibility' have been transposed to broader issues. They are not only limited to the reintegration of lost structural components but also extended to integration, i.e., the addition or grafting of new 'matter' into existing architectural structures.

However, on the international scene, its application has encountered significant limitations due to the practical difficulties in making the character of the intervention reversible, and practical application has rarely been found in the professional reality of architects and restorers. Dealing specifically with the architectural heritage is even more problematic because of the need for applications that guarantee structural stability, i.e. that provide an adequate response to both the dynamic actions of external agents and earthquakes without neglecting the exceptional actions due to fires but also the ordinary loads assigned according to the different classes of use; further problems seem to emerge if the reversible intervention faces the new challenges of climate change and global warming.

From the theory of the reintegration of a part of the lost work, over time, and above all following more ductile interpretations of the Carta di Venezia of 1964 (Lamaire, 1995) linked to the need to enhance the value of architectural heritage, we have witnessed the evolution of the concept of reversibility in the direction of adaptations and additions made necessary by the desire to revitalise historic buildings in the social context to which they belong, reinserting them into the ordinary consciousness in a dimension of use with a current sense. With this in mind, the addition and its reversibility become the perspective towards which designers reach a satisfactory compromise between the preservation needs of the historic building and the safety of the 'reversible' addition itself.

This problem is even more acute considering the hundreds of roofs installed on archaeological sites in recent decades. One can recall examples of structures designed insisting on the archaeological Good itself, with different levels of reversibility (Minissi, 1988) depending on the 'allotropic' state of the Good (Brandi, 2001), i.e. the priorities related to the ruin as an object of contemplation or to the works of art contained therein (such as mosaic apparatuses), to be preserved while maintaining the orography of the archaeological terrain almost intact and guaranteeing a greater degree of reversibility of the intervention than more recent installations[2]. Invasive drilling often alters the historicised topographies of the excavation, which must necessarily remain intact, directing the intervention towards obtaining an image of the site that goes beyond the reality of the ruins and is inseparable from its 'administrators' or questions of taste: central issues, therefore, that find in the fundamental contribution of Alois Riegl some enlightened anticipations and themes that are still relevant today.

For Riegl (1903), what is accepted by one generation may not be accepted by another, who will tend to decide independently depending on the aesthetic dimension in which they recognise themselves and change (even irreversibly) the condition and image of the works. In this regard, it is worth recalling that Giotto's cycle of the Stories of the True Cross in the Basilica of San Francesco in Arezzo lay hidden from view for centuries; only in times of mediaeval revival was it decided to re-emerge what is now a work of art admired by many, but at the price of the destruction of every decorative apparatus superimposed over the centuries. Also, in the Church of Santa Maria in Cosmedin in Rome, Sardi's façade underwent demolition and complete removal to highlight the monument's early Christian and medieval features.

The nature of these interventions frequently relates to satisfying the need to codify a national identity style, with outcomes involving extensive demolitions and reconstructions of what appears intact behind the Baroque guise. In this sense, Giovannoni's (1929) comment is emblematic, denoting his regret about the drastic decision to remove the façade a few decades after the intervention. Camillo Boito (1893) also observed how reviving a work hidden under the Baroque guise and the hundreds of stratifications characterising it was no mean feat.

Recalling Riegl again, the processes of critical reappropriation of an asset (Lombardi Satriani, 2004) are the basis of its 'participatory conservation'. Starting from the need to give equal dignity to the historical stratifications of a building, Brandi, for instance, recalls the case of the Pantheon in Rome in his essay Il Vecchio sul Nuovo (lit. The Old on the New; Brandi et alii, 2005; Brandi, 2007), pointing out how mistaken it was to remove its 'auricles' (i.e. bell towers) and how a modern sensibility nowadays urges us to tolerate and admire the stratified material traces of the past. We believe that this has contributed to the need for 'additions' marked by the character of reversibility, capable of respecting the different historical phases of a monument and its image in order to transmit it to posterity while giving it 'new life' (Giovannoni, 1929).

Starting from the considerations just outlined, the criterion of 'reversibility' seems today to take on a peculiar centrality in the field of architecture, with particular reference to the reuse of buildings to meet the new needs of modern societies in Europe's historic centres, but also concerning the emerging issues posed by the ecological unsustainability of the steel and reinforced concrete industry[3] (European Commission, n.d.) and the growing need for housing[4] (UN, n.d.).

Among the most problematic issues in the experiences of architectural conservation are the use of listed assets and their change of use, often an unavoidable necessity for the revitalisation of existing artefacts in many historic centres. The issue of functional adaptation tends to underestimate the irreversible damage caused by adapting interior spaces to new uses. In such circumstances, the search for a perfect consonance between existing architecture and functional adaptation may be unattainable for various reasons, but this often defines the premises that lead to the need for the addition of new volumes while preserving the historical-morphological peculiarities of the existing buildings and the historicised image of the façades[5], as already noted by Giovannoni (1929). Thus, the highly relevant themes of 'reintegration' and 'integration' have been declined in various solutions, ranging from approaches sensitive to Boitian-Giovannonian theories of simple forms and minimal addition to 'modern' interventions that leave room for the use of new materials, often in stark contrast to the pre-existing (Russo, 2021).

Reflecting on the dialogue between modern architecture and historical environments, in his essay Il Linguaggio Moderno dell'Architettura (lit. The Modern Language of Architecture), Zevi (1973) highlights the need to defend the old threatened by the encroachment of the new, symmetrically. However, he emphasises the risk that the affirmation of contemporary architectural values becomes undercut by outdated theories that repress the new, effectively challenging Johannes' theses. Zevi also considers it impossible to reconcile the old linguistic values with the new for two reasons: to prevent the construction of new buildings in the historic fabric, which must be protected, and to encourage the construction of purely modern works outside the ancient fabric.

These are still emerging issues, both in the theoretical dimension and operational practice, and among the most sensitive ones that architects are called upon to address in order to adapt the existing and conceive the new, making a significant contribution to the reduction of global emissions due to the construction sector, which is overwhelmingly responsible for global CO_2 emissions, especially for the production of materials such as cement, steel and plastics.

With this in mind, the essay sets out to look at the theme of addition in architecture and its reversibility,



Fig. 6 | Reversible foundations, concrete ballast elements (credit: R. Fonti, 2016).



Fig. 7 | The prototype of protective shelter (credit: E. Emmerling, 2017).

both at the scale of the building and at the urban scale, revealing the potential of this theoretical concept, until now confined to the sphere of Architectural Restoration, as a practical application in the design of new buildings, with particular attention to the themes of the circular economy, re-functionalisation and new uses of cut stone. Therefore, the contribution addresses the theme of reversibility in the context of global ecological policies, climate change, and the use of low-impact materials, reporting on some reversible design practices and application implications in residential construction that are still in the experimental phase.

Reversibility, repurposing and climate change: some issues | Despite the progress made in research (Giallocosta, 2019; Ness, 2024), e.g. with Net-Zero Circular Concrete (KIT, 2024), our ability to understand how to transform the construction industry into environmentally friendly production chains is still limited (Antonini, 2019): studies on the use of fully recyclable metals, such as lead, are still scarce[6], while the use of natural materials such as freestone is almost absent from the landscape of sustainable solutions, presumably due to the high costs for extraction and transport, but also due to the lack of skilled labour in the use of techniques once handed down from generation to generation that are now lost.

As early as the third decade of the last century, Piacentini (1930) noted that the process of mechanisation was underway, noting that new artificial materials took preference over natural ones and that cement, wood substitutes, iron, linoleum, and rubber were becoming more widespread, even in rolls that were easily transportable and simpler to apply than traditional flooring. In the exact text, Piacentini (1930) pointed out that 'we cannot be modern at all costs just because we have to defend ourselves from the scorching sun and excessive heat for six months of the year', believing that, in Italy, there was still a good availability of noble materials, such as stone, marble and terra cotta, which were easy to work with and cheap.

Legambiente (2021) points out that even the significant impact of mining activities on the landscape does not favour such dynamics[7]; moreover, masonry buildings tend frequently in their overall conception as rigid systems, which do not allow for the modification of openings or the spatial distribution of interior spaces and which are complex to transform in order to meet the modern energy needs of new buildings, also due to the considerable thickness of the wall apparatus or rising damp in contact with vegetation (Franzoni, 2018).

Research on the use of wood (Di Virgilio, 2023; Romano and Di Monte, 2023) as a sustainable building material, clay materials, unfired earth and natural fibre materials, despite their great relevance, are considered outside the scope of this research, as sustainability in architecture aims to promote by designing stone buildings, which can accelerate the circular economy. At the same time, it is necessary to mitigate the impact of quarrying on the landscape by reusing materials according to an eco-sustainable chain that prolongs their life (Scalisi and Sposito, 2021; Sposito and Scalisi, 2020).

On the other hand, it is essential to recover lost knowledge on the use of pumice (La Greca, 2009) and stimulate the study and use of lead (ELSIA, 2006) to increase the energy performance of buildings while reducing the problems related to rising damp typical of stone masonry.

In this perspective emerges the need to revisit building systems in a sustainable perspective, more in tune with the local culture, climate and environment and thus encouraging mitigation and adaptation to climate change (UNESCO, 2023), rethinking them in a new 'circular' perspective towards architectural forms and structural designs capable of reinventing the cities of the future that loudly ask us to think about entirely reversible systems (UNEP, 2024).

Possible strategies for 'reversible conservation-restoration works': first experiences | In 2016, the high altar of the Church of St Cajetan in Munich[8] was redeveloped and partially restored so to return this its original appearance. The church is imposing, with Baroque pillars and architectural elements that survived the Second World War; the high altar extends over 13 metres, stands 4 metres high and is







Fig. 8 | Reversible foundations, lead ballast elements (credits: R. Fonti, 2017).

complemented by four sculptures between two monumental doors (Fig. 2a).

After the Second World War, the building remained unfinished for about seventy years, and the four large central sculptures could only move back into position in the 2000s. New strategies must still exist to place these statues in their original context. While respecting the historical framework, the setting added several elements that express the intention to connote the 'new' character of the Church of St. Cajetan by enhancing its former high altar (Fig. 2b).

In particular, a stage backdrop combines a rigid wooden grid with a fabric diaphragm, which serves as a background and reveals a double-sided aesthetic motif. The front part presents a geometric design that, similar to a predella, is divided into seven vertical panels, while the back part leaves space for a fully gilded surface composed of a fabric running from top to bottom (Fig. 2c); this sort of retable serves as a predella for the altarpiece positioned behind it. The wooden profiles run along a series of undecorated elements (Fig. 2d), with cruciform reinforcing elements (Fig. 2e), the sequence of which is interrupted in 2018 by two monumental doors designed with profiles inspired by the Baroque tradition, which interrupt the linearity of the design through their decorative elements (Fig. 3). A curved element was also designed that gives centrality to the tabernacle and once again evokes the idea of a spherical tabernacle (Fig. 4).

The four sculptures were also placed on new bases (Fig. 5) and, contrary to the original design, adapted to the four different sizes of the busts; the inner core of the base is made of wood and laid in place in the form of plates, stacked and connected by vertical wooden connectors. The altar design as a whole is fully reversible. Each element was installed on the floor in a balanced composition of volumes supported and ballasted at the base, using wooden and concrete plates concealed in the lower elements (Fig. 6). The same system took place to define the pillars of the two doors, also managing to stabilise the openings without drilling footings holes along the floor, despite the high slenderness ratios between the elements.[9]

The second case study is related to the 'preventive conservation' measures for the necropolis of Porta Nocera and Via Nucerina in Pompeii, where an innovative type of protective covering with reversible footings with lead and corten ballasts was planned in 2017, financed by Phoenix Pompeji e.V. of Munich[10]. This roof, in addition to the reversibility criterion, complies with the following seven guiding design principles: 1) use of materials compatible with the environmental conditions of the site, but without disregarding the principle of maximum recognisability of the intervention; 2) use of materials resistant to atmospheric agents; 3) modular design and adaptability to different terrain topographies; 4) structural reliability, under ordinary, extraordinary and exceptional loads; 5) buildability of the project in the archaeological area, manual transportability of the elements and assembly with the aid of simple scaffolding; 6) extremely low or no maintenance costs; 7) construction costs amortised by maintenance costs and high quality of the materials used.

Corten steel and lead elements with hinge-type base-to-column connections resting directly on the archaeological soil served as the base bond of the protective roof system. They take friction and stabilise on horizontal translation using lead counterweights. The main structure of the roof was designed to work in the elastic field, according to a model of rigid column rotation and zero moments at the base (Fig. 7). The choice of lead, despite its aesthetic-architectural requirements, aims to minimise the overall height of the base, thanks to its specific weight; furthermore, its use was preferred both for its versatility (stackable elements, easily transported by hand and assembled in situ) and for its eco-sustainable qualities, when employed in the form of lead cakes and slabs (Fig. 8).

REversible BUildings for Sustainable and temporary cities (REBUS) | Turning now to contextualise the themes of sustainability and reversibility, already central to the disciplines of historic heritage conservation, in the sphere of new architecture (also to favour its approach to ancient times), it is possible to recall the outlines of the REversible BUildings for Sustainable and temporary cities (REBUS) research, developed within the EUQTCollider European project that financed an initial phase and is still in progress.[11]

The research aims to design completely reversible yet stable and comfortable living units, isolated or in series, conceived to be built in rural and urban

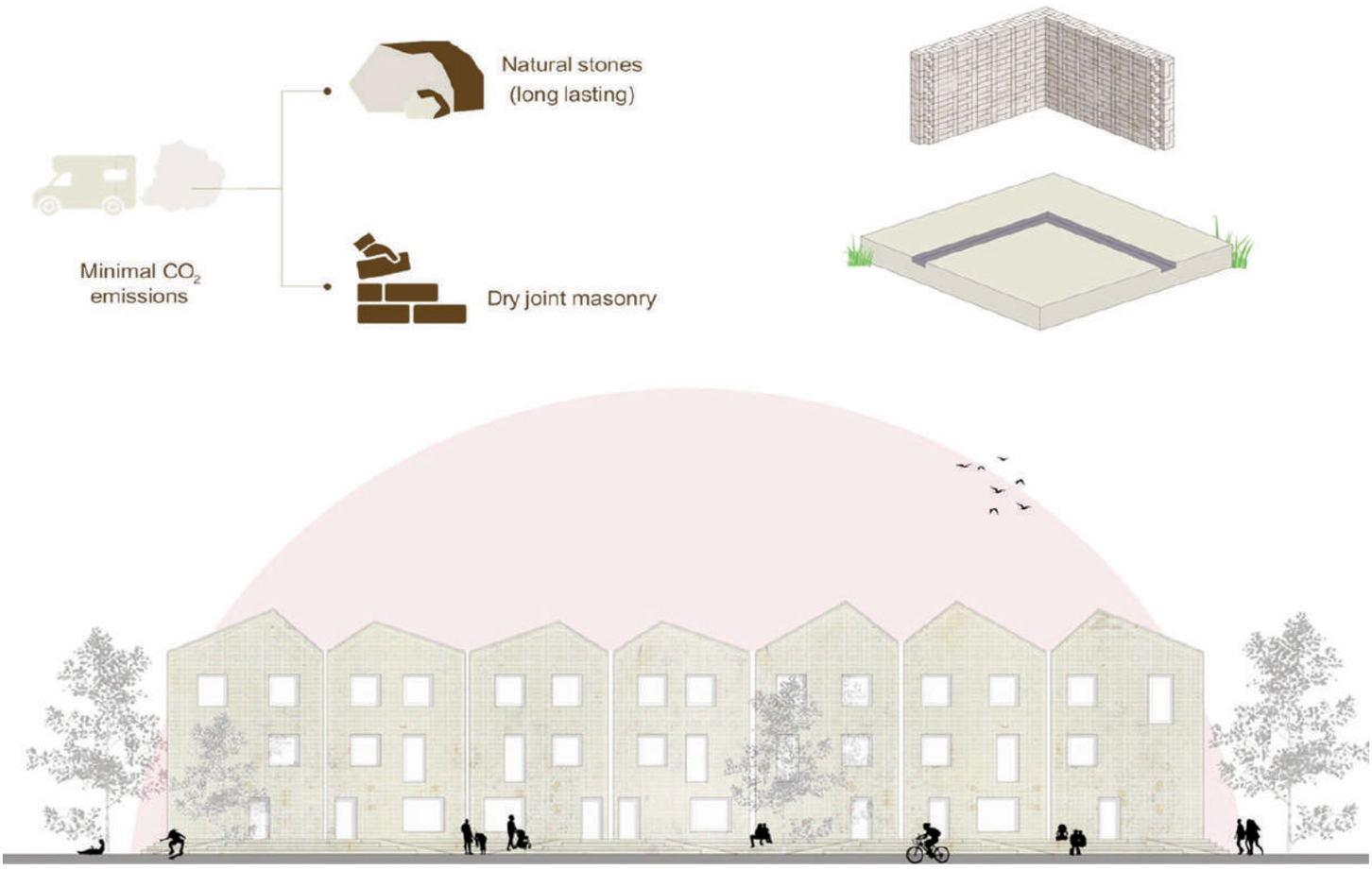


Fig. 9 | Reversible masonry foundations, theoretical diagram (credit: T-A. Cazan, L. M. Gipp, A. Janakiev, and M. M. Trenkner, 2024).

contexts. This typology of completely reversible buildings, now in the experimental phase, is conceived to respect our Planet by facing the new challenges of climate change, globalisation and demographic growth, the well-known issues deriving from migratory phenomena, the valorisation of the existing architectural heritage (Lauria and Azzalin, 2021) and the ever-increasing need for housing in today's society (Pieper, 2024), all of this also with a view to continuous mobility between different nations and continents.

In response to these challenges, REBUS buildings are designed in stone, stable but demountable, and without footings that alter the morphology of the ground thanks to the use of materials such as lead and pumice from recycled bottles[12]. The construction system is inspired by the design of temples of ancient times as it exploits the use of cut stone embedded and laid dry, according to stable equilibrium configurations based on the balancing of weights with superficial continuous type footings that take the form of a comprehensive continuous base platform, resemble the profile of a crepidome[13]. If necessary, the system comprising the walls gets exceptional stabilisation with a lateral restraint, i.e. a metal band. At the same time, the walls fit into unique mouldings created in the platform, lined with lead and designed to accommodate the vertical walls. The platform also serves as a base block that can accommodate system ducts of various types.

Recycled lead – a material with the highest specific weight ever discovered in nature – will be used as a ballast and thermal insulator, placed in the form of cakes at specific points, to act as a concentrated or distributed load in the masonry tops to stabilise them against dynamic actions such as wind or earthquakes and eccentric loads, but also to protect the masonry ridges from atmospheric agents. Furthermore, lead slabs placed at the base of the walls will protect the masonry from any rising damp phenomena, thus improving the building's overall energy performance. In addition, it plans to use recycled and remoulded glass in the form of artificial pumice blocks in the interior parts of the walls to improve the thermal comfort of the buildings and meet the latest energy requirements in construction (Fig. 9).

The floors and roofs feature Roman concrete: the flat roofs are designed as monolithic modular elements with slight prestressing, applying layers of pumice encased in a layer of lime mortar and earthenware acting as a finish and laid in place with heavy machinery. Prestressing occurs using a lateral constraint and a lead band with variable constraints. The use of lime mortar instead of reinforced concrete favours prefabrication processes of the elements, which, thanks to the shorter curing and setting time, allows the lime to complete its carbonation processes, which are at the basis of the zero CO_2 impact of the materials produced within the lime cycle.

However, some operational risks remain necessary to assess. While the ability of reinforced concrete to function as a plate and to interpose itself between walls in such a way as to redistribute stresses throughout the wall box is well known, the ability of lime-based slabs to function as a rigid body during the processes of laying and resetting is limited. On the other hand, we know that cocciopesto is at the basis of Roman concrete design (Lamprecht, 1993): the hypothesis is that it can function as a rigid block over a relatively wide span, independent of the in-situ support, exploiting a minimal prestress given by the metal belts around it, to induce a thrust-eliminated arch behaviour; therefore, similar to flat vaults and French-style flatbeds, it will develop a pressure curve within its thickness.

The pumice will make the slabs lighter, more easily transportable, and suitable for load-bearing overhead masonry while meeting fire resistance requirements. However, pumice's ability to withstand compressive stress is limited; one can reinforce it with layers of mortar laid with animal glue and alabaster plaster[14] and placed on the intrados.

While the in-plane and out-of-plane behaviour of dry-stone masonry constructions is known[15], the effectiveness of masonry-masonry base constraints still needs to be discovered, as we need to possess examples from historical treatises or traditional building methods. Should the use of this sort of 'crepidome' as a base block (in masonry, laid in place with dry joints) not be sufficient to guarantee the base bond to the masonry and provide it with a translational equilibrium, one could reinforce the crepidome with a lead 'belt' positioned at its outer edge and concealed by the access steps while allowing for flexible wall configurations within the entire platform.

Concluding remarks | The criterion of reversibility, which has become central to the discipline of Restoration in Italy and other European countries, can be considered a necessary condition for the reduction of greenhouse gas emissions and housing flexibility in modern societies, both in interventions on the architectural heritage and in the design of new buildings. The activities developed as part of the REBUS research involve the exclusive use of natural and recyclable materials such as limestone, lead, glass and bricks, which form the basis of entirely reversible, standardisable and modular building systems capable of creating solid constructions in a wide variety of forms. This results in easily transferable and adaptable buildings thanks to reversible footings (on the ground) and dry-laid masonry (no joint mortar) with different types of interlocking.

The research activities, which find fundamental premises in the two original experiences mentioned above, are also aimed at reactivating the existing architectural heritage that needs more integrity since it has come down to us in a deficient state or requires a new use. In addition, as well highlighted, research focuses on the problems of reinforcing existing buildings to resist seismic actions, exploiting the dissipation phenomena associated with the use of dry-assembled masonry (Lourenço et alii, 2005; Pulatsu et alii, 2019; Vlachakis et alii, 2023) and reversible footing systems, which function by friction, but confined to their ends.

Reversible buildings offer valuable perspectives on supplementing existing buildings with new ones to integrate missing functions. Furthermore, considered as an 'emergency prepareness measure' (Schreyer, 2023), they can provide housing similar to actual dwellings, contributing to the reduction of operating costs and construction time (as they are dry, they are easy to erect), installed directly on pristine land that can be returned to its original state in the future, thus avoiding the costs of excavation and transport to landfill. In this way, traditional materials and reversible construction techniques can also contribute to solving extraordinarily relevant and topical social problems, such as housing affordability.

Notes

1) Regarding the reintegration of the lacuna, Baldini (1978) emphasised the need to make an addition in the form of an artificially moved abstraction rather than an imitative act. In this way, an effective remake or reconstruction of the image, albeit achieved by means that make it different, is immediately recognisable.

2) Remember how the dramatic collapse of the Schola Armaturarum would most likely not have happened if there had not been a roof directly over the original masonry.

3) The building sector accounts for the largest share of total energy consumption in the European Union (40%) and produces about 35% of greenhouse gas emissions.

4) The world population has more than tripled since the mid-20th century. From an estimated 2,5 billion in 1950, the global human population reached 8 billion in mid-November 2022, adding 1 billion people since 2010 and 2 billion since 1998. The world population growth rate of almost 2 billion within the next 30 years is forecast.

5) The preservation of external facades at the expense of interiors has led, especially in northern Europe and Anglo-Saxon countries, to its extreme consequences resulting in the so-called 'Facadism'.

6) It should be noted, however, that lead has been used again in the restoration sector recently; mainly, it has been used extensively in the stabilisation work on the Leaning Tower of Pisa (Viggiani, 2019).

7) According to Legambiente, in 2021, there will be 4,168 authorised quarries and 14,141 disused or abandoned ones (on the rise), 29 million cubic metres of sand and gravel extracted per year, derisory rents, and inadequate legislation; all this makes it necessary to relaunch the construction sector and reduce quarry extraction by accelerating in the direction of the circular economy.

8) The project was carried out in cooperation with Prof. Restorer Erwin Emmerling of TUM (Germany), who supervised the restoration of the statues and art direction, and artist Gregor Prugger, who created the fourth missing wooden statue, based on a design by artist Giuseppe Ducrot. The Katholische Kirchenstiftung generously supported the project.

9) The project received shortlisted in The Plan 2019 international architecture competition, special projects section

10) The project was selected as a finalist in the notable projects section of the international architecture competition, The Plan 2020.

11) The research 'REversible BUildings for Sustainable and temporary cities' was developed within the European

project 'Euro TeQ Collider' framework, which financed an initial experimental phase still in progress. For more information, see the webpage: ja.tum.de/en/ja/euroteq/ [Accessed 20 September 2024].

12) There are several studies in this direction. Recently, a Japanese company, Supesol, started to produce artificial pumice from recycled glass. However, it remains for use in construction, except for a few minimal applications; this is probably due to the difficulty of producing high-quality pumice suitable for the construction market.

13) The 'crepidome' is a platform typical of ancient temples, raising about three steps to establish an architectural hierarchy typical of sacred places.

14) It is a disused technique for working with animal glue, alabaster plaster, and laying it all on a reed support. It was well known in the Baroque era when it spread from Germany and Italy to the rest of the world; some craftsmen can still perform it in Europe. However, nowadays, it is limited to producing individual works of art that are undersized pieces of furniture (Martinelli, 1997).

15) This principle is well-known thanks to a vital investigation campaign conducted by Prof. Antonino Giuffrè in the 1990s (Giuffre, 2006), in which the ability of masonry walls laid dry to tilt in and out of the plane as rigid blocks were demonstrated, regardless of their base constraint and by their geometric ratios (rule of art). Necessary research also focused on historical dry-stone masonry, which has been conducted in more recent years (21st century) by the University of Minho, with particular reference to Prof. Paulo Laurenço and his research group.

Reference

Antonini, E. (2019), "Incertezza, fragilità, resilienza | Uncertainty, fragility, resilience", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 6, pp. 6-13. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/612019 [Accessed 20 September 2024].

Baldini, U. (1978), *Teoria del restauro e unità di metodologia – Vol. 1*, Nardini Editore, Firenze.

Boito, C. (1893), *Questioni pratiche di Belle Arti – Restauri, Concorsi, Legislazione, Professione, Insegnamento*, Hoepli, Milano.

Brandi, C. (2007), *Il vecchio e il nuovo nella città antica*, Accademia Senese degli Intronati, Siena.

Brandi, C. (2001), *Il Patrimonio Insidiato – Scritti sulla Tutela del Paesaggio e dell'Arte*, Editori riuniti, Roma.

Brandi, C., Cordaro, M. and Basile, G. (2005), *Il Restauro – Teoria e Pratica – 1939-1986*, Editori riuniti, Roma.

Di Virgilio, N. (2023), "Fare molto con poco – Un'architettura modulare, a partire da Walter Segal | Making a lot with little – Modular architecture, starting with Walter Segal", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 164-173. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14132023 [Accessed 20 September 2024].

ELSIA – European Lead Sheet Industry Association (2006), *Lead Sheet Goes Full Circle – Science in support of fact*. [Online] Available at: roehr-stolberg.de/wp-content/uploads/2019/08/Lead_Sheet_goes_Full_Circle_GB.pdf [Accessed 20 September 2024].

Emmerling, E. (2006), "Die Chorschranken von St. Kajetan, ehem. Hofkirche München (Theatinerkirche)", in Barthel, R. (ed.), *Denkmalpflege und Instandsetzung – Schriftreihe des Lehrstuhls für Tragwerksplanung*, Technische Universität München, pp. 67-100.

European Commission (n.d.), "Construction Sector", in *single-market-economy.ec.europa.eu.* [Online] Available at: single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/construction_en [Accessed 20 September 2024].

Franzoni, E. (2018), "State-of-the-art on methods for reducing rising damp in masonry", in *Journal of Cultural Heritage*, vol. 31, issue supp., pp. S3-S9. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.culher.2018.04.001 [Accessed 20 September 2024].

Giallocosta, G. (2019), "Caratteri e criticità di innovazione di processo | Features and critical issues of process innovations", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 5, pp. 5-10. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/512019 [Accessed 20 September 2024].

Giovannoni, G. (1929), *Questioni di Architettura nella storia e nella vita – Edilizia, estetica architettonica, restauri, ambiente dei monumenti*, Biblioteca d'Arte Editrice, Roma.

Giuffrè, A. (2006), *Sicurezza e conservazione dei centri storici – Il caso Ortigia – Codice di pratica per gli interventi antisismici nel centro storico*, Laterza, Roma.

KIT – Karlsruhe Institute of Technology (2024), *Net-Zero Circular Concrete – New Concrete from Demolition Waste – Without Emission Affecting the Climate.* [Online] Available at: sts.kit.edu/downloads/Data-sheet-Net-Zero-Circular-Concrete.pdf [Accessed 20 September 2024].

La Greca, G. (2009), *La Storia della Pomice di Lipari – Dal tentativo Haan alla Legge 10 del 1908 – Il Primo Novecento*, Edizioni del Centro Studi Lipari, Lipari.

Lamprecht, H.-O. (1993), *Opus caementitium Bautechnik der Römer*, Beton-Verl, Düsseldorf.

Lauria, M. and Azzalin, M. (2021), "Paradigmi | Paradigms", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 9, pp. 12-21. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/912021 [Accessed 20 September 2024].

Legambiente (2021), "Legambiente presenta il Rapporto Cave 2021, ecco i dati", in *legambiente.it*, 10/05/2021. [Online] Available at: legambiente.it/comunicati-stampa/legambiente-presenta-il-rapporto-cave-2021-ecco-i-dati/ [Accessed 20 September 2024].

Lemaire, R. (1995), *La Carta di Venezia trenta anni dopo*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli.

Lombardi Satriani, L. M. (2005), *Il sogno di uno spazio – Itinerari ideali e traiettorie simboliche nella società contemporanea*, Rubbettino, Soveria Mannelli, Catanzaro.

Lourenço, P. B., Oliveira, D. V., Roca, P. and Orduña, A. (2005), "Dry Joint Stone Masonry Walls Subjected to In-Plane Combined Loading", in *Journal of Structural Engineering*, vol. 131, issue 11, pp. 1665-1673. [Online] Available at: doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2005)131:11(1665) [Accessed 20 September 2024].

Massinelli, A. M. (1997), *Scagliola – L'arte della pietra di luna,* Editalia, Roma.

Minissi, F. (1988), *Conservazione, Vitalizzazione, Musealizzazione*, Bonsignori Editore, Roma.

Ness, D. (2024), "La decarbonizzazione degli edifici sarà sufficiente? – Limitare e ridistribuire l'aumento di superficie costruita | Will decarbonising buildings be enough? – Constrain and redistribute growth in floor area", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 84-97. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1562024 [Accessed 20 September 2024].

Piacentini, M. (1930), *Architettura d'oggi*, Paolo Cremonese, Roma.

Pieper, O. (2024), "German housing crisis – Like winning the lottery!", in *Deutch Welle* 16/04/2024. [Online] Available at: dw.com/en/german-housing-crisis-finding-a-home-like-winning-the-lottery/a-68840785 [Accessed 20 September 2024].

Pulatsu, B., Erdogmus, E., Bretas, E. M. and Lourenço, P. B. (2019), "In-Plane Static Response of Dry-Joint Masonry Arch-Pier Structures", in Ling, M. D. F., Solnosky, R. L. and Leicht, R. M. (eds), *AEI 2019 – Integrated Building Solutions – The National Agenda – Proceedings of the AEI 2019 Conference, Tysons, Virginia, April 3-6, 2019*, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, pp. 240-248. [Online] Available at: doi.org/10.1061/9780784482261.028 [Accessed 20 September 2024].

Raiser, T. (2012), "St. Kajetan's of Munich 'Main Altar of 1675' in the Year 1675", in *Regnum Dei, Collectanea Theatina*, vol. 68, pp. 77-108. [Online] Available at: regnumdei.online/revistas-de-la-decada-de-2010/ [Accessed 20 September 2024].

Riegl, A. (1903), *Der moderne Denkmalkultus, sein Wesen und seine Entstehung*, W. Braumüller, Vienna.

Romano, R. and Di Monte, E. (2023), "Moduli nearly Zero Energy – Modelli abitativi a basso impatto ambientale per la città del futuro | Nearly Zero Energy Modules – Low-impact modular housing models for the city of the future", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 250-263. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14212023 [Accessed 20 September 2024].

Russo, M. (2021), "Innesto, manomissione, ricostruzione – Tre modelli di riuso adattivo | Addition, alteration, reconstruction – Three models of adaptive re-use", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 9, pp. 92-101. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/992021 [Accessed 20 September 2024].

Scalisi, F. and Sposito, C. (2021), "Strategie e approcci 'green' – Un contributo dall'off-site e dall'upcycling dei container marittimi dismessi | Green strategies and approaches – A contribution from the off-site and upcycling of discarded shipping containers", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 92-119. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1092021 [Accessed 20 September 2024].

Schreyer, Y. C. (2023), "Oltre l'arrivo – Potenzialità e criticità della modularità nei rifugi e negli alloggi per gli sfollati | Beyond arrival – On the potential and shortcomings of modularity in shelter and housing for the displaced", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 126-133. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14102023 [Accessed 20 September 2024].

Sposito, C. and Scalisi, F. (2020), "Ambiente costruito e sostenibilità – Materiali riciclati e Design for Disassembly tra ricerca e buone pratiche | Built environment and sustainability – Recycled materials and Design for Disassembly between research and good practices", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 8, pp. 106-117. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/8102020 [Accessed 20 September 2024].

UN – United Nations (n.d.), "Global issues – Population", in *un.org*. [Online] Available at: un.org/en/global-issues/population [Accessed 20 September 2024].

UNEP – United Nations Environment Programme (2024), "Not yet built for purpose – Global building sector emissions still high and rising", in *unep.org*, 07/03/2024. [Online] Available at: unep.org/news-and-stories/press-release/not-yet-built-purpose-global-building-sector-emissions-still-high#:~:text=The%20report%20finds%20that%20in,a%20third%20of%20global%20demand [Accessed 20 September 2024].

UNESCO – World Heritage Centre (2023), *Policy Document on Climate Action for World Heritage (11/2023).* [Online] Available at: whc.unesco.org/en/documents/204421 [Accessed 20 September 2024].

Viggiani, C. (2019), *Senza neanche toccarla – La stabilizzazione della Torre di Pisa*, Hevelius, Benevento.

Vlachakis, G., Colombo, C., Giouvanidis, A. I., Savalle, N. and Lourenço, P. B. (2023), "Experimental characterisation of dry-joint masonry structures – Interface stiffness and interface damping", in *Construction and Building Materials*, vol. 392, article 130880, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130880 [Accessed 20 September 2024].

Zevi, B. (1973), *Il linguaggio moderno dell'architettura – Guida al codice anticlassico*, Einaudi, Torino.

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 156-173
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/16132024

ARTICLE INFO

Received 09 September 2024
Revised 13 October 2024
Accepted 15 November 2024
Published 30 December 2024

TATTICHE DI RESILIENZA PER AMBITI URBANI COSTIERI
La Marina di Latina e il Porto di New York

RESILIENCE TACTICS FOR COASTAL URBAN AREAS
The Marina di Latina and the New York Harbour

Marcus Carter, Federico Ianiri, Carmela Mariano

ABSTRACT

Il contributo presenta nuovi riferimenti teorico-metodologici per la pianificazione urbanistica delle aree costiere finalizzati al potenziamento dei processi di adattamento ai cambiamenti climatici, attraverso la definizione e l'implementazione di macro-strategie di resilienza urbana. La ricerca, basata su sperimentazioni condotte in contesti americani e italiani, evidenzia la vulnerabilità e la suscettibilità delle aree costiere urbane ai rischi idraulici associati ai cambiamenti climatici, come gli eventi estremi e l'innalzamento del livello del mare; lo studio riporta anche i risultati degli attuali progetti pilota che stanno sperimentando le macro-strategie. I risultati sottolineano l'importanza di adottare approcci integrati, multidisciplinari e interscalari per la trasformazione e la protezione delle aree urbane costiere.

The contribution presents new theoretical and methodological frameworks for urban coastal planning to enhance climate change resilience processes by defining and implementing urban resilience macro-strategies. The research, based on experiments conducted in both American and Italian contexts, highlights the vulnerability and susceptibility of urban coastal areas to hydraulic risks associated with climate change, such as extreme events and sea level rise. The study also reports on the results of current pilot projects testing these macro-strategies. The findings underscore the importance of adopting integrated, multidisciplinary, and interscalar approaches for the transformation and protection of urban coastal areas.

KEYWORDS

cambiamento climatico, pianificazione locale, rigenerazione urbana, resilienza climatica, soluzioni basate sulla natura

climate change, local planning, urban regeneration, climate resilience, nature-based solutions

Marcus Carter is an Assistant Professor at Rensselaer Polytechnic Institute (Troy, New York, USA) and a Partner at Object Territories, a design studio based in Hong Kong and New York City. He specialises in architecture and urban planning and has received numerous awards, including the National Honor Award from the American Society of Landscape Architects. E-mail: marcus.carter@object-territories.com

Federico Ianiri is a PhD Candidate at the Department of Planning, Design and Architectural Technology, 'Sapienza' University of Rome (Italy). He conducts research activities mainly in local planning and climate change in coastal urban areas. Mob. +39 344/299.44.70 | E-mail: federico.ianiri@uniroma1.it

Carmela Mariano, Architect, is an Associate Professor in Territorial and Urban Planning and Design at the Department of PDTA, 'Sapienza' University of Rome (Italy). She is the President of the Master's Degree Course in Architecture-Urban Regeneration and the Director of the School of Specialization in Natural and Territorial Heritage. E-mail: carmela.mariano@uniroma1.it

L'articolo presenta i risultati di ricerche e sperimentazioni[1] condotte dagli autori sulle macro-strategie di rigenerazione urbana in aree vulnerabili per il cambiamento climatico, combinando misure di adattamento, processi dinamici e sviluppo sostenibile. L'oggetto e le motivazioni della ricerca affondano le radici nelle profonde trasformazioni fisiche e sociali che hanno interessato le città e i territori contemporanei negli ultimi decenni (Magni and Musco, 2017).

Questi cambiamenti sono stati determinati da una serie di eventi sociali, politici ed economici e sono caratterizzati da significative dicotomie sulla scena internazionale, come la progressiva crescita demografica globale (UN-HABITAT, 2022, 2016), cui si contrappone il recente 'inverno demografico' osservato in Italia dal 2008, ultimo anno in cui la popolazione nazionale ha registrato un aumento rispetto all'anno precedente (ISTAT, 2022, 2024). A queste dinamiche si aggiungono gli impatti dei cambiamenti climatici (IPCC, 2023), l'esaurimento delle risorse ecologiche ed energetiche e la continua perdita di biodiversità (European Commission, 2019, 2020), fattori che hanno resa necessaria la riflessione sull'urgenza di definire strategie di adattamento e mitigazione del clima con l'obiettivo di rendere le città più resilienti e sostenibili (European Commission, 2013), come auspicato dagli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile dell'Agenda 2030 (UN, 2015a, 2015b), in particolare l'Obiettivo 11 (Città e comunità sostenibili) e l'Obiettivo 13 (Azione per il clima).

In questo contesto si evidenzia anche il quadro normativo nazionale di riferimento per guidare l'attuazione di azioni volte a ridurre i rischi determinati dai cambiamenti climatici (UNISDR, 2013, 2015), migliorare la capacità di adattamento dei sistemi naturali, sociali ed economici e sfruttare le opportunità che possono derivare dalle nuove condizioni climatiche, in conformità all'obiettivo del PNACC (Piano Nazionale di Adattamento al Cambiamento Climatico; MASE, 2023).

Mentre nel contesto europeo la risposta alle sfide urgenti e complesse del nostro tempo è perseguita attraverso missioni, strategie e obiettivi comunitari (Directorate-General for Research and Innovation – European Commission, 2020), negli Stati Uniti l'Inflation Reduction Act (Bistline et alii, 2023) rappresenta l'investimento più significativo nella transizione energetica e nella resilienza climatica, insieme all'Infrastructure Investment and Jobs Act (Bertrand, 2022), che sostiene gli investimenti nelle infrastrutture verdi. A livello locale, a New York le sfide climatiche sono affrontate attraverso il PlaNYC (The City of New York, 2023), con particolare riferimento a eventi estremi come inondazioni e tempeste costiere (Braneon et alii, 2024).

Stato dell'arte | Il campo di indagine riguarda le aree urbane costiere soggette a inondazioni – previste fino al 2100 – causate dagli effetti combinati del progressivo innalzamento del livello del mare (SLR) e di eventi alluvionali sempre più frequenti, entrambi innescati dall'aumento della temperatura media globale (IPCC, 2023). I contesti territoriali di riferimento, illustrato nei due casi studio analizzati, sono il litorale laziale, identificato dall'ENEA come una delle 33 aree italiane maggiormente a rischio di compromissione entro il 2100 a causa del fenomeno SLR (Antonioli et alii, 2017), e il Porto di New York, con il sito di Governors Island, soggetto a inondazioni a causa di fenomeni di marea. In relazione alla specificità di ciascuna area i risultati della ricerca hanno delineato tre strategie di resilienza urbana contro il SLR e le inondazioni: difesa, adattamento e delocalizzazione attraverso la definizione di un toolkit di azioni a prova di clima e specifici del sito, che privilegia l'uso di soluzioni basate sulla natura (Mariano and Marino, 2019, 2022b).

La strategia di difesa si riferisce alla necessità di proteggere il territorio dalle minacce del cambiamento climatico, laddove queste rappresentino un rischio tangibile per la sicurezza della popolazione, attraverso opere di ingegneria idraulica e di protezione (dighe, barriere, oggetti, ecc.). La strategia di adattamento riguarda la necessità di 'adattare' la forma urbana ai modelli e alle proiezioni di cambiamento, tenendo conto del contesto ambientale e attuando azioni di riconfigurazione morfologica che privilegino la flessibilità e la diversità (Mariano et alii, 2021).

La strategia di delocalizzazione invece è la più radicale e ancora poco indagata; essa prevede il dislocamento degli insediamenti più vulnerabili in aree geomorfologicamente più sicure, nei casi in cui il rapporto tra costi-benefici delle misure di difesa e adattamento non sia ritenuto economicamente sostenibile (Ryan, Vega-Barachowitz and Perkins-High, 2015). Questa strategia apre scenari complessi che richiedono la valutazione di modalità di delocalizzazione e degli ambiti di nuova ricollocazione, affrontando anche il tema del recupero e della rigenerazione delle aree liberate dalla pressione insediativa attraverso progetti di ripristino ambientale su larga scala.

Metodologia | La metodologia applicata ai casi studio, organizzata in fasi operative, è finalizzata alla comprensione delle complesse dinamiche legate ai fenomeni di rischio idraulico causati da inondazioni e SLR nell'ambito di uno scenario di emissioni SSP5-8.5 in una specifica area target. Ciò consente di contestualizzare, definire e successivamente implementare le tre macro-strategie di resilienza urbana di difesa, adattamento e delocalizzazione attraverso l'esplicitazione di azioni site-specific e climate-proof capaci di guidare la transizione resiliente delle aree urbane costiere. Le fasi operative sono strutturate in: 1) definizione del quadro conoscitivo del rischio idraulico; 2) analisi e valutazione qualitativa-quantitativa; 3) pianificazione; 4) progettazione e sperimentazione; 5) monitoraggio a breve, medio e lungo termine.

Nel primo caso studio di Marina di Latina (LT) la prima fase operativa prevede la definizione del quadro conoscitivo del rischio idraulico in una specifica porzione di territorio individuata come area target; ciò avviene attraverso la creazione preliminare di una mappa di rischio per il SLR proiettata all'anno 2100. A tal fine sono state estratte le curve altimetriche dal DTM (Digital Terrain Model) LiDAR con una risoluzione di 2 metri – mentre le altre analisi di supporto sono state effettuate utilizzando il file DEM (Digital Elevation Model) con una risoluzione di 10 metri – mediante il software QGIS 3.26.3. È stata quindi isolata la curva altimetrica corrispondente a 63 cm sul livello del mare, conforme con la proiezione della linea di costa prevista per il 2100 (Fig. 1), secondo lo scenario di emissione: GHG SSP5-8.5 con proiezioni di 0,20-0,29 metri entro il 2050 e 0,63-1,01 metri entro il 2100 (IPCC, 2023). Dopo aver determinato il rischio idraulico da SLR è stato definito il fattore di rischio associato a fenomeni di precipitazioni intense o esondazioni fluviali. Gli shapefile sono stati acquisiti dalle mappe di rischio e pericolosità incluse nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) prodotto dall'AUBAC (Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale).

Secondo l'articolo 6 del Decreto Legislativo 49/2010 (Presidente della Repubblica Italiana, 2010) che attua la Direttiva 2007/60/EC (European Parliament and Council of the European Union, 2007), le mappe della pericolosità e del rischio di alluvione elaborate da AUBAC tengono conto delle potenziali conseguenze negative sul numero di abitanti potenzialmente interessati, del tipo di attività economiche che insistono nell'area potenzialmente interessata, degli impianti ai sensi della Direttiva 96/51/EC (Council of the European Union, 1996) che potrebbero causare inquinamento accidentale in caso di alluvioni, delle aree protette potenzialmente interessate da alluvioni con elevato trasporto solido e colate detritiche e delle informazioni su altre fonti significative di inquinamento.

A supporto della seconda fase operativa, relativa alla valutazione qualitativa-quantitativa di questi fenomeni nell'area target, è stato analizzato il periodo di ritorno associato all'evento climatico (Figg. 2-4), dove per periodo di ritorno si intende il tempo medio in cui un determinato valore di intensità viene eguagliato o superato almeno una volta. In particolare si è fatto riferimento ai periodi di ritorno indicati nel rapporto n. 353/2021 dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA, 2021), nel quale si evidenzia che per le alluvioni fluviali i periodi di ritorno utilizzati nella modellazione all'interno del Distretto dell'Appennino Centrale sono compresi tra i 30 e i 50 anni per lo scenario ad alta probabilità e tra i 100 e i 200 anni per lo scenario a media probabilità (Lastoria et alii, 2023).

Sono stati inoltre valutati lo stato di attuazione dello strumento di pianificazione (PRG), la relazione tra le componenti territoriali sistemiche (sistema ambientale, insediativo e infrastrutturale) e gli eventi climatici associati al rischio idraulico. Queste analisi hanno facilitato l'esplicitazione delle criticità dello strumento di pianificazione circa la risposta al rischio determinato dalle alluvioni, piogge intense, esondazioni fluviali ed erosione costiera da SLR e hanno permesso di individuare macro-strategie per la resilienza urbana che permettono il superamento del tradizionale approccio settoriale a favore di un approccio integrato alla complessità urbana, riconducibile all'approccio ecosistemico (Mariano and Marino, 2022a).

Questo approccio viene ulteriormente sviluppato attraverso un toolkit di azioni site-specific per il rischio idraulico che collega le azioni di progetto selezionate sulla base di un'analisi delle best practices e dei casi di studio di contesti simili alle componenti sistemiche rilevanti per la struttura urbana dell'area di destinazione. Oltre che integrare i sistemi fisico-territoriali con le macro-strategie per la resilienza urbana, il toolkit consente di definire chiaramente i benefici delle azioni, di identificare i principali stakeholder, di stimare i costi di attuazione e di stabilire le tempistiche di intervento, che possono essere a breve, medio o lungo termine.

Il quadro metodologico, precedentemente esplicitato dagli autori in altre ricerche, innova l'approccio procedurale, basato su una logica processuale, iterativa e multi-scalare (Ricci and Poli, 2018), attraverso l'introduzione di un'analisi parametrica del rapporto di incidenza tra i fenomeni di rischio idraulico e le componenti sistemiche dell'area target, considerando sia lo stato attuale che le proiezioni future









Fig. 1 | Definition of the projected new coastline by the year 2100 in the target area, in accordance with the GHG emissions scenario SSP5-8.5, cm 63 projection (credit: F. Ianiri, 2024).

Fig. 2 | Identification of high hydraulic risk areas (flooding and overflow) with a 30-year return period, based on the AUBAC Flood Risk Management Plan (credit: F. Ianiri, 2024).

Fig. 3 | Identification of medium hydraulic risk areas (flooding and overflow) with a 100-year return period, based on the AUBAC Flood Risk Management Plan (credit: F. Ianiri, 2024).

Fig. 4 | Overlay of medium hydraulic risk areas (flooding and overflow) – with a 100-year return period, based on the AUBAC Flood Risk Management Plan – with the projected new coastline by the year 2100 under the GHG emissions scenario SSP5-8.5 (credit: F. Ianiri, 2024).

per gli anni 2053 e 2100. Il confronto dei risultati tra scenari futuri e lo stato attuale fornisce valutazioni qualitative e quantitative a supporto dei decisori politici nell'aggiornamento degli strumenti di pianificazione locale, riducendo i fattori critici legati al rischio idraulico identificati durante l'analisi preliminare. La metodologia sopra descritta è stata applicata sia al caso di studio del Porto di New York che a quello della Marina di Latina.

Il caso di studio della Marina di Latina | La sperimentazione delle macro-strategie di resilienza urbana è stata condotta nell'area target della Marina di Latina (LT), identificata come una delle 30 aree ad alto rischio idraulico (inondazioni, allagamenti e innalzamento del livello del mare) lungo la costa laziale. Questo territorio presenta caratteristiche geomorfologiche uniche, principalmente per la presenza di limo, argilla, sabbia e depressioni del terreno note come 'piscine tirreniche' (Fig. 5). Secondo Stanisci et alii (2001) le piscine sono depressioni tipiche delle aree pianeggianti soggette all'affioramento della falda freatica o ad abbondante apporto di acque meteoriche, associato a suoli argillosi con lento drenaggio che si sono formate poiché la lieve pendenza e le dune lungo la costa hanno ostacolato il deflusso di numerosi corsi d'acqua alimentati dalle sorgenti dei monti Lepini e Ausoni.

La peculiarità del paesaggio è anche definita da uno studio sui suoli della Provincia di Latina che categorizza l'area target nella classe SR4 – Pianure costiere con substrato costituito da depositi marini quaternari e SR9 – Terrazzi conglomeratici sabbiosi, antiche dune 'rosse' (Arnoldus-Huyzendveld, Perotto and Sarandrea, 2009) e segnala la presenza di un raro tipo di suolo chiamato Planosol, in corrispondenza dell'antica duna in questa fascia costiera. Tuttavia i processi di bonifica del territorio all'inizio del 1900 e i processi di antropizzazione spontanea a partire dalla metà del secolo hanno compromesso in modo significativo gli ecosistemi caratteristici della Pianura Pontina e delle 'piscine tirreniche' che circondano l'area target della Marina di Latina.

Questa condizione è sottolineata anche in un rapporto tecnico dell'Agenzia Regionale dei Parchi, finalizzata a identificare nuove aree protette nell'ambiente dunale costiero del Lazio e all'analisi della costa dal punto di vista geomorfologico, vegetazionale e faunistico, individuando i sistemi dunali costieri e valutando il loro grado di naturalità (Fattori et alii, 2010). Nella relazione viene evidenziato come il tratto nel quale è localizzata l'area target, corrispondente all'unità fisiografica numero 4 tra Capo d'Anzio e Capo Circeo, presenta la percentuale più alta di dune antropizzate della costa laziale; ad avvalorare le condizioni di fragilità dell'area vi sono le valutazioni di rischio emerse in fase di analisi, attraverso la composizione del quadro cognitivo.

Durante le indagini preliminari è emerso che la nuova linea di costa prevista per il 2100, nello scenario di emissioni SSP5-8.5, interesserà il 30,04% del patrimonio immobiliare[2] nell'area di interesse (Fig. 6). Nelle aree classificate a rischio medio, corrispondenti a un periodo di ritorno di 100 anni, fenomeni come forti piogge ed esondazioni fluviali interesseranno il 29,18% degli edifici esistenti (Fig. 7), mentre nelle aree ad alto rischio, con un periodo di ritorno di 30 anni, tali eventi interesseranno il 9,61% del totale (Fig. 8).

I risultati delle analisi del rischio devono tenere conto della sovrapposizione di vari fenomeni che potrebbero colpire l'area di interesse, alterando significativamente l'incidenza e il coinvolgimento degli edifici esistenti: nello scenario di emissioni SSP5-8.5 per il 2100 se le inondazioni e le esondazioni fluviali si verificassero contemporaneamente o in finestre temporali ravvicinate il numero di edifici coinvolti aumenterebbe notevolmente, raggiungendo il 56,09% del totale (Tab. 1; Fig. 9).

Per un territorio sub-limen, in transizione, dove i paesaggi del passato, presente e futuro si incontrano e si intrecciano (Marino, 2023), e dove il territorio è 'sospeso' a causa del rischio di una potenziale per-



Fig. 5 | The 'Piscina della Verdesca', located within the 'Cerasella' equipped area in the Circeo National Park (IT), represents one of the well-preserved ecosystems of the Tyrrhenian Forest in the Agro Pontino (credit: F. Ianiri, 2023).

dita, si apre un'opportunità di rigenerazione fisica in chiave ecologica (Mariano and Marino, 2022b), in cui la dimensione di precarietà viene alimentata dalle previsioni di pianificazione e sviluppo urbanistico per l'area target, ad oggi solo parzialmente attuate.

Queste disposizioni prevedono il completamento di circa 477.148 mc su un totale di 636.190 mc (Tab. 2) nella variante del PPE (Piano Particolareggiato Esecutivo) del 1999, approvata[3] nel 1983. L'analisi ha inoltre evidenziato un altro aspetto critico nella pianificazione dell'area di interesse: il perimetro per l'attuazione del PPE nel comprensorio della Marina di Latina copre una superficie di 2.894.966 mq e le aree a rischio idraulico alto e medio si estendono su 1.469.301 mq, occupando il 50,74% della superficie totale, inclusi i terreni situati entro 300 metri dalla linea di costa. Un ulteriore fattore da considerare è la superficie che sarà interessata dall'avanzamento della linea di costa entro il 2100: nello scenario SSP5-8.5 l'avanzamento della linea costiera influenzerà 576.786 mq che, sommati alle aree già identificate come zone a rischio idraulico alto e medio, portano il tasso di incidenza al 70,66% (Tab. 3).

Secondo gli autori, le criticità dello strumento urbanistico derivano dalla discordanza tra i suoi principi e le linee guida per la gestione del rischio, nell'identificazione della fragilità del territorio e nella regolazione e orientamento del suo sviluppo resiliente e del processo di 'transizione strutturata e duratura' (Litt, Businaro and Maragno, 2022). Il Piano Regolatore Generale (PRG) di Latina, adottato nel 1972 e ancora in vigore, appartiene alla famiglia dei Piani di espansione urbana (Campos Venuti and Oliva, 1993), sviluppati nella seconda fase dello sviluppo territoriale italiano, una lunga fase che si è protratta intensamente per oltre trent'anni fino alla fine degli anni '70 (Oliva, 2014); questi Piani non sono in grado di rispondere a sfide contemporanee come quelle poste dal cambiamento climatico nelle aree urbane costiere.

Considerata la fragilità degli ecosistemi costieri e l'assenza di strategie adeguate le previsioni urbanistiche rischiano di aggravare la situazione, aumentando la pressione antropica e compromettendo l'equilibrio del territorio. In questo contesto le soluzioni proposte rappresentano un'opportunità unica per rigenerare le aree urbane costiere, reintroducendo elementi paesaggistici tipici dell'Agro Pontino, come le 'piscine tirreniche', canali e sistemi dunali con la loro flora e fauna. In linea con i principi della Nature Restoration Law del 2024 (European Commission, 2024), queste soluzioni mirano a rendere Marina di Latina più resiliente e unica, valorizzando la sua biodiversità; per questo motivo gli autori propongono di sperimentare macro-strategie di rilocalizzazione e adattamento.

Il caso di studio del Porto di New York | L'estuario del Porto di New York-New Jersey rappresenta un caso studio in cui vengono applicate sistematicamente macro-strategie di resilienza per affrontare i fenomeni di inondazioni costiere urbane e l'innalzamento del livello del mare (SLR[4]). L'Ufficio del Sindaco di New York City ha messo in evidenza i principali rischi climatici della città: ondate di calore, tempeste di marea e costiere, inondazioni causate dalle maree e precipitazioni estreme[5] (The City of New York, 2023). Questa estrema condizione di vulnerabilità del territorio è emersa dopo l'uragano Sandy, il cui impatto e traiettoria attraverso il New York Bight – l'angolo geografico formato dalle coste del New Jersey e di Long Island – hanno causato un devastante innalzamento del livello del mare.

La Regional Plan Association (RPA, 2017) sottolinea che i Governi devono dare priorità agli interventi nelle aree densamente popolate con elevato capitale sociale ed economico, rendendo necessari sia soluzioni naturali che ingegneristiche per proteggere tali regioni dalle inondazioni e dall'innalzamento del livello del mare[6]. A causa delle limitate risorse finanziarie le aree a bassa densità richiederanno un graduale ritiro dalla costa attraverso modifiche alle normative urbanistiche e acquisizioni di proprietà finanziate dalla Pubblica Amministrazio-

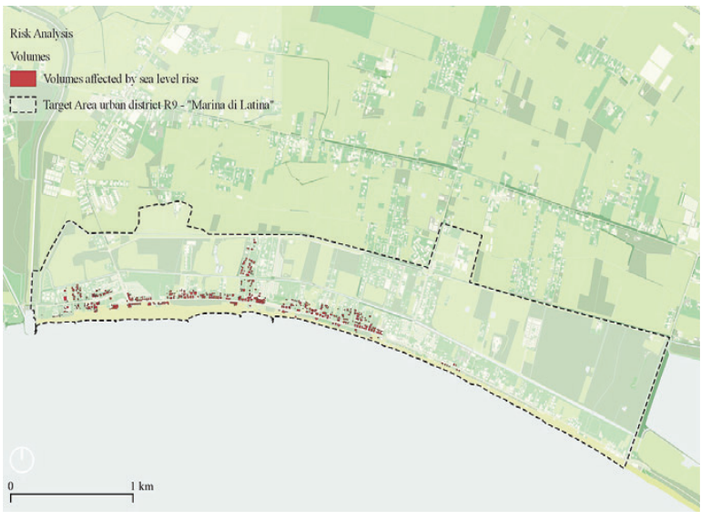


Fig. 6 | Identification of existing volumes affected by sea-level rise phenomena related to the projected new coastline by 2100 under the GHG emissions scenario SSP5-8.5, cm 63 projection (credit: F. Ianiri, 2024).

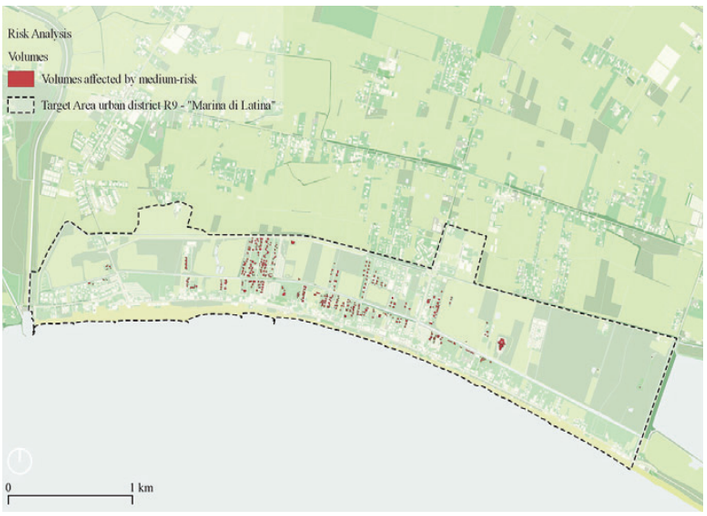


Fig. 7 | Identification of existing volumes located in medium hydraulic risk areas (flooding and overflow), with a 100-year return period, based on the AUBAC Flood Risk Management Plan (credit F. Ianiri, 2024).

Risk phenomenon	Value % of incidence on the total	Buildings	Area m²
Elevated Risk: Return Period 30 years	9.61	135	16,695
Medium Risk: Return Period 100 years	29.18	410	44,881
Sea level rise and coastline 2100 in SSP5-8.5 emissions scenario	30.04	422	52,230
Hydraulic Risk in 2100 (Medium Risk + Sea level rise)	56.09	788	90,167
Reference parameters			
Urban district – Marina di Latina R9	100.00	1.405	176,451

Tab. 1 | Quanti-qualitative reading about the incidence of hydraulic risk and sea level rise in the SSP5-8.5 emissions scenario on the existing buildings (credit: F. Ianiri, 2024).

ne[7]; inoltre l'aumento dei premi assicurativi renderà progressivamente più costoso costruire in aree a bassa quota (RPA, 2017).

L'U.S. Army Corps of Engineers (2022), che ha una vasta giurisdizione nazionale sulle vie navigabili, sui sistemi di protezione dalle inondazioni e sulle normative ambientali, ha proposto diverse soluzioni per il Porto di New York, ciascuna caratterizzata da costi, tempi di realizzazione e livelli di protezione diversi. Lo scenario più estremo prevede l'installazione di muri di contenimento e barriere d'acqua – simili alle barriere MOSE di Venezia – per isolare il Porto di New York dall'Oceano Atlantico e dal Long Island Sound. Il Piano prevede la chiusura di Jamaica Bay e di corsi d'acqua più piccoli, nonché la protezione delle coste nelle aree ad alto rischio[8]. Tuttavia i costi finanziari e ambientali associati a un sistema di barriere marine sono significativi e tale sistema non offre una soluzione all'innalzamento del livello del mare a lungo termine; questo tipo di installazione potrebbe inoltre influire sulla salinità, sulla qualità dell'acqua, sulla sedimentazione e sugli ecosistemi locali; infine la gestione da parte di più Agenzie, il finanziamento da fonti diverse e la definizione di chi risiede dentro o fuori la barriera comportano significative sfide politiche e di gestione (RPA, 2017).

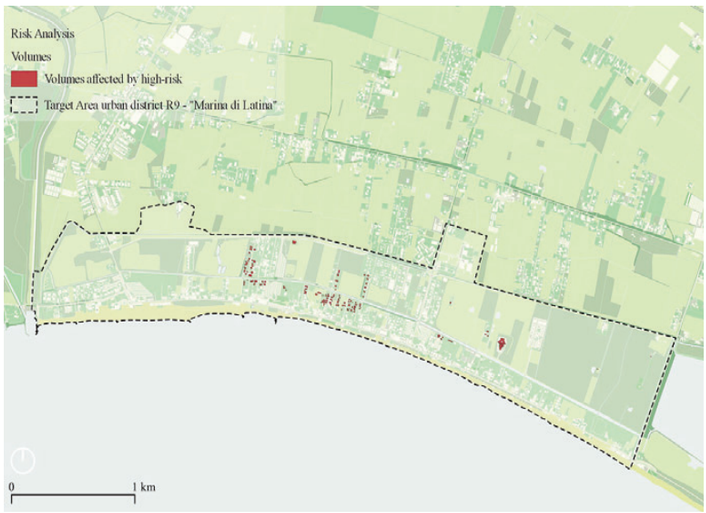
In risposta a queste proposte ingegneristiche i progettisti di New York hanno sviluppato soluzioni di infrastruttura stratificata che integrano spazi pubblici, attività ricreative, componenti educative e habitat per flora e fauna. Gli esempi che si riportano di seguito mostrano un approccio eco-sistemico e multi-scalare, dalla scala territoriale a quella locale e al livello degli oggetti, volto a definire strategie basate sulla natura attraverso diverse discipline progettuali.

On the Water – Palisade Bay è uno studio nato dalla collaborazione di architetti, ingegneri, urbanisti, accademici e studenti che hanno ripensato il quadrante superiore del Porto di New York in risposta all'innalzamento del livello del mare e alle inondazioni causate da eventi climatici estremi[9]. Lo studio mette in discussione il costo, l'efficacia e l'affidabilità delle soluzioni di protezione dalle inondazioni basate su una ingegneria 'pesante', affidate alla realizzazione di muri di contenimento, paratie e dighe, trascurando l'efficacia delle difese naturali, come paludi e zone umide, che possono assorbire l'energia delle maree, tutto ciò anche in relazione al fatto che i fronti 'frastagliati' dei moli delle navi, che mitigavano l'azione delle onde e fornivano habitat, sono venuti meno dopo il trasferimento delle attività portuali dai moli di Manhattan e Brooklyn (Nordenson, Seavitt and Yarinksy, 2008).

Lo studio propone quindi la creazione di 'infrastrutture morbide' che combinano un approccio eco-sistemico alla protezione dalle tempeste, il cui progetto consiste in tre strategie principali: costruire isole e barriere coralline in acque poco profonde per attenuare le correnti delle tempeste, creare una linea di costa varia e porosa con paludi e parchi e aggiornare e integrare le normative di pianificazione urbana per migliorare la resilienza climatica (Nordenson, Seavitt and Yarinksy, 2010). Questo lavoro ha ispirato direttamente la mostra Rising Currents – Projects for New York's Waterfront al Museum of Modern Art, che ha presentato proposte per infrastrutture adattive e 'morbide' nel porto, aumentando la consapevolezza pubblica dei rischi e delle potenziali soluzioni (Bergdoll et alii, 2011; MoMA, 2010).

Nel 2014 il Governo federale ha lanciato il concorso Rebuild by Design (González-Campaña et alii, 2023) per i siti di New York danneggiati dagli effetti dell'uragano Sandy. Lo studio SCAPE, guidato da Kate Orff, è stato premiato per il progetto Living Breakwaters, che prevede l'installazione di frangiflutti ecologici nella Baia di Raritan, al largo della costa di Staten Island: questi frangiflutti interrompono l'azione delle onde, rallentano il flusso dell'acqua e promuovono la sedimentazione lungo le spiagge. Considerando il progetto come parte di un ecosistema più ampio, SCAPE definisce la strategia come un 'approccio stratificato', intrecciando riduzione del rischio, miglioramento ecologico e integrazione della comunità. Fondi statali e federali hanno fornito 114 milioni di dollari per la costruzione di nove frangiflutti, completati nel 2024 (New York State, n.d.).

Le creste dei frangiflutti si estendono verso l'oceano per aumentare la complessità strutturale e ospitare habitat intertidali per pesci, crostacei e molluschi. La zona di sedimentazione a terra fornisce habitat per vongole, fanerogame marine e genera paludi salate, mentre la parte terrestre offre habitat protetti per foche e volatili (Orff, 2016; Fig. 10). L'installazione utilizza una combinazione di rocce, gabbioni e unità prefabbricate di armatura ecologica, ma anche elementi per formare 'piscine di marea'. Il coinvolgimento dei cittadini sarà facilitato attra-



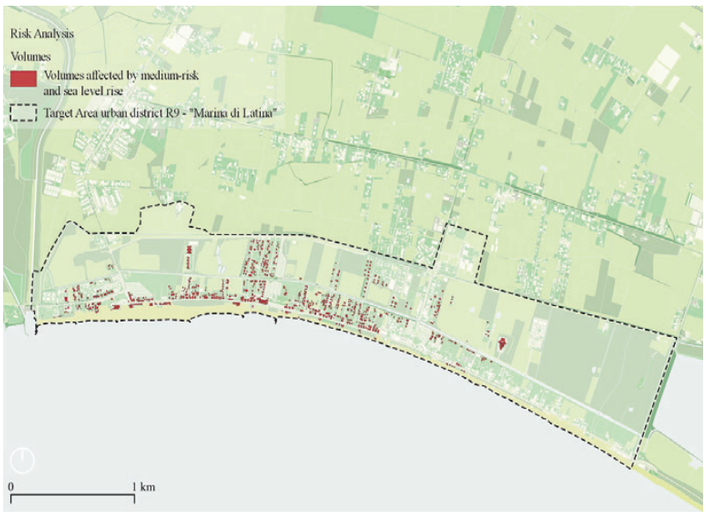


Fig. 8 | Identification of existing volumes located in high hydraulic risk areas (flooding and overflow), with a 100-year return period, based on the AUBAC Flood Risk Management Plan (credit: F. Ianiri, 2024).

Fig. 9 | Identification of existing volumes located in medium hydraulic risk areas (flooding and overflow) – with a 100-year return period, based on the AUBAC Flood Risk Management Plan– and affected by the projected new coastline by the year 2100 under the GHG emissions scenario SSP5-8.5 (credit: F. Ianiri, 2024).

Urban zone	Total of zone	Intended use	Volumes forecast m³	Volumes detected in 2014 m³	Unrealized volumes m³
Expansions zone	12	Residential	474,212	54,208	477,212
		Hotel-type accommodation facilities	57,144	0	
Completion area	6	Residential	28,082	28,082	0
		Hotel-type accommodation facilities	0	0	
Private Green Conservation Areas	36	Residential	76,752	76,752	0
		Hotel-type accommodation facilities	0	0	

Tab. 2 | Analysis of the urban planning forecasts for the R9 Marina di Latina area (credit: F. Ianiri, 2024).

verso il ripristino delle spiagge e la creazione di centri educativi lungo la costa, insieme alla realizzazione del Billion Oyster Project (2019), che mira a reintrodurre un miliardo di ostriche nel porto entro il 2035[10] (Orff, 2016). Come osserva Orff (cit. in Klinenberg, 2021, p. 18) abbiamo passato gli ultimi cento anni a dragare per la navigazione mentre ora, con un clima diverso, abbiamo bisogno di un approccio diverso.

In questo contesto progettuale gli oggetti intertidali arricchiscono il quadro multidisciplinare e multi-scalare con lo scopo di sviluppare linee di costa viventi. Queste installazioni ecologiche promuovono la crescita di specie native e forniscono protezione contro l'erosione, costituendo una componente essenziale di una linea di costa 'stratificata'. Un tale approccio integra vari elementi per garantire la resilienza urbana, combinando componenti ecologiche e ingegneristiche: unità di armatura ecologicamente sostenibili e pannelli di contenimento non solo contribuiscono alla fortificazione costiera, ma migliorano anche l'adattabilità, considerando che molti investimenti esistenti non possono semplicemente essere abbandonati, pertanto è fondamentale integrare le infrastrutture e i progetti esistenti nelle nuove strategie di adattamento e resilienza.

Iniziato come ricerca da Object Territories, uno studio di progettazione con sede a New York e Hong Kong, il progetto è stato successivamente sviluppato presso il Rensselaer Polytechnic Institute (RPI), con la consulenza del CASE (Center for Architecture, Science & Ecology) presso RPI, after-Nature con sede a Hong Kong e Fort Miller Group di New York[11]. Il gruppo di lavoro ha stabilito parametri di progettazione, come il fattore di zavorra, la porosità, la tipologia della texture superficiale e la capacità di aggregarsi e interbloccarsi con rocce esistenti o altre unità fabbricate (Figg. 11-13). Quando posizionate in acque intertidali le unità di calcestruzzo tridimensionali possono creare microambienti per creature acquatiche e alghe[12] (Fig. 14): come installazioni esse rappresentano solo una parte di un approccio stratificato necessario per costruire una costa resiliente. Questi progetti dimostrano che un design innovativo può offrire strategie efficaci per mitigare gli effetti del cambiamento climatico nelle aree costiere urbane, pianificare l'adattamento all'innalzamento del livello del mare e ripristinare gli ecosistemi naturali.

Risultati | Grazie all'innovativo processo metodologico sperimentato nel caso di studio di Marina di Latina è stato possibile condurre una duplice analisi qualitativa-quantitativa dell'impatto del rischio idraulico sulle aree urbane previste dal PPE e sulle componenti territoriali sistemiche.

In primo luogo l'analisi ha rivelato che il 49,01% delle aree di espansione individuate dal Piano, ancora non realizzate per le destinazioni d'uso residenziali, sono soggette a rischio medio; su un periodo di ritorno di 100 anni l'impatto del rischio sulle zone urbane ammonta al 50,02%, interessando la metà delle aree in fase di pianificazione (Tab. 4). I risultati ottenuti evidenziano la necessità di attuare un processo di revisione strutturato e integrato del PPE per il Distretto R9 Marina di Latina e delle sue previsioni, revisione che deve basarsi su una comprensione approfondita del territorio, del suo rapporto con il rischio idraulico e dei risultati emersi dall'analisi qualitativa-quantitativa; d'altra parte i risultati dell'analisi del rapporto tra il rischio e le componenti territoriali sistemiche indicano che, nello scenario SSP5-8.5, il sistema ambientale sarà interessato dall'82,37% (Tab. 5), il sistema insediativo morfologico dal 78,79% (Tab. 6) e i sistemi di servizi e infrastrutture dal 27,30% per le componenti areali e dal 43,51% per le componenti lineari (Tab. 7).

I risultati dell'analisi quali-quantitativa hanno fornito un quadro critico che ha guidato la definizione di strategie e azioni progettuali, categorizzate attraverso un toolkit di adattamento ai cambiamenti climatici (Mariano and Marino, 2022a; Tab. 8) e valutate per la loro efficacia di riduzione del rischio tramite una matrice parametrica (Tab. 9). Ogni azione progettuale è stata associata non solo a una macro-strategia per la resilienza urbana e all'obiettivo di resilienza climatica da raggiungere, ma anche esplicitamente allineata a parametri qualitativi e quantitativi, consentendo una valutazione dell'impatto del progetto sull'area target.

Inoltre è stata prestata particolare attenzione all'utilizzo di un approccio eco-sistemico basato sulla natura. Le NbS (Nature-based Solutions), che sfruttano la natura e il potere degli ecosistemi sani per proteggere le persone, ottimizzare le infrastrutture e salvaguardare un futuro stabile e ricco di biodiversità, sono state integrate nelle scelte progettuali (EEA, 2021). Infatti analizzando il toolkit di adattamento ai cambiamenti climatici elaborato per il caso studio di Marina di Latina, tra le NbS selezio-

Zone	Value % of incidence on the total	Area m²
High-Risk Area n.1	4.4	127,309
High-Risk Area n.2	0.57	16,636
High-Risk Area n.3	3.35	97,081
High-Risk Area n.4	6.28	181,662
High-Risk Area n.5	4.00	115,762
High-Risk Area n.6	4.56	132,055
Medium-Risk Area n.1	2.92	8,463
Medium-Risk Area n.2	27.21	787,841
Medium-Risk Area n.3	9.56	276,885
Medium-Risk Area n.4	11.05	319,945
Area related to the projection of the new coastline	19.92	576,786
Total of High-Risk zone	23.16	670,505
Total Medium-Risk zone	50.74	1,469,301
Total Area related to the projection of the new coastline	19.92	576,786
Reference parameters		
Urban district – Marina di Latina R9	100.00	2,894,966

Tab. 3 | Quanti-qualitative reading about the incidence of sea level rise and coastline 2100 in SSP5-8.5 emissions scenario and high and medium-risk zone in the urban district R9 – Marina di Latina (credit: F. Ianiri, 2024).

nate per contribuire al perseguimento degli obiettivi vi sono azioni come la creazione e la riqualificazione di corridoi verdi, l'istituzione di parchi fluviali e il ripristino della componente dunale finalizzati alla riduzione degli effetti dell'erosione costiera.

I risultati del progetto sull'area target di Marina di Latina dimostrano come possono essere implementate strategie integrate di adattamento, rilocalizzazione e 'difesa morbida' (AI, 2018) per raggiungere l'obiettivo della transizione e della resilienza climatica nell'area target.

Nel frattempo la sperimentazione con oggetti intertidali nel caso studio del Porto di New York è iniziata con un progetto pilota che prevede l'installazione di unità progettate da Object Territories e RPI, posizionate a Randall's Island, New York. Una nuova installazione è prevista a Governors Island, con il supporto del Trust for Governors Island nell'ambito della Climate Solutions Challenge (Governors Island, 2024), in attesa dell'approvazione del New York State Department of Environmental Conservation. L'installazione iterativa non ha utilizzato cemento a basso pH, mentre FMG produrrà componenti per la seconda installazione utilizzando sia miscele di cemento standard che a basso pH per valutare le potenziali differenze nel processo di adattamento.

Il team scientifico monitorerà i siti per diversi cicli annuali, documentando lo sviluppo dell'habitat; in termini di efficacia la prima installazione ha già ottenuto risultati veloci[13]: sono bastate poche settimane affinché le piante marine iniziassero a colonizzare gli oggetti, grazie alla natura salmastra delle acque ricche di nutrienti alla confluenza del porto e dell'East River. Questi risultati iniziali sono di auspicio per scenari ottimistici, sebbene gli autori siano consapevoli che conclusioni scientificamente valide richiederanno ulteriori osservazioni prolungate.

Conclusioni | I casi studio presentati evidenziano la natura innovativa della metodologia applicata, che orienta i processi di pianificazione delle aree urbane costiere e ne aumenta la resilienza agli effetti dei cambiamenti climatici. L'approccio multidisciplinare, integrato e interscalare adottato consente una risposta esaustiva e articolata alle sfide emergenti, fornendo una comprensione approfondita delle dinamiche sia locali che globali che caratterizzano i territori contemporanei.

L'analisi quali-quantitativa delle componenti territoriali sistemiche, nonché l'analisi dello stato di fatto e dello stato di diritto, consente di sviluppare soluzioni specifiche capaci di rispondere sia alle esigenze immediate che alle transizioni a lungo termine sostenibili e adattive (Ricci and Mariano, 2022), con modelli metodologici trasferibili e replicabili in contesti simili. I limiti del contributo si possono trovare nella possibilità di integrare ulteriormente nuove tecnologie e approcci nel metodo, come la correlazione tra innalzamento del livello del mare e subsidenza del suolo o la comprensione delle dinamiche legate al fenomeno dell'innalzamento del cuneo salino nel terreno, causata dall'innalzamento del livello del mare, che potrebbero migliorare ulteriormente l'efficacia delle strategie di resilienza urbana, offrendo risposte migliori alle sfide climatiche.

Valutazioni future dell'impatto che gli oggetti intertidali avranno nel creare microambienti per la flora e la fauna acquatica mentre difendono la costa, che è attualmente monitorata e la rendono resiliente, chiariranno ulteriormente i benefici del progetto.

Le sperimentazioni rappresentano un'opportunità per formare, migliorare ed espandere la conoscenza sugli effetti degli interventi progettuali e per definire parametri e indici per la valutazione dei progetti prima della loro implementazione. Il presente contributo si inserisce quindi in un percorso interscalare che va dalla formulazione di macro-strategie di resilienza urbana alla realizzazione concreta di azioni site-specific progettuali alla scala locale, sottolineando l'importanza di un approccio sistemico e interdisciplinare nella pianificazione urbanistica; promuove infine un dialogo continuo tra ricerca e sperimentazione per raggiungere obiettivi di resilienza climatica e sostenibilità ambientale a lungo termine.

This paper presents the findings of research and experimentation[1] conducted by the authors on urban regeneration strategies in climate-vulnerable areas, combining adaptive measures, dynamic processes, and sustainable development. The subject and motivations of the research are rooted in the profound physical and social transformations that have affected contemporary cities and territories over the past decades (Magni and Musco, 2017).

These changes have been driven by a series of social, political, and economic events and characterised by significant dichotomies on the international stage, such as the progressive global population growth (UN-HABITAT, 2022, 2016), contrasted with the 'demographic winter' observed in Italy since 2008, the last year in which the national population recorded an increase compared to the previous year (ISTAT, 2022, 2024). In addition to these dynamics, there are the impacts of climate change (IPCC, 2023), the depletion of ecological and energy resources, and the ongoing loss of biodiversity (European Commission, 2019, 2020). These factors have spurred reflection on adaptation and climate mitigation strategies, with the goal of making cities more resilient and sustainable (European Commission, 2013), as advocated by the Sustainable Development Goals of the 2030 Agenda (UN, 2015a, 2015b), specifically Goal 11 (Sustainable Cities and Communities) and Goal 13 (Climate Action).

There is also a need to provide a national guiding framework for implementing actions aimed at minimising the risks posed by climate change (UNISDR, 2013, 2015), improving the adaptive capacity of natural, social, and economic systems, as well as taking advantage of any opportunities that may arise from new climatic conditions, in accordance with the objective of the Italian PNACC (Piano Nazionale di Adattamento al Cambiamento Climatico; MASE, 2023).

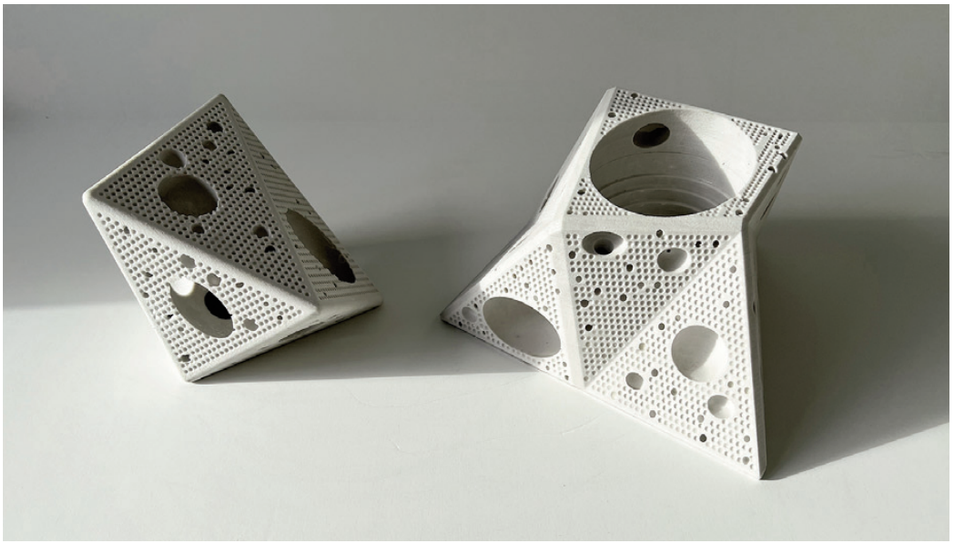
While in the European context, the response to the urgent and complex challenges of our time is pursued through community missions, strategies, and objectives (Directorate-General for Research and Innovation – European Commission, 2020), in the USA, the Inflation Reduction Act (Bistline et alii, 2023) represents the most significant investment in energy transition and climate resilience, alongside the Infrastructure Investment and Jobs Act (Bertrand, 2022), which supports green infrastructure invest-

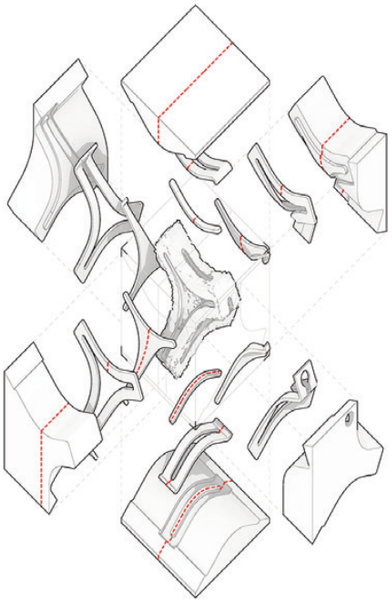


Fig. 10 | The installation of defence barriers and highlighting coastal habitats (credit: E. Beane and K. Napoli, RPI, 2024).

Fig. 11 | Prototypes of Intertidal Objects designed by Object Territories and RPI, located at Randall's Island, New York (credit: M. Carter, Object Territories, 2023).

Fig. 12 | Technical drawing and photo of the mould formwork for the intertidal object designed by Object Territories and RPI, located at Randall's Island, New York (credit: E. Aprias and M. Morgan, RPI, 2024).







ments. At the local level, in New York City, climate challenges are addressed through PlaNYC (The City of New York, 2023), with a focus on extreme events such as floods and coastal storms (Braneon et alii, 2024).

State of the art | The field of investigation concerns coastal urban areas subject to flooding – projected up to 2100 – caused by the combined effects of progressive Sea Level Rise (SLR) and increasingly frequent flood events, both triggered by the rise in global average temperature (IPCC, 2023). The territorial context of reference, illustrated in the two case studies analysed, is, respectively, the Lazio coast, identified by ENEA as one of the 33 Italian areas most at risk of compromise by 2100 due to the SLR phenomenon (Antonioli et alii, 2017), and the port of New York, with the site of Governors Island subject to flooding because of tidal phenomena. Regarding the specificity of each area, the research results have delineated three urban resilience strategies against SLR and flooding: defence, adaptation and relocation / displacement, through the definition of a climate-proof and site-specific project toolkit that prioritises the use of Nature-Based Solutions (Mariano and Marino, 2019, 2022b).

The defence strategy refers to the need to protect the territory from the threats posed by climate change, where these represent a tangible risk to the population's safety, through hydraulic engineering and protective works (dikes, barriers, objects, etc.). The adaptation strategy pertains to the necessity of adapting the urban form to models and projections of change, considering the environmental context by implementing morphological reconfiguration actions that prioritise flexibility and diversity (Mariano et alii, 2021).

Meanwhile, the relocation / displacement strategy is the most radical and least explored, involving the displacement of the most vulnerable settlements to geomorphologically safer areas, in cases where the cost-benefit ratio of defence and adaptation measures is not deemed economically sustainable (Ryan, Vega-Barachowitz and Perkins-High, 2015). This strategy opens complex scenarios that require evaluating relocation modalities and new placement ar-



Figg. 13, 14 | Prototypes of Intertidal Objects designed by Object Territories and RPI and the mould formwork for the intertidal object (credit: E. Beane and K. Napoli, RPI, 2024); Intertidal Object designed by Object Territories and RPI, located at Randall's Island, New York (credit: M. Kokora, Object Territories, 2022).

Urban Zone	Value % of incidence on the total	Area m²
Expansions zones interested by high-risk	27.19%	114
Expansions zones interested by medium-risk	49.01%	206
Expansions zones interested by sea level rise in the SSP5-8.5 emissions scenario	2.27%	10
Expansions zones interested by hydraulic Risk in 2100 (Medium Risk + Sea level rise)	51.08%	245
Completion areas interested by high-risk	6.78%	6,242
Completion areas interested interested by medium-risk	35.09%	32,305
Completion areas interested by sea level rise in the SSP5-8.5 emissions scenario	2.02%	1,862
Completion areas interested by hydraulic Risk in 2100 (Medium Risk + Sea level rise)	37.11%	34,167
Private green conservations areas interested by high-risk	3.97%	10,465
Private green conservations areas interested by medium-risk	18.69%	49,235
Private green conservations areas interested sea level rise in the SSP5-8.5 emissions scenario	22.54%	59,377
Private green conservations areas interested by hydraulic Risk in 2100 (Medium Risk + Sea level rise)	41.23%	108,612
Total of urban planning areas interested by Hydraulic Risk in 2100 (Medium Risk + Sea level rise)	50.02%	388,039
Incidence ratio of the area of the urban planning areas in the district	26.79%	775,697 / 2,894,966
Reference parameters		
Urban district – Marina di Latina R9	100.00	2,894,966
Urban planning areas	100.00	775,697
Expansions zones	100.00	419,734
Completion areas	100.00	92,062
Private green conservations areas	100.00	263,482

Tab. 4 | Quanti-qualitative reading of incidence of hydraulic risk and sea level rise in the SSP5-8.5 emissions scenario on the urban planning areas – urban planning forecasts of the update of the detailed plan of 1999 (credit: F. Ianiri, 2024).

eas, while also addressing the issue of recovery and regeneration of areas freed from settlement pressure through large-scale environmental restoration projects.

Methodology | The methodology applied to the case studies, organised into operational phases, is aimed at understanding the complex dynamics related to hydraulic risk phenomena caused by flooding and SLR within an SSP5-8.5 emissions scenario in a specific target area. This allows for the contextualisation, definition, and subsequent implementation of the three macro-strategies of urban resilience-defence, adaptation, and relocation through the explicit identification of site-specific and climate-proof actions that can guide the resilient transition of coastal urban areas. Explication of the operational phases: 1) Definition of the cognitive framework of the hydraulic risk; 2) Analysis and qualitative-quantitative assessments; 3) Planning; 4) Design and experimentation; 5) Short, medium and long-term monitoring.

Focusing on the case study of Marina di Latina (LT), the first operational phase involves defining the cognitive framework for hydraulic risk in a specific portion of the territory identified as the target area. This is done through the preliminary creation of a risk map for SLR projected to the year 2100. To achieve this, elevation curves were extracted from the DTM (Digital Terrain Model) LiDAR with a resolution of 2 metres – while other supporting analyses were carried out using the DEM (Digital Elevation Model) file with a resolution of 10 metres – using QGIS 3.26.3 software. The elevation curve corresponding to cm 63 above sea level was then isolated, aligning with the projected coastal line for 2100 (Fig. 1), according to the emission scenario «[…] GHG SSP5-8.5 with projections of 0.20-0.29 m by 2050 and 0.63-1.01 m by 2100» (IPCC, 2023, p. 19). After determining the hydraulic risk from SLR, the risk factor associated with phenomena such as intense rainfall or river overflow was defined. Shapefiles were acquired from the risk and hazard maps included in the Flood Risk Management Plan (PGRA) produced by AUBAC (Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale).

According to Article 6 of Italian Legislative Decree 49/2010 (Presidente della Repubblica Italiana, 2010) implementing Directive 2007/60/EC (European Parliament and Council of the European Union, 2007), the flood hazard and risk maps drawn up by AUBAC take into account the potential adverse consequences on the number of inhabitants potentially affected, the type of economic activities insisting in the area potentially affected, installations according to Directive 96/51/EC (Council of the European Union, 1996) that could cause accidental pollution in case of floods and protected areas potentially affected, areas where floods with high solid transport and debris flows may occur, and information on other significant sources of pollution.

To support the second operational phase of the qualitative-quantitative evaluation of these phenomena in the target area, the return period associated with the climatic event was analysed (Figg. 2-4), where the return period refers to the average time in which a given intensity value is equalled or exceeded at least once. Specifically, the authors referred to the return periods indicated in the Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA, 2021) report n. 353/2021, which highlights that for riverine floods, the return periods used in modelling within the Central Apennine District range between 30 and 50 years for the high-probability scenario, and between 100 and 200 years for the medium-probability scenario (Lastoria et alii, 2023).

The state of implementation of the planning instrument (PRG) was also assessed, and the relationship between systemic territorial components (environmental, settlement, and infrastructure systems) and climatic events associated with hydraulic risk. This analysis facilitated the identification of the planning instrument's weaknesses regarding responses to risks from flooding, intense rainfall, river overflow, and coastal erosion from SLR. It also enabled the identification of macro-strategies for urban resilience that move beyond the traditional sectoral approach in favour of an integrated approach to urban complexity, aligning with the ecosystem-based approach (Mariano and Marino, 2022a).

This approach is further developed through a toolkit of site-specific actions for hydraulic risk. The toolkit links project actions selected based on an analysis of best practices and case studies from similar contexts to systemic components relevant to the urban structure in the target area. In addition to integrating physical-territorial systems with macro-strategies

for urban resilience, the toolkit allows for the clear definition of the benefits of actions, identification of key stakeholders, estimation of implementation costs, and establishment of timelines for action, which may be short, medium, or long-term.

The methodological framework, previously articulated by the authors in other research, innovates the procedural approach, based on a processual, iterative, and multi-scalar logic (Ricci and Poli, 2018), through the introduction of a parametric analysis of the incidence ratio between hydraulic risk phenomena and the systemic components of the target area, considering both the current state and future projections for the years 2053 and 2100. The comparison of results between future scenarios and the current state provides qualitative and quantitative evaluations to support policymakers in updating local planning instruments, reducing critical factors related to hydraulic risk identified during preliminary analysis. The methodology outlined above was applied to both the Port of New York and the Marina di Latina case study.

Case study of Marina di Latina | The experimentation of urban resilience macro-strategies was conducted in the target area of Marina di Latina (IT), identified as one of 30 high-hydraulic-risk areas along the Lazio coast. The risks are due to flooding, inundation, and SLR. This territory has unique geomorphological characteristics, primarily composed of silt, clay, sand, and ground depressions known as 'Tyrrhenian pools' (Fig. 5). According to Stanisci et alii (2001), the pools are typical depressions of flat areas subject to the surfacing of the groundwater table or abundant meteoric water supply, associated with clayey soils with slow drainage. They formed because the slight slope and dune ridges along the coast hindered the outflow of numerous watercourses fed by the Lepini and Ausoni mountains' springs.

Additionally, a study on the soils of the Province of Latina highlights the uniqueness of the target area, classifying it within the SR4 – Coastal plains with parent material defined by Quaternary marine deposits and SR9 – Sandy conglomeratic terraces, ancient 'red' dune category (Arnoldus-Huyzendveld, Perotto and Sarandrea, 2009). The study notes the presence of a rare soil type called Planosol in correspondence with the ancient dune in this coastal belt. However, the land reclamation processes of the early 1900s and spontaneous anthropisation from the mid-century onwards have significantly compromised the characteristic ecosystems of the Pontine Plain and the 'Tyrrhenian pools' surrounding the Marina di Latina target area.

This condition is also emphasised in a technical report by the Regional Parks Agency, aimed at identifying new protected areas in Lazio's coastal dune environment and analysing the coast from a geomorphological, vegetational, and faunal perspective, identifying coastal dune systems and assessing their degree of naturalness (Fattori et alii, 2010). The report highlights that the area where the target site is located, corresponding to physiographic unit number 4, between Capo d'Anzio and Capo Circeo, has the highest percentage of anthropised dunes on the Lazio coast. The area's fragility is further supported by the risk assessments emerging from the cognitive framework analysis.

During preliminary investigations, it was found that the new coastline projected for 2100, within the SSP5-8.5 emissions scenario, will affect 30.04% of the real estate[2] in the target area (Fig. 6). In areas demarcated as medium risk, corresponding to a 100-year return period, phenomena such as heavy rainfall and river overflow will impact 29.18% of existing buildings (Fig. 7), while in areas of high-risk, with a 30-year return period, these events will affect 9.61% of the total (Fig. 8). The risk analysis results must consider the overlap of various phenomena that could affect the target area, significantly altering the incidence and involvement of existing buildings. Indeed, in the SSP5-8.5 emissions scenario for 2100, if flooding and river overflow were to occur simultaneously or in close temporal windows, the number of affected buildings would increase substantially, reaching 56.09% of the total (Tab. 1; Fig. 9).

For a sub-limen territory, in transition, where the past, present, and future landscapes meet and intertwine» (Marino, 2023), and where the territory is 'suspended' due to risk, a potential loss, bringing an opportunity for physical and conceptual regeneration in an ecological key (Mariano and Marino, 2022b), the precariousness is exacerbated by the urban planning and development directives for the target area, which remain only partially implemented.

These directives foresee the completion of about 477.148 cubic metres out of a total of 636.190 cubic metres (Tab. 2) in the variant of the 1999 PPE (lit. Piano Particolareggiato Esecutivo) approved[3] in 1983. The analysis also highlighted another critical aspect in the target area's planning. The perimeter for the PPE implementation in the Marina di

Zone	Value % of incidence on the total	Area m²
Arable agricultural areas interest by high-risk	23.79%	453,703
Arable agricultural areas interest by medium-risk	47.64%	908,601
Arable agricultural areas interested by sea level rise in the SSP5-8.5 emissions scenario	0.81%	15,485
Arable agricultural areas interested by hydraulic Risk in 2100 (Medium Risk + Sea level rise)	48.45%	924,086
Open areas with sparse or no vegetation interested by high-risk	0.00	0
Open areas with sparse or no vegetation interested by medium-risk	0.00	0
Open areas with sparse or no vegetation interested by sea level rise in the SSP5-8.5 emissions scenario	54.76%	136,962
Open areas with sparse or no vegetation interested by hydraulic Risk in 2100 (Medium Risk + Sea level rise)	54.76%	136,926
Urbanized green areas interested by high-risk	0.72%	1,625
Urbanized green areas interested by medium-risk	8.20%	18,607
Urbanized green areas interested sea level rise in the SSP5-8.5 emissions scenario	28.89%	61,044
Urbanized green areas interested by hydraulic Risk in 2100 (Medium Risk + Sea level rise)	37.09%	79,651
Total of environmental system interested by Hydraulic Risk in 2100 (Medium Risk + Sea level rise)	47.84%	114,0663
Incidence ratio of the area of the environmental system in the district	82.37%	2,384,465 / 2,894,966
Reference parameters		
Urban district – Marina di Latina R9	100.00	2,894,966
Environmental System	100.00	2,384,465
Open areas with sparse or no vegetation	100.00	250,118
Arable agricultural areas	100.00	1,907,302
Urbanized green areas	100.00	227,045

Tab. 5 | Quanti-qualitative reading of territorial systems components affected by future flooding due to sea-level rise Projection: 63 cm by 2100 and interested by high and medium risk; reading the state of affairs of the environmental system (credit: F. Ianiri, 2024).

Latina district covers a land area of 2.894.966 sqm, while high and medium-hydraulic-risk areas extend over 1.469.301 sqm, occupying 50.74% of the total area, including zones within 300 metres of the shoreline. An additional factor to consider is the land area that will be affected by the advancing coastline by 2100. In the SSP5-8.5 scenario, the advancing coastline will affect 576.786 sqm, which, when added to the areas already identified as high and medium-hydraulic-risk zones, raises the incidence rate to 70.66% (Tab. 3).

According to the authors, the instrument's critical issues stem from the disconnect between its principles and guidelines for risk management, in identifying the territory's fragility, and in regulating and guiding its resilient development and its process of 'structured and lasting transition' (Litt, Businaro and Maragno, 2022). Latina's General Regulatory Plan (PRG), adopted in 1972 and still in force, belongs to the family of urban expansion plans (Campos Venuti and Oliva, 1993), developed in the second phase of Italian territorial development, a long phase that continued intensely for over thirty years until the late 1970s (Oliva, 2014).

These plans cannot respond to contemporary challenges, such as climate change in coastal urban areas. In this context, considering the fragility highlighted in the relationship between the existing fabric and climatic phenomena, the absence of a plan capable of addressing climate change challenges, and the urban planning provisions that could increase anthropogenic pressure and definitively break the precarious balance of the territory, these provisions play a fundamental role as potential vectors of urban regeneration. They can reintroduce landscape elements typical of the Pontine Agro, such as the 'Tyrrhenian pools', canals, dune systems with their flora and fauna, and, in general, all elements that make Marina di Latina resilient and unique, in line with the principles of the 2024 Nature Restoration Law (European Commission, 2024). For this reason, the authors decided to experiment with relocation and adaptation macro-strategies in the case study.

Case study of New York Harbour | The New York-New Jersey harbour estuary provides a case study where macro-strategies of resilience are systemically applied to address the phenomena of urban

Zone	Value % of incidence on the total	Area m²
T1 areas interest by high-risk	0.32%	514
T1 areas interest by medium-risk	3.56%	5,742
T1 areas interested by sea level rise in the SSP5-8.5 emissions scenario	30.89%	49,809
T1 areas interested by hydraulic Risk in 2100 (Medium Risk + Sea level rise)	34.46%	55,551
T2 areas interest by high-risk	7.94%	5,908
T2 areas interest by medium-risk	20.33%	15,127
T2 areas interested by sea level rise in the SSP5-8.5 emissions scenario	41.65%	30,983
T2 areas interested by hydraulic Risk in 2100 (Medium Risk + Sea level rise)	61.97%	46,100
T3 areas interest by high-risk	38.96%	7,906
T3 areas interest by medium-risk	91.98%	18,665
T3 areas interested by sea level rise in the SSP5-8.5 emissions scenario	0,00	0
T3 areas interested by hydraulic Risk in 2100 (Medium Risk + Sea level rise)	91.98%	18,665
T4 areas interest by high-risk	12.77%	73,313
T4 areas interest by medium-risk	37.49%	215,221
T4 areas interested by sea level rise in the SSP5-8.5 emissions scenario	20.34%	116,739
T4 areas interested by hydraulic Risk in 2100 (Medium Risk + Sea level rise)	57.83%	33,196
Total of morphological-settlement system interested by Hydraulic Risk in 2100 (Medium Risk + Sea level rise)	78.79%	452,276
Incidence ratio of the area of the morphological-settlement system in the district	28.67%	829,979 / 2,894,966
Reference parameters		
Urban district – Marina di Latina R9	100.00	2,894,966
Morphological- Settlement System	100.00	829,979
T1 - Spontaneous matrix fabric characterized by a herringbone road system, predominantly residential with a residential building typology and commercial functions located on the ground floors	100.00	161,266
T2 - Spontaneous matrix fabric characterized by a herringbone road system, mainly residential with a residential building typology	100.00	74,396
T3 - Spontaneous matrix fabric characterized by a herringbone road system, mainly residential with a residential typology of villa and building	100.00	20,293
T4 - Spontaneous matrix fabric characterized by an orthogonal road system, mainly residential with a detached residential typology	100.00	574,024

Tab. 6 | Quanti-qualitative reading of territorial systems components affected by future flooding due to sea-level rise Projection: 63 cm by 2100 and interested by high and medium risk; reading the state of affairs of the morphological-settlement system (credit: F. Ianiri, 2024).

coastal flooding and SLR[4]. The New York City Mayor's Office highlights the city's primary climate risks: extreme heat, storm surges, coastal storms, chronic tidal flooding, and extreme rainfall[5] (The City of New York, 2023). This extreme vulnerability of the territory was underscored after Hurricane Sandy, whose impact and trajectory through the New York Bight – the geographical angle formed by the New Jersey and Long Island coasts – caused a devastating surge in sea levels.

The Regional Plan Association (RPA, 2017) emphasises that governments must prioritise interventions in densely populated areas with high social and economic capital, necessitating both natural and engineering solutions to protect such regions from flooding and SLR[6]. Given financial limitations, lower-density areas will require a gradual retreat from the coast through zoning changes and publicly funded property acquisitions[7]. Additionally, rising insurance premiums will progressively make building in low-elevation areas more expensive (RPA, 2017).

The U.S. Army Corps of Engineers (2022), which has broad domestic jurisdiction over waterway navigation, flood protection systems, and environmental regulations, has proposed several options for the New York harbour, characterised by varying costs, timelines, and levels of protection. The most extreme scenario involves the installation of containment walls and water barriers – like Venice's MOSE barriers – to isolate New York Harbor from the Atlantic Ocean and Long Island Sound. The plan includes closing off Jamaica Bay and smaller waterways, as well as coastal protection along high-risk areas[8]. However, the financial and environmental costs associated with a tidal barrier system are significant, and such a system does not offer a long-term solution to SLR. This type of installation could affect salinity, water quality, sedimentation, and local ecologies. Moreover, the management by multiple agencies, funding from various sources, and the definition of who resides inside or outside the barrier raise significant political challenges (RPA, 2017).

In response to these heavy engineering proposals, New York designers have developed layered infrastructure projects that integrate public spaces, recreational activities, educational components, and habitats for flora and fauna. The following examples illustrate an ecosystem-based, cross-scalar ap-

Zone	Value % of incidence on the total	Area m² or length m
Roads interest by high-risk	5.56%	1,297 (m)
Roads interest by medium-risk	21.10%	4,921 (m)
Roads interested by sea level rise in the SSP5-8.5 emissions scenario	22.41%	5,227 (m)
Roads interested by hydraulic Risk in 2100 (Medium Risk + Sea level rise)	43.51%	10,148 (m)
Recreational and sports areas interest by high-risk	0.76%	1,762
Recreational and sports areas interest by medium-risk	8.14%	18,835
Recreational and sports areas interested by sea level rise in the SSP5-8.5 emissions scenario	26.06%	60,333
Recreational and sports areas interested by hydraulic Risk in 2100 (Medium Risk + Sea level rise)	34.20%	79,168
Industrial sports areas interest by high-risk	3.72%	2,757
Industrial areas interest by medium-risk	13.55%	10,054
Industrial areas interested by sea level rise in the SSP5-8.5 emissions scenario	6.94%	5,144
Industrial areas interested by hydraulic Risk in 2100 (Medium Risk + Sea level rise)	20.49%	15,198
Public car parks interest by high-risk	13.64%	17,532
Public car parks interest by medium-risk	2.37%	3,043
Public car parks interested by sea level rise in the SSP5-8.5 emissions scenario	16.44%	21,127
Public car parks interested by hydraulic Risk in 2100 (Medium Risk + Sea level rise)	18.81%	24,17
Total of service and infrastructure system (areas) interested by Hydraulic Risk in 2100 (Medium Risk + Sea level rise)	27.30%	118,536
Total of service and infrastructure system (linear) interested by Hydraulic Risk in 2100 (Medium Risk + Sea level rise)	43.51%	10,148
Incidence ratio of the area of the service and infrastructure system (areas) in the district	15.00%	434,179 / 2,894,966
Reference parameters		
Urban district – Marina di Latina R9	100.00	2,894,966
Service and Infrastructure System (areas)	100.00	434,179
Service and Infrastructure System (linear)	100.00	23,322 (m)
Roads evaluated according to linear parameter in metres	100.00	23,322 (m)
Recreational and sports areas	100.00	231,513
Industrial areas	100.00	74,174
Public car parks	100.00	128,492

Tab. 7 | Quanti-qualitative reading of territorial systems components affected by future flooding due to sea-level rise Projection: 63 cm by 2100 and interested by high and medium risk; reading the state of affairs of the services and infrastructure system (credit: F. Ianiri, 2024).

proach aimed at defining nature-based strategies across different design disciplines, from territorial to local scales and object-level design.

On the Water – Palisade Bay is a collaborative study by architects, engineers, planners, academics, and students that reimagines the upper quadrant of New York Harbor in response to SLR and storm-induced flooding[9]. The study questions the cost, effectiveness, and reliability of flood protection solutions based on heavy engineering, which have so far relied on seawalls, bulkheads, and levees, while neglecting the effectiveness of natural defences, such as marshes and wetlands, which can absorb tidal energy.

Furthermore, the jagged edges created by ship piers, which mitigated wave action and provided habitats, have disappeared following the relocation of shipping activities away from the Manhattan and Brooklyn docks (Nordenson, Seavitt and Yarinksy, 2008). The study proposes the creation of 'soft infrastructure', which combines an ecosystemic approach to storm protection.

The project consists of three main strategies: building islands and coral reefs in shallow waters to attenuate storm currents, creating a varied and porous shoreline with marshes and parks, and updating and integrating urban planning regulations to enhance climate resilience (Nordenson, Seavitt and Yarinksy, 2010). This work directly inspired the exhibition Rising Currents: Projects for New York's Waterfront at the Museum of Modern Art, which presented proposals for adaptive and 'soft' infrastructures in the harbour, raising public awareness of the risks and potential solutions (Bergdoll et alii, 2011; MoMA, 2010).

In 2014, the Federal Government launched the Rebuild by Design competition (González-Campaña et alii, 2023) for New York sites damaged after Hurricane Sandy. The SCAPE studio, led by Kate Orff, was awarded for the Living Breakwaters project, which involves installing ecological breakwaters in Raritan Bay, off the coast of Staten Island. These breakwaters disrupt wave action, slow water flow, and promote sedimentation along beaches. Viewing the project as part of a larger ecosystem, SCAPE defines the strategy as a 'layered approach', intertwining risk reduction, ecological enhancement, and community integration. State and federal funds provided $114 million for the construction of nine break-

Components system	Goals	Site specific actions	Urban resilient macro strategy		
Environmental system	Reconnection of the existing ecological network to restore biodiversity, enhancement of reclamation channels, and high-natural-value areas	Creation of green corridors through the completion of existing tree lines	a	b	c
		Creation of new green corridors through the planting of new tree lines	a	b	c
		Establishment of local and urban parks within the free areas present in the fabric	a	b	c
	Adaptation interventions in flood and inundation risk areas	Expansion of reclamation channels to channel floodwaters	a	b	c
		Establishment of river parks	a	b	c
		Natural accumulation of sand in dunes and beaches	a	b	c
	Soft protection interventions in flood and inundation risk areas with subsequent transformation into a living shoreline	Creation of elevated paths near dunes and new coastal areas	a	b	c
		Creation of paths integrated into the terrain slopes near existing channels	a	b	c
		Creation of gently sloping natural embankments on portions of the shoreline subject to flood and inundation events	a	b	c
		Creation of gently sloping natural embankments near channels	a	b	c
Morphological Settlement System	Implementation of territorial reorganisation strategies to reaggregate the existing fabric	Relocation of residents to areas with lower risk	a	b	c
		Creation of functional mixité	a	b	c
		Construction of new buildings on currently agricultural land, including the expansion and revision of the urban complex perimeter	a	b	c
		Completion of urban voids	a	b	c
		Demolition or conversion of existing buildings	a	b	c
		Preparation and creation of floodable areas	a	b	c
	Creation of new centralities for the definition of social gathering places	Creation of new pedestrian squares and temporary squares	a	b	c
		Creation of floodable squares	a	b	c
Services and infrastructures system	Strengthening of mobility infrastructure to define and improve vehicular traffic flows, as well as implementing strategies for soft mobility planning	Integration of ecological transport into existing infrastructure services	a	b	c
		Creation of new local-level mobility infrastructure	a	b	c
		Expansion of existing road sections	a	b	c
		Expansion and restructuring of existing connecting bridges	a	b	c
		Creation of new resilient tourist and hospitality services	a	b	c
	Implementation and enhancement of local and urban public services	Creation of equipped green spaces within free areas	a	b	c
		Creation of areas designated for vehicular parking, prioritising the electric vehicles' parking	a	b	c
		Increase in the supply of various services within existing and newly developed areas	a	b	c

Tab. 8 | Toolkit of site-specific actions applied to Target Area Marina di Latina, also reading the relationship between territories components system and challenges; the letters refer to the 3 macro-strategies of a) adaptation, b) defence, and c) relocation (credit: F. Ianiri, 2024).

Site specific action	Parameter		Evaluation	Measurement (m^2, length, cost, time)
Action	Reduction of vulnerability	1-2	Minimal vulnerability reduction	
		3-4	Moderate vulnerability reduction	
		5-6	Significant vulnerability reduction	
		7-8	Almost total vulnerability reduction	
	Reduction of Climate Risk	1-2	Minimal risk reduction	
		3-4	Moderate risk reduction	
		5-6	Significant risk reduction	
		7-8	Almost total risk reduction	
	Protection of Critical Infrastructure	1-2	Minimal protection	
		3-4	Moderate protection	
		5-6	Significant protection	
		7-8	Almost total protection	
	Safeguarding Natural Resources	1-2	Limited protection of natural resources	
		3-4	Moderate protection of resources	
		5-6	Good protection of resources	
		7-8	Excellent protection of resources	
	Economic Sustainability	1-2	Poor economic sustainability	
		3-4	Moderate economic sustainability	
		5-6	Good economic sustainability	
		7-8	Excellent economic sustainability	
	Community Engagement	1-2	Minimal engagement	
		3-4	Moderate engagement	
		5-6	Significant engagement	
		7-8	Very high engagement	
	Environmental Impact	-5 to -3	Strongly negative environmental impact	
		-2 to -1	Slightly negative environmental impact	
		0	No impact	
		1 to 2	Slightly positive environmental impact	
		3 to 5	Strongly positive environmental impact	
	Social Equity	1-2	Limited benefits for the population	
		3-4	Moderate benefits, but not evenly distributed	
		5-6	Good distribution of benefits	
		7-8	Benefits evenly distributed among all population groups	
	Cost-effectiveness (cost / benefit ratio)	1-2	Low cost-effectiveness	
		3-4	Moderate cost-effectiveness	
		5-6	Good cost-effectiveness	
		7-8	Excellent cost-effectiveness	
	Implementation Time (time required to implement the action)	1-2	Long duration (> 5 years)	
		3-4	Moderate duration (3-5 years)	
		5-6	Short duration (1-3 years)	
		7-8	Very short duration (< 1 year)	
	Action Flexibility	1-2	Low flexibility, difficult to adapt	
		3-4	Moderate flexibility	
		5-6	Good flexibility	
		7-8	High flexibility, easily, adaptable	
	Ongoing Stakeholder Involvement	1-2	Minimal or absent involvement	
		3-4	Moderate involvement	
		5-6	Good level of involvement	
		7-8	Continuous and active involvement	
Evaluation results	**Maximum value**	**93**		
	Real value		–	

Tab. 9 | Quantitative-qualitative evaluation on a parametric basis of project actions for adaptation to climate change and reduction of hydraulic risk (credit: F. Ianiri, 2024).

waters, completed in 2024 (New York State, n.d.).

The crests of the breakwaters extend toward the ocean to increase structural complexity and host intertidal habitats for fish, crustaceans, and molluscs. The sedimentation zone onshore provides habitats for clams, seagrasses, and generates salt marshes, while the terrestrial portion offers protected habitats for seals and birds (Orff, 2016; Fig. 10). The installation uses a combination of rocks, gabions, and prefabricated ecological armour units, as well as units to form 'tidal pools'. Citizen engagement will be facilitated through beach restoration and the creation of educational centres along the coast, alongside the Billion Oyster Project (2019), which aims to reintroduce a billion oysters into the harbour by 2035[10] (Orff, 2016). As Orff (cit. in Klinenberg, 2021, p. 18) notes, «We've spent the past one hundred years dredging out everything for shipping and hardening the edges. Now we have a different climate, and we need a different approach».

In this design context, intertidal objects enrich the cross-scalar and multidisciplinary framework with the aim of developing living shorelines. These ecological installations promote the growth of native species and provide protection against erosion, constituting an essential component of a 'layered' shoreline. This approach integrates various elements to ensure urban resilience, combining ecological and engineering components. Ecologically sustainable armour units and containment panels not only contribute to coastal fortification but also enhance adaptability, considering that many existing investments cannot simply be abandoned. It is crucial to integrate existing infrastructure and projects into new adaptation and resilience strategies.

Initiated as research by Object Territories, a design studio based in New York and Hong Kong, this project was later developed as a research initiative at the Rensselaer Polytechnic Institute (RPI), with consultancy from the CASE (Center for Architecture, Science & Ecology) at RPI, afterNature based in Hong Kong, and the Fort Miller Group of New York[11]. The group established design parameters, such as ballast factor, porosity, surface texture typology, and the ability to aggregate and interlock with existing rocks or other fabricated units (Figg. 11-13). When placed in intertidal waters, these three-dimensional concrete units can create microenvironments for aquatic creatures and algae[12] (Fig. 14). As installations, they represent only one part of a layered approach necessary for building a resilient coastline. These projects demonstrate that innovative design can offer effective strategies for mitigating the effects of climate change in urban coastal areas, planning for SLR adaptation, and restoring natural ecologies.

Results | Thanks to the innovative methodological process tested in the Marina di Latina case study, it was possible to conduct a dual qualitative-quantitative analysis of the hydraulic risk's impact on the urban areas planned by the PPE and the systemic territorial components.

In the first instance, the analysis revealed that 49.01% of the expansion areas identified by the plan, which are still unimplemented for residential purposes, are subject to medium risk. Over a 100-year return period, the risk impact on the urban zones amounts to 50.02%, affecting half of the areas under planning (Tab. 4). These findings highlight the need for a structured and integrated revision process of the PPE for the R9 District Marina di Latina and its provisions, with the prerequisite of thoroughly understanding the territory and its relationship with hydraulic risk, as well as the results of the qualitative-quantitative analysis. On the other hand, the results of the analysis on the relationship between risk and systemic territorial components indicate that, under the SSP5-8.5 scenario, the environmental system will be impacted by 82.37% (Tab. 5), the morphological settlement system by 78.79% (Tab. 6), and the service and infrastructure systems by 27.30% for areal components and 43.51% for linear components (Tab. 7).

The qualitative-quantitative analysis results provided a critical framework that guided the definition of strategies and project actions, categorised through a climate change adaptation toolkit (Mariano and Marino, 2022a; Tab. 8) and assessed for their risk reduction effectiveness via a parametric matrix (Tab. 9). Each project action was associated not only with a macro-strategy for urban resilience and the climate resilience objective to be achieved but also explicitly aligned with qualitative-quantitative parameters, enabling an evaluation of the project's impact on the target area.

In addition, special attention was paid to the use of a nature-based ecosystem approach. NbS (Nature-based Solutions), which harness nature and the power of healthy ecosystems to protect people, optimise infrastructure and safeguard a stable, biodiversity-rich future, were integrated into the design choices (EEA, 2021). In fact, analysing the climate change adaptation toolkit drawn up for the Marina di Latina case study, among the NbSs selected to contribute to the pursuit of the objectives, there are actions such as the creation and restoration of green corridors, the establishment of river parks, and the restoration of the dune component aimed at reducing the effects of coastal erosion.

The results from the project on the Marina di Latina target area demonstrate how integrated strategies for adaptation, relocation, and 'soft' defence (AI, 2018) can be implemented to achieve the goal of transition and climate resilience in the target area.

Meanwhile, the experimentation with intertidal objects in the Port of New York case study began with a pilot project involving the installation of units designed by Object Territories and RPI, placed at Randall's Island, New York. A new installation is scheduled to be placed on Governors Island, supported by the Trust for Governors Island as part of the Climate Solutions Challenge (Governors Island, 2024), pending approval from the New York State Department of Environmental Conservation. The iterative installation did not use low-pH concrete, while FMG will produce components for the second installation using both standard and low-pH concrete mixtures to evaluate potential differences in the adaptation process. The scientific team will monitor the sites over several annual cycles, documenting the development and success of the habitat. In terms of effectiveness, the first installation has already shown rapid results[13]. It took only a few weeks for marine plants to begin colonising the objects, thanks to the nutrient-rich brackish waters at the confluence of the Harbour and East River. These initial results present optimistic scenarios, although the authors are aware that scientifically valid conclusions will require further prolonged observation.

Conclusions | The case studies presented highlight the innovative nature of the applied methodology, which guides the planning processes of coastal urban areas and enhances resilience to the effects of climate change. The multidisciplinary, integrated, and interscalar approach adopted enables a comprehensive and articulated response to emerging challenges, providing an in-depth understanding of both local and global dynamics.

The qualitative-quantitative analysis of the systemic territorial components, as well as the legal and factual state of the urban context, allows for the development of site-specific solutions that address both immediate needs and long-term sustainable and adaptive transitions (Ricci and Mariano, 2022). Additionally, the methodological models derived from the case studies are transferable and replicable in similar contexts. The limitations of the contribution can be found in the further possibility of integrating new technologies and approaches into the method, such as the correlation between SLR and land subsidence, and the understanding of the dynamics related to the phenomenon of saline wedge rise in the soil caused by SLR, which could further improve the effectiveness of urban resilience strategies, offering better responses to climate challenges.

Future evaluations of the impact that intertidal objects will have in creating micro-environments for aquatic creatures while defending the coast, which is currently being monitored, and making it resilient will further clarify the project's benefits.

Design experiments represent opportunities to form, improve, and expand the knowledge base regarding the effects of design interventions, and to define parameters and indices for the parametric evaluation of projects prior to their implementation. This work is part of an interscalar pathway, ranging from the formulation of macro-strategies for urban resilience to the concrete realisation of project actions, emphasising the importance of a systemic, interscalar, and interdisciplinary approach in urban planning. It also promotes a continuous dialogue between research and practice to achieve long-term climate resilience and sustainability goals.

Notes

1) In recent years, these activities have been conducted by the group coordinated by C. Mariano within the framework of the national research project PNR (lit. National Research Programme) 'Sustainable Transitions for Adaptation and Urban Regeneration Towards a Climate-Proof Urban Planning' (PI Carmela Mariano, 2022); in the University Research projects 'Urban Regeneration Strategies for Climate-Proof Territories – Tools and Methods for Vulnerability Assessment and Resilience Tactics Identification in Coastal Urban Areas Subject to Sea Level Rise' (PI Carmela Mariano, 2020) and 'Climate-Proof Planning and Regeneration Strategies for Adaptation to Sea Level Rise Phenomena – Experimentation and Innovation in Local Urban Planning in Risk Areas of Lazio' (PI Carmela Mariano, 2021); and further explored through research activities in the PhD programme in Planning, Design, and Technology of Architecture (Department PDTA 'Sapienza'). Within the international scientific cluster 'Medways – The Mediterranean Ways' coordinated by Prof. Mosè Ricci (University of Trento), in collaboration with the National Academy of Sciences, with the research project 'Landscapes of the SubLimen – Itinerary Through the 'Suspended' Territories of the Adriatic Coast' curated by C. Mariano and M. Marino (2019-2022); and in the H2020 Marie Curie research project 'SOS Climate Waterfront – Linking Research and Innovation on Waterfront through Technology for Excellence of Resilience to Face Climate Change', Interdepartmental Focus Center, 'Sapienza'.

2) The data correspond to the volumes present in the 2014 Regional Technical Map, scale 1:5,000, produced by the Province of Latina.

3) The data related to the volumes present in the R9 – Marina di Latina area was obtained from the 2014 census conducted by the Municipality of Latina.

4) Hurricane Irene in 2011 and Hurricane Sandy in 2012 brought the threat of storm surge to the forefront of resilience discussions in the New York metropolitan area. In addition to these extreme events, sea level rise remains a long-term threat to the area, with some scientists, such as John Englander, suggesting a sea level rise of up to 2.5-3 meters by the end of this century, with corresponding risks of more intense storm surges, flooding, and erosion (Englander, 2021).

5) Although classified as a Category 1 storm based on wind speed (NHC, 2021), Hurricane Sandy ranks fifth in terms of damage, with an estimated cost of $88.5 billion, according to the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2024). According to a report by the U.S. Department of the Interior and the United States Geological Survey, the maximum tide height during Sandy reached 5.15 meters above the North American Vertical Datum of 1988 – NAVD 88 (Schubert et alii, 2015). Current sea level rise projections from the New York City Panel on Climate Change (NPCC), relative to a 2000-2014 baseline, range from 0.38 m to 1.91 m by 2100. Considering a possible nonlinear acceleration of glacial mass loss, especially in the latter half of the century, the NPCC's rapid ice melt scenario (ARIM) projects a physically plausible upper limit of 2.90 m for New York by 2100 (Gornitz et alii, 2020).

6) The Regional Plan Association is an independent planning organisation that produces strategic reports for the tri-state region, as New York, New Jersey, and Connecticut are part of the New York metropolitan area. The RPA aims to overcome the political fragmentation of the three state governments and numerous local governments by proposing regional-scale recommendations. The RPA produced its first report in 1929 and its fourth (and most recent) in 2017.

7) The city's PlaNYC document suggests the need to acquire properties in low-lying areas, specifically targeting homeowners, but indicates that the city will seek state and federal funds to purchase the homes, without guaranteeing the reliability of such funding (The City of New York, 2023).

8) Acknowledging the project's limitations, they explicitly state that all alternative plans will have benefits for no more than 50 years. The planning horizon, which is a 100-year period to account for the effects of relative sea level change, is defined as 2016-2115 (2016 is the start of the study).

9) It is important to note that this research project was conducted before Hurricanes Irene and Sandy struck the New York area. Tropical cyclones rarely make landfall in this region compared to the southeastern United States.

10) Oyster restoration remains a significant component as they reinforce coral reefs and purify the water. The Oyster Habitat Restoration Monitoring and Assessment Handbook notes that oysters can be established using various methods: engineered concrete domes, such as 'reef balls', metal containers, such as gabion baskets, or other strategies with bags (Baggett et alii, 2014).

11) The work is based on ongoing pilot installations by Object Territories and afterNature in Victoria Harbour, sponsored by the Hong Kong government.

12) A variety of barnacles, mussels, and other sessile organisms thrive in the intertidal waters of the New York Harbor estuary. Fish species include the American eel, striped bass, Atlantic silverside, and oyster toadfish, among others. Pacific crabs, isopods, and oyster borers represent some of the mobile invertebrate species in this habitat (Billion Oyster Project, 2019).

13) One of the commercially recognised suppliers of coastal protection units has claimed that a 'bio-enhancing' mix (commonly understood as low pH) better supports biodiversity on the surface (Keegan, 2020). Other studies, which tested concrete in waters of the UK and Singapore, suggested that pH level does not have a discernible effect on species' hospitality and that the high alkalinity of fresh concrete stabilises quickly (Hsiung et alii, 2020).

References

Al, S. (2018), *Adapting cities to sea level rise – Green and grey strategies*, Island Press, Washington (US).

Antonioli, F., Anzidei, M., Amorosi, A., Lo Presti, V., Mastronuzzi, G., Deiana, G., De Falco, G., Fontana, A., Fontolan, G., Lisco, S., Marsico, A., Moretti, M., Orrù, P. E., Sannino, G. M., Serpelloni, E. and Vecchio, A. (2017), "Sea-level rise and potential drowning of the Italian coastal plains – Flooding risk scenarios for 2100", in *Quaternary Science Reviews*, vol. 158, pp. 29-43. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.12.021 [Accessed 3 October 2024].

Arnoldus-Huyzendveld, A., Perotto, C. and Sarandrea, P. (eds) (2009), *I suoli della provincia di Latina – Carta, database e applicazioni*, Gangemi Editore, Roma.

Baggett, L. P., Powers, S. P., Brumbaugh, R., Coen, L. D., DeAngelis, B., Green, J., Hancock, B. and Morlock, S. (2014), *Oyster habitat restoration monitoring and assessment handbook*, The Nature Conservancy, Arlington (US). [Online] Available at: chnep.wateratlas.usf.edu/upload/documents/Oyster-Habitat-Restoration-Monitoring-And-Assessment-Handbook.pdf [Accessed 3 October 2024].

Bergdoll, B., Roberts, R., Hruska, L. and Barliant, C. (eds) (2011), *Rising Currents – Projects for New York's Waterfront*, The Museum of Modern Art, New York. [Online] Available at: moma.org/d/pdfs/W1siZiIsIjIwMTgvMDYv MTMvN3g4MnB5eXdral9SaXNpbmdDdXJyZW50c19QUkVWSUVXLnBkZiJdXQ/RisingCurrents_PREVIEW.pdf?sha=8f1029edb8e88286 [Accessed 3 October 2024].

Bertrand, S. (2022), "How the Inflation Reduction Act and Bipartisan Infrastructure Law Work Together to Advance Climate Action", in *eesi.org*, 12/09/2022. [Online] Available at: eesi.org/articles/view/how-the-inflation-reduction-act-and-bipartisan-infrastructure-law-work-together-to-advance-climate-action [Accessed 9 October 2024].

Billion Oyster Project (2019), *New York Harbor Estuary – Species Identification Guide.* [Online] Available at: static1.squarespace.com/static/5c5604249b8fe80245a0d052/t/661fd181e26ea05b058296f4/1713361287574/Species+ID+Guide_v2_digital_compressed.pdf [Accessed 3 October 2024].

Bistline, J. et alii (2023), "Emissions and energy impacts of the Inflation Reduction Act", in *Science*, vol. 380, issue 6652, pp. 1324-1327. [Online] Available at: doi.org/10.1126/science.adg3781 [Accessed 9 October 2024].

Braneon, C., Ortiz, L., Bader, D., Devineni, N., Orton, P., Rosenzweig, B., McPhearson, T., Smalls-Mantey, L., Gornitz, V., Mayo, T., Kadam, S., Sheerazi, H., Glenn, E., Yoon, L., Derras-Chouk, A., Towers, J., Leichenko, R., Balk, D., Marcotullio, P. and Horton, R. (2024), "NPCC4 – New York City climate risk information 2022 – Observations and projections", in *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 1539, issue 1, pp. 13-48. [Online] Available at: doi.org/10.1111/nyas.15116 [Accessed 3 October 2024].

Campos Venuti, G. and Oliva, F. (eds) (1993), *Cinquant'anni di urbanistica in Italia – 1942-1992*, Laterza Edizioni, Bari and Roma.

Council of the European Union (1996), *Council Directive 96/51/EC of 23 July 1996 amending Directive 70/524/EEC concerning additives in feedingstuffs*, document 31996L0051. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31996L0051 [Accessed 3 October 2024].

Directorate-General for Research and Innovation – European Commission (2020), *A climate resilient Europe – Prepare Europe for climate disruptions and accelerate the transformation to a climate resilient and just Europe by 2030*, Publications Office of the European Union, Luxembourg. [Online] Available at: doi.org/10.2777/69766 [Accessed 3 October 2024].

EEA – European Environment Agency (2021), *Nature-based solutions in Europe – Policy, knowledge and practice for climate change adaptation and disaster risk reduction*. [Online] Available at: eea.europa.eu/publications/nature-based-solutions-in-europe/ [Accessed 3 October 2024].

Englander, J. (2021), *Moving to Higher Ground – Rising Sea Level and the Path*, The Science Bookshelf, Boca Raton.

European Commission (2024), *Regulation (EU) 2024/1991 of the European Parliament and of the Council of 24 June 2024 on nature restoration and amending Regulation (EU) 2022/869 (Text with EEA relevance)*, document 32024R1991, PE/74/2023/REV/1. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1991&qid=1722240349976 [Accessed 3 October 2024].

European Commission (2020), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee of the Regions – EU Biodiversity Strategy for 2030 Bringing nature back into our lives*, document 52020DC0380, COM/2020/380 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52020DC0380 [Accessed 3 October 2024].

European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the European Economic and Social Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, COM/2019/640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52019DC0640 [Accessed 3 October 2024].

European Commission (2013), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee of the Regions – An EU Strategy on adaptation to climate change*, document 520 13DC0216, COM(2013) 216 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A520 13DC0216 [Accessed 3 October 2024].

European Parliament and Council of the European Union (2007), *Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks*, document 32007L0060. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/dir/2007/60/oj [Accessed 3 October 2024].

Fattori, C., Mancinella, D., Tufano, M. and Capizzi, D. (eds) (2010), *Dune Costiere – Studio per l'individuazione di nuove aree protette nell'ambiente dunale costiero del Lazio*. [Online] Available at: parchilazio.it/documenti/schede/215_allegato1.pdf [Accessed 3 October 2024].

González-Campaña, J., Lafaurie-Debany, N. and Rabazo Martin, M. (2023), "Realizzare paesaggi innovativi – Balmori Associaties ridefinisce il rapporto uomo-natura per le città del futuro | Making innovative landscapes – Balmori Associates redefining the human-nature relationship for the cities of the future", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 31-42. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1322023 [Accessed 3 October 2024].

Gornitz, V., Oppenheimer, M., Kopp, R., Horton, R., Orton, P., Rosenzweig, C., Solecki, W. and Patrick, L. (2020), "Enhancing New York City's resilience to sea level rise and increased coastal flooding", in *Urban Climate*, vol. 33, article 100654, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100654 [Accessed 3 October 2024].

Governors Island (2024), *Meet the Inaugural Climate Solutions Challenge Winners*. [Online] Available at: govisland.com/blog/meet-the-inaugural-climate-solutions-challenge-winners [Accessed 3 October 2024].

Hsiung, A. R., Tan, W. T., Loke, L. H. L., Firth, L. B., Heery, E. C., Ducker, J., Clark, V., Pek, Y. S., Birch, W. R., Ang, A. C. F., Hartanto, R. S., Chai, T. M. F. and Todd, P. A. (2020), "Little evidence that lowering the pH of concrete supports greater biodiversity on tropical and temperate seawalls", in *Marine Ecology Progress Series*, vol. 656, pp. 193-205. [Online] Available at: doi.org/10.3354/meps13365 [Accessed 3 October 2024].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2023), *Climate Change 2023 – Synthesis Report – Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Online] Available at: doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647 [Accessed 3 October 2024].

ISTAT (2024), *Indicatori demografici – Anno 2023*. [Online] Available at: istat.it/it/files/2024/03/Indicatori_demografici.pdf [Accessed 3 October 2024].

ISTAT (2022), *Attività antropiche e salute delle coste – Indicatori territoriali di rischio e sostenibilità per aree costiere e insulari in Italia e nell'Unione Europea*. [Online] Available at: istat.it/produzione-editoriale/attivita-antropiche-e-salute-delle-coste-indicatori-territoriali-di-rischio-e-sostenibilita-per-aree-costiere-e-insulari-in-italia-e-nellunione-europea/ [Accessed 3 October 2024].

Keegan, M. (2020), "The World's Growing Concrete Coasts", in *BBC*, 12/08/2020. [Online] Available at: bbc.com/future/article/20200811-the-eco-friendly-alternatives-to-ocean-concrete [Accessed 3 October 2024].

Klinenberg, E. (2021), "The Seas Are Rising. Could Oysters Help? – How a landscape architect is enlisting nature to defend our coastal cities against climate change – and doing it on the cheap", in *The New Yorker*, newspaper, 02/08/21. [Online] Available at: newyorker.com/magazine/2021/08/09/the-seas-are-rising-could-oysters-protect-us [Accessed 3 October 2024].

Lastoria, B., Bussettini, M., Mariani, S., Piva, F. and Braca, G. (2023), *Rapporto sulle condizioni di pericolosità da alluvione in Italia e indicatori di rischio associati*, Rapporti, 353/21, ISPRA, Roma. [Online] Available at: isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/rapporto-sulle-condizioni-di-pericolosita-da-alluvione-in-italia-e-indicatori-di-rischio-associati [Accessed 3 October 2024].

Litt, G., Businaro, G. and Maragno, D. (eds) (2022), *La città come laboratorio di apprendimento permanente*, Anteferma Edizioni, Treviso. [Online] Available at: air.iuav.it/retrieve/e35e2026-4afc-4137-a22a-218e81750374/C5_LC-CLAP_Litt%20Granceri%20Magni.pdf [Accessed 3 October 2024].

Magni, F. and Musco, F. (2017), "Verso una città climate proof – Strumenti e politiche innovative per il governo del territorio in uno scenario di cambiamento climatico", in Fini, G., Saibene, C. M., Piscitelli, P., Ronsivalle, D., Infante, L., Leccis, F. and Gallego, E. (eds), *Atti della XIX Conferenza Nazionale SIU | Società Italiana degli Urbanisti – Cambiamenti, Responsabilità e strumenti per l'urbanistica al servizio del Paese, Catania, Italy, June 16-18, 2016*, Planum Publisher, Roma-Milano, pp. 768-773. [Online] Available at: air.iuav.it/handle/11578/267303?mode=complete [Accessed 3 October 2024].

Mariano, C. and Marino, M. (2022a), "SubLimen landscapes – Mediterranean actions, reactions, and relationships – The Adriatic coast between loss and regeneration", in Ricci, M., *MedWays Open Atlas*, LetteraVentidue, Siracusa, pp. 421-427. [Online] Available at: researchgate.net/profile/Marsia-Marino/publication/367114169_SubLimen_landscapes_Mediterranean_actions_reactions_and_relationships_the_Adriatic_coast_between_loss_and_regeneration/links/63cc0cf8e922c50e99b1f88b/SubLimen-landscapes-Mediterranean-actions-reactions-and-relationships-the-Adriatic-coast-between-loss-and-regeneration.pdf [Accessed 3 October 2024].

Mariano, C. and Marino, M. (2022b), "Urban Planning for Climate Change – A Toolkit of Actions for an Integrated Strategy of Adaptation to Heavy Rains, River Floods, and Sea Level Rise", in *Urban Science*, vol. 6, issue 3, article 63, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.3390/urbansci6030063 [Accessed 3 October 2024].

Mariano, C. and Marino, M. (2019), "Defense, adaptation and relocation – Three strategies for urban planning of coastal areas at risk of flooding", in C. Gargiulo and C. Zoppi (eds), *Planning, Nature and Ecosystem Services – INPUT aCAdemy 2019 – Conference Proceedings*, FedOAPress, pp. 704-713. [Online] Available at: researchgate.net/publication/367326807_Defense_adaptation_and_relocation_Three_strategies_for_urban_planning_of_coastal_areas_at_risk_of_flooding [Accessed 3 October 2024].

Mariano, C., Marino, M., Pisacane, G. and Sannino, G. (2021), "Sea Level Rise and Coastal Impacts – Innovation and Improvement of the Local Urban Plan for a Climate-Proof Adaptation Strategy", in *Sustainability*, vol. 13, issue 3, article 1565, pp. 1-21. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su13031565 [Accessed 3 October 2024].

Marino, M. (2023), *Governare la transizione – Il piano urbanistico locale tra sperimentazione e innovazione climate-proof*, FrancoAngeli, Milano.

MASE – Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2023), *Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*. [Online] Available at: mase.gov.it/pagina/piano-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici-pnacc [Accessed 3 October 2024].

MoMA – Museum of Modern Art (2010), *Rising Currents – Projects for New York's Waterfront exhibition, Mar 24-Oct 11, 2010.* [Online] Available at: moma.org/calendar/exhibitions/1028 [Accessed 3 October 2024].

New York State (n.d.), *Living breakwaters – Project home*. [Online] Available at: hcr.ny.gov/living-breakwaters-project-home [Accessed 3 October 2024].

NHC – National Hurricane Center (2021), *Saffir-Simpson Hurricane Wind Scale.* [Online] Available at: nhc.noaa.gov/aboutsshws.php [Accessed 3 October 2024].

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration (2024), *Costliest U.S. Tropical Cyclones.* [Online] Available at: ncei.noaa.gov/access/billions/dcmi.pdf [Accessed 27 August 2024].

Nordenson, G., Seavitt, C. and Yarinsky, A. (2010), *On the Water – Palisade Bay*, Hatje Cantz, Ostfildern.

Nordenson, G., Seavitt C. and Yarinksy, A. (2008), "On the Water – The New York / New Jersey Harbor", in *Places Journal*, vol. 20, issue 2, pp. 8-13. [Online] Available at: placesjournal.org/article/on-the-water-the-new-york-new-jersey-harbor/ [Accessed 3 October 2024].

Oliva, F. (2015), "L'urbanistica Italiana Tra Riforma E Controriforma", in *Ciudades | Revista del Instituto Universitario de Urbanística de la Universidad de Valladolid*, vol. 18, pp.127-142. [Online] Available at: dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5180711 [Accessed 3 October 2024].

Orff, K. (2016), *Toward an Urban Ecology – SCAPE / Landscape Architecture*, The Monacelli Press, New York.

Presidente della Repubblica Italiana (2010), "Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 – Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni", in *Gazzetta Ufficiale*, anno 151, numero 77. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/gu/2010/04/02/77/sg/pdf [Accessed 3 October 2024].

Ricci, L. and Mariano, C. (2022), "Urban regeneration, climate adaptation, and territorial governance. Experimentation and innovation in the Plan for an integrated strategy between urban planning and ecology", in Gambardella, C. (ed.), *World Heritage and Ecological Transition – XX International Forum Le Vie dei Mercanti, Naples and Capri, Italy, September 8-10, 2022*, Gangemi Editore, Roma, pp. 205-213. [Online] Available at: cdn.gangemieditore.com/import/materialiVari/World_Heritage_Ecological_Transition_At.pdf [Accessed 3 October 2024].

Ricci, L. and Poli, I. (2018), "Rigenerare la città contemporanea tra sperimentazione e formazione | Regenerating contemporary city between experimentation and education", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 3, pp. 115-122. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/3162018 [Accessed 3 October 2024].

RPA – Regional Plan Association (2017), *The Fourth Regional Plan – Making the Region Work for All of Us*. [Online] Available at: fourthplan.org [Accessed 3 October 2024].

Ryan, B. D., Vega-Barachowitz, D. and Perkins-High, L. (2015), "Rising tides – Relocation and Sea Level Rise in metropolitan Boston", in *Project Primer 21*, pp. 1-21. [Online] Available at: lcau.mit.edu/sites/default/files/2022-06/RisingTides_ProjectPrimer.pdf [Accessed 3 October 2024].

Schubert, C. E., Busciolano, R., Hearn, P. P. Jr., Rahav, A. N., Behrens, R., Finkelstein, J., Monti, J. Jr. and Simonson, A. E. (2015), *Analysis of Storm-Tide Impacts from Hurricane Sandy in New York – Scientific Investigations Report 2015-5036*, U.S. Geological Survey, Reston (VA). [Online] Available at: dx.doi.org/10.3133/sir20155036 [Accessed 3 October 2024].

Stanisci, A., Acosta, A., Gargini, V., Fiore, F. and Blasi, C. (2001), "Zonazione della vegetazione nelle 'piscine' dei querceti planiziari del Lazio", in *Informatore Botanico Italiano*, vol. 33, issue 2, pp. 379-389. [Online] Available at: societabotanicaitaliana.it/SBI/IBI%2033%20(2)%202001/379-389%20Stanisci%20et%20al%20-%20Querceti.pdf [Accessed 3 October 2024].

The City of New York (2023), *PlaNYC – Getting Sustainability Done*. [Online] Available at: climate.cityofnewyork.us/wp-content/uploads/2023/06/PlaNYC-2023-Full-Report.pdf [Accessed 3 October 2024].

UN – United Nations (2015a), *Paris Agreement.* [Online] Available at: unfccc.int/sites/default/files/english_ paris_agreement.pdf [Accessed 3 October 2024].

UN – United Nations (2015b), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: documents.un.org/doc/undoc/gen/n15/291/89/pdf/n1529189.pdf [Accessed 3 October 2024].

UN-HABITAT – United Nations Human Settlements Programme (2022), *Envisaging the future of cities*, World Cities Report 2022. [Online] Available at: unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf [Accessed 3 October 2024].

UN-HABITAT – United Nations Human Settlements Programme (2016), *Cities Report 2016 – Urbanization and Development – Emerging Futures*. [Online] Available at: doi.org/10.18356/d201a997-en [Accessed 3 October 2024].

UNISDR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction (2015), *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. [Online] Available at: undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030 [Accessed 3 October 2024].

UNISDR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction (2013), *Annual Report 2013 – Final Report on 2012-2013 – Biennium Work Programme.* [Online] Available at: undrr.org/publication/unisdr-annual-report-2013 [Accessed 3 October 2024].

U.S. Army Corps of Engineers (2022), *New York-New Jersey Harbor and Tributaries Coastal Storm Risk Management Feasibility Study – Draft Integrated Feasibility Report and Tier 1 Environmental Impact Statement.* [Online] Available at: nan.usace.army.mil/Portals/37/NYNJHATS%20Draft%20Integrated%20Feasibility%20Report%20Tier%201%20EIS_3Oct2022.pdf [Accessed 3 October 2024].

ARCHITECTURE
Research & Experimentation

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 174-185
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/16142024

Article Info

Received 10 September 2024
Revised 14 October 2024
Accepted 16 October 2024
Published 30 December 2024

RIVITALIZZARE LE COMUNITÀ RURALI
Autosufficienza energetica e valorizzazione delle risorse boschive locali

REVITALISING RURAL COMMUNITIES
Energy self-sufficiency and valorisation of local forest resources

Giuseppe Losco, Chiara Pasqualini, Mohammadjavad Khodaparast

Abstract

La ricerca esplora l'individuazione di strategie per la rivitalizzazione dei nuclei storici rurali montani in depauperamento demografico, con focus sugli insediamenti del cratere del sisma che ha coinvolto l'Appennino centrale nel 2016. Con approccio olistico, multidisciplinare e multiscalare si indaga sulle interconnessioni tra un rilancio economico basato sulla valorizzazione delle risorse locali e la riqualificazione energetica degli insediamenti per un miglioramento della qualità della vita e il ritorno alla stanzialità. Viene sviluppata una metodologia di valutazione della fattibilità tecnica per il raggiungimento dell'autosufficienza energetica con l'obiettivo di innescare virtuosi sistemi circolari in cui tutela dell'ambiente, ricadute economiche locali e obiettivi globali di neutralità climatica e indipendenza energetica si supportano vicendevolmente a beneficio delle comunità.

This study examines strategies for revitalising historic rural mountain settlements suffering from demographic decline, focusing on those in the earthquake-affected area of the central Apennines hit in 2016. Through a holistic, multidisciplinary, and multi-scalar approach, the paper investigates the interconnections between economic revival – driven by the enhancement of local resources – and the energy upgrading of settlements to improve quality of life and encourage long-term repopulation. A methodology for assessing the technical feasibility of achieving energy self-sufficiency is developed to initiate virtuous circular systems, where environmental protection, local economic benefits, and global goals of climate neutrality and energy independence reinforce each other, ultimately benefiting local communities.

Keywords

autosufficienza energetica, biomassa legnosa, comunità rurali, filiera corta, energia rinnovabile

energy self-sufficiency, woody biomass, rural communities, short supply chain, renewable energy

Giuseppe Losco, Architect and PhD, is a Full Professor of Industrial Design at the School of Architecture and Design, University of Camerino (Italy). His research is a place for experimental design aimed at new models of sustainable environmental development and new product concepts, addressing questions on the qualitative development of the built environment, regarding the use of eco-sustainable and energy-efficient materials and energy-saving techniques and technologies. Mob. +39 329/26.09.970 | E-mail: giuseppe.losco@unicam.it

Chiara Pasqualini, Architect, is a PhD Candidate in Innovation Design at SAAD, University of Camerino (Italy). Her research focuses on building energy efficiency, energy management, circular and renewable energy supply strategies for communities, digitisation of buildings through Building Information Modeling (BIM) and energy analysis / simulation through Building Energy Modeling (BEM). E-mail: chiara.pasqualini@unicam.it

Mohammadjavad Khodaparast, Architect, is a PhD Candidate in Architecture, Design and Planning at the University of Camerino (Italy). His research focuses mainly on urban sustainability, materials, urban heat islands, technology and environmental design. His professional architecture and construction background spans over a decade and includes several international projects. Mob. +39 380/90.20.105 | Email: javad.khodaparast@unicam.it



Lo spopolamento delle aree rurali montane è un fenomeno indicativo di una complessità di situazioni di declino che vedono correlati fattori sociali ed economici, la cui difficile gestione provoca nel tempo la loro sedimentazione e acuizione. In caso di eventi naturali catastrofici, inoltre, l'aggravarsi delle criticità endemiche rende ancora più insidiosi i tentativi di recupero, prefigurando scenari di irreversibilità. La prassi della risposta correttiva di contingenza non risolve la debolezza strutturale di questi territori e un rilancio resiliente richiede politiche di sinergia, adattive, preventive e proattive (Gausa, 2019). In questo quadro è fondamentale che la pianificazione delle strategie d'intervento sia capace di mettere a sistema le azioni di risposta a una moltitudine di domande di natura diversa, da implementare in modo contestuale e coordinato e che le metodologie utilizzate riflettano il grado di complessità del problema a cui si rivolgono.

Il patrimonio ambientale delle aree interne rurali offre un grande potenziale per le politiche di trasformazione della società e di transizione energetica ed economica verso modelli circolari a basso impatto, auspicati dalla Comunità Europea attraverso il Green Deal (European Commission, 2019). La nuova prospettiva impone di attenzionare le reciproche relazioni tra il livello fisico-materiale delle risorse, degli insediamenti e degli ecosistemi e quello socio-economico della produzione, del lavoro, del consumo e del benessere (Antonini, 2019): una situazione di crisi può tramutarsi in opportunità.

L'abbandono dei territori rurali montani in Italia si è tradotto nell'incuria del Patrimonio forestale, la cui crescita incontrollata, se venisse destinata ad assestamento sostenibile e gestita attraverso logiche di economia circolare, offrirebbe positive ricadute sociali e ambientali, veicolando il rilancio delle comunità locali. La presente ricerca presuppone, come fattore abilitante del ritorno alla stanzialità, l'interconnessione virtuosa tra l'attivazione di filiere produttive sostenibili del legno, la rigenerazione fisica degli insediamenti e l'approvvigionamento energetico da risorse rinnovabili locali, proponendo una metodologia per la valutazione di fattibilità tecnica del raggiungimento dell'autosufficienza energetica, in coerenza con gli obiettivi europei di neutralità climatica (European Commission, 2019) e indipendenza dalle importazioni esterne (European Commission, 2022).

Il focus si è concentrato sui borghi del cratere del sisma che ha investito l'Appennino Centrale nel 2016, dove il problema dell'abbandono e dell'esodo è stato aggravato dall'evento calamitoso; gli sforzi di ricostruzione e gli investimenti impegnati dovranno essere supportati da scenari di rilancio del territorio che va oltre la sola ricostruzione del Patrimonio edilizio distrutto o danneggiato.

Il presente contributo ha l'ambizione di porsi in modo rilevante per la comunità scientifica perché vuole affrontare con approccio olistico problematiche interconnesse e opera in ambiti scalari e multidisciplinari. Il ripopolamento dei borghi, lo sviluppo di filiere produttive locali, l'utilizzo circolare a cascata delle risorse, l'autosufficienza energetica, l'efficientamento e il miglioramento del comfort abitativo nell'ambito della ristrutturazione e della ricostruzione post-sisma, la sostenibilità degli interventi e la rispondenza alle aspettative delle politiche sono considerati nelle loro interdipendenze e rendono i risultati dello studio d'interesse per una moltitudine di stakeholder che va dagli amministratori locali agli operatori economici fino ai privati cittadini.

Il contributo è strutturato in una prima parte che espone una panoramica sul fenomeno dello spopolamento dei piccoli borghi rurali montani, della crescita non gestita del Patrimonio forestale italiano e sulle potenzialità per il rilancio delle comunità; una seconda analizza lo stato dell'arte sulle esperienze di rivitalizzazione degli insediamenti rurali, a partire dalla valorizzazione delle risorse locali e le aspettative delle policy europee in ambito energetico a supporto di tali strategie; una terza parte presenta la metodologia di valutazione di fattibilità implementata e una quarta ne presenta l'applicazione al caso studio di Terracino, borgo della Città di Accumoli; infine si riportano i risultati ottenuti e le conclusioni, prospettando ulteriori scenari futuri per la ricerca.

L'andamento demografico delle piccole comunità montane in Italia e l'incuria del Patrimonio forestale | In Europa molte aree rurali si trovano a fronteggiare sfide impegnative legate al fenomeno dello spopolamento, afflitte da problemi di sviluppo economico competitivo, carenze infrastrutturali o assenza di servizi, a cui corrispondono disuguaglianze sociali, bassa natalità, scarsa attrattività per una immigrazione controllata e invecchiamento demografico (Baró Zarzo, Poyatos Sebastián and Martínez Martínez, 2020). Queste condizioni sono considerate un 'circolo vizioso' che prelude al declino delle regioni rurali e interessano maggiormente l'Europa settentrionale e orientale, la Germania, la Spagna e l'Italia. D'altro canto le stesse aree rurali detengono intrinseci potenziali per lo sviluppo di economie strategiche per la transizione ecologica, perché vantano una minore pressione sul loro capitale ambientale naturale (ESPON EGTC, 2020).

In Italia il 52% dei Comuni è situato in aree rurali montane, di cui il 94% è costituito da piccoli borghi con meno di 5.000 abitanti, corrispondente al 71% del totale dei Piccoli Comuni (ISTAT, 2024) dei quali il 73% sta soffrendo un trend demografico di costante decrescita (ANCI, 2019; Figg. 1, 2). L'area che nel 2016 è stata investita dallo sciame sismico sull'Appennino Centrale ospita 140 Comuni (Presidente della Repubblica, 2016) e l'85% di questi sono Piccoli Comuni sotto i 5.000 abitanti, di cui circa la metà non raggiunge i 1.000, mentre l'emorragia demografica interessa il 95% (Fig. 3). Queste aree esprimono una maggiore vulnerabilità poiché necessitano della ricostruzione del tessuto edilizio storico e di una rivitalizzazione di processi di sviluppo socio-economici.

Nel secolo scorso l'esodo della popolazione dai territori rurali verso i grandi agglomerati urbani (ESPON EGTC, 2020) e il correlato abbandono delle attività agrosilvopastorali hanno comportato le inevitabili conseguenze di una crescita indisturbata delle foreste e dei boschi nei terreni lasciati all'incuria (Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, 2012). La stima della copertura boschiva in Italia è pari a circa 11 milioni di ettari, corrispondente a oltre un terzo del territorio nazionale (Gasparini et alii, 2022) con un incremento costante nel tempo che ha raggiunto un complessivo 32% dal 1985. I dati evidenziano inoltre un forte sottodimensionamento della pianificazione e dell'assestamento forestale, che copre solo il 15% circa delle aree (FAO, 2020). Le aree rurali con problemi complessivi di sviluppo si distribuiscono maggiormente sui territori montani (Rete Rurale Nazionale, 2020) e si stima che in Italia gli utilizzi dell'incremento annuo di volume legnoso, disponibile al prelievo sostenibile, sono limitati a un 25% (Gasparini et alii, 2022), a fronte di una media europea del 65% (Eurostat, 2024; Figg. 4, 5).

Tornare a vivere e custodire questi luoghi presuppone di trovarvi condizioni necessarie allo stanziamento, in termini di rilancio di un'economia basata sulla valorizzazione delle risorse del territorio e di rigenerazione qualitativa degli insediamenti (Fig. 6), coinvolgendo le comunità locali nelle politiche di sviluppo per una imprenditorialità diffusa (Dall'Ara and Villani, 2020). Per stimolare l'occupazione e garantire servizi di prevenzione dei rischi idrogeologici e degli incendi la Strategia Nazionale Forestale promuove l'implementazione di una gestione forestale che attivi filiere produttive sostenibili del settore legno (Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, 2022).

Ai fini della sostenibilità ambientale, sociale ed economica l'utilizzo del legno in tali filiere deve seguire il principio 'a cascata', che ottimizza l'efficienza della risorsa minimizzando gli sprechi (Olsson et alii, 2016) e favorisce un'imprenditorialità inclusiva capace di valorizzare lo scarto all'interno di un quadro sistemico di economia circolare basato sulle logiche del Material-driven Design (Santos Malaguti de Sousa et alii, 2023). A valle di un tale sistema si può considerare l'utilizzo del materiale legnoso anche a scopi energetici, poiché si mantiene il bilanciamento tra l'obiettivo di protezione degli ecosistemi forestali e dei serbatoi di carbonio, raccomandato dal LULUCF[1], e l'utilizzo della biomassa come fonte rinnovabile, sostenuto dalla RED II (Camia et alii, 2021), con l'obiettivo di raggiungimento dei target di neutralità climatica e sicurezza dell'approvvigionamento energetico attesi dal Green Deal europeo.

La sicurezza e l'utilizzo razionale delle fonti energetiche sono fattori abilitanti della rigenerazione degli insediamenti storici rurali in declino; tra gli indicatori che favoriscono il ripopolamento si annoverano gli interventi di riqualificazione energetica degli edifici esistenti, ponendo l'attenzione alla delicata questione di combinare la tutela dei valori storico-culturali del Patrimonio con le tecnologie innovative (Dall'Ara and Villani, 2020). In conclusione l'obiettivo di rivitalizzare i centri rurali necessita l'implementazione di un sistema in cui il rilancio economico e la tutela ambientale si supportino vicendevolmente, costituendo l'uno la condizione necessaria per la realizzazione dell'altra.

Soluzioni sostenibili per l'autosufficienza energetica dei borghi montani attraverso la biomassa legnosa locale | Negli ultimi anni sono emerse le iniziative degli Smart Villages basate sull'idea di rivitalizzare i piccoli borghi, attraverso il coinvolgimento delle comunità locali in processi bottom-up di valorizzazione dei propri punti di forza e di esplorazione di nuove opportunità, favorendo l'ammodernamento tecnologico per supportare digitalizzazione e sicurezza energetica (Zavratnik, Kos and Stojmenova Duh, 2018).

Il tema della sicurezza dell'approvvigionamento energetico in Europa è associato alla fornitura da fonti rinnovabili locali, vista la diretta correlazione con gli obiettivi di riduzione delle emissioni climalteranti e di indipendenza dalle importazioni dai Paesi esteri; pertanto sono stati finanziati progetti di 'bioenergy villages', volti a raggiungere l'autosufficienza energetica, l'affrancamento dalle fonti fossili e la valorizzazione delle risorse locali. Diffusi in Germania e Austria, il 55% di questi villaggi ha una popolazione tra i 1.000 e i 5.000 abitanti, e il 35% ne ha meno di 500.

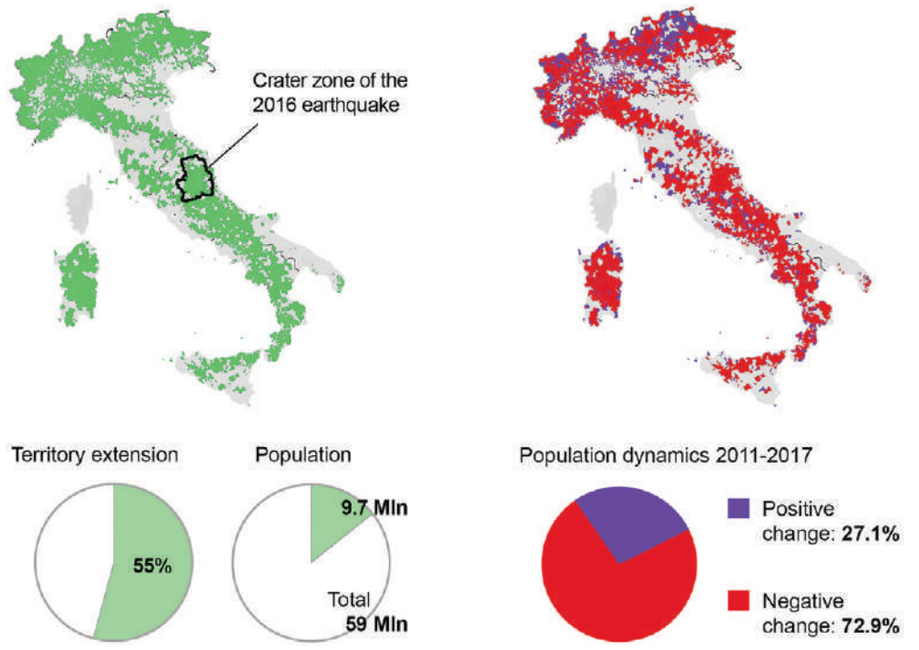


Fig. 1 | Geographical distribution, territorial extension and total population of small Municipalities under 5,000 inhabitants in Italy (credit: the Research Group).

Fig. 2 | Geographical distribution of demographic trends in small Municipalities in Italy (credit: the Research Group).

Attraverso un modello di business partecipato dalle comunità, sono stati realizzati mix tecnologici che includono la cogenerazione a biomassa legnosa e le reti di teleriscaldamento: la metà di questi villaggi produce un'eccedenza di elettricità e la condivide attraverso la rete (Ugalde et alii, 2016).

La recente Direttiva 2023/2413/EU (European Parliament and the Council of the European Union, 2023) fissa l'obiettivo comunitario di copertura del 49% del consumo di energia finale con fonti rinnovabili per il settore degli edifici e promuove le forme aggregate di autoconsumo già definite dalla precedente Direttiva 2018/2001/EU (European Parliament and the Council of the European Union, 2018) con il nome di Comunità di Energia Rinnovabile, in cui gruppi di cittadini si uniscono per condividere l'energia autoprodotta utilizzando risorse locali, con l'obiettivo di ottenerne benefici ambientali, economici e sociali. Le stesse Direttive incoraggiano configurazioni servite da teleriscaldamento e l'uso della biomassa legnosa: in linea con esse, il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2024) promuove in Italia lo sviluppo di filiere circolari per la raccolta, recupero e trasformazione in prodotti aventi valore di mercato dei materiali di provenienza forestale, includendo tra le destinazioni i combustibili per il teleriscaldamento.

L'obiettivo dell'autosufficienza energetica può essere un traguardo per i piccoli borghi montani che spesso sono carenti, nel loro isolamento, di infrastrutture di allaccio alla rete nazionale e può contribuire al miglioramento della qualità della vita negli insediamenti poiché si integra con gli interventi di efficientamento energetico degli edifici, necessari a ridurre i fabbisogni e aumentare il comfort abitativo.

La Direttiva 2024/1275/EU (European Parliament and the Council of the European Union, 2024) stabilisce una tabella di marcia per efficientare il Patrimonio edilizio esistente e raggiungere la neutralità climatica dell'intero parco immobiliare al 2050, richiedendo un aggiornamento dei requisiti minimi di prestazione energetica da rispettare nelle ristrutturazioni. Inoltre introduce la necessità in futuro di calcolare il Global Warming Potential dell'intero ciclo di vita dell'edificio, includendo anche le emissioni incorporate nei materiali e attenzionando la conformità ai principi dell'economia circolare. È stato infatti dimostrato che la semplice ricerca della prestazione energetica non garantisce la riduzione delle emissioni climalteranti se i materiali utilizzati nella ristrutturazione non derivano da processi attenti alla sostenibilità ambientale (Del Curto et alii, 2024).

La sicurezza dell'approvvigionamento, l'efficientamento degli edifici, l'utilizzo di materiali legnosi provenienti da forniture sostenibili, a basse emissioni climalteranti e che favoriscono le filiere locali per un rilancio economico del territorio, sono i fattori tenuti a sistema nella ricerca.

Proposta metodologica e fasi per la valutazione di fattibilità | Il presente lavoro ha definito una metodologia replicabile per la valutazione di fattibilità tecnica dell'autosufficienza energetica di un borgo montano attraverso l'utilizzo sostenibile della biomassa legnosa locale. Gli obiettivi perseguiti sono stati individuare le fasi del processo di valutazione, fornire gli strumenti operativi, legislativi e documentali di supporto e restituire risultati numerici confrontabili ricavati dall'applicazione della metodologia a un caso studio. Le fasi che strutturano il processo includono analisi ed elaborazioni a scale differenti e gli strumenti sono di varia natura vista la multidisciplinarità degli ambiti coinvolti e la settorializzazione delle fonti.

Il lavoro si è confrontato con virtuosi casi studio quali il progetto europeo BioVill (Bozhikaliev et alii, 2019) e il progetto Factor20 promosso dalla Regione Lombardia (Provincia di Bergamo, 2013), che incoraggiano l'uso di biomassa locale per la generazione di energia nei villaggi montani e lo sviluppo di reti di teleriscaldamento. In tali progetti vengono approfondite la valutazione di fattibilità economica e l'impatto sociale e ambientale della realizzazione di tali sistemi e vengono forniti suggerimenti alle Amministrazioni pubbliche per l'effettiva implementazione.

Il presente contributo si concentra sulla ricognizione degli strumenti per la valutazione della fattibilità tecnica e aggiunge alla metodologia l'importante aspetto di considerare le azioni di efficientamento energetico degli edifici nelle strategie per l'autosufficienza, al fine di rendere più efficace il sistema e ridurre la richiesta di risorse, ottimizzandone il livello di circolarità. Inoltre è posta l'attenzione sulla necessità di selezionare gli interventi non solo in chiave prestazionale, ma anche in ottica di tutela dei valori culturali e architettonici dei centri storici.

Nelle conclusioni viene presentata una proposta progettuale di installazione di un impianto per la raccolta, lo stoccaggio, la cippatura e la lavorazione della biomassa legnosa per la produzione di energia quale soluzione di conversione funzionale delle aree che, nei territori colpiti dagli eventi tellurici catastrofici, sono state forzosamente urbanizzate per far fronte alla richiesta abitativa in fase di emergenza e sono oggetto di dibattito rispetto alla loro destinazione d'uso successiva alla fase di ricostruzione. Si descrive di seguito la metodologia con la definizione delle fasi e associando gli strumenti di riferimento.

Fase 1 – Stato dell'arte ed analisi del contesto ambientale e climatico degli insediamenti: in questa fase sono stati individuati la zona climatica del luogo e i gradi giorno mensili di riscaldamento, quantificabili attraverso database climatici e software di analisi e si sono valutate le condizioni termoigrometriche stagionali per indirizzare le successive strategie progettuali di efficientamento dell'edificato e di miglioramento del comfort indoor e outdoor.

Fase 2 – Analisi della disponibilità delle risorse rinnovabili locali utilizzabili e quantificazione della disponibilità della risorsa boschiva all'interno di un raggio massimo di km 70 (Provincia di Bergamo, 2013) prelevabile in modo sostenibile, ovvero compatibilmente con la ripresa legnosa annua, utile all'avvio di filiere locali di prodotti del legno, a valle delle quali recuperare scarti di materiale per scopi energetici. Tale ricognizione è stata effettuata attraverso l'utilizzo di software GIS e l'integrazione tra Carte Forestali, che individuano le estensioni delle aree boschive divise per tipologia vegetazionale, Piani di Gestione e Assestamento Forestale, con cui i Comuni stimano l'incremento legnoso annuo e pianificano i tagli sostenibili, e Carte delle Acclività che individuano le pendenze geomorfologiche, con l'esclusione delle zone di difficile accesso.

Fase 3 – Qualificazione della consistenza del Patrimonio edilizio esistente: in questa fase si sono quantificate le superfici abitabili, attraverso l'analisi dei database catastali e si sono classificate per tipologie di edifici e anno di costruzione, deducibili attraverso un'analisi documentale e visiva.

Fase 4 – Stima del complessivo fabbisogno netto di energia dell'insediamento allo stato di fatto: in questa fase è stata attribuita una stima delle prestazioni energetiche e dei fabbisogni termici ed elettrici alle varie superfici abitabili precedentemente classificate, affidandosi alla comparazione con modelli disponibili in letteratura.

Fase 5 – Selezione delle strategie di riqualificazione energetica per efficientare il parco immobiliare esistente o da ricostruire e aumentare il comfort abitativo: in questa fase si sono delineate le scelte progettuali di intervento, privilegiando soluzioni compatibili con i valori culturali e architettonici dell'edilizia storica e materiali e tecnologie derivanti da processi produttivi rispettosi dell'ambiente. Si sono consultate apposite Linee Guida redatte da Enti istituzionali per una scelta più consapevole degli interventi possibili; successivamente è stato verificato anche il rispetto dei requisiti minimi di legge delle prestazioni raggiungibili, attraverso appositi software di calcolo energetico.

Fase 6 – Stima dei complessivi fabbisogni netti elettrici e termici dell'insediamento in relazione al progetto di riqualificazione e ricostruzione: come per lo stato di fatto, in questa fase sono stati utilizzati modelli di riferimento forniti dalla letteratura scientifica.

Fase 7 – Progettazione e dimensionamento della tecnologia impiantistica per l'autoproduzione di energia: in questa fase sono state individuate le curve di carico della richiesta termica ed elettrica dell'intero insediamento riqualificato, sulla base delle quali è stata scelta la soluzione impiantistica e dimensionata la potenza. Anche in questo passaggio sono stati utili dati e modelli disponibili in letteratura; è stata preferita una soluzione di tipo cogenerativo poiché permette di ottimizzare l'utilizzo del combustibile, attraverso una configurazione centralizzata che distribuisce il calore prodotto con una rete di teleriscaldamento e che immette elettricità in una rete di distribuzione elettrica.

Fase 8 – Verifica della disponibilità di biomassa legnosa considerata destinabile agli scopi energetici: in questa fase è stata verificata la fattibilità dell'autosufficienza energetica. Conoscendo la potenza dell'impianto scelto, i regimi di funzionamento e l'efficienza, è stata stimata la quantità di biomassa legnosa necessaria ad alimentare il sistema come energia primaria, attraverso il supporto di manuali specifici che contengono fattori di conversione energetica della biomassa legnosa in funzione della tipologia. Tale dato è stato confrontato con la quantità di biomassa prelevabile individuata nelle prime fasi della metodologia ed è stato verificato che non eccedesse il 20%, percentuale di scarto nei tagli di legname e pertanto destinabile a scopi energetici (Provincia di Bergamo, 2013).

Il caso studio di Terracino (frazione di Accumoli) | La metodologia è stata sperimentata sul caso studio di Terracino, un piccolo borgo montano nell'area del cratere sismico del 2016. Si tratta della frazione con la maggiore quota altimetrica di Accumoli (m 1.165 s.l.m.), Comune che soffriva di un trend demografico negativo già prima dell'evento calamitoso e che ha registrato una diminuzione della popolazione del 25% in vent'anni; il borgo è costituito da 60 edifici, di cui 40 residenziali, e si trova in zona climatica E (Figg. 7-9).

La ricognizione della quantità di biomassa legnosa prelevabile in modo sostenibile è stata effettuata stringendo l'area d'indagine all'interno dei confini comunali. Data la limitatezza dell'assestamento forestale comunale rispetto all'intero Patrimonio locale individuato dalle carte regionali, si è accettato di considerare un sottodimensionamento della stima della risorsa, pari a circa 8.620 mc/anno, relativo alla sola specie vegetazionale del faggio, l'unica di cui la pianificazione aveva calcolato l'incremento annuo (Fig. 10). L'individuazione della consistenza edilizia è stata incentrata sul settore residenziale, redigendo una schedatura di ogni edificio della categoria catastale A, comprensiva di documentazione fotografica (Tab. 1).

Le stime dei fabbisogni termici allo stato di fatto (circa 2.350 MWh/annuo) e di progetto (circa 632 MWh/annuo) sono state ricavate attraverso il confronto della consistenza edilizia locale con le matrici prodotte dal Politecnico di Torino nel progetto europeo TABULA, che assegnano valori di consumo termico specifico annuo a modelli di edifici rappresentativi delle tipologie residenziali ed epoca di costruzione in zona climatica E, sia relativamente al parco immobiliare esistente sia in caso di riqualificazione standard (Corrado et alii, 2014). I fabbisogni elettrici invece sono stati ricavati attraverso il confronto con i risultati del progetto MICENE del Politecnico di Milano, che ha catalogato i consumi in funzione dell'estensione delle superfici abitative, e sono risultati pari a circa 204 MWh/anno (Di Andrea and Danese, 2004).

Le strategie per l'efficientamento energetico del comparto edilizio storico, richiedendo una certa cautela progettuale per evitare lo snaturamento dell'insediamento e mantenere l'integrità identitaria, si sono riferite alle Linee Guida redatte dal Ministero della Cultura (Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per l'area Metropolitana di Venezia e le Province di Belluno, Padova e Treviso, 2015). Le soluzioni per aumentare i livelli di coibentazione hanno privilegiato tecnologie a base di fibra legnosa, adatte alle caratteristiche di traspirazione dei materiali dei sistemi costruttivi tradizionali e considerate reperibili all'interno della filiera locale del legno, in ottica circolare (Fig. 11; Tabb. 2, 3). Tutti gli interventi sono stati schedati e analizzati con appositi software di calcolo energetico per verificare la conformità ai requisiti prestazionali minimi di legge.

La scelta della tecnologia di autoproduzione energetica per coprire l'intero fabbisogno del borgo allo stato riqualificato è stata indirizzata verso un impianto cogenerativo di piccola taglia di tipo 'Externally Fired Micro Gas Turbine', con potenza termica di 300 kW e potenza elettrica netta di 75 kW, dotato di turbina e di una camera di combustione esterna che utilizza come comburente l'aria atmosferica e come combustibile il cippato di legno (Comodi et alii, 2010; Fig. 12): tra le tecnologie di cogenerazione di piccola taglia per la combustione di biomasse solide, è quella con più alto rendimento (Kautz and Hansen, 2007) e se ne trovano esempi nel Progetto BioPower in Tuscany a Livorno, con Enel capofila (Galletti et alii, 2016). Il dimensionamento è avvenuto a partire dal confronto con le cur-

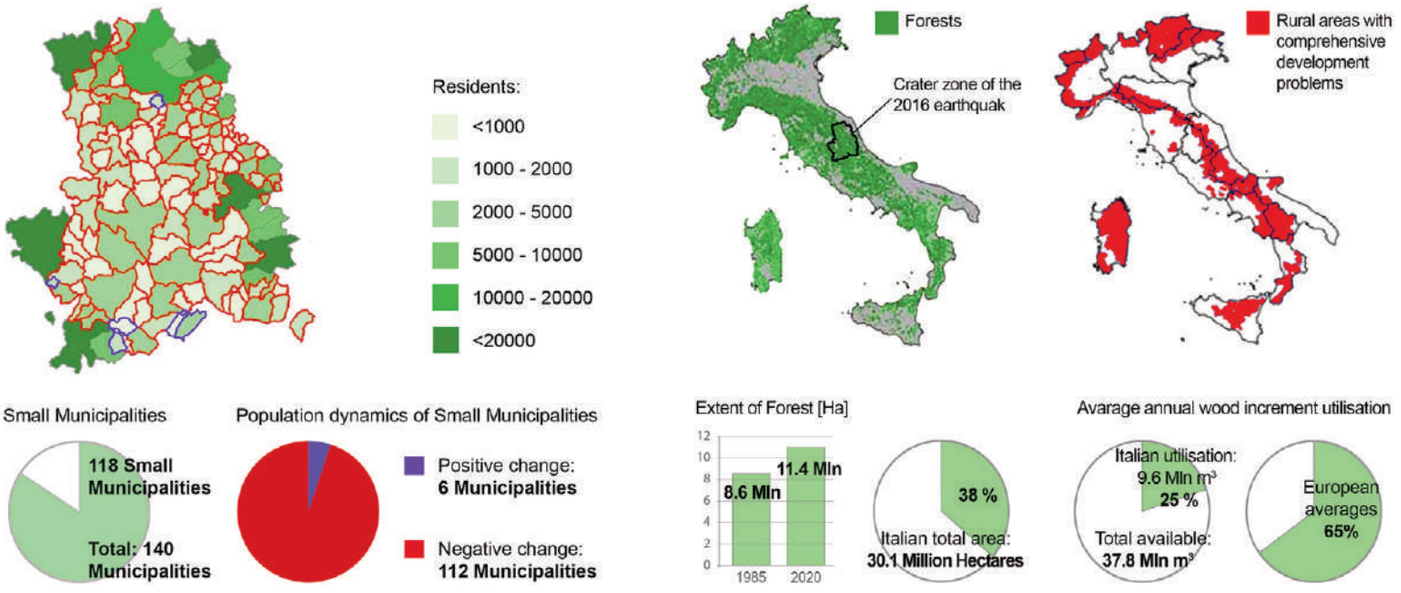


Fig. 3 | Population and demographic trends of Municipalities in the 2016 earthquake crater area (credit: the Research Group).

Fig. 4 | Comparison of forest and rural areas distribution with overall development problems (credit: the Research Group).

Fig. 5 | Data on the extent of Italy's forests in 2020 and comparison of the use of the annual wood increase in Italy with the European average in 2021 (credit: the Research Group)

ve di carico di richiesta termica giornaliera, diversificate in funzione dei gradi giorno mensili, verificando il soddisfacimento contestuale dei carichi elettrici giornalieri. È stato inoltre avanzato il design e il dimensionamento di una rete di teleriscaldamento con cui distribuire il calore prodotto dall'impianto, considerando anche le perdite di calore lungo le tubazioni e la potenza di pompaggio, che include le cadute di pressione (Fig. 13). La produzione elettrica è stata invece considerata scambiata con la rete esistente.

È stata infine quantificata la biomassa necessaria ad alimentare l'impianto di cogenerazione, 1000 mc circa, e confrontata con la quantità calcolata inizialmente, verificando l'effettiva possibilità tecnica di copertura delle richieste del caso studio attraverso l'utilizzo della sola porzione di materiale destinabile alla produzione di cippato.

Conclusioni | I risultati dell'applicazione della metodologia hanno dimostrato per il caso studio l'effettiva possibilità tecnica di raggiungimento dell'autosufficienza energetica attraverso l'utilizzo dell'11,6% del volume di incremento legnoso annuo dei soli boschi di faggio all'interno dei confini comunali. Questi dati stimolano la percezione del beneficio socio-economico e ambientale che si otterrebbe se l'intero Patrimonio forestale venisse gestito e pianificato, potenziando la filiera produttiva locale a tutto vantaggio della rivitalizzazione e del ripopolamento del territorio.

Lo studio si confronta con i limiti della pianificazione forestale e le barriere alla sua diffusione sono dovute alle difficoltà effettive di implementazione delle filiere locali del legno legate soprattutto a problemi di governance del sistema di stakeholders quali imprese, proprietà, addetti alla gestione e utenze. Le proprietà forestali sono molto frammentate, la piccola dimensione delle aziende ne penalizza la competitività e la capacità di investire in innovazione, le iniziative sono scoraggiate dalla carenza di formazione tecnica e gestionale, dalla mancanza di forme contrattuali che assicurino e tutelino la stabilità e la continuità dei rapporti commerciali di fornitura e utilizzo e da un imperfetto coordinamento tra diversi strumenti di programmazione (Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, 2012). Inoltre l'installazione di impianti di produzione e distribuzione energetica locali necessita di appropriate politiche di sostegno finanziario visto che l'ingente investimento iniziale è difficilmente solvibile da parte delle Amministrazioni locali e la bassa remuneratività del progetto non sempre può attrarre investimenti privati (Provincia di Bergamo, 2013).

Alla base della riuscita del progetto si segnala imprescindibile un'adesione convinta e una volontà di collaborazione tra cittadini, imprese ed Enti pubblici per garantire il funzionamento e il mantenimento del sistema. Pertanto il fine del presente studio è quello di fornire supporto scientifico alle Amministrazioni pubbliche e alle aziende legate al settore del legno e di sensibilizzare i privati cittadini, con riferimento tanto all'attuale popolazione delle piccole comunità nei territori rurali montani quanto ai potenziali nuovi abitanti, i quali contribuirebbero ad aumentare la massa critica degli stakeholder coinvolti e a rendere interessanti le iniziative. Questo tipo di interventi, oltre ad offrire nuove possibilità occupazionali, prospettano i vantaggi dell'autosufficienza energetica da risorse locali, immune dalle fluttuazioni dei prezzi della fornitura centralizzata e rispettosa dell'ambiente, e il comfort di uno scenario abitativo riqualificato in luoghi di elevato pregio paesaggistico, riducendo l'attuale percezione di località carenti di infrastrutture e di servizi essenziali.

La ricerca pone l'attenzione sulla necessità di combinare interventi di approvvigionamento da fonti rinnovabili con quelli di efficientamento energetico degli edifici per massimizzare l'utilizzo della risorsa energetica e la circolarità del sistema. Si suggerisce che la realizzazione di un Centro per la raccolta, la cippatura e lo stoccaggio e l'installazione dell'impianto di produzione energetica possono essere una soluzione per la conversione funzionale delle aree urbanizzate, nelle prossimità degli originari nuclei storici, per ospitare le Soluzioni Abitative in Emergenza all'indomani dell'evento sismico, con l'importante significato simbolico di una nuova destinazione d'uso di supporto al ritorno a vivere i luoghi della tradizione con una rinnovata qualità dell'abitare (Figg. 14, 15).

La disponibilità di tali aree e la loro localizzazione sono condizioni peculiari degli insediamenti del cratere, che potrebbero farsi capofila per l'implementazione di progetti pilota, rafforzando la scommessa del ripopolamento a cui mirano gli sforzi pubblici per la ricostruzione: la possibilità di riuso degli spazi esistenti consentirebbe la sistemazione degli impianti senza aumentare il consumo di suolo, con evidenti benefici sugli impatti ambientali nelle operazioni di costruzione.

Il sistema di autosufficienza energetica studiato può essere considerato un esempio di Comunità di Energia Rinnovabile conforme al Decreto Legislativo 199/2021 (Presidente della Repubblica, 2021), sottesa alla stessa cabina primaria per l'allaccio elettrico e servita da una rete di teleriscaldamento per la distribuzione del calore; inoltre i regimi di funzionamento dell'impianto di cogenerazione hanno mostrato un'eccedenza di produzione giornaliera rispetto alla richiesta dell'insediamento, allineando il sistema alle logiche dei Distretti a Energia Positiva (Ferrante, Romagnoli and Villani, 2023) nelle aree rurali e proiettando l'idea di una possibile rete di piccoli borghi che scambiano vicendevolmente l'energia.

Sarebbe pertanto interessante se ulteriori sviluppi della ricerca potessero scalare la metodologia presentata al fine di verificare il potenziale che le aree rurali montane potrebbero offrire nel caso dell'attivazione di una seria pianificazione di assestamento dell'intero Patrimonio forestale italiano integrata a un Programma di Riqualificazione Energetica dei Borghi da inserire nel Piano di ristrutturazione dell'edilizia esistente richiesta dalla Direttiva europea 2024/1275/EU entro il 2025 (European Parliament and the Council of the European Union, 2024).

In conclusione, integrando la riqualificazione dell'ambiente costruito e il rilancio della filiera del legno con le politiche di sostegno allo sviluppo rurale rivolte alle reti digitali e a servizi da calibrare sulle specificità locali, i territori montani potrebbero acquisire una rinnovata attrattività per lo stanziamento e divenire promotori di stili di vita più vicini alla natura e meno impattanti sull'ambiente, strategici per decongestionare gli agglomerati urbani, efficienti e autonomi da un punto di vista energetico e climaticamente neutri. Come negli Smart Villages, la riattivazione dei settori più tradizionali come quelli le-



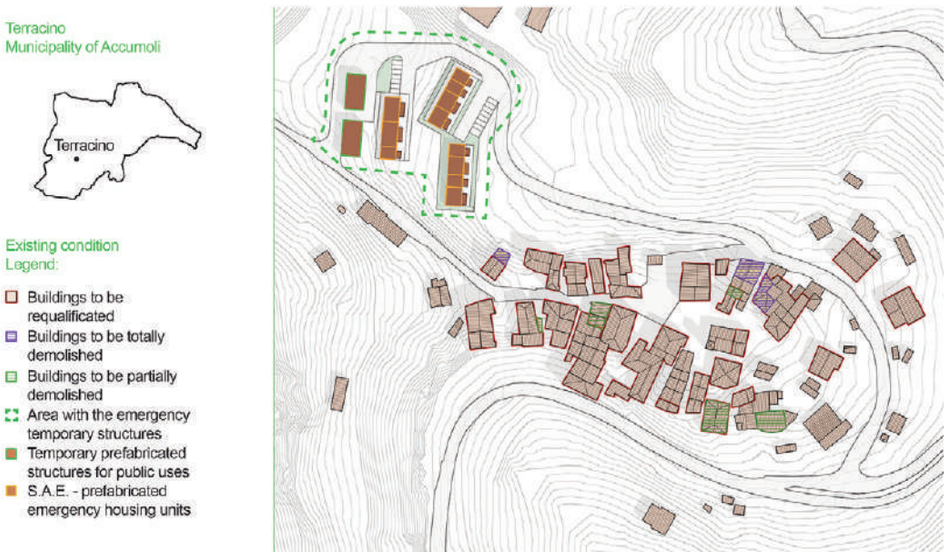


Fig. 6 | Graphic concept of the revitalisation strategy for rural mountain settlements in the 2016 earthquake crater area (credit: the Research Group).

Fig. 7 | Overview of the Terracino (IT) case study: Hamlet's building fabric plan in its post-seismic state (credit: the Research Group).

Next page

Fig. 8 | Terracino: Existing historical buildings, prefabricated and installed Housing Solutions in Emergency following the 2016 earthquake, and settlement integration into the landscape context (credit: the Research Group).

gati alla gestione forestale potrebbe affiancarsi allo sviluppo di altri modelli occupazionali contemporanei che traguardano la scala locale, favoriti dalla nuova frontiera del telelavoro, abilitando lo scenario di ripopolamento e rivitalizzazione del territorio.

The depopulation of rural mountainous areas is a phenomenon indicative of a complex set of declining situations where social and economic factors are interconnected. The challenging management of these factors leads to their accumulation and worsening over time. Moreover, in the case of catastrophic natural events, the aggravation of endemic criticalities makes recovery attempts even more insidious, foreshadowing scenarios of irreversibility. The practice of corrective contingency response does not solve the structural weakness of these territories, and a resilient revival requires synergetic, adaptive, preventive and proactive policies (Gausa, 2019). Within this framework, it is fundamental that the planning of intervention strategies systematises actions to respond to a multitude of demands. These actions should be implemented in a contextual and coordinated manner, and the methodologies used must reflect the complexity of the problem they address.

The environmental heritage of inland rural areas offers great potential for the policies of societal transformation and energy and economic transition towards low-impact circular models, as advocated by the European Community through the Green Deal (European Commission, 2019). This new perspective demands careful attention to the interconnected relationships between the physical-material aspects of resources, settlements, and ecosystems, and the socio-economic dimensions of production, labour, consumption, and welfare (Antonini, 2019). A crisis can, therefore, transform into an opportunity. The abandonment of mountainous rural areas in Italy has led to the neglect of forest heritage, enabling uncontrolled growth. If this growth were sustainably managed and integrated with circular economy principles, it could generate positive social and environmental benefits, fostering the revitalisation of local communities. This research considers the virtuous interconnection between sustainable wood production chains, the physical regeneration of settlements, and energy supply from local renewable resources as a key enabler for encouraging permanent resettlement. It proposes a methodology to assess the technical feasibility of achieving energy self-sufficiency, aligning with European goals for climate neutrality (European Commission, 2019) and independence from external imports (European Commission, 2022).

The study focused on the villages within the 2016 earthquake zone of the Central Apennines. The catastrophic event aggravated the issues of abandonment and depopulation in these areas. Reconstruction efforts and investments will have to be supported by scenarios for revitalising the territory beyond the mere reconstruction of the destroyed or damaged building stock.

This paper aims to be significant to the scientific community by addressing interconnected challenges through a holistic approach, working across multiple scales and multidisciplinary fields. The repopulation of villages, development of local production chains, circular use of resources, energy self-sufficiency, and the improvement of living conditions in post-earthquake reconstruction are all considered in their interdependencies. These factors, along with the sustainability of interventions and alignment with policy expectations, make the study's results relevant to a wide range of stakeholders, including local administrators, economic operators, and private citizens.

The contribution is organised into several parts: the first offers an overview of the depopulation of small rural mountain villages, the unmanaged growth of Italy's forest heritage, and the potential for community revitalisation; the second analyses current revitalisation experiences of rural settlements, emphasising the valorisation of local resources and the expectations of European energy policies to support these strategies; the third outlines the implemented feasibility assessment methodology; the fourth applies this methodology to the case study of Terracino, a village in Accumoli (IT); and finally, the last part presents the results and conclusions while envisioning future research scenarios.

The demographic trends of small mountain communities in Italy and the neglect of the forest heritage | In Europe, many rural areas are facing serious challenges related to the phenomenon of depopulation, plagued by problems of competitive economic development, lack of infrastructure or absence of services, in parallel with social inequalities, low birth rate, low attractiveness for controlled immigration and demographic ageing (Baró Zarzo, Poyatos Sebastián and Martínez Martínez, 2020). These conditions are seen as a 'vicious circle', a prelude to the decline of rural regions, and affect northern and eastern Europe, Germany, Spain and Italy the most. On the other hand, rural areas hold intrinsic potential for developing strategic economies for the ecological transition because they have less pressure on their natural environmental capital (ESPON EGTC, 2020).

In Italy, 52% of Municipalities are located in rural mountainous areas, of which 94% are small villages with less than 5,000 inhabitants, corresponding to 71% of the total number of Small Municipalities (ISTAT, 2024). Nearly 73% of Small Municipalities are suffering a demographic trend of constant decrease (ANCI, 2019; Figg. 1, 2). The crater area of the earthquake swarm in the Central Apennines in 2016 comprises 140 Municipalities (Presidente della Repubbli-







ca Italiana, 2016), with 85% classified as Small Municipalities having fewer than 5,000 inhabitants. Approximately half of these Municipalities have populations below 1,000, and demographic decline impacts 95% of them (Fig. 3). These areas express greater vulnerability, as they require reconstruction of the historical building fabric and revitalisation of socio-economic development processes.

In the last century, the exodus of the population from rural territories to large urban agglomerations (ESPON EGTC, 2020) and the correlated abandonment of agroforestry activities has led to the inevitable consequences of the undisturbed growth of forests and woodlands on neglected land (Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, 2012). The estimated forest area in Italy is about 11 million hectares, corresponding to more than one-third of the national territory (Gasparini et alii, 2022), with a steady increase over time, reaching a total of 32% since 1985. The data shows that forest planning and management are severely underdeveloped, covering only about 15% of the areas (FAO, 2020). Rural areas with development issues are distributed more on mountainous territories (Rete Rurale Nazionale, 2020). It is estimated that, in Italy, the utilisation of the annual increase in wood volume available for sustainable harvesting is limited to 25% (Gasparini et alii, 2022), compared to a European average of 65% (Eurostat, 2024; Figg. 4,5).

Returning to live in and care for these places implies identifying the necessary conditions for their appropriation, in terms of relaunching an economy based on the enhancement of the territory's resources and the qualitative regeneration of settlements (Fig. 6), involving local communities in development policies and for widespread entrepreneurship (Dall'Ara and Villani, 2020). To stimulate employment and ensure hydrogeological risk and fire prevention services, the National Forestry Strategy promotes the implementation of a forest management strategy that activates sustainable production chains in the wood sector (Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, 2022).

For environmental, social and economic sustainability, the use of wood in such supply chains must follow the 'cascade' principle, which optimises resource efficiency by minimising waste (Olsson et alii, 2016) and fosters an inclusive entrepreneurship capable of valuing waste within a systemic framework of circular economy based on Material-driven Design logic (Santos Malaguti de Sousa et alii, 2023). Downstream of such a system, the use of woody material for energy purposes can also be considered, as it maintains a balance between the objective of protecting forest ecosystems and carbon sinks, as recommended by LULUCF[1], and the use of biomass as a renewable resource, advocated by RED II (Camia et alii, 2021). This approach aims to achieve the climate neutrality and energy security targets set by the European Green Deal.

Safety and rational use of energy sources are enabling factors in the regeneration of declining historic rural settlements; among the indicators that promote repopulation are energy efficiency interventions in existing buildings, with careful attention to the delicate issue of combining the preservation of the historical and cultural values of the heritage with innovative technologies (Dall'Ara and Villani, 2020). In conclusion, the objective of revitalising rural centres requires the implementation of a system in which economic revitalisation and environmental protection are mutually supportive, one being the necessary condition for the other's realisation.

Sustainable solutions for the energy self-sufficiency of mountain hamlets through local woody biomass | In recent years, Smart Villages initiatives have emerged, centred on revitalising small hamlets by involving local communities in bottom-up processes that enhance their strengths and explore new opportunities. These initiatives encourage technological modernisation to support digitisation and energy security (Zavratnik, Kos and Stojmenova Duh, 2018).

The issue of energy supply security in Europe is linked to local renewable sources, given the direct correlation with the objectives of reducing climate-altering emissions and achieving independence from imports from foreign countries. Therefore, 'bioenergy villages' projects have been financed, aiming to achieve energy self-sufficiency, freedom from fossil fuels and valorisation of local resources. Spread across Germany and Austria, 55% of these villages have a population of between 1,000 and 5,000, and 35% have less than 500. Through a community-participated business model, local communities implemented technology mixes that include woody biomass cogeneration and district heating networks. Half of these villages produce a surplus of electricity and share it through the grid (Ugalde et alii, 2016).

The recent Directive 2023/2413/EU (European Parliament and the Council of the European Union, 2023) sets the EU target of 49% of final energy consumption from renewable sources for the buildings sector and promotes aggregate forms of self-consumption already defined by the previous Directive 2018/2001/EU (European Parliament and the Council of the European Union, 2023) as Renewable Energy Communities, where groups of citizens join together to share self-produced energy using renewable energy resources. The same Directives encourage

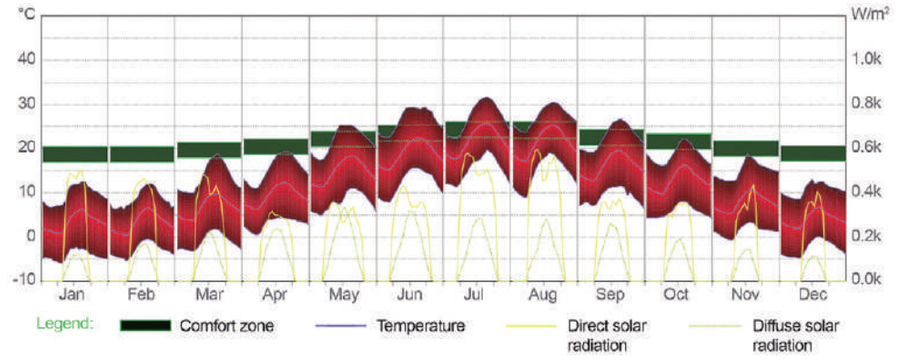


Fig. 9 | Some climate data on daily averages for all months of the year in Terracino and comparison with comfort conditions (credit: the Research Group).

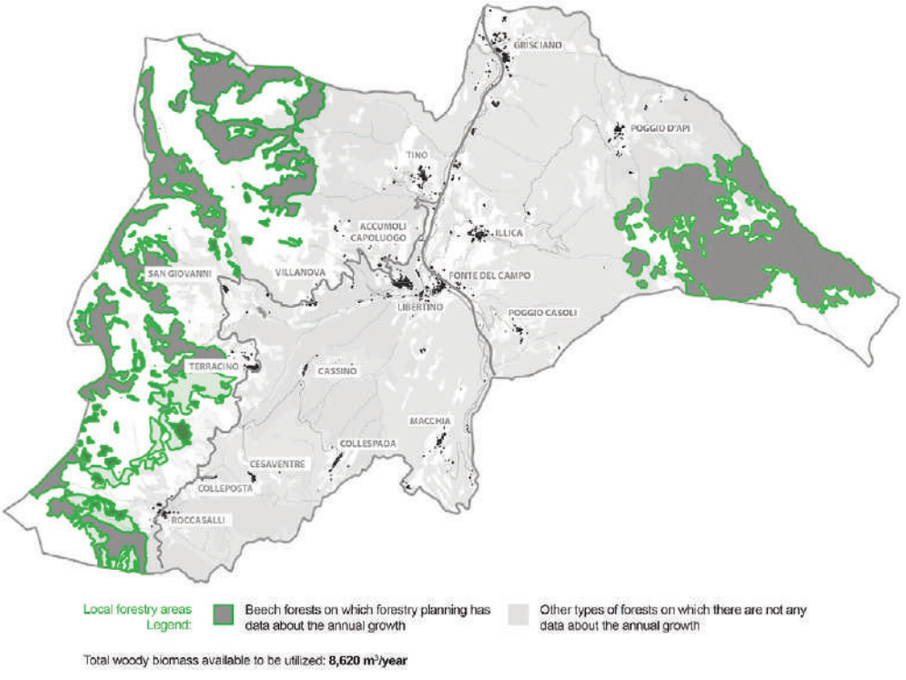


Fig. 10 | GIS analysis comparing the forest areas considered available for the sustainable harvesting of woody biomass with the total local forest area within the municipal boundaries (credit: the Research Group).

district heating configurations and the use of woody biomass. In line with this, the Italian Integrated National Energy and Climate Plan (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, 2024) promotes the development in Italy of circular supply chains for the collection, recovery and transformation into products with market value of forestry materials, including district heating fuels among the destinations.

The goal of energy self-sufficiency can be a goal for small mountain villages that often lack, in their isolation, infrastructures to connect to the national grid, and can contribute to improving the quality of life in settlements as it complements energy efficiency measures in buildings, necessary to reduce needs and increase living comfort.

Directive 2024/1275/EU (European Parliament and the Council of the European Union, 2024) establishes a roadmap for making the existing built heritage efficient and achieving climate neutrality of the entire building stock by 2050, requiring an update of the minimum energy performance standards to be met in renovations. It also introduces the future need to calculate the Global Warming Potential of the entire life cycle of the building, including emissions embedded in materials, and to focus on compliance with the principles of the circular economy. Indeed, it has been shown that the mere pursuit of energy performance does not guarantee the reduction of climate-changing emissions if materials used for renovation are not from environmentally sustainable processes (Del Curto et alii, 2024).

The research integrates factors such as supply security, building energy efficiency, the use of wood materials from sustainable sources with low climate-altering emissions, and the promotion of local supply chains to revitalise the territory economically.

Methodological proposal and steps for feasibility assessment | This study defines a replicable methodology for the technical feasibility assessment of the energy self-sufficiency of a mountain village through the sustainable use of local woody biomass. The aim was to identify the stages of the evaluation process, provide the supporting operational, legislative and documentary tools and return comparable numerical results from the application of the methodology to a case study. The process phases include analysis and processing at different scales, with varied tools, given the multidisciplinary nature of the areas involved and the sectorisation of sources.

The study compared itself with virtuous case studies such as the European BioVill project (Bozhikaliev et alii, 2019) and the Factor20 project sponsored by the Lombardy Region (Provincia di Bergamo, 2013), which encourage the use of local biomass for power generation in mountain villages and

Photos			
Tipology of residential building	Multi-family building		
Cadastral data	Cadastral map sheet		55
	Cadastral parcel		184
	Cadastral typology		A4 – Cheap dwelling house
	Cadastral sub-parcel	sub 3	159.53 m²
		sub 5	51.00 m²
		sub 6	69.00 m²
	Cadastral total surface		278.53 m²
	Building volume		835.59 m³
	Total building levels		3
Construction data	Period of construction		Before 1900
	Type of masonry		Irregular masonry texture
	Type of slab		Timber

Tab. 1 | Example of a building consistency analysis sheet for a historic residential building (credit: the Research Group).

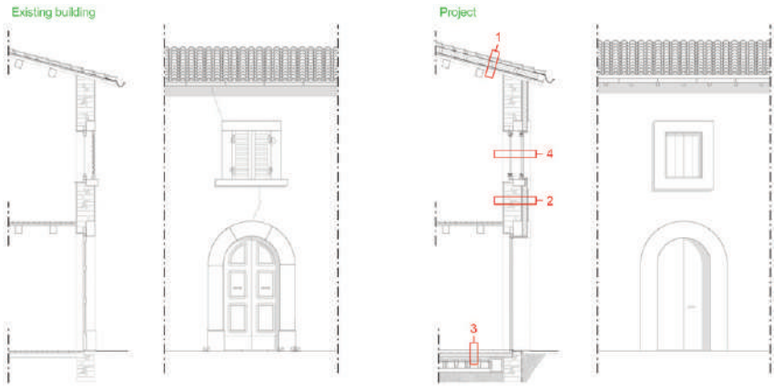
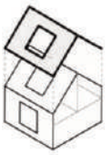
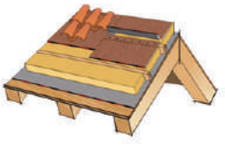
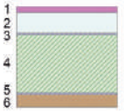
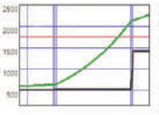


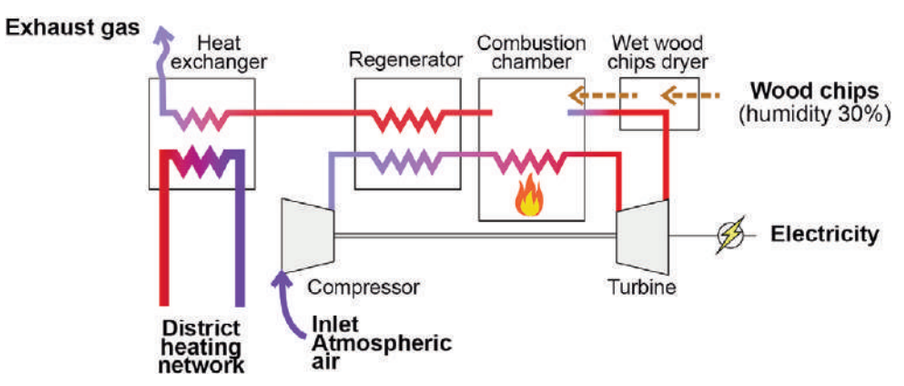
Fig. 11 | Example of energy upgrading work on a historic residential building in Terracino. Comparison between the actual state and the project state: 1) waterproofing and insulation work on the roof; 2) insulation work on the opaque vertical partitions of the envelope; 3) renovation work on the floor in contact with the ground with a ventilation and insulation system; 4) replacement of windows and doors (credit: the Research Group).

Type of intervention	**Insulation on the outer surface of the roof**		
Construction and technological aspects	Concept of intervention	Assembly preview	Product
			
Energy performances	Stratigraphy		Risk of interstitial condensation
	 1 - sp. 15 mm - Clay tiles 2 - sp. 50 mm - Unventilated cavity 3 - sp. 4 mm - Polymer bitumen membrane 4 - sp. 140 mm - Wood fiber board 5 - sp. 4 mm - Vapor barrier 6 - sp. 30 mm - Wooden boarding Total thickness: 243 mm (148 mm increase over the current roof) Thermal transmittance U-value = 0.23 W/m²K Compliance with minimum legal requirements: Ok		 Saturation pressure Interface pressure Condensation risk assessment in the most critical month (December) Condensation risk: Ok

Tab. 2 | Example of evaluation for energy efficiency work on the roof, including construction details and results of the verification calculation of legal limits for thermal transmittance and interstitial condensation risks (credit: the Research Group).

EXISTING CONDITIONS				
Period of construction	**Heating demand for single-family houses [kWh$_t$/y]**	**Heating demand for row houses [kWh$_t$/y]**	**Heating demand for multi-family buildings [kWh$_t$/y]**	**Heating demand for flat blocks [kWh$_t$/y]**
Before 1900	886,928.00	127,402.83	848,662.09	–
1901-1920	188,705.46	–	–	–
1921-1945 Post-world war I	23,970.52	–	–	–
1946 - 1960 Post-world war II and reconstruction	256,408.40	–	–	–
1961-1975 Oil crisis	–	–	–	–
1976-1990 Early energy regulations	–	–	–	–
1991-2005 New energy regulations	17,359.50	–	–	–
After 2006 Increased restrictions	–	–	–	–
Total net heating demand [kWh$_t$/y]	**2,349,436.80**			

PROJECT				
Period of construction	**Heating demand for single-family houses [kWh$_t$/y]**	**Heating demand for row houses [kWh$_t$/y]**	**Heating demand for multi-family buildings [kWh$_t$/y]**	**Heating demand for flat blocks [kWh$_t$/y]**
Before 1900	211,088.86	34,729.87	255,778.66	–
1901-1920	44,606.79	–	–	–
1921-1945 Post-world war I	6,009.72	–	–	–
1946-1960 Post-world war II and reconstruction	69,285.20	–	–	–
1961-1975 Oil crisis	–	–	–	–
1976-1990 Early energy regulations	–	–	–	–
1991-2005 New energy regulations	10,432.00	–	–	–
After 2006 Increased restrictions	–	–	–	–
Total net heating demand [kWh$_t$/y]	**631,931.10**			



the development of district heating networks. These projects involve an in-depth examination of the economic feasibility assessment and the social and environmental impact of implementing such systems. Suggestions are provided to public administrations for effective implementation. This contribution focuses on identifying tools for assessing technical feasibility and adds the important aspect of considering energy efficiency actions for buildings within strategies for self-sufficiency. The aim is to enhance the system's effectiveness and reduce resource demand while optimising circularity. Furthermore, emphasis is placed on the importance of selecting interventions not only based on performance but also to preserve the cultural and architectural values of historic centres.

The conclusions present a project proposal for establishing a facility for collecting, storing, chipping, and processing woody biomass for energy production. This proposal aims to provide a functional solution for converting areas that were forcibly urbanised in response to housing demands during the emergency phase following catastrophic earthquakes. These areas are now the subject of ongoing discussions regarding their intended use in the post-reconstruction phase. The methodology, defining the steps and associating the reference tools, is as follows.

Phase 1 – State of the art and analysis of the environmental and climatic context of the settlements. In this phase, the climatic zone of the location and the monthly heating degree days were identified and quantified using climatic databases and analysis software. The seasonal thermo-hygrometric conditions were assessed to direct the subsequent design strategies for building efficiency and improve indoor and outdoor comfort.

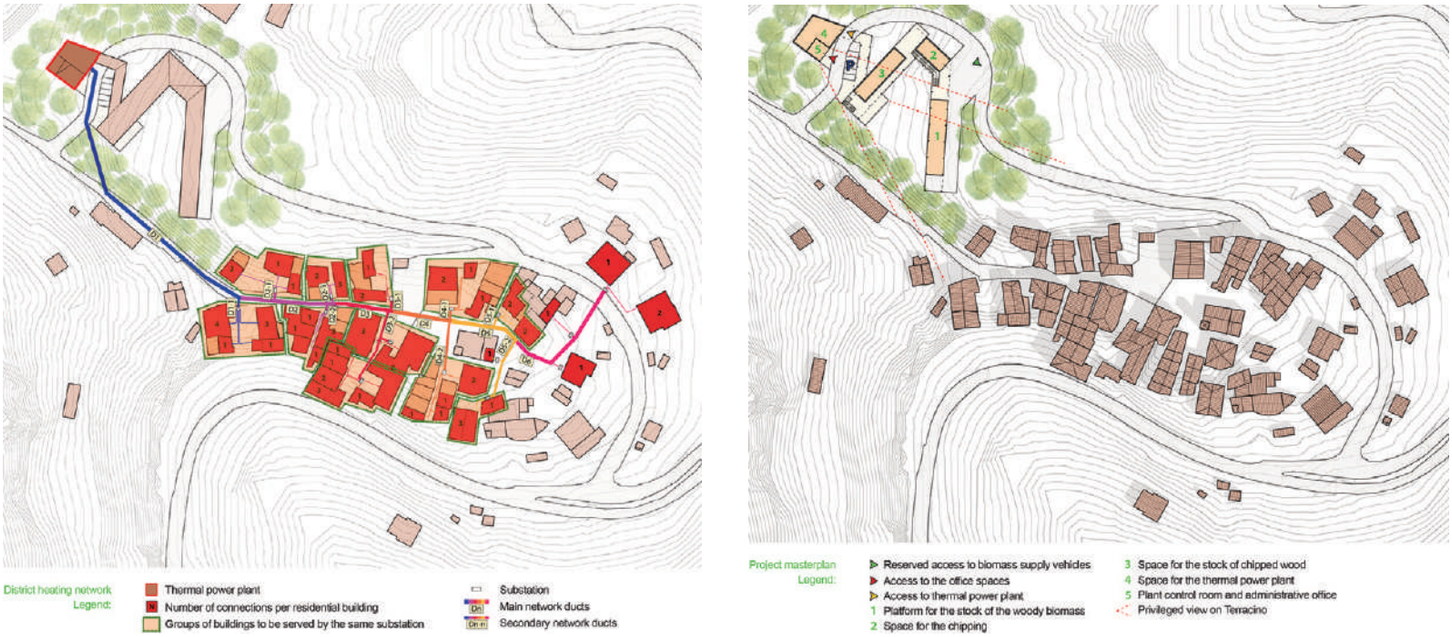
Phase 2 – Analysis of the availability of usable local renewable resources and quantification of the availability of the forest resource within a maximum radius of 70 km (Provincia di Bergamo, 2013) that can be harvested sustainably, i.e. compatibly with the annual woody recovery, useful for the start-up of local wood product supply chains, after which material waste can be recovered for energy purposes. This survey was conducted using GIS software and involved the integration of several key components: forest maps that delineate forest areas by vegetation type, forest management plans through which Municipalities estimate annual wood growth and plan sustainable harvesting, and slope maps that identify geomorphological features while excluding areas that are difficult to access.

Phase 3 – Qualification of the building heritage: in this phase, the habitable surfaces were quantified through the analysis of cadastral databases and classified according to building type and year of construction through documentation and visual analysis.

Phase 4 – Estimating the settlement's total net energy demand in its current state; at this stage, an estimate of energy performance and thermal and electrical requirements was allocated to the various

Tab. 3 | Net thermal requirements of the entire residential building stock in the settlement, divided by type and period of construction and total figure: comparison between the requirements of buildings in their existing state and their upgraded state of design (credit: the Research Group).

Fig. 12 | Schematic diagram of the cogeneration plant with the chosen technology: Externally Fired Micro Gas Turbine fuelled by woody biomass (credit: the Research Group).



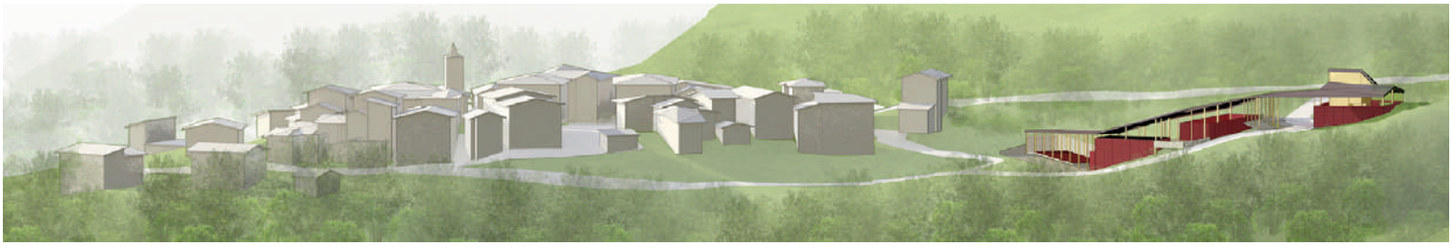


Fig. 13 | District heating network project master plan for Terracino (credit: the Research Group).

Fig. 14 | Master plan of the project to convert the S.A.E. area into a centre for transforming woody biomass to energy serving the entire redeveloped historic village (credit: the Research Group).

Fig. 15 | View of the project's integration into the landscape and its relationship with the historic built environment of the settlement (credit: the Research Group).

previously classified habitable surfaces based on models available in the literature.

Phase 5 – Selection of energy upgrading strategies to improve the efficiency of housing stock previously existing or to be rebuilt and increase living comfort. In this phase, the design choices for intervention were outlined, favouring solutions compatible with the cultural and architectural values of historic buildings and materials and technologies derived from environmentally friendly production processes. Researchers consulted guidelines developed by institutional bodies for a more informed choice of possible interventions. Subsequently, compliance with the minimum legal requirements for achievable performance was also verified using special energy calculation software.

Phase 6 – Estimating the total net electrical and thermal needs of the settlement in relation to the redevelopment and reconstruction project. As with the state of affairs, reference models provided by the scientific literature were used at this stage.

Phase 7 – Design and dimensioning of plant technology for self-generation of energy. At this stage, the load curves of the entire redeveloped settlement's thermal and electrical demand were identified, leading to choosing the plant solution and scaling the power. In this step, once again, data and models available in the literature were useful; the preferred option was a cogeneration solution, as it allows for the optimisation of fuel utilisation, through a centralised configuration that distributes the heat produced with a district heating network and feeds electricity into an electricity distribution network.

Phase 8 – Checking the availability of woody biomass considered suitable for energy purposes. The feasibility of energy self-sufficiency was tested at this stage. The amount of woody biomass required to feed the system as primary energy was estimated based on knowledge of the chosen system's output, operating regimes and efficiency, through the support of specific manuals containing woody biomass energy conversion factors by type. This figure was compared with the quantity of harvestable biomass identified in the first stages of the methodology; it was confirmed to be below 20%, a percentage considered to be waste in timber harvests and, therefore, destined for energy purposes (Provincia di Bergamo, 2013).

The Terracino case study (hamlet of Accumoli, IT) | The methodology was tested on the case study of Terracino, a small mountain village in the 2016 earthquake crater area. This hamlet has the highest altitude in Accumoli (1,165 meters above sea level) and was already suffering from a negative demographic trend before the calamitous event, with a population decrease of 25% in twenty years. The village consists of 60 buildings, 40 of which are residential, and is located in climate zone E (Figg. 7-9). The assessment of the sustainably harvestable woody biomass was conducted by narrowing the survey area within the municipal boundaries. Given the limited scope of municipal forest management compared to the entire local heritage identified by regional maps, it was acknowledged that the resource estimate may be underestimated of approximately 8,620 cubic meters per year, specifically for the beech tree species, which is the only species for which annual growth has been calculated in the planning (Fig. 10). The identification of the building stock focused on the residential sector, drawing up a file of each building in cadastral category A, including photographic documentation (Tab. 1).

The estimates of the thermal needs in the actual state (about 2,350 MWh/year) and in the project state (about 632 MWh/year) were obtained by comparing the local building stock with the matrices produced by the Polytechnic of Turin in the European project TABULA, which assigns specific annual thermal consumption values to representative building models of residential types and construction period in climatic zone E, both in relation to the existing building stock and in the case of standard redevelopment (Corrado et alii, 2014). Electrical needs, on the other hand, were obtained by comparison with the results of the MICENE project of the Politecnico di Milano, which catalogued consumption according to the size of the living areas, and were found to be approximately 204 MWh/year (Di Andrea and Danese, 2004).

Strategies for enhancing energy efficiency in the historic building sector require careful design consideration to preserve the character and integrity of the settlements. These strategies align with the Guidelines established by the Ministry of Culture (Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per l'area Metropolitana di Venezia e le Province di Belluno, Padova e Treviso, 2015). Solutions to increase insulation levels favour wood fibre-based technologies, well suited to the transpiration characteristics of the materials of traditional building systems and available within the local wood supply chain, in a circular perspective (Fig. 11; Tabb. 2, 3). All interventions were filed and analysed with special energy calculation software to check compliance with the minimum legal performance requirements.

The selection of energy self-production technology to meet the village's entire needs in its upgraded state focused on a small-scale cogeneration plant of the 'Externally Fired Micro Gas Turbine' type. This plant features a thermal output of 300 kW and a net electrical output of 75 kW, utilising a turbine and an external combustion chamber that employs atmospheric air as the oxidant and wood chips as fuel (Comodi et alii, 2010; Fig. 12): among small-scale cogeneration technologies for combustion of solid biomass, it is the one with the highest efficiency (Kautz and Hansen, 2007) and examples include the Bio Power in Tuscany project in Livorno, with Enel as lead partner (Galletti et alii, 2016). Dimensioning was based on an analysis of daily thermal demand load curves, which were adjusted according to monthly degree days, ensuring that daily electrical loads were met simultaneously. The design and sizing of a district heating network to distribute the heat generated by the plant were also developed, accounting for heat losses along the pipes and the pumping power required, which includes pressure drops (Fig. 13). Electricity production was instead considered exchanged with the existing grid. Finally, the biomass required to fuel the cogeneration plant, approximately 1,000 cubic metres, was quantified and compared with the initially estimated amount. This confirmed the technical feasibility of meeting the energy demands of the case study solely through the portion of material suitable for wood chip production.

Conclusions | The results of the methodology application demonstrated the technical possibility, for the case study, of achieving energy self-sufficiency through utilising 11.6% of the annual woody increment volume of beech forests alone within municipal boundaries. These data stimulate the perception of the socio-economic and environmental benefits that would be obtained if the entire forest heritage were managed and planned, strengthening the local production chain to the benefit of revitalising and repopulating the area.

The study is confronted with the limitations of forestry planning; the barriers to its dissemination result from the difficulties in implementing local wood supply chains, which are mainly related to governance problems of the stakeholder system, such as companies, owners, managers, and users. Forest properties are highly fragmented, small companies are not competitive and able to invest in innovation, and initiatives are discouraged by the lack of technical and management training, the lack of contractual forms that ensure and protect the stability and continuity of supply and use commercial relationships, as well as by imperfect coordination between different planning instruments (Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, 2012). In addition, the installation of local energy production and distribution facilities requires appropriate financial support policies given that the significant initial investment is difficult for local governments to solvency, and the low profitability of the project may not always attract private investment (Provincia di Bergamo, 2013).

Essential to the project's success is a convinced adherence and willingness to cooperate among citizens, businesses and public agencies to ensure the operation and maintenance of the system. Therefore, the study aims to provide scientific support to public administrations and companies related to the timber sector and to raise awareness among private citizens, with reference both to the current population of small communities in rural mountain areas and to potential new inhabitants who would contribute to increasing the critical mass of the stakeholders involved and make the initiatives attractive. This type of intervention not only offers new employment opportunities, but also the advantages of self-sufficiency in energy from local resources, immune from the price fluctuations of centralised and environmentally friendly supply, and the comfort of a redeveloped housing scenario in locations of high scenic value, reducing the current perception of locations lacking in infrastructure and essential services.

The research focuses on the need to combine renewable energy supply interventions with energy efficiency in buildings to maximise energy use and system circularity. The construction of a Centre for the collection, chipping and storage and the installation of the energy production plant may potentially be a solution for the functional conversion of urbanised areas, in the vicinity of the original historical nuclei, to host Emergency Housing Solutions in the aftermath of the seismic event, with the important symbolic significance of a new use to support the return to living in traditional places with a renewed quality of living (Figg. 14, 15). Such areas' availability and location are peculiar to crater settlements, which could take the lead in implementing pilot projects, reinforcing the repopulation bet towards which current public reconstruction efforts are already aiming. The possibility of reusing existing spaces would allow for the accommodation of facilities without increasing land consumption, with obvious benefits on environmental impacts in construction operations.

The studied energy self-sufficiency system can be regarded as an example of a Renewable Energy Community that complies with Italian Legislative Decree 199/2021 (Presidente della Repubblica, 2021), underlying the same primary cabin for electrical connection and served by a district heating network for heat distribution. Furthermore, the cogeneration plant's operating regimes showed a daily production surplus compared to the settlement's demand, aligning the system with the logic of Positive Energy Districts (Ferrante, Romagnoli and Villani, 2023) in rural areas and projecting the idea of a possible network of small villages that exchange energy with each other. Therefore, it would be beneficial if future research efforts could expand the current methodology to assess the potential offered by rural mountain areas, taking into account careful planning for the development of Italy's entire forest heritage. This should be integrated into an Energy Requalification Programme for Municipalities, aligned with the Plan for the Renovation of existing buildings mandated by the European Directive 2024/1275/EU by 2025 (European Parliament and the Council of the European Union, 2024).

In conclusion, integrating the redevelopment of the built environment with the revitalisation of the wood industry, alongside rural development support policies focused on tailored digital networks and services, could significantly enhance the appeal of mountain regions for settlement. These areas could become models for sustainable, nature-oriented lifestyles with a lower environmental impact – strategically important for relieving pressure on urban centres. Moreover, they could achieve energy efficiency and autonomy, contributing to energy and climate neutrality. As seen in the Smart Villages concept, the revitalisation of traditional sectors like forest management can be paired with the growth of modern, locally-focused employment models, facilitated by the rise of teleworking. This combination could pave the way for the repopulation and revitalisation of rural areas, fostering sustainable development and strengthening the local economy.

Note

1) In the forestry sector, the European Union sets different objectives that lend themselves to contrasting interpretations regarding carbon mitigation. On the one hand, the RED II – Directive 2018/2001/EU (European Parliament and the Council of the European Union, 2018) promotes the use of bioenergy by encouraging wood demand, while on the other hand, the LULUCF regulation (Land Use, Land-Use Change, and Forestry) aims to protect carbon storage reservoirs. This requires a delicate governance approach to ensure a balance between the two objectives. The cascading use of wood is seen as a fundamental principle, enabling the harvesting of woody materials while minimising the risk of depleting forest carbon sinks. This principle was explicitly included in Directive 2023/2413/EU (European Parliament and the Council of the European Union, 2023) amending RED II.

References

ANCI (2019), "Atlante dei Piccoli Comuni", in *anci.it*, 05/07/2019. [Online] Available at: anci.it/atlante-dei-piccoli-comuni [Accessed 16 October 2024].

Antonini, E. (2019), "Incertezza, fragilità, resilienza | Uncertainty, fragility, resilience", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 6, pp. 6-13. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/612019 [Accessed 16 October 2024].

Baró Zarzo, J.-L., Poyatos Sebastián, J. and Martínez Martínez, N. (2020), "Contrastare lo spopolamento nell'entroterra della Spagna – Proposte tra Arte, Design e Architettura | Fighting against depopulation in inland Spain – Alternatives from Art, Design and Architecture", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 8, pp. 138-147. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/8132020 [Accessed 16 October 2024].

Bozhikaliev, V., Sazdovski, I., Adler, J. and Markovska, N. (2019), "Techno-economic, Social and Environmental Assessment of Biomass Based District Heating in a Bioenergy Village", in *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, vol. 7, issue 4, pp. 601-614. [Online] Available at: doi.org/10.13044/j.sdewes.d7.0257 [Accessed 16 October 2024].

Camia, A., Giuntoli, J., Jonsson, R., Robert, N., Cazzaniga, N. E., Jasinevičius, G., Avitabile, V., Grassi, G., Barredo, J. and Mubareka, S. (2021), *The use of woody biomass for energy production in the EU*, Publications Office of the European Union, Luxembourg. [Online] Available at: data.europa.eu/doi/10.2760/831621 [Accessed 16 October 2024].

Comodi, G., De Carolis, C., Foppa Pedretti, E., Riva, G. L. and Vagni, S. (2010), "Italian feed-in tariff mechanism applied to a cogenerative plant fuelled by solid biomass – A technical-economic comparison between Microturbine and Stirling engine", *Proceedings of the 18th European Biomass Conference and Exhibition, 2010, ETA-Florence Renewable Energies, Lyon, May 3-7, 2010*, pp. 2340-2346. [Online] Available at: doi.org/10.5071/18thEUBCE2010-VP5.7.7 [Accessed 16 October 2024].

Corrado, V., Ballarini, I. and Corgnati, S. P. (2014), *Building Typology Brochure – Italy – Fascicolo sulla Tipologia Edilizia Italiana*, Nuova Edizione, Politecnico di Torino, Torino. [Online] Available at: hdl.handle.net/11583/2643577 [Accessed 16 October 2024].

Dall'Ara, G. and Villani, T. (2020), "Per un futuro sostenibile dei borghi – Albergo Diffuso e nuovi scenari di rigenerazione | A sustainable future for hamlets – Albergo Diffuso and new regeneration scenarios", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 8, pp. 230-243. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/8222020 [Accessed 16 October 2024].

Del Curto, D., Garzulino, A. and Turrina, A. (2024), "Sostenibilità e transizione energetica – Prospettive per un approccio integrato al patrimonio costruito | Sustainability and energy transition – Perspectives for an integrated approach to the built heritage", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 114-123. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1582024 [Accessed 16 October 2024].

Di Andrea, F. and Danese, A. (2004), *Micene, Misure dei Consumi di Energia Elettrica in 110 abitazioni Italiane – Curve di carico dei principali elettrodomestici e degli apparecchi di illuminazione*, Politecnico di Milano, Milano. [Online] Available at: eerg.it/wp-content/uploads/2024/09/Di-Andrea-and-Danese-2004-Micene-Misure-dei-Consumi-di-Energia-Elettrica-in.pdf [Accessed 16 October 2024].

ESPON EGTC (2020), *Policy Brief – Shrinking rural regions in Europe*. [Online] Available at: archive.espon.eu/rural-shrinking [Accessed 16 October 2024].

European Commission (2022), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – REPowerEU Plan*, document 52022DC 0230, 230 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2022: 230:FIN [Accessed 16 October 2024].

European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019 DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal- content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52 019DC0640 [Accessed 16 October 2024].

European Parliament and the Council of the European Union (2024), *Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings*, document 32024L1275, PE/102/2023/REV/1. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024 L1275 [Accessed 16 October 2024].

European Parliament and the Council of the European Union (2023), *Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652*, document 32023L2413, PE/36/2023/REV/2. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj [Accessed 16 October 2024].

European Parliament and the Council of the European Union (2018), *Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast)*, document 32018L2001, PE/48/2018/REV/1. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32018L2001 [Accessed 16 October 2024].

Eurostat (2024), *Forest, forestry and logging*. [Online] Available at: ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Forests,_forestry_and_logging#Economic_indicators_for_forestry_and_logging [Accessed 16 October 2024].

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020), "Extent of forest and other wooded land", in *Global Forest Resources Assessment 2020*. [Online] Available at: fra-platform.herokuapp.com/assessments/fra/2020/ITA/sections/extentOfForest [Accessed 16 October 2024].

Ferrante, T., Romagnoli, F. and Villani, T. (2023), "Sviluppo urbano sostenibile – Organizzazione di contenuti informativi per la transizione verso i Distretti a Energia Positiva | Sustainable urban development – Organizing information content for the transition to Positive Energy Districts", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 191-204. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13162023 [Accessed 16 October 2024].

Galletti, C., Giomo, V., Giorgetti, S., Leoni, P. and Tognotti, L. (2016), "Biomass furnace for externally fired gas turbine – Development and validation of the numerical model", in *Applied Thermal Engineering*, vol. 96, issue 5, pp. 372-384. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.11.085 [Accessed 16 October 2024].

Gasparini, P., Di Cosmo, L., Floris, A. and De Laurentis, D. (2022), *Italian National Forest Inventory – Methods and Results of the Third Survey | Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio – Metodi e Risultati della Terza Indagine*, Springer, Cham. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-98678-0 [Accessed 16 October 2024].

Gausa, M. (2019), "Resili(g)ence – Città Intelligenti / Paesaggi Resilienti | Resili(g)ence – Smart Cities / Resilient Landscape", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 6, pp. 14-25. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/622019 [Accessed 16 October 2024].

ISTAT (2024), *Classificazioni statistiche e dimensione dei Comuni*. [Online] Available at: istat.it/classificazione/principali-statistiche-geografiche-sui-comuni [Accessed 16 October 2024].

Kautz, M. and Hansen, U. (2007), "The externally-fired gas-turbine (EFGT-Cycle) for decentralized use of biomass", in *Applied Energy*, vol. 84, issues 7-8, pp. 795-805. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.apenergy.2007.01.010 [Accessed 16 October 2024].

Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2024), *Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima*. [Online] Available at: mase.gov.it/sites/default/files/PNIEC_2024_revfin_01072024%20errata%20corrige%20pulito.pdf [Accessed 16 October 2024].

Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali (2022), *Strategia Forestale Nazionale*. [Online] Available at: politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/17813 [Accessed 16 October 2024].

Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali (2012), *Piano della Filiera Legno 2012-2014 – Documento di sintesi*. [Online] Available at: politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/5082 [Accessed 16 October 2024].

Olsson, O., Bruce, L., Hektor, B., Roos, A., Guisson, R., Lamers, P., Hartley, D., Ponitka, J., Hildebrandt, J. and Thrän, D. (2016), *Cascading of woody biomass – Definitions, policies and effects on international trade*, IEA Bioenergy Tak 40, April 2016. [Online] Available at: ieabioenergy.com/blog/publications/cascading-of-woody-biomass-definitions-policies-and-effects-on-international-trade-2/ [Accessed 16 October 2024].

Presidente della Repubblica (2021), "Decreto Legislativo dell'8 novembre 2021, n. 199 – Attuazione della direttiva (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 dicembre 2018, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili (21G00214)", in *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, Serie Generale n. 285 del 30/11/2021. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/2016/10/18/16G00205 [Accessed 16 October 2024].

Presidente della Repubblica (2016), "Decreto-Legge del 17 ottobre 2016, n. 189 – Interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dal sisma del 24 agosto 2016 (16G00205)", in *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, Serie Generale n. 244 del 18/10/2016. [Online] Available at: gazzettaufficiale.it/eli/id/2016/10/18/16G00205 [Accessed 16 October 2024].

Provincia di Bergamo (2013), *Report attività di sperimentazione promosse in Regione Lombardia – La realizzazione di reti di teleriscaldamento alimentate da biomassa locale – Verifica di fattibilità – Provincia di Bergamo – Deliverable 11 – Parte B*. [Online] Available at: factor20.it/c/document_library/get_file?p_l_id=8031504&folderId=8441231&name=DLFE-55423.pdf [Accessed 16 October 2024].

Rete Rurale Nazionale (2020), *Aree Rurali 2014-2020*. [Online] Available at: reterurale.it/areerurali [Accessed 16 October 2024].

Santos Malaguti de Sousa, C., Queiroz Ferreira Barata, T., Dutra Profirio de Souza, C. and de Melo, F. G. (2023), "Gestione delle foreste urbane – Percorsi tecnologici design-driven per la valorizzazione dei rifiuti da potatura | Urban forests management – Design-driven technological routes for wood waste valuing", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 291-300. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13252023 [Accessed 16 October 2024].

Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per l'area Metropolitana di Venezia e le Province di Belluno, Padova e Treviso (2015), *Linee guida di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale*. [Online] Available at: soprintendenzapdve.beniculturali.it/la-soprintendenza-informa/atti-di-indirizzo/linee-guida-di-indirizzo-per-il-miglioramento-dellefficienza-energetica-nel-patrimonio-culturale/ [Accessed 16 October 2024].

Ugalde, J. M., Rutz, D., Adler, J., Stein, K., Höher, M., Krizmanić, M., Vrček, V. and Šegon, V. (2016), *Bioenergy Villages (BioVill) – Increasing the Market Uptake of Sustainable Bioenergy*, Grant Agreement no. 691661. [Online] Available at: ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5adf13840&appId=PPGMS [Accessed 16 October 2024].

Zavratnik, V., Kos, A. and Stojmenova Duh, E. (2018), "Smart Villages – Comprehensive Review of Initiatives and Practices", in *Sustainability*, vol. 10, issue 7, article 2559, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su10072559 [Accessed 16 October 2024].

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 186-193
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/16152024

Article Info

Received 10 September 2024
Revised 12 October 2024
Accepted 14 October 2024
Published 30 December 2024

PROGETTARE BIPV
Strategie per gestire la complessità del fotovoltaico integrato in facciata

DESIGNING BIPV
Strategies for managing complexity in the integration of photovoltaics in facades

Matteo Giovanardi, Claudio Castellan, Marcello La Rosa, Aleksandar Pavlovic, Alessandro Pracucci

Abstract

I recenti Piani Europei per l'energia e il clima promuovono l'adozione di sistemi Building Integrated Photovoltaics (BIPVs) quali tecnologie chiave per affrontare le molteplici sfide associate alla neutralità climatica. Sebbene i progressi ottenuti nel campo delle tecnologie fotovoltaiche offrano prospettive incoraggianti in termini di efficienza e durabilità, l'integrazione in componenti edilizi rappresenta ancora una pratica complessa e non comune. Con l'obiettivo di affrontare il tema della complessità in relazione alla progettazione di sistemi BIPV e favorirne una maggiore commercializzazione, l'articolo offre una serie di strategie progettuali per affrontare questioni di natura architettonica, tecnologica, economica e ambientale attraverso l'analisi critica di un caso studio reale.

Recent European plans for energy and climate promote the adoption of Building Integrated Photovoltaics (BIPVs) as key technologies to address the diverse challenges associated with climate neutrality. Although advancements in photovoltaic technology offer promising perspectives in terms of efficiency and durability, integrating these technologies into building components remains a complex and uncommon practice. Aiming to address the complexities related to BIPV system design and encourage broader commercialisation, this article presents a series of design strategies to tackle architectural, technological, economic, and environmental issues through a critical analysis of a real-world case study.

Keywords

BIPV, sistemi di facciata, energia rinnovabili, innovazione, complessità

BIPV, facade systems, renewable energy, innovation, complexity

Matteo Giovanardi, Architect and PhD, is a co-Founder of Levery Srl Società Benefit (Italy), an innovative startup aiming to accelerate the impact of scientific research in the construction sector. His studies and work focus on the enabling role of digital technologies in promoting the principles of the Circular Economy and Sustainability in the built environment. Mob. +39 339/601.03.39 | E-mail: m.giovanardi@levery.it

Claudio Castellan, PhD in Physics, is the Product Manager and CEO of Glass to Power (Italy). E-mail: claudio.castellan@glasstopower.com

Marcello La Rosa, PhD in Chemistry, is the Head of Research and Development at Glass to Power (Italy). E-mail: marcello.larosa@glasstopower.com

Aleksandar Pavlovic is the Operations Manager at the Glass to Power (Italy), where he coordinates product industrialisation activities and project management. E-mail: aleksandar.pavlovic@glasstopower.com

Alessandro Pracucci, Architect and PhD, is a co-Founder and Director of Levery Srl Società Benefit (Italy), an innovative startup aiming to accelerate the impact of scientific research in the construction sector. He is an Adjunct Professor in Architectural Technology at the University of Bologna and a Member of the International PhD Board in Architecture and Urban Planning at the University of Ferrara. E-mail: a.pracucci@levery.it



Edgar Morin (2017, p. 27), filosofo, sociologo e teorico della 'complessità', descrive quest'ultima come lo stato di confusione di un individuo davanti a un «[…] oggetto che comporta troppi tratti diversi, troppe molteplicità e indistinzioni interne». La difficoltà nel comprendere e descrivere le relazioni tra parti che avvengono all'interno di un sistema, incluso la variabilità delle influenze reciproche che si verificano nel tempo (Manni and Valzano, 2023), determina così un'esplicita criticità nell'adottare i principi di separabilità, riduzione e semplificazione necessari per affrontare e risolvere un problema in modo empirico.

Nel dibattito architettonico attuale, a fronte del processo di ibridazione con tecnologie e approcci tipici della produzione industriale (Schiaffonati, 2014; Mussinelli, Tartaglia and Di Paquale, 2017; Zaffagnini and Morganti, 2022) e l'affermarsi di compenetrazioni disciplinari (Faroldi, 2021), il termine 'complesso' viene sempre più spesso associato a sistemi tecnologici che integrano più componenti e funzioni, richiedendo, per essere progettati e gestiti nel loro ciclo di vita, competenze trasversali al dominio dell'architettura. Questo si manifesta in modo chiaro nel campo dei Building Integrated Photovoltaics (BIPVs), sistemi tecnologici avanzati che implicano conoscenze specifiche nel campo delle tecnologie fotovoltaiche e della gestione dell'energia.

Un prodotto BIPV rappresenta la più piccola unità elettricamente e meccanicamente indivisibile di un sistema fotovoltaico integrato nell'edificio (D'Ambrosio et alii, 2020) in grado di combinare le funzionalità di un componente edilizio con la produzione di energia elettrica (EN 50583-1:2016; IEA, 2018). Nel contesto attuale, i Piani Europei per l'energia e il clima come Fit for 55 (European Commission, 2021) e REPowerEU (European Commission, 2022) identificano i sistemi BIPV quali tecnologie chiave nel perseguire l'autosufficienza energetica (Chiaroni, Chiesa and Frattini, 2019) e la neutralità climatica dell'ambiente costruito (Moser and Maturi, 2022; Bizzarri, Moser and Mazzer, 2020).

Se negli ultimi trent'anni il tema della complessità in relazione allo sviluppo dei sistemi BIPV è stato affrontato da un punto di vista tecnologico prestazionale (Jakica, 2018; Bonomo and Frontini, 2024) con risultati significativi in termini di integrazione fisica e funzionale (Figg. 1-3), persistono ancora elementi che ne ostacolano la diffusione sul mercato. I costi elevati di produzione, la difficile standardizzazione, questioni di natura estetica e la mancanza di una filiera produttiva e distributiva adeguatamente strutturata per integrare prodotti integrati rappresentano i principali deterrenti per un'adozione su larga scala dei prodotti BIPV (Prieto et alii, 2017; Curtius, 2018; Weerasinghe et alii, 2021; Bonomo et alii, 2024); emerge pertanto la necessità primaria di aggiornare strumenti, metriche e approcci metodologici utilizzati per affrontare lo sviluppo di sistemi integrati complessi (Sposito and De Giovanni, 2023) a favore di una maggiore scalabilità sul mercato (Corti, Follo and Bonomo, 2024).

Sulla base di queste premesse l'articolo mira a identificare strategie chiave nella gestione della complessità per lo sviluppo di un sistema di facciata continua che integra un componente BIPV attraverso l'analisi critica di attività di ricerca, prototipazione e validazione sul mercato. L'articolo propone una serie di riflessioni sulle fasi di progettazione, produzione e gestione nel ciclo di vita del sistema BIPV, indagando aspetti di natura architettonica, tecnologica, economica e ambientale all'interno di una prospettiva volta a promuovere il processo di transizione energetica attraverso l'innovazione e il design (Giallocosta, 2019). Il tema della complessità, quale aspetto caratteristico nella progettazione di sistemi integrati e multifunzionali, viene così affrontato con l'obiettivo generale di rinnovare l'interesse di ricercatori, progettisti e attori nel mercato delle costruzioni verso lo sviluppo di sistemi innovativi per l'ambiente costruito.

Metodologia e fasi della ricerca | La ricerca, condotta all'interno del progetto 'Mass Customization 2.0 for Integrated PV' (MC 2.0)[1], adotta un approccio sistemico e multilivello per gestire la complessità della concettualizzazione e ingegnerizzazione di sistemi BIPV nelle chiusure verticali esterne, con un focus specifico sui sistemi di facciata continua; la metodologia si articola in quattro fasi consequenziali e interconnesse, ciascuna volta ad affrontare uno specifico aspetto nella progettazione di un sistema BIPV.

La prima fase consiste nell'analisi del sistema tecnologico di facciata e la sua scomposizione in sottosistemi (Knaack et alii, 2007; Fig. 4); questa fase, utilizzando il metodo gerarchico-funzionale per mappare le relazioni tra i vari sottosistemi e le loro funzioni primarie, consente di identificare le potenziali integrazioni di componenti fotovoltaiche nel sistema tecnologico preservando l'integrità funzionale del sistema edilizio. Parallelamente si procede allo studio del sistema fotovoltaico per identificarne gli elementi chiave dell'architettura quali celle fotovoltaiche, sistemi di cablaggio e connettori (Fig. 5) e, sulla base degli Standard Internazionali IEC 61730-1:2016 e IEC 63092-1:2020, potenziali conflitti o sinergie tra i requisiti costruttivi dei moduli fotovoltaici e il sistema di facciata vengono valutati da un punto di vista fisico e funzionale (van Noord, 2023).

La terza fase metodologica, sulla base delle normative UNI 8289:1981 e UNI 11277:2008, è finalizzata a definire i requisiti esigenziali-prestazionali dello specifico sistema di facciata BIPV: tale azione, propedeutica alla fase di progettazione, stabilisce i requisiti primari del sistema tecnologico integrato e tramuta indicazioni teoriche in vincoli progettuali ordinati per rilevanza. Infine la quarta fase procede nella progettazione del sistema BIPV; l'integrazione dei vari componenti viene valutata tramite prototipi virtuali e fisici in grado di verificare la fattibilità tecnica del progetto e validare le assunzioni teoriche emerse dalle fasi precedenti.

Sebbene l'obiettivo dell'articolo sia volto a far emergere aspetti di complessità relativi all'integrazione di un vetro fotovoltaico in un sistema di facciata continua, l'approccio metodologico proposto può essere adottato per lo sviluppo di più sistemi BIPV.

Il caso studio | Sviluppato all'interno del progetto MC 2.0, il caso di studio ha interessato la progettazione di un sistema di facciata continua che integra un vetro fotovoltaico BIPV brevettato da Glass to Power[2]: nello specifico, il prodotto BIPV è un'unità di vetro isolante fotovoltaico trasparente a tre lastre (PV-IGU) basata sulla tecnologia Quantum Dot-Luminescent Solar Concentrator (QD-LSC; Meinardi et alii, 2024). Il suo funzionamento prevede la sostituzione del vetro centrale di un triplo vetrocamera con una lastra in polimetilmetacrilato (PMMA) che, incorporando nanoparticelle ibride inorganiche, guida la radiazione solare fino al perimetro del vetrocamera dove i moduli fotovoltaici a base di silicio integrati nel giunto siliconico convertono il fascio luminoso in energia elettrica (Fig. 6). La tecnologia prevede che i moduli fotovoltaici siano completamente integrati nel bordo del vetrocamera evitando così la loro percezione visiva e preservando l'omogeneità della superficie vetrata (Figg. 7-11).

L'integrazione del PV-IGU in un sistema di facciata continua introduce un ulteriore livello di complessità, dovuto alle interazioni con altri componenti e sistemi tecnologici, alle implicazioni dirette sul processo di produzione e installazione e alla necessità di garantire le prestazioni dell'intero sistema. A questo proposito, specifici requisiti architettonici, tecnologici, economici e ambientali (Tab. 1), emersi dall'analisi esigenziale-prestazionale, sono stati definiti considerando le implicazioni di ogni scelta sull'intero ciclo di vita del componente BIPV. In quest'ottica la complessità si manifesta nel trovare il giusto bilanciamento tra i requisiti progettuali emersi, considerando che le istanze estetiche devono essere valutate alla pari di quelle funzionali prestazionali per favorirne la diffusione sul mercato (Frontini et alii, 2022).

Nel progetto MC 2.0 l'indagine progettuale è stata guidata dalla volontà di sviluppare un involucro tecnologicamente integrato con il fotovoltaico simile, per caratteristiche estetiche, architettoniche e funzionali, ai sistemi di facciata continua convenzionali. Aspetti dimensionali, scale cromatiche, proprietà termiche e ottiche (trasmissione luminosa, fattore solare, riflettanza e trasparenza) sono state indagate al fine di validare la versatilità del modulo PV-IGU alle caratteristiche architettoniche richieste dal mercato e alle relative implicazioni sulla produzione di energia elettrica.[3]

Affrontati gli aspetti di natura architettonica e resa energetica, lo studio si è focalizzato sull'integrazione fisica che, pur essendo un tema tecnologicamente praticabile e già affrontato in letteratura (Rounis, Athienitis and Stathopoulos, 2021; Alvarez-Alava et alii, 2023; Chen et alii, 2023), implica una serie di riflessioni aggiuntive volte a garantire la scalabilità del sistema BIPV lungo l'intero ciclo di vita.

Nello specifico, l'inserimento del connettore (c.d. junction box) e il passaggio di cavi elettrici risultano ancora oggi le parti più delicate da gestire durante la fase di progettazione in quanto hanno implicazioni dirette sul processo di assemblaggio e installazione, nonché sul costo complessivo del sistema BIPV (Figg. 12, 13). Con l'obiettivo di garantire la qualità del prodotto finale lungo l'intero processo di produzione e manutenzione del BIPV, il progetto ha affrontato le diverse fasi di realizzazione e gestione della facciata secondo una logica di industrializzazione. In particolare, il sistema di facciata continua BIPV è stato progettato per ottimizzare le lavorazioni e le sigillature sui profili del sistema di facciata, ridurre il numero di operazioni durante la produzione del sistema BIPV, assicurare la qualità nelle fasi di produzione off-site, garantire l'operatività e facilitare la manutenzione e la sostituzione nel tempo.

Un primo elemento di complessità ha riguardato l'integrazione della junction box, considerato il limitato spazio disponibile nei sistemi di facciata; la ricerca di mercato si è concentrata su connettori di dimensioni ridotte, integrabili nel giunto siliconico del vetrocamera o in diretta adiacenza per occupare lo spazio tra vetrocamera e profili di facciata. La scelta è ricaduta su una tecnologia che consentisse di limitare le interferenze fisiche indipendentemente dal sistema di facciata adottato e garantisse la facilità di assemblaggio agli operatori. Un'ulteriore analisi ha riguardato la predisposizione dei cavi elettrici in officina con la possibilità di collegare ogni modulo







Fig. 1 | BIPV prototypes developed by the Institute for Applied Sustainability in the Built Environment research group at SUPSI (credit: SUPSI, 2021).

Fig. 2 | ASCA solar modules, BIPV integration in an office building (credit: MB Werbefotografie, 2023).

Fig. 3 | AGC Technovation Center, BIPV in double skin facade (credit: AGC, 2014).

Next page

Fig. 4 | Identification of the main components of a curtain wall façade system (credit: M. Giovanardi, 2024).

Fig. 5 | Glass module BIPV architecture (credit: M. Giovanardi, 2024).

durante la fase di vetrazione. Tale approccio consente di limitare i tempi di installazione in cantiere e garantire livelli di qualità delle sigillature più elevate, aspetto cruciale nel preservare la tenuta all'acqua del sistema di facciata una volta in uso.

Lo spazio limitato per il posizionamento della junction box e una maggior difficoltà nella gestione dei cavi elettrici durante le fasi di manutenzione e riparazione determinano la necessità di esplorare anche nuove forme di trasferimento dell'elettricità, attraverso l'uso di pin, sistemi di induzione magnetica o laser, sfide tecnologiche queste investigate in altri contesti industriali.

Strategie di gestione della complessità | L'elevato numero di requisiti da dover considerare e soddisfare, unito alla multidisciplinarietà dei temi trattati, determina un livello di complessità maggiore rispetto allo sviluppo di componenti edilizi tradizionali: per far fronte a questo problema sono state adottate diverse strategie di gestione e mitigazione della complessità. Un 'approccio sistemico e integrato' consente di considerare il sistema BIPV come un sistema di relazioni fisico-funzionali, in cui ogni componente deve essere progettato considerando l'influenza generata sulla globalità del sistema e delle sue prestazioni. Fin dalle prime fasi progettuali le analisi di compatibilità tra sistemi e materiali risultano cruciali per lo sviluppo di interfacce tra i diversi componenti, come le lavorazioni dei profili per il passaggio dei cavi elettrici o il posizionamento dei connettori per favorire le fasi assemblaggio, installazione e manutenzione, analisi che devono includere aspetti relativi alle attività lungo l'intero processo produttivo riducendo, laddove possibile, le interferenze tra attività.

I principi del 'design modulare e circolare' possono determinare significativi benefici in termini di costi e risorse impiegate: se la modularità del componente BIPV da un lato abilita la produzione in serie a costi ridotti aumentandone la scalabilità sul mercato, dall'altro è una caratteristica imprescindibile per abilitare schemi di gestione razionali e circolari. La modularità dei sistemi BIPV, applicabile alle componenti fotovoltaiche e di facciata, può facilitare schemi di manutenzione, riparazione e riutilizzo del bene lungo l'intera vita utile del componente edilizio risolvendo così questioni relative alla diversa vita utile

delle tecnologie integrate; per questo risulta cruciale progettare sistemi integrati per parti che possano essere facilmente sostituite senza compromettere la funzionalità dell'intero sistema edilizio.

Un 'approccio low-tech' che privilegi soluzioni tecnologiche semplici, affidabili, scalabili e ampiamente validate (Fagnoni and Olivastri, 2019) riduce la necessità di manodopera specializzata lungo la filiera e la frequenza di guasti nei sistemi in uso con effetti significativi sul costo del prodotto BIPV. La semplificazione delle fasi di assemblaggio, installazione e configurazione attraverso approcci plug-and-play richiede un'attenzione progettuale elevata; con l'obiettivo di ridurre al minimo gli interventi di tecnici specializzati e le infrastrutture a supporto delle attività di installazione, il sistema di facciata BIPV deve essere progettato per essere posato e cablato in serie, seguendo lo schema di installazione del sistema di facciata.

Una progettazione 'future-proof' con sistemi flessibili e adattabili ai cambiamenti futuri, siano essi climatici o nelle modalità di utilizzo del bene, garantisce una maggiore durabilità della tecnologia e delle sue prestazioni. Principi di progettazione relativi alla razionalità dei suoi componenti, al corretto dimensionamento delle sue parti, alla scelta dei materiali e alla loro obsolescenza programmata offrono maggiori vantaggi in termini di vita utile del sistema BIPV e della resa energetica. L'adozione di strumenti di valutazione LCA, LCC e di simulazione energetica, consentendo di valutare l'impatto di materiali e fenomeni esterni nel ciclo di vita del prodotto, possono supportare i progettisti in analisi multicriteria complessi.

Infine una 'progettazione multidisciplinare' attraverso il coinvolgimento di professionisti con know-how specifici nel mondo della progettazione architettonica, dei sistemi tecnologici di involucro e delle tecnologie fotovoltaiche favorisce lo sviluppo di soluzioni innovative che possano rispondere alla domanda del mercato, trovando il giusto compromesso tra prestazioni energetiche, fattibilità tecnica, sostenibilità economica e ambientale.

Conclusioni e prospettive future | L'evoluzione del quadro normativo europeo e nazionale, con l'introduzione di target più stringenti per il raggiungimento della neutralità climatica entro il 2050 (European Commission, 2021), ha portato a un rinnovato interesse verso le tecnologie BIPV. I benefici indotti dall'integrazione di tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili nell'ambiente costruito ampliano le prospettive di intervento nella rigenerazione di città energeticamente indipendenti. In questo contesto il presente articolo si è posto l'obiettivo di fornire un contributo alla definizione di strategie per la gestione della complessità nella progettazione di sistemi BIPV al fine di favorirne maggiore scalabilità sul mercato.

L'analisi critica di un caso studio relativo allo sviluppo di un sistema di facciata BIPV ha evidenziato gli aspetti più critici emersi durante il processo di progettazione. Attraverso una metodologia articolata in più fasi, scalabile a più componenti edilizi, sono state definite una serie di strategie per la gestione e mitigazione della complessità nello sviluppo di un sistema di facciata continua BIPV, promuovendo un approccio sistemico che consideri simultaneamente gli aspetti architettonici, tecnologici, economici ed ambientali del sistema.

Dal quadro proposto emerge come il design sia fondamentale nella progettazione di componenti integrati dovendo comprendere e mappare quelle che sono le implicazioni tecnologiche, economiche e ambientali nel ciclo di vita del prodotto BIPV. Ad acuire tale complessità concorre l'assenza di una filiera produttiva adeguata alla fornitura di componenti fotovoltaiche specifiche per prodotti BIPV. Infatti, mentre il settore fotovoltaico ha raggiunto una sua maturità industriale, ulteriori progressi sono necessari nello sviluppo di componenti BIPV per l'architettura quali junction box di dimensioni contenute, celle fotovoltaiche sottili e soluzioni alternative alla trasmissione dell'energia via cavo (es. induzione o radiazione elettromagnetica).

In aggiunta è necessario segnalare la necessità di standard e certificazioni di prodotto omogenei per sistemi integrati che aiutino a risolvere lo sviluppo di soluzioni innovative per migliorare la resa energetica di celle fotovoltaiche e tecnologie QD-LSC, elementi questi che contribuirebbero a una rapida accelerazione nella diffusione di tecnologie BIPV e al raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica per l'ambiente costruito.

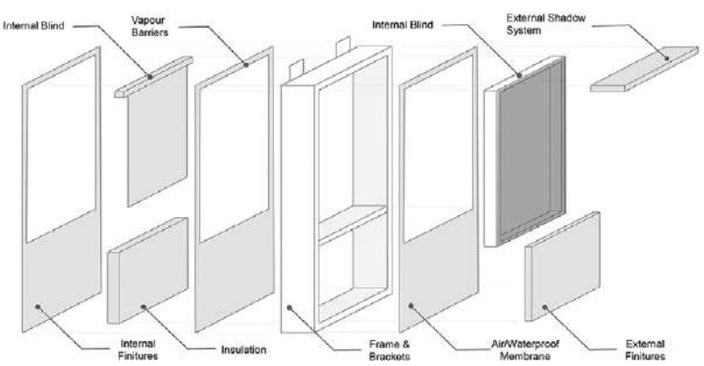
Edgar Morin (2017), philosopher, sociologist, and theorist of 'complexity', describes complexity as the confusion one faces before an object that comprises too many different traits, too much multiplicity, and internal indistinction. The challenge of understanding and describing the relationships between parts within a system, including the variability of mutual influences over time (Manni and Valzano, 2023), thus creates a clear obstacle to applying principles of separability, reduction, and simplification needed to address and solve a problem empirically.

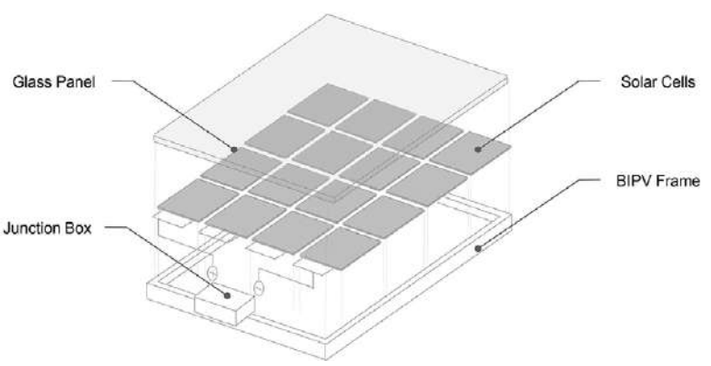
In the current architectural debate, amid a process of hybridisation with technologies and approaches typical of industrial production (Schiaffonati, 2014; Mussinelli, Tartaglia and Di Pasquale, 2017; Zaffagnini and Morganti, 2022) and the emergence of disciplinary interpenetrations (Faroldi, 2021), the term 'complex' is increasingly associated with technological systems that integrate multiple components and functions. Expertise beyond traditional architecture is required to design and manage these systems throughout their lifecycle. This is especially evident in Building Integrated Photovoltaics (BIPVs), advanced technological systems that demand specific knowledge in photovoltaic technologies and energy management.

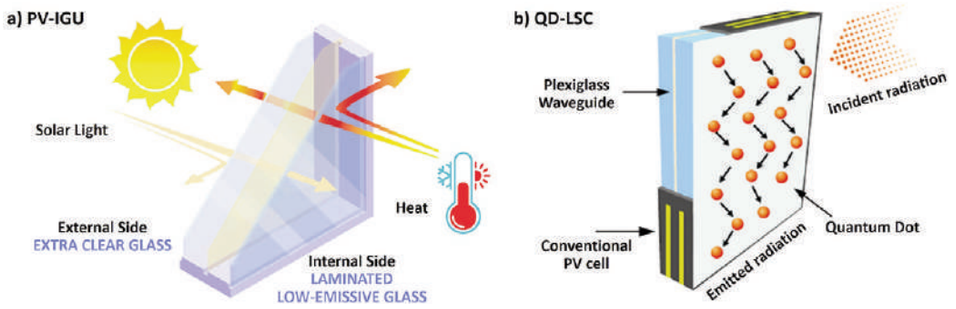
A BIPV product represents the smallest electrically and mechanically indivisible unit of a building-integrated photovoltaic system (D'Ambrosio et alii, 2020) capable of combining the functionality of a building component with electricity generation (EN 50583-1:2016; IEA, 2018). In the current context, European energy and climate plans such as Fit for 55 (European Commission, 2021) and REPowerEU (European Commission, 2022) identify BIPV systems as key technologies in pursuing energy self-sufficiency (Chiaroni, Chiesa and Frattini, 2019) and the climate neutrality of the built environment (Moser and Maturi, 2022; Bizzarri, Moser and Mazzer, 2020).

While over the past thirty years, the topic of complexity concerning BIPV system development has been addressed from a performance technology perspective (Jakica, 2018; Bonomo and Frontini, 2024) with significant progress in physical and functional integration (Figg. 1-3), barriers to market diffusion persist. High production costs, difficulties in standardisation, aesthetic concerns, and a lack of a sufficiently structured production and distribution chain to integrate BIPV products are the primary deterrents to large-scale adoption (Prieto et alii, 2017; Curtius, 2018; Weerasinghe et alii, 2021; Bonomo et alii, 2024). This highlights the need to update tools, metrics, and methodological approaches to support the development of complex integrated systems (Sposito and De Giovanni, 2023) promoting greater market scalability (Corti, Follo and Bonomo, 2024).

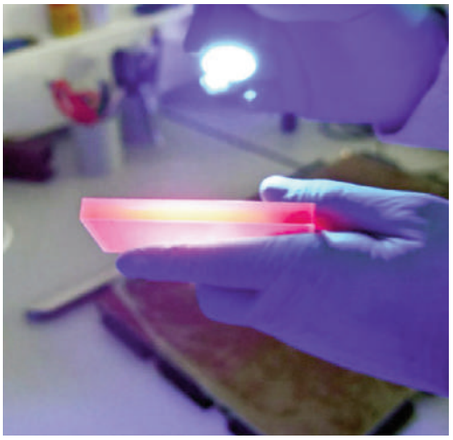
Based on these premises, this article aims to identify key strategies for managing complexity in the development of a continuous façade system integrating a BIPV component through critical analysis of research activities, prototyping, and market validation. The article presents a series of reflections on the design, production, and lifecycle management phases of BIPV systems, exploring architectural, technological, economic, and environmental aspects with a perspective aimed at promoting the energy transition process through innovation and design (Giallocosta, 2019). The theme of complexity, as a characteristic element in the design of integrated and multifunctional systems, is thus addressed with the goal











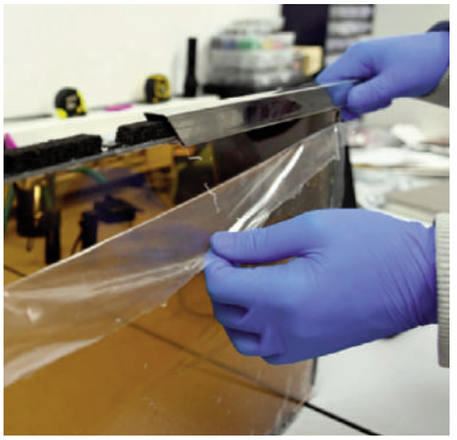






Fig. 6 | Functioning of PV-IGU technology (credit: G2P, 2022).

Figg. 7-11 | Details of the development and production of Glass to Power's PV-IGU module (credits: G2P, 2024).

Next page

Tab. 1 | BIPV requirements list considered during the project (credit: the Authors).

of renewing the interest of researchers, designers, and stakeholders in the construction market toward developing innovative systems for the built environment.

Methodology and research phases | The research, conducted as part of the 'Mass Customization 2.0 for Integrated PV' (MC 2.0) project[1], adopts a systemic and multi-level approach to manage the complexity of conceptualising and engineering BIPV systems in vertical external enclosures, with a specific focus on continuous façade systems. The methodology is divided into four sequential and interconnected phases, each addressing a specific aspect of BIPV system design.

The first phase involves analysing the façade technology system and breaking it down into subsystems (Knaack et alii, 2007; Fig. 4). This phase uses the hierarchical-functional method to map relationships between the various subsystems and their primary functions, enabling the identification of potential photovoltaic component integrations within the technological system while preserving the functional integrity of the building system. Concurrently, the photovoltaic system is studied to identify its key architectural elements, such as photovoltaic cells, wiring systems, and connectors (Fig. 5). Based on International Standards IEC 61730-1:2016 and IEC 63092-1:2020, potential conflicts or synergies between the construction requirements of photovoltaic modules and the façade system are evaluated from both physical and functional perspectives (van Noord, 2023).

The third methodological phase, based on UNI 8289:1981 and UNI 11277:2008 standards, aims to define the performance requirements for the specific BIPV façade system. This action, preparatory to the design phase, establishes the primary requirements of the integrated technology system and translates theoretical guidelines into project constraints ordered by relevance. Finally, the fourth phase proceeds with the design of the BIPV system; the integration of various components is evaluated through virtual and

physical prototypes to verify the project's technical feasibility and validate the theoretical assumptions from the previous phases.

Although the article's objective is to highlight complexity aspects related to the integration of photovoltaic glass into a continuous façade system, the proposed methodological approach can be adopted to develop multiple BIPV systems.

The case study | Developed within the MC 2.0 project, the case study involved the design of a continuous façade system integrating a patented BIPV photovoltaic glass by Glass to Power[2]. Specifically, the BIPV product is a transparent triple-pane photovoltaic insulating glass unit (PV-IGU) based on Quantum Dot-Luminescent Solar Concentrator (QD-LSC) technology (Meinardi et alii, 2024). Its operation involves replacing the central pane of a triple-pane glass unit with a polymethylmethacrylate (PMMA) sheet that, incorporating hybrid inorganic nanoparticles, guides solar radiation to the edge of the glass unit, where silicon-based photovoltaic modules integrated into the silicone joint convert the light beam into electrical energy (Fig. 6). The technology ensures that photovoltaic modules are fully integrated into the glass edge, avoiding visual perception and preserving the homogeneity of the glass surface (Figg. 7-11).

Integrating the PV-IGU into a continuous façade system introduces an additional level of complexity due to interactions with other components and technological systems, direct implications for production and installation processes, and the need to ensure the overall system's performance. In this regard, specific architectural, technological, economic, and environmental requirements (Tab. 1), derived from performance requirement analysis, were defined by considering the implications of each choice on the entire lifecycle of the BIPV component. From this perspective, complexity manifests in finding the right balance among the design requirements that have emerged, considering that aesthetic criteria must be evaluated on par with functional performance criteria to facilitate market adoption (Frontini et alii, 2022).

In the MC 2.0 project, the design investigation was driven by the goal of developing an envelope technologically integrated with photovoltaics that, in terms of aesthetic, architectural, and functional characteristics, resembles conventional continuous façade systems. Dimensional aspects, colour scales, and thermal and optical properties (light transmission, solar factor, reflectance, and transparency) were examined to validate the versatility of the PV-IGU module in meeting the architectural characteristics demanded by the market and its implications for electricity production.[3]

After addressing architectural and energy performance aspects, the study focused on physical integration, which, while technically feasible and addressed in the literature (Rounis, Athienitis and Stathopoulos, 2021; Alvarez-Alava et alii, 2023; Chen et alii, 2023), requires additional considerations to ensure the scalability of the BIPV system over its lifecycle.

Specifically, inserting the connector (junction box) and routing electrical cables remain delicate during the design phase due to their direct impact on assembly and installation processes, as well as the overall cost of the BIPV system (Figg. 12, 13). To ensure the quality of the final product throughout the entire production and maintenance process, the project addressed the various stages of façade construction and management according to an industrialisation logic. In particular, the BIPV continuous façade system was designed to optimise operations and sealing on façade profiles, reduce the number of steps during BIPV production, ensure quality in off-site production stages, maintain operability, and facilitate maintenance and replacement over time.

A primary challenge was integrating the junction box, given the limited space in façade systems; market research focused on smaller connectors that could be incorporated into the silicone joint of the glass unit or placed near the space between the glass unit and façade profiles. A technology was chosen that minimises physical interference regardless of the façade system used and ensures easy assembly for operators. Further analysis involved preparing the electrical cables in the workshop, with the possibility of connecting each module during the glazing phase. This approach limits on-site installation time and ensures higher quality seals, which is crucial for preserving the water tightness of the façade system once in use.

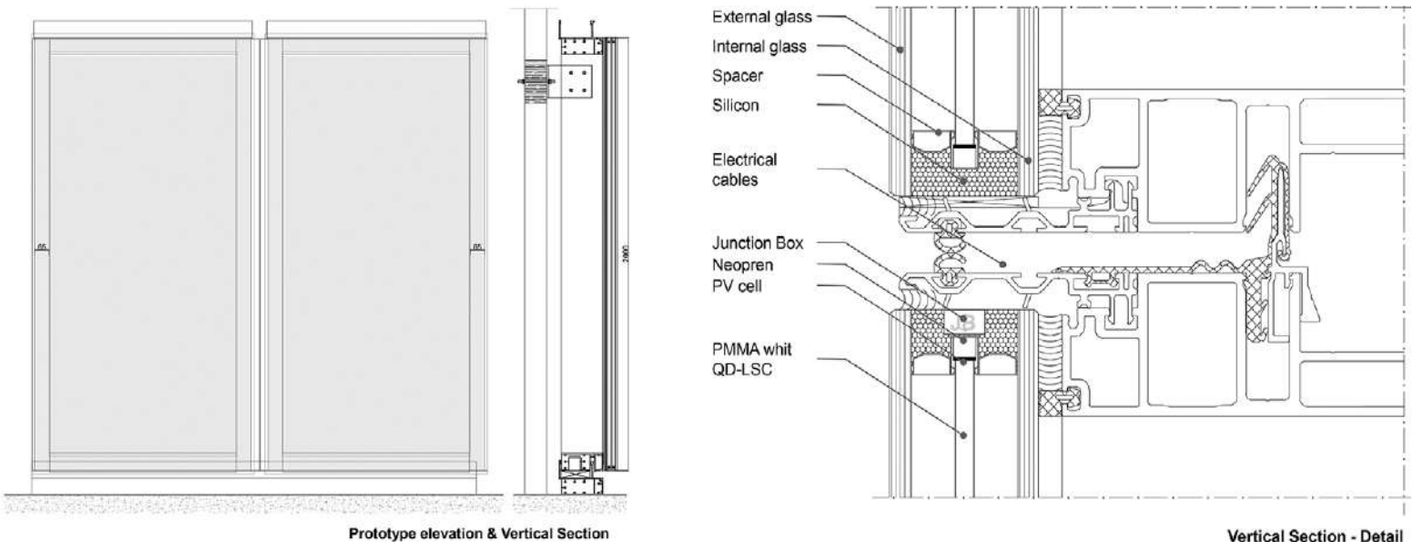
The limited space for junction box placement and the increased difficulty in managing electrical cables during maintenance and repair phases underscore the need to explore new forms of electricity transfer, including pins, magnetic induction, or laser systems, technological challenges being studied in other industrial contexts.

Strategies for managing complexity | The high number of requirements to be considered and met, combined with the multidisciplinary nature of the topics, creates a higher level of complexity compared to developing traditional building components. To address this issue, various complexity management and mitigation strategies were adopted.

A 'systemic and integrated approach' allows the BIPV system to be considered a system of physical-functional relationships, where each component must be designed considering its influence on the system's overall performance. From the early design phases, compatibility analyses between systems and materials are crucial for developing interfaces between components, such as profile processing for electrical cable routing or connector positioning to facilitate assembly, installation, and maintenance phases. These analyses should cover activities across the entire production process, reducing interference between activities wherever possible.

The principles of 'modular and circular design' can yield significant benefits in terms of cost and resources used. The modularity of the BIPV component enables cost-effective series production, increasing its scalability in the market, while also allowing rational and circular management schemes. The modularity of BIPV systems, applicable to photovoltaic and façade components, facilitates maintenance, repair, and reuse schemes over the entire useful life of the building component, addressing issues related to the

Type	Requirements	Objectives	Parameters
Architectural	Aesthetic	Meeting building architectural needs	Transparency, colour, reflectance, etc.
	Design integration	Ensuring systems compatibility	Fixing, cable routing, weigth-load, etc.
	Architectural layout	Fitting architectural	Dimension, orientations, solar exposition, etc.
Technological	Production & Manufacturing	Reducing and facilitating operations	Mountability, accessibility, plag-and-play installation, etc.
	Building performance	Ensuring façade performance	Thermal, acoustic, water/air tightness, etc.
	BIPV management	Facilitating building management	Maintenability, repairability, updatability, etc.
	Service life	Ensuring BIPV durability	Lifespan, repairability, technological upgradability, etc.
	End of life	Ensuring BIPV disassembly	Recycle, reuse and repurpose of components
Economic	Product cost	Maintaining costs similar to conventional	Cost per product, extra costs
	Investment	Guaranteeing a short payback time	Return of Investment, Life Cycle Cost
	Embedded value	Enhancing building property value	Product added value
Environmental	Carbon neutrality	Reducing overall carbon emission	CO_2 emission, Embodied Carbon, Embodied Energy, etc.
	Renewable energy	Reducing overall energy demand	BIPV efficiency, energy production, etc.
	Circularity	Embracing CE principles	Recyclability, reusability, repairability, etc.
	Climate change	Adapting and mitigating	Effect on UHI, raw materials consumption, etc.
	Comfort & Wellbeing	Ehnancing comfort and wellbeing	Air quality, outdoor comfort, visual comfort, etc.



Figg. 12, 13 | Drawing of integration of BIPV in curtain wall façade (credits: Levery, 2024).

varying lifespans of integrated technologies. Therefore, it is crucial to design integrated systems with parts that can be easily replaced without compromising the functionality of the entire building system.

A 'low-tech approach' favouring simple, reliable, scalable, and widely validated technological solutions (Fagnoni and Olivastri, 2019) reduces the need for specialised labour throughout the supply chain and decreases system failure frequency in use, with significant effects on the BIPV product's cost. Simplifying assembly, installation, and configuration phases with plug-and-play approaches requires careful design. To minimise the need for specialised technicians and support infrastructure during installation, the BIPV façade system should be designed to be installed and wired in series, following the façade system's installation scheme.

'Future-proof design', with flexible and adaptable systems to accommodate future changes, whether environmental or in the asset's usage, ensures greater durability of the technology and its performance. Design principles related to component rationality, proper sizing of parts, material selection, and planned obsolescence offer more advantages regarding the BIPV system's useful life and energy output. Using LCA, LCC, and energy simulation tools to assess the impact of materials and external phenomena on the product's lifecycle can support designers in conducting complex multicriteria analyses. Finally, a 'multi-disciplinary design' approach involving professionals with specific expertise in architectural design, technological envelope systems, and photovoltaic technologies promotes the development of innovative solutions that meet market demand, balancing energy performance, technical feasibility, and economic and environmental sustainability.

Conclusions and future perspectives | The evolution of European and national regulatory frameworks, with the introduction of stricter targets to achieve climate neutrality by 2050 (European Commission, 2021), has renewed interest in BIPV technologies. The benefits of integrating renewable energy production technologies into the built environment expand the potential for interventions in creating energy-independent cities. In this context, the present article aims to contribute to defining strategies for managing complexity in BIPV system design to enhance its scalability in the market.

A critical analysis of a case study on the development of a BIPV façade system highlighted the most critical aspects encountered during the design process. Through a multi-phase methodology, applicable to various building components, a series of strategies were defined for managing and mitigating complexity in the development of a continuous BIPV façade system. This promotes a systemic approach that simultaneously considers the system's architectural, technological, economic, and environmental aspects. The proposed framework underscores the importance of design in creating integrated components, as it must encompass and map the technological, economic, and environmental implications across the BIPV product lifecycle. Adding to this complexity is the lack of an adequate production chain for supplying photovoltaic components designed specifically for BIPV products. While the photovoltaic sector has reached industrial maturity, further progress is needed in developing BIPV-specific architectural components such as compact junction boxes, thin photovoltaic cells, and alternative solutions for power transmission (e.g., induction or electromagnetic radiation).

Moreover, standardised and consistent product certifications for integrated systems are needed to facilitate the development of innovative solutions to improve energy efficiency in photovoltaic cells and QD-LSC technologies, which would accelerate the adoption of BIPV technologies and contribute to achieving climate neutrality targets for the built environment.

Acknowledgements

This paper results from the collective input of the Authors. However, the introductory paragraph is attributed to M. Giovanardi, 'Methodology and research phases' to A. Pracucci, 'The case study' to A. Pracucci, C. Castellan, M. La Rosa, and A. Pavlovic, 'Strategies for managing complexity' to M. Giovanardi and A. Pracucci, and the paragraph 'Conclusions and future perspectives' to M. Giovanardi and A. Pracucci.

This research is funded by the European Union (Project: Mass Customization 2.0 for Integrated PV, GA 101096139). However, the points of view and opinions expressed are those of the Authors only and do not necessarily reflect those of the European Union. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

Notes

1) For more information on the MC 2.0 project (Grant Agreement No 10109613), see the webpage: mc2dot0.eu/ [Accessed 5 September 2024].

2) For more information on Insulating Photovoltaic Transparent Glass, see the webpage: glasstopower.com/insulating-photovoltaic-transparent-glass/?lang=en [Accessed 5 September 2024].

3) The PV-IGU module can achieve light transmission characteristics of up to 70%, a solar factor of up to 0.42, and electrical energy production of up to 20 Wp/sqm.

References

Alvarez-Alava, I., Elguezabal, P., Jorge, N., Armijos-Moya, T. and Konstantinou, T. (2023), "Definition and design of a prefabricated and modular façade system to incorporate solar harvesting technologies", in *Journal of Facade Design and Engineering*, vol. 11, issue 2, pp. 1-28. [Online] Available at: doi.org/10.47982/jfde.2023.2.T1 [Accessed 6 October 2024].

Bizzarri, F., Moser, D. and Mazzer, M. (eds) (2020), *A Strategic Plan for Research and Innovation to Relaunch the*

Italian Photovoltaic Sector and Contribute to the Targets of the National Energy and Climate Plan, version 1.0 – 16/07/2020. [Online] Available at: pvimpact.eu/news-resources/reports/download/a-strategic-plan-for-research-and-innovation-tore [Accessed 15 September 2024].

Bonomo, P. and Eder, G. (eds) (2021), *Categorization of BIPV applications – Breakdown and classification of main individual parts of building skin including BIPV elements – IEA PVPS – Task 15*, Report IEA-PVPS T15-12:2021. [Online] Available at: iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/09/IEA-PVPS-T15-12_2021_BIPV-categorization_report.pdf [Accessed 15 September 2024].

Bonomo, P. and Frontini, F. (2024), "Building Integrated Photovoltaics (BIPV) – Analysis of the Technological Transfer Process and Innovation Dynamics in the Swiss Building Sector", in *Buildings,* vol. 14, issue 6, article 1510, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings14061510 [Accessed 15 September 2024].

Bonomo, P., Frontini, F., Loonen, R. and Reinders, A. H. M. E. (2024), "Comprehensive review and state of play in the use of photovoltaics in buildings", in *Energy and Buildings,* vol. 323, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114737 [Accessed 16 September 2024].

Chen, T., Tai, K. F., Raharjo, G.P., Heng, C. K and Leow, S. W. (2023), "A novel design approach to prefabricated BIPV walls for multistorey buildings", in *Journal of Building Engineering,* vol. 63, part A, article 105469, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105469 [Accessed 6 October 2024]

Chiaroni, D., Chiesa, V. and Frattini, F. (2019), "A rapidi passi verso la Smart Energy", in Sassoon, E. (ed.), *La sfida planetaria – Per clima e ambiente è emergenza globale. Che fare? E quanto tempo ci resta?*, Mind Edizioni, Milano, pp. 81-86.

Corti, P., Follo, A. and Bonomo, P. (2024), "Workflow to support cost-benefits comparison and sensitivity analysis of BIPV case studies – Three examples of BIPV facades in the south of Switzerland", in *Energy & Buildings*, vol. 322, article 114732, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114732 [Accessed 6 October 2024]

Curtius, H. C. (2018), "The adoption of building-integrated photovoltaics – Barriers and facilitators", in *Renewable Energy*, vol. 126, pp. 783-790. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.renene.2018.04.001 [Accessed 16 September 2024].

D'Ambrosio, V., Losasso, M., Tersigni, E., Girardi, C. and Gifuni, S. (2021), *Building Integrated Photovoltaics – Repertorio di casi studio e soluzioni tecniche innovative*, Report RdS_PTR_2020_237. [Online] Available at: enea.it/ it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2019-2021/fotovoltaico-ad-alta-efficienza/report-rds_ptr_2020_237.pdf [Accessed 15 September 2024].

EN 50583-1:2016 (2016), *Photovoltaics in buildings – Part 1 – BIPV modules.* [Online] Available at: standards.iteh.ai/catalog/standards/clc/a749f8c8-938e-48a4-9a7d-0891a4c57f8f/en-50583-1-2016?srsltid=AfmBOoqH9FxOsI6kCNhpTVCYoX91bWLK8Ns8avwn6uE12VXk42z9eIy9 [Accessed 6 October 2024].

European Commission (2022), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – REPowerEU Plan*, document 52022DC0230, COM/2022/230 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A230%3AFIN [Accessed 6 October 2024].

European Commission (2021), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Fit for 55 – Delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality*, document 52021DC0550, COM/2021/550 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550 [Accessed 6 October 2024].

Fagnoni, R. and Olivastri, C. (2019), "Hardesign vs Softdesign", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 5, pp. 145-152. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/5162019 [Accessed 12 October 2024].

Faroldi, E. (2021), "L'architettura delle differenze", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 21, pp. 9-15. [Online] Available at: doi.org/10.36253/techne-11023 [Accessed 15 September 2024].

Frontini, F., Bonomo, P., Moser, D. and Maturi, L. (2022), "Building integrated photovoltaic facades – Challenges, opportunities and innovations", in Gasparri, E., Brambilla, A., Lobaccaro, G., Goia, F., Andaloro, A. and Sangiorgio, A. (eds), *Rethinking Building Skins – Transformative Technologies and Research Trajectories*, Woodhead Publishing, Sawston, pp. 201-229. [Online] Available at: doi.org/10.1016/C2019-0-02186-3 [Accessed 15 September 2024].

Giallocosta, G. (2019), "Caratteri e criticità di innovazione di processo | Features and critical issues of process innovations", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 5, pp. 5-10. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/512019 [Accessed 16 September 2024].

IEA – International Energy Agency (2018), *International definitions of BIPV – Photovoltaic Power Systems Programme,* Report IEA-PVPS T15-04:2018. [Online] Available at: iea-pvps.org/key-topics/international-definitions-of-bipv/#:~:text=A%20BIPV%20system%20is%20a,BIPV%20products%20into%20the%20building [Accessed 15 September 2024].

IEC 61730-1:2016 (2016), *Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 1 – Requirements for construction*. [Online] Available at: webstore.iec.ch/en/publication/25674 [Accessed 6 October 2024].

IEC 63092-1:2020 (2020), *Photovoltaics in buildings – Part 1 – Requirements for building-integrated photovoltaic modules*. [Online] Available at: webstore.iec.ch/en/publication/32158 [Accessed 6 October 2024].

Jakica, N. (2018), "State-of-the-art review of solar design tools and methods for assessing daylighting and solar potential for building-integrated photovoltaics", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, part 1, pp. 1296-1328. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.080 [Accessed 15 September 2024].

Knaack, U., Klein, T., Bilow, M. and Auer, T. (2007), *Façades – Principles of Construction,* Birkhäuser, Basel. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-7643-8281-0 [Accessed 15 September 2024].

Manni, V. and Valzano, L. S. (2023), "Modularità e architettura adattiva – Una strategia per la gestione di sistemi d'involucro complessi | Modularity and adaptive architecture – A strategy for managing complex envelope systems", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 134-151. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14112023 [Accessed 15 September 2024].

Meinardi, F., Bruni, F., Castellan, C., Meucci, M., Umair, A. M., La Rosa, M., Catani, J. and Brovelli, S. (2024), "Certification Grade Quantum Dot Luminescent Solar Concentrator Glazing with Optical Wireless Communication Capability for Connected Sustainable Architecture", in *Advanced Energy Materials*, vol. 14, issue 16, article 2304006, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.1002/aenm.202304006 [Accessed 9 October 2024].

Morin, E. (2017), *La sfida della complessità*, Le Lettere, Firenze.

Moser, D. and Maturi, L. (2022), "Nuovi orizzonti della transizione energetica – Sfide e opportunità per l'edilizia | New horizons of the energy transition – Challenges and opportunities for the building sector", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 24, pp. 40-45. [Online] Available at: doi.org/10.36253/techne-13440 [Accessed 15 September 2024].

Mussinelli, E., Tartaglia, A. and Di Pasquale, J. (2017), "L'innovazione tecno-tipologica per l'applicazione di sistemi ibridi alla produzione dell'edilizia abitativa – Tra cultura tecnologica e sperimentazione applicativa | Typological and technological innovation for the application of hybrid systems to housing construction – Between technological culture and application testing", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 13, pp. 287-294. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techne-19732 [Accessed 15 September 2024].

Prieto, A., Knaack, U., Auer, T. and Klein, T. (2017), "Solar façades – Main barriers for widespread façade integration of solar technologies", in *Journal of Façade Design and Engineering*, vol. 5, issue 1, pp. 51-62. [Online] Available at: doi.org/10.7480/jfde.2017.1.1398 [Accessed 16 September 2024].

Rounis, E. D., Athienitis, A. K. and Stathopoulos, T. (2021), "BIPV/T curtain wall systems – Design, development and testing", in *Journal of Building Engineering,* vol. 42, article 103019, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103019 [Accessed 6 October 2024]

Schiaffonati, F. (2014), "Il contesto culturale e la nascita della disciplina", in Coordinamento dei Ricercatori di Tecnologia dell'Architettura del Politecnico di Milano (ed.), *La Cultura Tecnologica nella Scuola Milanese*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, pp. 17-31.

Sposito, C. and De Giovanni G. (2023), "Affrontare la complessità – Integrare LCA, ERA ed ESA per valutare impatti e benefici antropici sulla biosfera | Dealing with complexity – Integrating LCA, ERA and ESA to assess human impacts and benefits on the biosphere", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 12-39. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1412023 [Accessed 6 October 2024].

UNI 11277:2008 (2008), *Building sustainability – Eco-compatibility requirements and needs of new and renovated residential and office buildings design.* [Online] Available at: store.uni.com/uni-11277-2008 [Accessed 6 October 2024].

UNI 8289:1981 (1981), *Building – Functional requirements of final users – Classification.* [Online] Available at: store.uni.com/en/uni-8289-1981 [Accessed 6 October 2024].

van Noord, M. (ed.) (2023), *Guide for Technological Innovation System Analysis for Building-Integrated Photovoltaics – IEA PVPS – Task 15 – Enabling Framework for the Development of BIPV*, Report IEA-PVPS T15-16:2023. [Online] Available at: iea-pvps.org/wp-content/uploads/2023/08/Report_IEA-PVPS_T15-16-2023-Guide-for-Tech-Innovation-Systems-Analysis-for-Building-Integrated-PV.pdf [Accessed 15 September 2024].

Weerasinghe, R. P. N. P., Yang, R. J., Wakefield, R., Too, E., Le, T., Corkish, R., Chen, S. and Wang, C. (2021), "Economic viability of building integrated photovoltaics – A review of forty-five (45) non-domestic buildings in twelve (12) western countries", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* vol. 137, article 110622, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2020.110622 [Accessed 6 October 2024].

Zaffagnini, T. and Morganti, L. (2022), "Data-driven LCA per l'innovazione industriale green delle facciate continue customizzate | Data-driven LCA for green industrial innovation of custom curtain walls", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 94-105. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1292022 [Accessed 16 September 2024].

ARCHITECTURE
Research & Experimentation

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 194-201
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/16162024

Article Info

Received 11 September 2024
Revised 14 October 2024
Accepted 16 October 2024
Published 30 December 2024

COMPUTAZIONE INCORPORATA E SPAZIO-MATERIALITÀ
Esplorare la complessità con la cyber-modellazione

EMBODIED COMPUTATION AND SPATIOMATERIALITY
Exploring complexity through cybermodelling

Aileen Iverson-Radtke, Otto Paans

Abstract

Per migliorare la propria efficacia la progettazione digitale odierna richiede una 'complessità limitata' a causa della natura dei parametri che entrano in gioco nella modellazione, al fine di bilanciare la complessità dell'azione progettuale con quella dello strumento utilizzato. Oltre a parametri relativi a forma e contesto emerge un terzo elemento, la 'spazio-materialità', che riflette la relazione tra gli oggetti e lo spazio nella fase della loro realizzazione poiché i materiali rispondono direttamente ai cambiamenti indotti dal contesto. In tale ottica l'articolo esplora un nuovo approccio all'uso della spazio-materialità tramite un'interfaccia digitale-analogica innovativa chiamata 'cyber-modellazione': collegando i dati ambientali in tempo reale ai modelli digitali la cyber-modellazione crea modelli 'vivi' che reagiscono a condizioni di contorno mutevoli, generando una spazio-materialità digitalizzata. Questi ambienti di progettazione computazionale supportano gli aspetti fenomenologici della forma e dello spazio, integrando le sfere del reale e del virtuale.

To improve its effectiveness, today's digital design requires 'bounded complexity' due to the nature of the parameters involved in modelling, creating a balance between the complexity of the design problem and the tool. In addition to parameters related to form and context, a third element emerges, 'spatiomateriality', reflecting the connection between objects and space in physical making, as materials respond directly to changes induced by the context. This study explores a new way of using spatiomateriality through an innovative digital-analogue interface called 'cybermodelling': by linking real-time environmental data to digital models, cybermodelling creates 'live' models that react to changing conditions, generating digitised spatiomateriality. Such computational design environments support phenomenological aspects of form and space by integrating real and virtual spheres.

Keywords

cyber-modellazione, spazio-materialità, modellizzazione simbiotica, fenomenologia, modelli phygital

cybermodelling, spatiomateriality, symbiotic modelling, phenomenology, physical models

Aileen Iverson-Radtke, Architect and PhD, is a Researcher in Berlin and the Founder of ai-r_architecture (Germany). She has been an Adjunct Lecturer at the New York Institute of Technology and Art Institute of New York City (USA). Currently, she advises PhD students, organises workshops at various venues (including MIT and ACADIA) and is a speaker on the topic of 'cybermodelling' at conferences organised by eCAADe, ACADIA, EAAE/ARCC and IASS. E-mail: aileen@air-architecture.net

Otto Paans, Urbanist, Philosopher and PhD, is an independent Designer (The Netherlands). He has collaborated on numerous landscape architecture and urban planning projects and published various articles and books on philosophy, design theory and creative thinking. E-mail: ocpaans@gmail.com

La progettazione si deve confrontare con la complessità dei problemi che deve affrontare (degrado ambientale, cambiamento climatico, trasformazione sociale, ecc.) e i nuovi strumenti e metodologie che ha a disposizione, poiché esiste una profonda 'asimmetria' tra i due elementi generata dalla rappresentazione architettonica che ha privilegiato 'lo spazio dell'astrazione' alle interazioni con il mondo reale (Paans, Pasel and Ehlen, 2019). Per risolvere tale criticità il contributo propone un approccio progettuale che allinea la complessità del nostro tempo con uno 'spazio-problema' arricchito attraverso ciò che è definibile 'complessità limitata' a partire dalla visione sinottica di due paradigmi del progetto: quello 'basato sulla rappresentazione' e quello 'basato sulla materialità'.

Storicamente la professione dell'architetto si è sviluppata attraverso l'abilità manuale dei maestri artigiani, dando vita una tradizione poi sostituita 'dal paradigma della rappresentazione' introdotto da Leon Battista Alberti che ha creato un divario tra la materialità dell'oggetto costruito e lo spazio rappresentativo in cui l'oggetto 'esiste' prima della sua realizzazione, Questo approccio, reso possibile da relazioni e regole geometriche 'idealizzate', ha generato nella fase di concezione, ovvero nella fase progettuale, una frattura tra l'oggetto realizzato, il comportamento dei suoi materiali e l'interazione tra contesto e oggetto (Carpo, 2011, 2017).

A differenza delle linee dell'architettura gotica che rappresentano e seguono le forze che agiscono sull'edificio e che in qualche modo dichiarano il comportamento dei materiali, la linea dell'Alberti rappresenta il contorno (Spuybroek, 2011) di una forma geometrica pura. Applicando questa chiave di lettura alla progettazione contemporanea, i materiali rappresentati digitalmente come pura geometria sono trattati come 'inerti', pronti per essere modellati a piacimento e il progetto può essere redatto semplicemente utilizzando contorni e proporzioni ideali. Tuttavia se i materiali sono considerati come dotati di propria 'capacità d'azione' allora le linee diventano vettori, espressioni di distribuzione di forze, e il materiale non è più passivo, ma un 'agente' che concorre alla definizione della forma architettonica. Jane Bennett (2004) ha definito questa capacità intrinseca come 'actancy' o 'potere delle cose', cioè capacità di manifestare schemi di comportamento (semi) autonomo.

Il paradigma funzionalista del progetto, promosso dal CIAM nel XX secolo, ha privilegiato il paradigma della rappresentazione valorizzando la visualizzazione e subordinando le capacità reattive dei materiali. Il disegno architettonico è divenuto una rappresentazione geometrica nello 'spazio dell'astrazione': su un tavolo da disegno o in uno spazio digitale non esistono forze di gravità, azioni del vento, degrado dei materiali, espansione o contrazione e luce. Il paradigma della rappresentazione ha così plasmato il rapporto tra architettura e contesto, riducendolo alla proiezione di un'idea formale su uno sfondo passivo. Greg Lynn (1999), pioniere della digitalizzazione nel design, ha invece sostenuto l'importanza di un ambiente digitale dinamico e ha raccomandato di sviluppare l'intuizione umana nel rapporto con il mezzo digitale, piuttosto che affidarsi eccessivamente all'astrazione.

Alla luce di quanto premesso si sostiene la necessità di un cambio di paradigma da un'idea di controllo del progetto tramite la rappresentazione al concetto 'complessità limitata', utile a risolvere le sfide complesse della contemporaneità; lavorare efficacemente con la complessità implica il rinunciare al controllo (immaginario) attraverso ecologie di intelligenza non umana. La tesi che si avanza sostiene che:

1) nello spazio digitale gli oggetti non sono in grado di fornire feedback in tempo reale per informare l'esito finale del progetto; le simulazioni offrono feedback, ma solo come previsioni idealizzate o risposte preimpostate; la mancanza di feedback dinamici riduce la pratica progettuale a uno strumento per eseguire esiti noti, piuttosto che elevarla a metodologia per la 'scoperta';

2) la rappresentazione geometrica degli oggetti costituisce uno spazio fenomenologicamente riduttivo poiché restituisce l'oggetto nello spazio come composto da punti e linee (arricchito talvolta da splines e NURBS – Non-Uniform Rational Basis Spline) e in alcuni casi da ulteriori informazioni (nel caso del BIM); all'inizio questa 'riduzione' fenomenologica è stata utile perché ha consentito ai progettisti di controllare la complessità del reale attraverso la rappresentazione e il disegno;

3) dal punto di vista della complessità la citata riduzione fenomenologica determina un divario tra forma e contesto perché priva la prima della possibilità di essere 'reattiva' al secondo; il fatto che l'oggetto non sia 'vivo' (punto 1) lo priva di 'profondità' fenomenologica (punto 2), il che rende meno risolutivo il progetto nell'affrontare la sfida della complessità.

Criticità e stato dell'arte | Oggi il progetto viene elaborato in ambienti digitali, frutto di diversi decenni di evoluzione e di due 'digital turns' (Carpo, 2011), la prima delle quali ha evoluto il concetto di astrazione dell'Alberti, gettando le basi per un progetto digitale basato sul mantenimento della distanza dalle realtà dei vincoli materiali e spaziali: la forma digitale è ancora un'astrazione matematica (linee, splines e NURBS) e i computer sono considerati come un'estensione del pensiero astratto umano (Picon, 2004; Cahtarevic and Proho, 2019).

La seconda svolta digitale (in corso) è caratterizzata dall'influenza dei Big Data, dalla potenza di calcolo e dall'intelligenza artificiale che consentono simulazioni di oggetti e ambienti con un potenziale fino a ieri inimmaginabile. Tuttavia persiste una strana 'immobilità' nelle simulazioni prodotte dai software (ad esempio Ladybug, Envi-met, Open Studio, ecc.) nei quali le geometrie 'idealizzate' si confrontano con condizioni ambientali basate su statistiche e le interazioni dinamiche tra oggetto e spazio vengono visualizzate tramite grafici e ridotte a tabulati. In altre simulazioni (prodotte ad esempio da software come Blender, Karamba, Honeybee, ecc.) le interazioni tra oggetti digitali e spazio sono preprogettate e 'messe in scena'.

Le simulazioni operano dal duplice punto di vista delle rappresentazioni accurate di geometrie complesse (forma) e delle simulazioni ambientali (spazio), tralasciando un aspetto critico dell'architettura che si manifesta nel mondo reale, ovvero la relazione 'vibrante' tra gli oggetti e il loro contesto che produce imprevedibilità, processi organici, capacità di azione indipendente e interazioni fenomenologiche. Le simulazioni realizzate nella pratica corrente non tengono conto dell'interazione tra l'oggetto digitale e il contesto, sottovalutando che gli oggetti sono 'agenti' liberi dinamici, che interagiscono di propria iniziativa e sono in grado di produrre risultati imprevisti. Trattando la pratica progettuale come astrazione geometrica ci si allontana da aspetti sensoriali e dalle reali caratteristiche e limitazioni dei materiali e del contesto spaziale, svilendo il progetto a un atto gestito da periferiche come mouse e tastiera o da comandi selezionati dal menù o scritti con codici.

Metodo: design computazionale orientato dai materiali e complessità limitata | Per superare le criticità esposte si propone un nuovo cambio di paradigma che segue il suggerimento di Lynn: una terza svolta digitale fondata su un design computazionale basato sui materiali. Un tale approccio affronta l'asimmetria citata in premessa tra complessità estreme delle sfide contemporanee e strumenti tecnologici a disposizione del progetto, prendendo in esame il rapporto dinamico tra forma e spazio e creando sinergie tra intelligenza incarnata (umana e materiale) e strumenti di design computazionale.

Le tecnologie e gli ambienti computazionali oggi disponibili, ricchi di informazioni su contesto e materiali, consentono di supportare un cambiamento nell'evoluzione digitale verso un design computazionale basato sui materiali (Jahn, Morgan and Roudavski, 2014). A tal proposito il filosofo francese Gilbert Simondon (2017) sostiene che gli ambienti generati dall'uomo – plasmati dal pensiero umano – sono profondamente influenzati dalle esperienze vissute (Hanna and Paans, 2021;Paans, 2022), di conseguenza creiamo tecnologia simile a ciò che sperimentiamo e comprendiamo, cioè, ambienti computazionali 'spazio-materiali'. Per supportare la tesi esposta, da un punto di vista metodologico, si prende in esame la modellazione architettonica, nella quale 'i problemi' vengono sistematicamente costruiti come oggetti (analogici e digitali), che si sviluppa attraverso un approccio basato sui due pilastri della complessità limitata e della cyber-modellazione.

Per trovare il giusto equilibrio tra la complessità del problema e le potenzialità degli strumenti a disposizione, si introduce il concetto fondamentale di 'complessità limitata', ispirato alla nozione di 'complessità adattativa' di J. H. Holland (1992): lavorare con un grado sufficiente di complessità scomponendo insieme complessi in parti adattabili (e in evoluzione) consente di trasmettere parzialmente le 'lezioni apprese' in un nuovo ciclo di sperimentazione. In tal modo la modellazione architettonica procede creando oggetti con parametri legati a dimensione e materialità per creare un framework di complessità limitata che trovi soluzioni per il progetto. È importante trovare il giusto equilibrio tra fattori da considerare e strumenti a disposizione poiché considerare un elevato numero di elementi porta a una 'complessità sfrenata', mentre considerarne pochi riduce il progetto a una rappresentazione semplicistica.

La 'complessità limitata' è un microcosmo contenente elementi chiave rilevanti per un problema complesso e mira ad attivare relazioni spazio-materiali dinamiche all'interno di uno spazio-problema 'rarefatto', consentendo agli oggetti di essere 'vivi' e di connettersi a ecologie di intelligenza esterna che possono essere coinvolte nel processo di generazione delle soluzioni.

Cyber-modellazione | Per esplorare la capacità della 'complessità limitata' di risolvere problemi si prevede di utilizzare la modellazione ibrida analogico-digitale, chiamata 'cyber-modellazione', il cui termine 'cyber' è descritto da Mario Carpo (2023) come una qualsiasi mediazione tra il mondo digitale e quello fisico che utilizza l'elettronica. La cyber-modella-

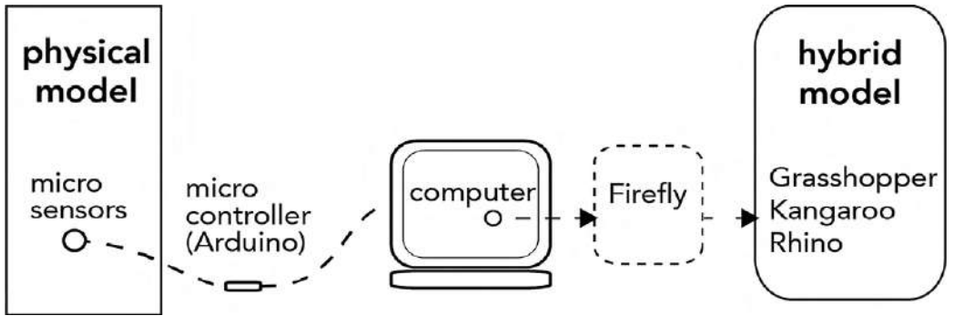


Fig. 1 | Diagram of the analogue smart model as an interface to computational model (credit: A. Iverson-Radtke, 2022).

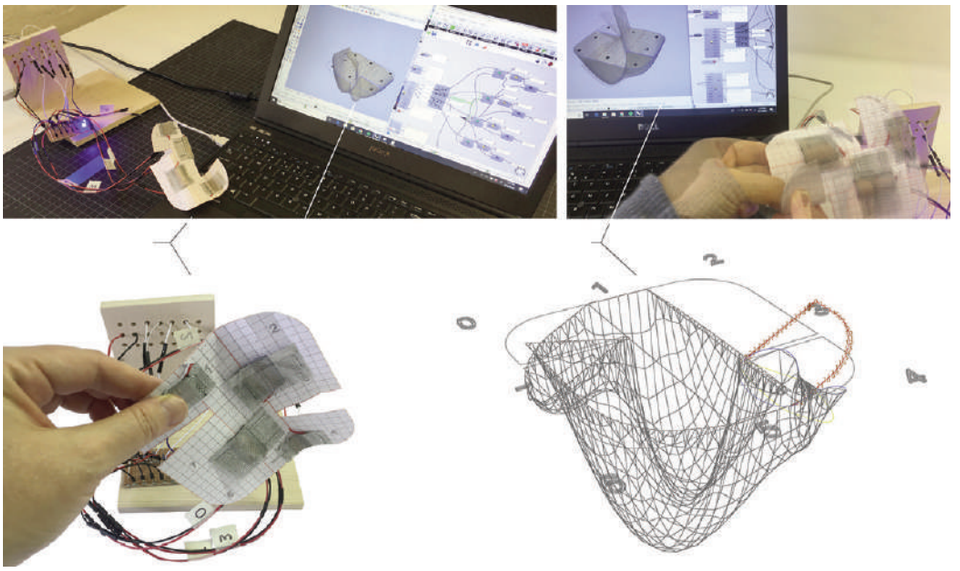
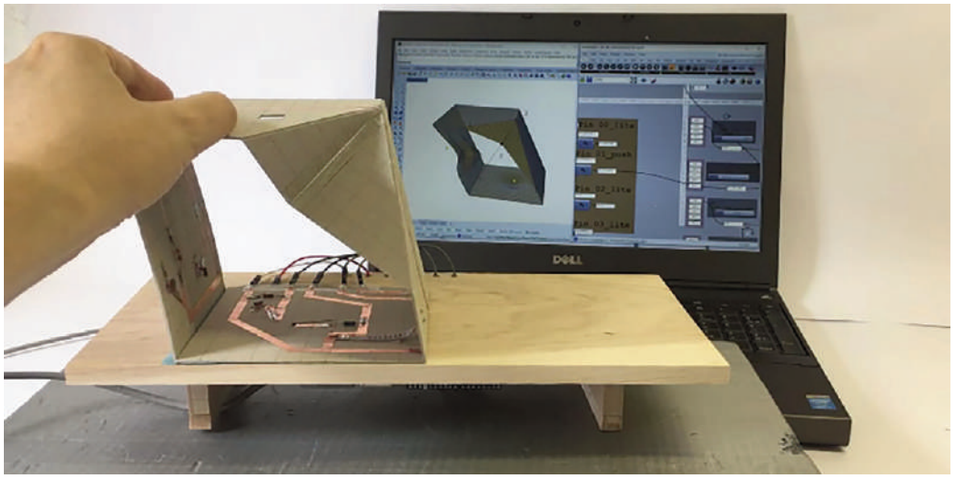


Fig. 2 | Bending Plane: analogue model with DIY pressure sensors as interface to parametric model (credit: A. Iverson-Radtke, 2022).



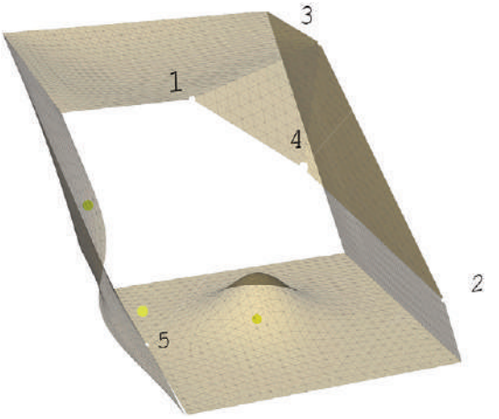


Fig. 3 | Deforming Rhomboid: analogue model integrating light and flex sensors as interface to parametric model (credit: A. Iverson-Radtke, 2022).

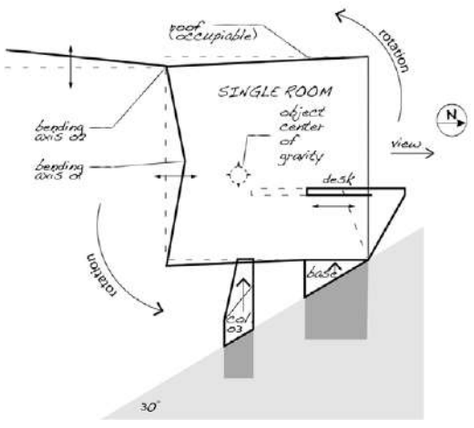




Fig. 4 | Room on a Slope: diagram and analogue model (credit: A. Iverson-Radtke, 2022).

Next page

Fig. 5 | Room on a Slope: analogue and parametric model (credit: A. Iverson-Radtke, 2022).

zione in quanto Interfaccia Uomo-Computer (Human-Computer Interface – HCI) e modellazione ibrida analogico-digitale è facilitata dall'elettronica microsensoriale, che impiega modalità analogico-digitali e combina metodi di modellazione tradizionali e computazionali.

La letteratura scientifica sull'Antropocene considera gli esseri umani come uno dei molti agenti interconnessi all'interno dell'ecosfera (Bennet, 2004; Morton, 2013; Harman, 2018), pertanto la modellazione architettonica – che opera in tempo reale e con finalità esperienziali – diventa un campo dinamico di coinvolgimento con tutti gli attori, ancorché ontologicamente diversi (Colombino and Childs, 2022).

La cyber-modellazione impiega microsensori e circuiti elettronici integrati nei modelli architettonici analogici e i cyber-modelli sono collegati a microcontrollori che traducono dati fisici (determinati da manipolazioni manuali e condizioni ambientali) in uno script parametrico (Fig. 1). Si creano così modelli digitali 'vivi' come oggetti-problema 'incarnati' o 'spazializzati' che assumono cioé una propria attitudine a interagire nello spazio con forze dinamiche ed effetti fenomenologici. Questa loro capacità indipendente, o 'potere delle cose', cede parte del controllo sui risultati del problema all'autonomia dell'intelligenza materiale, rispondendo autonomamente al contesto in base alle proprietà chimico-fisiche dell'oggetto. Sfruttando il Brute Force Computing i modelli computazionali generativi attingono alle stesse ecologie di intelligenza materiale e ambientale coinvolte nella creazione di complessi problemi 'wicked' per contribuire alla loro risoluzione.

In quanto rappresentazioni scalate i modelli fisici riportano sia l'oggetto di design (forma) sia gli elementi del contesto (spazio) all'interno di una formulazione integrale basata sull'oggetto. La trasformazione in oggetti rende più accessibili alla nostra cognizione sensoriale e intellettuale i problemi, amplificandone così la capacità di considerare il problema in modo integrale. A tale scopo la cyber-modellazione HCI implementa il design computazionale con un'interfaccia di modellazione fisica, ottimizzando la nostra capacità innata di comprendere le 'relazioni materia-forma': unendo la familiarità tattile dei materiali fisici con la rapidità di esecuzione degli strumenti digitali, i sistemi ibridi (spazio-materiali e analogico-digitali) sono in grado di generare oggetti 'vivi' che rispondono attraverso feedback, comunicazione e istruzioni non verbali (Gandia et alii, 2023).

A seguire si presentano alcune sperimentazioni di cyber-modellazione di cui si esplicitano i risultati qualitativi in ambiente ibrido. I primi tre casi studio rivelano le prime intuizioni di chi scrive sulla natura della 'materialità computazionale' e le differenze rispetto alla materialità fisica; gli esiti, combinati con l'esperienza di cyber-modellazione, costituiscono un punto di partenza per lo sviluppo della cyber-modellazione nei workshop in corso che, sempre più, confermano una scoperta chiave emersa nelle prime sperimentazioni: il concetto di 'spazio-materialità' (Iverson-Radtke, 2022).

Caso 1: proprietà non omogenee | La prima sperimentazione di modellazione ibrida analogo-digitale è stata la piegatura di un piano rettangolare (Fig. 2) con angoli arrotondati, ritagliato in modo che le sue parti potessero essere piegate in modo indipendente, sul quale sono stati applicati dei microsensori per monitorarne il movimento. L'integrazione dei microsensori al materiale analogico (il piano) ha creato un oggetto 'intelligente' (modello) che è stato collegato a un microprocessore per tradurre i dati (in questo caso, il movimento provocato dall'azione di piegatura) in un modello digitale.

Alla piegatura del modello analogico avrebbe dovuto corrispondere quella del modello digitale: in realtà mentre il componente analogico si piegava in modo uniforme, il suo omologo digitale mostrava un comportamento diverso e non uniforme. La spiegazione della mancata rispondenza alla piegatura è nelle proprietà del materiale, che sono 'matematiche' (chimico-fisiche) e consistono in definizioni geometriche e relazioni diverse, determinate ad esempio da perimetro, area e baricentro. Per ottenere nel modello digitale la stessa piegatura del componente analogico, il materiale computazionale deve essere programmato per simulare il comportamento di un materiale fisico. La sperimentazione ha messo in evidenza la netta differenza tra le proprietà fisiche omogenee dei materiali e le differenti proprietà dei materiali computazionali.

Caso 2: causalità programmata | La seconda sperimentazione ha integrato alcuni sensori ambientali (di luce) in un volume romboidale aperto per valutare come l'intensità della luce naturale può guidare la modellazione computazionale nel deformarne i piani (Fig. 3). La sperimentazione ha rivelato che il sensore non detta necessariamente o corrisponde direttamente a specifiche articolazioni della modellazione, tuttavia è possibile programmare una relazione tra i dati del sensore e l'articolazione della modellazione. In questo caso i valori di luminosità rilevati dei sensori non sono stati utilizzati per progettare elementi architettonici normalmente associati alla luce naturale, determinando la dimensione o la posizione delle finestre (le bucature dei uno dei piani).

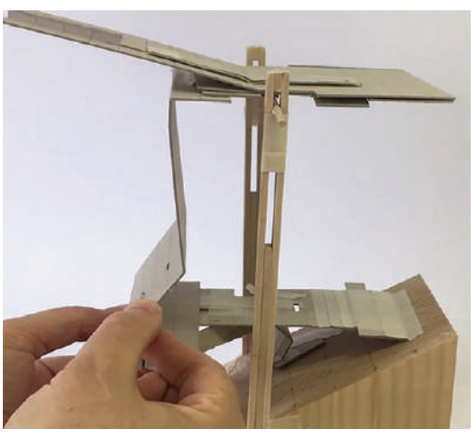
A differenza dei materiali fisici, nella cyber-modellazione i progettisti possono intervenire, simulare e programmare l'impatto causa-effetto dei fattori ambientali; in altre parole il 'comportamento naturale' di fenomeni come la luce naturale non deve essere accettato passivamente, ma può essere utilizzato per attivare azioni determinate da cause diverse.

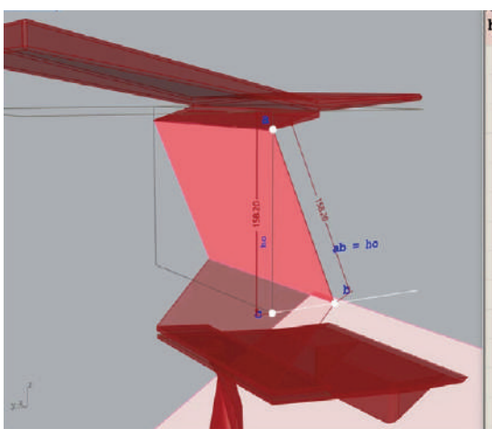
Caso 3: allineamento spaziale | La terza sperimentazione ha interessato il progetto di una singola stanza posizionata su un piano inclinato (Fig. 4). Lo scopo della modellazione è individuare la soluzione più adeguata alle condizioni del contesto, poiché l'inclinazione del piano di sedime determina uno scivolamento della stanza a causa della forza di gravità. L'esperimento ha confermato le differenze di comportamento tra i materiali reali e quelli computazionali, la cui tendenza è allungarsi all'infinito.

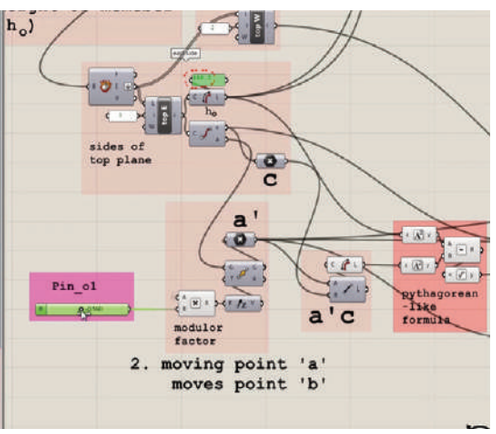
Ad esempio quando si piega il prospetto sud della stanza, per evitare il comportamento predefinito di allungamento all'infinito delle superfici computazionali e mantenere la lunghezza originale del muro durante la piegatura della superficie, è stato necessario programmare le superfici digitali affinché alla loro piegatura corrispondesse una riduzione dell'altezza della stanza, come avviene nel caso dei materiali analogici (Fig. 5). La sperimentazione conferma che i materiali digitali non hanno limiti dimensionali intrinseci e richiedono una programmazione specifica dei limiti dimensionali reali e dei comportamenti associati.

Workshop: il problema del progetto del 'vaso di gomma' | I workshop di cyber-modellazione sviluppano il tema del progetto 'vaso di gomma', in cui una striscia di gomma contenente due sensori flessibili, inclinati verso il basso funge da componente analogo collegato elettronicamente a un B-Spline parametrico, rappresentante una sezione del vaso. Mentre i partecipanti modellano manualmente la striscia di gomma in tempo reale si modifica la sezione del vaso, imparando che la progettazione architettonica è una soluzione formale che dipende dall'intento progettuale (modellazione manuale), ma è soprattutto frutto di valutazioni sul sito (inclinazione) e sui materiali (flessibilità), come illustrato nella Figura 6.

I laboratori introducono una complessità unica: oggetti di design 'vivi' animati attraverso la spazio-temporalità computazionale, in cui i materiali digitali interagiscono continuamente con le proprietà spa-







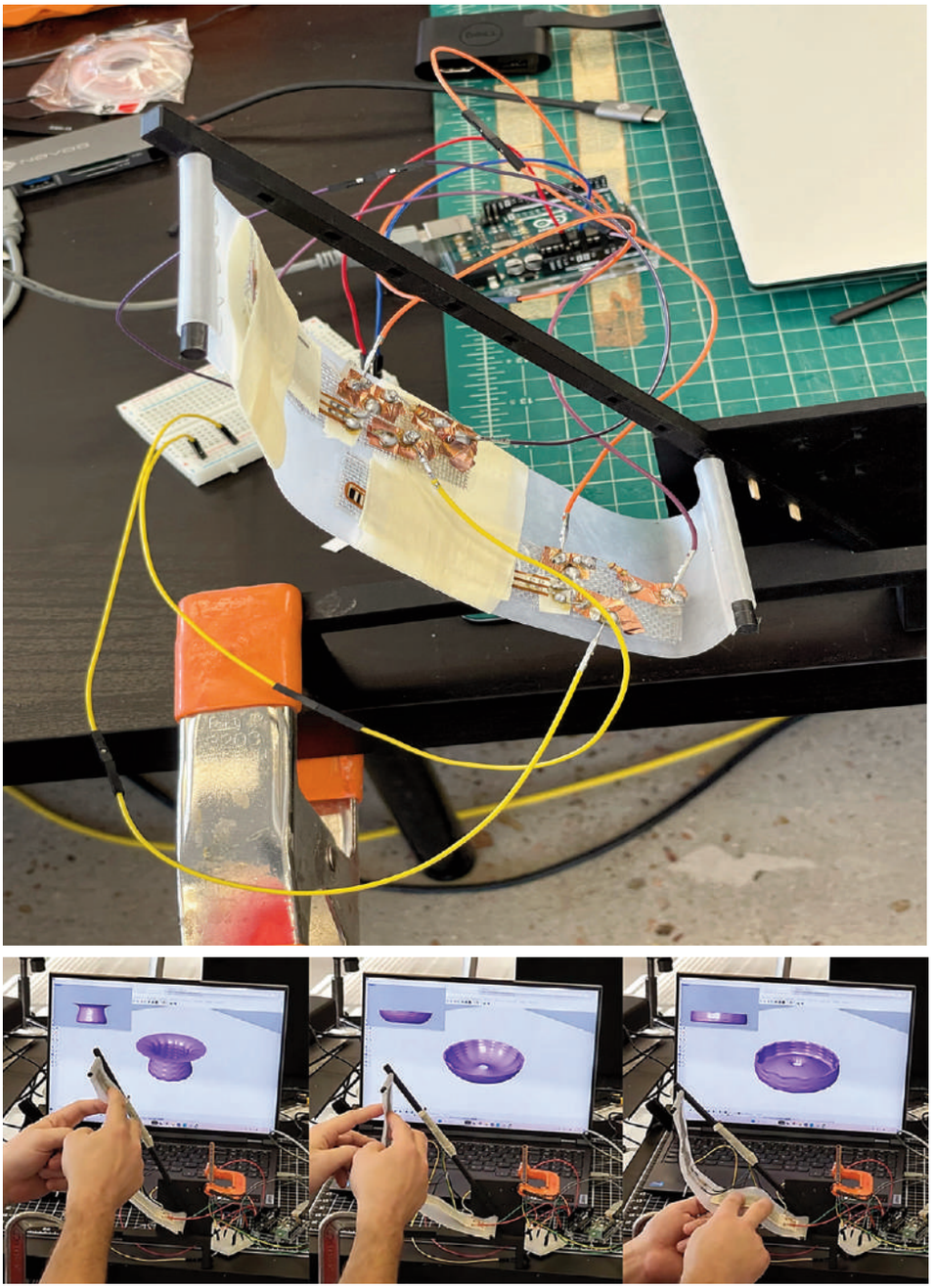


Fig. 6 | Rubber Vase Cybermodel: analogue model integrating flex sensors and interface to digital vase (credit: A. Iverson-Radtke and A. Gandia, 2023).

ziali tramite micro-sensori. I partecipanti apprendono così in modo euristico che il progetto si basa su materiali attivi e reattivi in un ambiente dinamico e, una volta acquisita familiarità con la cybermodellazione, esplorano le variazioni determinate dai dati dei sensori ambientali – relativi a suono, luce o vento – per articolare ulteriormente il vaso (Fig. 7). In tale ottica i vasi del workshop sono modellati manualmente e parametricamente, risultanti dall'interazione tra contesto (fattori spaziali) e forma (proprietà materiali), come illustrato nella Figura 8.

I risultati delle sperimentazioni ci invitano a riflettere sull'attuale prassi del progetto digitale, rivalutandone gli esiti così lontani dall'esperienza del mondo reale, e fanno emergere due punti chiave:

1) allineare i comportamenti degli oggetti digitali a quelli fisici migliora la nostra capacità di 'conoscere' gli oggetti che progettiamo digitalmente;
2) considerare la materialità nel progetto computazionale fornisce la base per una svolta digitale basata sui materiali. Per una diffusione della modellazione cibernetica con approccio ibrido analogico-digitale occorre tuttavia superare i limiti emersi dalle sperimentazioni e individuati nella necessità di evolvere le tecnologie attuali e bisogna altresì acquisire competenze tecniche specialistiche legate alla costruzione di modelli fisici e computazionali (Fig. 9) e alla realizzazione di circuiti elettronici (Fig. 10), con cui il progettista deve necessariamente confrontarsi monitorando costantemente la qualità dei risultati (Pye, 1968).

Riflessioni conclusive | In quanto entità spazio-materiali gli oggetti computazionali e fisici non dovrebbero essere trattati come fossero presenti nel vuoto o in uno spazio ideale poiché l'ambiente digitale oggi consente di studiare e progettare considerando l'influenza del contesto sulle caratteristiche fisico-chimiche della materia. Tuttavia ciò è possibile farlo solo plasmando l'oggetto all'interno di una 'complessità limitata' che prevede la selezione di alcuni elementi chiave considerati rilevanti rispetto alla complessità del problema da risolvere: si attiva così un processo progettuale che agisce sulla forma di 'oggetti viventi' in quanto interagenti con fenomeni circostanti.

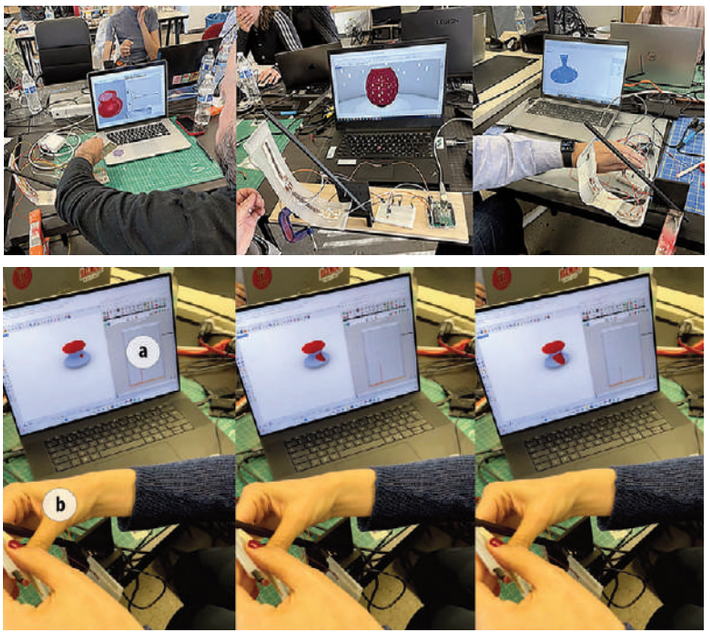
In tal senso il contributo Rinnova la prassi progettuale invitando a inquadrare i problemi come complessità limitate, per creare condizioni spaziali e dinamiche più facilmente valutabili su cui intervenire attraverso comandi non verbali per mezzo di ecologie non umane. Poiché i materiali possiedono un'attitudine che si estende ben oltre l'utilizzo degli oggetti come componenti passivi è opportuno aprirsi 'verso le cose stesse' (Jacquet and Giraud, 2012), mettendo in pratica nel progetto concetti già sviluppati in ambito filosofico (Delanda, 2015; Menges, 2007) e che mettono in risalto le possibilità, i limiti e le caratteristiche dei materiali: la capacità autonoma del modello di 'formarsi' può aprire così a un nuovo campo teorico fondato sulla capacità di azione dei materiali (Wolfram, 2002; Ingold, 2007).

Un'altra considerazione è legata alla tipologia di ricerca e porta a riflettere sull'eccessiva enfasi della replicabilità nel progetto architettonico. Le attività del workshop sul 'vaso di gomma', che mirano a stimolare capacità e attitudini attraverso la pratica, evidenziano come la replicabilità sia superata dall'acquisizione della tecnica e dalla padronanza del suo utilizzo: non è da aspettarsi, ma è auspicabile, che la ricerca porti a risultati diversi.

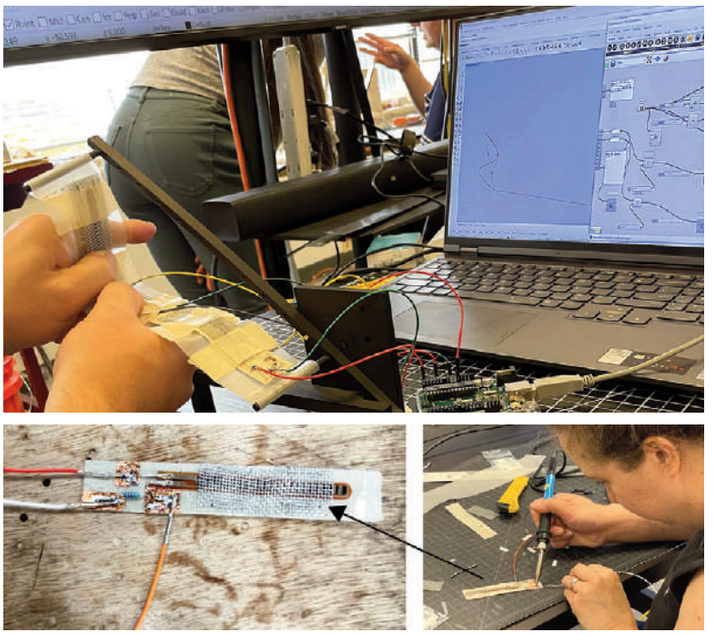
L'ambito computazionale che prende in esame la spazio-materialità richiede al progetto architettonico di rinunciare al controllo o all'assunzione di una previsione perfetta; questo approccio è positivo, data la nostra limitata capacità cognitiva e la crescente complessità dei problemi odierni. Le potenzialità dei cyber-modelli di operare con una 'intelligenza altra' dalla nostra porterà probabilmente a trovare soluzioni più efficaci di quelle che siamo in grado di elaborare con le nostre limitate capacità, aiutandoci a plasmare il futuro di un ambiente costruito in collaborazione con i sistemi ambientali.

Design, confronted with the complexity of the problems it faces (environmental degradation, climate change, social transformation, etc.) and the new tools and methodologies at its disposal, operates in a profound 'asymmetry' stemming from the fact that architectural representation has privileged 'the space of abstraction' over interactions with the real world (Paans, Pasel and Ehlen, 2019). To resolve this critical issue, the study proposes a design approach that aligns the complexity of our time with a 'problem-space' enriched through what can be defined as 'bounded complexity' from the synoptic view of two different design paradigms: the 'representation-based' and the 'materiality-based'.

Historically, the architectural profession developed through skilled manual labour among master craftsmen, giving rise to a tradition later superseded by the 'representation-based paradigm' introduced



Figg. 7, 8 | Cybermodeling the Rubber Vase variations: responding to sound and manual shaping (credits: A. Iverson-Radtke and A. Gandia, 2023).



Figg. 9, 10 | Cybermodeling the Rubber Vase: testing the interface; building sensors into analogue model (credits: A. Iverson-Radtke and A. Gandia, 2023).

by Leon Battista Alberti, which created a gap between the materiality of the built object and the representational space in which the object 'exists' before its realisation. This approach, made possible by 'idealised' geometric relationships and rules, generated in the conception phase, i.e. the design phase, created a gap between the realised object, the behaviour of its materials and the interaction between context and object (Carpo, 2011, 2017).

Unlike the lines of Gothic architecture, which represent and follow the forces acting on the building and, in some way, determine the behaviour of materials, Alberti's line represents an outline (Spuybroek, 2011) of a pure geometric form. Applying this lesson to contemporary design, materials digitally represented as pure geometry are treated as 'inert', ready to be shaped at will, and the design can be drafted simply using outlines and ideal proportions. However, if materials are understood as having their own 'capacity for action' then lines become vectors, expressions of force distribution, and the material is no longer passive substance, but an active 'agent' in the definition of architectural form. Bennett (2004) defined this inherent capacity as 'actancy' or 'thing-power', the ability to display (semi)-autonomous behaviour patterns.

The functionalist design paradigm, promoted by CIAM (amongst others) in the 20th century, favoured the representational paradigm, emphasising visualisation and subordinating active material capacities. Architectural drawing became a geometric representation in the 'space of abstraction': on a drawing board or in a digital space, there is no gravity, wind, material degradation, expansion or contraction, or light. The representational paradigm has thus shaped the relationship between architecture and context, reducing it to the projection of a formal idea onto a passive background. In contrast, Greg Lynn (1999), a pioneer of digitisation in design, advocated the importance of a dynamic digital environment and recommended developing human intuition in dealing with the digital medium, rather than relying too much on geometrical or representational abstraction. In light of the above, we argue that there is a need for a paradigm shift from an idea of design control through representation to the concept of 'bounded complexity', which is useful in solving complex contemporary challenges; working effectively with complexity implies relinquishing (imaginary) control through ecologies of non-human intelligence. The thesis put forward argues that:
1) within digital space, design objects are unable to provide real-time feedback to inform final design outcomes; simulations offer feedback, but only as idealised predictions or pre-set reactions; the lack of dynamic feedback reduces design practice to a tool for executing known outcomes, rather than elevating it to a methodology for discovery;
2) the geometric representation of architectural objects constitutes a phenomenologically reductive space as it renders the object in space as composed of points and lines (sometimes enriched by splines and NURBS) and in some cases by additional information (in the case of BIM); initially, this phenomenological 'shallowness' is a positive feature because it enables designers to reduce the complexity of the world to a visual representation;
3) from the view point of complexity, this phenomenological reduction leads to a gap between form and context as it deprives the former of the possibility of being 'responsive' to the latter; the fact that the object is not 'live' (point 1) deprives it of phenomenological 'depth' (point 2), resulting in architectural practice at odds with the demands of complexity.

Critical issues and state-of-the-art | Today, design is elaborated in digital environments, the result of critical evolution commonly referred to as two 'digital turns' (Carpo, 2011), the first of which further developed Alberti's concept of abstraction, laying the foundations for a digital design based on maintaining distance from the realities of material and spatial constraints: digital form is still a mathematical abstraction (lines, splines and NURBS) and computers are considered as an extension of human abstract thought (Picon, 2004; Cahtarevic and Proho, 2019). The second digital turn (currently in progress) is characterised by the influence of Big Data, computing power and artificial intelligence that enable simulations of objects and environments with previously unimaginable potential. However, an eerie 'stillness' persists in the simulations produced by software (e.g. Ladybug, Envi-met, Open Studio, etc.) in which 'idealised' geometries are compared with statistically based environmental conditions and dynamic object-space interactions are graphically visualised and tabulated. In other simulations (e.g. produced by software such as Blender, Karamba, Honeybee, etc.), digital object-space interactions are pre-designed and 'performed'.

Simulations operate from the dual perspective of accurate representations of complex geometries (form) and environmental simulations (space), leaving out a critical aspect of architecture that manifests itself in the real world, namely the 'vibrant' relationship between objects and their spatial context that produces unpredictability, organic processes, independent agency, and phenomenological interactions. Thus, simulations carried out in current practice do not take the interaction between the digital object and the context into account, underestimating that objects possess dynamic free 'agent', interacting of their own volition and capable of producing unanticipated results. By reducing design practice largely to geometric abstraction, it becomes distanced from sensory and haptic access and the realities of material limitations and spatial context, devolving into an indirect engagement through proxies like mouse and keyboard, using menu selections, or scripted code.

Method: materials-oriented computational design and bounded complexity | To overcome the critical issues outlined above, we propose a new paradigm shift is proposed following Lynn's suggestion: a third digital turn based on materials-based computational design. Such an approach address-

es the asymmetry mentioned in the introduction between the extreme complexity of contemporary challenges and the technological tools available to design, examining the dynamic relationship between form and space and creating synergies between embodied intelligence and computational design tools.

Today's available technologies and computational environments, rich in spatial and material information, support the shift in digital evolution toward material-based computational design (Jahn, Morgan and Roudavski, 2014). In this regard, the French philosopher Gilbert Simondon (2017) argues that human-generated environments – shaped by human thought – are deeply influenced by lived experiences (Hanna and Paans, 2021; Paans, 2022), consequently, we create technology similar to what we experience, inhabit and understand, i.e., 'spatial-material' computational environments. To support this thesis, from a methodological point of view, we examine architectural modelling, in which 'problems' are systematically constructed as objects (analogue and digital), developed through an approach based on the two pillars of bounded complexity and cybermodelling.

To strike the right balance between the complexity of the problem and the potential of the available tools, the fundamental concept of 'bounded complexity' is introduced, inspired by the notion of 'adaptive complexity' by J. H. Holland (1992): working with a sufficient degree of complexity by breaking down complex ensembles into adaptable (and evolving) parts allows the 'lessons learned' to be partially transmitted in a new round of experimentation. In this way, architectural modelling proceeds by creating objects with parameters related to size and materiality to create a framework of bounded complexity to find solutions for the project. It is important to strike the right balance between the factors to be considered and the tools available since considering too great a number of elements leads to 'rampant complexity' while considering only a few reduces design to simplistic visual representation.

Bounded complexity is a microcosm containing key elements relevant to a complex problem and aims to activate dynamic spatiomaterial relationships within a 'rarefied' problem space, enabling live design objects to connect to external intelligence ecologies that can be enlisted in the process of solution generation.

Cybermodelling | Hybrid analogue-digital modelling, called 'cybermodelling', is envisioned to explore the ability of finite complexity to solve problems, the term 'cyber' being described by Mario Carpo (2023) as any mediation between the digital and physical worlds using electronics. Cybermodelling as Human-Computer Interface (HCI) and hybrid analogue-digital modelling is facilitated by microsensor electronics, thus leveraging analogue-digital modalities and combining traditional and computational modelling methods. Contemporary literature examining the Anthropocene considers humans as one of the many interconnected agents within the ecosphere (Bennet, 2004; Morton, 2013; Harman, 2018), therefore architectural modelling – operating in real-time and fully experiential – becomes a dynamic field of engagement with all actors, albeit ontologically different (Colombino and Childs, 2022).

Cybermodelling integrates microsensors and electronic circuits embedded in analogue architectural models, and these cybermodels are wired to microcontrollers, which translate physical data (determined by manual manipulations and environmental conditions) into a parametric script (Fig. 1). Thus, 'live' digital models are created as 'embodied' or 'spatialised' problem-objects, i.e. assuming their own agency of interacting in space with dynamic forces and phenomenological effects. This independent capacity, or 'thing-power', cedes some control of problem outcomes to the autonomy of material intelligence, autonomously responding to its context based on the chemical and physical properties of the object. Leveraging Brute Force Computing, generative computational models draw on the same material and environmental intelligence ecologies involved in creating complex, 'wicked' problems, to contribute to their resolution.

As scaled representations, physical models encapsulate both the design object (form) and elements of the site (space) within one integral, object-based formulation. Transformation into objects makes problems accessible to our sensible and intellectual modes of cognition, thereby expanding our ability to consider the problem integrally. For this reason, the cybermodelling HCI conducts computational design through a physical modelling interface, optimising our innate ability to understand 'matter-form relationships'. By blending tactile familiarity of physical materials with the rapid iteration of digital tools, hybrid systems (spatial-material and analogue-digital) are able to generate 'live' objects that respond through feedback, communication and non-verbal instructions (Gandia et alii, 2023).

The following paragraphs discuss experiments in cybermodelling, expounding on qualitative findings from this hybrid environment. The first three case studies reveal the nuanced insights into the nature of 'computational materiality' and its differences from physical materiality; the findings, combined with the cybermodelling experience, establish a foundational basis for the development of cybermodelling in ongoing workshops that, increasingly, confirm a key discovery emerging from this research: the concept of 'spatiomateriality' (Iverson-Radtke, 2022).

Case 1: non-homogeneous properties | The first experiment in hybrid analogue-digital modelling was the bending of a rectangular plane (Fig. 2) with rounded corners, cut so that its parts could be folded independently, on which microsensors were attached to monitor its movement. The integration of the microsensors with the analogue material (the plane) created an 'intelligent' object (model) that was connected to a microprocessor to translate the data (in this case, the movement caused by the bending action) into a digital model.

The bending of the analogue model should have been matched by that of the digital model: in reality, while the analogue component bent uniformly, its digital counterpart showed a different, non-uniform behaviour. The explanation for the non-conformity to bending lies in the material properties, which are mathematically represented and consist of different geometric definitions and relationships, determined, for example, by perimeter, area and centre of gravity. To achieve uniform bending in the digital model as in the analogue component, the computational material must be programmed to simulate the behaviour of a physical material. Experimentation highlighted the clear difference between the homogeneous physical properties of materials and the different properties of computational materials.

Case 2: cultivated causality | The second experiment integrated environmental (light) sensors into an open rhomboid volume to assess how the intensity of natural light can guide computational modelling in deforming its planes (Fig. 3). Experimentation revealed that the sensor type must not necessarily dictate or directly correspond to specific modelling articulations. Instead, a relationship between the sensor data and the modelling articulation can be programmed. In this case, rather than design architectural elements normally associated with natural light such as determining the size or position of windows, the brightness values measured by the sensors were used to deform model surfaces.

Unlike physical materials, in cybermodelling, designers can intervene, simulate and programme the cause-effect impact of environmental factors; in other words, the 'natural behaviour' of phenomena such as natural light does not have to be accepted passively, but can be used to trigger actions determined by different causes.

Case 3: spatial alignment | The third experiment involved the design of a single room positioned on an inclined plane (Fig. 4). The purpose of the modelling was to identify the most appropriate solution for the contextual conditions, since the inclination of the ground plane causes significant imbalance of the room due to the force of gravity. The experiment reinforced the inconsistency between the behaviour of real and computational materials, whose default tendency is to stretch infinitely. For example, when bending the south plane of the room, to avoid default behaviour in which surfaces can stretch infinitely, and to maintain the original room height during surface bending, digital surfaces had to be scripted so that bending them results in reduced surface height as would happen in the case of analogue materials (Fig. 5). This finding demonstrates that digital materials lack inherent dimensional limits and require additional scripting to include realistic dimensional limits and associated behaviour.

Workshop: 'rubber vase' design problem | Cybermodelling workshops are based on the Rubber Vase project, where a rubber strip containing two flex sensors, angled to gravity, acts as an analogue component electronically connected to a parametric B-Spline, representing a section of the vase. As the participants manually shape the rubber strip, gravitational pull alters the vase section in real time, teaching architectural design solution that results from an interplay between the design intent (manual modelling), site conditions (inclination), and material properties (flexibility) as illustrated in Figure 6.

The workshops introduce a unique complexity: 'live' design objects animated through computational spatiomateriality, in which digital materials continuously interact with spatial properties via microsensors. Thus, participants heuristically learn that architectural design is a negotiation with active, responsive materials in a dynamic environment. Once familiar with cybermodelling, students explore the variations determined by environmental sensor data to articulate the vase further (Fig. 7). The resulting vases are shaped manually and by site factors read parametrically, reflecting the interplay between design intent (manual) site (spatial factors), and form (material properties), as illustrated in Figure 8.

The results of the experiments invite us to reflect on the current practice of digital design, re-evaluat-

ing its outcomes so far removed from real-world experience, and to emphasise two key points:
1) aligning the behaviour of digital objects with physical ones improves our ability to 'sensibly know' the objects we digitally design;
2) highlighting computational materiality provides the foundation for a material-based digital turn.

However, for the dissemination of cybermodeling with a hybrid analogue-digital approach, it is necessary to overcome the limitations that have emerged from experiments, primarily these are: the need to evolve current technologies and to acquire specialised yet widely diverse technical skills related to the construction of physical and computational models (Fig. 9) and the realisation of electronic circuits (Fig. 10), with which the designer must necessarily be engaged by constantly monitoring the quality of the results (Pye, 1968).

Conclusions | As spatial-material entities, computational and physical objects should not be treated as if they were present in a vacuum or an ideal space, as the digital environment today allows one to study and design considering the influence of the context on the physical-chemical characteristics of matter. By shaping the object within a 'bounded complexity', certain key elements considered relevant to the complexity of the problem to be solved are selected to activate a design process that acts on the form of 'live objects' as they interact with surrounding phenomena. In this sense, the contribution innovates design practice by framing of problems as 'bounded complexities', inviting spatial and dynamic conditions of non-human ecologies and enabling these to intervene through non-verbal commands. Since materials possess an agency that extends far beyond objects as passive matter, it is appropriate to open up 'toward the things themselves' (Jacquet and Giraud, 2012), putting into practice concepts that have already been developed in the philosophical sphere (Delanda, 2015; Menges, 2007). Emphasising the possibilities, limits and characteristics of materials (analgoue and digital): the autonomous capacity of the model to 'form itself', resonating with an emerging field of theory that ascribes agency to materials (Wolfram, 2002; Ingold, 2007).

Another contribution of this type of engaged architectural research is that it puts the undue emphasis on replicability in architectural science under scrutiny. The workshop activities on the rubber vase, which aim to stimulate skills and attitudes through practice, show how replicability is outweighed by the acquisition of the technique and the mastery of its use: different research results are not a sign of failure or inconsistency, but are instead desirable. In spatiomaterially active computational fields, architectural design requires relinquishing control or the assumption of perfect foresight; this is positive, given our cognitive limitations and the increasing complexity of current problems. The potential of cybermodels to operate with an 'other intelligence', beyond our own, is likely to lead to more effective solutions than we can process with our limited capabilities, helping us to shape the future of a built environment in collaboration with environmental systems.

Acknowledgements

The contribution results from the joint reflection of the Authors. However, the introduction, method, and characterising spatiomateriality sections, as well as the conclusions, are to be largely attributed to O. Paans, while the methodology workshops and sections on bounded complexity can be largely attributed to A. Iverson-Radtke.

References

Bennett, J. (2004), "The Force of Things – Steps Towards an Ecology of Matter", in *Political Theory*, vol. 32, issue 3, pp. 347-372. [Online] Available at: doi.org/10.1177/0090591703260853 [Accessed 30 September 2024].

Čahtarević, R. and Proho, A. (2019), "Geometric modelling and complexity – A conceptual approach in architectural design and education", in *Spatium*, vol. 42, pp. 35-40. [Online] Available at: doi.org/10.2298/SPAT1942035C [Accessed 30 September 2024].

Carpo, M. (2023), "Digitally Intelligent Architecture Has Little to Do with Computers (And Even Less with Their Intelligence)", in *ARQ (Santiago)*, vol. 113, pp. 19-31. [Online] Available at: dx.doi.org/10.4067/S0717-69962023000100018 [Accessed 30 September 2024].

Carpo, M. (2017), *The Second Digital Turn – Design Beyond Intelligence*, The MIT Press, Cambridge.

Carpo. M. (2011), *The Alphabet and the Algorithm*, The MIT Press, Cambridge.

Colombino, L. and Childs, P. (2022), "Narrating the (non)human – Ecologies, consciousness and myth", in *Textual Practice*, vol. 36, issue 3, pp. 355-364. [Online] Available at: doi.org/10.1080/0950236X.2022.2030097 [Accessed 30 September 2024].

DeLanda, M. (2015), "The new materiality", in *Architectural Design*, vol. 85, issue 5, pp. 16-21. [Online] Available at: doi.org/10.1002/ad.1948 [Accessed 30 September 2024].

Gandia, A., Iverson-Radtke, A., Payne, A. and Gupta, R. (2023), "Hybrid Making, Physical Explorations with Computational Matter", in Crawford, A., Diniz, N., Beckett, R., Vanucchi, J. and Swackhamer, M. (eds), *ACADIA 2023 – Habits of the Anthropocene – Scarcity and Abundance in a Post-Material Economy – Proceedings of the 43rd Annual Conference for the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA) – University of Colorado, Denver (US), October 26-28, 2023*, vol. III, pp. 195-200. [Online] Available at: papers.cumincad.org/data/works/att/acadia23_v3_195.pdf [Accessed 30 September 2024].

Hanna, R. and Paans, O. (2021), "Thought-Shapers", in *Cosmos and History | The Journal of Natural and Social Philosophy*, vol. 17, issue 1, pp. 1-72. [Online] Available at: cosmosandhistory.org/index.php/journal/article/view/923 [Accessed 29 November 2024].

Harman, G. (2018), *Object-Oriented Ontology – A New Theory of Everything*, Penguin Books Ltd., London.

Holland, J. H. (1992), Complex Adaptive Systems, in *Daedalus*, vol. 121, issue 1, pp. 17-30.

Ingold, T. (2007), "Materials against materiality", in *Archaeological Dialogues*, vol. 14, issue 1, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.1017/S1380203807002127 [Accessed 30 September 2024].

Iverson-Radtke, A. (2022), *Rabbithole to hybrid – Finding Digital Spatiomateriality Through Hybrid Modelling*, Doctoral Thesis, Technical University of Berlin, Germany. [Online] Available at: doi.org/10.14279/depositonce-15983 [Accessed 30 September 2024].

Jacquet, B. and Giraud, V. (eds) (2012), *From the Things Themselves – Architecture and Phenomenology,* Kyoto University Press, Kyoto.

Jahn, G., Morgan, T. and Roudavski, S. (2014), "Mesh agency", in Gerber, D., Huang, A. and Sanchez, J. (eds), *ACADIA 2014 – Design Agency – Proceedings of the 34th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA), USC School of Architecture, Los Angeles (US), October 23-25, 2014*, Riverside Architectural Press, Cambridge (CA), pp. 135-144. [Online] Available at: papers.cumincad.org/data/works/att/acadia14_135.content.pdf [Accessed 30 September 2024].

Lynn, G. (1999), *Animate Form*, Princeton University Press, Princeton.

Menges, A. (2007), "Computational Morphogenesis – Integral Form Generation and Materialization Processes", in Okeil, A., Al-Attili, A. and Mallasi, Z. (eds), *Em'body'ing Virtual Architecture – The Third International Conference of the Arab Society for Computer Aided Architectural Design (ASCAAD 2007), Alexandria, Egypt, 28-30 November 2007*, pp. 725-744. [Online] Available at: papers.cumincad.org/data/works/att/ascaad2007_057.content.pdf [Accessed 30 September 2024].

Morton, T. (2013), *Hyperobjects – Philosophy and Ecology after the End of the World*, University of Minnesota Press, Minneapolis.

Paans, O. (2022), "Ontogenesis as Model for Design Processes", in Lockton, D., Lenzi, S., Hekkert, P., Oak, A., Sádaba, J. and Lloyd, P. (eds), *DRS 2022 – Bilbao, Spain, 25 June-3 July, 2022*, Design Research Society, London, pp. 1-16 [Online] Available at: doi.org/10.21606/drs.2022.280 [Accessed 30 September 2024].

Paans, O., Pasel, R. and Ehlen, B. (2019), "Architectural Representation, the Controlled Future and Spatial Practice", in Tofte, A. E., Rönn, M. and Wergeland, E. S. (eds), *Reflecting Histories and Directing Futures*, Proceedings Series 2019, vol. 1, Nordic Academic Press of Architectural Research, Förlagssystem, pp. 203-228. [Online] available at: adk.elsevierpure.com/ws/portalfiles/portal/63417097/115_20_PB.pdf [Accessed 30 September 2024].

Picon, A. (2004), "Architecture and the Virtual – Towards a New Materiality", in *PRAXIS*, vol. 6, pp. 114-121. [Online] Available at: celop.pbworks.com/w/file/fetch/97219107/Picon-Architecture%20and%20the%20Virtual,%20PRAXIS.pdf [Accessed 30 September 2024].

Pye, D. (1968), *The Nature and Art of Workmanship*, Cambridge University Press, Cambridge.

Simondon, G. (2017), *On the mode of existence of technical objects* [or. ed. *Du mode d'existence des objets techniques*, 1958], University of Minnesota Press, Minneapolis.

Spuybroek, L. (2011), *The Sympathy of Things – Ruskin and the Ecology of Design*, V2_Publishing, Rotterdam.

Wolfram, S. (2002), *A new kind of science*, Wolfram Media, Champaign.

ARCHITECTURE
Research & Experimentation

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 202-211
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/16172024

Article Info

Received 10 September 2024
Revised 11 October 2024
Accepted 14 October 2024
Published 30 December 2024

LOGICHE NASCOSTE DELLA COMPLESSITÀ
Interfacce grafiche e algoritmi per il sistema edificio

HIDDEN LOGIC OF COMPLEXITY
Graphical interfaces and algorithms for the building system

Anna Osello, Michele Zucco, Emmanuele Iacono, Matteo Del Giudice

Abstract

La teoria della complessità fornisce un quadro essenziale per analizzare gli edifici come sistemi complessi, dove elementi architettonici, strutturali e impiantistici interagiscono e influenzano il comportamento globale del sistema. Per gestire tale complessità, metodi e strumenti BIM per il Facility Management sfruttano il linguaggio del disegno per rappresentare la complessità dei dati e ottimizzarne la gestione. L'analisi di oltre tremila locali del Palazzo della Regione Piemonte, caso studio di questo contributo, dimostra come algoritmi e automatismi possano agevolare la gestione di grandi quantità di dati per migliorare la visualizzazione e l'interpretazione delle informazioni. Il contributo esamina il valore di interfacce grafiche nel rivelare logiche nascoste della complessità per trasformarle in risorse disponibili per gli utenti in un nuovo sistema di supporto decisionale.

Complexity theory provides an essential framework for analysing buildings as complex systems, influenced by the interaction of architectural, structural and building services elements. To manage this complexity, BIM methods and tools for Facility Management leverage the language of drawing to represent the complexity of data and optimise its management. The analysis of more than three thousand rooms of the Piedmont Region Palace as a case study for this contribution demonstrates how algorithms and automatisms can facilitate the management of large amounts of data to improve the visualisation and interpretation of information. This paper examines the value of graphical interfaces in revealing hidden logics of complexity and transforming them into resources available to users for a new decision support system.

Keywords

sistemi complessi, BIM, algoritmi, visualizzazione dei dati, interfacce grafiche per gli utenti

complex systems, BIM, algorithms, data visualisation, graphical user interfaces

Anna Osello is a Full Professor of Drawing at the Politecnico di Torino (Italy). Her research focuses on BIM and DIM for smart city development. Since 2015, she has coordinated the drawingTOthefuture Laboratory and the VR@polito Laboratory, and she has carried out theoretical and applied research on the topics of BIM and the interoperability of data management software for the digital built environment. E-mail: anna.osello@polito.it

Michele Zucco is a Building Engineer and PhD Candidate in Urban and Regional Development at the Politecnico di Torino (Italy). He carries out research activities at the drawingTOthefuture Laboratory, mainly in the field of Drawing and BIM and methodology applied to Facility Management strategies for Public Administration. E-mail: michele.zucco@polito.it

Emmanuele Iacono is an Architect and PhD Candidate in Civil and Environmental Engineering at the Politecnico di Torino (Italy). He carries out research activities at the drawingTOthefuture Laboratory, focusing mainly on disaster risk assessment and the development of Digital Twin methodologies, integrating GIS, BIM and IoT domains as Advanced Spatial Decision Support Systems. E-mail: emmanuele.iacono@polito.it

Matteo Del Giudice is a Researcher at the Department of Structural, Geotechnical and Construction Engineering at the Politecnico di Torino (Italy). He has been studying and applying BIM methodology since 2009, investigating interoperability issues in real case studies in national and international contexts. E-mail: matteo.delgiudice@polito.it

I sistemi complessi sono un oggetto di studio fondamentale nelle scienze moderne, rappresentando un paradigma che cerca di comprendere come molteplici elementi interagenti possano generare comportamenti globali non prevedibili dalle proprietà dei singoli componenti. Prima di avviare la trattazione è fondamentale discernere tra 'complesso' e 'complicato': il primo, dal latino 'cum + plectere' (intrecciato insieme), indica una struttura le cui proprietà non derivano dalle singole parti, mentre il secondo, dal latino 'cum + plicare' (piegato insieme), si riferisce a sistemi che possono essere compresi analizzando le parti separatamente. Mentre un sistema complicato può essere 'spiegato' scomponendolo, un sistema complesso richiede un approccio olistico per la comprensione totale (Gentili, 2021). La teoria generale dei sistemi considera un sistema come un'entità che può avere natura fisica o astratta, delimitata da un confine che regola le interazioni tra elementi interni ed esterni, contrastando la visione di un insieme caotico di elementi isolati e proponendo un modello di interconnessione tra le parti (von Bertalanffy von, 1969; Fig. 1).

In sintesi un sistema complicato, seppur composto da molteplici componenti, può essere decomposto in sottoparti analizzabili separatamente; mentre un sistema complesso caratterizzato dall'emergenza – intesa come proprietà di 'e-mergere' a livello macroscopico – non può essere compreso semplicemente studiando le singole parti che lo compongono (De Santis, 2016; Morin, 2001). La comprensione di un sistema complesso esige l'analisi delle interazioni tra i suoi elementi e dei pattern emergenti, piuttosto che una mera scomposizione; in tal senso la teoria di Birkhoff (1933) rivela l'importanza di un equilibrio tra ordine e complessità, affermando che la gradevolezza percepita è massima quando l'ordine – definito da semplicità, simmetria ed equilibrio – prevale sulla complessità, generando un 'oggetto' di elevata bellezza estetica.

Il presente contributo persegue una duplice finalità: da un lato intende definire e riconoscere il sistema edificio come complesso, evidenziando l'importanza di un approccio olistico, dall'altro mostra come tale approccio, applicato a un caso studio reale attraverso algoritmi e interfacce grafiche, sveli le logiche intrinseche e nascoste del manufatto, permettendo una gestione e visualizzazione più efficace della sua complessità. Il caso studio in esame è il Palazzo Unico della Regione Piemonte (PURP), parte del progetto di ricerca finanziato da CSI Piemonte dal titolo 'Identificazione di strumenti e metodi innovativi per la manutenzione del patrimonio edilizio'. Per raggiungere gli obiettivi prefissati, il contributo adotta una struttura progressiva che accompagna dal quadro teorico alle applicazioni pratiche, illustrando come i concetti di complessità si traducano in strumenti concreti per la gestione edilizia.

A partire dall'introduzione teorica si dimostra come l'edificio sia un sistema complesso, sottolineando l'esigenza di un linguaggio grafico capace di decifrare le relazioni indirette per renderlo comprensibile e misurabile. Si delinea un flusso metodologico in tre fasi – analisi, decodifica e sintesi – che illustra l'uso di strumenti come il Visual Programming Language (VPL) per gestire tale complessità attraverso modelli informativi che esplorano le potenzialità del disegno come linguaggio tecnico-percettivo. Inoltre si sviluppano algoritmi e cruscotti interattivi per facilitare la comprensione visiva delle dinamiche, concludendo con una riflessione sui limiti e le sfide dell'approccio proposto.

L'edificio come sistema complesso: stato dell'arte e linguaggi grafici | Nell'ambito della progettazione e della gestione degli edifici, il riconoscimento dell'edificio come sistema complesso solleva importanti interrogativi riguardo ai metodi di analisi e gestione; nella teoria dei sistemi complessi si evidenziano due approcci distintivi: il riduzionismo e l'olismo. Mentre il primo considera il mondo come una macchina composta da parti governate dal nesso causa-effetto, il secondo concepisce la realtà come sistema dinamico e integrato che supera la semplice somma delle parti valorizzando le proprietà emergenti dalle interazioni (Capra and Luisi, 2015). La visione olistica sostenuta dal pensiero sistemico enfatizza l'importanza di comprendere le relazioni globali e interne per affrontare adeguatamente la complessità dei sistemi; questi paradigmi riflettono visioni divergenti della realtà e influenzano profondamente le modalità con cui i sistemi vengono studiati e interpretati.

I sistemi complessi presentano caratteristiche e comportamenti che non possono essere adeguatamente compresi tramite un'unica prospettiva essendo caratterizzati da fenomeni come l'emergenza, la totalità, la non-linearità, l'interdipendenza, l'equifinalità e la retroazione (Capra and Luisi, 2015; Pantazis and Gerber, 2019). L'emergenza si riflette ad esempio nelle caratteristiche nuove e imprevedibili che emergono dall'interazione tra le parti, mentre la totalità implica che il sistema deve essere compreso come un tutto integrato e non solo come la somma delle sue parti: tali proprietà denotano che le dinamiche interne e le interazioni tra le parti possono generare comportamenti e caratteristiche del sistema che non sono evidenti analizzando isolatamente i singoli elementi.

La comprensione della complessità emerge come un tema centrale sia nell'architettura e nell'ingegneria, dove le dinamiche spaziali e funzionali richiedono un'attenta analisi metodica, sia nell'esplorazione artistica di Mondrian e del movimento De Stijl, che affrontano la sfida di rappresentare e interpretare la complessità della realtà attraverso un processo di progressiva astrazione e semplificazione formale (Russell, 2018). Dal momento che la capacità umana di generare informazioni eccede l'abilità di comprenderle pienamente, la metafora dell'albero – storicamente adottata per rappresentare la complessità della conoscenza e la ramificazione dei saperi (Fig. 2) – diviene disegno dello sforzo di decodificazione e organizzazione delle informazioni.

Attraverso la sua serie di opere sugli alberi Mondrian intraprende un percorso di progressiva astrazione volto a decodificare la complessità: partendo da una rappresentazione tradizionale della realtà, egli destruttura l'albero, allontanandosi progressivamente dalla dimensione fenomenica per esplorarne le forme essenziali (Holtzman and James, 1987). In 'Avond; De rode boom' (Fig. 3) permane un legame con la natura con forme e colori riconoscibili; mentre in 'Study for Blue Apple Tree' (Fig. 4) comprime la forma dissolvendo lo sfondo e con 'Horizontal Tree' (Fig. 5) adotta un reticolo cubista che riduce il legame con la realtà fenomenica pur conservando una traccia di oggettività; l'intera complessità della forma naturale giunge all'astrazione nel 'Bloeiende appelboom' (Fig. 6) dove la forma naturale viene dissolta in piani e geometrie che dissolvono il riferimento spaziale originario (van Haaften, 2003).

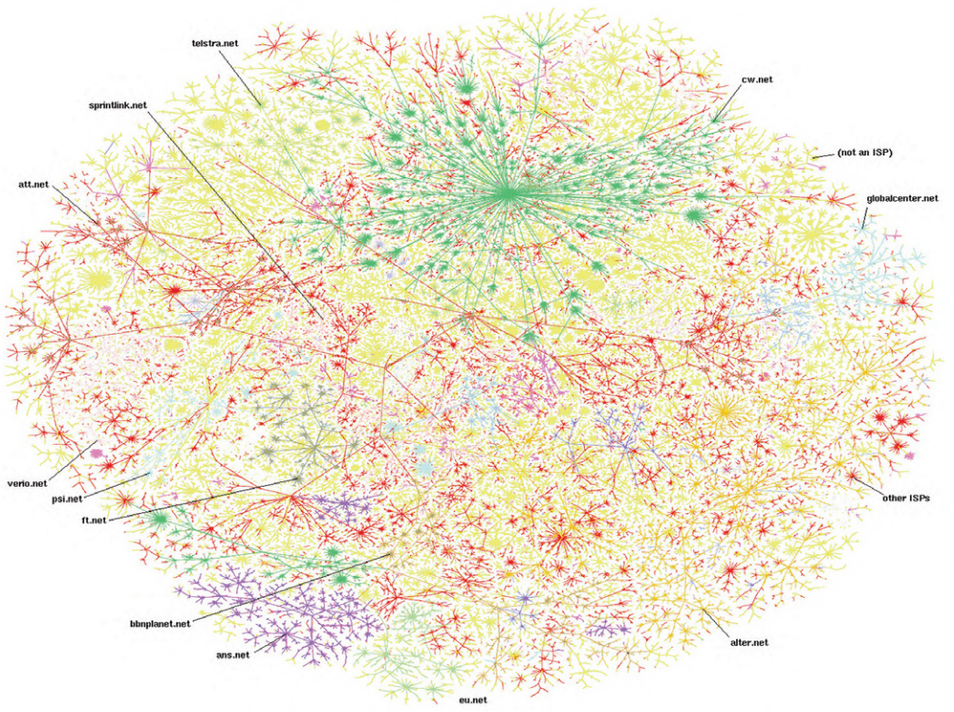
Mondrian indaga la complessità intrinseca delle forme naturali scomponendole in linee, piani e colori essenziali (Fig. 7), sfidando le convenzioni tradizionali e riducendola a un ordine geometrico puro, senza perderne l'essenza. Negli ultimi anni adotta un linguaggio visivo caratterizzato da un reticolo rigoroso di linee e colori per decifrare la complessità urbana di New York (Fig. 8), creando una sintesi schematica che riflette il dinamismo della città (Bois, 1988). Similmente Theo van Doesburg, seguendo i principi del De Stijl, impiega proiezioni ortogonali e assonometrie (Fig. 9) per disarticolare l'architettura in elementi geometrici, mantenendo coerenza visiva e traducendo la complessità in forme geometriche rigorose che ne facilitano la comprensione (Jaffe, 1989).

Parallelamente nel settore edilizio affrontare e gestire la complessità dei sistemi con relazioni multiple e non lineari richiede strumenti, metodi e linguaggi capaci di tradurre l'analisi logica e critica delle funzioni d'uso degli edifici in diagrammi geometrici univoci di facile lettura (Cavallari-Murat, 1982); i grafi di Eulero, composti da nodi e archi, offrono un metodo efficace per visualizzare la complessità degli ambienti antropizzati (Delucchi, Gaiffi and Pernazza, 2012). Tale configurazione consente di mappare le interrelazioni all'interno di un sistema complesso, facilitando la rappresentazione delle reti di connessioni in modo visivamente accessibile e logicamente coerente.

Per costruire un tale schema è essenziale condurre un'indagine scientifica delle correlazioni tra gli elementi del sistema al fine di sviluppare soluzioni matematicamente coerenti e minimamente soggette a errori (Novello, 2012); la complessità del sistema edilizio può essere rappresentata mediante schemi funzionali distributivi, come quelli sviluppati per la Villa Sarego (Fig. 10), che forniscono un quadro comparativo dettagliato e permettono, al contempo, di identificare e analizzare gli elementi strutturali dell'architettura, quali varianti, invarianti, relazioni e ricorrenze. Tali rappresentazioni migliorano la valutazione della qualità e della funzionalità degli edifici, ottimizzando i processi progettuali.

Nell'ambito della gestione degli edifici l'integrazione tra strumenti come i modelli informativi, VPL e Facility Managment (FM) rappresenta una svolta cruciale poiché ottimizza la gestione multiscalare e multidimensionale degli asset immobiliari, migliorando visualizzazione e controllo (Fatta, 2020). Tuttavia la gestione di sistemi complessi richiede un approccio metodologico sistemico e una sinergia tra innovazioni di processo e tecnologie abilitanti (Lauria, and Azzalin, 2020), per evitare criticità che potrebbero compromettere la qualità complessiva (Giallocosta, 2019). Tra le tecnologie più innovative vi è il concetto di Digital Twin (Grieves, 2014) che collega mondo fisico e virtuale tramite sensori, migliorando il flusso di dati e la gestione predittiva degli edifici (Dejaco et alii, 2022). Sebbene l'uso del Building Information Modeling (BIM) presenti criticità nella frammentazione dei dati, standard OpenBIM e l'integrazione in tempo reale possono superare tali ostacoli; sfruttare un approccio modulare dovrebbe anche semplificare la gestione della complessità architettonica (Manni and Valzano, 2023).

Sia nel contesto scientifico che artistico emerge il tentativo di rendere intellegibile la complessità



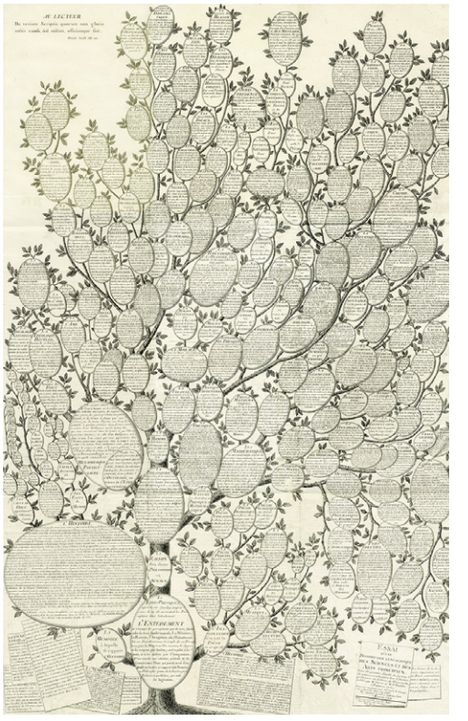


Fig. 1 | Complex system: 1999 Internet map (credit: B. Cheswick, 1999).

Fig. 2 | 'Essai d'une distribution généalogique des sciences et des arts principaux' (credit: Diderot and d'Alembert, 1751).

Tab. 1 | Properties of complex systems: definitions and examples for the building system (credit: The Authors, 2024).

Properties of Complex Systems	Description	Examples in the Building
Emergence	Property for which new and unpredictable features emerge from the interaction of constituent parts	Energy efficiency and occupant comfort result from synergistic interactions among various elements (thermal insulation, heating systems, passive design)
Totality	A system cannot be understood through the analysis of its individual components alone	A building is a unique and integrated environment in which each component (walls, systems, spaces) contributes to the overall functioning, going beyond the simple sum of its parts
Non-linearity	The relationships between components do not follow direct proportionality; small changes can have significant effects	Improving thermal insulation can reduce energy costs and improve comfort, but it could also negatively affect other factors (such as natural ventilation)
Interdependence	Each component interacts with the others, contributing to the overall behaviour of the system	The configuration of interior spaces affects energy distribution; the choice of materials affects acoustic and thermal properties
Equifinality	Different paths can lead to the same end result; the same state can be achieved in different ways	A comfortable indoor environment can be achieved with either materials with high thermal inertia or an advanced air conditioning system, demonstrating that various approaches can achieve the same goal
Feedback	Feature in which the behaviour of the system affects its components, which in turn change the overall behaviour	Heating and cooling systems regulate indoor temperature based on outdoor conditions, creating a feedback loop; material wear and tear depends on occupants' use of spaces

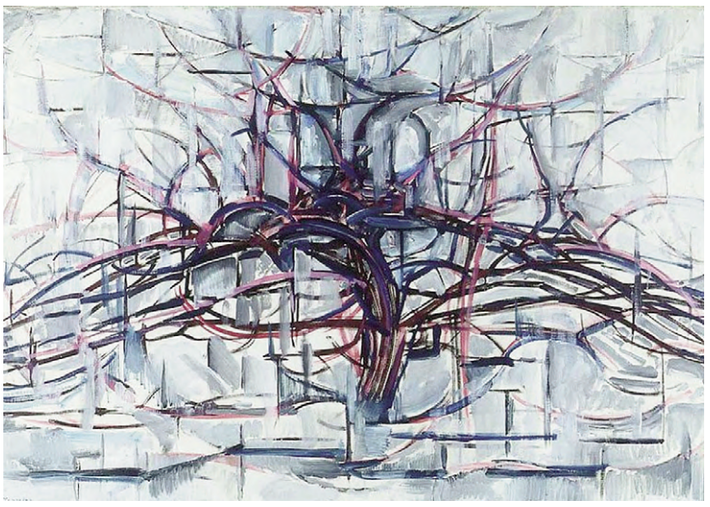
attraverso la scomposizione e reinterpretazione, utilizzando linguaggi diversi; essa deve essere affrontata simultaneamente sviluppando un linguaggio che permetta di scomporre e analizzare il sistema in componenti elementari (approccio riduzionistico) e interpretando il comportamento del sistema nella sua totalità (approccio olistico): questa strategia combina analisi dettagliate e comprensione globale valorizzando una valutazione completa delle dinamiche del sistema edilizio.

È evidente che in questo scenario un edificio può essere considerato un sistema complesso, poiché non rappresenta una semplice sommatoria di spazi, elementi tecnici, materiali e impianti, ma al contrario un insieme integrato in cui ogni componente interagisce con le altre determinando il comportamento globale del 'sistema edificio'. La complessità di tale sistema si manifesta attraverso le stesse proprietà tipiche dei sistemi complessi (Pantazis and Gerber, 2019; Manni and Valzano, 2023); a tal proposito, la Tabella 1 rimanda a una panoramica dettagliata delle proprietà con le relative descrizioni ed esempi.

Metodologia e fasi della ricerca | L'approccio metodologico adottato ricostruisce il flusso procedurale per la gestione del Patrimonio costruito, mediante un diagramma ad albero che illustra il processo decisionale informativo (Fig. 11); tale schema inizia dalla definizione del quadro esigenziale, comprendente le esigenze dell'utente, le condizioni del manufatto e le variabili coinvolte articolandosi in tre fasi: analisi, decodifica e sintesi.

La fase di analisi si concentra sulla comprensione globale del manufatto attraverso diverse attività di raccolta dati, quali l'osservazione percettiva, il rilievo geometrico e lo studio analitico della documentazione tecnica disponibile; a tale scopo risulta necessario un modello informativo basato sul BIM per integrare una vasta gamma di dati sia statici che dinamici (Grieves, 2014). Questa prima organizzazione consente di ottenere una rappresentazione digitale coerente ed efficace, fungendo da piattaforma di riferimento per l'aggregazione e l'analisi di dati provenienti da diverse fonti (ad esempio sensori IoT, scansioni laser e fotogrammetria) e dati spaziali e non spaziali. Tale approccio me-









Figg. 3, 4 | 'Avond; De rode boom' (1908-1910) and 'Study for Blue Apple Tree Series' (1909) by Piet Mondrian (credits: Kunstmuseum Den Haag, The Hague).

Figg. 5, 6 | 'Horizontal Tree' (1911) and 'Bloeiende appelboom' (1912) by Piet Mondrian (credits: Munson-Williams-Proctor Arts Institute, Utica; Kunstmuseum Den Haag, The Hague).

todologico non solo gestisce la complessità delle informazioni stabilendo le correlazioni necessarie per comprendere le relazioni tra i singoli componenti e l'intero manufatto (Buratti, Conte and Rossi, 2022), ma riflette il paradigma della complessità descritto da Morin (1993), in quanto l'interconnessione tra le parti e l'insieme è cruciale per una comprensione olistica del sistema.

La fase di decodifica si basa sulla manipolazione e ottimizzazione dei dati precedentemente raccolti utilizzando le potenzialità parametriche del modello BIM. L'informazione storicizzata nel modello deve essere ulteriormente elaborata per supportare le attività collaborative tipiche della fase di gestione: grazie alla teoria del Computational Thinking logiche operative basate sul pensiero computazionale ottimizzano l'uso del modello BIM nella gestione e la manutenzione (Mariani, 2020). Strumenti basati sul VPL eseguono processi automatici per la rappresentazione dell'informazione attraverso interfacce grafiche interattive. Algoritmi per identificare le logiche più efficaci nell'impiego dei modelli informativi riflettono i principi della teoria generale dei sistemi e li applicano al Patrimonio costruito, enfatizzando l'importanza dell'interrelazione e della gerarchizzazione tra sottosistemi per una gestione efficace.

La fase di sintesi usa i risultati generati dagli algoritmi precedenti e sulle logiche identificate per esplorare ulteriormente le potenzialità del modello BIM. Sviluppando interfacce grafiche personalizzate tramite strumenti di Business Intelligence (BI) è possibile visualizzare i dati complessi in modo sistematico ottimizzando così la velocità e l'efficienza delle decisioni dei vari attori coinvolti (Deutsch, 2015; Osello et alii, 2024). Questa fase può essere supportata dall'impiego di tecnologie di realtà estesa (XR) che migliorano l'interazione dell'utente consentendo una gestione più efficace delle attività manutentive e aumentando la consapevolezza degli operatori coinvolti (Zucco, Del Giudice and Osello, 2024).

Il processo descritto culmina con l'azione da parte dell'utente che sfrutta il modello BIM computazionale per definire la strategia manutentiva ottimale, tuttavia la crescente complessità dei dati richiede un approccio metodologico utile a estrarre informazioni utili alla gestione a lungo termine dell'edificio, il che implica la capacità intrinseca dell'utente di identificare correlazioni tra variabili eterogenee e di creare nuove conoscenze tramite modelli predittivi avanzati.

L'approccio descritto è applicato al caso di studio del PURP (Fig. 12) che integra metodologie BIM e tecniche di visualizzazione per le attività di FM, costituendo una prima risposta alle sfide contemporanee della gestione del Patrimonio costruito e promuovendo una maggiore efficienza, trasparenza e sostenibilità nel processo decisionale informativo.

Gli algoritmi | Le possibilità date dall'utilizzo di strumenti VPL, i quali consentono di strutturare automatismi non già predisposti tra le funzionalità base del software, fanno sì che la complessità intrinseca di un edificio possa essere facilmente decodificata. La costruzione di algoritmi strutturati sotto forma di grafi fatti di nodi e connessioni che divengono essi stessi sorte di alberi, diramazioni di logiche elementari assemblate a costituire nuove personalizzate funzionalità, diviene così la modalità attraverso la quale la comprensione e la conoscenza degli articolati aspetti di un edificio modellato divengono possibili.

In modo particolare si è voluto esplorare tali possibilità attraverso lo sviluppo di due differenti algoritmi, realizzati all'interno dell'applicativo Dynamo for Autodesk Revit, con l'obiettivo di studiare alcuni aspetti del presente caso studio tramite due diverse modalità di astrazione del sistema architettonico.

In primo luogo si è messa alla prova la possibilità di estrapolare l'organizzazione spaziale-fun-

zionale dell'edificio esplorando le potenzialità dei summenzionati schemi funzionali-distributivi (Cavallari-Murat, 1982; Novello, 2012) come strumento di rappresentazione grafica della stessa. Ciascun nodo del grafo rappresenta una funzione specifica, raffigurata come un cerchio la cui area è proporzionale alla superficie ad essa assegnata e le connessioni tra i diversi nodi indicano le possibili relazioni spaziali e modalità di comunicazione tra le varie funzioni. La lettura di una tale schematizzazione degli spazi dell'edificio consente dunque di cogliere, in modo immediato e sintetico, la struttura spaziale-funzionale dell'edificio, facilitandone la comprensione sia per il professionista che per l'utente finale.

L'algoritmo sviluppato a tale scopo permette all'utente di effettuare una scelta iniziale, tramite la quale sarà generato il diagramma per il livello dell'edificio desiderato; da esso, attraverso un'operazione di filtraggio degli elementi presenti all'interno dell'intero modello, selezionati prima per livello e poi per categoria, sono estratti gli elementi necessari per l'analisi spaziale, ovvero locali e porte. Dei primi viene letta la destinazione d'uso assegnata, la quale determinerà una specifica codifica cromatica nel diagramma, la superficie, utilizzata per proporzionare il relativo cerchio, nonché la sua posizione nello spazio, sotto forma di centroide del poligono costituente il perimetro dello stesso.

Allo stesso modo sono letti gli elementi identificati come porte, i quali sono utilizzati per ricostruire le relazioni tra gli spazi che esse mettono in comunicazione; tali relazioni sono computate attraverso una serie di operazioni, parzialmente elaborate anche tramite lo sviluppo di script ad hoc in linguaggio Python, che in primis stabiliscono una comunicazione con la Revit API (interfaccia di programmazione del software) così da poter estrarre, da ciascun oggetto, il parametro relativo ai punti di accesso (da locale / a locale); in seguito utilizzano tale informazione per determinare l'esistenza di un collegamento tra due locali separati da una di tali porte, quindi grazie agli identificativi presenti per ciascun locale, è possibile materializzare un albero di relazioni tra i locali dell'edificio, piano per piano, e visualizzare tali relazioni all'interno del suddetto diagramma (Fig. 13).

La seconda esplorazione delle possibilità della programmazione visuale finalizzata alla comprensione della complessità dell'edificio è stata orientata alla costruzione di un automatismo che permettesse, a seguito di una ricostruzione volumetrica di tutti gli spazi dell'edificio, di effettuare una verifica speditiva del modello, definendo una codifica grafica con la quale mappare determinate proprietà dei locali, utile successivamente a effettuare una lettura visiva dei valori e individuare potenziali anomalie.

L'algoritmo strutturato a tale scopo raccoglie i dati relativi ai locali presenti all'interno di ciascun livello del modello e ne estrapola perimetro e altezza, per ricostruirne tridimensionalmente la geometria (poiché i locali, all'interno del software, risultano essere entità astratte, descritte spazialmente soltanto dai componenti edilizi che le delimitano), nonché parametri utili alla verifica grafica di cui sopra, tra cui tipo e categoria funzionale. Dopo una preliminare operazione di ricostruzione volumetrica – basata sull'elaborazione dei perimetri appartenenti a ciascun locale, l'estrusione indipendente di ognuno di essi e la successiva sottrazione booleana dei solidi interni da quello esterno (così da poter gestire casi limite di presenza di vuoti o di locali nidificati) – una mappatura cromatica dei locali viene applicata a ciascuno di essi in base alla selezione, da parte dell'utente, del parametro del quale visualizzare l'output grafico.

Il risultato è un modello volumetrico che può divenire allo stesso tempo punto di arrivo dell'analisi o principio di verifiche più dettagliate (Fig. 14). In particolare, grazie alla quantità di dati raccolti sull'edificio, all'interno del medesimo algoritmo è possibile predisporre grafici, i quali elaborano dati direttamente estratti dalle proprietà associate a ogni locale, per una visione d'insieme di quanto modellato e compilato; essi possono essere un primo passo verso la definizione di interfacce grafiche orientate alla comprensione della complessità dell'edificio.

Visualizzazione del sistema edificio | La visualizzazione delle informazioni riveste un ruolo fondamentale, in particolare quando si tratta di gestire un sistema complesso come un edificio. La capacità di rappresentare visivamente dati rilevanti non solo facilita la comprensione delle dinamiche e delle interazioni tra gli elementi strutturali e funzionali dell'edificio, ma contribuisce anche a migliorare il processo decisionale attraverso un'esperienza interattiva e intuitiva. È essenziale, dunque, che la progettazione dell'interfaccia grafica segua un approccio sistematico e ragionato, adottando soluzioni visive che garantiscano chiarezza, accessibilità e gestione efficace delle informazioni (Conato and Frighi, 2020).

Esempio di tale approccio è il cruscotto interattivo sviluppato tramite applicazioni di BI (Fig. 15): questa interfaccia grafica permette una visualizzazione chiara e ordinata delle informazioni attraverso diversi diagrammi e selettori che consentono di filtrare i dati secondo criteri specifici, come le categorie dei locali e i livelli dell'edificio. L'uso di grafici a barre, diagrammi a torta, chord diagram e indici di performance (KPI) consente di rendere la complessità del sistema edilizio una risorsa visibile, gestibile e comprensibile. In particolare, elementi chiave come i KPI e i chord diagram evidenziano le relazioni tra le categorie di spazi e le funzioni, facilitando l'analisi delle interconnessioni critiche all'interno dell'asset.

Gli strumenti descritti, offrendo un'elevata interattività, consentono la manipolazione e l'interrogazione semi-automatica dei dati, ottimizzando l'efficienza del processo decisionale per le operazioni di FM (Halmetoja and Forns-Samso, 2020).

Riflessioni conclusive: trasferibilità, limiti e sviluppi futuri | La visione proposta dal contributo, che combina approcci riduzionistici e olistici per affrontare la complessità del Patrimonio costruito, permette di svelare e gestire le logiche nascoste nel sistema edilizio, attraverso strumenti di visualizzazione avanzati e una progettazione sistemica. L'adozione di algoritmi e modelli BIM, combinati con i principi del Computational Thinking, consente di decodificare e visualizzare la complessità delle relazioni tra gli elementi dell'edificio: il risultato è una rappresentazione ottimizzata per il FM che riduce la complessità operativa proponendosi come uno strumento scalabile e affidabile per il supporto alle decisioni. Il processo presentato, inteso come flusso metodologico, è trasferibile in altri settori affini che similmente richiedono lo sviluppo di modelli digitali complessi finalizzati alla gestione di asset. Ciò che potrebbe differire è tuttavia la concreta implementazione dell'algoritmo proposto, rispetto alle caratteristiche del contenitore informativo, alle specifiche esigenze dell'utilizzatore e ai requisiti informativi propri del settore d'intesse.

Malgrado l'evidente rilevanza degli approcci sistemici per affrontare la complessità intrinseca dei

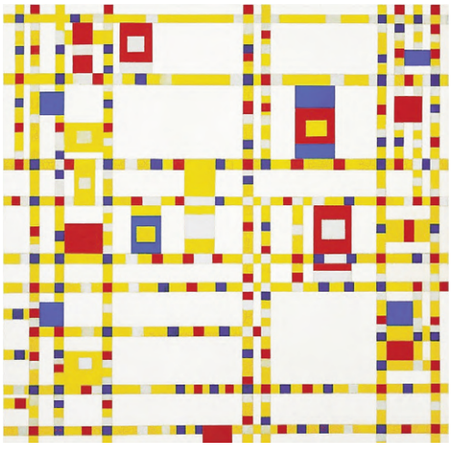


Fig. 7 | 'Tableau I' (1921) by Piet Mondrian (credit: Kunstmuseum Den Haag, The Hague).



Fig. 8 | 'Broadway Boogie-Woogie' (1943) by Piet Mondrian (credit: MoMA, New York).

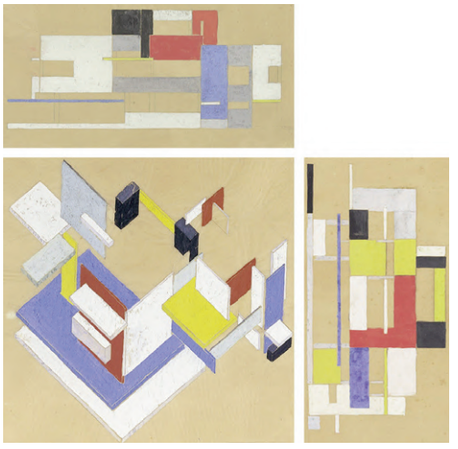


Fig. 9 | 'Composition with Maison Particulière by Theo van Doesburg' (credit: The Authors, 2024).

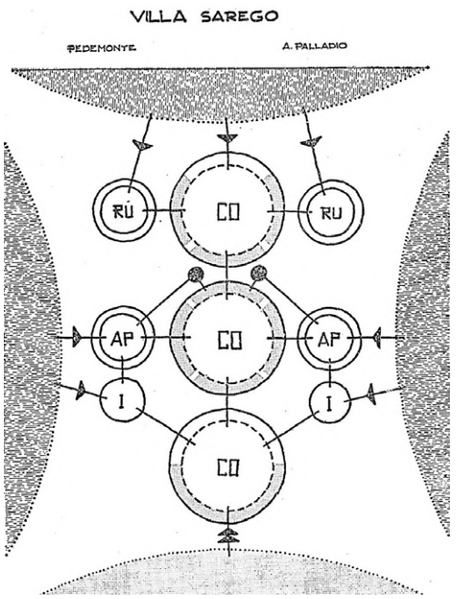


Fig. 10 | Functional urban plan of the complex Villa Sarego in Pedemonte by Andrea Palladio, designed by Augusto Cavallari-Murat (source: Cavallari-Murat, 1982).

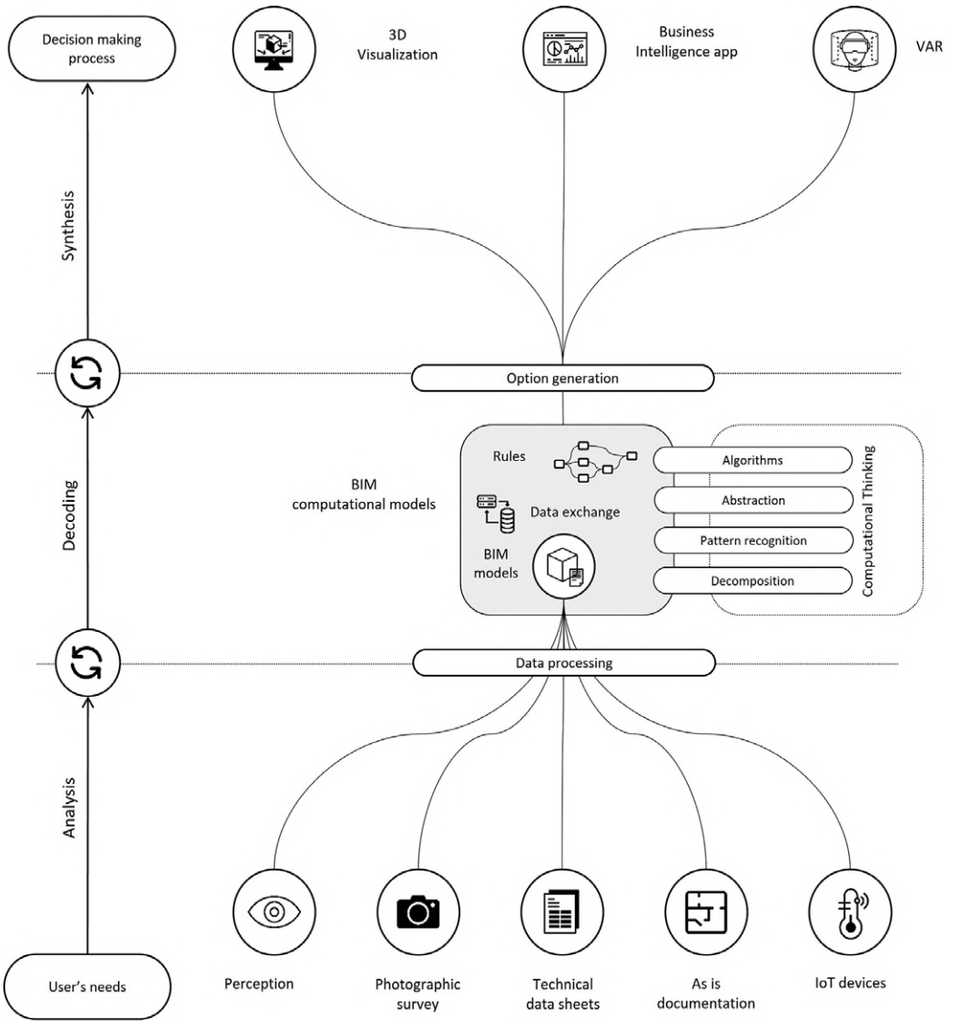


Fig. 11 | Methodological outline (credit: The Authors, 2024).

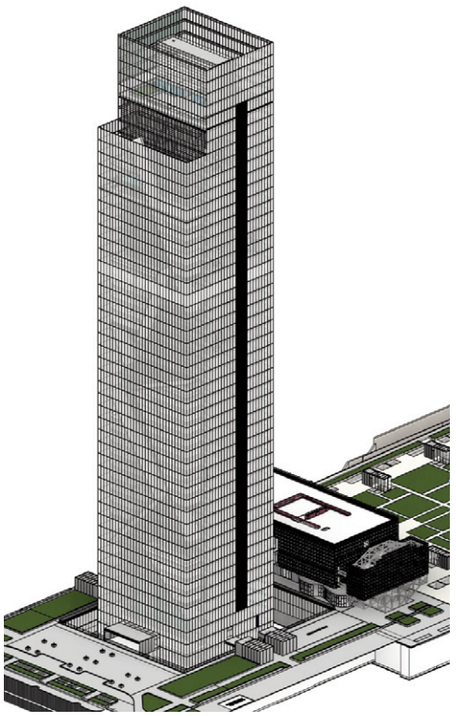


Fig. 12 | BIM model of the case study: Palazzo Unico della Regione Piemonte (credit: The Authors, 2024).

sistemi edilizi (Lauria and Azzalin, 2020; Giallocosta, 2019; Fatta, 2020), l'approccio proposto evidenzia limiti e criticità di natura epistemologica, applicativa e sociale. La concezione dell'edificio come sistema complesso richiede una comprensione olistica delle interazioni tra i suoi molteplici elementi, comportando l'adozione di un linguaggio grafico innovativo. Tuttavia, sebbene teoricamente promettente, nella pratica si dimostra di difficile attuazione, poiché la traduzione delle dinamiche complesse in schemi visivi può condurre a una semplificazione eccessiva, compromettendo la ricchezza delle informazioni necessarie per una gestione ottimale.

Parallelamente, l'impiego di modelli informativi e dei relativi dati offre vantaggi in termini di visualizzazione e analisi ma richiede l'adozione di strumenti e competenze tecniche avanzate, rappresentando un ostacolo significativo per molte organizzazioni pubbliche, caratterizzate da risorse limitate e formazione insufficiente. Infine la crescente dipendenza dagli automatismi tecnologici rischia di relegare in secondo piano la valutazione qualitativa, essenziale per cogliere le peculiarità di ciascun edificio, che sfugge a un'analisi meramente quantitativa ma vitale per una gestione efficace della complessità architettonica e funzionale.

Tra gli impatti auspicati nel presente studio l'approccio all'edificio inteso come sistema complesso e integrato permette, attraverso la visualizzazione interattiva e intuitiva dei dati complessi, anche a utenti non esperti come i decisori pubblici e privati di accedere a dati e comprendere le informazioni sulla gestione degli edifici, migliorando il processo decisionale. Sviluppi futuri potrebbero orientarsi verso l'integrazione tra strumenti di FM e tecnologie emergenti (Intelligenza Artificiale e Machine Learning) per abilitare analisi predittive sempre più accurate, migliorando la gestione delle criticità operative. Analogamente l'integrazione con sistemi di monitoraggio in tempo reale tramite sensori e reti IoT permetterebbe la creazione di un Digital Twin, ottimizzando la gestione proattiva delle strutture e favorendo efficienza e sostenibilità (Dejaco et alii, 2022).

È auspicabile che l'innovazione tecnologica rinnovi il settore delle costruzioni accogliendo la transizione digitale come un'opportunità portare a sistema la gestione dei fabbricati adottando tali strumenti per 'dispiegare' e dipanare la complessa rete di interrelazioni del sistema edifico. L'esperienza del PURP testimonia la volontà di una Pubblica Amministrazione di raccogliere questa sfida proponendosi come esempio d'avanguardia sul territorio nazionale.

Complex systems are a fundamental object of study in modern science, representing a paradigm that seeks to understand how multiple interacting elements can generate global behaviour that cannot

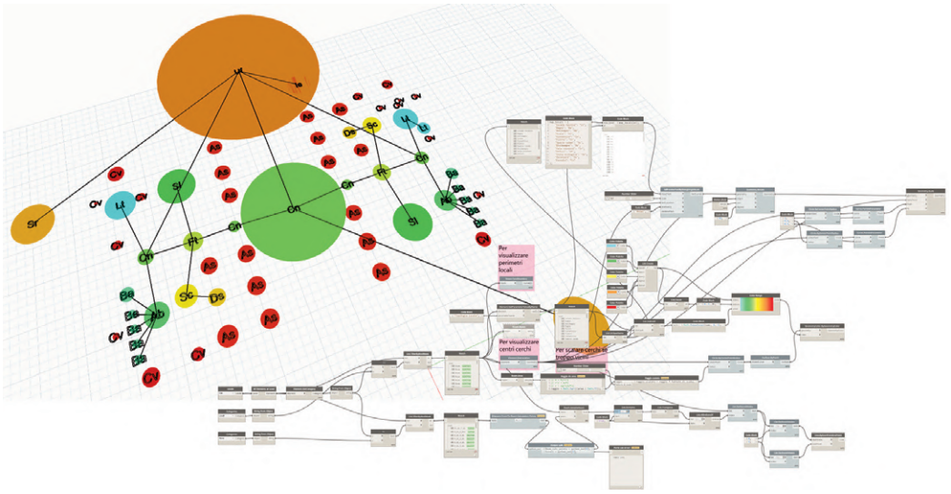
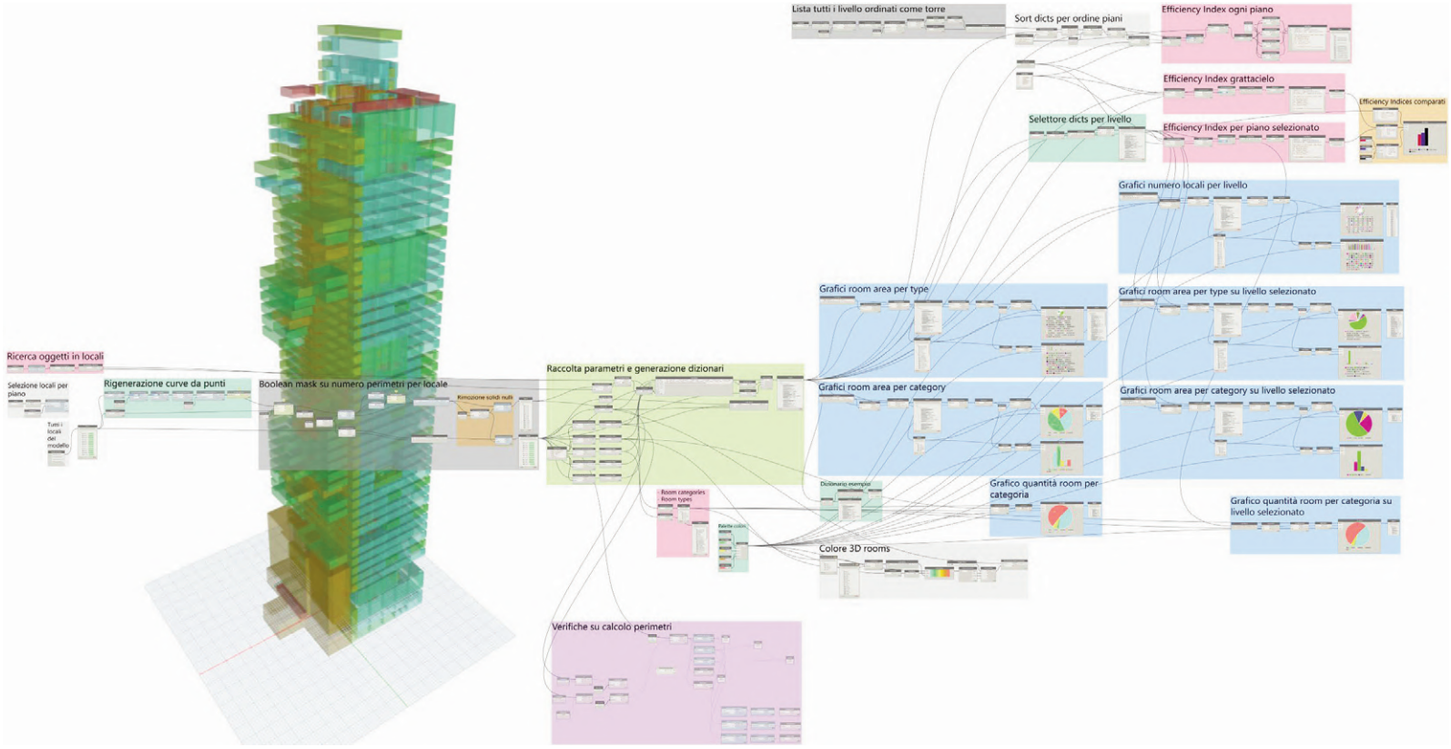


Fig. 13 | Algorithm for generating functional distribution diagrams and their graphical restitution (credit: The Authors, 2024).

Fig. 14 | Algorithm for room generation and its graphical restitution (credit: The Authors, 2024).

Next page

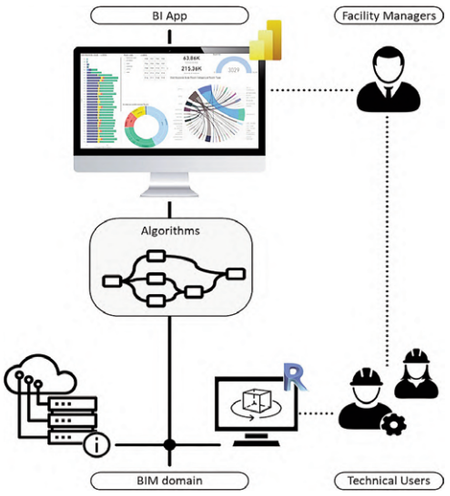
Fig. 15 | Usage diagram of the proposed user-based application (credit: The Authors, 2024).



be predicted based on the properties of individual components. It is essential to discern between 'complex' and 'complicated' before commencing: the former, from the Latin 'cum + plectere' (woven together), indicates a structure whose properties are not derived from its individual parts, while the latter, from the Latin 'cum + plicare' (folded together), refers to systems that can be understood by analysing the parts separately. While a complicated system can be 'unfolded' and thus explained by breaking it down, a complex system requires a holistic approach for total understanding (Gentili, 2021). General systems theory views a system as an entity that can be physical or abstract, defined by a boundary that regulates the interactions between internal and external elements. This contrasts with the view of a chaotic collection of isolated elements and proposes a model of interconnectedness between the parts (von Bertalanffy von, 1969; Fig. 1).

In summary, a complicated system, even if comprising multiple components, can be decomposed into sub-parts that can be analysed separately. On the other hand, a complex system is characterised by emergence – understood as the property of 'emerging' at the macroscopic level – and cannot be understood simply by studying its individual parts (De Santis, 2016; Morin, 2001). The understanding of a complex system requires the analysis of the interactions between its elements and emerging patterns, rather than mere decomposition; in this sense, Birkhoff's theory (1933) reveals the importance of a balance between order and complexity, stating that perceived pleasantness is at its maximum when order – defined by simplicity, symmetry and balance – prevails over complexity, generating an 'object' of high aesthetic beauty.

This contribution pursues a twofold purpose: on the one hand, it aims to define and recognise the building system as complex, highlighting the importance of a holistic approach, and on the other hand, it shows how this approach, applied to a concrete case study through algorithms and graphical interfaces, reveals the intrinsic and hidden logic of the building, enabling more effective complexity management and visualisation. The case study under examination is the Palazzo Unico della Regione Piemonte (PURP), part of the CSI Piedmont-funded research project entitled 'Identificazione di strumenti e metodi innovativi per la manutenzione del patrimonio edilizio' (lit. 'Identification of innovative tools and methods for the maintenance of the built heritage'). To achieve these objectives, the contribution adopts a progressive structure that leads from the theoretical framework to practical applications, illustrating how complexity concepts are translated into concrete tools for building management. The theoretical introduction shows how the building is a complex sys-



tem, emphasising the need for a graphic language capable of deciphering the indirect relationships to make it comprehensible and measurable. A three-stage methodological flow – analysis, decoding and synthesis – is outlined, illustrating the use of tools such as Visual Programming Language (VPL) to manage such complexity through information models that explore the potential of drawing as a technical-perceptual language. Furthermore, algorithms and interactive dashboards are developed to facilitate a visual understanding of the dynamics, culminating in a reflection on the limitations and challenges of the proposed approach.

The building as a complex system: state of the art and graphic languages | In the building design and management field, the recognition of the building as a complex system raises important questions regarding methods of analysis and management. Two distinctive approaches stand out in complex systems theory: reductionism and holism. While the former considers the world a machine composed of parts governed by the cause-effect nexus, the latter conceives of reality as a dynamic and integrated system that goes beyond the simple sum of the parts by enhancing the properties emerging from interactions (Capra and Luisi, 2015). The holistic view advocated by systems thinking emphasises the importance of understanding global and internal relationships to address the complexity of systems adequately. These paradigms reflect divergent views of reality and profoundly influence how systems are studied and interpreted.

Complex systems exhibit characteristics and behaviours that cannot be adequately understood through a single perspective as they are characterised by phenomena such as emergence, totality, non-linearity, interdependence, equifinality and feedback (Capra and Luisi, 2015; Pantazis and Gerber, 2019). Emergence is reflected, for example, in the new and unpredictable characteristics that stem from the interaction between the distinct parts, while wholeness implies that the system must be understood as an integrated whole and not merely as the sum of its parts. Such properties denote that internal dynamics and interactions among the parts can generate non-evident system behaviours and characteristics by analysing individual elements in isolation.

Understanding complexity emerges as a central theme in architecture and engineering, where spatial and functional dynamics require careful methodical analysis. It is also evident in the artistic exploration of Mondrian and the De Stijl movement, challenged with representing and interpreting reality's complexity through progressive abstraction and formal simplification (Russell, 2018). Since the human capacity to generate information exceeds the ability to comprehend it fully, the metaphor of the tree – historically adopted to represent the complexity of knowledge and the branching of knowledge (Fig. 2) – becomes the graphic representation of the effort to decode and organise information. Through his series of works on trees, Mondrian embarks on a path of progressive abstraction aimed at decoding complexity: starting from a traditional representation of reality, he deconstructs the tree, progressively moving away from the phenomenal dimension to explore its essential forms (Holtzman and James, 1987). 'Avond; The Red Tree' (Fig. 3) shows a connection to nature through recognisable shapes and colours; whereas in 'Study for Blue Apple Tree' (Fig. 4), the shape is compressed by dissolving the background. With 'Horizontal Tree' (Fig. 5), the artist adopts a cubist grid that reduces the link with phenomenal reality while retaining a trace of objectivity. The entire complexity of the natural form reaches abstraction in 'Bloeiende appelboom' (Fig. 6), where the natural form is dissolved into planes and geometries that dissolve the original spatial reference (van Haaften, 2003).

Mondrian investigates the intrinsic complexity of natural forms by breaking them down into essential lines, planes and colours (Fig. 7), defying traditional conventions and reducing them to pure geometric order, without losing their essence. In recent years, Mondrian has adopted a visual language characterised by a strict grid of lines and colours to decipher the urban complexity of New York (Fig. 8), creating a schematic synthesis that reflects the city's dynamism (Bois, 1988). Similarly, Theo van Doesburg, following the principles of De Stijl, employs orthogonal projections and axonometries (Fig. 9) to disarticulate architecture into geometric elements, maintaining visual coherence and translating complexity into rigorous geometric forms that facilitate understanding (Jaffe, 1989).

At the same time, in the building sector, dealing with and managing the complexity of systems with multiple and non-linear relationships requires tools, methods and languages capable of translating the logical and critical analysis of building use functions into unambiguous geometric diagrams that are easy to read (Cavallari-Murat, 1982). Euler graphs, composed of nodes and arcs, offer an effective method for visualising the complexity of man-made environments (Delucchi, Gaiffi and Pernazza, 2012). Such a configuration makes it possible to map the interrelationships within a complex system, facilitating the representation of network connections in a visually accessible and logically coherent manner.

To construct such a scheme, it is essential to conduct a scientific investigation of the correlations between the elements of the system to develop mathematically consistent and minimally error-prone solutions (Novello, 2012). The complexity of the building system can be represented through functional distribution schemes, such as those developed for the Villa Sarego (Fig. 10), which provide a detailed comparative picture and, at the same time, make it possible to identify and analyse the structural elements of architecture, such as variants, invariants, relationships and recurrences. Similar representations improve the assessment of the quality and functionality of buildings, optimising design processes.

In building management, the integration of tools such as information models, VPL and Facility Management (FM) represents a fundamental breakthrough as they optimise the multi-scalar and multi-dimensional management of real estate assets, improving visualisation and control (Fatta, 2020). However, managing complex systems requires a systemic methodological approach and a synergy between process innovations and enabling technologies (Lauria and Azzalin, 2020) to avoid critical issues that could compromise the overall quality (Giallocosta, 2019). Among the most innovative technologies is the Digital Twin concept (Grieves, 2014), which links the physical and virtual worlds via sensors, improving data flow and predictive management of buildings (Dejaco et alii, 2022). Although the use of Building Information Modeling (BIM) presents critical issues in data fragmentation, these can be overcome through OpenBIM standards and real-time integration. Using a modular approach should also simplify the management of architectural complexity (Manni and Valzano, 2023).

In both scientific and artistic contexts, there is an attempt to understand complexity through decomposition and reinterpretation using different languages. The complexity of the building system must be addressed simultaneously by developing a language that allows the system to be broken down and analysed into elementary components (reductionist approach) and by interpreting the behaviour of the system as a whole (holistic approach). This strategy combines detailed analysis and global understanding by enhancing a comprehensive assessment of building system dynamics.

It is evident that in this scenario, a building can be considered a complex system since it is not a simple sum of spaces, technical elements, materials and installations, but on the contrary an integrated whole in which each component interacts with the others, determining the overall behaviour of the 'building system'. The complexity of such a system manifests itself through the same properties that are typical of complex systems (Pantazis and Gerber, 2019; Manni and Valzano, 2023); in this regard, Table 1 refers to a detailed overview of the properties with descriptions and examples.

Methodology and research stages | The methodological approach adopted reconstructs the procedural flow for managing built heritage through a tree diagram illustrating the information decision-making process (Fig. 11). This approach begins with the definition of the requirements framework, including the user's needs, the conditions of the artefact, and the variables involved. It is divided into three phases: analysis, decoding, and synthesis.

The analysis phase focuses on the global understanding of the artefact through various data collection activities, such as perceptive observation, geometric survey and analytical study of the available technical documentation. This requires a BIM-based information model to integrate a wide range of both static and dynamic data (Grieves, 2014). This first organisation allows for a coherent and effective digital representation, serving as a reference platform for the aggregation and analysis of data from various sources (such as IoT sensors, laser scanning and photogrammetry) and other spatial and non-spatial data. This

methodological approach not only handles the complexity of information by establishing the correlations necessary to understand the relationships between individual components and the entire artefact (Buratti, Conte and Rossi, 2022) but also reflects the complexity paradigm described by Morin (1993), where the interconnection between the parts and the whole is crucial for a holistic understanding of the system.

The decoding phase is based on the manipulation and optimisation of previously collected data using the parametric potential of the BIM model. The information stored in the model must be further processed to support the collaborative activities typical of the management phase. Thanks to Computational Thinking theory, operational logics based on computational thinking optimise the use of the BIM model in management and maintenance (Mariani, 2020). VPL-based tools perform automatic processes for representing information through interactive graphical interfaces. Algorithms to identify the most effective logic in the use of information models reflect the principles of general systems theory and apply them to the built heritage, emphasising the importance of interrelation and hierarchy between subsystems for effective management.

The synthesis phase makes use of the results generated by the previous algorithms and the identified logic to further explore the BIM model's potential. By developing customised graphical interfaces using Business Intelligence (BI) tools, complex data can be visualised systematically, thereby optimising the speed and efficiency of decisions made by the various actors involved (Deutsch, 2015; Osello et alii, 2024). This phase can be supported by the use of extended reality (XR) technologies that improve user interaction by enabling more effective management of maintenance activities and increasing the awareness of the operators involved (Zucco, Del Giudice and Osello, 2024).

The described process culminates with the user taking action using the computational BIM model to define the optimal maintenance strategy; however, the increasing complexity of the data requires a methodological approach to extract useful information for the long-term management of the building, which implies the user' inherent ability to identify correlations between heterogeneous variables and to create new knowledge through advanced predictive models.

The approach described is applied to the PURP case study (Fig. 12) that integrates BIM methodologies and visualisation techniques for FM activities, constituting an initial response to the contemporary challenges of managing the built heritage and promoting greater efficiency, transparency and sustainability in information decision-making.

The algorithms | The possibilities provided by the use of VPL tools, which allow for the structuring of automatisms not already included in the basic functionality of the software, mean that the inherent complexity of a building can be easily decoded. The construction of structured algorithms in the form of graphs of nodes and connections that themselves become tree-like, branches of elementary logic assembled to constitute new customised functionalities, thus becoming the mode through which understanding and knowledge of the articulated aspects of a modelled building become possible.

In particular, the aim was to explore these possibilities through the development of two different algorithms, created within the Dynamo for Autodesk Revit software, to study certain aspects of the present case study using two different ways of abstracting the architectural system.

Firstly, the possibility of extrapolating the spatial-functional organisation of the building was tested by exploring the potential of the aforementioned functional-distributive schemes (Cavallari-Murat, 1982; Novello, 2012) as a tool for its graphic representation. Each node of the graph represents a specific function, depicted as a circle whose area is proportional to the area assigned to it. On the other hand, the connections between the different nodes indicate possible spatial relationships and modes of communication between the various functions. By interpreting this schematisation of building spaces, it is possible to immediately and concisely grasp the spatial-functional structure of the building, making it easier for both the professional and the end user to understand.

The algorithm developed for this purpose allows the user to make an initial choice, through which the diagram for the desired building level will be generated. By filtering the elements within the entire model, selected first by level and then by category, it is then possible to extract the elements necessary for spatial analysis, i.e. premises and doors. The assigned use for the former is read and determines a specific colour coding in the diagram, i.e. the surface area, used to proportion the relevant circle, as well as its position in space, in the form of the centroid of the polygon constituting its perimeter.

In the same way, the elements identified as doors are read and used to reconstruct the relationships between the spaces they connect. These relationships are computed through a series of operations, partially elaborated also through the development of ad hoc scripts in the Python language, which first establish communication with the Revit API (software programming interface) to extract, from each object, the parameter related to the access points (from room / to room). This information is then used to determine the existence of a connection between two rooms separated by one of these doors. Thus, thanks to the identifiers present for each room, it is possible to materialise a tree of relationships between the rooms of the building, floor by floor, and visualise these relationships within the aforementioned diagram (Fig. 13).

The second exploration of the possibilities of visual programming, aimed at understanding the building's complexity, focused on creating an automated system. This system would allow for quick verification of the model after a volumetric reconstruction of all the building's spaces, using graphic coding to map specific properties of the rooms and visually interpret values to identify potential anomalies.

The algorithm structured for this purpose collects data on the rooms within each model level. It then extrapolates perimeter and height, to reconstruct their geometry three-dimensionally (since the rooms, within the software, are abstract entities, spatially described only by the building components that delimit them), as well as parameters useful for the graphical verification mentioned above, including type and functional category. Following preliminary volumetric reconstruction – based on the elaboration of the perimeters belonging to each room, the independent extrusion of each of them and the subsequent Boolean subtraction of the internal solids from the external one (to handle borderline cases of the presence of voids or nested rooms) – a chromatic mapping of the rooms is applied to each of them according to the user's selection of the parameter whose graphic output is to be displayed.

The result is a volumetric model that can become either the endpoint of the analysis or the principle of more detailed verifications (Fig. 14). In particular, thanks to the amount of data collected on the building, the same algorithm can generate charts that process data directly extracted from the properties associated with each room, providing an overview of what has been modelled and compiled. These charts can be a first step toward creating graphical interfaces aimed at understanding the complexity of the building.

Visualisation of the building system | Visualisation of information plays a key role, particularly when dealing with a complex system such as a building. The ability to visually represent relevant data not only facilitates the understanding of the dynamics and interactions between structural and functional building elements but also contributes to improved decision-making through an interactive and intuitive experience. It is essential, therefore, for the design of the graphic interface to follow a systematic and reasoned approach, adopting visual solutions that ensure clarity, accessibility and effective management of information (Conato and Frighi, 2020).

An example of such an approach is the interactive dashboard developed using BI applications (Fig. 15). This graphic interface enables clear and orderly visualisation of information through various diagrams and selectors that make it possible to filter data according to specific criteria, such as room categories and building levels. The use of bar graphs, pie charts, chord diagrams and performance indices (KPIs) makes it possible to make the complexity of the building system a visible, manageable and understandable resource. In particular, key elements such as KPIs and chord diagrams highlight the relationships between space categories and functions, facilitating the analysis of critical interconnections within the asset.

The tools described, offering a high degree of interactivity, enable semi-automatic data manipulation and interrogation, optimising the efficiency of decision-making for FM operations (Halmetoja and Forns-Samso, 2020).

Concluding remarks: transferability, limitations and future developments | The proposed vision, which combines reductionist and holistic approaches to deal with the complexity of the built heritage, allows the hidden logic in the building system to be unveiled and managed through advanced visualisation tools and systemic design. The adoption of BIM algorithms and models, combined with the principles of Computational Thinking, makes it possible to decode and visualise the complexity of the relationships between building elements. The result is an FM-optimised representation that reduces operational complexity by serving as a scalable and reliable decision-support tool.

The process, understood as a methodological flow, is transferable to other related fields that similarly require the development of complex digital models aimed at asset management. What might differ, however, is the concrete implementation of the proposed algorithm, with respect to the characteristics of the information container, the specific

needs of the user and the information requirements of the field of interest.

Despite the obvious relevance of systems approaches to address the inherent complexity of building systems (Lauria and Azzalin, 2020; Giallocosta, 2019; Fatta, 2020), the proposed approach highlights epistemological, applicative and social limitations and critical issues. The conception of the building as a complex system requires a holistic understanding of the interactions between its many elements, leading to the adoption of an innovative graphic language. However, although theoretically promising, it proves difficult to implement in practice, as the translation of complex dynamics into visual schemes can lead to oversimplification, compromising the wealth of information required for optimal management. In parallel, the use of information models and related data offers advantages in terms of visualisation and analysis but requires the adoption of advanced tools and technical skills, representing a significant obstacle for many public organisations with limited resources and insufficient training. Finally, the risk is that the increasing reliance on technological automatisms may relegate qualitative assessment to the background, and this is essential for capturing the peculiarities of each building, elusive to a merely quantitative analysis but vital for effective management of architectural and functional complexity.

One of the desired impacts is the approach to the building as a complex, integrated system, which allows even non-expert users, such as public and private decision-makers, to access data and understand building management information, thereby improving decision-making through interactive and intuitive visualisation of complex data. Future developments could move towards the integration of FM tools and emerging technologies (Artificial Intelligence and Machine Learning) to enable increasingly accurate predictive analysis, improving the management of critical operational issues. Similarly, integration with real-time monitoring systems via sensors and IoT networks would enable the creation of a Digital Twin, optimising proactive facility management and promoting efficiency and sustainability (Dejaco et alii, 2022).

Hopefully, technological innovation will renew the construction industry by welcoming the digital transition as an opportunity to systematise building management by adopting such tools to 'unfold' and unravel the complex web of interrelationships in the building system. The PURP experience testifies to the willingness of a public administration to take up this challenge, setting itself up as a vanguard example in the country.

Acknowledgements

The contribution is the result of a common reflection of the authors. However, the introductory paragraphs, 'The building as a complex system: state of the art and graphic languages', and 'Visualisation of the building system' are to be attributed to M. Zucco, 'Concluding remarks: transferability, limitations and future developments' to M. Zucco, E. Iacono, and A. Osello, 'Methodology and research stages' to M. Del Giudice, and finally 'The algorithms' to E. Iacono.

References

Birkhoff, G. D. (1933), *Aesthetic Measure*, Harvard University Press, Cambridge.

Bois, Y.-A. (1988), "Piet Mondrian, New York City", in *Critical Inquiry*, vol. 14, issue 2, pp. 244-277. [Online] Available at: jstor.org/stable/1343446 [Accessed 07 September 2024].

Buratti, G., Conte, S. and Rossi, M. (2022), "Artificial Intelligency, Big Data and Cultural Heritage", in Giordano, A., Russo, M., and Spallone, R. (eds), *Representation Challenges – Augmented Reality and Artificial Intelligence in Cultural Heritage and Innovative Design Domain*, FrancoAngeli, Milano, pp. 29-33, [Online] Available at: doi.org/10.3280/oa-686.4 [Accessed 06 September 2024].

Capra, F. and Luisi, P. L. (2020), *Vita e Natura – Una visione sistemica – In un unico quadro teorico coerente, le idee e i modelli che costituiscono il fondamento della concezione sistemica della vita*, Aboca Edizioni, Sansepolcro.

Cavallari-Murat, A. (1982), *Come carena viva – Scritti sparsi – Architettura tra lagune venete, Po e Tevere*, Bottega d'Erasmo, Torino.

Conato, F. and Frighi, V. (2020), "Progetto e complessità – Un approccio multiscalare per attualizzare gli strumenti di controllo del progetto | Design and complexity – A multiscale approach for updating the project's control tools", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 7, pp. 154-163. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/7162020 [Accessed 06 September 2024].

De Santis, E. (2016), *I Sistemi Complessi come Sistemi di Sistemi*. [Online] Available at: academia.edu/20931342/I_Sistemi_Complessi_come_Sistemi_di_Sistemi [Accessed 06 September 2024].

Dejaco, M. C., Scanagatta, C., Mannino, A. and Condotta, M. (2022), "Transizione digitale per il facility management – BIM, CMMS e manutenzione predittiva | Digital transition in facility management – BIM, CMMS and diagnostic maintenance", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 12, pp. 168-177. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12152022 [Accessed 20 September 2024].

Delucchi, E., Gaiffi, G. and Pernazza, L. (2012), "In primo piano – La teoria dei grafi", in *Giochi e percorsi matematici*, Springer, Milano, pp. 27-37. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-88-470-2616-2_5 [Accessed 06 September 2024].

Deutsch, R. (2015), *Data-Driven Design and Construction – 25 Strategies for Capturing, Analyzing and Applying Building Data*, John Wiley & Sons, Hoboken.

Fatta, F. (2020), "Le molte dimensioni del modello digitale | The many dimensions of the digital model", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 7, pp. 16-25. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/722020 [Accessed 06 September 2024].

Gentili, P. L. (2021), "Why is Complexity Science valuable for reaching the goals of the UN 2030 Agenda?", in *Rendiconti Lincei | Scienze Fisiche e Naturali*, vol. 32, pp. 117-134. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s12210-020-00972-0 [Accessed 06 September 2024].

Giallocosta, G. (2019), "Caratteri e criticità di innovazione di processo | Features and critical issues of process innovations", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 5, pp. 5-10. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/512019 [Accessed 20 September 2024].

Grieves, M. (2014), *Digital Twin – Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*, whitepaper. [Online] Available at: 3ds.com/fileadmin/PRODUCTS-SERVICES/DELMIA/PDF/Whitepaper/DELMIA-APRISO-Digital-Twin-Whitepaper.pdf [Accessed 06 September 2024].

Halmetoja, E. and Forns-Samso, F. (2020), "Evaluating graphical user interfaces for buildings", in *Journal of Corporate Real Estate*, vol. 22, issue 1, pp. 48-70. [Online] Available at: doi.org/10.1108/JCRE-08-2019-0037 [Accessed 06 September 2024].

Holtzman, H. and James, M. S. (eds) (1986), *The New Art, the New Life – The Collected Writings of Piet Mondrian*, G. K. Hall & Co., Boston.

Jaffe, H. L. C. (1989), *De Stijl 1917-1931 – Vision of Utopia*, Abbeville Press Inc, New York.

Lauria, M. and Azzalin, M. (2020), "Open innovation per la gestione degli immobili in regime emergenziale e di post emergenza pandemica | Open innovation for property management in emergency and post-emergency pandemic regime", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 8, pp. 210-219. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/8202020 [Accessed 20 September 2024].

Manni, V. and Valzano, L. S. (2023), "Modularità e architettura adattiva – Una strategia per la gestione di sistemi d'involucro complessi | Modularity and adaptive architecture – A strategy for managing complex envelope systems", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 134-151. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14112023 [Accessed 20 September 2024].

Mariani, M. (2020), "Visualizzare la complessità – L'approccio sistemico nella strategia progettuale", in *AND | Rivista Di Architetture, Città E Architetti*, vol. 37, issue 1, pp. 102-109. [Online] Available at: and-architettura.it/index.php/and/article/view/300 [Accessed 07 September 2024].

Morin, E. (2001), *Il metodo – Vol. 1 – La natura della natura*, Raffaello Cortina Editore, Milano.

Morin, E. (1993), *Introduzione al pensiero complesso – Gli strumenti per affrontare la sfida della complessità*, Sperling & Kupfer, Milano.

Novello, G. (2012), "Disegnare grafi per dipanare la complessità – Eulero e Augusto Cavallari-Murat indagano luoghi, relazioni, funzioni ideando metodi per l'Ingegneria", in *Storia dell'Ingegneria – Atti del 4° Convegno Nazionale – Tomo Primo, Napoli, 12-18 Aprile, 2012*, Cuzzolin, Napoli, pp. 265-275. [Online] Available at: iris.polito.it/handle/11583/2499175 [Accessed 06 September 2024].

Osello, A., Del Giudice, M., Donato, A. J., and Fratto, A. (2024), "Verso la neutralità climatica – Il ruolo chiave del Digital Twin nell'Industria 5.0 | Towards climate neutrality – The key role of the Digital Twin in Industry 5.0", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 276-285. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15222024 [Accessed 06 September 2024].

Pantazis, E. and Gerber, D. J. (2019), "Beyond geometric complexity – A critical review of complexity theory and how it relates to architecture engineering and construction", in *Architectural Science Review*, vol. 62, issue 5, pp. 371-388. [Online] Available at: doi.org/10.1080/00038628.2019.1659750 [Accessed 06 September 2024].

Russell, P (ed.) (2018), *Piet Mondrian*, Delphi Publishing, London.

van Haaften, W. (2003), "Logic of artistic development – The case of Mondrian", in *New Ideas in Psychology*, vol. 21, issue 3, pp. 221-246. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.newideapsych.2003.09.005 [Accessed 07 September 2024].

von Bertalanffy, L. (1969), *General System Theory – Foundations, Development, Application*, George Braziller, New York.

Zucco, M., Del Giudice, M. and Osello, A. (2024). "Digital Twin for BIM-FM Data Comparison – A Decision Support System Based on Graphical Interfaces", in Giordano, A., Russo, M. and Spallone, R. (eds), *Advances in Representation – Digital Innovations in Architecture, Engineering and Construction*, Springer, Cham, pp. 587-605. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-62963-1_36 [Accessed 06 September 2024].

ARCHITECTURE
Research & Experimentation

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 212-219
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/16182024

Article Info

Received 10 September 2024
Revised 11 October 2024
Accepted 14 October 2024
Published 30 December 2024

MODELLI DIGITALI E LINGUAGGIO NATURALE
Nuove prospettive per interpretare la complessità

DIGITAL MODELS AND NATURAL LANGUAGE
New perspectives for interpreting complexity

Anna Osello, Francesca Maria Ugliotti, Nicola Rimella, Francesco Loddo

Abstract

Nuove prospettive per l'interpretazione della complessità sono rese oggi possibili dalla collaborazione tra intelligenza umana e artificiale tramite i grandi modelli di linguaggio. Questo approccio può arricchire la narrazione delle opere edili e infrastrutturali tramite rappresentazioni semantiche tangibili e comprensibili che aumentano l'accessibilità dei modelli digitali agli utenti del settore. La ricerca esplora l'utilizzo di un chatbot come possibile strumento di interpretazione cognitiva per migliorare la comprensione e l'estrazione di conoscenza dai sempre più complessi sistemi di dati. I risultati dello studio descrivono l'implementazione di un prototipo a supporto dell'interrogazione delle informazioni grafiche e alfanumeriche in formato OpenBIM di una infrastruttura critica ai fini gestionali, manutentivi e di formazione del personale.

New perspectives for interpreting complexity are now made possible by the collaboration between humans and artificial intelligence through large language models. This approach can enrich the narrative of construction and infrastructure works through tangible and comprehensible semantic representations that increase the accessibility of digital models to users in the field. The research explores using a chatbot as a possible cognitive interpretation tool to improve understanding and knowledge extraction from increasingly complex data systems. The study results describe and highlight the crucial role of the prototype in supporting the interrogation of graphical and alphanumeric information in OpenBIM format of critical infrastructure for management, maintenance and personnel training purposes.

Keywords

disegno 5.0, openbim, interazione uomo-intelligenza artificiale, large language model, chatbot

design 5.0, openbim, human-artificial intelligence interaction, large language model, chatbot

Anna Osello, Civil Engineer and PhD, is a Full Professor of Drawing at the Department of Structural, Building and Geotechnical Engineering, Politecnico di Torino (Italy). She conducts theoretical and applied research on BIM and interoperability of data management software for the digital built environment. Mob. +39 335/18.00.784 | E-mail: anna.osello@polito.it

Francesca Maria Ugliotti, Building Engineer and PhD, is a Researcher (RTDA) in Drawing at the Department of Structural, Construction and Geotechnical Engineering, Politecnico di Torino (Italy). She conducts research activities mainly on the intelligent digitisation of built heritage. Mob. +39 349/40.73.861 | E-mail: francesca.ugliotti@polito.it

Nicola Rimella, Building Engineer, is a PhD Candidate in Civil Engineering at the Department of Structural, Building and Geotechnical Engineering, Politecnico di Torino (Italy). He carries out research activities mainly in the field of integration of machine learning algorithms and visual programming for linear infrastructures. Mob. +39 366/32.57.734 | E-mail: nicola.rimella@polito.it

Francesco Loddo, Civil Engineer, is a PhD Candidate in Civil Engineering at the Department of Structural, Building and Geotechnical Engineering, Politecnico di Torino (Italy). He conducts research activities to digitalise linear infrastructures' design and maintenance processes. Mob. +39 333/79.18.494 | E-mail: francesco.loddo@polito.it

Il rapporto tra forma e contenuto è da sempre al centro del dibattito critico del settore disciplinare del Disegno; i processi descrittivi e interpretativi dell'architettura hanno subito un'evoluzione nel tempo, ampliando in modo esponenziale i loro confini in relazione al progresso e all'innovazione tecnologica (Pone, 2022; Lo Turco, Giovannini and Tomalini, 2021). Il passaggio dal disegno manuale a quello digitale ha segnato un punto significativo che ha portato a un sempre più creativo utilizzo degli strumenti di rappresentazione (Magliocco and Canepa, 2022); la riduzione della complessità di una architettura a una superficie piana è stata ampiamente superata con l'avvento della modellazione tridimensionale virtuale (Fatta, 2020), che estende e arricchisce le raffigurazioni possibili tramite il design parametrico (Massari et alii, 2022), generativo (Manni and Valzano, 2023) o computazionale. I processi creativi utilizzano dati, numeri e parametri in forma di algoritmi per trovare soluzioni, facendo entrare i codici informatici prepotentemente nella grammatica del disegno e abilitando nuovi orizzonti per gli ingegneri e gli architetti del mondo delle costruzioni.

L'affermazione negli ultimi decenni di metodologie di avanguardia nella gestione del processo edilizio, come il Building Information Modelling (BIM), e la più ampia adozione da parte dei tecnici della programmazione visuale hanno consentito un controllo sempre più spinto dell'opera (Zheng and Fischer, 2023) attraverso l'utilizzo di strumenti informatizzati a supporto del processo progettuale e gestionale. Questi approcci innovativi hanno portato l'uomo a confrontarsi con sistemi di rappresentazione sempre più vasti e articolati, con una prospettiva multidisciplinare e multi-scalare.

I confini del progetto architettonico diventano sempre più inclusivi abbracciando domini eterogenei attraverso processi interoperabili e integrabili: se da un lato un numero sempre maggiore di variabili può contribuire alla descrizione di un progetto, dall'altro questo proliferare di dati affatica l'intelletto umano (HI) per la loro comprensione e qualificazione. In questo contesto sono necessarie applicazioni software che garantiscano una maggiore efficienza nella ricerca delle informazioni, facilitando il coordinamento dei soggetti nelle diverse fasi, quindi influenzando le performance complessive (Lin, 2023).

Nel contesto attuale l'Intelligenza Artificiale (AI) si configura come tecnologia dirompente per supportare l'uomo nell'elaborazione dei dati per l'estrazione di valore o conoscenza attraverso un approccio di tipo semantico alla rappresentazione. L'interazione HI-AI è possibile grazie ai grandi modelli di linguaggio (LLM) (Elghaish et alii, 2022), contribuendo alla traduzione di un concetto astratto in rappresentazione tangibile e comprensibile, innescando nuove strategie di narrazione di progetti di opere edilizie e infrastrutturali; diverse sono le modalità di collaborazione (Loddo et alii, 2024) per descrivere e interpretare il mondo consentendo la trasformazione di dati grezzi in informazioni utilizzabili (Fig. 1).

L'obiettivo della ricerca è esplorare l'utilizzo di un chatbot come strumento di interpretazione cognitiva per l'estrazione e l'elaborazione automatica di dati rappresentanti modelli digitali tramite algoritmi di comprensione del linguaggio naturale. Il flusso operativo è illustrato in Figura 2: un chatbot facilita la comunicazione tra uomo e algoritmi di AI basati su LLM (Adamopoulou and Maglogiannis, 2020) tramite interfacce o dispositivi che interagiscono con oggetti e servizi (Arquilla and Paracolli, 2023). È un sistema cognitivo, poiché capace di apprendere, ragionare con uno scopo e interagire con HI o altri sistemi digitali (Demirkan, Earley and Harmon, 2017): l'utente formula richieste in linguaggio naturale e il chatbot le interpreta, classificandole in query appropriate e utili a fornire risposte (Chizhik and Zherebtsova, 2020).

Lo studio si focalizza sull'uso di chatbot per consultare dati relativi a opere edili e infrastrutturali in modo intuitivo; la creazione di un prototipo basato su un caso reale è fondamentale per validare l'approccio e analizzarne le implicazioni. L'innovazione risiede nella capacità di interagire sequenzialmente con le informazioni grafiche e alfanumeriche del modello digitale in formato OpenBIM per finalità gestionali, manutentive e formazione del personale.

L'interfacciamento con banche dati BIM e la selezione automatica di informazioni rispetto a obiettivi formulati in linguaggio naturale sono temi di grande rilevanza per la comunità scientifica, permettendo un'accessibilità senza precedenti, in particolare per utenti privi di competenze specifiche nella modellazione digitale e gestione informatica dei dati. Questo approccio è cruciale nell'ambito del Digital Twin (Barricelli, Casiraghi and Fogli, 2019), che descrive il funzionamento di un sistema tramite il suo gemello digitale, capace di integrare dati statici del patrimonio costruito con Big Data (Osello et alii, 2024).

Stato dell'arte | I cosiddetti programmi chatbot facilitano l'interazione operatore-software attraverso comandi basati sul linguaggio naturale che, vagliati dall'AI, sono in grado di fornire soluzioni più o meno complesse. Nel contesto della filiera delle costruzioni, la possibilità di automatizzare la creazione di immagini e modelli 3D (Zhang et alii, 2023) ha motivato la ricerca a interrogarsi rispetto a questa nuova opportunità.

Diverse pubblicazioni analizzano l'uso della messaggistica istantanea in questo contesto, sottolineandone le potenzialità (Rane, Choudhary and Rane, 2023; Fig. 3) lungo l'intero ciclo di vita di un'opera (Espinosa Gispert et alii, 2023): in fase di progettazione gli assistenti virtuali supportano architetti e ingegneri nella verifica di regolamenti, linee guida e standard edilizi, ma anche nella redazione di documenti preliminari (Ko et alii, 2023); in fase di gestione facilitano la consultazione di inventari e scadenze, con la possibilità di generare notifiche per eventi critici come guasti (Alhammadi, 2023). I chatbot possono anche fornire accesso rapido ai dati attraverso piattaforme di collaborazione come Microsoft Teams e Slack, supportando riunioni tecniche.

Lo sviluppo di interfacce di dialogo per esaminare i modelli BIM è cruciale per facilitare la collaborazione tra professionisti, consentendo una comprensione più chiara delle informazioni (Mutis and Ramachandran, 2021; Lin, Huang and Putranto, 2022).

Secondo Cho e Lee (2019), la principale criticità nell'uso dei chatbot in ambito edilizio riguarda l'interoperabilità con i modelli BIM e nonostante sia possibile creare modelli dettagliati trasferire informazioni durante il ciclo di vita dell'opera è spesso laborioso: la letteratura si concentra infatti sull'interoperabilità tra software, ma anche quella tra persone con varie competenze che operano sul manufatto in tempi diversi è cruciale (Yousefzadeh et alii, 2015). Il problema è evidente nella difficoltà di sfruttare i dati BIM nei programmi operativi nonostante la scomposizione dei modelli BIM in elementi e la loro schematizzazione in tabelle ne faciliti la comprensione e l'ispezione. Questa semplificazione avviene tramite open database (Lin, 2023) o esportazione in formato Industry Foundation Classes[1] (IFC) e altri formati testuali (Fernandes et alii, 2024).

L'esportazione in formato IFC garantisce lo scambio di informazioni tra software BIM e altri programmi: il software di importazione deve leggere il file o convertirlo e accedere alle Application Programming Interface[2] (API) per implementare le funzionalità del chatbot. Tuttavia l'aspetto critico nella condivisione dei dati riguarda la semantica dei modelli in quanto, sebbene il formato IFC sia progettato per favorire l'interoperabilità grazie a una struttura standard (Borrmann et alii, 2018), le discrepanze nell'interpretazione dei dati possono causare perdite di informazioni.

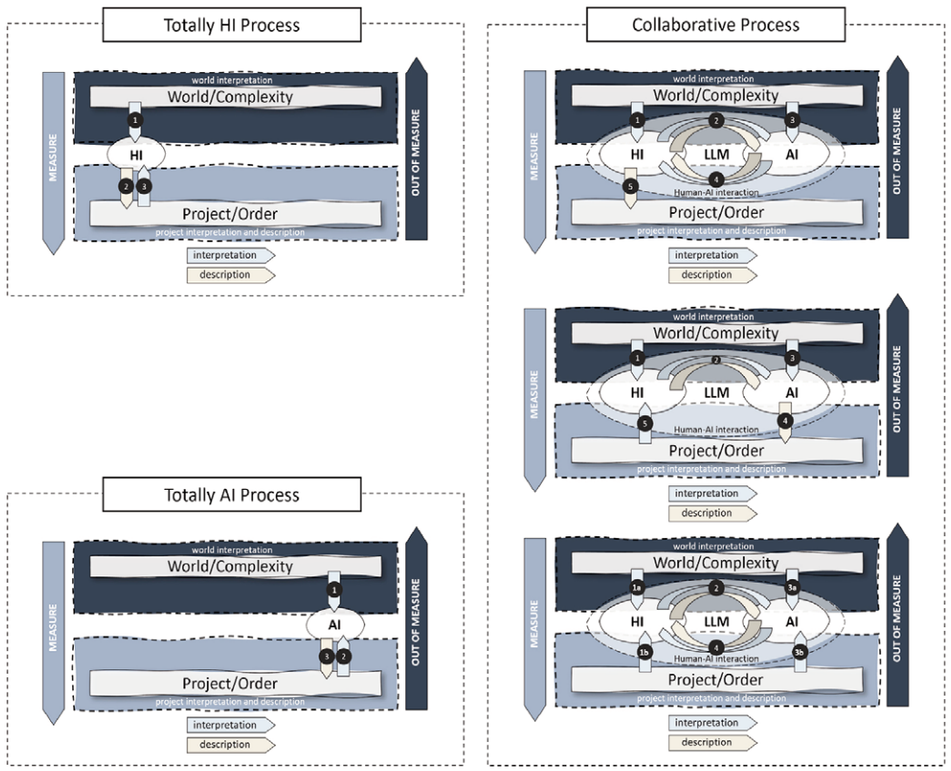
Per risolvere queste problematiche si propone un assistente virtuale che interagisce con i modelli BIM tramite linguaggio naturale (Fig. 4), migliorando l'accesso alle informazioni lungo il ciclo di vita dell'edificio. Il chatbot individua l'intento dell'utente e, attraverso moduli Natural Language Processing (NLP), elabora risposte scritte, vocali o grafiche come immagini o modelli 3D. Un chatbot deve avere un modello Natural Language Understanding (NLU) robusto per identificare gli intenti dell'utente e fornire risposte precise e un database vasto per raggiungere gli obiettivi prefissati.

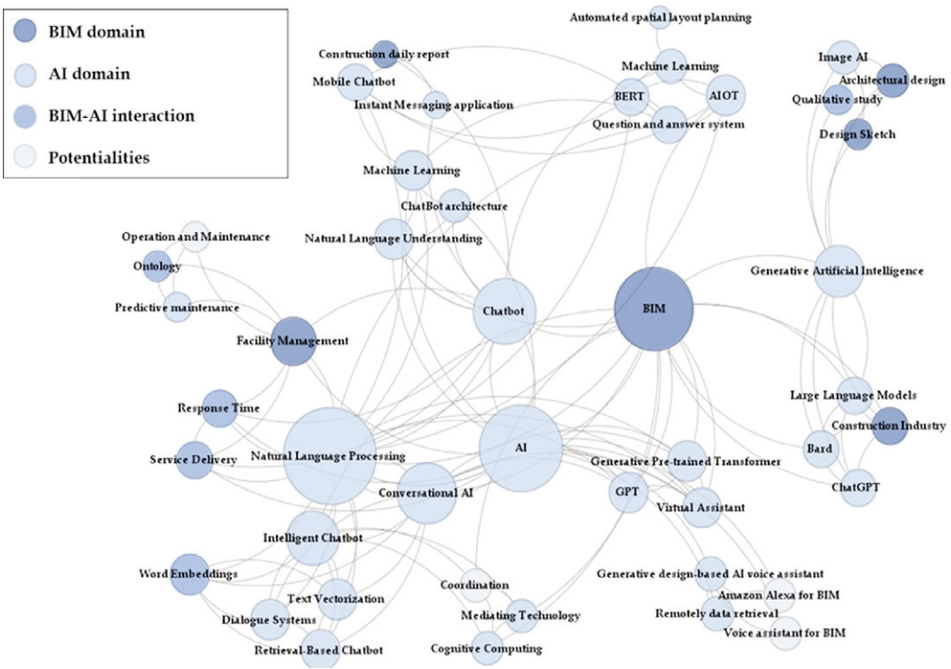
Metodologia e fasi | La metodologia proposta si sofferma nell'interpretazione di un progetto digitale tramite AI, analizzando le modalità di integrazione tra modelli OpenBIM[3] e chatbot; in questa sezione viene descritta l'architettura di sistema sviluppata per interpretare i dati IFC dei modelli BIM (Fig. 5). Il software di modellazione 3D Blender[4] è indagato per l'interazione con il chatbot in quanto offre la maggiore gamma di possibili interazioni, risultando particolarmente ottimizzato per la renderizzazione, le animazioni e le simulazioni direttamente all'interno dell'ambiente di lavoro. L'integrazione dei modelli risulta pertanto particolarmente utile per simulare sequenze di costruzione, movimenti di macchinari o dinamiche di flusso delle persone. Blender eccelle inoltre nella gestione delle geometrie 3D complesse, consentendo modifiche avanzate di mesh, superfici e curve; la comunicazione avviene attraverso un plugin sviluppato in Blender tramite linguaggio di programmazione Python[5], che integra un chatbot creato tramite Dialogflow.[6]

L'interfaccia è costituita da due parti principali. Il chatbot è responsabile della comunicazione tra l'utente e il software, tramite tecnologie NLP; per il riconoscimento dell'intento (Intent Recognition) e l'estrazione dei valori delle entità (Entity Extraction) vengono utilizzate API specifiche per interagire con il database BIM. Il Viewer consente la visualizzazione del modello BIM direttamente nell'interfaccia, aiutando l'utente a visualizzare e interagire con i dati visivi e informativi.

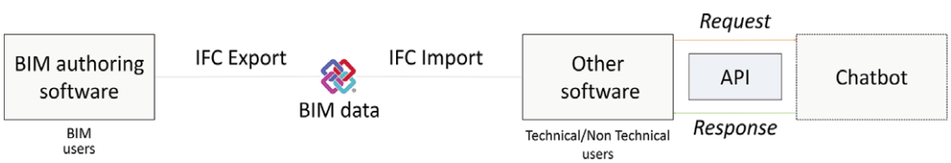
La prima fase consiste nella progettazione del modulo NLP tramite la creazione di Intent ed Entity; per capire come impostare il dialogo con l'agente di Dialogflow sono state seguite le buone norme discusse in Amershi et alii (2019), in modo da garantire un'esperienza fluida durante la conversazione.

Dopo la creazione dell'agente devono essere create le entità e gli intenti attraverso l'interfaccia di Dialogflow; esse vengono definite per facilitare l'aggiunta della pertinenza agli intenti utente e l'identificazione dei dati dell'obiettivo in una richiesta uten-









te. Sono realizzate in base al contesto del dominio in cui vengono utilizzate e devono essere associate a un intento specifico; a titolo esemplificativo, non esaustivo, viene mostrato l'Entity Class utilizzato nell'Intent 'Class_Selection' per selezionare gli oggetti in base alla loro classe IFC (Fig. 6). L'obiettivo è far riconoscere all'assistente virtuale le classi IFC tramite sinonimi. Ad esempio, si vuole che la classe IfcPipeSegment venga riconosciuta anche inserendo la parola 'pipe', in modo da agevolare la conversazione (Fig. 6, punto 1). Di conseguenza, l'agente reagisce alla frase 'select all the door' individuando correttamente l'Intent e riconoscendo al suo interno il parametro 'class' uguale a 'IfcDoor' (Fig. 6, punto 2).

Contestualmente devono essere impostati gli Intent in modo da poter richiamare funzioni specifiche quando l'agente classifica la richiesta dell'utente nel modo corretto. La definizione degli Intent prevede: l'impostazione delle frasi d'addestramento usate dall'algoritmo in NLP per classificarlo durante la conversazione (Fig. 7, punto 1); l'inserimento di diverse Entity in modo da creare parametri specifici da utilizzare nelle chiamate API dei programmi nei quali viene implementato il servizio di assistente virtuale (Fig. 7, punto 2); la fase di test dell'agente Dialogflow (Fig. 7, punto 3). L'interfaccia per la creazione dell'Intent 'Select_byParameterValue' ripercorre questi passaggi; in questo caso si può osservare che durante la validazione il chatbot ha individuato l'Intent corretto alla frase 'show me the elements with parameter level equal to 0' e all'interno di questo i parametri 'name' corrispondente a 'level' e 'value' corrispondente a '0'.

L'integrazione del modulo NLP con l'interfaccia di Blender avviene tramite l'utilizzo della sezione Scripting del programma, che consente di eseguire script in linguaggio Python e quindi comunicare, tramite API, con il server di Dialogflow. Dopo l'importazione dei dati BIM tramite il formato IFC nel programma è possibile eseguire funzioni specifiche grazie al riconoscimento degli Intent e delle Entity, sfruttando le librerie di IfcopenShell[7] per accedere alle informazioni del modello BIM.

Risultati | L'architettura della soluzione tecnica (Fig. 8) precedentemente descritta è stata implementata attraverso un caso studio reale (Fig. 9) per validarne l'approccio; il prototipo realizzato si pone l'obiettivo di interrogare la banca dati grafica e alfanumerica derivante da un processo di digitalizzazione standardizzato di un consistente parco centrali idroelettriche (Ugliotti, 2024). Il chatbot assolve alla necessità di accedere alla complessa struttura del database BIM in modo semplice e intuitivo anche da parte di personale non esperto, al fine di consultare l'anagrafica dei principali componenti che costituiscono gli impianti a fini gestionali e manutentivi (Dejaco et alii, 2022).

Come software di BIM authoring è stato utilizzato Autodesk Revit 2024[8], successivamente esportato in formato IFC4 e importato in Blender 4.2 tramite

Fig. 1 | Collaborative HI-AI interaction processes (source: Loddo et alii, 2024; adapted by the Authors).

Fig. 2 | Methodological research approach (credit: the Authors, 2024).

Fig. 3 | Keywords in the research context (credit: the Authors, 2024)

Fig. 4 | Designing the strategic solution (credit: the Authors, 2024).

l'Add-on Bonsai[9] sviluppato da IfcOpenShell e disponibile gratuitamente online. Il linguaggio di programmazione Python rende possibile il collegamento, tramite API, tra Dialogflow e funzioni specifiche di Blender come, ad esempio, la selezione o il conteggio di elementi tramite linguaggio naturale.

Una volta stabilito il flusso operativo è possibile parlare con il chatbot (Fig. 10), in modo da inviare le richieste all'agente Dialogflow. Sono proposti una serie di casi d'uso esplicativi per: a) l'individuazione di elementi, sia per classe – ad esempio tutte le tubature, sia rispetto al valore di un determinato parametro – attrezzature elettriche e meccaniche che risultano afferenti al medesimo gruppo di produzione elettrica (Fig. 11); b) il conteggio di oggetti aventi determinate caratteristiche, come ad esempio le attrezzature manutenute da un determinato soggetto in una specifica data (Fig. 12).

Si illustra nel dettaglio il primo caso. In fase di avvio della conversazione il chatbot comunica all'utente cosa può fare; contestualmente l'interfaccia di Blender mostra il modello IFC (Fig. 11, punto 1) e successivamente l'utente chiede di selezionare gli elementi 'pipe'. Tramite il riconoscimento dell'Intent 'Class_Selection' viene eseguito uno script in grado di selezionare elementi con la classe IFC richiesta (Fig. 11, punto 2), come precedentemente descritto. Per facilitare l'individuazione degli elementi di interesse l'utente chiede di nascondere gli altri oggetti (Fig. 11, punto 3) e il chatbot esegue lo script associato all'Intent specifico. La conversazione prosegue con la richiesta da parte dell'utente di selezionare gli oggetti per valore (Fig. 13), richiedendo l'Intent 'Select_byParameterValue' specificando il nome del parametro 'Raggruppamento' (Fig. 11, punto 4) e il valore 'Gruppo 2' (Fig. 11, punto 5).

Conclusioni | Il contributo si inserisce nel più ampio dibattito internazionale che esplora i benefici che l'AI può apportare alle scienze dure. Nello specifico la ricerca promuove un approccio metodologico e tecnologico, ancora poco esplorato, legato all'interpretazione dei modelli digitali in formato OpenBIM da parte dell'AI attraverso i grandi modelli di linguaggio. Riconosciuto il valore insostituibile della narrazione antropocentrica, l'AI è in grado di descrivere all'HI, in tempo reale, una visione chiara dell'opera interpolando le richieste dell'utente con le informazioni BIM.

Il potenziale impatto positivo rispetto all'efficienza e alla fruizione si arricchisce di significato quando la soluzione, ideata per superare problemi tecnici di accessibilità del dato, viene sfruttata per migliorare le capacità dell'asset management workforce nel suo complesso, non solo in termini di consultazione ma anche come strumento innovativo e user-friendly per le attività di formazione degli operatori nel settore delle costruzioni, indipendentemente dal grado di specializzazione.

I maggiori limiti riscontrati risiedono nella necessità di programmare manualmente tutte le funzioni da attuare con i chatbot e nel collegarle successivamente all'intento. Questo aspetto è rilevante nelle fasi preliminare di utilizzo, tuttavia i diversi obiettivi di interrogazione dei modelli potrebbero richiedere i medesimi intenti ed entità, consentendo la velocizzazione della replicabilità del metodo. Il sistema impostato restituisce un risultato con significato nel momento in cui il modello BIM da interrogare è standardizzato, ovvero quando il relativo formato OpenBIM dispone di una corretta classificazione e mappatura degli oggetti che deve essere controllata durante le fasi di modellazione ed esportazione.

Il prototipo descritto nel presente contributo è funzionale a comprendere in modo preliminare le potenzialità di utilizzo e risponde a uno stato di avanzamento preliminare della ricerca. Le funzionalità attualmente implementate sono state testate su un unico caso studio, seppur complesso, e si basano su semplici modelli LLM. Ulteriori considerazioni saranno conseguibili nelle fasi successive della sperimentazione, che si concentreranno sia sulla verifica di quanto impostato rispetto ad altri casi studio aumentando la mole di dati e abilitando interrogazioni trasversali tra modelli, sia sull'ampliamento e l'arricchimento delle API utilizzate e delle funzioni disponibili dei programmi per la creazione di oggetti, superando le attuali azioni di selezione e conteggio, sia sull'implementazione di modelli più complessi basati sulle reti neurali, come ChatGPT.[10]

Alla luce di quanto esposto si ritiene che lo studio contribuisca a delineare un nuovo filone di ricerca nell'ambito del disegno e della rappresentazione del Patrimonio costruito, allineato con le metodologie più avanzante di gestione dei dati. Lo stimolante paradigma del Digital Twin, combinato con le nuove possibilità offerte dalle tecnologie di informazione e visualizzazione, offre infatti modalità innovative di approcciare, studiare e investigare il Patrimonio costruito e le infrastrutture critiche, sfruttando le potenzialità della rappresentazione semantica. Tali tematiche saranno certamente al centro delle riflessioni della comunità scientifica nei prossimi decenni, riunendo un numero sempre maggiore di ricercatori con competenze diversificate nel paradigma della Società 5.0 (Fukuyama, 2018), nella quale la tecnologia è orientata a migliorare la qualità di vita dell'uomo.

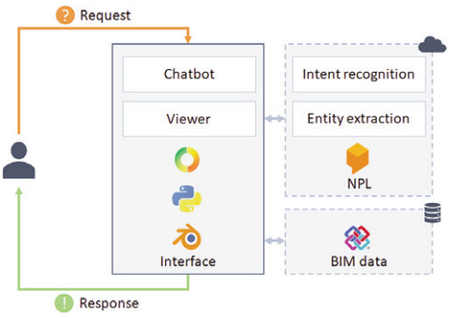


Fig. 5 | Architecture of the technical solution (credit: the Authors, 2024).

The relationship between form and content has always been at the centre of critical debate in the disciplinary field of Drawing. The descriptive and interpretative processes of architecture have evolved, exponentially expanding their boundaries regarding progress and technological innovation (Pone, 2022; Lo Turco, Giovannini and Tomalini, 2021). The shift from manual to digital drawing marked a significant point that led to an increasingly creative use of representation tools (Magliocco and Canepa, 2022). The reduction of the complexity of architecture to a flat surface has been largely overcome with the advent of virtual three-dimensional modelling (Fatta, 2020), which extends and enriches the representations possible through parametric (Massari et alii, 2022), generative (Manni and Valzano, 2023) or computational design. Creative processes use data, numbers, and parameters in the form of algorithms to find solutions, bringing computer codes powerfully into the design grammar and enabling new horizons for engineers and architects in the construction world.

The emergence over the past decades of cutting-edge methodologies in building process management, such as Building Information Modelling (BIM), and the broader adoption by engineers of visual programming have allowed for an ever-increasing control of the work (Zheng and Fischer, 2023) through the use of computerised tools to support the design and management process. These innovative approaches have led to humans being confronted with increasingly vast and articulated systems of representation with a multi-disciplinary and multi-scalar perspective.

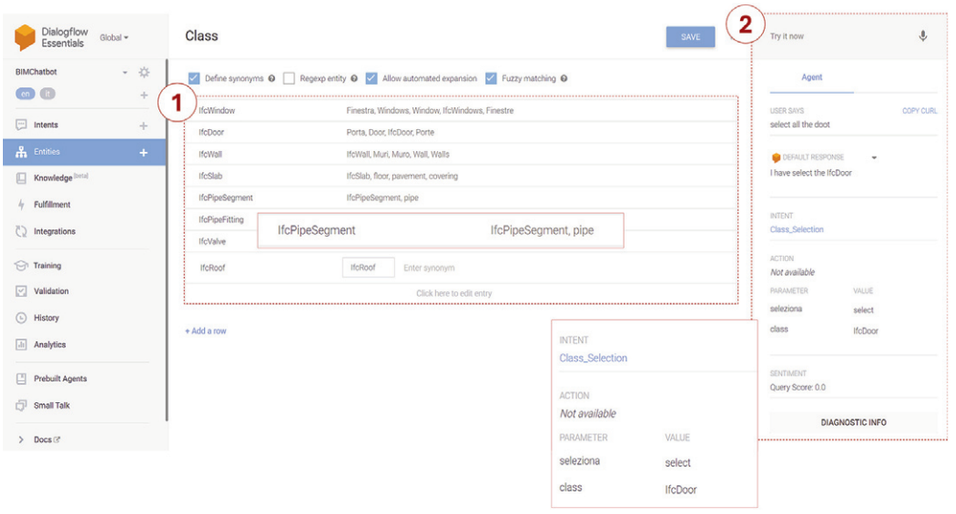
The boundaries of architectural design are becoming more and more inclusive, embracing heterogeneous domains through interoperable and integrable processes. While an increasing number of variables can contribute to the description of a project, this proliferation of data strains the Human Intellect (HI) in understanding and qualifying them. In this context, there is a need for software applications that ensure greater efficiency in the search for information, facilitating the coordination of actors at different stages and thus influencing overall performance (Lin, 2023).

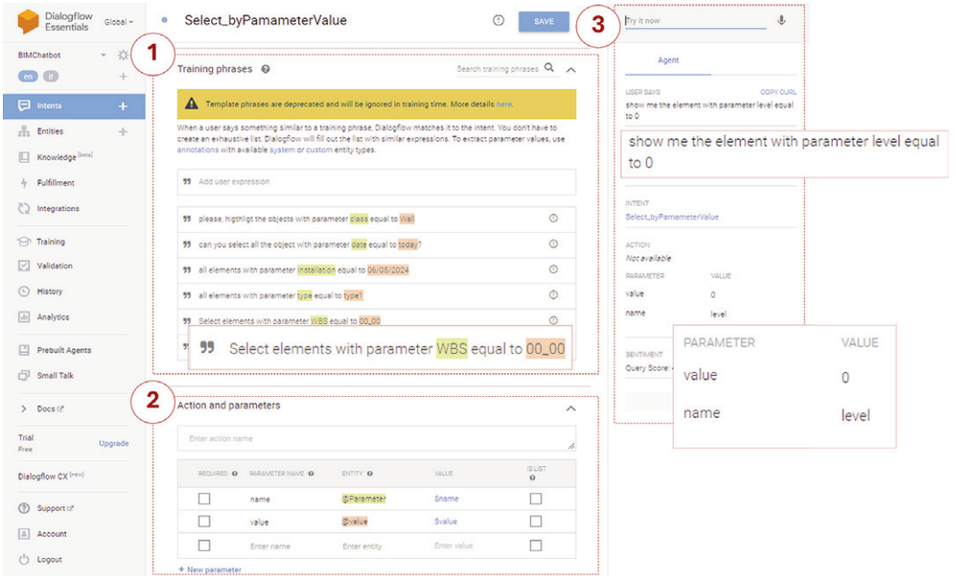
In the current context, Artificial Intelligence (AI) emerges as a disruptive technology that supports humans in processing data to extract value or knowledge through a semantic approach to representation. HI-AI interaction is made possible by Large Language Models – LLM (Elghaish et alii, 2022), contributing to the translation of an abstract concept into a tangible and comprehensible representation, triggering new strategies of storytelling for building and infrastructure projects. Different modes of collaboration (Loddo et alii, 2024) can be used to describe and interpret the world by enabling the transformation of raw data into usable information (Fig. 1).

The research aims to explore using a chatbot as a cognitive interpretation tool for extracting and automatically processing data representing digital models via natural language understanding algorithms. The operational flow is illustrated in Figure 2: a chatbot facilitates communication between humans and AI algorithms based on LLM (Adamopoulou and Maglogiannis, 2020) via interfaces or devices that interact with objects and services (Arquilla and Paracolli, 2023). It is a cognitive system, as it is capable of learning, reasoning with a purpose and interacting with HI or other digital systems (Demirkan, Earley and Harmon, 2017): the user formulates requests in natural language, and the chatbot interprets them, classifying them into appropriate queries to provide answers (Chizhik and Zherebtsova, 2020).

The study's primary focus is on the innovative use of chatbots to intuitively access construction and infrastructure data. Creating a prototype based on a real case is critical in validating the approach and analysing its implications. The novelty lies in the sequential interaction with the digital model's graphic and alphanumeric information in OpenBIM format for management, maintenance, and personnel training purposes.

Interfacing with BIM databases and the automatic selection of information against targets formu-





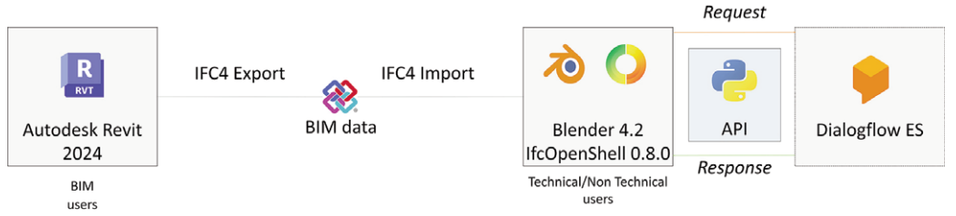


Fig. 6 | Example of setting up Entities on Dialogflow (credit: the Authors, 2024).

Fig. 7 | Example of Intent setting on Dialogflow (credit: the Authors, 2024).

Fig. 8 | Implementing the strategic solution in the case study (credit: the Authors, 2024).

Next page

Fig. 9 | Meano hydroelectric power station in Pomaretto (TO) used as a case study (credit: the Authors, 2024).

Fig. 10 | Blender Scripting interface for prototype development (credit: the Authors, 2024).

Fig. 11 | Example of conversation with natural language element selection (credit: the Authors, 2024).

Fig. 12 | Example of conversation with natural language element counting (credit: the Authors, 2024).

lated in natural language are issues of great relevance to the scientific community, enabling unprecedented accessibility, particularly for users without specific skills in digital modelling and computerised data management. This approach is crucial in the context of the Digital Twin (Barricelli, Casiraghi and Fogli, 2019), which describes the functioning of a system through its digital copy, capable of integrating static data of the built heritage with Big Data (Osello et alii, 2024).

State of the art | So-called chatbot programmes facilitate operator-software interaction through natural language-based commands that, screened by AI, can provide more or less complex solutions. In the construction industry, the possibility of automating the creation of 3D images and models (Zhang et alii, 2023) has motivated research to question this new opportunity.

Several publications analyse the use of instant messaging in this context, emphasising its potential (Rane, Choudhary and Rane, 2023; Fig. 3) throughout the entire life cycle of a construction project (Espinosa Gispert et alii, 2023). In the design phase, virtual assistants support architects and engineers in the verification of regulations, guidelines and building standards, but also in the drafting of preliminary documents (Ko et alii, 2023); in the management phase, they facilitate the consultation of inventories and schedules, with the possibility of generating notifications for critical events such as failures (Alhammadi, 2023). Chatbots can also provide quick access to data through collaboration platforms such as Microsoft Teams and Slack, supporting technical meetings.

Developing dialogue interfaces to examine BIM models is crucial for facilitating collaboration between professionals and enabling a clearer understanding of information (Mutis and Ramachandran, 2021; Lin, Huang and Putranto, 2022).

According to Cho and Lee (2019), the main critical issue in using chatbots in construction concerns interoperability with BIM models. Despite the creation of detailed models, transferring information during the building lifecycle is often laborious: indeed, the literature focuses on interoperability between software, but interoperability between people with various skills operating on the building at different times is also crucial (Yousefzadeh et alii, 2015). The problem is evident in the difficulty of exploiting BIM data in operational programs, even though the decomposition of BIM models into elements and their

schematisation in tables facilitates their understanding and inspection. This simplification is done through open databases (Lin, 2023) or export in Industry Foundation Classes[1] (IFC) and other textual formats (Fernandes et alii, 2024).

Exporting in the IFC format ensures the exchange of information between BIM and other software: the importing software has to read the file or convert it and access the Application Programming Interface[2] (API) to implement the chatbot functionality. However, the critical aspect of data sharing relates to the semantics of the models. Although the IFC format is designed to promote interoperability through a standard structure (Borrmann et alii, 2018), discrepancies in data interpretation can cause information loss.

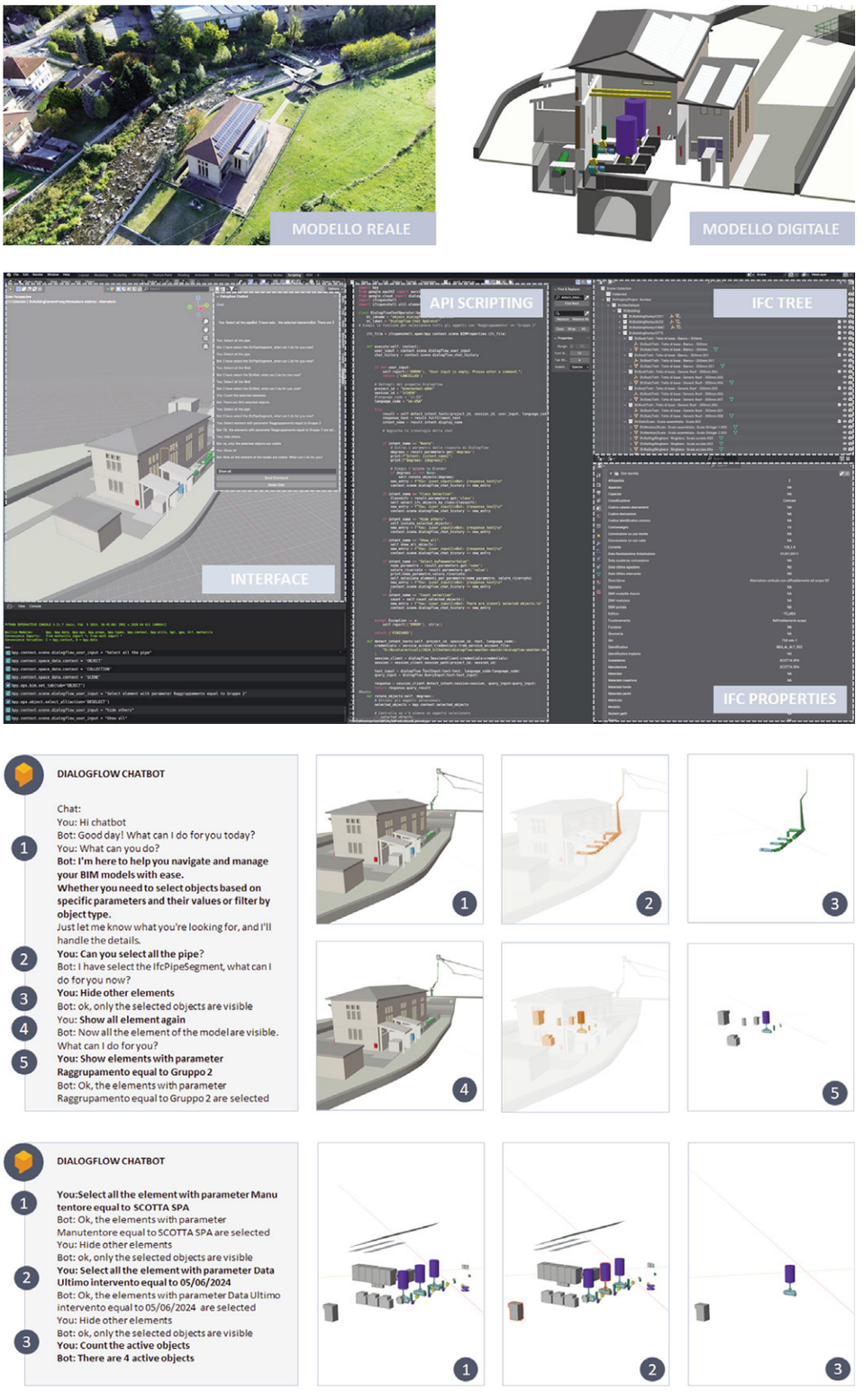
To solve these problems, a virtual assistant is proposed that interacts with BIM models via natural language (Fig. 4), improving access to information throughout the building lifecycle. The chatbot detects the user's intent and, through Natural Language Processing (NLP), modules, processes written, spoken or graphical responses such as images or 3D models. A chatbot must have a robust Natural Language Understanding (NLU) model to identify user intent and provide accurate responses. An extensive database is also required to achieve the intended goals.

Methodology and phases | The proposed methodology focuses on interpreting a digital project through AI and analysing how OpenBIM[3] models and chatbots are integrated. This section describes the system architecture developed to interpret the IFC data of BIM models (Fig. 5). The 3D modelling software Blender[4] is investigated for the interaction with the chatbot as it offers the greatest range of possible interactions, being particularly optimised for rendering, animations and simulations directly within the working environment. Therefore, integrating models is beneficial for simulating construction sequences, machinery movements, or people flow dynamics. Blender also handles complex 3D geometries, allowing advanced modifications of meshes, surfaces and curves. Communication occurs via a plugin developed in Blender using the Python[5] programming language, which integrates a chatbot created via Dialogflow.[6]

The interface consists of two main parts. The chatbot communicates between the user and the software via NLP technologies. Specific APIs interact with the BIM database for Intent Recognition and Entity Extraction. The Viewer allows the user to visualise the BIM model directly in the interface, helping the user visualise and interact with visual and informative data.

The first step is to design the NLP module by creating Intent and Entity. To understand how to set up the dialogue with the Dialogflow agent, the good rules discussed in Amershi et alii (2019) were followed to ensure a smooth conversation.

After creating the agent, entities and intents must be created via the Dialogflow interface. Entities are defined to facilitate the addition of relevance to user intents and identifying target data in a user request. They are realised according to the context of the domain in which they are used and must be associated with a specific intent. As a non-exhaustive example, the Entity Class used in the Intent 'Class_Selection' to select objects based on their IFC class is shown (Fig. 6). The aim is to make the virtual assistant recognise IFC classes by synonyms. For example, we want the class IfcPipeSegment to be recognised by entering the word 'pipe' to facilitate conversation (Fig. 6, point 1). Consequently, the agent reacts to the sentence 'select all the door' by correctly identifying the Intent and recognising the parameter 'class' equal to 'IfcDoor' (Fig. 6, point 2). At the same time, Intents must be set to call specific functions when the agent correctly classifies the user's request. The definition of the Intents involves the setting of the training phrases used by the algorithm in NLP in order to classify it during the conversation (Fig. 7, point 1); the insertion of various Entities in order to create specific parameters to be used in the API calls of the programs in which the virtual assistant service is implemented (Fig. 7, point 2); the testing phase of the Dialogflow agent (Fig. 7, point 3). The interface for creating the Intent 'Select_byParameterValue' retraces these steps. It can be seen that, in this case, during validation, the chatbot identified the correct Intent in the sentence 'show me the ele-



ments with parameter level equal to 0' and within this, the parameters 'name' corresponding to 'level' and 'value' corresponding to '0'.

The integration of the NLP module with the Blender interface takes place through the use of the Scripting section of the program, which allows scripts to be executed in Python language and thus communicate via API with the Dialogflow server. After importing the BIM data via the IFC format into the software, it is possible to execute specific functions thanks to the recognition of Intents and Entities, using the libraries of IfcopenShell[7] to access the BIM model information.

Results | The architecture of the technical solution (Fig. 8) described above was implemented through an actual case study (Fig. 9) to validate the approach. The realised prototype aims to query the graphic and alphanumeric database resulting from a standardised digitalisation process of a large hydroelectric power plant park (Ugliotti, 2024). The chatbot fulfils the need to access the complex structure of the BIM database and intuitively, even by non-expert personnel, to consult the master data of the main components making up the plants for management and maintenance purposes (Dejaco et alii, 2022). Autodesk Revit 2024[8] was used as BIM authoring software. Subsequently, it was exported in IFC4 format and imported into Blender 4.2 via the Add-on Bonsai[9], developed by IfcOpenShell and available free online. The Python programming language makes it possible to link Dialogflow with specific Blender functions via API, such as selecting or counting elements via natural language.

Once the workflow has been established, it is possible to talk to the chatbot (Fig. 10) to send requests to the Dialogflow agent. A series of explanatory use cases are proposed for: a) the identification of items, either by class – e.g., all pipes or concerning the value of a specific parameter – electrical and mechanical equipment, which are about the same electrical production group (Fig. 11); b) the counting of items with specific characteristics, such as the equipment maintained by a particular person on a specific date (Fig. 12).

The first case is illustrated in detail. At the start of the conversation, the chatbot tells the user what he can do; simultaneously, the Blender interface shows



Fig. 13 | Example of Dialogflow agent interaction and Blender API (credit: the Authors, 2024).

the IFC model (Fig. 11, point 1). Next, the user is asked to select 'pipe' elements. By recognising the Intent 'Class_Selection', a script can select elements with the required IFC class (Fig. 11, point 2), as previously described. To facilitate the identification of the elements of interest, the user asks to hide the other objects (Fig. 11, point 3), and the chatbot executes the script associated with the specific Intent. The conversation continues with the user requesting to select the objects by value (Fig. 13), requesting the Intent 'Select_byParameterValue' by specifying the parameter name 'Grouping' (Fig. 11, point 4) and the value 'Group 2' (Fig. 11, point 5).

Conclusions | The contribution is part of the broader international debate exploring the benefits that AI can bring to the hard sciences. Specifically, the research promotes a methodological and technological approach, which has yet to be explored, related to AI interpreting digital models in OpenBIM format through large language models. Recognising the irreplaceable value of the anthropocentric narrative, AI can describe to the HI a clear vision of the work in real-time by interpolating the user's requests with BIM information.

The potential positive impact concerning efficiency and utilisation is enriched when the solution, designed to overcome technical problems of data accessibility, is exploited to improve the capabilities of the asset management workforce as a whole, not only in terms of consultation but also as an innovative and user-friendly tool for the training activities of operators in the construction sector, regardless of their degree of specialisation. The major limitation is the need to manually program all functions to be implemented with chatbots and link them to intent. This aspect is relevant in the preliminary stages of use. However, the different model interrogation objectives may require identical intents and entities, allowing the replicability of the method to be speeded up. The system set returns a result when the BIM model to be queried is standardised, i.e., when the relevant OpenBIM format has the correct object classification and mapping, which must be checked in the modelling and export phases.

The prototype described in this contribution is functional to gain a preliminary understanding of the potential for use and corresponds to a preliminary research stage. The currently implemented functionalities were tested on a single, albeit complex, case study based on simple LLM models. Further considerations will be achieved in the subsequent phases of the experimentation, which will focus both on verifying what has been set up concerning other case studies by increasing the amount of data and enabling transversal queries between models and on extending and enriching the APIs used and the functions available in the programmes for creating objects, going beyond the current selection and counting actions, and on implementing more complex models based on neural networks, such as ChatGPT.[10]

In light of the above, the study outlines a new line of research in the drawing and representation of the Built Heritage, aligned with the most advanced data management methodologies. The stimulating paradigm of the Digital Twin, combined with the new possibilities offered by information and visualisation technologies, offers innovative ways of approaching, studying and investigating the built heritage and critical infrastructures, exploiting the potential of semantic representation. These issues will undoubtedly be at the centre of the scientific community's reflections in the coming decades, bringing together an increasing number of researchers with diverse expertise in the paradigm of Society 5.0 (Fukuyama, 2018), in which technology is geared towards improving the quality of human life.

Acknowledgements

This study was carried out within the RETURN Extended Partnership and received funding from the European Union Next-GenerationEU (National Recovery and Resilience Plan – NRRP, Mission 4, Component 2, Investment 1.3 – D.D. 1243 2/8/2022, PE0000005) CUP E13C22001860001.

The contribution is the result of a common reflection of the Authors. Nevertheless, the introductory and 'Conclusions' paragraphs are to be attributed to F. M. Ugliotti, 'State of the art' to F. Loddo, 'Methodology and phases' to N. Rimella, and 'Results' to N. Rimella and F. M. Ugliotti.

Notes

1) For more information about the IFC format, please visit: buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/ [Accessed 3 September 2024].

2) To learn more about how APIs work, please visit: wikipedia.org/wiki/Application_programming_interface [Accessed 3 September 2024].

3) For more information on the OpenBIM methodology, please visit: buildingsmart.org/about/openbim/openbim-definition/ [Accessed 3 September 2024].

4) For more information on Blender software, please visit: docs.blender.org/ [Accessed 3 September 2024].

5) For more information on the Python programming language, please visit: docs.python.org/3/ [Accessed 3 September 2024].

6) For more information on the DialogueFlow service, please visit: cloud.google.com/dialogflow/es/docs/basics?hl=it [Accessed 3 September 2024].

7) For more information about the ifcopenShell libraries, please visit: docs.ifcopenshell.org/ [Accessed 3 September 2024].

8) For more information on Autodesk Revit software, please visit: autodesk.com/it/products/revit/features [Accessed 3 September 2024].

9) For more information on the Blender Bonsai add-on, please visit: docs.bonsaibim.org/ [Accessed 8 September 2024].

10) For more information on ChatGPT, please visit: botflo.com/dialogflow-vs-chatgpt/ [Accessed 8 September 2024].

References

Adamopoulou, E. and Maglogiannis, L. (2020), "An Overview of Chatbot Technology", in Maglogiannis, I., Iliadis, L. and Pimenidis, E. (eds), *Artificial Intelligence Applications and Innovations – Proceedings of the 16th IFIP WG 12.5 International Conference*, *AIAI 2020*, *Neos Marmaras*, *Greece*, *June 5-7*, *2020*, IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol. 584, part II, Springer, Cham, pp. 373-383. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-49186-4_31 [Accessed 19 September 2024].

Alhammadi, M. (2023), "Optimising Customer Service Delivery and Response Time through AI-Enhanced Chatbots in Facilities Management-A Mixed-Methods Research", in *American Journal of Smart Technology and Solutions*, vol. 2, issue 2, pp. 43-54. [Online] Available at: doi.org/10.54536/ajsts.v2i2.2206 [Accessed 19 September 2024].

Amershi, S., Weld, D., Vorvoreanu, M., Fourney, A., Nushi, B., Collisson, P., Suh, J., Iqbal, S., Bennett, P. N., Inkpen, K., Teevan, J., Kikin-Gil, R. and Horvitz, E. (2019), "Guidelines for Human-AI Interaction", in Brewster, S. and

Fitzpatrick, G. (eds), *CHI 2019 – Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, *Glasgow*, *Scotland UK*, *May 4-9*, *2019*, Association for Computing Machinery, New York, pp.1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1145/3290605.3300233 [Accessed 19 September 2024].

Arquilla, V. and Paracolli, A. (2023) "Design sull'esperienza dell'utente e sostenibilità degli oggetti con intelligenza artificiale | User experience design and sustainability of AI-infused objects", in *Agathón | International Journal of Architecture*, *Art and Design*, vol. 13, pp. 259-268. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13222023 [Accessed 19 September 2024].

Barricelli, B. R., Casiraghi, E. and Fogli, D. (2019), "A Survey on Digital Twin – Definitions, Characteristics, Applications, and Design Implications", in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 167653-167671. [Online] Available at: doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2953499 [Accessed 19 September 2024].

Borrmann, A., Beetz, J., Koch, C., Liebich, T. and Muhic, S. (2018), "Industry Foundation Classes – A Standardized Data Model for the Vendor-Neutral Exchange of Digital Building Models", in Borrmann, A., König, M., Koch, C. and Beetz, J. (eds), *Building Information Modeling*, Springer, Cham, pp. 81-126. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3_5 [Accessed 19 September 2024].

Chizhik, A. and Zherebtsova, Y. (2020), "Challenges of Building an Intelligent Chatbot", in Bolgov, R. V., Chugunov, A. V. and Voiskounsky, A. E. (eds), *Proceedings of the International Conference* on *Internet and Modern Society (IMS-2020)*, *ITMO University*, *St. Petersburg* (*Russia)*, *June 17-20*, *2020*, Intelligent Memory Systems, pp. 277-287. [Online] Available at: ceur-ws.org/Vol-2813/rpaper21.pdf [Accessed 19 September 2024].

Cho, J. and Lee, G. (2019), "A Chatbot System for Construction Daily Report Information Management", in Al-Hussein, M. (ed.), *Proceedings of the 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, *ISARC 2019*, *Banff*, *Canada*, *May 21-24*, *2019*, pp. 429-437. [Online] Available at: doi.org/10.22260/ISARC2019/0058 [Accessed 19 September 2024].

Dejaco, M. C., Scanagatta, C., Mannino, A. and Condotta, M. (2022), "Transizione digitale per il facility management – BIM, CMMS e manutenzione predittiva | Digital transition in facility management – BIM, CMMS and diagnostic maintenance", in *Agathón | International Journal of Architecture*, *Art and Design*, vol. 12, pp. 168-177. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12152022 [Accessed 19 September 2024].

Demirkan, H., Earley, S. and Harmon, R. R. (2017), "Cognitive Computing", in *IT Professional*, vol. 19, issue 4, pp. 16-20. [Online] Available at: doi.org/10.1109/MITP.2017.3051332 [Accessed 19 September 2024].

Elghaish, F., Chauhan, J. K., Matarneh, S., Farzad, P. R. and Hosseini M. (2022), "Artificial intelligence-based voice assistant for BIM data management", in *Automation in Construction*, vol. 140, article 104320, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104320 [Accessed 19 September 2024].

Espinosa Gispert, D., Yitmen, I., Sadri, H. and Taheri, A. (2023), "Development of an ontology-based asset information model for predictive maintenance in building facilities", in *Smart and Sustainable Built Environment*, vol. ahead-of-print, issue ahead-of-print, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.1108/SASBE-07-2023-0170 [Accessed 19 September 2024].

Fatta, F. (2020) "Le molte dimensioni del modello digitale | The many dimensions of the digital model", in *Agathón | International Journal of Architecture*, *Art and Design*, vol. 7, pp. 16-25. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/722020 [Accessed 19 September 2024].

Fernandes, D., Garg, S., Nikkel, M. and Guven, G. (2024), "A GPT-Powered Assistant for Real-Time Interaction with Building Information Models", in *Buildings*, vol. 14, issue 8, article 2499, pp. 1-30. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings14082499 [Accessed 19 September 2024].

Fukuyama, M. (2018), "Society 5.0 – Aiming for a new human-centered society", in *Japan Spotlight*, vol. 1, pp. 47-50. [Online] Available at: jef.or.jp/journal/pdf/220th_Special_Article_02.pdf [Accessed 3 September 2024].

Ko, J., Ennemoser, B., Yoo, W., Yan, W. and Clayton, M. J. (2023), "Architectural spatial layout planning using artificial intelligence", in *Automation in Construction*, vol. 154, article 105019, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105019 [Accessed 19 September 2024].

Lin, T.-H., Huang, Y.-H. and Putranto, A. (2022), "Intelligent question and answer system for building information modeling and artificial intelligence of things based on the bidirectional encoder representations from transformers model", in *Automation in Construction*, vol. 142, article 104483, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104483 [Accessed 19 September 2024].

Lin, W. Y. (2023), "Prototyping a Chatbot for Site Managers Using Building Information Modeling (BIM) and Natural Language Understanding (NLU) Techniques", in *Sensors*, vol. 23, issue 6, article 2942, pp. 1-29. [Online] Available at: doi.org/10.3390/s23062942 [Accessed 19 September 2024].

Lo Turco, M., Giovannini, E. C. and Tomalini, A. (2021) "Fisico, Digitale, Virtuale, Immateriale – Esperienze di ricerca in ambito museale | Physical, Digital, Virtual, Intangible – Research experiences in Museums", in *Agathón | International Journal of Architecture*, *Art and Design*, vol. 10, pp. 140-149. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/10122021 [Accessed 19 September 2024].

Loddo, F., Osello, A., Rimella, N., Polania Rodriguez, D., Ugliotti, F. M. and Ventura, G. V. (2024), "Approccio semantico alla rappresentazione – Verso una collaborazione Uomo-AI per la misura della dismisura | Semantic approach to representation – Toward a collaborative Human-AI for the measurement of the out-of-measure", in Bergamo, F., Calandriello, A., Ciammaichella, M., Friso, I., Gay, F., Liva, G. and Monteleone, C. (eds), *Misura / Dismisura – Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione – Congresso della Unione Italiana per il Disegno | Measure / Out of Measure – Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers – Congress of Unione Italiana per il Disegno*, *Padova-Venezia*, *Settembre 12-14*, *2024*, FrancoAngeli, Milano, pp. 3135-3144. [Online] Available at: doi.org/10.3280/oa-1180-c630 [Accessed 19 September 2024].

Magliocco, A. and Canepa, M. (2022), "Cruscotti a servizio della governance – Monitoraggio di indicatori di prestazione e indicatori aggregati | Governance dashboards – Monitoring of key performance and aggregate indicators", in *Agathón | International Journal of Architecture*, *Art and Design*, vol. 12, pp. 36-45. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1232022 [Accessed 19 September 2024].

Manni, V. and Valzano, L. S. (2023) "Modularità e Architettura Adattiva – Una strategia per la gestione di sistemi d'involucro complessi | Modularity and adaptive architecture – A strategy for managing complex envelope systems", in *Agathón | International Journal of Architecture*, *Art and Design*, vol. 14, pp. 134-151. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14112023 [Accessed 19 September 2024].

Massari, G. A., Barbini, A., Bernardini, E. and Roman, O. (2022) "Riqualificazione energetica dell'edilizia esistente – Modellazione e gestione geometrico-informativa | Energy retrofitting of existing buildings – Geometric-informative modelling and management", in *Agathón | International Journal of Architecture*, *Art and Design*, vol. 12, pp. 146-157. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12132022 [Accessed 19 September 2024].

Mutis, I. and Ramachandran, A. (2021), "The Bimbot – Mediating technology for enacting coordination in teamwork collaboration", in *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 26, pp. 144-158. [Online] Available at: doi.org/10.36680/j.itcon.2021.009 [Accessed 19 September 2024].

Osello, A., Del Giudice, M., Donato, A. J. and Fratto, A. (2024) "Verso la neutralità climatica – Il ruolo chiave del Digital Twin nell'Industria 5.0 | Towards Climate Neutrality – The key role of the Digital Twin in Industry 5.0", in *Agathón | International Journal of Architecture*, *Art and Design*, vol. 15, pp. 276-285. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15222024 [Accessed 19 September 2024].

Pone, S. (2022) "Maker – Il ritorno dei costruttori – Una possibile transizione digitale per l'Architettura | Maker – The return of the builders – A possible digital transition for Architecture", in *Agathón | International Journal of Architecture*, *Art and Design*, vol. 12, pp. 14-23. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1212022 [Accessed 19 September 2024].

Rane, N., Choudhary, S. and Rane, J. (2023), "Integrating Building Information Modelling (BIM) With ChatGPT, Bard, and Similar Generative Artificial Intelligence in the Architecture, Engineering, and Construction Industry – Applications, a Novel Framework, Challenges, and Future Scope", in *SSRN*, pp. 1-22. [Online] Available at doi.org/10.2139/ssrn.4645601 [Accessed 19 September 2024].

Ugliotti, F. M. (2024), *Sostenibilità e digitalizzazione nella produzione idroelettrica – Una sfida moderna per una forma di generazione antica*, Gangemi Editore, Roma.

Yousefzadeh, S., Spillane, J. P., Lamont, L., McFadden, J. and Lim, J. P. B. (2015), "Building information modelling (BIM) software interoperability – A review of the construction sector", in Raidén, A. and Aboagye-Nimo, E. (eds), *Proceeding of the 31st Annual ARCOM Conference 2015*, *Lincoln*, *England*, *September 7-9*, *2015*, ARCOM, pp. 711-720. [Online] Available at: hdl.handle.net/10344/7152 [Accessed 19 September 2024].

Zhang, C., Wang, W., Pangaro, P., Martelaro, N. and Byrne, D. (2023), "Generative Image AI Using Design Sketches as input – Opportunities and Challenges", in *C&C '23 – Proceedings of the 15th Conference on Creativity and Cognition*, *New York*, *USA*, *Virtual Conference*, *June 19-21*, *2023*, Association for Computing Machinery, New York, pp. 254-259. [Online] Available at: doi.org/10.1145/3591196.3596820 [Accessed 19 September 2024].

Zheng, J. and Fischer, M. (2023), "Dynamic prompt-based virtual assistant framework for BIM information search", in *Automation in Construction*, vol. 155, article 105067, pp. 1-24. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105067 [Accessed 19 September 2024].

ARCHITECTURE
Research & Experimentation

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 220-231
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/16192024

Article Info

Received 14 September 2024
Revised 15 October 2024
Accepted 17 October 2024
Published 30 December 2024

OTTIMIZZARE LA FRUIBILITÀ NEI MUSEI
Gestione integrata di dati sui modi d'uso dello spazio e dei contenuti culturali

OPTIMISING USABILITY IN MUSEUMS
Integrated management of data on the use of space and cultural content

Teresa Villani, Gianmauro Romagna, Angelo Oddi

Abstract

In un contesto di digitalizzazione del Patrimonio costruito i musei evolvono da custodi di cultura a promotori di conoscenza e partecipazione sociale. Il contributo esplora il museo come servizio dinamico e inclusivo, promuovendo un approccio predittivo alla fruibilità e proponendo una metodologia integrata che combina analisi qualitative della configurazione spaziale e dati quantitativi raccolti tramite sensori IoT per ottimizzare l'esperienza museale. Sul caso studio del Museo di Roma – Palazzo Braschi è stato applicato uno strumento digitale sviluppato in ambiente BIM, capace di integrare e visualizzare dati spaziali e comportamentali. I risultati evidenziano come l'approccio predittivo e le tecnologie avanzate migliorino la gestione della fruibilità e la partecipazione. Questa metodologia può supportare i gestori dei musei nel monitoraggio di spazi, flussi e persone e negli adempimenti normativi sulla fruibilità.

In the context of digitalising cultural heritage, museums are evolving from being mere keepers of culture to becoming promoters of knowledge and social participation. This paper explores the museum as a dynamic and inclusive service, advocating for a predictive approach to usability and introducing an integrated methodology that combines qualitative spatial configuration analysis with quantitative data collected via IoT sensors to enhance the museum experience. A digital tool developed in a BIM environment was applied to the Museum of Rome – Palazzo Braschi case study, which integrates and visualises spatial and behavioural data. The results highlight how predictive approaches and advanced technologies improve the management of usability and participation. This methodology can assist museum managers in monitoring spaces, visitor flows, and accessibility regulations.

Keywords

fruibilità, musei, analisi della sintassi spaziale, comportamento utente, BIM e IoT

usability, museums, space syntax analysis, user behaviour, BIM and IoT

Teresa Villani, Architect and PhD, is an Associate Professor of Architectural Technology at the Department of Planning, Design, and Architectural Technology, 'Sapienza' University of Rome (Italy). She primarily carries out research on building quality control through detection methods and performance evaluation of technological building components and tools for technical project control. Mob. +39 349/59.50.221 | E-mail: teresa.villani@uniroma1.it

Gianmauro Romagna, Architect, is a Research Fellow at the Institute of Cognitive Sciences and Technologies of the CNR in Rome (Italy). His research mainly focuses on decision-support tools for programming and design in cultural and healthcare fields and, more generally, in complex decision-making contexts, within the broader framework of digital management of the built environment. E-mail: gianmauro.romagna@istc.cnr.it

Angelo Oddi, PhD, is a Senior Researcher at the Institute of Cognitive Sciences and Technologies of the CNR in Rome (Italy), where he mainly works on Artificial Intelligence techniques for the automatic and interactive solution of planning and decision-support problems. He has published several articles on AI, focusing on space, robotics, quantum computing, and cultural heritage. E-mail: angelo.oddi@cnr.it

In un contesto in cui la transizione digitale facilita la conoscenza e la gestione predittiva dell'ambiente costruito, sia nelle sue componenti materiali che immateriali, e soprattutto nelle relazioni che si instaurano tra esse e le persone che ne fruiscono, gli strumenti di gestione digitale del Patrimonio edilizio esistente hanno stimolato un ampio sviluppo di studi e ricerche (Daniotti, Gianinetto and Della Torre, 2020) caratterizzate prevalentemente dalla necessità di prestare attenzione a ogni aspetto della vita degli edifici, includendo anche la fase d'uso e l'esperienza dell'utente durante la fruizione (Andersen, Jensen and Ryberg, 2021; Ferretti, Quattrini and D'Alessio, 2022). Pertanto il monitoraggio della fruibilità degli edifici diventa un aspetto interconnesso con la gestione della fase d'uso, essendo focalizzato sull'adeguamento continuo degli spazi affinché rispondano contestualmente alle esigenze funzionali, tecniche e operative che emergono nel corso del tempo e alle aspettative degli utenti in termini di comfort e accessibilità (Cetorelli and Papi, 2024; McGlinn et alii, 2017). Questo implica non solo il mantenimento degli impianti e delle infrastrutture, ma anche l'adattamento dinamico degli spazi a nuove esigenze, per migliorare l'efficienza energetica e parallelamente ottimizzare i servizi e l'organizzazione degli ambienti.

Un tale nuovo modello integrato per la gestione degli edifici è particolarmente significativo se applicato agli edifici museali in quanto edifici complessi che prevedono sempre di più una fruizione collettiva più che individuale, per dar vita a un sistema di relazioni e favorire scambi tra i visitatori (Di Benedetto, 2021). Si tratta di valorizzare il Patrimonio edilizio esistente che integra, tra i parametri da controllare durante la fase di esercizio, numerosi fattori fra loro disomogenei di natura sociale, cognitiva ed emozionale legati proprio alla complessità dell'esperienza di fruizione (Zammuner, 2006).

Le numerose sperimentazioni nazionali e internazionali in ambito museale mostrano come i musei oggi cerchino di riservarsi uno spazio importante nella società, di grande responsabilità e non facile da conquistare. I musei stanno diventando sempre più soggetti attivi sul territorio (Lupo, 2021); il loro valore non è determinato esclusivamente dal Patrimonio protetto e custodito al suo interno, ma soprattutto dal loro ruolo sociale nel diffondere la conoscenza, nel sensibilizzare la società civile alla partecipazione, alle questioni relative alla salvaguardia, alla gestione, alla pianificazione e alla trasmissione del Patrimonio culturale alle generazioni future, collocandosi nella categoria più ampia dei servizi (Riva, 2008; Gupta and Vegelin, 2016); essi rappresentano luoghi democratici, inclusivi e polifonici, aperti al dialogo critico e al confronto tra passato e futuro (Dal Falco and Bonomi, 2021).

Nella sua complessità il museo – in teoria e nella prassi – affronta questioni immateriali legate all'esperienza, finalizzate a dare beneficio a chi lo fruisce (servizio user-friendly) e alle modalità di coinvolgimento, digitalizzazione e forme di interazione (Ander et alii, 2011; Xu et alii, 2023); si occupa inoltre di questioni concrete derivanti dall'essere un servizio attivo nel contribuire a prevenire e mitigare le difficoltà e le criticità (ambientali, sociali e di fruibilità) delle persone nel tempo, attraverso strategie e iniziative (Zakaria, 2023). Il museo si identifica, quindi, come un servizio in termini di fruizione, interazione con gli utenti ed esperienza per il cui funzionamento è importante operare sia in base alle esigenze di tutela dell'ambiente (ecodesign) sia in relazione alle esigenze dei suoi utenti (user-centred design) e delle comunità locali (design per le comunità) attraverso processi di valorizzazione (Cellucci and Villani, 2024), in linea con la nuova definizione di museo quale istituzione permanente al servizio della società, aperto al pubblico, accessibile e inclusivo e che promuove la diversità e la sostenibilità.[1]

Alla complessità legata al 'funzionamento' degli spazi si aggiunge quella relativa al 'funzionamento' delle persone teorizzato dal modello bio-psicosociale ICF (WHO, 2001) che considera il benessere e le capacità individuali come il risultato di un'interazione dinamica tra abilità che si evolvono nell'intero arco della vita e fattori ambientali. Ancor più per i luoghi di cultura queste due dimensioni di complessità devono essere considerate in modo integrato e interconnesso per garantirne la fruibilità fisica e cognitiva a tutti, quale obiettivo primario per chiunque abbia il compito di gestire e promuovere un sito del Patrimonio culturale (Sposito and Scalisi, 2018).

Per affrontare questa sfida è fondamentale considerare la fruibilità non come una semplice condizione da garantire, ma come un 'processo' in continua evoluzione che coinvolge la struttura fisica del museo, i modi d'uso intrapresi dai visitatori, la comunicazione e la formazione continua dei gestori e delle persone che vi lavorano (Cetorelli and Papi, 2024). Un processo che può essere gestito, al pari degli aspetti manutentivi, in maniera predittiva, mettendo in atto un monitoraggio progressivo e costante condotto attraverso un approccio multidisciplinare in grado di acquisire informazioni riferite alla complessità delle persone e dei luoghi della cultura e analizzarle nel dettaglio per proporre soluzioni fisiche, percettive, cognitive e tecnologiche che ne tutelino e valorizzino le peculiarità e la bellezza.

Una tale visione di processo accentua la necessità di indagare le problematiche di fruibilità di questi luoghi in maniera strutturata, integrando la capacità di osservazione critica di gestori e curatori, legata alla approfondita conoscenza delle potenzialità e problematiche delle strutture museali anche in relazione all'uso consapevole delle tecnologie digitali (Bonacini, 2011) con informazioni qualitative sul funzionamento degli edifici, effettuate sulla base della configurazione dello spazio, della disposizione degli elementi spaziali nel layout e delle loro relazioni (Hillier, 2007; Hillier and Hanson, 1984; Penn, 2003).

Riferimento in tal senso sono le sperimentazioni fatte in grandi poli museali come il British Museum di Londra, per verificare l'interazione tra lo spazio e le principali direttrici di movimento dei visitatori; con l'ausilio delle moderne tecnologie IA (Intelligenza Artificiale) e dei sensori IoT (Internet of Things) si possono collezionare e analizzare dati reali relativi ai flussi dei visitatori (Orenes-Vera, Terroso-Saenz and Valdes-Vela, 2021), nonché integrarli con analisi dirette per la valutazione dell'esperienza emotiva dei visitatori (Ceccarelli et alii, 2024) al fine di proporre previsioni di comportamento basati su modelli di Markov (Centorrino et alii, 2021) e tecniche di deep learning (Rossi et alii, 2021).

Data l'eterogeneità dei dati qualitativi sulla 'funzionalità' degli spazi provenienti da analisi indirette mediante la Space Syntax Analysis e i dati quantitativi ottenuti in modalità diretta sulla 'funzionalità delle persone' tramite sensori IoT, spesso raccolte su piattaforme diverse, il contributo si pone l'obiettivo generale di promuovere l'approccio alla fruibilità predittiva considerando i 'processi di funzionamento' della persona e dei luoghi della cultura come domini sovrapponibili. L'obiettivo specifico è proporre una metodologia di integrazione di tutti i dati considerati attraverso uno strumento digitale sviluppato in ambiente BIM (Dixit et alii, 2019) finalizzato alla gestione dei dati sulla fruibilità degli spazi museali per una comprensione intuitiva delle dinamiche spaziali e comportamentali. Tale strumento rappresenta un punto unico di acquisizione della conoscenza per consentire ai gestori e ai curatori delle esposizioni di prendere decisioni più informate e orientate all'ottimizzazione della complessa esperienza di fruizione culturale.

Lo studio è stato sviluppato nella consapevolezza che l'innovazione rappresenta una priorità intellettuale e la tecnologia non è il fine, ma piuttosto uno strumento flessibile che può rivelare scenari sorprendenti dove i dati rappresentano una forma di conoscenza caratterizzata da un importante valore (Valenti et alii, 2024). I risultati della metodologia proposta mostrano che si può facilitare l'integrazione tra osservazione critica della realtà e valutazione quantitativa dei fenomeni sapendo cogliere l'opportunità di «[…] voltarsi verso il mondo per cogliere quello che esso ha da insegnarci per governare problemi complessi, rifiutando quella separazione tra raccolta di dati e costruzione teorica che sta alla base della scienza normale» (Ingold, 2019, pp. 20, 21).

Studi internazionali sull'uso di strumenti BIM-based per unificare dati esterni con dati contestuali dello spazio fisico | Se da un lato i dati vengono utilizzati come strumento per comprendere la realtà attraverso la loro analisi, dall'altro è importante capire come, considerati singolarmente in momenti specifici o nel loro flusso continuo, possano essere integrati e diventare parte dello spazio stesso. Nonostante sia riconosciuta l'urgenza di indirizzare gli studi sulle modalità di integrazione di dati eterogenei riguardanti l'ambiente costruito e il comportamento delle persone che lo fruiscono, ad oggi sono ancora pochi quelli utili a comprendere come poter tenere insieme il sistema uomo-spazio-dato in un equilibrio dinamico.

Per meglio comprendere i passaggi metodologici per la messa a punto di uno strumento digitale per la gestione contestuale di dati disomogenei sulla fruibilità degli spazi museali a supporto dei gestori delle strutture, sono state selezionate e analizzate alcune metodologie utilizzate in casi applicativi presenti in letteratura che propongono l'utilizzo del BIM come strumento di unificazione di dati esterni con i dati contestuali dello spazio fisico, su problematiche diverse. Utilizzando Google Scholar, Web of Science e Scopus come piattaforme di ricerca e impiegando come parole chiave 'IoT', 'BIM', 'integration' e le loro combinazioni, sono stati selezionati studi ufficiali pubblicati nell'arco temporale degli ultimi dieci anni (2014-2024). In questo contesto l'attenzione è stata orientata verso tre criteri di selezione chiave: a) l'eterogeneità dei dati coinvolti; b) l'utilizzo centrale del BIM nell'ambito della raccolta, analisi e visualizzazione dei dati; c) l'applicabilità e la replicabilità degli approcci proposti a contesti differenti, inclusi spazi complessi come quelli museali.

Kensek (2014) indaga la fattibilità dell'integrazione in ambiente BIM di dati esterni provenienti da sensori ambientali (livelli di illuminazione, umidità e concentrazione di CO_2) validando diverse tecnologie e strumentazioni, tra cui Arduino, Dynamo e l'API (Application Programming Interface) di Autodesk

Authors	Domain	Purpose	Tools	Results	Limitations
Kensek, 2014	Dynamic facades	Optimize the facades based on external conditions	Revit + Dynamo, Revit API, Arduino, Photoresistive sensors	Real-time bidirectional simulation and control to improve energy efficiency	Slow interactions, limited interoperability, limited optimization capabilities
Kazado et alii, 2019	Energy-saving	Leverage sensor data, improve decision-making efficiency, and reduce energy consumption	IoT, Revit + Dynamo, Naviswork + API	Improvement of energy efficiency and internal comfort, reduction of operational costs	Integration complexity, scalability improvement needed, sensor dependence
Artan et alii, 2022	Post-occupancy evaluation	Integrate user feedback in a BIM environment	Revit + Dynamo, Bluetooth devices, system architecture	A user-friendly system to communicate occupant comfort needs, effective utilization of the occupant feedback in FM, integration of occupant feedback information with BIM	Dependence on Bluetooth devices, sometimes imprecise, rigid standardization of feedback, limited data analysis capabilities
Fialho et alii, 2022	Lighting maintenance	Support maintenance teams by detecting anomalies and displaying them on the BIM model	Sensors, IoT, Revit + Dynamo, IoT platform	A prototype for smart lighting maintenance capable of transmitting real-time information on BIM and IoT interfaces	Lack of consistent tools and methods for measuring the performance of building components
Scianna et alii, 2021	Structural monitoring	Exploring the integrability of BIM and IoT for infrastructure monitoring	Ultrasonic sensors, Arduino UNO, Wi-fi module, RDBSM, Revit + Dynamo	A low-cost real-time monitoring system	Advanced skills and tools required
Desogus et alii, 2021	Indoor comfort monitoring	Framework for integrating BIM and IoT in indoor comfort monitoring	IoT, Revit + Dynamo, RDBSM	Optimization of indoor comfort conditions, reduction of costs	Technical challenges related to data management and the lack of 3D visualization tools for building analysis
Chang et alii, 2018	Energy-saving	A simplified integration between IoT and BIM for energy-saving	IoT, Arduino, Raspberry Pi, Revit + Dynamo	A platform for transforming sensor data to context-based visualized data and presenting the resulting colour visualization via BIM model	Flexibility improvement needed

Tab. 1 | Overview and key takeaways from the experiments on using BIM-based tools to integrate external data with contextual data of the physical space (credit: G. Romagna, 2024).

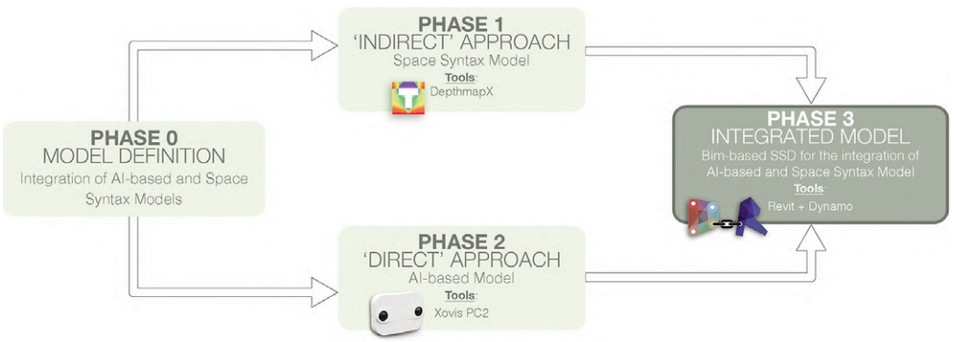


Fig. 1 | Explanatory diagram of the implemented methodology (credits: G. Romagna, 2024).



Fig. 2 | The second-floor plan of the Museum of Rome – Palazzo Braschi shows the various space uses in detail: the exhibition path is highlighted in pink, starting from the entrance (black and red arrow); the room under experimentation (Room 1) is outlined in red (credit: G. Romagna, 2024).

Revit, su diversi casi studio con l'obiettivo di ottimizzare le prestazioni energetiche dell'ambiente costruito. In particolare, sul tema delle facciate intelligenti, viene testata la possibilità di modificare il modello BIM in maniera automatica e sulla base dei dati trasferendo tali modifiche all'asset fisico tramite attuatori connessi ad Arduino. Tra le limitazioni riportate vi è la lentezza delle interazioni tra Revit e Dynamo, rispetto all'utilizzo di software simili non integrati in BIM (ad esempio Rhino Grasshopper), la scarsa interoperabilità nella comunicazione dal modello digitale a quello fisico, che rende difficile la sincronizzazione (Digital Twin), e l'assenza di funzionalità di ottimizzazione delle prestazioni dell'edificio sulla base dei dati.

Kazado, Kavgic e Eskicioglu (2019) similmente indagano l'utilizzo combinato di strumenti su dati di natura energetica con l'obiettivo di migliorare l'efficienza decisionale, permettendone una visualizzazione chiara e ridurre al contempo i consumi. Concentrandosi su un edificio universitario, vengono discussi tre approcci per livelli di complessità: a) sensori-Revit; b) sensori-Revit-Naviswork; c) sensori-Revit-Naviswork-API. La difficoltà di visualizzazione

di grandi volumi di dati del primo approccio viene superata con l'implementazione di Naviswork nel secondo; successivamente nel terzo approccio viene integrata un'API (Application Programming Interface) per abilitare funzionalità avanzate.

Lo studio rileva limitazioni relative alla complessità degli strumenti e delle competenze richieste, che potrebbe ostacolare l'operato dei Facility Manager, rendendo l'uso sistematico eccessivamente oneroso; l'impegnativa gestione dei dati storici limita inoltre la possibilità di analisi a lungo termine, riducendo quindi le capacità di ottimizzazione delle prestazioni. Un'ulteriore criticità riguarda l'adattabilità della metodologia su larga scala: sebbene risulti efficace a livello di singolo edificio, la sua estensione a edifici complessi o a reti di edifici diventa problematica, a causa dell'aumento esponenziale del flusso di dati e delle elevate capacità computazionali richieste. Lo studio mette in evidenza infine come l'affidabilità dipenda dalla qualità e dalla corretta manutenzione dei sensori, considerando l'importanza di una scelta ponderata rispetto alle diverse soluzioni disponibili sul mercato come ulteriore sfida da affrontare.

In un contesto diverso Artan et alii (2022) presentano un metodo avanzato per condurre una valutazione post-occupativa in edifici per uffici che permette, attraverso l'integrazione con tecnologie BIM, di raccogliere e analizzare i feedback sui livelli di comfort, funzionalità e soddisfazione generale degli occupanti. Il prototipo (Rateworkspace) sviluppato utilizza un modello semantico basato sul formato standard IFC (Industry Foundation Class), integrato con tecnologie di localizzazione Bluetooth: questa combinazione permette di collegare i dati raccolti nel modello BIM, rendendoli interrogabili e visualizzabili in maniera intuitiva attraverso avanzate tecnologie di analisi.

Le limitazioni riscontrate risiedono nella dipendenza da tecnologie Bluetooth, meno affidabili in caso di sovraffollamento, oltre che nella rigida standardizzazione dei feedback e nelle funzionalità limitate di analisi dei dati. Inoltre la mancata integrazione con i Sistemi di Automazione dell'Edificio (BAS) che gestiscono, controllano e monitorano i vari aspetti legati all'efficienza operativa dell'edificio, riduce le capacità del sistema di fornire un'analisi in tempo reale. Un'ulteriore barriera si riscontra nell'assenza di un'interfaccia dedicata ai tecnici, che compromette l'efficienza nella gestione delle operazioni di manutenzione; infine la generalizzazione del prototipo è vincolata a un caso d'uso specifico.

In maniera simile Fialho et alii (2022) sviluppano una piattaforma BIM-based per la manutenzione intelligente di edifici universitari, con il focus sull'illuminazione: tramite sensori direttamente applicati sui dispositivi, un modello BIM e una specifica architettura software, la piattaforma proposta consente di rilevare e segnalare in maniera intuitiva i guasti. In particolare la comunicazione tra BIM e IoT avviene attraverso un workflow Dynamo, messo a punto per programmare logiche di rappresentazione grafica del modello in base agli stati di funzionamento. Questo approccio consente di visualizzare il modello in modo dinamico e interattivo, adattando la grafica alle diverse condizioni operative.

Lo studio mette in luce limiti nella complessità tecnica di integrazione dello specifico dominio (illuminazione artificiale) in ambiente BIM, che richiede una calibrazione precisa dei sensori per prevenire interferenze con i livelli d'illuminazione naturale ed evitare misurazioni imprecise. Inoltre, nonostante il numero limitato di variabili coinvolte, il trasferimento dei dati è stato occasionalmente ostacolato dall'instabilità dell'infrastruttura cloud: l'uso di Autodesk online viewer ha determinato una criticità nella trasmissione dei risultati, in quanto non supporta alcune funzionalità avanzate di Dynamo. Infine la sicurezza dei dati e la gestione centralizzata delle informazioni rimangono parzialmente irrisolte, poiché alcune parti del sistema sono ancora vulnerabili in quanto suscettibili a rischi legati all'archiviazione locale dei dati che può comportare perdite di informazioni, accessi non autorizzati o danni ai dati stessi.

Parallelamente Scianna, Gaglio e La Guardia (2022) propongono un'applicazione di integrazione a basso costo per il monitoraggio strutturale in tempo reale di una trave di ponte. Il sistema sviluppato in laboratorio, oltre a sensori ultrasonici, prevede l'utilizzo di Arduino UNO, un modulo wi-fi, un RDBMS (Relational Database Management System) e un modello BIM sviluppato in Autodesk Revit, accompagnato da un workflow Dynamo per la comunicazione continua tra database e modello. Lo studio evidenzia criticità in termini di interoperabilità tra i diversi e complessi strumenti utilizzati che, oltre a richiedere competenze altamente specializzate, rendono difficoltosa l'integrazione di dati nel modello BIM tramite Dynamo. L'interazione tra i sensori e il modello non avviene in tempo reale, causando ritardi nella visualizzazione dei dati, problema significativo in situazioni legate all'ambito specifico. Inoltre il sistema presenta limiti di scalabilità, rendendo necessaria, per l'applicazione su infrastrutture reali, l'adozione di sensori e tecnologie di comunicazione più avanzate, a scapito dell'economicità del metodo, considerata un presupposto iniziale.

Un approccio simile al precedente viene adottato da Desogus et alii (2021) che, sul tema del monitoraggio dei parametri ambientali, propongono un framework di integrazione dati in BIM basato su sensori IoT, modello BIM, RDBMS e un workflow Dynamo per la comunicazione tra questi ultimi, ma criticità appaiono innanzitutto nelle difficoltà legate alla modellazione BIM di edifici esistenti. Questo processo richiede la raccolta di grandi quantità di informazioni, spesso difficili da reperire o incomplete, soprattutto nel caso di edifici storici o di rilevanza architettonica che spesso non dispongono di una documentazione completa su layout costruttivo, componenti e impianti. Inoltre, sebbene l'obiettivo dello studio fosse ottenere un monitoraggio in tempo reale, la raccolta dei dati è stata spesso soggetta a ritardi o discontinuità. Tali problemi derivano sia dalle limitazioni intrinseche delle tecnologie impiegate, sia dalla configurazione del sistema che potrebbe non essere ottimizzata per favorire una efficace raccolta e trasmissione delle informazioni, determinando una rappresentazione incompleta o non tempestiva e quindi incidendo negativamente su decisioni basate sui dati.

Chang, Dzeng e Wu (2018), in modo più speditivo, presentano un approccio semplificato di integrazione tra BIM e dati provenienti da IoT su tematiche di gestione energetica con lo scopo di dimostrare la fattibilità del concetto di integrazione mediante l'impiego di un unico strumento. Utilizzando Autodesk Revit e costruendo in Dynamo un workflow dedicato, la ricerca mostra la possibilità di comunicazione tra sensori e sistemi diversi (come Arduino e Raspberry Pi) ridisegnando le informazioni finali direttamente nel modello, aggiungendo visualizzazioni che esprimono diverse prospettive e supportando quindi decisioni complesse e interdisciplinari.

Gli stessi autori evidenziano limitazioni rispetto alla flessibilità operativa dell'approccio proposto, non testato in caso di situazioni con protocolli di gestione più articolati e complessi. I sensori utilizzati nella sperimentazione presentano inoltre un livello di tolleranza inadeguato per altri contesti in cui è fondamentale garantire un elevato grado di affidabilità del dato. Anche in questo caso la gestione dei dati in tempo reale risulta limitata: il ritardo nella raccolta e nell'elaborazione dei dati potrebbe compromettere la capacità di prendere decisioni tempestive, rendendo meno efficace la piattaforma in scenari



Fig. 3 | Visual cones indicated in Figure 2: a) the entrance of the visitor route; b) Room 1 with the central installation and (above) the sensors installed on suspended cables; c) the passage leading from Room 1 to the main direction of the visit; d) the passage leading from Room 1 to the secondary direction of the visit; e) the entrance of the corner space that aligns (inline) all the previous passageways of the visitor route; f) the exit of the corner space that aligns (inline) all the subsequent passageways of the visitor route (credits: G. Romagna, 2024).

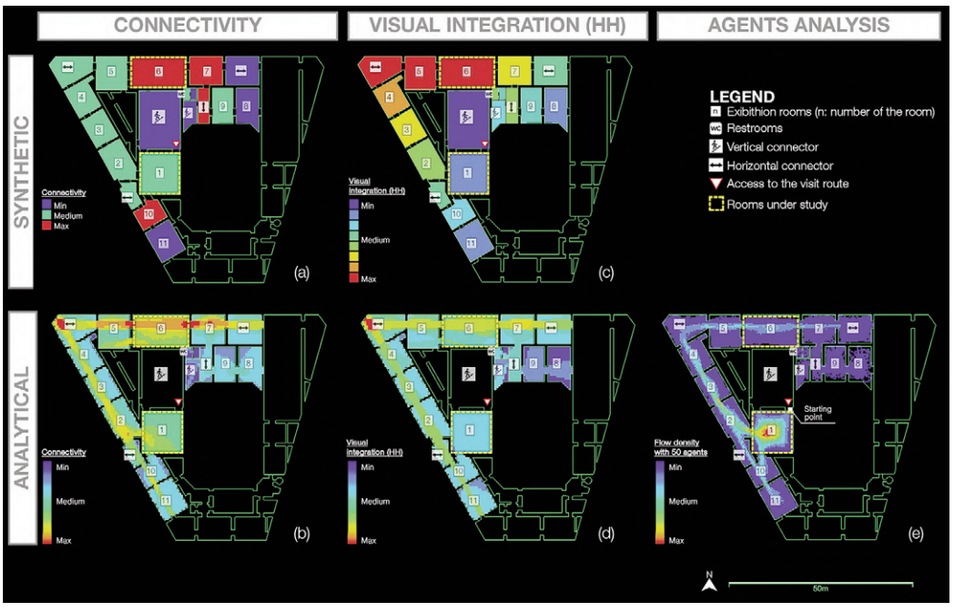


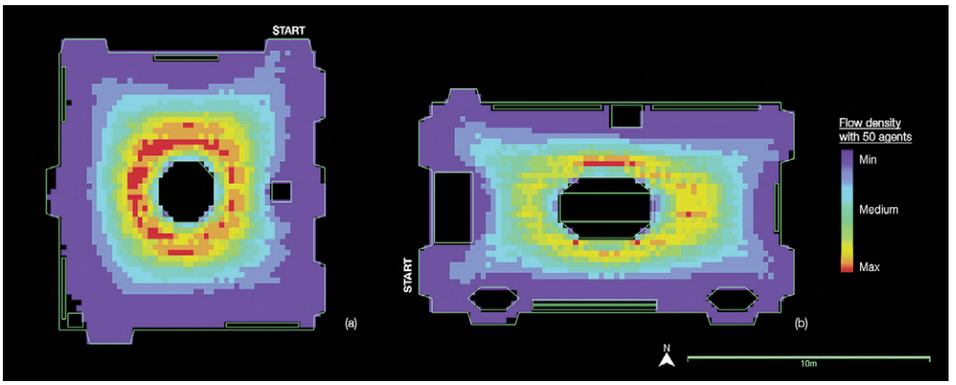
Fig. 4 | Spatial syntax analysis of the entire floor: a) synthetic connectivity; b) analytical connectivity; c) synthetic visual integration; d) analytical visual integration; e) flow analysis through agents (credit: G. Romagna, 2024).

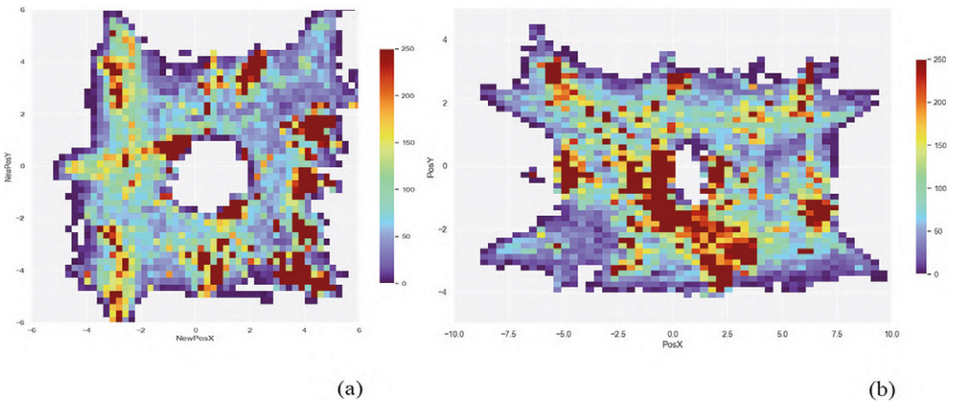
Fig. 5 | Spatial syntax analysis for Room 1 and Room 6: flow analysis through agents of (a) Room 1 and (b) Room 6 (credit: G. Romagna, 2024).

Fig. 6 | Heatmap of Room 1 (a) and Room 6 (b) produced with trajectories collected on June 17, 2023 (credit: G. Romagna, 2024).

Next page

Fig. 7 | The BIM model of Room 1 developed in Autodesk Revit: (left) plan, section and (right) axonometry (credit: G. Romagna, 2024).





che richiedono un monitoraggio continuo e rapido. Infine il workflow proposto presenta delle limitazioni in termini di replicabilità, poiché richiede piccoli adeguamenti in base alle peculiarità del caso studio.

Il quadro di sintesi delle sperimentazioni riportato in Tabella 1 evidenzia che, nonostante la varietà dei domini trattati, vi è una parziale uniformità negli strumenti adottati. Sebbene la maggior parte dei dati derivi da sensori IoT, la flessibilità degli approcci consente anche l'integrazione di dati di natura diversa. Si rileva inoltre che l'aumento delle tecnologie impiegate tende sistematicamente a essere correlato a limitazioni dovute alle complesse competenze richieste.

Un elemento costante in tutti i casi esaminati è l'uso di Autodesk Revit in combinazione con Dynamo, integrato di volta in volta con tecnologie differenti a seconda delle specificità di contesto. Considerando quanto descritto e la natura innovativa delle tematiche oggetto del contributo si è ritenuto vantaggioso adottare un approccio semplificato che faciliti il trasferimento delle conoscenze acquisite dagli studi internazionali condotti, privilegiando l'utilizzo di un unico ambiente di lavoro basato sull'integrazione tra Autodesk Revit e Dynamo. Questa scelta non solo ottimizza i flussi di lavoro, ma riduce la complessità associata all'uso di più strumenti, un limite trasversale riscontrato in tutte le metodologie analizzate.

Metodologia e strumenti per la costruzione dello strumento di gestione di dati eterogenei sulla fruibilità | Gli obiettivi del processo di gestione integrata dei dati sulla fruibilità descritto nell'articolo sono stati raggiunti applicando una metodologia articolata in quattro fasi distinte (Fig. 1). La fase 0 prevede la definizione astratta del modello di analisi integrato. Nello specifico si pianifica la scelta di un insieme di metodi di analisi elementari (sia diretti che indiretti) suggeriti dagli obiettivi del processo di gestione descritto, dalle possibili analisi comparate che si possono effettuare tra i risultati delle analisi singole e dai vincoli presenti nell'ambiente museale. L'implementazione e utilizzazione dei singoli metodi è curata nelle fasi successive della metodologia.

Un primo approccio, denominato 'indiretto' e sviluppato nella fase 1 ha previsto un'indagine sulle proprietà spaziali rilevanti per la fruibilità (Biocca, Villani and Romagnoli, 2022) e il wayfinding (Romagnoli, Villani and Oddi, 2019) attraverso l'applicazione di metodologie configurazionali, sia alla scala del piano sia alla scala della singola stanza; in questa fase è stato pianificato l'uso del software DepthmapX.

Nella fase 2 è stato adottato un secondo approccio definibile 'diretto', già impiegato nell'ambito del progetto ARTEMISIA (Analisi delle Reazioni e delle Traiettorie Museali Individuali con Strumenti di Intelligenza Artificiale; Ceccarelli et alii, 2024) e basato sull'uso di sensori IoT dotati di sistemi di IA integrati (Xovis PC2) per analizzare le traiettorie dei visitatori a livello di stanze del museo.

L'uso comparato dei due approcci citati si basa sull'intuizione che il comportamento dei visitatori è influenzato da due diverse componenti: 1) la configurazione dello spazio, analizzata nella letteratura sulla metodologia Space Syntax; 2) la presenza delle opere d'arte esposte, che attraggono i visitatori e in un certo senso cambiano la loro percezione dello spazio. I due approcci introdotti servono quindi a definire un modello comparativo che sfrutta le ca-

ratteristiche distintive di ciascun metodo al fine di sviluppare un approccio sinergico. I risultati di questa integrazione saranno analizzati nella fase 3 che mette in atto un ulteriore livello di analisi, svolto in modo coordinato.

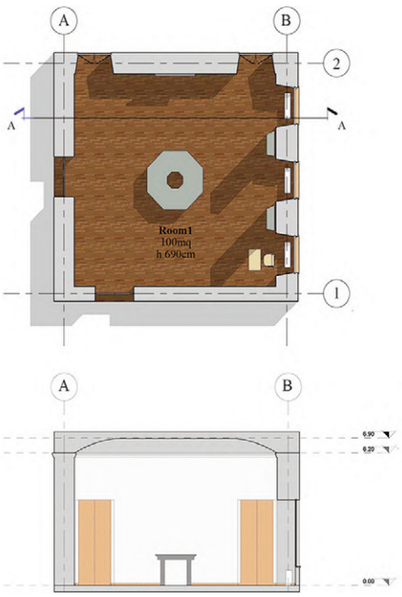
Considerando la difficoltà di accesso e valutazione delle informazioni legate alla gestione della fruibilità è stato scelto il BIM come strumento efficace in grado di collezionare, gestire e aggiornare numerosi insiemi di dati eterogenei in un unico ambiente (IFMA, 2013). Seguendo alcune delle metodologie analizzate in letteratura per l'integrazione di dati esterni in BIM (Chang, Dzeng and Wu, 2018), è stata selezionata una metodologia di integrazione che prevede l'utilizzo combinato del software BIM Revit e del plug-in nativo Dynamo. Quest'ultimo, attraverso la sua interfaccia di programmazione visiva e intuitiva, è in grado di elaborare algoritmi personalizzati per la gestione dei dati connessi al modello BIM, consentendo visualizzazioni grafiche intuitive e quindi di supporto ai decisori.

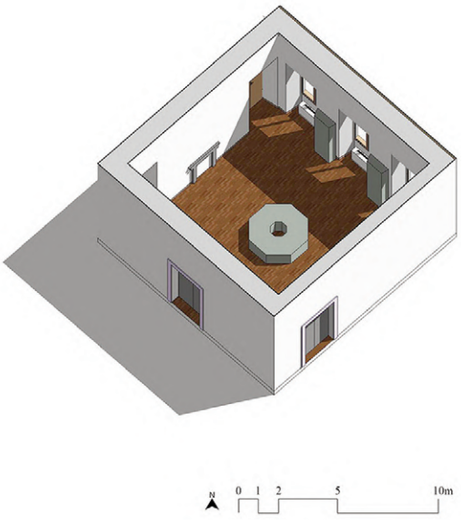
I risultati di questa fase, essenziale per una comprensione più completa e articolata del contesto in esame, hanno consentito di valutare in modo più accurato le dinamiche e le relazioni tra i fattori considerati. In altre parole confrontando i due approcci è possibile comprendere meglio gli effetti delle due componenti distinte (spazio e opere d'arte) sul comportamento delle persone, pertanto le analisi integrate potrebbero suggerire alcuni cambiamenti nell'organizzazione dello spazio nel museo, così come lo spostamento / scambio della posizione di alcune opere d'arte (per quanto possibile).

Il caso studio del Museo di Roma, Palazzo Braschi | La sperimentazione si lega trasversalmente al progetto di ricerca ARTEMISIA[2] e utilizza parte delle analisi sull'esperienza di visita con il supporto di algoritmi di AI condotte per comprendere le dinamiche di comportamento degli utenti in relazione ai contenuti culturali e agli elementi architettonici, organizzativi e didattici. Lo sviluppo applicativo ha avuto luogo presso il Museo di Roma situato a Palazzo Braschi e realizzato tra la fine del XVIII e l'inizio del XIX secolo (Ricci, 1989). L'attuale allestimento permanente, datato 2017, si estende tematicamente tra il secondo e il terzo piano e racconta la storia di Roma dal XVII al XX secolo (D'Amelio, Pirani and Strano, 2018). Il primo piano è invece destinato a mostre temporanee.

Il contesto sul quale sono state elaborate le informazioni indirette sulla sintassi dello spazio e le informazioni dirette provenienti da sensori comprende gli spazi della mostra permanente e in particolare il secondo piano (Fig. 2). Il percorso di visita, a cui si accede dalla scalinata di rappresentanza (Fig. 3a), o tramite l'ascensore, parte dall'ingresso della Sala 1 (Fig. 3b) e si biforca tramite due passaggi in due itinerari: uno principale (Fig. 3c), che conduce fino al termine del percorso, e uno secondario (Fig. 3d), che obbliga a tornare indietro. I passaggi tra le sale espositive sono allineati permettendo al visitatore di percepire visivamente gli spazi precedenti e successivi. Ciò è particolarmente rilevabile nello spazio angolare, nodo centrale dal quale è possibile scorgere tutte le sale precedenti (Fig. 3e) e successive (Fig. 3f), ad esclusione delle Sale 1, 8 e 9.

Nella prima fase sono state condotte una serie di analisi configurazionali focalizzate su due diverse scale di indagine: l'intero secondo piano dedicato alla mostra permanente (Fig. 4) e due sale (Sala 1 e





Sala 6; Fig. 5), ritenute particolarmente rilevanti in quanto rappresentano l'inizio e la fine del percorso di visita. In questa fase è stato utilizzato il software open source Depthmap X 0.8.0 per esaminare l'usabilità fisica e l'integrazione visiva degli spazi che hanno un impatto significativo sulla navigazione dei visitatori (Hillier, 2007) e quindi sulla loro esperienza di visita e sulle dinamiche relazionali.

Nel condurre questa analisi indiretta è stata adottata un'astrazione del modello spaziale, rappresentando gli spazi come nodi e le loro connessioni come linee che collegano i nodi. Da questa astrazione è stato ricavato il grafico della visibilità, che ha consentito di verificare la connettività, una misura che valuta il numero di spazi immediatamente connessi a un dato spazio (usabilità fisica), e l'integrazione visiva, che indica la distanza visiva tra tutti gli spazi. Come ulteriore fase di approfondimento gli ambienti, in dettaglio, sono stati suddivisi idealmente tramite una griglia di punti (dimensioni 60x60 cm, assimilabile allo spazio occupato da una persona in movimento) al fine di calcolare e confrontare i valori corrispondenti. Infine è stata condotta una simulazione dei flussi negli spazi basata su 'agenti' (entità che, basandosi sulla visibilità dei punti della griglia, prendono decisioni statisticamente informate assimilabili al comportamento umano), determinando, sulla base della configurazione spaziale, le aree con densità di flusso prevista maggiore o minore.

Passando alla scala delle due sale sperimentali, gli studi si sono limitati all'analisi dei flussi basata sugli 'agenti': in entrambi gli scenari il software restituisce una visualizzazione qualitativa dei risultati, delineando i diversi valori di ciascuna analisi (connettività, integrazione visiva e densità dei flussi) attraverso una scala cromatica che va dal rosso (valori più alti) al giallo, al verde e al blu (valori più bassi).

La seconda fase è stata condotta, nell'ambito del progetto ARTEMISIA (Ceccarelli et alii, 2024), grazie all'installazione su cavi sospesi di sensori IoT nelle Sale 1 e 6. Nello specifico sono state installate stereocamere Xovis PC2 dotate di algoritmi di visione artificiale in grado di rilevare la presenza umana ed elaborare direttamente nel dispositivo dati strutturati. Le informazioni acquisite includono: marca temporale, ID anonimi dei visitatori, identificatori di sala, coordinate spaziali (x, y) e orientamento della testa del visitatore (dx, dy) sul piano orizzontale.

I risultati della sperimentazione | In questa sede si prende in esame un solo tipo di analisi 'diretta': le heatmap. Tenendo conto dell'uniformità dei dati giornalieri raccolti, vengono presentati i risultati relativi a un singolo giorno campione, scelto arbitrariamente nel giorno di sabato 17 giugno 2023 (Figg. 6a, 6b). Le heatmap consentono un'analisi visiva efficace della distribuzione dei visitatori negli spazi studiati; ciò si ottiene attraverso la trasformazione lineare delle coordinate posizionali in coordinate pixel e l'utilizzo di una scala cromatica che rappresenta i conteggi di permanenza all'interno di ciascun pixel. Ogni volta che un visitatore attraversa un pixel, il conteggio della permanenza in quel punto viene incrementato di uno.

Per la fase relativa all'integrazione (fase 3) la sperimentazione si è concentrata nell'ambito specifico della Sala 1, il cui modello BIM elaborato in Autodesk Revit è illustrato in Figura 7. La sala, di forma quadrata con dimensioni 10x10 metri, è accessibile direttamente dal corpo scala principale tramite due ingressi e comunica, mediante altri due passaggi, con entrambe le direzioni del percorso di visita. Da un punto di vista delle condizioni di illuminazione naturale la sala è caratterizzata da tre ampie finestre collocate su un'unica parete, mentre l'illuminazione artificiale è concentrata sulle opere esposte.

La caratterizzazione architettonica prevede pareti rivestite in intonaco bianco e il soffitto, con un'altezza variabile da 6,20 a 6,90 metri, presenta una volta priva di decorazioni. All'interno della sala sono presenti quattro dipinti, due teche e un'installazione multimediale centrale composta da un volume specchiato con due schermi informativi integrati che forniscono dettagli sulle opere esposte. Oltre a due totem esplicativi situati tra le finestre, sono anche presenti due pannelli informativi posizionati accanto ai due varchi, per guidare i visitatori lungo il percorso espositivo.

In questo contesto il workflow sviluppato in Dynamo (Fig. 8) ha previsto un'organizzazione dei nodi in gruppi tematici visivamente distinti tramite l'uso del colore (verde per i gruppi di input, rosa per i grup-

pi di calcolo e arancione per i gruppi di output). Dopo aver esplicitato la geometria del pavimento del modello caricato in Autodesk Revit (Fig. 8a) e calcolate le coordinate centrali (Fig. 8b) è stato possibile leggere e riadattare le coordinate (Posx, Posy) del file CSV generato dalle stereocamere (Fig. 8c) in modo da calibrarle perfettamente rispetto alla posizione del modello BIM. Questi passaggi risultano particolarmente rilevanti in termini di replicabilità della metodologia proposta, consentendo l'adattabilità del workflow indipendentemente dal posizionamento del modello BIM nello spazio virtuale e risolvendo quindi le limitazioni legate alla flessibilità dello strumento, riscontrate nelle esperienze internazionali precedentemente analizzate.

Il workflow termina infine con due gruppi di output (Figg. 8d, 8e) che generano rispettivamente due heatmaps partendo dai dati dei sensori (Fig. 9a) e dall'output di DepthmapX (Fig. 9b).

Sulla base dei risultati ottenuti l'analisi del flusso basata sugli agenti (Figg. 5a, 9b) evidenzia una concentrazione dei visitatori uniformemente distribuita attorno all'installazione multimediale centrale. Se consideriamo invece la heatmap (Figg. 5b, 9a) tracciata per la stessa stanza, l'uniformità della distribuzione dei flussi, evidente nell'approccio precedente, appare notevolmente distorta, mostrando una maggiore densità di presenza in corrispondenza delle opere d'arte con potenziali problematiche di sovraffollamento nell'angolo inferiore destro. Ciò conferma come il comportamento degli utenti all'interno di uno spazio culturale, inteso come 'contenitore', sia fortemente influenzato dai 'contenuti' esposti, dalle loro caratteristiche peculiari e dalla loro distribuzione rispetto all'ambiente.

In questo senso le evidenze ottenute dall'uso del modello integrato risultano utili a suggerire una consapevole riorganizzazione delle opere d'arte esposte nella Sala 1. In generale è possibile auspicare che questo tipo di analisi comparativa integrata possa essere applicata in modo iterativo in tutte le sale del museo con l'obiettivo di convergere verso una nuova e ottimizzata distribuzione del livello di occupazione degli spazi di fruizione.

Conclusioni | Dallo studio condotto emerge come la disponibilità di informazioni sui contesti fisici che caratterizzano gli edifici museali e sul comportamento dei visitatori ha introdotto modalità di conoscenza e interpretazione fino a pochi anni fa sconosciute. Il percorso di integrazione dei dati, sperimentato attraverso una prima applicazione e che necessita di essere ulteriormente perfezionata in quanto ancora caratterizzata da passaggi complessi e onerosi in termini di lavoro e tempi, rappresenta una sfida complessa, ma necessaria per valorizzare e ottimizzare l'esperienza culturale contemporanea. L'approccio predittivo alla gestione della fruibilità degli spazi museali proposto in questo contributo attraverso l'integrazione di dati quantitativi e qualitativi promuove una visione olistica in cui lo spazio e il visitatore sono interconnessi in un dialogo continuo. Questo metodo innovativo consente di anticipare esigenze future correlate alle esposizioni e migliorare la qualità della fruizione, rendendo i musei non solo contenitori di cultura, ma luoghi attivi di scambio e partecipazione sociale.

Inoltre l'uso di tecnologie BIM per la gestione integrata dei dati spaziali e comportamentali si configura come una soluzione strategica, capace di fornire a curatori e gestori gli strumenti necessari per prendere decisioni più informate e consapevoli per garantire la fruizione ampliata del Patrimonio, in aderenza alla Convenzione delle Nazioni Unite sui Diritti delle Persone con Disabilità (UN, 2008), ai concetti enunciati dalla Convenzione Quadro di Faro (Council of Europe, 2005) e agli articoli 3 e 9 della Costituzione della Repubblica Italiana del 1947.[3]

Una visualizzazione integrata chiara degli aspetti che influenzano la fruibilità può fornire un utile supporto nella redazione / aggiornamento dei PEBA (Piani di Eliminazione delle Barriere Architettoniche) che tutti i musei devono elaborare nella rinnovata accezione della Circolare MIBACT (2018) della Direzione Generale Musei n. 26 del 25 luglio 2018 per superare tutte le barriere (architettoniche, senso-percettive, culturali e cognitive) esistenti nei siti museali. I risultati ottenibili con l'applicazione della metodologia proposta sono già pienamente in linea con i contenuti dei PEBA che sono strumenti di monitoraggio della fruibilità e di pianificazione e coordinamento sugli interventi migliorativi, dal momento che prevedono soluzioni a cui associare anche l'analisi dell'impegno finanziario, delle priorità di intervento e dei tempi di esecuzione.

Quanto prodotto nell'ambito della ricerca offre una prima risposta in termini di strumenti avanzati per effettuare un'attività di monitoraggio periodica, in base agli obiettivi stabiliti dalle strutture sul livello di fruibilità, e per introdurre cambiamenti e/o miglioramenti su vari aspetti, compresi quelli di governance, organizzativi e realizzativi, che possono incidere positivamente sull'incremento dei visitatori, sul livello di gradimento e sul soddisfacimento delle aspettative di visita. Infine, la messa a punto di uno strumento digitale per la gestione contestuale di dati sulla fruibilità potrebbe auspicabilmente contribuire all'implementazione del finanziamento PNRR 'Rimozione delle Barriere Fisiche e Cognitive in Musei, Archivi e Biblioteche, per Consentire un più Ampio Accesso e Partecipazione alla Cultura – Missione 1 – Componente 3 (Turismo e Cultura 4.0) – Investimento 1.2', del valore di 300 milioni di euro, di cui 282 milioni destinati ai luoghi della cultura statali e 18 milioni a quelli non statali.

Rispetto a quanto finora prodotto dalla ricerca ulteriori sviluppi riguarderanno operazioni di ottimizzazione dello strumento di integrazione dei dati e di semplificazione, in modo tale che la complessità delle fasi e degli strumenti utilizzati – che può apparire

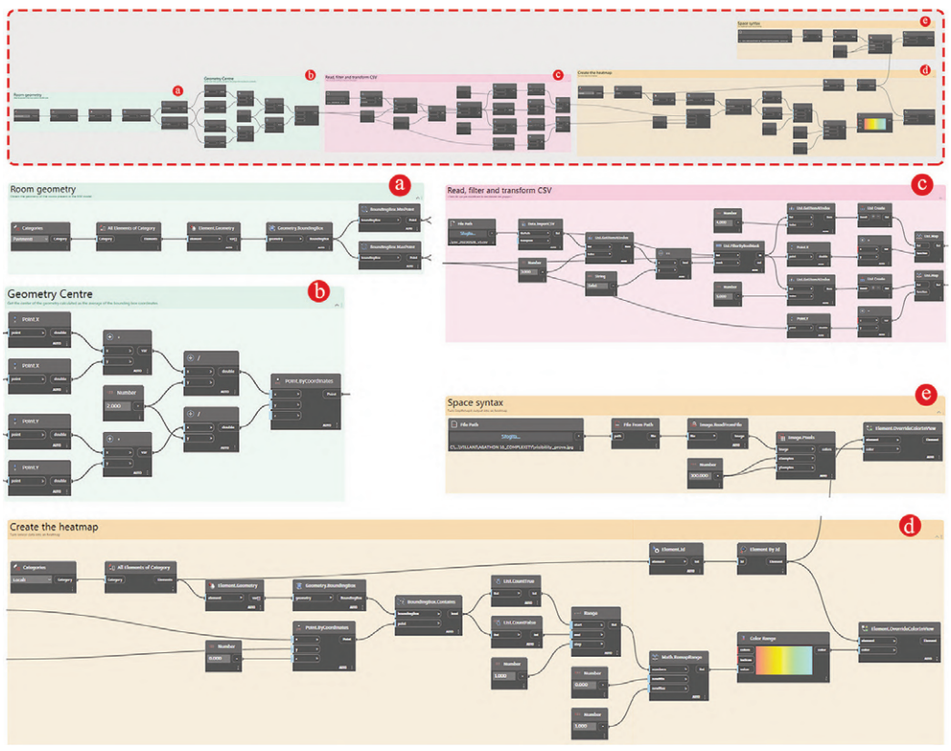


Fig. 8 | The workflow developed in Dynamo (above) is divided into groups (below): a) floor geometry representation; b) central coordinate calculation; c) reading and adapting the coordinates in the CSV according to the model; d) visualising sensor data in heatmap; e) transposing and visualising DepthmapX output in heatmap (credit: G. Romagna, 2024).

come una criticità che limita lo sviluppo e l'adozione di questo approccio innovativo – possa essere superata per arrivare a una profonda comprensione delle dinamiche spaziali e comportamentali e ottenere risposte più precise e mirate alle esigenze delle comunità che fruiscono degli spazi museali, migliorando così l'esperienza culturale e sociale nel suo complesso.

In a context where digital transformation facilitates knowledge and predictive management of the built environment, considering both its material and immaterial components, and especially the relationships between them and the people who interact with them, digital management tools for existing built heritage have stimulated extensive research (Daniotti, Gianinetto and Della Torre, 2020) mainly characterised by the need to pay attention to every aspect of the building's life, including the use phase and the user's experience (Andersen, Jensen and Ryberg, 2021; Ferretti, Quattrini and D'Alessio, 2022). Thus, monitoring building usability becomes intertwined with managing the use phase, as it aims to continuously adapt spaces to meet functional, technical, and operational needs over time, along with user expectations for comfort and accessibility (Cetorelli and Papi, 2024; McGlinn et alii, 2017). This involves not only maintaining facilities and infrastructure but also dynamically adjusting spaces to new needs, improving energy efficiency while optimising services and the organisation of environments.

Such an integrated building management model is particularly significant when applied to museums, as these are complex structures increasingly designed for collective, rather than individual, experiences, fostering interactions and exchanges between visitors (Di Benedetto, 2021). Given the complexity of the visitor experience (Zammuner, 2006), the goal is to enhance existing heritage buildings by controlling various social, cognitive, and emotional factors during the use phase.

Numerous national and international experiments in the museum sector demonstrate how museums today strive to carve out an important societal role, one of great responsibility that is not easily achieved. Museums are becoming increasingly active entities within their communities (Lupo, 2021); their value is not solely determined by the cultural heritage they protect, but by their social role in disseminating knowledge, raising awareness about civic participation, safeguarding, managing, and transmitting cultural heritage to future generations (Riva, 2008; Gupta and Vegelin, 2016). They represent democratic, inclusive, and polyphonic spaces, open to critical dialogue and reflection on the past and the future (Dal Falco and Bonomi, 2021).

In its complexity, the museum – in theory and practice – deals with intangible issues related to the experience, aimed at benefiting the user (user-friendly service) and the ways of involvement, digitisation, and forms of interaction (Ander et alii, 2011; Xu et alii, 2023); it also deals with concrete issues arising from being an active service in helping to prevent and mitigate difficulties and criticalities (environmental, social, and usability) over time for people, through strategies and initiatives (Zakaria, 2023). Thus, museums are seen as services in terms of usability, user interaction, and experience, where it is essential to operate both by environmental protection (eco-design) and user needs (user-centred design) while considering local communities (community-oriented design) through enhancement processes (Cellucci and Villani, 2024). This aligns with the new definition of a museum as a permanent institution that serves society, is open to the public, is accessible and inclusive, and promotes diversity and sustainability.[1]

In addition to the complexity of how spaces 'function', there is also the complexity of how people 'function' as theorised by the ICF bio-psycho-social model (WHO, 2001), which considers individual well-being and capabilities as the result of a dynamic interaction between abilities that evolve over a lifetime and environmental factors. Particularly for cultural spaces, these two dimensions of complexity must be considered in an integrated and interconnected way to ensure physical and cognitive accessibility for all, which is a primary goal for those managing and promoting cultural heritage sites (Sposito and Scalisi, 2018).

To address this challenge, usability should not be seen as a fixed condition to guarantee but as an evolving process involving the physical structure of the museum, the ways visitors interact with it, and the ongoing training of staff and management (Cetorelli and Papi, 2024). This process can be managed predictively, like maintenance aspects, through progressive and continuous monitoring using a multidisciplinary approach that gathers and analyses detailed information about people and cultural spaces. The goal is to propose physical, perceptual, cognitive, and technological solutions that protect and enhance the uniqueness and beauty of both systems.

This vision emphasises the need to investigate usability issues in a structured way, integrating the critical observation skills of managers and curators, based on their in-depth knowledge of museum structures and their issues also according to the conscious use of digital technologies (Bonacini, 2011), with qualitative information about how buildings function. This can be done by analysing spatial configuration, the arrangement of spatial elements in the layout, and their relationships (Hillier, 2007; Hillier and Hanson, 1984; Penn, 2003).

This approach is supported by trials conducted at major museums like the British Museum in London, which assessed the interaction between space and visitors' movement patterns. By using AI (Artificial Intelligence) and IoT (Internet of Things) sensors to collect and analyse real visitor flow data (Orenes-Vera, Terroso-Saenz and Valdes-Vela, 2021), it becomes possible to integrate direct analyses for evaluating visitors' emotional experiences (Ceccarelli et alii, 2024), predicting behaviour using Markov models (Centorrino et alii, 2021) and deep learning techniques (Rossi et alii, 2021).

Given the heterogeneity of qualitative spatial data from indirect analyses (like Space Syntax Analysis) and quantitative data obtained directly about 'user functionality' via IoT sensors, often collected on different platforms, this contribution aims to promote a predictive accessibility approach by considering the 'functional processes' of both people and cultural spaces as overlapping domains. The specific objective is to propose a methodology for integrating all relevant data through a digital tool developed in a BIM environment (Dixit et alii, 2019) to manage data on museum space accessibility, enabling an intuitive understanding of spatial and behavioural dynamics. This tool is a unique knowledge source to help managers and curators make better-informed decisions to optimise the complex cultural experience.

This study was developed with the understanding that innovation is an intellectual priority, and technology is not an end but rather a flexible tool capable of revealing surprising scenarios where data represent a form of knowledge with significant value (Valenti et alii, 2024). The proposed methodology's results show that it is possible to facilitate the integration of critical observation with quantitative assessment of phenomena, recognising the opportunity to turn to the world to learn what it has to teach us to address complex problems, rejecting the separation between data collection and theoretical construction that underpins normal science (Ingold, 2019).

International studies on the use of BIM-based tools to unify external data with contextual data of physical space | While data are used to understand reality through analysis, it is crucial to understand how, when considered individually in specific moments or their continuous flow, they can be integrated and become part of the space itself. Although there is an urgent need to focus studies on integrating heterogeneous data related to the built environment and user behaviour, there are still few that successfully explain how to maintain a dynamic balance between the human-space-data system.

To better understand the methodological steps necessary to develop a digital tool for managing heterogeneous data on museum space accessibility and to support museum managers, some methodologies were selected and analysed from the literature. These cases propose using BIM to unify external data with contextual physical space data, focusing on different issues. Using platforms such as Google Scholar, Web of Science, and Scopus, official studies published over the last decade (2014-2024) were selected using keywords like 'IoT', 'BIM', 'integration', and their combinations. The analysis focused on three key selection criteria: a) the heterogeneity of the data involved; b) the central role of BIM in data collection, analysis, and visualisation; and c) the applicability and replicability of the proposed approaches in different contexts, including complex spaces like museums.

Kensek (2014) explores the feasibility of integrating external data from environmental sensors (such as lighting levels, humidity, and CO_2 concentration) into a BIM environment, validating various technologies and tools, including Arduino, Dynamo, and Autodesk Revit's API (Application Programming Interface), across different case studies to optimise the energy performance of the built environment. Specifically, regarding smart facades, the study tests the possibility of automatically modifying the BIM model based on sensor data, transferring these changes to the physical asset through actuators connected to Arduino. Among the limitations reported is the slow interaction between Revit and Dynamo, compared to similar non-BIM integrated software (e.g., Rhino Grasshopper), the poor interoperability in communication from the digital to the physical model, which makes synchronisation (e.g., Digital Twin) difficult, and the lack of optimisation functionalities for building performance based on the data.

Similarly, Kazado, Kavgic and Eskicioglu (2019) investigate using tools with energy-related data to improve decision-making efficiency by enabling clear visualisation while simultaneously reducing consumption. Focusing on a university building, they discuss three approaches with increasing levels of complexity: a) sensors-Revit; b) sensors-Revit-Naviswork;

c) sensors-Revit-Naviswork-API. The difficulty in visualising large volumes of data in the first approach is overcome by implementing Naviswork in the second. Subsequently, the third approach integrates an API (Application Programming Interface) to enable advanced functionalities.

The study reveals limitations related to the complexity of the tools and the skills required, which could hinder the work of Facility Managers, making the systematic use excessively burdensome; furthermore, the demanding management of historical data limits long-term analysis capabilities, thereby reducing performance optimisation potential. Another issue pertains to the scalability of the methodology. Although it proves effective for individual buildings, its extension to complex buildings or networks of buildings becomes problematic due to the exponential increase in data flow and the high computational power required. The study also highlights how reliability depends on the quality and proper maintenance of sensors, underscoring the importance of making a careful choice among the various solutions available on the market, which presents an additional challenge.

In a different context, Artan et alii (2022) present an advanced method for conducting post-occupancy evaluations in office buildings that allows for the collection and analysis of feedback on comfort levels, functionality, and overall occupant satisfaction through integration with BIM technologies. The developed prototype (Rateworkspace) uses a semantic model based on the standard IFC (Industry Foundation Class) format, integrated with Bluetooth localisation technologies; this combination enables the linking of the data collected in the BIM model, making it queryable and intuitively visualisable through advanced analytical technologies.

The limitations identified include dependence on Bluetooth technologies, which are less reliable in crowded environments, rigid standardisation of feedback and limited data analysis functionalities. Additionally, the lack of integration with Building Automation Systems (BAS), which manage, control, and monitor various aspects related to building operational efficiency, reduces the system's ability to provide real-time analysis. Another barrier is the lack of an interface dedicated to technicians, which compromises operational maintenance efficiency. Finally, the generalisation of the prototype is constrained by a specific use case.

Similarly, Fialho et alii (2022) develop a BIM-based platform for smart maintenance in university buildings, focusing on lighting. Using sensors directly applied to devices, a BIM model, and specific software architecture, the proposed platform allows for intuitive detection and reporting of failures. Specifically, communication between BIM and IoT takes place through a Dynamo workflow, designed to program the graphical representation logic of the model based on operational states. This approach enables dynamic and interactive visualisation of the model, adjusting the graphics according to different operational conditions.

The study highlights limitations in the technical complexity of integrating the specific domain (artificial lighting) into the BIM environment, requiring precise calibration of sensors to prevent interference with natural lighting levels and avoid inaccurate measurements. Additionally, despite the limited number of variables involved, data transfer was occasionally hindered by the instability of the cloud infrastructure: the use of Autodesk online viewer posed a critical issue in transmitting results, as it does not support some advanced Dynamo functionalities. Finally, data security and centralised information management remain partially unresolved, as some parts of the system are still vulnerable to risks related to local data storage, which can result in information loss, unauthorised access, or data damage.

In parallel, Scianna, Gaglio and La Guardia (2022) propose a low-cost integration application for real-time structural monitoring of a bridge beam. The system developed in the laboratory, in addition to ultrasonic sensors, includes the use of Arduino UNO, a Wi-Fi module, an RDBMS (Relational Database Management System), and a BIM model developed in Autodesk Revit, accompanied by a Dynamo workflow for continuous communication between the database and the model. The study highlights challenges in terms of interoperability between the various complex tools used, which, in addition to requiring highly specialised skills, make data integration into the BIM model via Dynamo difficult. The interaction between the sensors and the model does not occur in real-time, causing delays in data visualisation, a significant problem in this specific field. Furthermore, the system has scalability limitations, requiring more advanced sensors and communication technologies for application to real infrastructures, thereby compromising the cost-effectiveness of the method, which was an initial premise.

A similar approach is adopted by Desogus et alii (2021), who, on the topic of environmental parameter monitoring, propose a BIM data integration framework based on IoT sensors, a BIM model, RDBMS, and a Dynamo workflow for communication between the latter. The study highlights the challenges associated with the BIM modelling of existing buildings, which requires the collection of large amounts of information, often difficult to obtain or incomplete, especially in the case of historical or architecturally significant buildings that often lack comprehensive documentation on the construction layout, components, and systems. Moreover, although the study aimed to achieve real-time monitoring, data collection was often subject to delays or discontinuities. These problems arise from the intrinsic limitations of the technologies employed and the system configuration, which may not be optimised to facilitate effective information collection and transmission, resulting in incomplete or untimely representations and thus negatively affecting data-driven decisions.

Chang, Dzeng and Wu (2018) present a simplified approach to BIM integration with IoT data on energy management issues to demonstrate the feasibility of the integration concept using a single tool. Using Autodesk Revit and building a dedicated workflow in Dynamo, the research shows the possibility of communication between sensors and different systems (such as Arduino and Raspberry Pi) by redrawing the final information directly in the model, adding visualisations that express different perspectives, thereby supporting complex and interdisciplinary decisions.

The authors highlight limitations regarding the operational flexibility of the proposed approach, which was not tested in situations with more articulated and complex management protocols. The sensors used in the experiment also show an inadequate tolerance level for other contexts where it is crucial to ensure a high degree of data reliability. Again, real-time data management is limited: delays in data collection and processing could compromise the ability to make timely decisions, making the platform less effective in scenarios that require continuous and rapid monitoring. Finally, the proposed workflow presents limitations in terms of replicability, as it requires small adjustments based on the specificities of the case study.

The summary framework of the experiments reported in Table 1 highlights that, despite the variety of domains addressed, the tools adopted are partially uniform. Although most of the data come from IoT sensors, the flexibility of the approaches also allows for the integration of different types of data. It is also noted that the increase in employed technologies tends to correlate with limitations due to the complex skills required systematically.

A constant element in all the examined cases is the use of Autodesk Revit in combination with Dynamo, integrated with different technologies depending on the specific context. Given the innovative nature of the topics covered in this contribution, it was deemed advantageous to adopt a simplified approach that facilitates the transfer of knowledge acquired from international studies, prioritising the use of a single working environment based on the integration of Autodesk Revit and Dynamo. This choice not only optimises workflows but also reduces the complexity associated with using multiple tools, a cross-cutting limitation found in all the methodologies analysed.

Methodology and tools for building a data management system for usability | The goals of the integrated data management process described in this article were achieved by applying a methodology divided into four distinct phases (Fig. 1). Phase 0 involves the abstract definition of the integrated analysis model. Precisely, the choice of a set of elementary analysis methods (both direct and indirect) is planned, informed by the goals of the management process described, the possible comparative analyses that can be carried out between the results of individual analyses, and the constraints present in the museum environment. The implementation and use of individual methods are handled in the subsequent phases of the methodology.

The first approach, called 'indirect' and developed in Phase 1, involved investigating the spatial properties relevant to usability (Biocca, Villani and Romagnoli, 2022) and wayfinding (Romagnoli, Villani and Oddi, 2019) through the application of configurational methodologies at the floor scale and the individual room scale. In this phase, the use of DepthmapX software was planned.

In Phase 2, a second approach, called 'direct', was adopted, which had already been used within the ARTEMISIA project (lit. Analysis of Individual Museum Reactions and Trajectories with Artificial Intelligence Tools; Ceccarelli et alii, 2024). This approach was based on using IoT sensors equipped with integrated AI systems (Xovis PC2) to analyse visitor trajectories at the museum room level.

The comparative use of the two approaches mentioned is based on the insight that visitor behaviour is influenced by two different components: 1) the spatial configuration, analysed in the literature on Space Syntax methodology, and 2) the presence of the exhibited artworks, which attract visitors and, in a way, change their perception of space. The two introduced approaches thus define a comparative model that leverages the distinctive characteristics of each method to develop a synergistic approach. The results of this integration will be analysed in Pha-

se 3, which implements a further level of coordinated analysis.

Given the difficulty of accessing and evaluating information related to usability management, BIM was chosen as an effective tool capable of collecting, managing, and updating numerous heterogeneous datasets in a single environment (IFMA, 2013). Following some of the methodologies reviewed in the literature for integrating external data into BIM (Chang, Dzeng and Wu, 2018), a methodology was selected that involves the combined use of BIM Revit software and the native Dynamo plug-in. The latter, through its visual and intuitive programming interface, can develop custom algorithms for managing data connected to the BIM model, allowing intuitive graphic visualisations that support decision-makers.

The results of this phase, essential for a more complete and articulated understanding of the context under examination, have allowed for a more accurate evaluation of the dynamics and relationships between the factors considered. In other words, comparing the two approaches helps better understand the effects of the two distinct components (space and artworks) on people's behaviour. As a result, integrated analyses may suggest some changes in the organisation of the museum space, as well as the relocation/exchange of some artworks' positions (where possible).

Case study of the Museo di Roma, Palazzo Braschi | The experiment is connected to the ARTEMISIA[2] research project and utilises part of the analyses on the visitor experience, supported by AI algorithms, conducted to understand the behavioural dynamics of users according to cultural content and architectural, organisational, and educational elements. The application development took place at the Museo di Roma in Palazzo Braschi, built between the late 18th and early 19th centuries (Ricci, 1989). The current permanent exhibition, dated 2017, spans the second and third floors; it tells the story of Rome from the 17th to the 20th century (D'Amelio, Pirani and Strano, 2018). On the other hand, the first floor is dedicated to temporary exhibitions.

The context on which the indirect information about space syntax and the direct information from sensors were processed includes the spaces of the permanent exhibition, particularly the second floor (Fig. 2). The visit path, accessed from the main staircase (Fig. 3a) or via the elevator, starts from the entrance of Room 1 (Fig. 3b) and splits into two routes: a main one (Fig. 3c), which leads to the end of the path, and a secondary one (Fig. 3d), which requires visitors to return the way they came. The passages between the exhibition rooms are aligned, allowing visitors to perceive previous and subsequent spaces visually. This is particularly noticeable in the angular space, a central node from which all previous (Fig. 3e) and subsequent (Fig. 3f) rooms can be glimpsed, except for Rooms 1, 8, and 9.

In the first phase, a series of configurational analyses focused on two different scales of investigation were conducted: the entire second floor dedicated to the permanent exhibition (Fig. 4) and two rooms (Room 1 and Room 6; Fig. 5), considered particularly relevant as they represent the beginning and end of the visit path. In this phase, the open-source Depthmap X 0.8.0 software was used to examine the physical usability and visual integration of the spaces – which have a significant impact on visitor navigation (Hillier, 2007) – and, thus, on their visit experience and relational dynamics.

In conducting this indirect analysis, an abstraction of the spatial model was adopted, representing spaces as nodes and their connections as lines connecting the nodes. From this abstraction, the visibility graph was derived, allowing the connectivity, a measure that evaluates the number of spaces immediately connected to a given space (physical usability), and visual integration, which indicates the visual distance between all spaces, to be verified. As a further stage of in-depth analysis, the environments were ideally divided using a grid of points (60x60 cm dimensions, comparable to the space occupied by a moving person) to calculate and compare the corresponding values. Finally, a simulation of flows in the spaces was conducted based on 'agents' (entities that, based on the visibility of the grid points, make statistically informed decisions similar to human behaviour), determining the areas with greater or lesser expected flow density solely based on spatial configuration. Moving on to the scale of the two experimental rooms, the studies were limited to agent-based flow analysis. In both scenarios, the software provides a qualitative visualisation of the results, outlining the different values of each analysis (connectivity, visual integration, and flow density) through a colour scale ranging from red (the highest values) to yellow, green, and blue (the lowest values).

The second phase was conducted as part of the ARTEMISIA project (Ceccarelli et alii, 2024) through the installation of IoT sensors on suspended cables in Rooms 1 and 6. Specifically, Xovis PC2 stereo cameras equipped with artificial vision algorithms were installed, capable of detecting human presence and directly processing structured data on the device. The acquired information includes timestamps, anonymous visitor IDs, room identifiers, spatial coordinates (x, y), and visitor head orientation (dx, dy) on the horizontal plane.

Experimental results | This study examines only one type of 'direct' analysis: heatmaps. Given the uniformity of the daily data collected, the results for a single sample day, arbitrarily chosen as Saturday, 17 June 2023 (Figg. 6a, 6b), are presented. Heatmaps enable an effective visual analysis of visitor distribution in the studied spaces. This is achieved by linearly transforming positional coordinates into pixel coordinates and using a colour scale representing dwell time counts within each pixel. Each time a visitor crosses a pixel, the dwell time count for that point is incremented by one.

For the integration phase (Phase 3), the experiment explicitly focused on Room 1, whose BIM model developed in Autodesk Revit is illustrated in Fig. 7. The room, square in shape with dimensions of 10x10 meters, is directly accessible from the main staircase via two entrances and communicates, through two other passages, with both directions of the visit path. From the point of view of natural lighting conditions, the room is characterised by three large windows

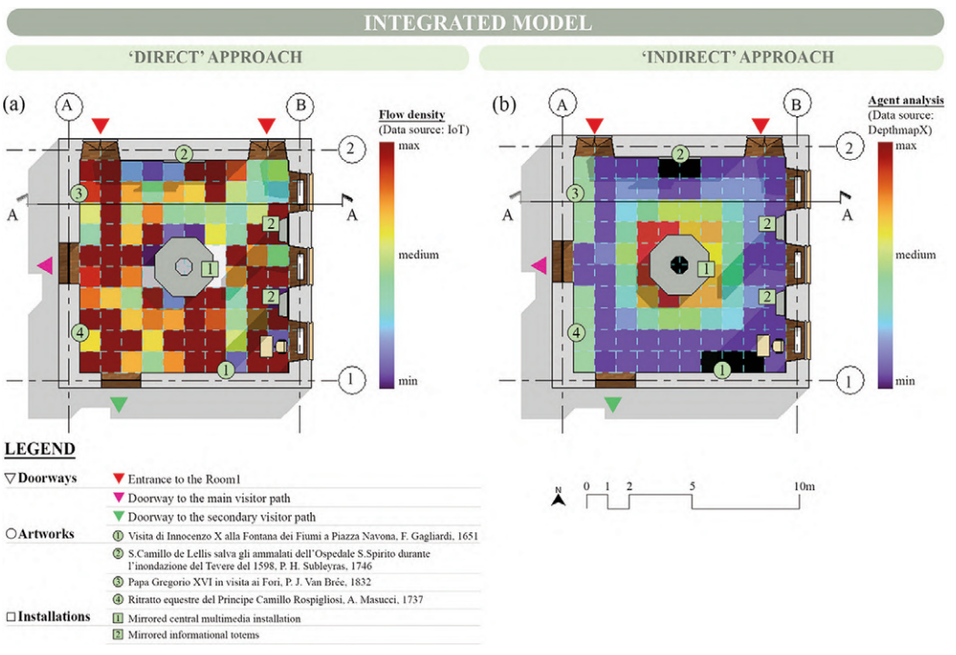


Fig. 9 | The outputs of the integrated model developed via the Dynamo workflow: a) sensor data; b) Space Syntax (credit: G. Romagna, 2024).

located on one wall, while artificial lighting is focused on the exhibited artworks.

The architectural characterisation includes walls covered in white plaster and a ceiling with a varying height, featuring a plain vault, from 6.20 to 6.90 meters. Inside the room, there are four paintings, two display cases, and a central multimedia installation consisting of a mirrored volume with two integrated information screens providing details about the exhibited works. Additionally, two explanatory totems are located between the windows, and two information panels are positioned next to the two openings, guiding visitors along the exhibition route.

In this context, the workflow developed in Dynamo (Fig. 8) involved organising the nodes into thematically distinct groups through colour (green for input groups, pink for calculation groups, and orange for output groups). After specifying the floor geometry of the model loaded in Autodesk Revit (Fig. 8a) and calculating the central coordinates (Fig. 8b), it was possible to read and adjust the coordinates (Posx, Posy) of the CSV file generated by the stereo cameras (Fig. 8c) to calibrate them concerning the BIM model's position perfectly. These steps are particularly relevant regarding the replicability of the proposed methodology, allowing for the adaptability of the workflow regardless of the BIM model's position in virtual space, thus solving the flexibility limitations of the tool observed in previously analysed international experiences.

The workflow concludes with two groups of outputs (Figg. 8d, 8e), which generate two heatmaps respectively based on sensor data (Fig. 9a) and the DepthmapX output (Fig. 9b).

Based on the obtained results, the agent-based flow analysis (Figg. 5a, 9b) shows a uniformly distributed concentration of visitors around the central multimedia installation. However, when we consider the heatmap (Figg. 5b, 9a) for the same room, the uniformity of flow distribution, as observed in the previous approach, appears significantly distorted, indicating a higher density of visitors around the artworks, with potential overcrowding issues in the bottom right corner. This confirms how visitor behaviour within a cultural space, seen as a 'container', is strongly influenced by the exhibited 'contents', their specific characteristics, and their layout according to the environment.

In this sense, the findings from the use of the integrated model are useful in suggesting a thoughtful reorganisation of the artworks displayed in Room 1. Generally, it is possible to hope that this integrated comparative analysis could be applied iteratively in all museum rooms to aim for a new and optimised distribution of space usage levels.

Conclusions | The study reveals that the availability of information on the physical contexts characterising museum buildings and visitor behaviour has introduced methods of knowledge and interpretation that were unknown until a few years ago. The data integration process, tested through a first application that needs further refinement due to its complex and labour-intensive steps, represents a complex but necessary challenge to enhance and optimise the contemporary cultural experience. Through the integration of quantitative and qualitative data, the predictive approach to managing the usability of museum spaces proposed in this contribution promotes a holistic vision in which the space and the visitor are interconnected in a continuous dialogue. This innovative method allows for anticipating future needs related to exhibitions and improving the quality of the experience, turning museums not just into containers of culture but into active places of exchange and social participation.

Furthermore, the use of BIM technologies for the integrated management of spatial and behavioural data emerges as a strategic solution, capable of providing curators and managers with the necessary tools to make more informed and conscious decisions, essential to ensuring broader accessibility to cultural heritage, in adherence to the United Nations Convention on the Rights of Persons with Disabilities (UN, 2008), the concepts outlined in the Faro Framework Convention (Council of Europe, 2005), and Articles 3 and 9 of the 1947 Italian Constitution.[3]

A clear integrated visualisation of the factors influencing usability can offer valuable support in drafting or updating PEBA (Plans for the Elimination of Architectural Barriers), which all museums must develop in line with the renewed understanding outlined in the MIBACT (2018) Circular of the Directorate General of Museums no. 26 of 25 July 2018, to overcome all existing barriers (architectural, sensory-perceptual, cultural, and cognitive) in museum sites. The results achievable through the application of the proposed methodology are already fully in line with the content of PEBA, which serve as monitoring tools for usability and planning and coordinating improvement interventions, as they provide solutions that also include the analysis of financial commitment, intervention priorities, and execution times.

What has been produced within this research offers an initial response in terms of advanced tools to conduct periodic monitoring activities based on the objectives set by institutions concerning usability levels and to introduce changes and/or improvements in various aspects, including governance, organisational, and implementation, which can positively impact the increase in visitors, satisfaction levels, and fulfilment of visit expectations. Lastly, the development of a digital tool for contextual management of usability data could potentially contribute to the implementation of the PNRR funding for 'Removal of Physical and Cognitive Barriers in Museums, Archives, and Libraries to Allow Broader Access and Participation in Culture – Mission 1 – Component 3 (Tourism and Culture 4.0) – Investment 1.2', with a total value of 300 million euros, of which 282 million are allocated to state-owned cultural sites and 18 million to non-state sites.

Regarding what has been produced so far from the research, further developments will focus on optimising the data integration tool and simplifying it so that the complexity of the phases and tools used – which may appear as a limitation to the development and adoption of this innovative approach – can be overcome to achieve a deeper understanding of the spatial and behavioural dynamics and obtain more precise and targeted responses to the needs of the communities using museum spaces, thereby improving the cultural and social experience as a whole.

Acknowledgements

Thanks to all participants in the ARTEMISIA research project (Analisi delle Reazioni e delle Traiettorie Museali Individuali con Strumenti di Intelligenza Artificiale; lit. Analysis of Individual Museum Reactions and Trajectories with Artificial Intelligence Tools). For more information, visit the website: artemisiaproject.it [Accessed 30 September 2024].

Special thanks also go to the Capitoline Superintendency (Rome) for Cultural Heritage.

Notes

1) In 2022, ICOM approved a new Museum definition. For more information, see the webpage: icom.museum/en/news/icom-approves-a-new-museum-definition/ [Accessed 10 September 2024].

2) ARTEMISIA is a research project funded by the Lazio Region through Lazio Innova within the DTC (Distretto Tecnologico per i Beni e le Attività Culturali; lit. Technological District for Cultural Heritage and Activities) of the Centre of Excellence on Intervention TE 1 – Invitation to the Centre of Excellence to present projects for the second phase – RSI, project CUP: F85F21001090003 with determination no. G12666 of 18 October 2021, published in the BURL no. 99 of 21 October 2021.

3) The text of the Constitution can be viewed on the webpage: gazzettaufficiale.it/dettaglio/codici/costituzione [Accessed 10 September 2024].

References

Ander, E., Thomson, L., Noble, G., Lanceley, A., Menon, U. and Chatterjee, H. (2011), "Generic well-being outcomes – Towards a conceptual framework for well-being outcomes in museums", in *Museum Management and Curatorship*, vol. 26, issue 3, pp. 237-259. [Online] Available at: doi.org/10.1080/09647775.2011.585798 [Accessed 10 September 2024].

Andersen, R., Jensen, L. B. and Ryberg, M. (2021), "Using digitized public accessible building data to assess the renovation potential of existing building stock in a sustainable urban perspective", in *Sustainable Cities and Society*, vol. 75, article 103303, pp. 1-8. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scs.2021.103303 [Accessed 10 September 2024].

Artan, D., Ergen, E., Kula, B. and Guven, G. (2022), "Rateworkspace – BIM integrated post-occupancy evaluation system for office buildings", in *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 27, pp. 461-485. [Online] Available at: doi.org/10.36680/j.itcon.2022.022 [Accessed 10 September 2024].

Biocca, L., Villani, T. and Romagnoli, F. (2022), "Usability of Visiting Routes in Heritage – The Case Study of Mercati di Traiano", in Garofolo, I., Bencini, G. and Arenghi, A. (eds), *Transforming our World through Universal Design for Human Development – Proceedings of the Sixth International Conference on Universal Design (UD2022), Brescia, Italy, September 7-9, 2022*, IOS Press BV, Amsterdam, pp. 483-490. [Online] Available at: doi.org/10.3233/SHTI220877 [Accessed 10 September 2024].

Bonacini, E. (2011), *Nuove tecnologie per la fruizione e valorizzazione del patrimonio culturale*, Aracne, Roma.

Ceccarelli, S., Cesta, A., Cortellessa, G., De Benedictis, R., Fracasso, F., Leopardi, L., Ligios, L., Lombardi, E., Malatesta, S. G., Oddi, A., Pagano, A., Palombini, A., Romagna, G., Sanzari, M. and Schaerf, M. (2024), "Evaluating visitors' experience in museum – Comparing artificial intelligence and multi-partitioned analysis", in *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, vol. 33, article e00340, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.daach.2024.e00340 [Accessed 10 September 2024].

Cellucci, C. and Villani, T. (2024), "Sustainable Environ-

mental Communication Project – Eco-Friendly and Sensory Materials for Museums", in *Sustainability*, vol. 16, issue 8, article 3358, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su16083358 [Accessed 10 September 2024].

Centorrino, P., Corbetta, A., Cristiani, E. and Onofri, E. (2021), "Managing crowded museums – Visitors flow measurement, analysis, modeling, and optimization", in *Journal of Computational Science*, vol. 53, article 101357, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jocs.2021.101357 [Accessed 10 September 2024].

Cetorelli, G. and Papi, L. (2024), *Manuale di progettazione per l'accessibilità e la fruizione ampliata del patrimonio culturale – Dai funzionamenti della persona ai funzionamenti dei luoghi della cultura*, CNR Edizioni, Roma. [Online] Available at: dsu.cnr.it/pubblicazioni/ [Accessed 10 September 2024].

Chang, K.-M., Dzeng, R.-J. and Wu, Y.-J. (2018), "An automated IoT Visualization BIM Platform for Decision Support in Facilities Management", in *Applied Sciences*, vol. 8, issue 7, article 1086, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.3390/app8071086 [Accessed 10 September 2024].

Council of Europe (2005), *Convention on the Value of Cultural Heritage for Society*. [Online] Available at: coe.int/en/web/culture-and-heritage/faro-convention [Accessed 10 September 2024].

D'Amelio, A. M., Pirani, F. and Strano, F. (eds) (2018), *Museo Di Roma in Palazzo Braschi – Brief Guide*, Silvana Editoriale, Cisinello Balsamo.

Dal Falco, F. and Bonomi, S. (2021), "Comunicare il museo tra analogico e digitale – Un'esperienza di progettazione multimediale interattiva | Communicating the museum between analogue and digital – Interactive multimedia design experience", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 200-209. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/10182021 [Accessed 10 September 2024].

Daniotti, B., Gianinetto, M. and Della Torre, S. (eds) (2020), *Digital Transformation of the Design, Construction and Management Processes of the Built Environment*, Springer, Cham. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-33570-0 [Accessed 10 September 2024].

Desogus, G., Quaquero, E., Rubiu, G., Gatto, G. and Perra, C. (2021), "BIM and IoT Sensors Integration – A Framework for Consumption and Indoor Conditions Data Monitoring of Existing Buildings", in *Sustainability*, vol. 13, issue 8, article 4496, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su13084496 [Accessed 10 September 2024].

Di Benedetto, G. (2021), "Nuove frontiere museografiche – Immaterialità e multimedialità del museo narrativo | New museographic frontiers – Immateriality and multimediality of the narrative museum", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 68-75. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1062021 [Accessed 10 September 2024].

Dixit, M. K., Venkatraj, V., Ostadalimakhmalbaf, M., Pariafsai, F. and Lavy, S. (2019), "Integration of facility management and Building Information Modeling (BIM) – A review of key issues and challenges", in *Facilities*, vol. 37, issue 7-8, pp. 455-483. [Online] Available at: doi.org/10.1108/F-03-2018-0043 [Accessed 10 September 2024].

Ferretti, U., Quattrini, R. and D'Alessio, M. (2022), "A Comprehensive HBIM to XR Framework for Museum Management and User Experience in Ducal Palace at Urbino", in *Heritage*, vol. 5, issue 3, pp. 1551-1571. [Online] Available at: doi.org/10.3390/heritage5030081 [Accessed 10 September 2024].

Fialho, B. C., Codinhoto, R., Fabricio, M. M., Estrella, J. C., Ribeiro, C. M. N., dos Santos Bueno, J. M. and Torrezan, J. P. D. (2022), "Development of a BIM and IoT-based smart lighting maintenance system prototype for universities' FM sector", in *Buildings*, vol. 12, issue 2, article 99, pp. 1-31. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings12020099 [Accessed 10 September 2024].

Gupta, J. and Vegelin, C. (2016), "Sustainable development goals and inclusive development", in *International Environmental Agreements | Politics, Law and Economics*, vol. 16, pp. 433-448. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s10784-016-9323-z [Accessed 10 September 2024].

Hillier, B. (2007), *Space is the machine – A configurational theory of architecture*, Space Syntax, London.

Hillier, B. and Hanson, J. (1984), *The Social Logic of Space*, Cambridge University Press, Cambridge (UK). [Online] Available at: doi.org/10.1017/CBO9780511597237 [Accessed 10 September 2024].

IFMA – International Facility Management Association (2013), *BIM for Facility Managers*, John Wiley & Sons, Hoboken. [Online] Available at: wiley.com/en-sg/BIM+for+Facility+Managers-p-9781118382813 [Accessed 10 September 2024].

Ingold, T. (2019), *Making – Antropologia, archeologia, arte e architettura* [or. ed. *Making – Anthropology, archaeology, art and architecture*, 2013], Raffaello Cortina, Milano.

Kazado, D., Kavgic, M. and Eskicioglu, R. (2019), "Integrating Building Information Modeling (BIM) and Sensor Technology for Facility Management", in *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 24, pp. 440-458. [Online] Available at: itcon.org/papers/2019_23-ITcon-Kazado.pdf [Accessed 10 September 2024].

Kensek, K. M. (2014), "Integration of Environmental Sensors with BIM – Case studies using Arduino, Dynamo, and the Revit API", in *Informes de la Construcción*, vol. 66, issue 536, article e044. [Online] Available at: doi.org/10.3989/ic.13.151 [Accessed 10 September 2024].

Lupo, E. (2021), "Design e innovazione del patrimonio culturale – Connessioni phygital per un Patrimonio di prossimità | Design and innovation for the Cultural Heritage – Phygital connections for a Heritage of proximity", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 186-199. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/10172021 [Accessed 30 September 2024].

McGlinn, K., Yuce, B., Wicaksono, H., Howell, S. and Rezgui, Y. (2017), "Usability evaluation of a web-based tool for supporting holistic building energy management", in *Automation in Construction*, vol. 84, pp. 154-165. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.033 [Accessed 10 September 2024].

MIBACT – Ministero per i Beni e le Attività Culturali (2018), *Circolare n. 26 – Linee guida per la redazione del Piano di eliminazione delle barriere architettoniche (P.E.B.A.) nei musei, complessi monumentali, aree e parchi archeologici*. [Online] Available at: musei.beniculturali.it/wp-content/uploads/2018/12/Linee-guida-per-la-redazione-del-Piano-di-eliminazione-delle-barriere-architettoniche-P.E.B.A.-Circolare-26-anno-2018-e-allegati.pdf [Accessed 10 September 2024].

Orenes-Vera, M., Terroso-Saenz, F. and Valdes-Vela, M. (2021), "RECITE – A framework for user trajectory analysis in cultural sites", in *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, vol. 13, issue 5, pp. 389-409. [Online] Available at: doi.org/10.3233/AIS-210612 [Accessed 10 September 2024].

Penn, A. (2003), "Space Syntax and Spatial Cognition – Or Why the Axial Line?", in *Environment and Behavior*, vol. 35, issue 1, pp. 30-65. [Online] Available at: doi.org/10.1177/0013916502238864 [Accessed 10 September 2024].

Ricci, C. (1989), *Palazzo Braschi – Storia ed Architettura di un Edificio Settecentesco*, Palombi, Roma.

Riva, R. (2008), *Il Metaprogetto dell'Ecomuseo*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna.

Romagnoli, F., Villani, T. and Oddi, A. (2019), "The Environmental Contribution to Wayfinding in Museums – Enhancement and Usage by Controlling Flows and Paths", in Bagnara, S., Tartaglia, R., Albolino, S., Alexander, T. and Fujita, Y. (eds), *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018) – Volume VIII – Ergonomics and Human Factors in Manufacturing, Agriculture, Building and Construction, Sustainable Development and Mining, Florence, Italy, August 26-30, 2018*, Springer, Cham, pp. 579-588. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-96068-5_64 [Accessed 10 September 2024].

Rossi, L., Paolanti, M., Pierdicca, R. and Frontoni, E. (2021), "Human trajectory prediction and generation using LSTM models and GANs", in *Pattern Recognition*, vol. 120, article 108136, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.patcog.2021.108136 [Accessed 10 September 2024].

Scianna, A., Gaglio, G. F. and La Guardia, M. (2022), "Structure Monitoring with BIM and IoT – The Case Study of a Bridge Beam Model", in *ISPRS | International Journal of Geo-Information*, vol. 11, issue 3, article 173, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.3390/ijgi11030173 [Accessed 10 September 2024].

Sposito, C. and Scalisi, F. (2018), "Processo conservativo e significatività – Un approccio metodologico per la progettazione dei sistemi di protezione nei siti archeologici | Conservation process and significance – A methodological approach to plan shelters in archaeological sites", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 4, pp. 45-58. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/462018 [Accessed 30 September 2024].

UN – United Nations (2008), *Convention on the Rights of Persons with Disabilities*. [Online] Available at: social.desa.un.org/issues/disability/crpd/convention-on-the-rights-of-persons-with-disabilities-crpd [Accessed 10 September 2024].

Valenti, A., Scalisi, F., Sposito, C., Dellamotta, L. and Masserdotti, A. (2024), "Energia, tecnologia emotiva e valore culturale dei dati – Creare consapevolezza nell'utente con lo storytelling | Energy, emotional technology and cultural value of data – Creating user awareness through storytelling", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 70-83. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1552024 [Accessed 10 September 2024].

WHO – World Health Organization (2001), *ICF – International Classification of Functioning, Disability and Health*. [Online] Available at: iris.who.int/bitstream/handle/10665/42407/9241545429.pdf?sequence=1 [Accessed 10 September 2024].

Xu, W., Dai, T.-T., Shen, Z.-Y. and Yao, Y.-J. (2023), "Effects of technology application on museum learning – A meta-analysis of 42 studies published between 2011 and 2021", in *Interactive Learning Environments*, vol. 31, issue 7, pp. 4589-4604. [Online] Available at: doi.org/10.1080/10494820.2021.1976803 [Accessed 10 September 2024].

Zakaria, N. N. (2023), "Assessing the working practices and the inclusive programs to students with disabilities in the Egyptian museum – Challenges and possibilities for facilitating learning and promoting inclusion", in *Frontiers in Education*, vol. 8, article 1111695, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.3389/feduc.2023.1111695 [Accessed 10 September 2024].

Zammuner, V. (2006), "La fruizione museale – Un'esperienza complessa di natura sociale, cognitiva ed emozionale", in Frateschi, C. F. and Mistri, M. (eds), *I valori dell'arte – Economia e psicologia della cultura*, Carocci, Roma, pp. 97-125.

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 232-241
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/16202024

Article Info

Received 10 September 2024
Revised 12 October 2024
Accepted 14 October 2024
Published 30 December 2024

CONOSCENZA, INNOVAZIONE E CAMBIAMENTO
Il potere dell'errore nel design e nei sistemi complessi

KNOWLEDGE, INNOVATION, AND CHANGE
The power of error in design and complex systems

Claudia Porfirione, Xavier Ferrari Tumay, Isabel Leggiero

Abstract

L'articolo esplora il rapporto tra complessità, errore e progetto, evidenziando come l'interazione dinamica tra questi elementi sia cruciale per affrontare le sfide del Design contemporaneo. Un'analisi interdisciplinare indaga il ruolo dell'errore come risorsa strategica nella formazione e nella pratica professionale e viene proposta una metodologia che sistematizza la gestione dell'errore, favorendo l'emergere di soluzioni innovative e adattive. Si sottolinea l'importanza di un approccio flessibile e aperto, riconoscendo l'errore come elemento centrale per stimolare l'innovazione, ampliare le prospettive, migliorare i processi di progettazione e favorire una crescita continua nel settore.

This paper explores the relationship between complexity, error and design, highlighting how the dynamic interaction between these elements is crucial in addressing the challenges of contemporary design. An interdisciplinary analysis investigates the role of error as a strategic resource in education and professional practice, and a methodology is proposed that systematises the management of error, encouraging the emergence of innovative and adaptive solutions. The importance of a flexible and open approach is emphasised, recognising error as a central element in stimulating innovation, broadening perspectives, improving design processes and fostering ongoing growth in the field.

Keywords

sistemi complessi, gestione dell'errore, progettazione interdisciplinare, apprendimento iterativo, innovazione

complex systems, error management, interdisciplinary design, iterative learning, innovation

Claudia Porfirione, Designer and PhD, is an Associate Professor at the Department of Architecture and Design, University of Genoa (Italy). She conducts numerous research to study Ambient Assisted Living & ICT technologies applied to environmental design to facilitate weak users. Mob. +39 346/693.86.45 | E-mail: claudia.porfirione@unige.it

Xavier Ferrari Tumay, PhD in Design, is the Head of the UniGe Digital Lab and Adjunct Professor at the University of Genoa (Italy) and the Beijing University of Technology Chemistry (China). His research interests include design for digital fabrication and studying participatory processes for social innovation in urban areas. Mob. +39 347/772.10.14 | E-mail: xavier.ferraritumay@unige.it

Isabel Leggiero, PhD Candidate at the 'Luigi Vanvitelli' University of Campania (Italy), conducts her research on the issue of Made in Italy as intangible cultural heritage, working on inclusion and participation in the transmission and preservation of cultural heritage, with particular attention to fragile users. E-mail: isabel.leggiero@unicampania.it

La complessità è un tema centrale nella comprensione dei sistemi contemporanei, dato che l'interconnessione di molteplici elementi crea strutture che sfidano la linearità e la prevedibilità. In un'epoca caratterizzata da rapidi cambiamenti tecnologici, sociali ed economici il Design si trova ad affrontare sfide che richiedono un approccio sempre più interdisciplinare e interconnesso. Come esplorato da Douglas Hofstadter (1999) nel suo celebre lavoro Gödel, Escher, Bach – An Eternal Golden Braid, la complessità non è semplicemente una somma di parti, ma emerge dall'interazione dinamica di elementi che generano proprietà inaspettate e spesso imprevedibili.

Wiener (2019) evidenzia come i sistemi complessi, che siano matematici, biologici o cognitivi, mostrino comportamenti non riducibili ai singoli componenti, richiedendo un approccio più olistico e interconnesso. Nel contesto della progettazione e dell'innovazione riconoscere l'importanza della complessità significa anche comprendere il ruolo cruciale dell'errore. James Reason (2009), in Human Error, evidenzia che l'errore umano non è solo un fallimento individuale, ma spesso riflette la complessità dei sistemi, dove le interazioni tra variabili possono portare a esiti imprevisti. Nel Design ciò richiede progettisti in grado di sfruttare l'errore come opportunità per innovare, infatti la sua gestione è cruciale per affrontare problemi complessi e sviluppare soluzioni che si evolvono con il contesto (Dominici, 2018), abilità strettamente legata alla natura ibrida e indisciplinata del Design (Auricchio, 2018), che lo rende adatto a gestire la complessità.

Come osserva Vincenzo Cristallo (2017), le nuove generazioni spesso faticano a riconoscere la fatica e l'errore come elementi fondamentali del processo di crescita e della creatività; si tende a privilegiare l'affidamento all'intuizione e all'estro, trascurando l'importanza del lavoro costante e dell'accettazione degli errori come parte integrante del percorso verso il raggiungimento di risultati significativi. Tuttavia è proprio questa natura flessibile e ibrida del Design, capace di integrarsi e adattarsi a molteplici discipline e approcci, che rende il progetto uno strumento potente per affrontare le sfide contemporanee. Cristallo (2017) sottolinea inoltre che la fatica e gli errori rappresentano il vero patrimonio creativo per chiunque aspiri a una pratica progettuale autonoma e consapevole del proprio linguaggio espressivo. In questo contesto, egli critica la diffusa 'teoria del lieto fine', la quale idealizza il processo di Design come un percorso lineare e privo di difficoltà.

In tale ottica il contributo ha l'obiettivo di presentare alcune teorie sulla complessità che, per diversi motivi, sono funzionali allo sviluppo di una nuova visione dell'errore: si vuole indagare in che modo il mondo del Design, legato alla formazione o alla produzione, può utilizzare gli errori nel processo di progettazione, facendo riferimento alle teorie ampiamente discusse negli ambiti dell'ingegneria, della psicologia, della filosofia, delle scienze dell'apprendimento, ecc.

Dopo una prima analisi dello stato dell'arte sui tre concetti chiave del contributo (errore, complessità, progettazione), si analizzano due diversi ambiti in cui il concetto di fallimento e il riconoscimento degli errori può essere considerato come un potenziale per la formazione e la professione. Partendo dalla definizione di errore quale strumento intrinsecamente legato alla costruzione della conoscenza, capace di promuovere innovazione e cambiamento (Norman, 2013) si definiscono alcuni punti chiave utili a sistematizzare la documentazione e la comprensione degli errori all'interno del processo di progettazione (Fig. 1). Guardando a questi temi da un nuovo punto di vista, si vuole invitare la comunità scientifica a riflettere sul potere dell'errore come elemento di innovazione, mettendo in luce il suo potenziale inespresso.

Stato dell'arte: errore, complessità e progettazione | La complessità, definita come interconnessione di molteplici elementi che formano un'entità plurale, è una caratteristica insita del contemporaneo, accentuata dalle questioni di rilevanza globale come i cambiamenti climatici e le pressioni socio-economiche. Il rapporto tra complessità ed errore è stato ampiamente esplorato in molte discipline: in campo ingegneristico, ad esempio, gli studi sulla 'teoria del caos' (Lorenz, 1963; Fig. 2) hanno evidenziato come piccoli errori iniziali possano amplificarsi all'interno di sistemi complessi, portando a esiti imprevedibili; ciò ha richiesto una maggiore attenzione alla gestione dell'errore come parte integrante della progettazione di sistemi robusti e resilienti.

Complessità ed errore interagiscono tra di loro, come nel caso del processo di apprendimento. Nel campo della psicologia cognitiva la 'teoria del carico cognitivo' sviluppata da John Sweller (1988) ha fornito importanti intuizioni su come ciò avvenga, evidenziando che un carico cognitivo eccessivo durante la risoluzione di problemi complessi può ostacolare l'apprendimento e lo sviluppo di nuovi schemi cognitivi. Strategie di problem-solving rigide, come l'analisi mezzo-fine, sovraccaricano la memoria di lavoro, limitando lo spazio per nuovi concetti, mentre una gestione efficace del carico cognitivo facilita l'apprendimento e favorisce l'esplorazione di nuove idee. Un tale approccio ha implicazioni dirette anche per il Design, dove l'equilibrio tra complessità e semplicità diventa cruciale per facilitare l'apprendimento e l'innovazione (Maeda, 2006).

Inoltre l'intero approccio scientifico e la professione stessa del ricercatore si basano su differenti strategie di relazione con l'errore (Di Giovanni and Tiberio, 2022). Bamford (2002) descrive due principali metodologie di progettazione: 'analisi / sintesi' e 'congettura / analisi'. L'analisi / sintesi adotta un approccio scientifico tradizionale, sistematico e rigoroso, volto a minimizzare l'errore e l'incertezza attraverso un processo strutturato, radicato nella metodologia scientifica, in cui la raccolta di dati e l'analisi meticolosa sono centrali per garantire che ogni passaggio del processo progettuale sia accuratamente verificato.

Questa visione riflette la tradizione del pensiero razionale e deduttivo, in cui la complessità viene affrontata attraverso la scomposizione sistematica dei problemi e l'applicazione di soluzioni lineari e prevedibili (Fig. 3). La congettura / analisi invece si basa sull'esplorazione e l'innovazione, partendo da problemi complessi e mal definiti; seguendo la filosofia di Karl Popper (2009), questo approccio si fonda su ipotesi audaci che devono essere sottoposte a test empirici rigorosi per essere falsificate e migliorate: Popper, noto per la sua teoria della falsificabilità, sottolinea l'importanza di ipotesi che possano essere messe in discussione per favorire il progresso scientifico (Dalla Pozza and Negro, 2017; Fig. 4).

Questi due approcci mettono in luce come il Design possa avvalersi sia di metodologie induttive che deduttive: l'analisi / sintesi è prevalentemente deduttiva, basandosi su principi generali per arrivare a conclusioni specifiche, mentre la congettura / analisi è più induttiva, costruendo nuove teorie e soluzioni attraverso l'osservazione e l'esperienza pratica (Fagnoni, 2017). Questa capacità di oscillare tra rigore scientifico e creatività intuitiva riflette la complessità intrinseca del processo progettuale, in cui l'errore diventa parte integrante e necessaria del percorso creativo.

La necessità di flessibilità e di un approccio più aperto si riflette nel 'telos' del Design, come discusso da Stefano Maffei (2022), che spinge verso una visione non limitata alla mera risoluzione di problemi immediati, ma orientata verso la trasformazione sistemica e sociale. Ciò implica un passaggio da una progettazione focalizzata su obiettivi rigidi e specifici a un processo più olistico e adattivo, capace di integrare le complessità del contesto umano in cui opera, tema centrale di 'progettare per il mondo reale', in cui Papanek (2022) introduce il 'diritto al fallimento' per i progettisti, affermando che il fallimento non è un difetto ma una componente necessaria dell'innovazione.

Il 'diritto al fallimento' non è solo una concessione al fatto che gli errori possano accadere, ma una vera e propria difesa della necessità del fallimento per raggiungere un Design significativo (Verganti, 2009). Infatti i sistemi complessi richiedono un approccio che sia capace di integrare analisi e sintesi, affrontando i problemi non come entità isolate, ma come parte di un sistema più ampio e interconnesso. Il Design Thinking, descritto da Francesco Zurlo (2019) come una tecnologia sociale, rappresenta una risposta efficace a questa sfida, permettendo ai progettisti di navigare tra molteplici variabili e incertezze attraverso processi di framing e reframing. Tuttavia nel corso del progetto il reframing diventa essenziale per adattarsi a nuove informazioni, intuizioni o cambiamenti nel contesto, ridefinendo il problema e modificando l'approccio per garantire la rilevanza e l'efficacia del risultato.

Verso una pedagogia dell'errore | Fino al 1970 circa la pedagogia tradizionale era costruita attorno a due assi fondamentali: l'insegnamento e la valutazione (Binanti, 2001). Secondo questo approccio l'errore veniva percepito come qualcosa di assolutamente negativo, mentre a seguito delle grandi contestazioni degli anni '70 che hanno rivoluzionato molti approcci al sapere, si è cominciato a teorizzare una vera e propria 'pedagogia dell'errore', intesa come una forma di educazione attenta alla partecipe e attiva costruzione del sé e del proprio sapere da parte dell'alunno, attraverso prove ed errori.

In tempi più recenti il filosofo Massimo Donà (2012) ci ha spiegato come sbagliare sia un'occasione di crescita, infatti l'errore è lì a ricordarci l'inesauribile complessità della realtà: secondo Donà bisogna cogliere gli aspetti positivi anche in situazioni critiche, quando cioè sbagliare ci consente di attivare risorse e capacità che altrimenti non emergerebbero. Gli errori ci fanno vedere le cose da un altro punto di vista e ci aiutano a cambiare o perfezionare le nostre idee; in fondo la storia della conoscenza umana è fatta di errori che sono stati corretti nel tempo.

Secondo la concezione filosofica del Fallibilismo, nella scienza come nella vita tutti gli esseri viventi procedono per prove ed errori; secondo Popper (2009), lo sviluppo della conoscenza avviene cercando di risolvere problemi ed eliminando le soluzioni meno

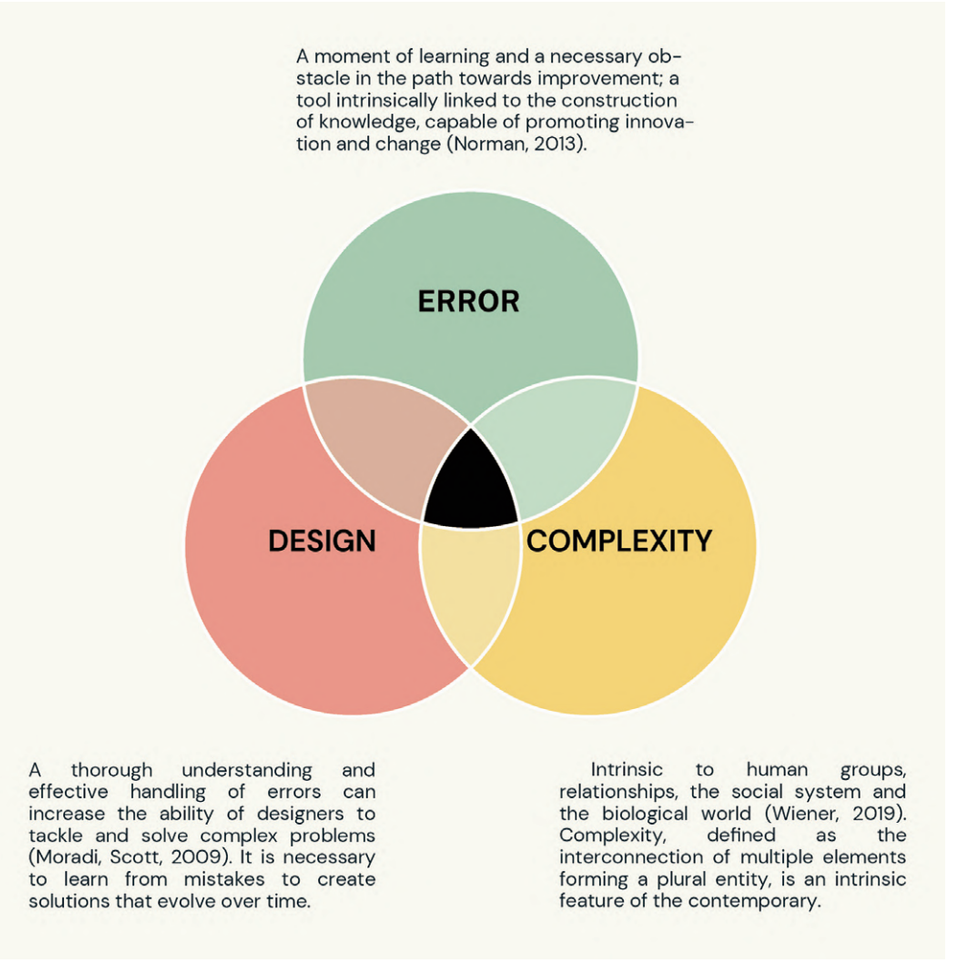


Fig. 1 | Diagram of the three key concepts of the paper (credit: the Authors, 2024).

adeguate, infatti la differenza tra la conoscenza umana e quella animale non sta tanto negli errori, ma nella capacità di affrontarli in modo critico e costruttivo: mentre un'ameba può morire a causa dei suoi errori, l'uomo può progredire grazie ad essi.

Si tratta di un argomento molto ampio e complesso: qual è il ruolo dell'errore nella didattica per il Design in un contesto in cui i progettisti sono chiamati a progettare in modo corretto? L'errore è parte integrante del progetto e soprattutto dell'apprendimento della professione; fare finta che l'errore non esista se non per essere corretto è un approccio sbagliato che grandi Designer e pedagogisti, tra cui Bruno Munari, Gianni Rodari, Donald Norman, Loris Malaguzzi e Bruno Ciari, avevano compreso molto bene. Essi proponevano una pedagogia che non giustifica l'errore, ma che lo considera un aspetto fondamentale della costruzione e della crescita progettuale. In questo senso lavorare con l'errore non significa contrapporre errore e correzione, ma rappresenta un'opportunità per spostare il punto di vista.

La pedagogia dell'errore propone quindi di affrontarlo, come uno stimolo prezioso, non solo per chi lo ha commesso ma per tutto il gruppo (Benes et alii, 2017): in un quadro di didattica costruttivista, esplorativa e partecipata, l'errore diviene una vera porta per la conoscenza. Se in alcuni contesti didattici più virtuosi le potenzialità dell'errore sono state comprese, in molte realtà aziendali si condivide il pensiero che commettere errori nello sviluppo di prodotti e servizi sia sempre negativo. È frequente inoltre la convinzione che imparare dai propri errori sia piuttosto semplice; per farlo è sufficiente riflettere su cosa abbia originato l'errore ed evitare di ripeterlo in futuro.

Queste convinzioni ampiamente diffuse sono fuorvianti: in primo luogo il fallimento non è sempre negativo, a volte è inevitabile e a volte persino positivo; in secondo luogo imparare dagli errori è tutt'altro che semplice. Le attività necessarie per rilevare e analizzare efficacemente i fallimenti sono molto rare nella maggior parte delle aziende così come lo sono la messa a punto di specifiche strategie di apprendimento; le imprese hanno bisogno di modi nuovi e migliori per andare oltre vecchie convinzioni culturali e abbracciare la lezione dell'errore.

Fronteggiare l'errore nel contesto professionale: metodo, adattamento continuo e sicurezza psicologica | Secondo Amy C. Edmondson (2023), ricercatrice nota per il suo lavoro sulla psicologia delle organizzazioni e la gestione dell'errore, gli errori rientrano in tre ampie categorie: 'prevenibili', 'correlati alla complessità' e 'intelligenti'. Quelli che ricadono nel primo gruppo possono effettivamente essere considerati 'negativi' poiché originati da disattenzione o inabilità quando vengono effettuate operazioni di grande volume o routinarie. In relazione ad essi sono state sviluppate apposite metodologie come le checklist, molto utilizzate in ambito medico (Fig. 5). Tuttavia diversi anni prima il chirurgo Atul Gawande (2010) evidenziò l'importanza di estendere l'utilizzo delle checklist in contesti complessi come ingegneria e architettura in cui, a un aumento della complessità delle procedure, cresce anche il rischio di errore persino per professionisti esperti; le checklist offrono un metodo semplice ed efficace per gestire questa complessità.

Un altro grande riferimento nella gestione dell'errore è il rivoluzionario Toyota Production System (TPS), il sistema di apprendimento continuo integrato da piccoli errori, che ha avuto un impatto significativo non solo in ambito automobilistico, ma anche in molti altri settori, contribuendo a rivoluzionare le pratiche di produzione e gestione in tutto il mondo. Il modello TPS (Figg. 6, 7) mira a raggiungere i propri obiettivi attraverso una riorganizzazione industriale che coinvolge sia l'aspetto manageriale sia la struttura organizzativa, valorizzando il contributo umano in termini di intelligenza e responsabilità. Questo sistema di gestione dell'errore ha permesso a Toyota di diventare nel 2024 l'undicesima società più grande del mondo in termini di capitalizzazione di mercato e fatturato e la più importante casa automobilistica (Murphy and Schifrin, 2024).

Sempre secondo le teorie sull'errore di Amy C. Edmondson (2023) alcuni errori sono inevitabili poiché legati alla complessità e all'incertezza del lavoro, derivando da combinazioni uniche di esigenze, persone e problemi che potrebbero non essersi mai verificate prima: per essi è necessaria una grande capacità di adattamento perpetuo. Imparare dagli errori nel processo di progettazione è particolarmente importante per il Designer che svolge una professione resiliente; altresì importante secondo Edmonson è il 'psychological safety team' (Fig. 8), ov-

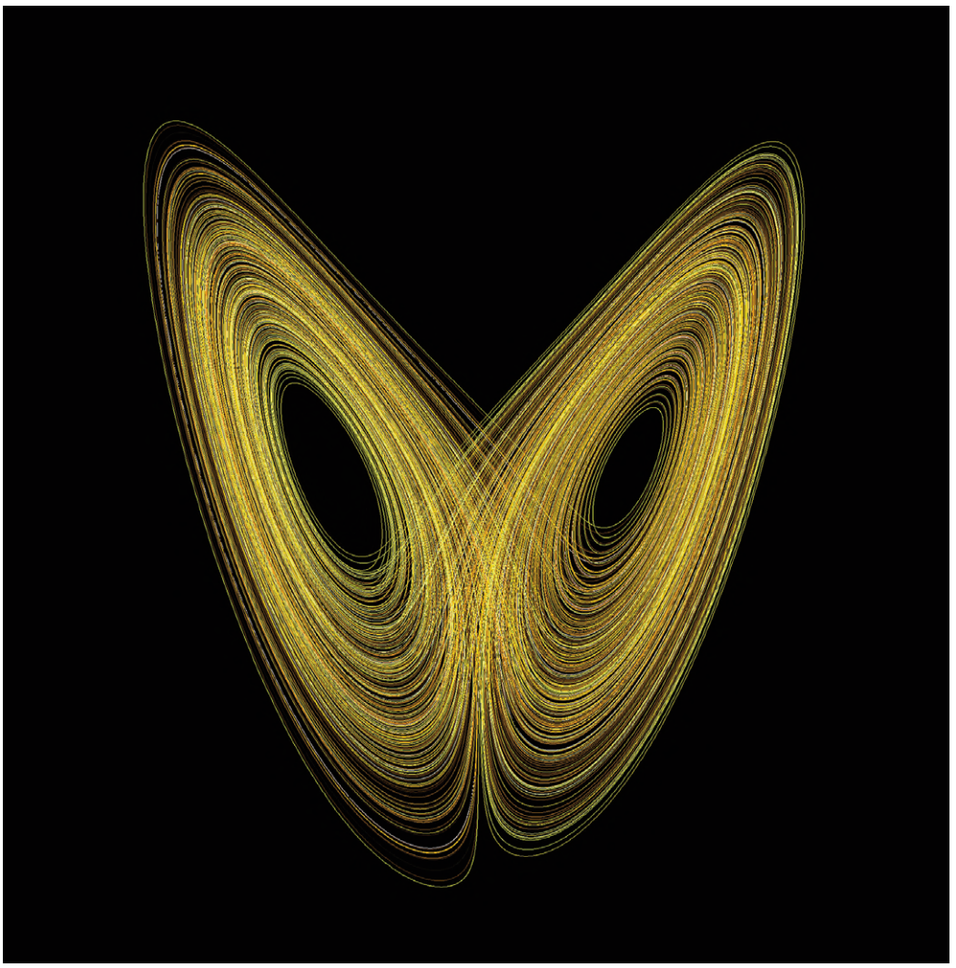


Fig. 2 | The Lorenz attractor is a set of chaotic solutions of the Lorenz system, visualising the Theory of Chaos (source: wikimedia.org, 2005).

vero la sicurezza psicologica nei team, che è cruciale per favorire un ambiente in cui i membri possano condividere idee, porre domande e, soprattutto, ammettere errori senza timore di ripercussioni.

Un'altra interessante tipologia di errore è rappresentata dai 'fallimenti intelligenti'. Teorizzati dal Prof. Sim Sitkin (Rousseau et alii, 1998), ricercatore noto per i suoi studi che già nei primi anni '90 ha messo in relazione errore, apprendimento e performance organizzativa, enfatizzando come una gestione efficace degli errori possa portare a risultati favorevoli nel lungo termine. Tuttavia la capacità di apprendere dipende dalla reazione dell'organizzazione agli errori: per questo è fondamentale sviluppare modelli proattivi che li anticipino e gestiscano, piuttosto che rispondere solo agli imprevisti. Sitkin introduce il concetto di 'fallimenti intelligenti', che si verificano durante la sperimentazione e l'innovazione, quando non esistono risposte note poiché si affrontano situazioni uniche e non ripetibili.

Errare è un atto assai comune in molti contesti ad alto contenuto innovativo, una competenza particolarmente interessante per il Designer: è quindi essenziale che tutti accettino l'idea che l'errore non è solo regressivo, ma può essere anche progressivo e persino prezioso.

Riconoscere l'errore fertile | L'esistenza umana è intrinsecamente legata agli errori; non si tratta solo degli sbagli che compiamo più o meno consciamente; l'intero processo evolutivo della vita è profondamente connesso all'errore (Martin, 2024). Tuttavia abbiamo con esso un rapporto difficile, tendiamo a nasconderlo o stigmatizzarlo, ignorando il suo potenziale di diventare un nuovo inizio, un terreno fertile per una nuova visione del problema e un momento di crescita. Infatti, come afferma Karl Popper (1975, p. 242), «[…] evitare errori è un ideale meschino: se non osiamo affrontare problemi che siano così difficili da rendere l'errore quasi inevitabile, non vi sarà allora sviluppo di conoscenza». Per questo, dal momento che nessuno può evitare di fare errori, è fondamentale imparare da essi: in che modo è possibile quindi inserire in modo deliberato il concetto di errore all'interno del processo progettuale?

Il primo aspetto su cui ci si vuole focalizzare è la necessità di una cultura dell'errore, che si opponga alla narrazione del successo che rende gli errori invisibili sia a noi stessi che agli altri. Nel mondo della ricerca e della formazione i fallimenti si presentano in molte forme, avvengono per molte ragioni e giustificano molte soluzioni; tuttavia nessuno di questi viene discusso o presentato nelle conferenze di settore. Per questo motivo Melanie Stefan (2010) propone un 'CV of failures', in cui mettere in mostra gli insuccessi scolastici, i premi non vinti o le borse di studio perse (Tab. 1). Lo scopo è di non stigmatizzare i fallimenti, ma formare i nuovi Designer a concepire l'errore come parte integrante della crescita. Anche il filosofo Antiseri (2017) afferma che per facilitare il progresso della scienza è necessario trovare gli errori, poiché se riusciamo a riconoscerli, mettiamo in luce la necessità di mettere in discussione le teorie esistenti, superando e correggendo l'errore stesso.

Nel Design gli errori possono essere visti come feedback che innescano il ciclo di apprendimento, perciò essi consentono ai progettisti di riflettere su quali aspetti del processo non hanno funzionato, di costruire modelli mentali migliorati e sperimentare nuove soluzioni che possano rispondere in modo più adeguato alle sfide progettuali. Sposando la prospettiva cognitivista si ritiene che documentare gli errori e le soluzioni attuate consenta di costruire un archivio di conoscenze che non solo aiuta i singoli progettisti a migliorare, ma favorisce la crescita del team e dell'organizzazione nel lungo termine.

Il caso della Toyota mette in luce come tenere traccia degli errori e imparare da questi può portare all'innovazione del prodotto o del processo produttivo. È necessario valorizzare l'approccio che riconosce l'errore 'fertile', favorendo l'implementazione di sistemi a ciclo aperto che siano in grado di documentarli, esaminarli e apprendere da questi. Le metodologie progettuali, come il Design Thinking, di per sé includono fasi iterative che abbracciano l'errore come possibilità creativa, tuttavia è necessario avere un registro dei fallimenti e delle soluzioni messe in atto, in modo che diventi uno strumento di apprendimento per i futuri progettisti e per gli altri membri del team.

Come dimostrato dalle teorie della complessità applicate al Design (Simon, 1996), l'errore è inevitabile, poiché le dinamiche del sistema possono essere imprevedibili e non completamente gestibili attraverso la pianificazione iniziale. Gli errori diventano quindi segnali importanti per identificare pun-

ti di debolezza, anomalie o problemi emergenti; non perdere di vista questi segnali è cruciale per poter intervenire in modo proattivo. Ad esempio nel Design di prodotti tecnologici complessi un errore che si manifesta in una fase può avere ripercussioni a cascata su altri elementi del sistema; la documentazione accurata di questi errori permette di evitare che essi si ripetano, facilitando la correzione preventiva di eventuali problemi futuri.

Nella letteratura sull'innovazione, come quella proposta da Joseph L. Bower e Clayton M. Christensen (1995) nella sua teoria della 'innovazione dirompente' (Fig. 9), si evidenzia che spesso gli errori e i fallimenti iniziali sono segni di innovazioni che sfidano lo status quo. Tenere traccia degli errori può rivelare opportunità per innovazioni disruptive, laddove le soluzioni tradizionali continuano a fallire. I team di Design che documentano in modo sistematico i loro errori possono identificare nuove direzioni non precedentemente considerate, trasformando i fallimenti in un trampolino di lancio per innovazioni rivoluzionarie.

Un elemento chiave nella gestione degli errori è la capacità di metterli in discussione, andando oltre la semplice correzione immediata per adottare una riflessione critica e continua sulle ipotesi che guidano il processo di Design. La teoria del Double-Loop Learning (apprendimento a doppio circuito), sviluppata dai teorici dell'organizzazione Chris Argyris e Donald Schön (1998), sottolinea l'importanza di riflettere sulle cause profonde degli errori, mettendo in discussione credenze e modelli mentali alla base delle decisioni. Nel Design questo approccio è particolarmente efficace per affrontare la complessità e l'incertezza, incoraggiando una revisione non solo degli errori tecnici, ma anche delle assunzioni implicite nel processo progettuale. Il vantaggio per i Designer è la possibilità di affrontare le situazioni complesse con maggiore flessibilità e apertura, facilitando la creazione di soluzioni più creative e rilevanti per i bisogni emergenti degli utenti.

Conclusioni | Gli errori sono spesso visti come risultati indesiderati, che indicano un fallimento o una mancanza di competenza; tuttavia, nella complessità del contesto del Design, gli errori possono essere una risorsa preziosa che offre innovazione, avanzamento della conoscenza e opportunità di crescita. Tracciare gli errori e le soluzioni attuate nei processi di Design non è solo una pratica di controllo della qualità, ma una strategia fondamentale per promuovere l'innovazione e l'apprendimento continuo.

Le teorie dell'apprendimento esperienziale (Kolb, 1984), della complessità e dell'apprendimento organizzativo supportano la tesi che l'errore possa essere valorizzato come risorsa cruciale per il miglioramento continuo. Attraverso la documentazione accurata degli errori e la riflessione sulle soluzioni adottate, i Designer possono identificare pattern, sfidare le proprie ipotesi di lavoro e generare innovazioni più efficaci e rilevanti. In definitiva, riconoscere e gestire l'errore non è solo necessario, ma può rappresentare un terreno fertile per la creatività e la crescita (Fig. 10).

L'apertura verso la cultura dell'errore da parte di formatori o delle aziende ha implicazioni in diversi ambiti: a livello culturale può portare a una società più tollerante in cui il fallimento non è stigmatizzato, ma inteso come un passo verso il successo; allo stesso modo può incentivare l'adattabilità e l'apprendimento continuo, qualità fondamentali in un mondo in continuo cambiamento. A livello aziendale questo approccio favorisce l'innovazione e la creatività, poiché ci si sente liberi di sperimentare; inoltre sapere che gli errori sono accettati e discussi apertamente può aumentare il coinvolgimento e la motivazione dei lavoratori.

Tuttavia questo approccio non è esente da limiti nella sua applicazione al mondo reale, anche a causa della complessità in cui viviamo. Quando non è bilanciata si corre il rischio che la cultura dell'errore porti a un'accettazione passiva del fallimento, che non produce un miglioramento della produttività ma genera frustrazione; per questo motivo è necessaria la formazione e la discussione di modelli di gestione dell'errore stesso. Se in alcune discipline la letteratura scientifica ha già ampiamente analizzato il modo in cui approcciarsi all'errore e imparare da esso, l'ambito del Design non ha ancora formalizzato modelli di gestione del fallimento. Nonostante l'interesse verso questo tema sia in forte crescita, grazie anche alla centralità all'interno di convegni di settore, nulla o poco di questo approccio all'errore è stato messo in campo. Il Designer procede per tentativi ed errori in maniera autonoma e spontanea.

È importante trovare un equilibrio tra l'accettazione degli errori come parte del processo di apprendimento e la necessità di mantenere standard elevati e responsabilità. Un approccio equilibrato può massimizzare i benefici minimizzando i rischi e accettare l'errore come elemento fondamentale dello sviluppo progettuale introduce sfide significative, specialmente in contesti orientati al profitto. Rimangono interrogativi cruciali: come è possibile affrontare gli errori in modo costruttivo evitando di promuovere un atteggiamento permissivo? In che modo inoltre è possibile assicurare che le persone, se non vengono biasimate per i propri errori, continuino a dare il massimo impegno e a cercare di migliorare in futuro?

Complexity is a central theme in understanding contemporary systems, where the interconnection of multiple elements creates structures that challenge linearity and predictability. In an era characterised by fast technological, social and economic changes, Design faces challenges that require an increasingly interdisciplinary and interconnected approach. As Douglas Hofstadter (1999) explored in his celebrated work Gödel, Escher, Bach – An Eternal Golden Braid, complexity is not simply a sum of parts but emerges from the dynamic interaction of elements that generate unexpected and often unpredictable properties.

Wiener (2019) highlights how complex systems, be they mathematical, biological or cognitive, exhibit behaviour that cannot be reduced to individual components, requiring a more holistic and interconnected approach. In the context of Design and innovation, recognising the importance of complexity also means understanding the crucial role of error. James Reason (2009), in Human Error, points out that human error is not just an individual failure but often reflects the complexity of systems, where interactions between variables can lead to unforeseen out-

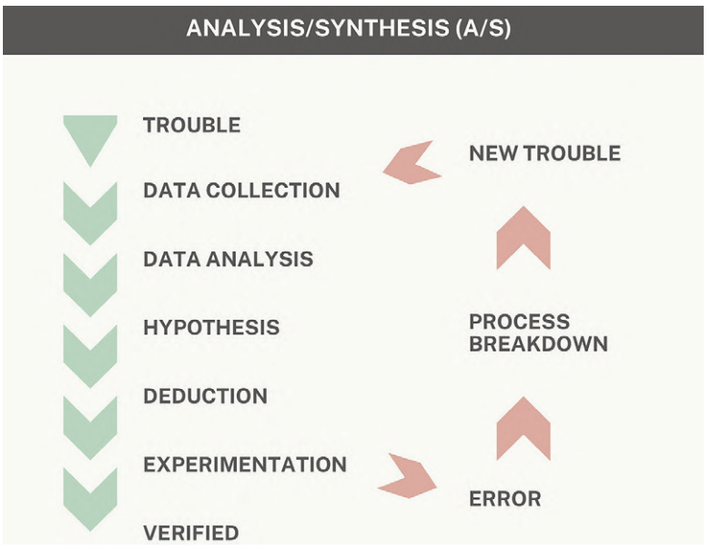


Fig. 3 | Analysis / Synthesis scheme (credit: the Authors, 2024).

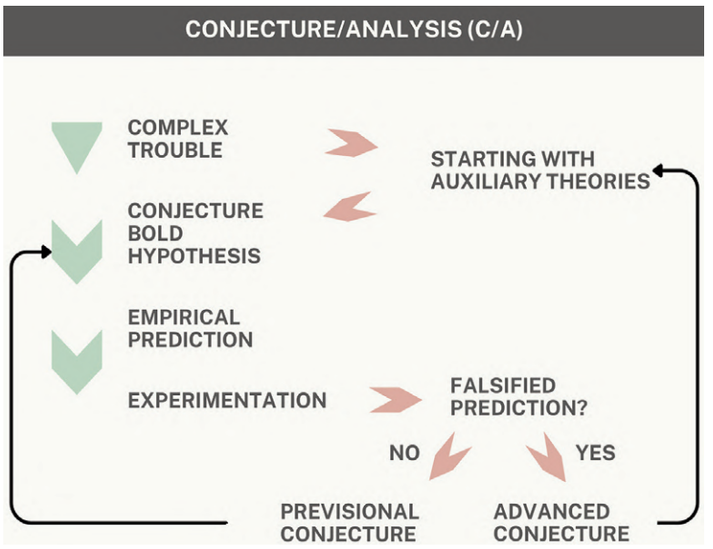


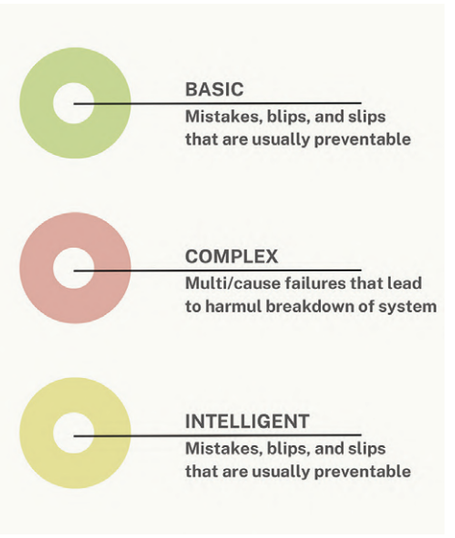
Fig. 4 | Conjecture / Analysis scheme (credit: the Authors, 2024).

comes. In Design, this requires designers to be able to exploit error as an opportunity to innovate; in fact, its management is crucial to tackling complex problems and developing solutions that evolve with the context (Dominici, 2018). This ability is closely linked to Design's hybrid and undisciplined nature (Auricchio, 2018), which makes it well-suited to managing complexity.

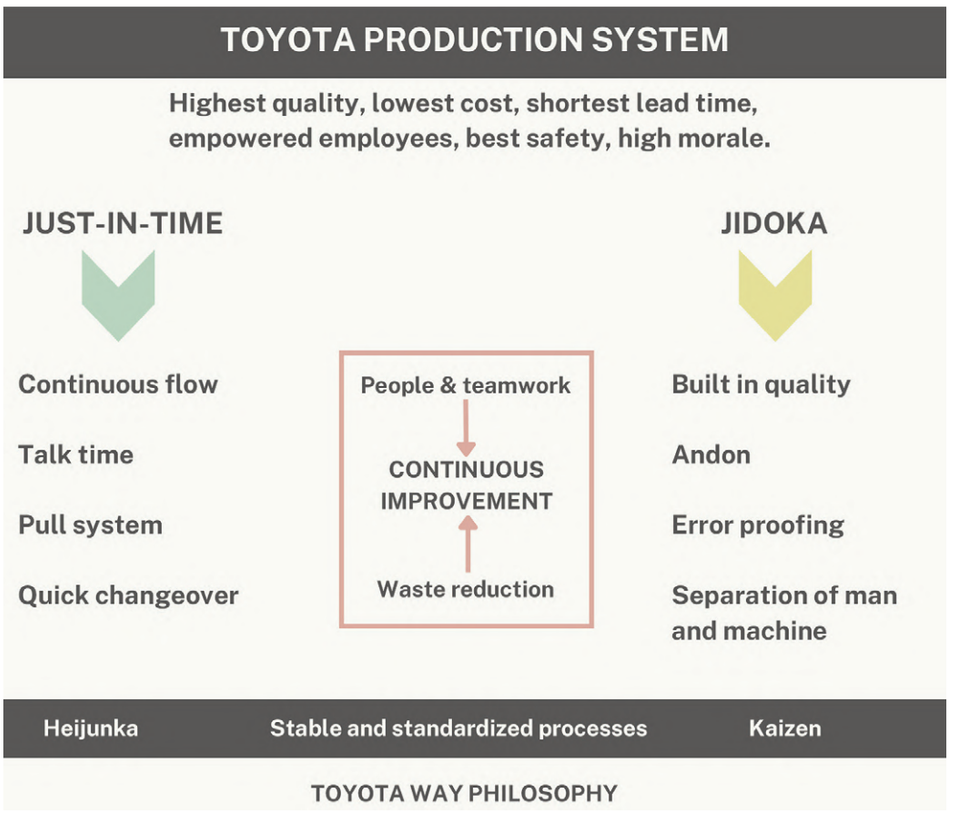
As Vincenzo Cristallo (2017) notes, new generations often struggle to recognise effort and error as fundamental elements of the growth process and creativity. There is a tendency to privilege the reliance on intuition and flair, neglecting the importance of constant work and acceptance of mistakes as an integral part of the path to achieving meaningful results. However, this flexible and hybrid nature of Design, capable of integrating and adapting to multiple disciplines and approaches, makes it a powerful tool for addressing contemporary challenges. Cristallo (2017) also emphasises that fatigue and mistakes represent the true creative asset for anyone aspiring to an autonomous design practice aware of its expressive language. In this context, he criticises the widespread 'happy ending theory', which idealises the design process as a linear path devoid of difficulties.

From this perspective, this paper aims to present some theories on complexity that, for various reasons, are functional in developing a new vision of error. Specifically, the aim is to investigate how the world of Design, whether related to education or production, can use mistakes in the design process, referring to theories widely discussed in engineering, psychology, philosophy, learning sciences, etc.

After an initial state-of-the-art analysis of the three key concepts of this paper (error, complexity, design), two different areas in which the idea of failure and the recognition of errors can be seen as having potential for training and the profession are analysed. Starting from the definition of error as a tool intrinsically linked to the construction of knowledge, capable of promoting innovation and change (Norman, 2013), some key points are defined that are useful for systematising the documentation and understanding of errors within the design process (Fig. 1). By looking at these issues from a new point of view, we want to invite the scientific community to reflect on







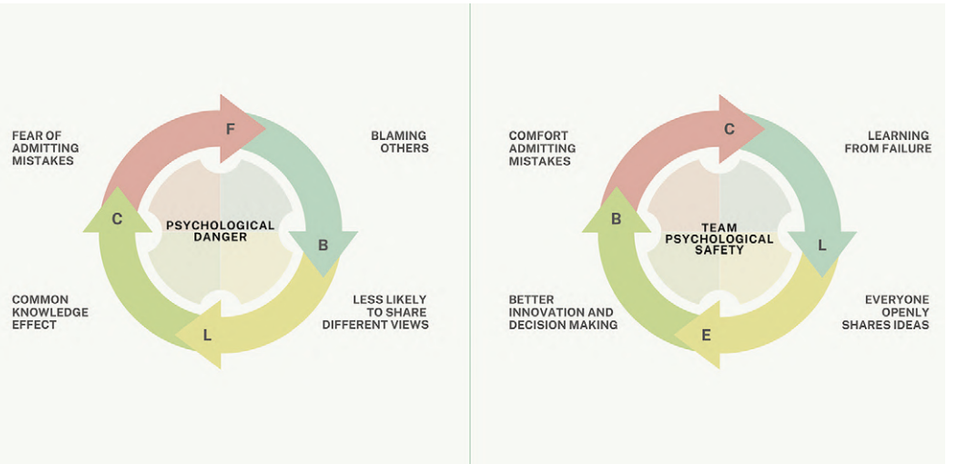


Fig. 5 | Amy C. Edmondson's Scheme of three types of failure (credit: the Authors, 2024).

Fig. 6 | Toyota's Andom system consists of a cable positioned above the production line; when pulled, it creates a signal indicating that a problem has occurred (credit: the Authors, 2024).

Fig. 7 | Toyota production system (credit: the Authors, 2024).

Fig. 8 | 'Psychological safety' team visualisation (credits: the Authors, 2024).

JOHANNES HAUSHOFER CV OF FAILURES

Most of what I try fails, but these failures are often invisible, while the successes are visible. I have noticed that this sometimes gives others the impression that most things work out for me. As a result, they are more likely to attribute their own failures to themselves, rather than the fact that the world is stochastic, applications are crapshoots, and selection committees and referees have bad days. This CV of Failures is an attempt to balance the record and provide some perspective.

This idea is not mine, but due to a wonderful article in Nature by **Melanie I. Stefan**, who is a Lecturer in the School of Biomedical Sciences at the University of Edinburgh. You can find her original article here, her website here, her publications here, and follow her on Twitter under @MelanieIStefan.

I am also not the first academic to post their CV of failures. Earlier examples are here, here, here, and here.

This CV is unlikely to be complete – it was written from memory and probably omits a lot of stuff. So if it's shorter than yours, it's likely because you have better memory, or because you're better at trying things than me.

Degree programs I did not get into	
2008	PhD Program in Economics, Stockholm School of Economics
2003	Graduate Course in Medicine, Cambridge University Graduate Course in Medicine, UCL PhD Program in Psychology, Harvard University PhD Program in Neuroscience and Psychology, Stanford University
1999	BA in International Relations, London School of Economics
Academic positions and fellowships I did not get	
2014	Harvard Kennedy School Assistant Professorship UC Berkeley Agricultural and Resource Economics Assistant Professorship MIT Brain & Cognitive Sciences Assistant Professorship This list is restricted to institutions where I had campus visits; the list of places where I had first-round interviews but wasn't invited for a campus visit, and where I wasn't invited to interview in the first place, is much longer and I will write it up when I get a chance. The list also shrouds the fact that I didn't apply to most of the top economics departments (Harvard, MIT, Yale, Stanford, Princeton, Chicago, Berkeley, LSE) because one of my advisors felt they could not write a strong letter for them.
Awards and scholarships I did not get	
2011	Swiss Network for International Studies PhD Award
2010	Society of Fellows, Harvard University Society in Science Scholarship University of Zurich Research Scholarship
2009	Human Frontiers Fellowship
2007	Mind-Brain-Behavior Award (Harvard University)
2006	Mind-Brain-Behavior Award (Harvard University)
2003	Fulbright Scholarship Haniel Scholarship (German National Merit Foundation)
Paper rejections from academic journals	
2016	QJE, Experimental Economics
2015	AER x 2
2013	PNAS, Experimental Economics, Science, Neuron
2009	AER
2008	Science, Neuron, Nature Neuroscience, Journal of Neuroscience, Journal of Vision
Research funding I did not get	
2016	MQ Mental Health Research Grant
2015	Russell Sage Research Grant (two separate ones)
2013	National Science Foundation Research Grant
2010	University of Zurich Research Grant Swiss National Science Foundation Research Grant Financial Innovation Grant
2009	International Labor Organization Research Grant 3ie Research Grant
Meta failures	
2016	This darn CV of Failures has received way more attention than my entire body of academic work

Tab. 1 | Johannes Haushofer's 'CV of failures', Goh Keng Swee Professor of Economics at the National University of Singapore (credit: Haushofer, 2020).

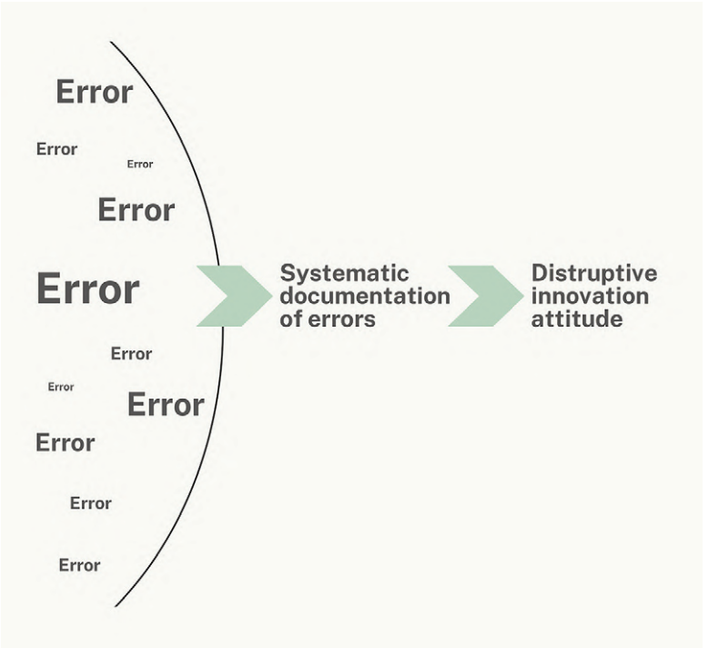


Fig. 9 | Disruptive innovation theory visualisation (credits: the Authors, 2024).

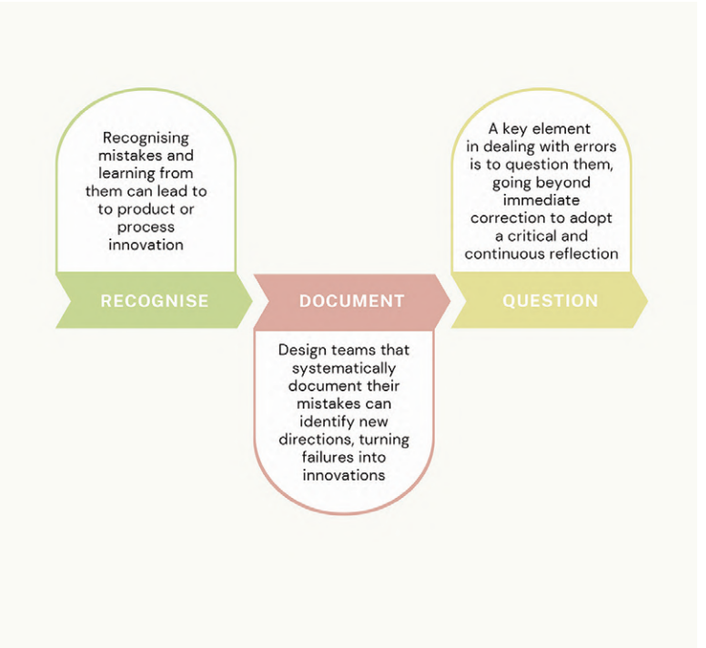


Fig. 10 | The design process error management proposal (credit: the Authors, 2024).

the power of error as an element of innovation, highlighting its unexpressed potential.

State of the art: error, complexity and design | Defined as the interconnection of multiple elements forming a plural entity, complexity is an inherent characteristic of the contemporary world, accentuated by issues of global significance such as climate change and socio-economic pressures. The relationship between Complexity and Error has been widely explored in many disciplines: in engineering, for example, studies on 'chaos theory' (Lorenz, 1963; Fig. 2) have highlighted how minor initial errors can be amplified within complex systems, leading to unpredictable outcomes. This has led to an increased focus on error management as an integral part of designing sturdy and resilient systems.

Complexity and error interact with each other, as in the case of the learning process. In cognitive psychology, the 'cognitive load theory' developed by John Sweller (1988) provided important insights into how this occurs. Sweller pointed out that excessive cognitive load during complex problem-solving can hinder learning and the development of new mental patterns. Rigid problem-solving strategies – such as half-end analysis and overloaded working memory – limit the space for new concepts. Effective management of cognitive load facilitates learning and encourages the exploration of new ideas. Such an approach also has direct implications for Design, where the balance between complexity and simplicity becomes crucial to facilitate learning and innovation (Maeda, 2006).

Furthermore, the entire scientific approach and the researcher's profession are based on different strategies for dealing with errors (Di Giovanni and Tiberio, 2022). Bamford (2002) describes two primary design methodologies: 'analysis / synthesis' and 'conjecture / analysis'. Analysis / synthesis adopts a traditional, systematic and rigorous scientific approach aimed at minimising error and uncertainty through a structured process rooted in scientific methodology, where meticulous data collection and analysis are central to ensuring that each step in the design process is thoroughly verified.

This view reflects the tradition of rational and deductive thinking, where complexity is addressed through the systematic decomposition of problems and the application of linear and predictable solutions (Fig. 3). Conjecture / analysis, on the other hand, is based on exploration and innovation, starting from complex and ill-defined problems. Following the philosophy of Karl Popper (2009), this approach is based on bold hypotheses that need to be subjected to rigorous empirical testing to be falsified and improved: Popper, known for his theory of falsifiability, emphasises the importance of assumptions that can be challenged to foster scientific progress (Dalla Pozza and Negro, 2017; Fig. 4).

These two approaches highlight how Design can use both inductive and deductive methodologies. Analysis / synthesis is predominantly deductive, relying on general principles to arrive at specific conclusions, while conjecture / analysis is more inductive, building new theories and solutions through observation and practical experience (Fagnoni, 2017). This ability to oscillate between scientific rigour and intuitive creativity reflects the inherent complexity of the design process, where error becomes an integral and necessary part of the creative journey.

The need for flexibility and a more open approach is reflected in the 'telos' of Design, as discussed by Stefano Maffei (2022), which pushes towards a vision not limited to the mere resolution of immediate problems but oriented towards systemic and social transformation. This implies a shift from a design focused on rigid and specific goals to a more holistic and adaptive process, capable of integrating the complexities of the human context in which it operates, a central theme of 'designing for the real world', in which Papanek (2022) introduces the 'right to failure' for designers, stating that failure is not a flaw but a necessary component of innovation. The 'right to fail' is not just a concession to the fact that mistakes can happen but a real defence of the necessity of failure to achieve meaningful Design (Verganti, 2009). Indeed, complex systems require an approach capable of integrating analysis and synthesis, addressing problems not as isolated entities but as part of a more extensive, interconnected system. As a social technology, Francesco Zurlo (2019) describes Design Thinking as an effective response to this challenge, allowing designers to navigate multiple variables and uncertainties through framing and reframing processes. However, during the project, reframing becomes essential to adapt to new information, insights or changes in context, redefining the problem and modifying the approach to ensure the relevance and effectiveness of the outcome.

Towards a pedagogy of error | Until around 1970, traditional pedagogy was built around two fundamental axes: teaching and evaluation (Binanti, 2001). According to this approach, error was perceived as something negative, whereas following the significant protests of the 1970s that revolutionised many approaches to knowledge, an authentic 'pedagogy of error' began to be theorised, understood as a form of education that is attentive to the pupil's active and participatory construction of self and knowledge through trial and error.

In more recent times, philosopher Massimo Donà (2012) explained how making mistakes is an opportunity for growth; in fact, the Error is there to remind us of the inexhaustible complexity of reality: according to Donà, we need to grasp the positive aspects even in critical situations, i.e. when making mistakes, it allows us to activate resources and capabilities that would otherwise not emerge. Mistakes make us see things from another point of view and help us change or refine our ideas. After all, the history of human knowledge is made up of mistakes that have been corrected over time.

According to the philosophical concept of Fallibilism, all living beings proceed by trial and error in science as in life. According to Popper (2009), knowl-

edge development takes place by trying to solve problems and eliminating less adequate solutions. The difference between human and animal knowledge lies not so much in the errors. Still, in terms of the ability to deal with them critically and constructively, whereas an amoeba can die because of its mistakes, human could progress thanks to them.

This is a vast and complex topic: what is the role of error in design education in a context where designers are called upon to design correctly? Error is an integral part of design, especially when learning the profession. Pretending that error does not exist except to be corrected is a wrong approach that great designers and pedagogues, including Bruno Munari, Gianni Rodari, Donald Norman, Loris Malaguzzi and Bruno Ciari, understood very well. They proposed a pedagogy that does not justify error but considers it a fundamental aspect of construction and design growth. In this sense, working with error does not mean opposing error to correction but represents an opportunity to shift the point of view.

Error pedagogy, therefore, proposes to deal with it as a valuable stimulus, not only for the person who made it but for the whole group (Benes et alii, 2017). The error becomes a true gateway to knowledge within constructivist, exploratory and participatory education frameworks. While the potential for error has been understood in some more ethical educational contexts, many companies believe that making errors in developing products and services is always wrong. There is also a frequent belief that learning from one's mistakes is relatively simple. To do so, one must reflect on what caused the error and avoid repeating it in the future.

These widely held beliefs are misleading: first, failure is not always harmful; sometimes, it is inevitable and sometimes even positive; second, learning from mistakes is far from easy. The activities required to detect and analyse failures effectively are rare in most companies, as is the development of specific learning strategies. Companies need new and better ways to move beyond old cultural beliefs and embrace the lessons of error.

Coping with error in the professional context: method, ongoing adaptation and psychological safety | According to Amy C. Edmondson (2023), a researcher known for her work on organisational psychology and error management, errors fall into three broad categories: 'preventable', 'complexity-related' and 'intelligent'. Those who fall into the first group can be considered 'negative' as they originate from inattention or inability when large volume or routine operations occur. Particular methodologies such as checklists, which are widely used in the medical field, have been developed (Fig. 5). However, several years earlier, surgeon Atul Gawande (2010) highlighted the importance of extending the use of checklists in complex contexts such as engineering and architecture where, as the complexity of procedures increases, so does the risk of error, even for experienced professionals. Checklists offer a simple and effective method to manage this complexity.

Another great reference in error management is the revolutionary Toyota Production System (TPS), the ongoing learning system integrated from minor errors, which has had a significant impact in the automotive industry and many other sectors, helping to revolutionise production and management practices worldwide. The TPS model (Figg. 6, 7) aims to achieve its objectives through an industrial reorganisation involving both the managerial aspect and the organisational structure, enhancing the human contribution to intelligence and responsibility. This error management system has enabled Toyota to become the eleventh-largest company in the world in terms of market capitalisation and turnover and the largest car manufacturer in 2024 (Murphy and Schifrin, 2024).

Also, according to Amy C. Edmondson's (2023) error theories, some errors are unavoidable because they are linked to the complexity and uncertainty of work, arising from unique combinations of needs, people and problems that may never have occurred before. They require an excellent capacity for perpetual adaptation. Learning from mistakes in the design process is particularly important for the designer in a resilient profession; also crucial, according to Edmonson, is the 'psychological safety team' (Fig. 8), which is essential to foster an environment where members can share ideas, ask questions and, most importantly, admit mistakes without fear of repercussions.

Another interesting type of error is represented by 'intelligent failures'. Theorised by Prof. Sim Sitkin (Rousseau et alii, 1998), a researcher known for his studies that already in the early 1990s related error, learning and organisational performance, emphasising how effective error management can lead to more favourable results in the long term. However, the ability to learn depends on the organisation's reaction to errors. It is crucial to develop proactive models that anticipate and manage them rather than just responding to the unexpected. Sitkin introduces the concept of 'intelligent failures', which occur during experimentation and innovation when there are no known answers because unique and non-repeatable situations are faced.

Erring is a common act in many highly innovative contexts, and it is a particularly interesting skill for the designer. Therefore, everyone must accept that error is not only regressive but can also be progressive and valuable.

Recognising the fertile error | Human existence is intrinsically linked to errors. It is not just the mistakes we make more or less consciously; the entire evolutionary process of life is deeply connected to error (Martin, 2024). However, we have a problematic relationship with it; we tend to hide or stigmatise it, ignoring its potential to become a new beginning, a fertile ground for a new outlook and a moment of growth. In this regard, Karl Popper (1975) states that avoiding mistakes is a petty ideal: if we do not dare to tackle problems that are so difficult that error is almost inevitable, there will then be no development of knowledge. Therefore, since no one can avoid making mistakes, it is essential to learn from them. How can the concept of error be deliberately incorporated into the design process?

The first aspect we want to focus on is the need for a culture of error, which opposes the success narrative that makes mistakes invisible to ourselves and others. In the world of research and education, failures come in many forms, occur for many reasons and justify many solutions; however, none of these are discussed or presented at industry conferences. For this reason, Melanie Stefan (2010) proposes a 'CV of failures', in which academic failures, unsuccessful awards or lost scholarships are showcased (Tab. 1). The aim is not to stigmatise failures but to train new Designers to conceive error as an integral part of growth. The philosopher Antiseri (2017) also states that to facilitate the progress of science, it is necessary to find errors because if we can recognise them, we highlight the need to question existing theories and overcome and correct the errors themselves.

In design, errors can be seen as feedback that triggers the learning cycle. This allows designers to reflect on which aspects of the process have failed, build improved mental models, and experiment with new solutions that can more adequately respond to design challenges. Shifting to the cognitivist perspective, it is believed that documenting mistakes and implemented solutions allows the construction of a knowledge repository that helps individual designers improve and fosters long-term team and organisational growth.

The Toyota case highlights how keeping track of errors and learning from them can lead to product or process innovation. It is necessary to enhance the approach that recognises 'fertile' error, favouring the implementation of open-loop systems that can document, examine and learn from them. Design methodologies, such as Design Thinking, per se, include iterative steps that embrace error as a creative possibility. However, it is necessary to have a record of failures and implemented solutions so that it becomes a learning tool for future designers and other team members.

As complexity theories applied to design have shown (Simon, 1996), error is inevitable, as the system dynamics may be unpredictable and not fully manageable through initial planning. Errors become necessary signals for identifying weaknesses, anomalies or emerging problems. Not losing sight of these signals is crucial for proactive intervention. For example, in the design of complex technological products, an error occurring in one phase can have cascading repercussions on other system elements; the accurate documentation of these errors makes it possible to prevent them from recurring, facilitating the preventive correction of future problems.

In the literature on innovation, such as that proposed by Joseph L. Bower and Clayton M. Christensen (1995) in their theory of 'disruptive innovation' (Fig. 9), initial mistakes and failures are often signs of innovations that challenge the status quo. Keeping track of mistakes can reveal opportunities for disruptive innovations where traditional solutions continue to fail. Design teams that systematically document their mistakes can identify new directions not previously considered, turning failures into a springboard for breakthrough innovations.

A key element in error management is the ability to question errors, going beyond simple, immediate correction to adopt a critical and continuous reflection on the assumptions that drive the design process. The theory of Double-Loop Learning, developed by organisational theorists Chris Argyris and Donald Schön (1998), emphasises the importance of reflecting on the root causes of errors, questioning beliefs and mental models underlying decisions. In Design, this approach is particularly effective in dealing with complexity and uncertainty, encouraging a review of technical errors and the assumptions implicit in the design process. The advantage for Designers is the ability to approach complex situations with greater flexibility and openness, facilitating the creation of more creative solutions relevant to emerging user needs.

Conclusions | Errors are often seen as undesirable outcomes, indicating failure or lack of competence. However, in the complexity of the Design context, er-

rors can be a valuable resource that offers innovation, knowledge advancement and growth opportunities. Tracking errors and implementing solutions in Design processes is a quality control practice and a key strategy to promote innovation and ongoing learning.

The theories of experiential learning (Kolb, 1984), complexity and organisational learning all support the thesis that error can be exploited as a crucial resource for continuous improvement. By accurately documenting errors and reflecting on their solutions, designers can identify patterns, challenge their working assumptions and generate more effective and relevant innovations. Ultimately, recognising and managing error is necessary and can be a fertile ground for creativity and growth (Fig. 10).

Openness towards the culture of failure on the part of trainers or companies has implications in several areas. At the cultural level, it can lead to a more tolerant society in which failure is not stigmatised but understood as a step towards success; likewise, it can stimulate adaptability and ongoing learning, fundamental qualities in an ever-changing world. At the corporate level, this approach fosters innovation and creativity, as one feels free to experiment; furthermore, knowing that mistakes are accepted and openly discussed can increase employee involvement and motivation. However, this approach has limitations in its application to the real world, not least because of the complexity in which we live. When it is not balanced, the risk is that the error culture leads to a passive acceptance of failure, which does not produce a productivity improvement but generates frustration. While in some disciplines, the scientific literature has extensively analysed how to approach errors and learn from them, the design field has not yet formalised models of failure management. Despite interest in this topic proliferating, thanks to its centrality within industry conferences, little or nothing of this approach to error has been implemented. The Designer proceeds by trial and error autonomously and spontaneously.

It is essential to strike a balance between accepting mistakes as part of the learning process and the need to maintain high standards and accountability. A balanced approach can maximise benefits while minimising risks. Accepting error as a fundamental element of project development introduces significant challenges, especially in profit-oriented contexts. Crucial questions remain: how can errors be dealt with constructively while avoiding promoting a permissive attitude? Furthermore, how is it possible to ensure that people, if they are not blamed for their mistakes, continue to give their best effort and strive for improvement in the future?

Acknowledgements

This paper is the result of a reflection shared by the authors. However, the introductory paragraph and 'State of the art: error, complexity and design' are attributed to X. Ferrari Tumay, the paragraph 'Towards a pedagogy of error' and 'Coping with error in the professional context: method, ongoing adaptation and psychological safety' to C. Porfirione; the paragraphs 'Recognising the fertile error' and 'Conclusions' are attributed to I. Leggiero.

References

Antiseri, D. (2017), "Scienza senza certezze", in *Ithaca | Viaggio nella Scienza*, vol. IX, pp. 21-32. [Online] Available at: siba-ese.unisalento.it/files/ithaca/Ithaca_IX_2017.pdf [Accessed 27 September 2024].

Argyris, C. and Schön, D. A. (1998), *Apprendimento organizzativo – Teoria, metodo e pratiche*, Edizioni Guerini, Milano. [Online] Available at: guerini.it/index.php/prodotto/apprendimento-organizzativo/ [Accessed 27 September 2024].

Auricchio, V. (2018), "Agilità didattica – Luisa Collina sulla evoluzione delle scuole di design | Agile Education – Luisa Collina on the evolution of Design Schools", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 3, pp. 213-218. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/3282018 [Accessed 27 September 2024].

Bamford, G. (2002), "From analysis / synthesis to conjecture / analysis – A review of Karl Popper's influence on design methodology in architecture", in *Design Studies*, vol. 23, issue 3, pp. 245-261. [Online] Available at: doi.org/10.1016/S0142-694X(01)00037-0 [Accessed 27 September 2024].

Benes, R., Cellie, D., Czerwinsky, L. D. and Kopciowski, J. (2017), *Per una pedagogia dell'errore – Verso una scuola amica*, Asterios Editore, Trieste.

Binanti, L. (2001), *Pedagogia, epistemologia e didattica dell'errore*, Rubbettino Editore, Soveria Mannelli.

Bower, J. L. and Christensen, C. M. (1995), "Disruptive Technologies – Catching the Wave", in *Harvard Business Review*, vol. 73, issue 1, pp. 43-53.

Cristallo, V. (2017), "Ricerca, sperimentazione e responsabilità del progetto", in Flora, N. and Iarusso, F. (eds), *Progetti mobili*, LetteraVentidue, Siracusa, pp. 45-56.

Dalla Pozza, C. and Negro, A. (2017), *Come distinguere scienza e non-scienza – Verificabilità, falsificabilità e confermabilità bayesiana*, Carocci editore, Roma.

Di Giovanni, E. and Tiberio, M. (2022), "Per un'antropologia del design", in *Narrare i Gruppi*, vol. 17, issue 1, pp. 110-125. [Online] Available at: iris.unipa.it/handle/10447/563320 [Accessed 27 September 2024].

Dominici, P. (2018), "The Hypertechnological Civilization and the Urgency of a Systemic Approach to Complexity – A New Humanism for the Hypercomplex Society", in Floriani Neto, A. B., Caceres Nieto, E., Chiodi, G. and Petroccia, S. (eds), *Governing turbulence, risk and opportunities in the complexity age*, Cambridge Scholars Publishing, Newcastle, pp. 22-44. [Online] Available at: cambridgescholars.com/resources/pdfs/978-1-5275-0756-2-sample.pdf [Accessed 27 September 2024].

Donà, M. (2012), *Filosofia dell'errore – Le forme dell'inciampo*, Bompiani, Milano.

Edmondson, A. C. (2023), *Right kind of wrong – The science of failing well*, Simon Element, New York.

Fagnoni, R. (2017), "Practicescape – Orizzonti della pratica nella ricerca in design", in Riccini, R. (ed.), *FRID 2017 – Sul Metodo / Sui Metodi – Esplorazioni per le identità del design*, Mimesis, Milano, pp. 75-82.

Gawande, A. (2010), *Checklist manifesto – How to get things right*, Penguin Books India, New Delhi.

Hofstadter, D. R. (1999), *Gödel, Escher, Bach – An eternal golden braid*, Basic Books, New York.

Kolb, D. A. (1984), *Experiential Learning – Experience as the source of learning and development*, Prentice-Hall, Hoboken.

Lorenz, E. N. (1963), "Deterministic Nonperiodic Flow", in *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 20, issue 2, pp. 130-141. [Online] Available at: doi.org/10.1175/1520-0469(1963)020<0130:DNF>2.0.CO;2 [Accessed 27 September 2024].

Maeda, J. (2006) *The laws of simplicity – Design, technology, business, life*, The MIT Press, Cambridge (US).

Maffei, S. (2022), "Expanding the Galaxy – Designing More-than-Human Futures", in *DIID | Disegno Industriale Industrial Design*, vol. 75, article 8, pp. 14-21. [Online] Available at: doi.org/10.30682/diid7521a [Accessed 27 September 2024].

Martin, P. (2024), *Storie di errori memorabili*, Editori Laterza, Roma-Bari.

Murphy, A. and Schifrin, M. (2024), "The Global 2000", in *Forbes*, newspaper online, 06/06/2024. [Online] Available at: forbes.com/lists/global2000/ [Accessed 27 September 2024].

Norman, D. A. (2013), *The design of everyday things*, Basic Books, New York

Papanek, V. (2022), *Design per il mondo reale – Ecologia umana e cambiamento sociale* [or. ed. *Design for the real world – Human ecology and social change*, 1972], Quodlibet, Macerata.

Popper, K. R. (2009), *Congetture e confutazioni – Lo sviluppo della conoscenza scientifica*, Mulino, Bologna.

Popper, K. R. (1975), *Conoscenza oggettiva – Un punto di vista evoluzionistico*, Armando editore, Roma.

Reason, J. (2009), *Human error*, Cambridge University Press, Cambridge.

Rousseau, D. M., Sitkin, S. B., Burt, R. S. and Camerer, C. (1998), "Introduction to Special Topic Forum – Not so Different after All – A Cross-Discipline View of Trust", in *The Academy of Management Review*, vol. 23, issue 3, pp. 393-404. [Online] Available at: jstor.org/stable/259285 [Accessed 27 September 2024].

Simon, H. A. (1996), *The sciences of the artificial*, MIT Press, Cambridge (US).

Stefan, M. (2010), "A CV of failures", in *Nature*, vol. 468, p. 467. [Online] Available at: doi.org/10.1038/nj7322-467a [Accessed 27 September 2024].

Sweller, J. (1988), "Cognitive Load During Problem Solving – Effects on Learning", in *Cognitive Science*, vol. 12, issue 2, pp. 257-285. [Online] Available at: doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4 [Accessed 27 September 2024].

Verganti, R. (2009), *Design-Driven Innovation – Cambiare le regole della competizione innovando radicalmente il significato dei prodotti e dei servizi*, Etas, Milano.

Wiener, N. (2019), *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, MIT Press, Cambridge (US). [Online] Available at: doi.org/10.7551/mitpress/11810.001.0001 [Accessed 27 September 2024].

Zurlo, F. (2019), "Designerly Way of Organizing – Il Design dell'organizzazione creativa | Designerly Way of Organizing – The Design of creative organization", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 5, pp. 11-20. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/522019 [Accessed 27 September 2024].

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 242-249
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/16212024

Article Info

Received 10 September 2024
Revised 11 October 2024
Accepted 14 October 2024
Published 30 December 2024

HUMAN-DE-CENTRED DESIGN
Verso una (nuova) era della sofferenza

HUMAN-DE-CENTRED DESIGN
Towards a (new) era of suffering

Niccolò Casiddu, Francesco Burlando, Boyu Chen

Abstract

Per affrontare le sfide globali dell'Antropocene il contributo propone il concetto di Human-de-centred Design, nuovo approccio progettuale volto a superare in modo netto l'Human-centred Design. Ponendosi come alternativa più forte agli analoghi tentativi del filone del postumanesimo, il nuovo paradigma promuove una visione in cui le necessità degli 'agenti non umani' vengano privilegiate. Ne deriva un'uscita proattiva dell'utente dal centro del progetto che comporta la necessità di subordinare gli interessi umani alle esigenze dell'ecosistema. Per ottenere tale rivoluzione post-antropocentrica viene presentato il concetto di 'era della sofferenza', volto a evidenziare gli sforzi richiesti all'uomo e in questa logica vengono analizzati tre casi di studio che dimostrano come il Design possa sfidare approcci tradizionali e abbracciare una prospettiva più radicale volta a rimuovere l'utente umano dal centro del progetto.

To tackle the global challenges of the Anthropocene, this paper proposes the concept of Human-de-centred Design, a new design approach aimed at decisively moving beyond Human-centred Design. Positioned as a stronger alternative to similar attempts from the posthumanism field, this new paradigm promotes a vision in which the needs of 'non-human agents' are prioritised. This leads to a proactive removal of the user from the centre of the design process, requiring that human interests be subordinated to the ecosystem's needs. To achieve this post-anthropocentric revolution, the concept of the 'era of suffering' is introduced, intended to highlight the efforts required from humanity. To illustrate this concept, three case studies are analysed, demonstrating how design can challenge traditional logic and adopt a more radical perspective that removes the human user from the centre of the project.

Keywords

postumanesimo, post-antropocene, design speculativo, agenti non-umani, sofferenza

posthumanism, post-Anthropocene, speculative design, non-human agents, suffering

Niccolò Casiddu is a Full Professor and the Director of the Department of Architecture and Design, Polytechnic School of the University of Genoa (Italy), as well as a visiting Professor at the Beijing University of Chemical Technology (China). His research focuses on accessibility and inclusivity in environments and products, particularly on facilitating the interaction between technology and users. Mob. +39 320/46.27.513 | E-mail: casiddu@unige.it

Francesco Burlando, Designer and PhD, is a Research Fellow at the Department of Architecture and Design, University of Genoa (Italy), and a visiting Professor at the Beijing University of Chemical Technology (China). His research focuses on studying and applying technologies, particularly AI and robotics, through a 'more-than-human' approach. Mob. +39 347/882.28.11 | E-mail: francesco.burlando@unige.it

Boyu Chen, Designer, is a PhD Candidate in Italy's National Doctoral Research Programme. He studies at the Department of Architecture and Industrial Design at the 'Luigi Vanvitelli' University of Campania and the Department of Architecture and Design at the University of Genoa (Italy). His research primarily focuses on inclusive design, particularly on accessible urban navigation and walkability. Mob. +39 339/18.58.691 | E-mail: boyu.chen@unicampania.it



Secondo Galimberti (2023) la concezione antropocentrica occidentale poggia le sue radici su due fattori: il primo è la religione cristiana, che pone l'uomo in un ruolo dominante rispetto alla natura. «God created them; male and female he created them. God blessed them, and God said to them, '[…] fill the earth and subdue it; and have dominion over the fish of the sea and over the birds of the air and over every living thing that moves upon the earth'» (American Bible Society, 1986, p. 3). Questa concezione, che possiamo considerare tutt'oggi radicata culturalmente, venne paradossalmente alimentata dalla nascita del pensiero illuminista che si contrappose a quello religioso su molti punti, senza tuttavia discostarsene in tema di antropocentrismo. Infatti, se gli antichi greci basavano i loro ragionamenti scientifici sull'osservazione della physis (la natura), dalla quale traevano deduzioni logiche per postulare regole universali, il pensiero scientifico moderno si fonda sulle postulazioni di ipotesi a priori che, se validate in modo controllato e ripetibile, portano alla definizione di nuove leggi.

Questo dominio dell'uomo sulla natura ha portato alla condizione attuale che è ben riassunta dalle parole di Monteiro (2019) quando afferma che il mondo funziona esattamente per come è stato progettato e, siccome non funziona molto bene, è necessario uno sforzo collettivo per riprogettarlo. In effetti da diversi anni si sta assistendo alla crescita di movimenti che promuovono il superamento dell'Antropocene, come testimoniato dalla Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, adottata dalle Nazioni Unite (UN, 2015), che ha individuato 17 obiettivi di sviluppo sostenibile globale (Colglazier, 2015). Anche nell'ambito della progettazione si è assistito allo sviluppo di proposte volte a superare il modello Human-centred (Vacanti et alii, 2023), largamente accettato negli ultimi decenni, in favore di approcci definiti come Post Human (Braidotti and Hlavajova, 2018), More-than-human (Haraway, 2019) o con terminologie simili (Ferrando, 2017).

Parallelamente vi sono correnti di pensiero, come la Decrescita Felice teorizzata da Latouche (2014), che provano a contrastare quella che Galimberti (2023) definisce 'era della tecnica', riguardo alla quale Papa Francesco (2015, p. 18) si pronunciò così nell'enciclica 'Laudato si': «La continua accelerazione dei cambiamenti dell'umanità e del Pianeta si unisce oggi all'intensificazione dei ritmi di vita e di lavoro, in quella che in spagnolo alcuni chiamano 'rapidación' (rapidizzazione) che contrasta con la naturale lentezza dell'evoluzione biologica. A ciò si aggiunge il problema che gli obiettivi di questo cambiamento veloce e costante non necessariamente sono orientati al bene comune e a uno sviluppo umano, sostenibile e integrale».

Le parole del Santo Padre sanciscono una forte rilettura dei versi della Genesi citati in precedenza, andando a porsi in forte contrapposizione con il modello Cristiano classico dell'ordine del mondo, delineato nel Medioevo da Sant'Agostino attraverso la Scala Naturae (Lovejoy, 2017). Sembra quasi necessario assumere una prospettiva opposta e ammettere che la genesi dell'uomo sia avvenuta come ultimo atto volto a inserirlo all'interno di un ecosistema senza il quale la sua stessa esistenza non sarebbe stata possibile (Fig. 1). Il superamento del paradigma antropocentrico è già in atto da diversi anni grazie al contributo di vari studiosi, tuttavia gli sforzi collettivi sono finora riusciti a rallentare ma non a invertire la tendenza, nonostante la crisi che il nostro Pianeta sta vivendo lo richieda con sempre maggiore urgenza.

In quest'ottica l'obiettivo principale del contributo è denunciare la massima urgenza di un cambiamento e incoraggiare così la comunità scientifica ad accelerare il processo di decentramento dell'essere umano dalle priorità progettuali. A partire da un inquadramento degli ambiti Post Human e More-than-human, il contributo teorizza il loro superamento volto a favorire l'ingresso della società in un 'era della sofferenza' come superamento della 'rapidación'. Attraverso un'analisi critica di alcuni riferimenti progettuali e di ricerca si evidenzia l'inquadramento del ruolo dei progettisti e si sostiene come, in un contesto di transizione così universale e complesso, la disciplina del Design possa facilitare l'indirizzo verso una società non-antropocentrica denunciando in modo forte l'urgenza di cambiamenti repentini nelle abitudini delle persone e nell'approccio richiesto a Istituzioni e professionisti.

Agenti non umani in una società antropocentrica | Le teorie Post Human e More-than-human concordano nell'ampliare il dominio antropocentrico attraverso l'introduzione del concetto di Non-human Agency. Se si considera un ecosistema e gli elementi che lo compongono, il termine fa riferimento alla capacità di azione e influenza esercitata da entità che non sono umane. Se tradizionalmente la capacità di 'agency' veniva attribuita solo agli esseri umani, poiché si presumeva che solo essi possedessero elementi quali intenzionalità, coscienza e volontà, nelle moderne prospettive si riconosce che oggetti tecnologici, forze naturali, animali e persino sistemi complessi – come le reti digitali o i processi ecologici – possano esercitare forme di 'agency' che contribuiscono a modellare l'ecosistema di cui fanno parte.

La natura non è più vista come un semplice oggetto di manipolazione umana, ma come un insieme di agenti attivi che interagiscono con l'uomo in modo complesso e autonomo. Si pensi agli animali domestici, definiti più correttamente da Haraway (2023) 'specie compagne', in quanto esercitano un'influenza significativa in ambito comportamentale, sociale e affettivo influenzando scelte e attività delle persone e generando relazioni molto più complesse della semplice dicotomia padrone-animale. Sebbene il loro numero si attesti in Italia a 32 milioni, ovvero 1 ogni 2 abitanti[1], al netto della grande industria di prodotti per animali che va dall'ambito alimentare ai giocattoli, si può affermare che a livello generale le nostre case e città non siano progettate per ospitarli in modo confortevole.

Gli agenti non umani tuttavia non trovano rappresentanza unicamente nelle forme di vita tangibili e presenti nel nostro quotidiano, bensì anche in elementi dai connotati più astratti che meritano un ragionamento più ampio. La luce solare può essere considerata un esempio di Non-human Agency in quanto opera come una forza autonoma che influenza, regola e modella vari processi biologici e culturali: è agency distribuita in quanto non è un'entità individuale con potere discreto, ma parte di una rete complessa di interazioni che coinvolge altre forze naturali e biologiche.

Come si può attribuire la giusta considerazione progettuale alla luce solare? Le potenzialità di questa Non-human Agency vengono sfruttate dall'uomo in modo indiretto sin dalla nascita dell'agricoltura che si basa sulla coltivazione delle piante possibile solo grazie alla fotosintesi. Anche lo sfruttamento diretto trova testimonianza già da diversi secoli in un percorso che va da Archimede, il quale intuisce come la concentrazione dei raggi solari possa produrre una enorme quantità di energia termica ed incendiare così le navi nemiche, a Giovanni Francia, fisico genovese pioniere negli studi sull'energia solare che riprende lo stesso principio all'inizio del '900 nel progettare i primi prototipi di centrali termosolari.

Oggi il solare rappresenta una delle fonti di energie rinnovabili più comuni e, più in generale, la luce è un elemento ampiamente utilizzato anche nel progetto, con innumerevoli esempi in ambito architettonico. Tuttavia, questo rapporto non completa adeguatamente il quadro volto a delineare il concetto di luce solare come Non-human Agency. Per fare un ulteriore passo bisognerebbe chiedersi, a livello progettuale, quali siano le esigenze del sole o, quantomeno, dell'ecosistema Terra in relazione ad esso.

Considerata la problematica del surriscaldamento globale, l'esigenza principale per sfruttare al meglio la luce solare sembra essere quella di diminuirne l'assorbimento: soluzioni progettuali volte, ad esempio, a diminuire l'albedo terrestre attraverso il sapiente utilizzo del colore bianco nella progettazione di elementi come macchine e tetti degli edifici – che se considerati nel loro insieme costituiscono una influente porzione della superficie terrestre (Casiddu and Giulini, 2014; Fig. 2) – possono realmente essere catalogate sotto l'ambito More-than-human.

Superare (ancora di più) l'approccio Human-centred | Come evidenziato in precedenza, la strada verso un cambio del paradigma antropocentrico è già ampiamente tracciata e oggi è possibile trovarne numerose testimonianze in letteratura. In primo luogo le Istituzioni, tra cui le Nazioni Unite (UNEP-CCC, 2020) e l'Unione Europea (European Parliament and Council of the European Union, 2024), hanno tracciato con decisione la rotta verso un futuro sostenibile, fissando importanti obiettivi che vanno dall'abbassamento della temperatura globale di 1,5 °C entro il 2030 al raggiungimento dello stato di emissioni zero entro il 2050.

Nell'ambito del progetto non mancano le testimonianze di come questo cambio di paradigma sia stato recepito, sia sul piano teorico che pratico. Un ruolo cardine in tal senso viene assunto dal New European Bauhaus (NEB; European Commission, 2021) che declina i dettami di una Nuova Strategia Industriale per l'Europa (European Parliament, 2020) per le discipline del progetto e il cui statuto, secondo David Ness (2021, p. 26), potrebbe parafrasare così il pensiero di Gropius «[…] il fine ultimo di tutta l'arte è quello di ispirare soluzioni innovative ed eque che prevedano il minor consumo di risorse e di carbonio». Questo nuovo paradigma progettuale viene ben riassunto nella definizione che ne danno Massimo Lauria e Maria Azzalin (2021), quando identificano l'operazione richiesta alle attuali e future generazioni sotto la definizione di Umanesimo Planetario. Ai progettisti è chiesto infatti di riparare le ferite inferte al nostro ecosistema generando un nuovo valore, se possibile ancora maggiore del precedente, come se si trattasse di un'operazione di 'kintsugi' (trad. lett. 'riparare con l'oro') universale (Fig. 3).

A partire da un'interessante operazione di analisi di dodici approcci di progetto sostenibile, Michele Zannoni et alii (2024) identificano in risposta a queste necessità la figura del Transitional Designer: un progettista orientato al futuro attraverso



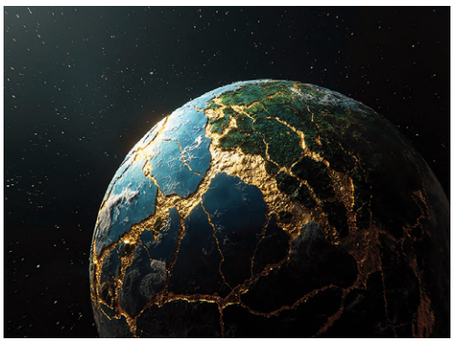
Fig. 1 | Mosaics in the Monreale Cathedral, or Cathedral of Santa Maria Nuova, depicting the Creation in its various stages (credit: F. Burlando, 2024).

Fig. 2 | White Roofs, Polar Bear (credit: Greenpeace, 2010).

Fig. 3 | Earth Repairing by Kintsugi (credit: Midjourney, 2024).

Fig. 4 | Schematics for Human-centered Design, More-than-human-centered Design, and Human-de-centered Design (credit: F. Burlando, 2024).







la consapevolezza critica sulle implicazioni socio-ambientali del progetto.

Inoltre il cambio di paradigma non è solamente segnato a livello normativo e teorico: esempi di progetti realizzati con un approccio More-than-human sono ormai facilmente riscontrabili in letteratura, come dimostra la review realizzata da Marie Davidovà, Shany Barath e Susannah Dickinson (2023) che analizza progetti su scale diverse relativi alle seguenti tematiche: coinvolgimento della popolazione per trasmettere agli utenti l'importanza dei Non-human Agency, progettare la convivenza multispecie in ambienti costruiti e applicare la teoria della complessità ai processi ecologici. Altrettanto interessante è il lavoro analogo di Tehseen Noorani e Julian Brigstocke (2018) che evidenzia come i progetti More-than-human siano principalmente riconducibili al tentativo di dare voce i Non-human Agency e all'obiettivo di includere attivamente gli utenti, e in alcuni casi anche i Non-human Agency stessi (Hodgetts, 2017), all'interno del progetto.

Tuttavia queste azioni continuano a non dare risposta adeguata alle difficoltà dell'ecosistema e, perciò, possono porsi solamente come punto di partenza per un cambiamento futuro sebbene, da sole, non sembrano destinate a garantire il raggiungimento degli obiettivi di salvaguardia del Pianeta. Il surriscaldamento globale, la crisi di risorse idriche e le altre problematiche centrali che si devono contrastare proseguono da decenni con un andamento esponenziale ampiamente denunciato (Gleick, 2010; Forster et alii, 2023) la cui gravità è difficile da comprendere (Teichman and Zamir, 2022), generando reazioni lineari (Zilli, 2022) che ci portano a perdere in partenza la sfida che dovrebbe vedere un'inversione di tendenza; per quanto ci si impegni nel frenare il cambiamento, l'abbrivio di quest'ultimo richiede soluzioni più radicali e immediate.

Viene da chiedersi a questo punto se l'obiettivo non sia tanto quello di dare pari dignità ai Non-human Agency (Forlano, 2017), quanto un totale decentramento della figura umana dalle logiche progettuali (Fig. 4): questo processo, che può apparire estremo, è in realtà già largamente iniziato e sotto gli occhi di tutti. È infatti sempre più comune assistere a importanti rinunce relative al benessere della persona, fino ad abituarsi anche a eliminare completamente il comfort e lo spazio personale, come nel caso delle case-bara di Hong Kong (Harris and Nowicki, 2020). In favore dell'era della tecnica, in favore della 'rapidación', l'uomo ha annichilito sé stesso fino a vivere in uno stato che ricorda la narrazione di Carlo Levi (1945) quando paragonava le allora condizioni degli abitanti di Matera all'inferno dantesco; le persone oggi non esperiscono tali condizioni estreme in aree povere e rurali, bensì nelle vaste metropoli che maggiormente producono ricchezza a livello globale (Loschiavo, 2021).

Viene perciò spontaneo chiedersi: se è ampiamente accettato che questa sofferenza sia subita in favore della tecnica (Herzig, 2005), perché si fatica maggiormente ad accettare di soffrire per il benessere del Pianeta?

L'era della sofferenza | L'era della tecnica ha ingannato l'uomo con le promesse di un progresso che avrebbe aumentato il benessere generale. Magnani (2020) arriva a ipotizzare un tempo futuro in cui la produzione di ricchezza sarà affidata interamente alla tecnologia, mentre l'uomo usufruendo di un reddito universale potrà riposare e dedicarsi allo 'scholè' (ozio), celebrato dagli antichi greci poiché considerato un dono delle divinità possibile solo se non si è servilmente legati al lavoro.

In realtà, se per lungo tempo il progresso tecnologico ha coinciso con un aumento della produzione (fisica e in seguito digitale), a partire dal 2000 si è assistito al decoupling, ovvero una diminuzione dell'occupazione e dei salari a fronte del continuo crescere della produttività (Brynjolfsson and McAfee, 2011).

Tornando alle parole del Santo Padre, è interessante notare come ripercorra gli stessi concetti quando afferma che «[...] dopo un tempo di fiducia irrazionale nel progresso e nelle capacità umane, una parte della società sta entrando in una fase di maggiore consapevolezza. Matura una sincera e dolorosa preoccupazione per ciò che sta accadendo al nostro Pianeta. L'obiettivo non è di raccogliere informazioni o saziare la nostra curiosità, ma di prendere dolorosa coscienza, osare trasformare in sofferenza personale quello che accade al mondo, e così riconoscere qual è il contributo che ciascuno può portare. [...] La tecnologia che [...] pretende di essere l'unica soluzione dei problemi, di fatto non è in grado di vedere il mistero delle molteplici relazioni che esistono tra le cose, e per questo a volte risolve un problema creandone altri» (Francesco, 2015, p. 19).

Sembra che il traguardo dell'era dell'ozio, tanto auspicabile quanto lontano, debba passare necessariamente attraverso l'era della sofferenza. Anche le Nazioni Unite propongono lo stesso messaggio quando indicano che, per raggiungere l'obiettivo di Parigi di diminuire di 1,5 ° C la temperatura globale entro il 2030, sarà necessaria una riduzione delle emissioni da consumo tale da creare un impatto nello stile di vita di 2-2,5 t CO_2 pro capite (UNEP-CCC, 2020).

L'inversione del paradigma antropocentrico passa per l'inversione dell'approccio dell'uomo stesso nei confronti del suo rapporto con l'ecosistema e delle sue responsabilità in tal senso. Non si può più credere alla speranza di Dostoevskij (2014), quando affermava nel 1869 che la bellezza salverà il mondo; bensì accettare che spetta a noi farci carico della sfida di salvare la bellezza del mondo (Morace and Tomasin, 2022). Infatti è proprio il NEB a definire il legame indissolubile che lega i concetti di bello e sostenibile, indicando ai progettisti la centralità di ricercare soluzioni che rispondano a entrambe le definizioni, senza tralasciare gli aspetti inclusivi. Tuttavia è impensabile riuscire a perseguire tali obiettivi senza accettare l'idea di entrare in un'era della sofferenza, tanto necessaria quanto valida: «Si dovranno pur sopportare due o tre bruchi se si vogliono in-

contrare le farfalle. Dicono che siano così belle» (de Saint-Exupéry, 1943, p. 23).

Il ruolo del Design | Il Design, inteso come la capacità di plasmare il proprio ambiente (Heskett, 2005), gioca un ruolo cruciale nell'adattare e modificare le relazioni umane con il mondo e si pone come la disciplina che può guidare la transizione anti-antropocentrica. L'emergere di nuove tecnologie ha cambiato la logica tradizionale della produzione industriale e, perciò, il modo di affrontare la complessità (Giaccardi and Redström, 2020). Affrontare la complessità contemporanea richiede la creazione di maggiori possibilità attraverso l'unione di diversi valori e prospettive, mentre i giudizi di valore basati su un singolo bisogno non risultano più sufficienti in quanto chiusi e individualistici (Braidotti, 2013).

Mentre la tecnologia genera risposte immediate e specifiche i progettisti devono riscoprire quello che viene definito Cathedral Thinking (Rogers, 1994): bisogna riprendere lo spirito di abnegazione degli architetti medievali che disegnavano i progetti delle cattedrali sapendo che non sarebbero stati vivi per il tempo in cui la costruzione sarebbe stata conclusa. Lo stesso concetto che viene poeticamente riassunto nell'epigrafe di Virgilio 'sic vos non vobis mellificatis apes' (trad. lett. 'così voi, ma non per voi, fate il miele api') che costituisce una delle massime espressioni della tensione etica volta non al proprio utile, ma al bene comune. Si rende quindi necessario un approccio decentrato che resista alle dicotomie (Nicenboim et alii, 2023) e che porti la filosofia del Design a promuovere un atteggiamento modesto, riconoscendo e rispettando il valore dei Non-human Agency (Oppermann and Iovino, 2014).

Di seguito vengono evidenziati tre casi studio di significativo valore per mostrare come, attraverso la denuncia e la provocazione, il Design può iniziare a smantellare il sistema epistemologico antropocentrico e mettere in luce il dinamismo dei Non-human Agency.

Per sensibilizzare il pubblico sui diritti degli animali, sfruttati storicamente solo come risorse, Sandelin (2024) ha ideato un esperimento innovativo chiamato 'fishwatching' che sostituisce il tradizionale metodo della pesca con una modalità placebo (Figg. 5-7): invece di pescare in modo tradizionale, si utilizzano telecamere per catturare immagini dei pesci senza infliggere loro danno. Attraverso questa pratica si esplora la possibilità di soddisfare i bisogni umani riducendo al minimo lo sfruttamento degli animali e si può sviluppare una nuova comprensione della soggettività dei pesci, che non si basa sull'alterazione o sul dominio umano.

La ricerca si basa sul concetto di non-azione, che assume un ruolo di valore nell'ambito del progetto inserendosi nel filone Undesign (Coombs, McNamara and Sade, 2019) che, a sua volta, deriva ed estremizza l'approccio 'frugal design' (Zeschky, Widenmayer and Gassmann, 2011). Questa strategia evidenzia l'importanza di controllare e limitare le azioni umane nei confronti degli animali, come evidenziato dal termine Ahuman nel titolo della ricerca, che esprime il rispetto per la soggettività dei Non-human Agency, evitando di giudicarli in base alle esigenze e ai valori umani, e riconoscendo invece i loro modi di esistere e il loro valore intrinseco.

Una squadra di oltre 50 persone, guidata da Angela Rawlings (Figg. 8-10), ha proposto di candidare il ghiacciaio Snæfellsjökull alla Presidenza dell'Islanda per sensibilizzare l'opinione pubblica sui cambiamenti climatici e invitare a riflettere sul rapporto tra persone, natura e ambiente. Questa provocatoria campagna di comunicazione visiva ha stimolato ampie discussioni, sfidando il tradizionale simbolo politico umano della Presidenza. I ghiacciai non possiedono vita o coscienza nel senso tradizionale, ma agiscono sull'ecosistema influenzando significativamente l'innalzamento del livello del mare e alterando di conseguenza le attività umane.

Il progetto vuole porre l'accento sull'importanza dei Non-human Agency: attraverso i ghiacciai, entità complesse e dinamiche capaci di trasformarsi in altri stati della materia (solida, liquida e gassosa), si vuole mettere in evidenza che la glaciazione è un processo generativo e non una condizione stabile o immutabile (Oppermann and Iovino, 2014). Queste trasformazioni sfidano l'ambiente e hanno implicazioni di vasta portata sull'innalzamento del livello del mare, sui modelli climatici e sulla società umana.

Il progetto Factory of the Sun immagina un futuro in cui il lavoro umano sarà confinato in uno studio di 'motion capture' ad alta tecnologia (Figg. 11-13); le persone saranno costrette sotto la sorveglianza della tecnologia a danzare per generare, attraverso i movimenti, energia che verrà quindi convertita in luce. Hito Steyerl ha progettato lo spazio di visualizzazione come un mondo virtuale per creare un effetto immersivo: la luce, in questa opera, non è più considerata mezzo neutro bensì un'estensione del sistema di alimentazione, simbolo di controllo e potere.

La tecnologia di sorveglianza qui adottata riflette la teoria di occhio invisibile e onnipresente dietro le quinte di Foucault (1977). La sorveglianza tecnologica non solo registra e analizza il lavoro umano, ma ne controlla e definisce anche il valore e il significato nel contesto virtuale. Le tecnologie della luce e della sorveglianza, come elementi non umani, diventano produttori e interpreti della conoscenza umana, plasmando e influenzando la presenza umana nel mondo virtuale tramite calcoli complessi: non solo partecipano alla costruzione dei significati, ma prefigurano anche il dominio di forze non umane nelle società future.

Riflessioni conclusive | La prospettiva presentata nel contributo di Human-de-centred Design sottolinea la necessità che la progettazione tenga conto dell'equilibrio ecologico complessivo e, piuttosto che concentrarsi esclusivamente sugli interessi umani, ponga come obiettivo primario la preservazione dell'ecosistema e le necessità dei Non-human Agency, a costo di mettere in secondo piano quelle delle persone (Fig. 14); in epoche diverse, lo scopo e il significato del design cambiano.

Di fronte alla crisi ecologica e alle varie sfide che viviamo gli ideali del Design post-antropocentrico dovrebbero evolvere dal design tradizionale non solo verso scenari funzionali che risolvono problemi specifici[2], bensì discostandosi nettamente dal riferimento ai bisogni dell'uomo (Fig. 15). Infatti se l'utente non trova analogie con esperienze precedenti è proprio la distanza deliberata dalla realtà a cui è abituato a permettere l'immersione in un'esperienza cognitiva nuova e sconosciuta che può rompere il sistema monolitico del discorso umano e stimolare una riflessione su come il rapporto tra umano e non umano dovrebbe evolversi in futuro. È attraverso la diversità delle visioni del mondo che emergono diversi immaginari sociali, creando nuove prospettive per affrontare le sfide (Dunne and Raby, 2024).

Per realizzare il futuro ambizioso in cui gli esseri umani delegano la produzione alle macchine e si concentrano sul tempo libero, è necessario costruire una 'flat ontology' che riconosca e rispetti il valore dei Non-human Agency e che consideri anche il loro posto nel mondo insieme a quello degli esseri umani. Raggiungere questo obiettivo dipende non solo dai progressi tecnologici, ma anche da una profonda trasformazione socio-culturale che promuova una consapevolezza etica diffusa.

Proprio su questa trasformazione si fondano i principali limiti della proposta qui presentata; infatti l'accettazione di un'era della sofferenza richiederebbe una profonda sensibilizzazione culturale che non può essere demandata al solo ambito del progetto, bensì dovrebbe prevedere una visione congiunta trasversale di Istituzioni e professionisti. Tuttavia ci si può aspettare che le discipline del progetto, come spesso accade, agiscano come facilitatori di una trasformazione che aiuterà a costruire un futuro in cui la prosperità condivisa e la diversità siano valori fondamentali.

According to Galimberti (2023), Western anthropocentric thought is rooted in two main factors. The first is the Christian religion, which places humans in a dominant position over nature. «God created them; male and female he created them. God blessed them, and God said to them, '[…] fill the earth and subdue it; and have dominion over the fish of the sea and over the birds of the air and over every living thing that moves upon the earth'» (American Bible Society, 1986, p. 3). This view, which remains culturally ingrained to this day, was paradoxically fueled by the birth of Enlightenment thought, which opposed religious thinking on many points but did not diverge from it regarding anthropocentrism. While the ancient Greeks based their scientific reasoning on the observation of physis (nature) from which they drew logical conclusions to postulate universal rules, modern scientific thought relies on hypotheses made a priori which, if validated in a controlled and repeatable manner, lead to the definition of new laws.

This human dominance over nature has led to the current situation, well summarised by Monteiro (2019) when he states that the world works exactly as it was designed and, since it does not function very well, a collective effort is needed to redesign it. In fact, for several years, there has been a rise in movements promoting the overcoming of the Anthropocene, as reflected in the 2030 Agenda for Sustainable Development, adopted by the United Nations (UN, 2015), which identified 17 global sustainable development goals (Colglazier, 2015). Even in the field of design, proposals have been developed to move beyond the Human-centred model (Vacanti et alii, 2023), widely accepted in recent decades, in favour of approaches defined as Post Human (Braidotti and Hlavajova, 2018), More-than-human (Haraway, 2019), or similar terminologies (Ferrando, 2017).

Parallel to these developments are schools of thought, such as the theory of Happy Degrowth proposed by Latouche (2014), which seeks to counter what Galimberti (2023) calls the 'era of technology'. Regarding this, Pope Francesco (2015) stated in his encyclical 'Laudato si': the rapid acceleration of changes in humanity and the planet is now combined with



the intensification of life and work rhythms, in what some in Spanish call 'rapidización' (lit. 'speeding up'), which contrasts with the natural slowness of biological evolution. Additionally, the goals of this fast and constant change are not necessarily oriented toward the common good or sustainable and integral human development.

The Pope's words strongly reinterpret the verses from Genesis cited earlier, positioning themselves in stark contrast to the classical Christian model of the world's order, outlined in the Middle Ages by St. Augustine through the Scala Naturae (Lovejoy, 2017). It almost seems necessary to adopt an opposite perspective and admit that the genesis of humanity occurred as a final act to place humans within an ecosystem, without which their very existence would not have been possible (Fig. 1). This shift beyond the anthropocentric paradigm has been underway for several years thanks to contributions from various scholars. However, collective efforts have managed to slow down but not reverse the trend, despite the ever-increasing urgency for change as our planet faces ongoing crises.

In this context, the primary goal of this contribution is to highlight the extreme urgency for change and to encourage the scientific community to accelerate the process of decentring humans from design priorities. Starting from an overview of the Post-Human and More-than-human domains, the contribution theorises their surpassing to facilitate society's entry into an 'era of suffering', as a way to move beyond 'rapidización'. Through a critical analysis of some design and research references, it highlights the role of designers and argues that, in such a universal and complex transition context, the discipline of design can facilitate progress toward a non-anthropocentric society by strongly emphasising the urgency of rapid changes in people's habits and the approach required by institutions and professionals.

Non-human agents in an anthropocentric society | Post Human and More-than-human theories agree in extending the anthropocentric domain by introducing the concept of Non-human Agency. Considering an ecosystem and its components, the term refers to the capacity for action and influence exerted by entities that are not human. Traditionally, the capacity for 'agency' was attributed only to humans, as they were thought to be the only ones possessing elements such as intentionality, consciousness, and will. However, modern perspectives recognise that technological objects, natural forces, animals, and even complex systems, such as digital networks or ecological processes, can exercise forms of 'agency' that contribute to shaping the ecosystem they are part of.

Nature is no longer seen as a mere object of human manipulation but as a collection of active agents that interact with humans in a complex and autonomous way. For example, more accurately described by Haraway (2023) as companion species, domestic animals exert significant behavioural, social, and emotional influence, shaping people's choices and activities, resulting in relationships far more complex than the simple master-animal dichotomy. Although there are 32 million domestic animals in Italy (one for every two inhabitants)[1], beyond the vast pet product industry, from food to toys, our homes and cities are generally not designed to accommodate them comfortably.

Non-human agents are not only represented by tangible life forms in our daily lives but also by more abstract entities that deserve broader consideration. Sunlight, for instance, can be seen as an example of a Non-human Agency because it acts as an autonomous force, influencing, regulating, and shaping various biological and cultural processes. It can be defined as a distributed agency since it is not an individual entity with discrete power but part of a complex network of interactions involving other natural and biological forces.

How can we properly consider sunlight in design? Humans have indirectly utilised the potential of this Non-human Agency since the birth of agri-

Previous page

Fig. 5 | Vegan Fishing, 2017 – ODD Company (source: Sandelin, 2024).

Fig. 6 | Mackerel caught on camera (source: Sandelin, 2024).

Fig. 7 | Stills from Fishwatching footage (source: Sandelin, 2024).

Figg. 8-10 | Photos of Snæfellsjökull Glacier (credits: Visit Iceland, 2023).

Figg. 11-13 | Factory of the Sun (2015), by Hito Steyerl (credits: J. Lubliner and C. Seddon, 2016).





Fig. 14 | Speculative representation of the coexistence between humans and ecosystems (credit: F. Burlando, 2024).

Fig. 15 | Pink Chicken Project, by Leo Fidjeland and Linnea Våglund. The Pink Chicken Project is a speculative design concept that explores the convergence of synthetic biology, ecology, and the Anthropocene: it aims to genetically modify chickens, heavily consumed by humans, so that they develop pink bones, using CRISPR genetic editing technology. The distinctive colour and encoded messages in the chickens' DNA would serve as a geological warning for future generations about the harmful impact of human activities on the environment (credit: Nonhuman Nonsense, n.d.).

culture, which relies on the cultivation of plants made possible through photosynthesis. Direct exploitation of sunlight has also been recorded for centuries, from Archimedes' discovery that concentrating solar rays could produce large amounts of thermal energy to burn enemy ships to Giovanni Francia, a pioneering Genoese physicist who applied the same principle at the start of the 20th century in designing the prototypes of solar thermal plants.

Today, solar energy represents one of the most common renewable energy sources, and light is widely used in architectural design, with countless examples. However, this relationship does not fully address the concept of sunlight as Non-human Agency. To take another step forward, one must ask, from a design perspective, what the needs of the sun, or at least the Earth's ecosystem concerning it, are.

Considering the problem of global warming, the primary need to make the best use of sunlight seems to be reducing its absorption. Therefore, design solutions aimed, for example, at decreasing the Earth's albedo through the skilful use of white colour in designing elements such as machines and building roofs, which together form a significant portion of the Earth's surface (Casiddu and Giulini, 2014; Fig. 2), can truly be categorised under the More-than-human domain.

Moving (even further) beyond the Human-centred approach | As previously highlighted, the path toward shifting away from the anthropocentric paradigm is well-defined, and numerous instances of this shift can be found in the literature. Institutions such as the United Nations (UNEP-CCC, 2020) and the European Union (European Parliament and Council of the European Union, 2024), have charted a course toward a sustainable future, with ambitious goals such as reducing global temperatures by 1.5 °C by 2030 and achieving zero emissions by 2050.

Evidence of this paradigm shift is also found within various theoretical and practical projects. The New European Bauhaus (NEB; European Commission, 2021) plays a key role, aligning with the New Industrial Strategy for Europe (European Parliament, 2020) for the disciplines of the project and whose statute, according to David Ness (2021), summarises this design paradigm by paraphrasing Gropius, stating, that the ultimate goal of all art is to inspire innovative and fair solutions that use minimal resources and carbon. Massimo Lauria e Maria Azzalin (2021) succinctly captures this new design paradigm, identifying the current and future generations' task as 'Planetary Humanism'. Designers are tasked with healing the wounds inflicted on our ecosystem, generating new value, perhaps even greater than before, in what can be likened to a universal operation of 'kintsugi' (literally 'repairing with gold'; Fig. 3).

In an insightful analysis of twelve sustainable design approaches, Michele Zannoni et alii (2024) propose the figure of the Transitional Designer, one who is future-oriented with a critical awareness of the socio-environmental implications of design.

The paradigm shift is not only marked in policy and theory. Practical examples of projects adopting a More-than-human approach are increasingly visible, as demonstrated by a review by Davidovà, Shany Barath and Susannah Dickinson (2023). They examine projects across different scales addressing topics like engaging populations to convey the importance of Non-human Agency, designing for multispecies cohabitation in built environments, and applying complexity theory to ecological processes. A similar study by Tehseen Noorani and Julian Brigstocke (2018) underscores how More-than-human projects often aim to amplify the voice of Non-human Agencies and actively involve both users and, in some cases, even Non-human Agencies (Hodgetts, 2017), within the project.

Nevertheless, these efforts still fall short of adequately addressing the ecosystem's challenges and may serve as a starting point for future change. However, on their own, they do not seem capable of ensuring the planet's protection. Issues like global warming, water shortages, and other central crises have continued exponentially for decades, as widely reported (Gleick, 2010; Forster et alii, 2023). The severity of these problems is hard to grasp (Teichman and Zamir, 2022), and linear responses (Zilli, 2022) leave us losing the battle for a much-needed reversal. Despite efforts to slow down change, its momentum calls for more radical and immediate solutions.

It leads us to question whether the goal is not simply to give Non-human Agency equal importance (Forlano, 2017), but to completely decentre the human figure from design logics (Fig. 4). While this process may seem extreme, it has already begun and, is evident. Significant sacrifices concerning personal well-being, such as Hong Kong's coffin homes (Harris and Nowicki, 2020, are becoming normalised, where personal comfort and space are abandoned. Humanity has diminished itself in favour of the era of technology, living in conditions that recall Carlo Levi's (1945) comparison of Matera's inhabitants to Dante's inferno. Yet, today, people experience these extreme conditions in the wealth-generating metropolises, not in poor, rural areas (Loschiavo, 2021).

This raises the question: if suffering for technology's sake (Herzig, 2005) is widely accepted, why is it more challenging to accept suffering for the planet's well-being?

The era of suffering | The era of technology has deceived humans with promises of progress that would enhance overall well-being. Magnani (2020) even envisions a future where wealth production will be entirely entrusted to technology, and humans, enjoying a universal income, will be free to rest and engage in scholè (leisure), celebrated by the ancient Greeks as a divine gift, possible only when free from servile labour.

For a long time, technological progress coincided with increased production (both physical and digital). However, since 2000, a decoupling has occurred, with employment and wages decreasing despite continued productivity growth (Brynjolfsson and McAfee, 2011). Returning to the words of Pope Francesco (2015), he echoes similar concepts when he states that after a time of irrational trust in progress and human capacities, part of society is entering a phase of greater awareness. A sincere and painful concern for what is happening to our planet is maturing. The goal is not to gather information or satisfy our curiosity but to become painfully aware, to dare to turn what is happening to the world into personal suffering, and thus recognise the contribution each of us can make. He further criticises technology, which claims to be the only solution to problems, but cannot see the mystery of the many relationships between things, and for this reason, sometimes solves one problem while creating others.

It seems that the era of leisure, as desirable as it may be, must necessarily pass through an era of suffering. The United Nations conveys the same message, indicating that to achieve the Paris goal of reducing global temperatures by 1.5 °C by 2030, consumption emissions must be reduced to such an extent that it impacts lifestyles by limiting CO_2 per capita to 2-2.5 tons (UNEP-CCC, 2020).

Reversing the anthropocentric paradigm requires humans to rethink their relationship with the ecosystem and their responsibilities toward it. We can no longer rely on Dostoevskij's (2014) hope when he stated in 1869 that beauty will save the world; instead, we must accept that it is up to us to take up

the challenge of saving the world's beauty (Morace and Tomasin, 2022). The NEB emphasises the inseparable bond between beauty and sustainability, guiding designers to seek solutions that meet both definitions while including social aspects. However, it is unthinkable to pursue such goals without accepting the necessity of entering an era of suffering, as essential as it is worthwhile. After all, one must endure two or three caterpillars if one wishes to become acquainted with the butterflies. They are said to be so beautiful (de Saint-Exupéry, 1943).

The role of Design | Design, understood as the ability to shape one's environment (Heskett, 2005), plays a crucial role in adapting and transforming human relationships with the world. It is the discipline that can lead the anti-anthropocentric transition. New technologies have transformed the traditional logic of industrial production and, consequently, how complexity is approached (Giaccardi and Redström, 2020). Addressing contemporary complexity requires creating greater possibilities by uniting different values and perspectives, while value judgments based on a single need are no longer sufficient, as they are closed and individualistic (Braidotti, 2013).

While technology provides immediate and specific responses, designers must rediscover what is known as Cathedral Thinking (Rogers, 1994): they need to reclaim the selflessness of medieval architects who designed cathedrals, knowing they would not live to see the completed structures. This concept is poetically summarised in Virgil's epigraph: 'sic vos non vobis mellificatis apes' (literally, 'so you, but not for yourselves, make honey, bees'), one of the highest expressions of ethical commitment to the common good. A decentralised approach is therefore required, one that resists dichotomies (Nicenboim et alii, 2023) and promotes a modest attitude in design, recognising and respecting the value of Non-human Agency (Oppermann and Iovino, 2014).

The following three case studies demonstrate how, through denunciation and provocation, design can begin dismantling the anthropocentric epistemological system and highlight the dynamism of Non-human Agency.

To raise awareness about animal rights, which have historically been exploited solely as resources, Sandelin (2024) created an innovative experiment called 'fish watching'. This experiment replaces traditional fishing with a placebo method (Figg. 5-7): instead of using conventional fishing techniques, cameras capture images of fish without harming them. This practice explores how human needs can be met while minimising animal exploitation and fosters a new understanding of fish subjectivity that does not rely on human alteration or dominance.

This research is based on the concept of non-action, a valuable principle within the design field, which aligns with the Undesign movement (Coombs, McNamara and Sade, 2019), itself an extreme extension of the 'frugal design' approach (Zeschky, Widenmayer and Gassmann, 2011). This strategy emphasises the importance of controlling and limiting human actions toward animals, as highlighted by the term Ahuman in the research title. It expresses respect for the subjectivity of Non-human Agency, avoiding judgment based on human needs and values and instead recognising their inherent ways of being and intrinsic worth.

A team of over 50 people, led by Angela Rawlings (Figg. 8-10), proposed nominating the Snæfellsjökull Glacier for the Presidency of Iceland to raise awareness about climate change and encourage reflection on the relationship between people, nature, and the environment. This provocative visual communication campaign sparked widespread discussions, challenging the traditional human political symbol of the Presidency. Glaciers do not possess life or consciousness in the traditional sense, but they impact ecosystems by significantly influencing sea level rise, which in turn alters human activities.

The project aims to emphasise the importance of Non-human Agency: through glaciers, complex, dynamic entities capable of transforming into other states of matter (solid, liquid, and gas), it seeks to highlight that glaciation is a generative process rather than a stable or immutable condition (Oppermann and Iovino, 2014). These transformations challenge the environment and have far-reaching implications on sea level rise, climate patterns, and human society.

The Factory of the Sun project envisions a future where human labour is confined to a high-tech 'motion capture' studio (Figg. 11-13). Under technological surveillance, people would be forced to dance, generating energy through movement, which would then be converted into light. Hito Steyerl designed the visualisation space as a virtual world to create an immersive effect. In this work, light is no longer considered a neutral medium but an extension of the power system, symbolising control and authority.

The surveillance technology adopted here reflects the Foucault (1977) theory of the invisible and omnipresent eye behind the scenes. Technological surveillance not only records and analyses human labour but also controls and defines its value and meaning in the virtual context. Technologies of light and surveillance, as non-human elements, become producers and interpreters of human knowledge, shaping and influencing human presence in the virtual world through complex calculations. They not only participate in meaning-making but also prefigure the dominance of non-human forces in future societies.

Conclusions | The perspective presented in Human-de-centred Design underscores the necessity for design to consider the overall ecological balance and prioritise the preservation of ecosystems and the needs of Non-human Agency, even at the expense of human interests (Fig. 14). In different eras, the purpose and meaning of design change.

Faced with the ecological crisis and the challenges we are experiencing, the ideals of post-anthropocentric design should evolve from traditional design approaches[2], not just towards functional scenarios that solve specific problems but by moving away from human-centred references (Fig. 15). If users do not find analogies with previous experiences, the deliberate distance from the reality they are accustomed to allows immersion in a new, unfamiliar cognitive experience that can break the monolithic system of human discourse and stimulate reflection on how the relationship between humans and non-humans should evolve in the future. Different social imaginaries emerge through diverse worldviews, creating new perspectives for addressing challenges (Dunne and Raby, 2024).

To achieve the ambitious future where humans delegate production to machines and focus on leisure, it is necessary to build a 'flat ontology' that recognises and respects the value of Non-human Agency and considers their place in the world alongside humans. Achieving this goal depends not only on technological advancements but also on a profound socio-cultural transformation that promotes widespread ethical awareness.

This transformation forms the basis of the main limitations of the proposal presented here. Indeed, accepting an era of suffering would require deep cultural awareness, which cannot be relegated solely to the realm of design but should include a joint, cross-sector vision from institutions and professionals. However, we can expect that design disciplines, as often happens, will act as facilitators of a transformation that will help build a future where shared prosperity and diversity are fundamental values.

Acknowledgements

This contribution is the result of shared reflections by the Authors. However, the introductory paragraphs, 'Moving (Even Further) Beyond the Human-Centred Approach', and 'The Era of Suffering' are attributed to F. Burlando, while 'Non-human agents in an anthropocentric society', 'The role of Design', and 'Conclusions' are attributed to B. Chen. The work was carried out under the supervision of N. Casiddu.

Notes

1) For more information, see the webpage: censis.it/welfare-e-salute/il-valore-sociale-del-medico-veterinario/gli-asset-del-valore [Accessed 26 September 2024].

2) For more information, see Ken Arnold's (2011) talk entitled Designing Connections – Medicine, Life and Art, at the webpage: youtube.com/watch?v=U6proHebV0A [Accessed 26 September 2024].

References

American Bible Society (1986), *The Holy Bible – Containing the Old and New Testaments – Translated Out of the Original Tongues and with the Former Translations Diligently Compared and Revised*, American Bible Society, Philadelphia.

Braidotti, R. (2013), *The posthuman*, Polity, Cambridge. [Online] Available at: rosibraidotti.com/publications/the-posthuman-2/ [Accessed 26 September 2024].

Braidotti, R. and Hlavajova, M. (eds) (2018), *Posthuman Glossary*, Bloomsbury Publishing, London.

Brynjolfsson, E. and McAfee, A. (2011), *Race against the machine – How the digital revolution is accelerating innovation, driving productivity, and irreversibly transforming employment and the economy*, Digital Frontier Press, Lexington.

Casiddu, N. and Giulini, S. (2014), "La diminuzione dell'albedo terrestre – La proposta white cars e nuovi scenari urbani | Albedo decreasing trend – White cars proposal and new urban scenarios", in *DISEGNARECON*, vol. 7, issue 13, pp. 1-9. [Online] Available at: doi.org/10.6092/issn.1828-5961/4097 [Accessed 26 September 2024].

Colglazier, W. (2015), "Sustainable Development Agenda – 2030 – Building knowledge-based societies is key to

transformative technologies", in *Science*, vol. 349, issue 6252, pp. 1048-1050. [Online] Available at: doi.org/10.1126/science.aad2333 [Accessed 26 September 2024].

Coombs, G., McNamara, A. and Sade, G. (eds) (2019), *Undesign – Critical practices at the Intersection of Art and Design*, Routledge, London. [Online] Available at: routledge.com/Undesign-Critical-Practices-at-the-Intersection-of-Art-and-Design/Coombs-McNamara-Sade/p/book/9781138695719?srsltid=AfmBOooxCMWCDyI62UYOX49SiXXhHAgtBJK0Wv2nQOHWindeNNJ8S6_n [Accessed 26 September 2024].

Davidová, M., Barath, S. and Dickinson, S. (2023), "Ambienti culturali con prospettive non solo umane – Prototipazione attraverso ricerca e formazione | Cultural environments with more-than-human perspectives – Prototyping through research and training", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 165-178. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13142023 [Accessed 26 September 2024].

de Saint-Exupéry, A. (1943), *The Little Prince*, Reynal & Hitchcock, New York.

Dostoevskij, F. (2014), *L'idiota*, Feltrinelli, Milano.

Dunne, A. and Raby, F. (2013), *Speculative Everything – Design, Fiction, and Social Dreaming*, MIT Press, Cambridge.

European Commission (2021), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – New European Bauhaus Beautiful, Sustainable, Together*, document 52021DC0573, COM/2021/573 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0573&qid=1728591256345 [Accessed 26 September 2024].

European Parliament (2020), *A New Industrial Strategy for Europe – European Parliament resolution of 25 November 2020 on a New Industrial Strategy for Europe*, document 52020IP0321. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020IP0321&qid=1728592205923 [Accessed 26 September 2024].

European Parliament and Council of the European Union (2024), *Regulation (EU) 2024/1735 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 on establishing a framework of measures for strengthening Europe's net-zero technology manufacturing ecosystem and amending Regulation (EU) 2018/1724*, document 32024R1735, PE/45/2024/REV/1. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-\=CELEX%3A32024R1735&qid=1728590203587 [Accessed 26 September 2024].

Ferrando, F. (2017), "Postumanesimo, Transumanesimo, Antiumanesimo, Metaumanesimo e nuovo Materialismo – Relazioni e Differenze", in *Lo Sguardo | Rivista di filosofia*, vol. 24, issue 2, pp. 51-61. [Online] Available at: losguardo.net/wp-content/uploads/2017/09/2017-24-Limiti-Confini-Postumano-Ebook.pdf [Accessed 26 September 2024].

Forlano, L. (2017), "Posthumanism and Design", in *She Ji | The Journal of Design, Economics, and Innovation*, vol. 3, issue 1, pp. 16-29. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.sheji.2017.08.001 [Accessed 26 September 2024].

Foucault, M. (1977), *Discipline and punish – The birth of the prison*, Vintage Books, New York.

Forster, P. M., Smith, C. J., Walsh, T., Lamb, W. F., Lamboll, R., Hauser, M. et alii (2023), "Indicators of Global Climate Change 2022 – Annual update of large-scale indicators of the state of the climate system and human influence", in *Earth System Science Data*, vol. 15, issue 6, pp. 2295-2327. [Online] Available at: doi.org/10.5194/essd-15-2295-2023 [Accessed 26 September 2024].

Francesco (2015), *Laudato si' – Lettera enciclica sulla cura della casa comune*, Paoline Editoriale Libri, Roma.

Galimberti, U. (2023), *L'etica del viandante*, Feltrinelli, Milano.

Giaccardi, E. and Redström, J. (2020), "Technology and more-than-human design", in *Design Issues*, vol. 36, issue 4, pp. 33-44. [Online] Available at: doi.org/10.1162/desi_a_00612 [Accessed 26 September 2024].

Gleick, P. H. (2010), "Climate change, exponential curves, water resources, and unprecedented threats to humanity", in *Climatic Change*, vol. 100, pp. 125-129. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s10584-010-9831-8 [Accessed 26 September 2024].

Haraway, D. J. (2023), *Manifesto delle specie compagne – Cani, persone e altri partner*, Contrasto, Roma.

Haraway, D. J. (2019), *Chthulucene – Sopravvivere su un Pianeta infetto*, Produzioni Nero, Roma. [Online] Available at: neroeditions.com/product/chthulucene/ [Accessed 26 September 2024].

Harris, E. and Nowicki, M. (2020), "Get Smaller? Emerging geographies of micro-living", in *Area*, vol. 52, issue 3, pp. 591-599. [Online] Available at: doi.org/10.1111/area.12625 [Accessed 26 September 2024].

Herzig, R. M. (2005), *Suffering for Science – Reason and Sacrifice in Modern America*, Rutgers University Press, New Brunswick. [Online] Available at: rutgersuniversitypress.org/suffering-for-science/9780813539515/ [Accessed 26 September 2024].

Heskett, J. (2005), *Design – A very short introduction*, Oxford University Press, Oxford. [Online] Available at: academic.oup.com/book/790 [Accessed 26 September 2024].

Hodgetts, T. (2016), "How We Nose", in Bastian, M., Jones, O., Moore, N. and Roe, E. (eds), *Participatory Research in More-than-Human Worlds*, Routledge, London, pp. 79-91. [Online] Available at: taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781315661698-14/nose-timothy-hodgetts-hester [Accessed 26 September 2024].

Latouche, S. (2014), *La scommessa della decrescita*, Feltrinelli, Milano.

Lauria, M. and Azzalin, M. (2021), "Paradigmi | Paradigms", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 9, pp. 12-21. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/912021 [Accessed 26 September 2024].

Levi, C. (1945), *Cristo si è fermato a Eboli*, Einaudi, Firenze.

Loschiavo, D. (2021), "Big-city life (dis)satisfaction? The effect of urban living on subjective well-being", in *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 192, pp. 740-764. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jebo.2021.10.028 [Accessed 26 September 2024].

Lovejoy, A. (2017), *The great chain of being – A study of the history of an idea*, Taylor and Francis, London.

Magnani, M. (2020), *Fatti non foste a viver come robot – Crescita, lavoro, sostenibilità – Sopravvivere alla rivoluzione tecnologica (e alla pandemia)*, Utet, Milano.

Monteiro, M. (2019), *Ruined by Design – How designers destroyed the world, and what we can do to fix it*, Mule Design.

Morace, F. and Tomasin, M. (2022), *L'alfabeto della sostenibilità – 26 modi di essere sostenibili*, EGEA, Milano.

Ness, D. (2021), "Dalla nuova edilizia alla rigenerazione – Può il Nuovo Bauhaus ridefinire l'architettura e dare risposte ai cambiamenti globali? | The shift from new build to regeneration – Can the New Bauhaus transform architecture and design to meet global challenges?", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 9, pp. 22-31. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/922021 [Accessed 26 September 2024].

Nicenboim, I., Oogjes, D., Biggs, H. and Nam, S. (2023), "Decentering Through Design – Bridging Posthuman Theory with More-than-Human Design Practices", in *Human-Computer Interaction*, pp. 1-26. [Online] Available at: doi.org/10.1080/07370024.2023.2283535 [Accessed 26 September 2024].

Noorani, T. and Brigstocke, J. (2018), *More-than-human participatory research*, University of Bristol and AHRC Connected Community Programme, Bristol. [Online] Available at: researchgate.net/publication/329586789_More-than-human_Participatory_Research [Accessed 26 September 2024].

Oppermann, S. and Iovino, S. (eds) (2014), *Material Ecocriticism*, Indiana University Press, Bloomington. [Online] Available at: iupress.org/9780253013989/material-ecocriticism/ [Accessed 26 September 2024].

Rogers, J. E. (1994), "Environmental leadership in a boundary-less world", in *Environmental Quality Management*, vol. 4, issue 2, pp. 1-4. [Online] Available at: doi.org/10.1002/tqem.3310040202 [Accessed 26 September 2024].

Sandelin, E. (2024), *Design and Grace – An Ahuman Odyssey*, Konstfack, Hägersten. [Online] Available at: kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1860317/FULLTEXT01.pdf [Accessed 26 September 2024].

Teichman, D. and Zamir, E. (2022), "Exponential Growth Bias and the Law – Why Do We Save Too Little, Borrow Too Much, and Fail to React on Time to Deadly Pandemics and Climate Change", in *Vanderbilt Law Review*, vol. 75, issue 5, pp. 1345-1400. [Online] Available at: cdn.vanderbilt.edu/vu-wordpress-0/wp-content/uploads/sites/278/2022/10/19121617/Exponential-Growth-Bias-and-the-Law.pdf [Accessed 26 September 2024].

UN – General Assembly (2015), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development (A/RES/70/1)*, New York. [Online] Available at: sdgs.un.org/2030agenda [Accessed 26 September 2024].

UNEP-CCC – UNEP Copenhagen Climate Centre (2020), *Emissions Gap Report 2020*. [Online] Available at: unep.org/emissions-gap-report-2020 [Accessed 26 September 2024].

Vacanti, A., Burlando, F., Nevoso, I. and Menichinelli, M. (2023), "The More-Than-Human Trend in Design Research – A Literature Review", in *DIID | Disegno Industriale Industrial Design*, issue DSI 1, pp. 80-89. [Online] Available at: diid.it/diid/index.php/diid/issue/view/diid-dsi-1/diid-dsi-1 [Accessed 26 September 2024].

Zannoni, M., Succini, L., Rosato, L. and Pasini, V. (2024), "Transitional industrial designer – La responsabilità di progettisti e imprese per una transizione sostenibile | Transitional industrial designer – The responsibility of designers and companies for a sustainable transition", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 332-343. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15282024 [Accessed 26 September 2024].

Zeschky, M., Widenmayer, B. and Gassmann, O. (2011), "Frugal innovation in emerging markets", in *Research-Technology Management*, vol. 54, issue 4, pp. 38-45. [Online] Available at: doi.org/10.5437/08956308X5404007 [Accessed 26 September 2024].

Zilli, S. (2022), "L'innovazione sostenibile rivoluziona il concetto di sviluppo economico", in *Quaderni di Comunità | Persone, Educazione e Welfare nella Società 5.0*, vol. 3, pp. 73-78. [Online] Available at: doi.org/10.61007/QdC.2022.3.92 [Accessed 26 September 2024].

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 250-277
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/16222024

Article Info

Received 03 July 2024
Revised 10 December 2024
Accepted 11 December 2024
Published 30 December 2024

DESIGN E GASTROFISICA
Innovazione e sostenibilità dei sistemi alimentari multisensoriali

DESIGN AND GASTROPHYSICS
Innovation and sustainability of multisensory food systems

Carla Langella, Dario Russo, Francesca Scalisi

Abstract

Negli ultimi anni il Design ha assunto un ruolo sempre più rilevante nel settore dei sistemi alimentari, intervenendo attraverso la formulazione di strategie e approcci, ma anche con la progettazione di artefatti e soluzioni innovative. Questa integrazione si riflette nelle declinazioni più avanzate della cultura alimentare, come la Cucina Molecolare, la Nutraceutica e lo Sci-Fi Food, che applicano strumenti e principi scientifici del Design nei processi di produzione e consumo del cibo. In tale ottica il contributo esplora la prospettiva scientifica emergente della Gastrofisica, interpretandola non solo come strumento analitico, ma anche progettuale, al fine di promuovere innovazioni sostenibili nel settore del Food Design. Il contributo inoltre riporta lo stato dell'arte sui sistemi alimentari sostenibili, con particolare attenzione a recenti sperimentazioni e progetti che, attraverso le sinergie tra Gastrofisica e Design della Comunicazione, Service Design, Innovazione Tecnologica e Design Medicale, possono aprire nuove prospettive in chiave olistica e sistemica per campi di ricerca capaci di sviluppare sinergie tra i diversi Obiettivi di Sviluppo Sostenibile.

In recent years, Design has assumed an increasingly significant role in the field of food systems, contributing through the formulation of strategies and approaches as well as the creation of innovative artefacts and solutions. This integration is evident in the most advanced iterations of food culture, such as Molecular Cuisine, nutraceuticals, and Sci-Fi Food, which apply scientific tools and principles of Design to food production and consumption processes. From this perspective, the paper explores the emerging scientific field of Gastrophysics, interpreting it not only as an analytical tool but also as a design methodology to foster sustainable innovations in Food Design. The contribution also provides an overview of the state of the art of sustainable food systems, with a focus on recent experiments and projects that, through the synergies between Gastrophysics and Communication Design, Service Design, Technological Innovation, and Medical Design, can open up new holistic and systemic perspectives for research fields that can develop synergies between the different Sustainable Development Goals.

Keywords

sistemi alimentari, gastrofisica, design del cibo, obiettivi di sviluppo sostenibile, transdisciplinarietà

food systems, gastrophysics, food design, sustainable development goals, transdisciplinarity

Carla Langella is an Associate Professor of Industrial Design at the 'Federico II' University of Naples (Italy). She founded and has been coordinating the Hybrid Design Lab since 2006, a laboratory dedicated to the reciprocal relations between design and biosciences, with particular interest in biomimetics, design-driven materials, design for health, and design of cultural experiences mediated by digital technologies. E-mail: carla.langella@unina.it

Dario Russo, Architect and PhD, is an Associate Professor of Industrial Design at the Department of Architecture, University of Palermo (Italy). He has published several design and visual communication essays, including 'Freee Graphics' and 'Il Design dei Nostri Tempi'. E-mail: dario.russo18@unipa.it

Francesca Scalisi, Architect and PhD, is a Researcher in Industrial Design at the Department 'Culture e Società', University of Palermo (Italy). She conducts research on environmental sustainability, with particular attention to the life cycle of materials, ecological communication, and strategies, pathways, measures, and actions for climate change mitigation. E-mail: francesca.scalisi@unipa.it



L'interesse internazionale verso il settore alimentare come area strategica per il raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDG) dell'Agenda 2030 (UN, 2015) si concretizza con l'aumento negli ultimi dieci anni delle attività di ricerca, delle sperimentazioni, delle pubblicazioni scientifiche e degli eventi dedicati. Tra questi ultimi significativi sono certamente l'Expo 2015 a Milano, incentrato sul tema Feeding the Planet – Energy for Life, l'apertura nel 2017 di FICO Eataly World a Bologna, l'iniziativa Edible Futures – The Travelling promossa dal Dutch Institute of Food & Design, presentata dall'Ambasciata del Regno dei Paesi Bassi in Canada nel 2020, e infine il Foodture Barcelona, evento annuale iniziato nel 2019 sul tema Summit of Innovation in Food Design, Food Tech & Sustainability. All'interno di questo contesto il Design ha assunto un ruolo crescente, intervenendo attraverso diverse modalità operative che vanno dalla progettazione di utensili destinati al settore alimentare, dall'ideazione di ambienti concepiti per la produzione e il consumo di alimenti sino alla comunicazione di valori intrinseci dei prodotti alimentari e allo sviluppo di alimenti innovativi, ricchi di nutrienti e sani.

Attraverso approcci transdisciplinari il Design può integrarsi con discipline di carattere scientifico come la Gastrofisica, la Gastronomia, le Biotecnologie, le Scienze Alimentari, la Neurologia e la Psicologia per sviluppare modelli alimentari inclusivi basati su un approccio sistemico e che abbiano un impatto positivo sul raggiungimento di tutti i 17 SDG. Tale integrazione può avvenire, prima di tutto, mediante una condivisione di obiettivi: progetti accademici di ricerca e didattica transdisciplinari possono coinvolgere ricercatori di design e scienziati per progettare il panorama alimentare del futuro lavorando su obiettivi condivisi di sostenibilità e salute in un'ottica 'one health' che porteranno a scegliere linguaggi tecnici, materiali, approcci e strumenti comuni avviando sperimentazioni ibride su tematiche di interesse reciproco come l'impiego della stampa 3D del cibo, la creazione di nuovi 'superfood' e la costruzione di filiere circolari, sinergiche e simbiotiche (Angari et alii, 2021).

Agendo come catalizzatore di trasformazioni socioculturali, economiche, ambientali, tecnologiche e politiche il Design opererà per dare risposte alle crescenti esigenze di sicurezza alimentare, sostenibilità, economia circolare, innovazione ed empowerment delle comunità, sviluppando metodologie e pratiche in modo critico e responsabile per migliorare il rapporto tra individui, alimenti e ambiente e promuovendo stili di vita salutari. Cruciali a tal fine sono il trasferimento delle conoscenze scientifiche su modelli alimentari sani, tra cui quello della dieta mediterranea, e l'integrazione dei Patrimoni culturali e produttivi ad essi legati per promuovere stili di vita caratterizzati da convivialità, qualità del cibo, gratificazione multisensoriale, attenzione al dettaglio e benessere, capaci al contempo di ridurre l'impatto ambientale attraverso l'uso efficiente delle risorse vegetali e la biodiversità delle colture, di diminuire le emissioni di carbonio e ottimizzare l'utilizzo delle risorse idriche.

L'integrazione del Design con discipline tecnoscientifiche legate all'alimentazione apre anche a nuove prospettive professionali e competenze che possono guidare la valorizzazione della cultura alimentare sana attraverso ambienti, artefatti comunicativi, utensili, packaging e cibi funzionali, incorporandoli nella vita quotidiana come strumenti di cura e benessere fisico e psicologico. Negli ultimi anni sono stati attivati diversi master e corsi specialistici[1], promossi da Istituzioni accademiche in Italia e all'estero, per formare designer esperti nel settore food e in grado di progettare prodotti, servizi, spazi e anche alimenti: Food Product Designer, Food Service Designer, Food Brand Manager e Food Innovation Specialist vengono formati con competenze transdisciplinari per essere in grado di operare in diversi ambiti del settore alimentare al fine di proporre nuove prospettive di modelli innovativi produttivi e progettuali orientati a un'alimentazione sostenibile, sana e inclusiva e fondati su un approccio sistemico. Grazie a tali figure e alla sua potenza persuasiva il Design può facilitare azioni e scelte specifiche rendendole più semplici, piacevoli ed emozionanti e, attraverso la comunicazione di conoscenze scientifiche sul rapporto tra cibo e salute, può favorire la consapevolezza degli utenti, aiutandoli a compiere scelte informate.

Alla luce delle superiori premesse il saggio si propone di incentivare il dibattito scientifico sulla centralità dei sistemi alimentari per il raggiungimento degli obiettivi dell'Agenda 2030, e lo fa con approcci, metodi e strumenti propri della disciplina del Design implementati con quelli di altre discipline scientifiche e in particolare della Gastrofisica. Il fine è fornire agli operatori del settore e ai futuri Food Designer uno stato dell'arte che mette a sistema le innumerevoli potenzialità offerte dalla transdisciplinarietà e dalle tecnologie innovative e digitali per stimolare a individuare e sperimentare, in chiave sistemica e con consapevolezza, nuove prassi e soluzioni sostenibili per il cibo e l'alimentazione sana del futuro.

In particolare il saggio illustra i principi, i metodi, le categorie, i parametri e le norme della Gastrofisica che valorizzano gli aspetti multisensoriali della nutrizione; riporta le prime sperimentazioni a partire dal Futurismo e fino ai nostri giorni; analizza le sinergie e i compromessi, i punti di forza e le barriere che i sistemi alimentari possono determinare nel raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile; traccia le possibili sinergie tra la Gastrofisica e il Design della Comunicazione, il Service Design, l'Innovazione Tecnologica e il Design Medicale nell'abbattere le barriere citate, individuando possibili azioni e campi di ricerca per la sostenibilità dei sistemi alimentari; infine riporta i fattori abilitanti e gli acceleratori di cambiamento che possono contribuire alla sostenibilità dei sistemi alimentari e mette in evidenza la necessità che i Food Designer amplino le proprie conoscenze per essere in grado di affrontare il 'progetto del cibo' con un approccio olistico, transdisciplinare, orientato al futuro e proattivo.

Metodologia, limiti e originalità dello studio | Lo studio è stato condotto con il metodo della Scoping Review (Arksey and O'Malley, 2005), una metodologia di ricerca che consente di creare una 'mappatura' della letteratura scientifica disponibile su un tema, e nel caso specifico sulle potenzialità dei sistemi alimentari per il raggiungimento degli SDGs e sulle possibili interazioni tra Gastrofisica e Design della Comunicazione, Service Design, Innovazione Tecnologica e Design Medicale evidenziandone punti di forza, limiti e criticità. Per analizzare lo stato dell'arte è stato utilizzato il database Scopus tramite il quale sono state selezionate le ricerche pubblicate nel periodo tra il 1° gennaio 2009 e il 30 giugno 2024; l'indagine è stata condotta inserendo stringhe con diverse combinazioni ('Gastrophysics', 'Communication Design', 'Service Design', 'Medical Design', 'Technological Innovation', 'SDGs', 'Sustainable Development Goals', 'Food Systems', 'Project', 'Case Study' e 'Good Practice/s') e selezionando i contributi che rispondevano a tutte e tre le seguenti condizioni: 1) presenza nel titolo, nel sottotitolo o nell'abstract di almeno due parole chiave; 2) analisi critica di almeno un caso di studio coerente con più di due SDG; 3) testo in lingua inglese. Altri casi di studio sono stati selezionati nell'arco temporale 2009-2024 nei portali delle principali Organizzazioni internazionali.

Nonostante la Scoping Review abbia prodotto risultati rilevanti in termini di numero di pubblicazioni e di buone pratiche utilizzando le parole chiave 'Food Systems', 'Technological Innovation', 'Sustainable Development Goals' e 'SDGs', la loro combinazione con 'Gastrophysics', 'Communication Design', 'Service Design' e 'Medical Design' non ha prodotto risultati; in tale ottica il contributo ha il potenziale di fornire un avanzamento delle conoscenze per la disciplina del Design.

Tra i limiti dello studio si segnalano l'utilizzo di un numero di parole chiave limitate, la selezione di testi in sola lingua inglese e la perimetrazione dello studio agli ultimi 15 anni. Tuttavia i criteri di indagine sono stati attentamente valuti e si ritengono giustificati – per le finalità del presente studio – in quanto il database Scopus e la lingua inglese costituiscono un riferimento per la comunità scientifica internazionale, le combinazioni tra le diverse parole chiave consentono di individuare già dal titolo, sottotitolo e abstract i contributi di interesse per il presente studio e il periodo di riferimento è sufficientemente ampio.

Design e Gastrofisica | Dalla rivoluzione industriale in poi il consumo alimentare umano è radicalmente cambiato: se per molto tempo si è limitato a ciò che era facilmente disponibile, oggi nel mondo occidentale il cibo è abbondantemente disponibile e la maggior parte degli alimenti viene prodotta e distribuita in massa. Tale disponibilità ha determinato un cambiamento fondamentale nelle logiche che guidano il comportamento alimentare, stimolando la ricerca scientifica a comprendere i fattori che influenzano le scelte alimentari delle persone (May-Wilson et alii, 2022). Piacere e gradimento sono fattori determinanti della scelta alimentare dei consumatori (Clark, 1998) e su questo il Design può contribuire molto più di quanto si pensi con lo sviluppo di nuovi prodotti con caratteristiche sensoriali specificatamente progettate, anche allo scopo di favorire stili alimentari più sani e sostenibili.

Il 'sapore' è definito come 'la combinazione complessa di sensazioni olfattive, gustative e trigeminali percepite durante la degustazione; esso può essere influenzato da effetti tattili, termici, dolorosi e/o cinestetici' (ISO, 2008). Durante il consumo di cibi e bevande viene rilasciata nella bocca una vasta gamma di componenti chimici classificati in 'volatili' e 'non volatili', che sono responsabili di diverse sensazioni legate al gusto e all'olfatto: le molecole volatili vengono liberate dalla matrice alimentare al momento del consumo e attivano il sistema olfattivo, mentre i componenti non volatili irritanti sono rilevati dal sistema gustativo e texturale (Gawel et alii, 2018; Zarzo, 2007).

Gli stimoli che determinano sensazioni tattili, irritanti e termiche hanno origine dall'attivazione dei recettori chemosensoriali e somatosensoriali all'interno della cavità orale (Gawel et alii, 2018; Guinard

Type of Physiological Perception	Quality / Sensory Descriptors	Project Intervention Level
Visual perceptions	size, colour, shape, texture	physical process at the macrometric scale
Olfactory perceptions of odours (nose aroma receptors)	lactic, vegetal, floral, fruity, toasted, animal, spicy, other odour aliphatic acyclic cyclic sesqui aromatic phenolic heterocyclic	chemical process at the molecular scale
Olfactory perceptions of aromas (nose aroma receptors)	lactic, vegetal, floral, fruity, toasted, animal, spicy, other	chemical process at the molecular scale
Tactile perceptions of temperature (tongue and palate receptors)	boiling, hot, warm, cold, icy	physical process at the macrometric scale
Tactile perceptions of humidity (tongue and palate receptors)	dry, floury, moist, wet, watery	
Superficial tactile perceptions (tongue and palate receptors)	powdery, rough, smooth, oily, greasy, fatty, adhesive, slippery, wrinkled	physical process at the macrometric scale
Tactile perceptions of viscoelastic physical macrostructure, consistency (teeth and palate mechanoreceptors)	gaseous, liquid, soft, foamy, solid, hard, thin, dense, compact, elastic, crumbly, expanded, rubbery, pudding-like, gelatinous, viscous, syrupy, light, firm, pasty	chemical-physical process at the millimetric scale
Perceptions of internal structure (tongue, teeth and palate receptors)	homogeneous, fibrous, grainy, succulent, layered, empty, filled	physical process at the macrometric scale
Gustatory perceptions (tongue and palate receptors)	sweet, salty, sour, bitter, umami	chemical process at the molecular scale
Trigeminal and chemiaesthetic perceptions (tongue and palate receptors)	spicy, astringent, warming, pungent, refreshing, persistent, fizzy	chemical process at the molecular scale
Auditory perceptions	crunchy, crackling	physical process at the macrometric scale

Tab. 1 | Table of sensory descriptor levels and design intervention (credit: C. Langella, 2024).

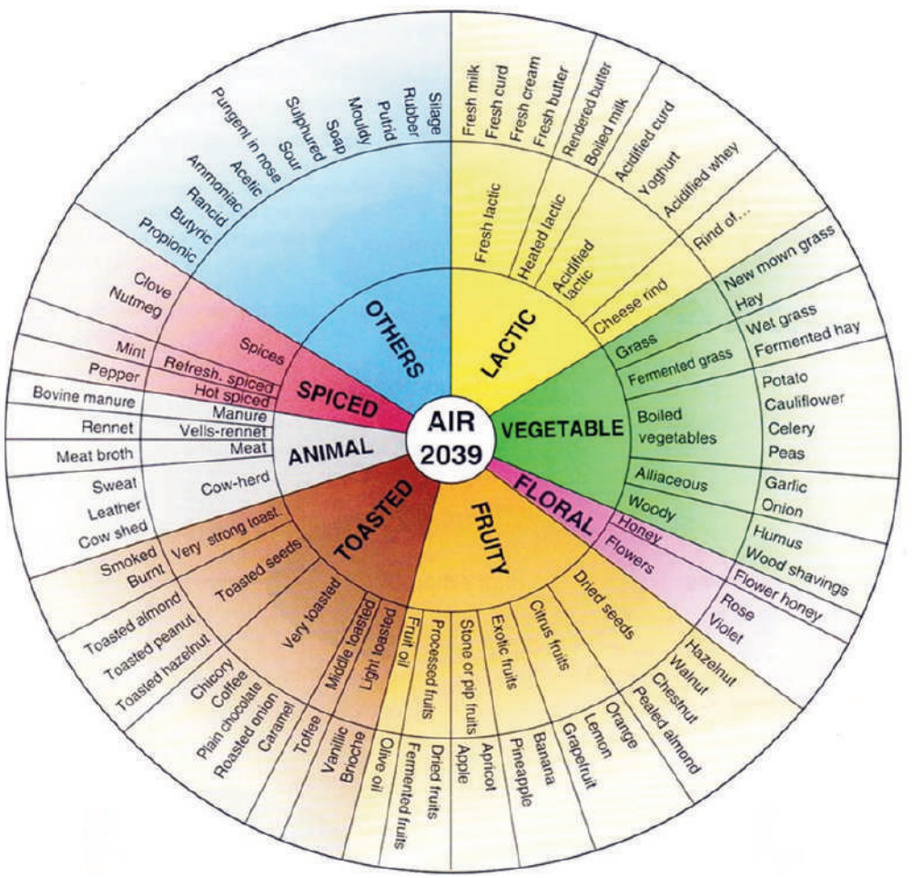


Fig. 1 | AIR 2039 – The Wheel of Odour and Aroma Descriptors (credit: F. Bérodier, P. Lavanchy, M. Zannoni, J. Casals, L. Herrero, and C. Adamo).

and Mazzucchelli, 1996). A differenza del gusto e dell'aroma, la sensazione in bocca è generalmente associata ai segnali trasmessi dai recettori del trigemino (Hewson et alii, 2009; Reynolds, 2010) ed è considerata un parametro sensoriale cruciale dell'esperienza gustativa (Liu et alii, 2017).

Le forme macroscopiche e le superfici degli alimenti determinano la prima impressione quando il cibo viene portato in bocca, ma solo una serie di processi non visibili determina il piacere complessivo e il sapore dei cibi. Da un punto di vista puramente fisico gli alimenti devono essere trattati come sistemi multiscala (Limbach and Kremer, 2006) e ciò risulta evidente dalle qualità sensoriali del cibo percepite mentre si mangia (Lucas et alii, 2002): mordendo, masticando e deglutendo, gli alimenti vengono sminuzzati e rilasciano gli aromi interagendo con il cavo orale prima di essere deglutiti; in questo breve intervallo di tempo si verifica il processo composito della percezione multisensoriale del gusto (Chen and Engelen, 2012) che coinvolge prevalentemente aspetti inconsci fisiologici e psicologici.

Thomas Vilgis (2013) del Max Planck Institute for Polymer Research ha osservato come il cibo possa essere analizzato e progettato attraverso il filtro della scienza dei materiali: la caratteristica comune della grande varietà di cibi crudi e cotti è che sono costituiti da materiali multicomponenti che possono includere proteine, carboidrati, minerali, grassi e acqua ai quali è riferibile gran parte delle proprietà strutturali e materiche degli alimenti. Data la diversa solubilità di questi componenti nei solventi principali, come acqua e grasso, molte proprietà fisiche, come struttura e consistenza, sono determinate dalle varie tipologie di interazioni tra questi diversi componenti; in particolare il contenuto di acqua e di grassi negli alimenti influenza le proprietà di solubilità dei composti e degli ioni, che hanno un impatto significativo sul rilascio degli aromi e sulla percezione del gusto, poiché si diffondono sulla lingua stimolando le papille gustative e i recettori trigeminali.

La percezione multisensoriale del cibo, che deriva dalle proprietà chimiche, dalla consistenza del cibo e dal modo in cui esso viene trasformato all'interno della bocca, gioca quindi un ruolo rilevante nella nostra alimentazione e la Gastrofisica è la scienza che da oltre 20 anni ne studia le qualità in relazione alle caratteristiche chimico-fisiche degli alimenti e all'influenza dell'ambiente, sia interno che esterno al corpo. La Gastrofisica, che Charles Spence (2017) definisce come 'lo studio scientifico dei fattori che influenzano la percezione multisensoriale durante il consumo di cibi e bevande, unisce principi di gastronomia e psicofisica' e si occupa dello studio scientifico della percezione umana, trattando l'osservatore come un sistema in grado di rispondere sistematicamente a input sensoriali calibrati. I gastrofisici utilizzano metodologie scientifiche precise per valutare obiettivamente le qualità del cibo, mirando a comprendere quali fattori influenzino realmente il comportamento delle persone.

Con la Gastrofisica il Design può accedere all'osservazione degli alimenti a diverse scale attraverso il filtro di diverse discipline: alla scala nanometri-

ca entrano in gioco la chimica del cibo e degli aromi, la chimica quantistica e la biologia molecolare relative alla fisiologia e al funzionamento dei recettori sensoriali e la scienza dei materiali; alla scala micrometrica vengono considerati gli aspetti correlati alla microstruttura del cibo che influenzano fortemente la sua consistenza; alla scala macroscopica sono presenti le tecnologie alimentari, che intervengono sui processi di produzione e lavorazione, e le discipline umanistiche e mediche come l'Antropologia, l'Etnografia, la Psicologia e la Neurologia (Vilgis, 2013). Nella Gastrofisica sono quindi coinvolte molte scale dimensionali e temporali, tutte strettamente interconnesse, poiché nella percezione tutti i livelli e i tempi giocano un ruolo cruciale e possono essere modulati, nella lavorazione degli alimenti, per progettare specifiche proprietà sensoriali.

Le aziende alimentari impiegano panel di esperti addestrati per condurre analisi basate su parametri sensoriali, condivisi e standardizzati secondo norme nazionali e internazionali, i cui risultati vengono impiegati nelle attività di ricerca e sviluppo, nei controlli di qualità richiesti dalle certificazioni di prodotto e dai requisiti di standard volontari e nelle indagini di mercato su target di consumatori specifici o popolazioni generiche di consumatori. Tali analisi, realizzate con rigorosi metodi scientifici, servono principalmente ad assicurare che la percezione del cibo corrisponda alle aspettative e ai gusti del mercato.

Questi strumenti restano tuttavia circoscritti per lo più all'ambito delle tecnologie alimentari, mentre se fossero messi a disposizione dei designer potrebbero risultare utili per sviluppare nuovi concept di cibi più apprezzati dal mercato, ma anche per rendere strategicamente più attraenti i cibi salutari, allineando così gli interessi dei produttori con quelli della salute pubblica, invertendo la tendenza indotta da parte del marketing che negli ultimi decenni ha associato le sensazioni di piacere e desiderio a cibi dannosi (Mouritsen, 2016a, 2016b).

Il superamento delle barriere tra design e tecnoscienze non deve essere interpretato come un processo di omogeneizzazione o una perdita di complessità; al contrario rappresenta un paradigma all'interno del quale i diversi saperi si confrontano, valorizzando e rispettando le reciproche specificità e competenze. Solo attraverso collaborazioni in progetti di ricerca o iniziative imprenditoriali, che coinvolgano tutte le figure sin dall'inizio, attribuendo pari dignità a designer, tecnologi e scienziati, è possibile convergere su linguaggi, tempistiche e metodi condivisi, consapevoli del patrimonio di conoscenze ed esperienze che ogni partner apporta al progetto. Ne scaturisce un approccio che ridefinisce profondamente la cultura progettuale e si arricchisce di una attitudine corale, in cui tutte le voci contribuiscono in modo differente ma sinergico.

Affinché i designer possano impiegare efficacemente tali strumenti è tuttavia essenziale che acquisiscano competenze scientifiche specialistiche, nuove e diverse da quelle che ne hanno caratterizzato la formazione, (Langella, 2019) e tra queste quelle legate alla Gastronomia (che indaga sulle relazioni tra cultura e cibo), alla Chimica e alla Fisica degli Alimenti (che permettono di comprendere come la composizione dei cibi influisce sulla loro percezione), alla Psicologia e alla Neurologia (utili a capire come le persone associano il cibo a ricordi, sensazioni ed emozioni) e ai processi produttivi (per concepire modalità che garantiscano specifiche qualità percettive e permettano di riprodurle a scala industriale).

Nella percezione multisensoriale del cibo entra in gioco anche la Neurogastronomia, disciplina fondata da Gordon Shepherd (2015), il cui campo di indagine riguarda i fattori biologici, emotivi e culturali che influiscono sui meccanismi neuronali indotti dal cibo durante la degustazione, in ragione del fatto che i dati ricevuti attraverso i cinque sensi vengono percepiti dagli organi sensoriali e recepiti nelle parti del cervello deputate. La ricerca sulla relazione tra neurorecettori e formazione dei dati sensoriali è molto attiva: il 'design visivo' dei cibi è molto importante, sia in termini di aspetto dell'alimento sia di iconografia impiegata nella comunicazione mediatica, pertanto con l'utilizzo della realtà virtuale nel campo della Neurogastronomia è possibile simulare diverse modalità di presentazione e raccogliere grandi mole di dati utili al design e al marketing per il food (Tokat and Yilmaz, 2023).

Un ruolo importante a livello neurologico e che condiziona fortemente il design degli alimenti (Agorastos, 2023) è svolto dalla percezione somatosensoriale, le cui vie nervose afferenti sensitive trasmettono gli impulsi della sensibilità tattile, propriocettiva, termica e dolorifica al midollo spinale attraverso le radici dorsali dei nervi spinali. Nell'ambito dell'alimentazione la percezione somatosensoriale si attiva con i recettori tattili della pelle e delle mucose collocati nella cavità orale e nella faringe, che consentono di percepire temperatura, astringenza, untuosità, granulometria o struttura del cibo, e con i recettori muscolari posti nella mascella e alle radici dei denti che intervengono nella masticazione e suzione permettendo di apprezzare le sensazioni cinestetiche basate sulla sensibilità muscolare: toccando o masticando un prodotto si percepiscono delle sensazioni relative alla consistenza, come succulenza e trama, che dipendono dalla reazione della materia alle pressioni esercitate dai muscoli.

Design, Gastrofisica e Neurogastronomia sono ambiti in cui l'approccio transdisciplinare emerge come essenziale: non si tratta semplicemente di combinare o intersecare diverse discipline, ma di andare oltre, generando una sintesi innovativa che supera i confini tradizionali e apre nuove possibilità di esplorazione e comprensione.

Nel Design la transdisciplinarità si manifesta nell'integrazione di conoscenze e metodologie provenienti da discipline come Architettura, Ingegneria, Psicologia, Semiotica, Scienze Comportamentali e altre. Il designer non solo deve essere specializzato in una particolare area, ad esempio la micro-tipografia o l'UX/UI design, ma deve anche possedere la capacità di estendersi orizzontalmente, abbracciando competenze diverse, con una versatilità ben rappresentata dalla metafora della lettera T: il segmento verticale simboleggia la specializzazione, mentre il tratto orizzontale rappresenta la capacità di collaborare e integrare saperi diversi. Così il Design agisce come un potente mediatore culturale e tecnologico, facilitando l'interazione tra discipline e promuovendo scambi fruttuosi che portano a innovazioni significative (Zurlo, 2012; Chung, 2020).

La Neurogastronomia e la Gastrofisica, dal canto loro, sono intrinsecamente transdisciplinari: come descritta da Charles Spence (2017), la Gastrofisica combina elementi di Psicologia Sperimentale, Neuroscienza Cognitiva, Scienza Sensoriale, Marketing, Design ed Economia Comportamentale per studiare i fattori che influenzano la nostra percezione multisensoriale del cibo e delle bevande. A differenza della Cucina Modernista, focalizzata sulla preparazione del cibo, o della scienza sensoriale, che analizza le percezioni in laboratorio, la Gastrofisica esplora come il cervello elabora le informazioni sensoriali e come queste influenzano le nostre esperienze gustative. Questa fusione di Gastronomia e Psicofisica permette di comprendere meglio le esperienze alimentari, integrando diverse prospettive per offrire una visione più completa del gradimento dei cibi e delle loro associazioni (Coucquyt, Lahousse and Langenbick, 2020).

La multisensorialità è quindi un aspetto importante della nutrizione, a cui molte aziende dedicano laboratori interni che si basano su criteri sempre più consolidati. Tuttavia raramente queste strutture includono figure di designer che possano apportare una cultura progettuale allo sviluppo e all'innovazione degli alimenti poiché spesso privilegiano figure tecniche come il tecnologo alimentare, l'esperto di marketing o l'ingegnere, soprattutto quando l'obiettivo è ottimizzare i processi di trasformazione. Questo accade sia perché in passato i percorsi formativi specializzati per designer orientati al settore alimentare erano poco diffusi, sia per la tendenza delle aziende a minimizzare i costi, relegando i designer a ruoli di grafici o progettisti di packaging. La naturale inclinazione del designer al 'pensiero laterale', capace di integrare fattori umani e tecnici con prospettive alternative, consente di affrontare la complessità olistica delle persone e di convertire il paradigma della multisensorialità in soluzioni tecniche non solo efficaci, ma anche innovative e originali (Marti and Recupero, 2021).

Ad esempio molte sensazioni percepite durante il consumo di cibo derivano dalla sua consistenza, una qualità multidimensionale strettamente legata alla componente strutturale dell'alimento. Il nostro apparato sensoriale infatti rileva e connette tali caratteristiche con fattori inconsci ed emozionali legati al vissuto individuale, che spesso influenzano le preferenze alimentari, come accade nel caso dei cosiddetti 'comfort food' (Jones and Long, 2017). La capacità di comprendere queste connessioni complesse e tradurle in forme innovative, come strutture porose, stratificate o alveolari, può aumentare il gradimento degli utenti. Manipolare le proprietà degli ingredienti per ottenere la consistenza desiderata e preservarla fino al consumo rappresenta una sfida che unisce principi chimico-fisici e aspetti percettivo-materici. Quando questa competenza viene utilizzata per orientare le preferenze verso cibi più sani, spesso trascurati rispetto a opzioni meno salutari ma più appetibili, il Design può trasformarsi in uno strumento di valore per la società e le aziende produttrici.

L'analisi sensoriale degli alimenti: categorie, parametri e norme | L'atto del nutrirsi coinvolge molteplici sfere della percezione sensoriale e della neuropsicologia umana. I caratteri chimico-fisici del cibo inducono risposte fisiologiche legate a come i nutrienti si relazionano con i neurotrasmettitori e come i cibi interagiscono con i recettori sensoriali, ma hanno anche profonde e complesse ricadute sui processi cognitivi ed emotivi; nel momento in cui il cibo viene portato in bocca si attivano processi che determinano l'esperienza complessiva della degustazione. L'analisi sensoriale nel settore alimentare è una metodologia scientifica di valutazione delle qualità organolettiche dei prodotti (regolata da diverse norme UNI e ISO), le cui proprietà sono l'insieme delle caratteristiche chimico-fisiche percepite



Fig. 2 | The Ultraviolet restaurant by Paul Pairet in Shanghai: the dishes offer continuous and simultaneous stimuli to all five senses and transform into 'psycho-taste' created to make taste a 360° experience (source: tripadvisor.it; guide.michelin.com).

dagli organi di senso (olfatto, vista, gusto, tatto e udito). In questo ambito le norme prescrivono gli approcci da applicare e i protocolli da seguire per analizzare, misurare, interpretare e comprendere le risposte percettive agli stimoli sensoriali correlati alle proprietà dei prodotti alimentari. La scientificità del processo è legata alla necessità di fornire risultati ripetibili nelle stesse condizioni e affidabili, privati delle componenti di soggettività che in condizioni naturali caratterizzano l'atto del cibarsi.

Le analisi valutano diversi descrittori organolettici, definiti in base ai prodotti specifici esaminati. Per i designer del cibo specializzati in determinate tipologie alimentari è importante conoscere le norme e i descrittori di settore, ma è altrettanto utile che abbiano consapevolezza delle qualità e dei descrittori utilizzati anche per altri alimenti: per introdurre innovazione può essere infatti utile considerare qualità che non sono comunemente valutate nella categoria di alimenti su cui si sta intervenendo. Un esempio è rappresentato dalle tavolette di cioccolato aerato, sviluppato con il supporto dei ricercatori dell'Università di Reading (UK) che hanno sperimentato l'effetto di diversi gas (tra cui ossido d'azoto, azoto, anidride carbonica e argon) sulla struttura del cioccolato, sulle dimensioni delle bolle e sulle proprietà sensoriali: l'impiego dell'ossido d'azoto è risultato il più gradito ai membri del panel test (Haedelt, Beckett and Niranjan, 2007) e ha consentito di distinguere il nuovo prodotto in un mercato tendenzialmente omologato ma caratterizzato da una grande richiesta di innovazione, offrendo una qualità originale che ha contribuito al successo del brand.

I concetti di gusto e sapore sono fattori fondamentali per il Design, non solo in termini di percezioni sensoriali, ma anche di definizione ed espressione di attributi o qualità sensoriali. È importante che i designer siano in grado di distinguere le terminologie e comprendere le differenze tra i diversi tipi di percezione del gusto. Conoscere le svariate qualità organolettiche significa considerare ogni possibile opportunità espressiva per progettare esperienze gustative piacevoli e memorabili più che semplici alimenti. Ad esempio, sebbene i gusti siano soggettivi, studi sulla percezione e sul gradimento dei cibi hanno dimostrato che statisticamente molte persone apprezzano una struttura composita che arricchisce il sapore e trovano interessante la sorpresa di effetti come la rottura di capsule o la fuoriuscita di succhi, fattori che aggiungono una componente esperienziale alla degustazione (van Eck and Stieger, 2020). Una delle principali norme UNI di riferimento per le analisi sensoriali dei cibi è la UNI EN ISO 8586:2014 (Sensory analysis – General guidelines for the selection, training and monitoring of selected assessors and expert sensory assessors), norma fondamentale per valutare in modo oggettivo i prodotti alimentari, che prevede un campione rappresentativo di consumatori a cui è richiesto di valutare il cibo in condizioni simili al consumo usuale. Uno degli obiettivi più frequenti delle analisi sensoriali è la caratterizzazione di un singolo cibo che viene svolta tramite una descrizione tecnica dettagliata in cui vengono coinvolti circa 8-12 panelist esperti, coordinati da un capo panel, che valutano, ad esempio, la corrispondenza di un campione a uno standard varietale. Nell'addestramento i panelist imparano, da un lato a comprendere cosa percepiscono i nostri sensi, dove tale sensazione viene percepita, con quale intensità e persistenza nel tempo, dall'altro a comunicare quanto percepito; la loro affidabilità e capacità discriminatoria, acquisite nella fase di addestramento e attraverso l'esperienza sul campo, li rendono strumenti di misura analitica per individuare e quantificare le caratteristiche di un alimento.

Nelle analisi sensoriali dei cibi vengono valutati diversi parametri o attributi organolettici, che possono essere accorpati in categorie generali, la cui conoscenza può essere di grande aiuto per guidare le scelte strategiche nell'industria alimentare nelle diverse fasi di sviluppo e gestione dei prodotti. Analizzando la letteratura scientifica e intersecando le diverse categorizzazioni di attributi organolettici da impiegare nelle analisi sensoriali del cibo proposte da ricercatori che hanno affrontato specificamente queste tematiche (Vilgis, 2013; Guinard and Mazzucchelli, 1996; Clark, 1998; Di Lorenzo et alii, 2009; Heymann and Lawless, 2010; Gawel et alii, 2018; Aktar, Upadhyay and Chen, 2019; Agorastos et alii, 2020) si è scelto di proporre una categorizzazione originale che possa essere impiegata specificamente come strumento progettuale o nella formazione dei designer del cibo (Tab. 1).

Nel concetto di sapore assume una importanza rilevante il senso dell'olfatto: i composti aromatici volatili, responsabili degli aromi e degli odori, hanno una struttura specifica che viene rilevata selettivamente da recettori specializzati nel bulbo olfattivo; mentre gli odori sono percepiti per via ortonasale, cioè direttamente attraverso il naso, gli aromi vengono rilevati per via retronasale attraverso la mediazione della bocca. Anche per aromi e odori esiste una ampia categorizzazione di parametri percettivi (Fig. 1). Oltre alle qualità organolettiche primarie è importante per i designer analizzare anche le qualità composite, il modo cioè in cui le diverse qualità interagiscono: ad esempio l'irritazione e il dolore causati dalla capsaicina e dalla piperina riducono l'intensità del gusto dolce, amaro e umami, mentre sui gusti acido e salato hanno poco o nessun effetto; e ancora, l'intensità della percezione olfattiva può essere attenuata dall'aumento della viscosità di un alimento (Mouritsen, 2021).

Alle terminologie di base si aggiungono quindi termini compositi impiegati nell'industria alimentare: ad esempio il 'flavour' rappresenta una combinazione di sensazioni olfattive e gustative percepite durante la degustazione, influenzata anche da effetti tattili, termici, dolorifici e cinestetici, mentre il termine 'texture' è inteso come la manifestazione sensoriale del cibo dovuta all'insieme delle proprietà reologiche e strutturali (grana, tessitura e fibrosità) di un prodotto alimentare e alle modalità con cui tali strutture reagiscono alle forze applicate, coinvolgendo i sensi del tatto, della vista e dell'udito (Szczesniak, 2002).

La Gastrofisica è 'tutto il resto': esperienze del Futurismo e della contemporaneità | Secondo Spence (2017) la Gastrofisica è «[…] everything else [and] The pleasures of the table reside in the mind, not in the mouth». Una volta capito questo, risulta chiaro perché la cucina, non importa quanto ben eseguita, arrivi solo fino a un certo punto. Per determinare cosa rende davvero attraente, stimolante e memorabile un piatto – o un bicchiere – bisogna comprendere il ruolo di 'tutto il resto'. Anche un gesto semplice come mordere un'albicocca fresca e matura si rivela, a un'ispezione più attenta, un'esperienza multisensoriale incredibilmente complessa. Il nostro cervello infatti deve mettere assieme il profumo, il sapore, la consistenza, il colore, il suono della polpa succosa schiacciata dai denti, per non parlare della sensazione pelosa della buccia sulla mano e all'interno della bocca. Tutti questi input sensoriali, uniti ai nostri ricordi, contribuiscono molto più di quanto si pensi al gusto vero e proprio. E tutto questo accade nel cervello.

La Gastrofisica trova le sue origini nel Futurismo italiano degli anni Trenta dello scorso secolo, quando i futuristi, guidati da Filippo Tommaso Marinetti, pionieri nell'esplorare nuove dimensioni della percezione sensoriale durante i pasti, con un approccio radicale e innovativo, che includeva esperimenti tattili, olfattivi e sonori hanno posto le basi per la nuova scienza. Un esempio emblematico è il pranzo olfattivo proposto dai futuristi, in cui alcuni piatti venivano passati sotto il naso dei commensali per stimolare la curiosità e fornire un contrappunto sensoriale (Marinetti and Fillìa, 1932), anticipando di decenni le moderne tecniche di cucina esperienziale. Marinetti stesso organizzava pranzi tattili in cui i commensali, oltre a gustare il cibo, dovevano «[…] ininterrottamente nutrire i loro polpastrelli sul pigiama del vicino di tavola» (Marinetti and Fillìa, 1932, p. 182).

La pratica di integrare elementi tattili e olfattivi nei pasti ha trovato nuova vita con chef modernisti come Jozef Youssef (Kitchen Theory) che nel 2015 ha presentato un piatto chiamato Marinetti's Vegetable Patch, evidentemente ispirato all'Ortotattile dell'ideologo futurista (Marinetti and Fillìa, 1932), con il quale i commensali erano invitati a toccare cubi rivestiti di materiali diversi mentre degustavano il cibo: l'esperimento ha dimostrato che le sensazioni

tattili possono alterare la percezione del gusto, confermando le intuizioni dei futuristi. Gli esperimenti dei futuristi includevano anche l'uso di profumi spruzzati direttamente sui commensali, anticipando tecniche moderne utilizzate in ristoranti di alta cucina. In particolare, Marinetti e Fillia (1932, p. 33) scrivono: «Ogni vivanda deve essere preceduta da un profumo che verrà cancellato dalla tavola mediante ventilatori». Un esempio contemporaneo di questa pratica è rappresentato dallo chef Homaru Cantu del ristorante Moto di Chicago, che utilizza spray al peperoncino per coinvolgere i clienti, inserendo così l'eredità futurista nell'uso innovativo degli aromi (Vettel, 2013; Cantu, 2017).

Il concetto di Gesamtkunstwerk, o opera d'arte totale, introdotto da Richard Wagner (1850), ha profondamente influenzato i futuristi, che hanno cercato di applicare questa visione alla gastronomia, creando esperienze che coinvolgessero tutti i sensi, andando oltre il semplice gusto. Questa idea ha trovato una nuova espressione nella Gastrofisica moderna, dove la fusione di scienza, arte e tecnologia dà vita a esperienze gastronomiche immersive e multisensoriali. Un esempio emblematico è il ristorante Ultraviolet di Paul Pairet a Shanghai (Fig. 2), nel quale si integrano suono, luce, aroma, video e stimolazioni tattili per configurare un'esperienza culinaria unica: ogni piatto del menu degustazione è accompagnato da una coreografia multisensoriale studiata per esaltare i sapori e creare un legame emotivo con il cibo in un ambiente immersivo, con solo 10 coperti, che utilizza proiezioni video, effetti sonori, aromi diffusi e cambiamenti di temperatura per stimolare i sensi (Gogois, 2014). «You can't escape from what I'm trying to convey. Everything will lead you to [develop] a strong focus on the dish», afferma Paul Pairet (cit. in Joe, 2014).

Un altro esempio concreto di come la gastrofisica integri 'tutto il resto' è rappresentato dall'azienda canadese Molecule-R e dal suo Aromafork (Fig. 3), un kit già commercializzato che include quattro forchette in metallo accompagnate da dischi di carta assorbente da inserire nelle forchette e da 20 fialette contenenti aromi diversi, pensati per esaltare il sapore del cibo a ogni boccone. La forchetta Aromafork è un esempio di come le posate possono influenzare l'esperienza gustativa, dimostrando che il tatto e persino l'odore giocano un ruolo cruciale nel modo in cui percepiamo il cibo (Classen, Howes and Synnott, 2005).

Altro progetto esemplare è senz'altro Tableware as Sensorial Stimuli (Fig. 4) del designer Jinhyun Jeon: una linea di posate progettate per stimolare i sensi durante il consumo del cibo e migliorare l'esperienza gastronomica complessiva, influenzando aspetti dell'esperienza gastronomica come la temperatura, la texture, il peso e persino il colore. I materiali utilizzati conducono il calore in modo diverso, creando sensazioni di caldo o freddo, mentre le superfici texturizzate stimolano il senso del tatto: l'obiettivo del progetto è integrare un'esperienza sensoriale completa nel processo gastronomico, considerando come i diversi sensi interagiscono tra loro per formare la percezione del cibo. In questo caso il design innovativo della linea di posate si integra con il design sensoriale, evidenziando l'importanza dell'interazione tra vista, tatto, gusto e udito nel migliorare la percezione alimentare (Welch, Youssef and Spence, 2016). Un altro esempio è il concetto di ventriloquismo emozionale, che illustra come le sensazioni tattili e visive delle confezioni alimentari influenzino le nostre percezioni del cibo; in questa prospettiva Naoto Fukasawa ha progettato confezioni (Fig. 5) che riproducono la superficie di frutti come banane, fragole e kiwi (Ricciardiello, 2015), dando vita a confezioni emozionali che non solo migliorano l'esperienza tattile, ma arricchiscono anche la percezione del gusto dimostrando che la Gastrofisica si occupa di molto più che del semplice sapore del cibo: essa include ogni aspetto dell'esperienza gastronomica, dalle posate che usiamo alle confezioni che tocchiamo, mostrando che 'tutto il resto' è cruciale per comprendere e migliorare le nostre esperienze alimentari.

Oltre alla scelta degli alimenti il contesto sociale in cui avviene il consumo del cibo riveste un'importanza cruciale. Studi recenti infatti hanno evidenziato che le persone che vivono da sole tendono a sprecare una quantità significativamente maggiore di cibo rispetto a quelle che vivono e mangiano in compagnia, fenomeno esacerbato dalle porzioni standardizzate disponibili nei supermercati, spesso non adeguate per chi conduce una vita solitaria (Genova and Allegretti, 2024). La tecnologia e la frenesia della vita moderna hanno complicato il quadro alimentare, aumentando la frequenza dei pasti distratti in cui gli individui mangiano mentre guardano la televisione o utilizzano dispositivi elettronici, riducendo la consapevolezza e il godimento del pasto, sebbene spesso anche coloro che mangiano fisicamente in compagnia sono distratti dai programmi televisivi o dai telefoni cellulari (Ellson, 2015).

D'altro canto, mangiare in compagnia può avere effetti positivi significativi sull'umore e sulla percezione del cibo, migliorando l'esperienza gustativa e facilitando la socializzazione e la cooperazione, come dimostrano studi archeologici sui pranzi comuni risalenti a oltre 12.000 anni fa (Jones, 2008). Una soluzione ingegnosa per contrastare queste distrazioni tecnologiche è stata sperimentata nel 2013 in un bar brasiliano, il Salve Jorge di San Paolo, con l'Offline Glass (Fig. 6), un boccale da birra con la base modificata che si regge in piedi solo appoggiandosi al telefonino del cliente. Questo dispositivo mira a promuovere un atteggiamento più socievole durante l'aperitivo, disconnettendo forzatamente i clienti dai loro dispositivi tecnologici. Una soluzione, questa, forse staticamente un po' traballante, ma socialmente ben più sostenibile dell'uso alienante del telefonino (Spence, 2017).

Sistemi alimentari e Obiettivi di Sviluppo Sostenibile: sinergie e compromessi | I sistemi alimentari rappresentano un pilastro essenziale e al contempo una delle sfide prioritarie per il raggiungimento degli SDG dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite (UN, 2015), poiché non solo sono fondamentali per garantire la sicurezza alimentare, ma svolgono un ruolo cruciale nel raggiungimento di tutti gli SDG (Ni-



Fig. 3 | The Aroma R-Evolution Kit, designed by Molecule-R (source: touchofmodern.com).



Fig. 4 | Tableware as Sensorial Stimuli, designed by Jinhyun Jeon (source: designstreet.it).

les et alii, 2018; Fassio, Cionchi and Tondella, 2020; Anderson et alii, 2022; FAO et alii, 2023; IGS, 2023; Fig. 7). Infatti i sistemi alimentari influenzano la povertà, la salute, l'uguaglianza di genere, la cultura e l'istruzione, la produzione e il consumo responsabile, la gestione delle risorse naturali della superficie terrestre e marina e la lotta contro il cambiamento climatico (Fig. 8) poiché numerose buone pratiche internazionali dimostrano come una gestione consapevole della produzione e del consumo di cibo possa generare sinergie positive, dirette e indirette, con diverse aree dello sviluppo globale che hanno il potenziale per realizzare un mondo più sostenibile, equo e sicuro.

L'Empowering Women in Agrifood[2] (EWA) è un Programma di formazione (SDG 4) indirizzato alle donne che mira a promuoverne l'inclusione economica (SDG 8) e l'uguaglianza di genere nei sistemi agroalimentari (SDG 5), contribuendo anche ad altri obiettivi tra cui la riduzione della povertà (SDG 1), la sicurezza alimentare (SDG 2), la salute e il benessere (SDG 3). Il Programma mira a creare delle opportunità per quelle donne che svolgono un ruolo importante nella produzione, lavorazione e distribuzione del cibo (FAO, 2023) e che in molti Paesi in via di sviluppo sono spesso discriminate a causa di fattori socio-culturali che hanno un impatto rilevante anche sulla loro alimentazione e salute (Osabohien and Matthew, 2024). Avviato nel 2020, promosso da EIT Food e cofinanziato dalla Comunità Europea, il Programma fornisce alle donne le competenze e le risorse necessarie per avviare imprese innovative, sostenibili e di successo nel settore agroalimentare, anche con il supporto di una rete di aziende e investitori del settore con cui strutturare accordi di partenariato (SDG 17). Tra il 2020 e il 2023 il Programma EWA ha accolto più di 370 imprenditrici, ha assegnato premi per oltre 560.000 euro alle migliori partecipanti a fine corso ed è riuscito ad attrarre investimenti sulle startup per circa 12 milioni di euro; inoltre ha contribuito alla crescita in termini di clienti, dipendenti o fatturato di oltre 40 startup agroalimentari.

Tuttavia, nonostante le numerose sinergie che emergono tra gli SDG e i sistemi alimentari, esistono anche compromessi significativi che derivano ad esempio dalla difficoltà di conciliare esigenze economiche di breve termine con la necessità di una gestione sostenibile delle risorse naturali nel lungo periodo e di un'equa distribuzione dei benefici sociali.

I sistemi alimentari hanno importanti interconnessioni anche con l'obiettivo 'acqua pulita e servizi igienico-sanitari' in quanto nell'attuale emergenza climatica e in contesti caratterizzati da siccità e precipitazioni irregolari, al fine di evitare che l'acqua potabile sia utilizzata per l'agricoltura, l'attenzione è sempre più rivolta alle risorse idriche 'non convenzionali', a quelle risorse cioè che necessitano di onerosi processi specializzati per essere utilizzate come approvvigionamento idrico, oppure a soluzioni a basso costo e tecnologie che prevedono il recupero e riuso delle acque piovane per finalità diverse. È questo il caso dell'Outer Islands Food and Water Project, progetto sperimentale (2014-2023) finanziato dall'International Fund for Agricultural Development (IFAD, 2024), che ha coinvolto la popolazione di Kiribati, uno Stato insulare dell'Oceania con 33 isole e atolli tra i più vulnerabili del Pianeta per i cambiamenti climatici, a causa della concomitanza di innalzamento del livello del mare, presenza di uragani e periodi prolungati di siccità.

Le isole si caratterizzano anche per la presenza di terreni poco profondi, alcalini e con un contenuto di materia organica molto basso, per le limitate sorgenti d'acqua e falde acquifere soggette a contaminazione di acqua salata e per un'elevata dipendenza dalle importazioni di cibo il cui costo è condizionato da eventi politico-economici internazionali e dalle oscillazioni del prezzo del carburante. Per risolvere tali criticità il progetto sperimentale ha consentito alle popolazioni locali di essere pressocché autosufficienti (Bailey et alii, 2018), valorizzando in modo olistico le risorse naturali e fornendo mezzi e competenze tecniche necessarie per pianificare e attuare gli interventi di sviluppo della comunità (SDG 8 e 11), in particolare nei settori dell'accesso all'acqua pulita (Fig. 9), della produzione alimentare domestica e dell'educazione alimentare. I processi partecipativi messi in atto hanno permesso di realizzare 234 sistemi di raccolta dell'acqua piovana (SDG 6) e 2.135 orti (SDG 1 e 2) i quali, insieme a corsi di formazione (SDG 4) prevalentemente indirizzati a donne (SDG 5) e giovani sulle proprietà nutrizionali di frutta e verdura locali, hanno consentito di migliorare le condizioni di vita e di salute degli abitanti (SDG 3).

Inoltre l'impiego di tecnologie a basso impatto energetico e di fonti di energia rinnovabile, come il solare, ha favorito una produzione alimentare più sostenibile (SDG 7); pratiche agricole finalizzate alla protezione del suolo dall'erosione e all'uso di colture resistenti ai cambiamenti climatici hanno incrementato la resilienza delle comunità agli impatti del cambiamento climatico, cruciali in isole esposte a fenomeni di siccità e all'innalzamento del livello del mare (SDG 13). Anche le risorse marine, essenziali per la dieta locale, sono state gestite in modo sostenibile mediante pratiche di pesca regolamentata (SDG 14), mentre la promozione della coltivazione di specie vegetali locali e la tutela degli ecosistemi hanno contribuito alla conservazione della biodiversità (SDG 15).

Il successo dell'iniziativa ha determinato lo stanziamento di ulteriori fondi per replicarla in altre cinque isole, coinvolgendo 24 villaggi e circa 1.700 famiglie. Nonostante ciò il progetto ha dovuto confrontarsi con compromessi importanti che rappresentano sfide rilevanti per la gestione sostenibile specialmente per questi particolari ecosistemi: nel rapporto tra gli SDG 2 e 14, poiché la necessità di intensificare la pesca per garantire il sostentamento ha comportato il rischio di sovrasfruttamento delle risorse ittiche; nel rapporto tra gli SDG 2 e 6, poiché occorre calibrare la disponibilità d'acqua potabile per gli usi agricolo e domestico nei lunghi periodi di siccità; nel rapporto tra gli SDG 1 e 13, poiché l'introduzione di tecnologie agricole avanzate, cruciali per incrementare la resilienza climatica, comporta costi elevati difficilmente sostenibili senza supporto finanziario per molte famiglie a basso reddito.

Un progetto simile, il Blue Economy nelle Seychelles, ha poi dimostrato come la governance dei sistemi alimentari e la cooperazione internazionale siano essenziali per garantire uno sviluppo equo e sostenibile (Benzaken et alii, 2022): finanziato dal World Food Programme, il progetto si caratterizza per una migliore accessibilità di cibo in aree di conflitto al fine di promuovere pace e stabilità, rafforzando la giustizia sociale e le Istituzioni (SDG 16), avvalendosi di partnership tra governo, ONG e settore privato per il raggiungimento di obiettivi comuni (SDG 17) e valorizzando l'acquacoltura sostenibile (SDG 14) e lo sviluppo economico con il turismo marittimo (SDG 8) il quale, se non regolamentato, può aumentare la pressione sugli ecosistemi, compromettendone la sostenibilità a lungo termine.

Anche l'obiettivo della 'energia pulita e accessibile' trova importanti interconnessioni con i sistemi alimentari e assume ulteriore rilevanza laddove le pratiche di produzione riescono a generare molteplici benefici. È il caso ad esempio della Permacultura (Fig. 10), un sistema o meglio una filosofia di produzione volta a riprodurre modelli e strategie degli ecosistemi naturali, ma anche a sviluppare comunità responsabili e autosufficienti nelle quali si promuovono le colture stagionali, il riciclo degli scarti, la riduzione degli sprechi e tecnologie idonee al contesto locale (Vacanti and Leonardi, 2024). La Permacultura ha il potenziale per risolvere la dipendenza dalle fonti energetiche non rinnovabili ad esempio attraverso l'uso di biodigestori domestici che convertono scarti / rifiuti alimentari e deiezioni animali in biogas per la climatizzazione e in fertilizzante liquido per le coltivazioni, oppure sfruttando risorse naturali rinnovabili come sole e vento per generare elettricità.

È facile immaginare che sistemi di produzione alimentare innovativi possano trovare 'fertile sviluppo' nei Paesi più industrializzati (si vedono ad esempio i progetti Skyfarm, Farmscraper, Farmhouse e Jian Mu Tower; Basso et alii, 2023; Tucci and Carlo Ratti Associati, 2023) e densamente popolati, come nel caso di Singapore dove è nata Sky Greens (Figg. 11, 12), la prima fattoria verticale idraulica a basse emissioni di carbonio (Benke and Tomkins, 2017) e dove la Singapore Food Authority[3], per compensare la carenza di suolo agricolo rispetto a una crescita demografica costante, ha lanciato l'ambiziosa iniziativa '30 by 30', con l'obiettivo di produrre internamente il 30% del fabbisogno alimentare locale entro il 2030 utilizzando sia vasche high-tech che riciclano l'acqua e le sostanze nutritive per l'allevamento ittico, sia serre verticali per le colture idroponiche che in assenza di terra e grazie all'acqua, nella quale vengono sciolte sostanze nutritive, fanno crescere le piante velocemente e in salute. Tuttavia le pratiche sostenibili più rilevanti sono quelle che possono trovare una maggiore diffusione con investimenti ridotti e coinvolgendo un elevato numero di persone, soprattutto nei Paesi a basso reddito.

Tra le buone pratiche sviluppate nei Paesi in via di sviluppo si segnalano quelle prese in esame dai ricercatori Zahra Didarali e James Gambiza (2019) che hanno messo a confronto le pratiche di coltivazione tradizionali e la permacultura all'interno di tre villaggi rurali in Sudafrica e Zimbabwe, dove le comunità affrontano giornalmente sfide legate all'insicurezza alimentare e al degrado ambientale. Tramite interviste semi-strutturate i due ricercatori hanno appreso che la permacultura ha contribuito per oltre il 40% del reddito totale in tutti e tre i casi di studio (SDG 1 e 2), producendo benefici sulla varietà alimentare e sulla salute (SDG 3) dei soggetti coinvolti, sulla loro capacità di resilienza sociale e ai cambiamenti ambientali (SDG 11 e 13), sulla biodiversità della produzione (SDG 15), sulla gestione delle risorse idriche (SDG 6), sull'utilizzo di energia da fonti rinnovabili (SDG 7) e sulla riduzione dei costi di impresa (SDG 8). Dallo studio sono anche emersi i limiti della Permacultura prevalentemente legati alla necessità di formazione degli operatori e a investimenti iniziali non sempre accessibili per le popolazioni locali, che spesso richiedono il supporto di Organizzazioni internazionali e Istituzioni locali con strategie mirate a promuovere pratiche agricole

ecosostenibili alternative a quelle tradizionali; in questi particolari contesti soltanto attivando un partenariato pubblico / privato è possibile avviare l'auspicato cambio di paradigma da un approccio produttivo lineare a uno olistico e circolare capace di riconoscere il ruolo delle persone non come meri produttori di cibo, ma come gestori di sistemi ecologici che producono servizi ecosistemici.

Altro progetto emblematico è il Fairtrade in Etiopia che nasce con l'obiettivo di migliorare le condizioni economiche, sociali e ambientali dei produttori di caffè, offrendo loro un sistema di commercio più equo e sostenibile[4]. Il caffè è una delle principali risorse di esportazione del Paese e fonte di reddito per milioni di piccoli agricoltori, tuttavia il settore si trova ad affrontare sfide locali significative, come l'instabilità dei prezzi sul mercato globale, gli effetti del cambiamento climatico e i limiti infrastrutturali della regione. Il modello Fairtrade si propone di mitigare queste criticità garantendo un prezzo minimo ai coltivatori e un premio aggiuntivo destinato al miglioramento delle condizioni di vita nelle comunità rurali (SDG 9) e nello specifico delle infrastrutture (SDG 11), delle scuole (SDG 4), dei servizi sanitari (SDG 3) e dell'accesso all'acqua potabile (SDG 6), rendendo questo modello una soluzione integrata e comunitaria che va oltre la semplice certificazione di prodotto. Il sistema Fairtrade non è solo un sistema economico, ma è anche un meccanismo per rafforzare il ruolo degli agricoltori nella catena di valore, garantendo una maggiore equità e valorizzazione del lavoro: i piccoli produttori acquisiscono una stabilità economica (SDG 1) organizzandosi in cooperative che offrono accesso a beni / servizi fondamentali per la comunità (SDG 2, 3) e conoscenze tecniche (SDG 4) su metodi di produzione agricola più responsabili, sostenibili (riducendo l'uso di pesticidi e fertilizzanti nocivi e ottimizzando la gestione dell'acqua e del suolo), competitivi e resilienti ai cambiamenti climatici (SDG 11, 12, 13 e 15) che parallelamente aumentano la qualità del prodotto e riducono l'impatto ambientale delle colture. Il progetto Fairtrade in Etiopia dimostra anche la possibilità di migliorare la sostenibilità e la trasparenza della catena del valore attraverso tecniche agroforestali che integrano piante e alberi per migliorare la biodiversità e la resilienza climatica.

Nell'ambito degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile il progetto etiope Fairtrade si connette quindi direttamente a diverse aree chiave, creando importanti sinergie ma anche compromessi tra obiettivi a volte conflittuali. Ad esempio la crescita del reddito dei produttori permette di diversificare le colture, riducendo la dipendenza esclusiva dal caffè e migliorando la qualità nutrizionale delle famiglie; tuttavia l'aumento della produzione per soddisfare la domanda internazionale può mettere a rischio la produzione agricola locale destinata all'alimentazione e incentivare la deforestazione per espandere le aree di coltivazione, minando il compromesso tra sicurezza alimentare, redditività e lotta al cambiamento climatico. L'organizzazione in cooperative è un altro punto di forza che promuove condizioni di lavoro più giuste e sicure (SDG 8) e una maggiore capacità contrattuale sui mercati internazionali; tuttavia non tutti i produttori possono partecipare al sistema Fairtrade a causa dei costi elevati di certificazione e il sistema stesso può risultare meno competitivo quando i prezzi di mercato superano il prezzo minimo garantito da Fairtrade, compromettendo un corretto equilibrio tra il raggiungimento di una competitività globale e l'equità interna per i produttori locali.

Oltre alla fase di produzione anche quella del fine vita dei prodotti alimentari può determinare numerosi benefici, soprattutto quando lo scarto ha pos-



Fig. 5 | Juicepeel packs textured to resemble specific fruits, designed by Naoto Fukasawa (source: naotofukasawa.com).



Fig. 6 | Offline Glass packs, designed by Mauricio Perussi, were created by the Agenzia Fischer&Friends, for the Salve Jorge Bar in Sao Paolo (source: lovethework.com).

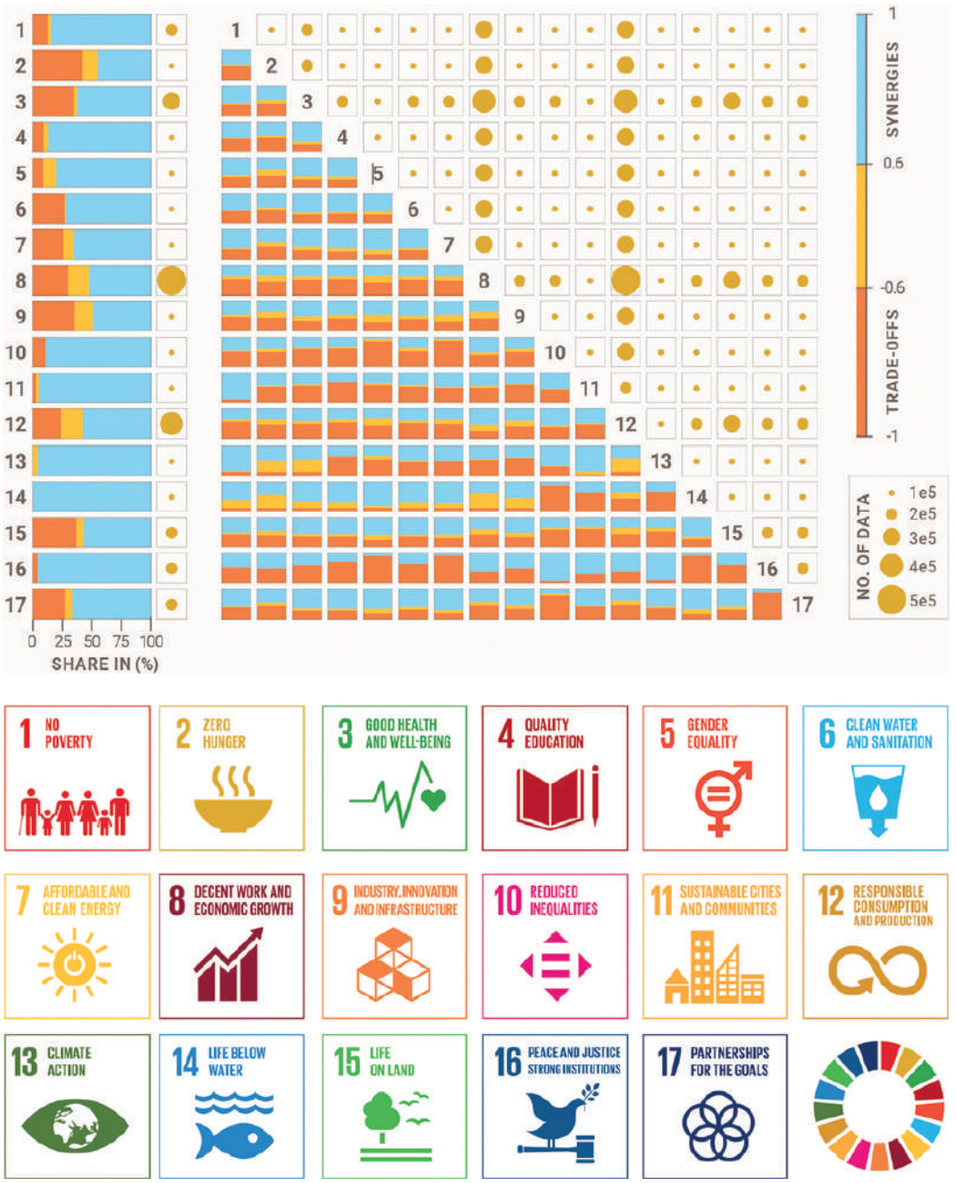


Fig. 7 | Interconnections between the Sustainable Development Goals based on 2018 data from the Department of Economic and Social Affairs – United Nations Statistics Division 2019 (source: Anderson et alii, 2022; IGS, 2023).

sibilità di una seconda vita e viene trattato come materia prima seconda. È il caso della tazzina di caffè (Fig. 13) prodotta da Coffeefrom[5] una cooperativa sociale della provincia di Milano (Italia) che, con l'obiettivo di promuovere i principi dell'Extended Producer Responsibility in ottica circolare, ha avviato la produzione di tazze, bicchieri e packaging certificati per il contatto con il cibo e privi di bisfenolo utilizzando scarti di caffè conferiti da produttori locali. Il processo produttivo è industrializzato con lo stampaggio a iniezione e 3D e prevede una miscela composta da polvere di caffè esausta ed essiccata e da acido polilattico (SDG 9, 11, 12 e 13): il materiale, liscio al tatto e di un colore marrone scuro che ricorda la materia prima di provenienza, ha una buona resistenza meccanica e al calore ed è biodegradabile (Ferrara and Squatrito, 2022). Rilevante è poi l'impatto sociale del prodotto (SDG 8 e 10), poiché l'azienda impiega lavoratori 'fragili' nelle fasi di logistica e confezionamento e collabora con diverse imprese sociali del territorio per la realizzazione del packaging.

Gastrofisica e Obiettivi di Sviluppo Sostenibile: punti di forza e barriere | Quelle illustrate sono soltanto alcune delle buone pratiche che riflettono l'importanza dei sistemi alimentari per il raggiungimento degli obiettivi dell'Agenda 2030. In tale contesto si inserisce la Gastrofisica che si configura come area di ricerca strategica al supporto degli SDG, concentrandosi sull'interazione tra cibo e sensi e sugli aspetti psicologici e sociali della nutrizione: essa offre infatti contributi significativi che spaziano dall'innovazione alimentare alla promozione di diete sostenibili, supportando la sicurezza alimentare, migliorando la salute pubblica, riducendo lo spreco alimentare e incoraggiando pratiche agricole sostenibili. Ricerche e sperimentazioni che impiegano la Gastrofisica dimostrano come stimoli multisensoriali possano migliorare l'esperienza gustativa e influenzare positivamente la percezione dei sapori, contribuendo alla riduzione della povertà (SDG 1) e delle disuguaglianze (SDG 10), alla salute e al benessere (SDG 3), alla produzione e al consumo responsabile (SDG 12), preservando la biodiversità (SDG 15) e promuovendo l'educazione alimentare (SDG 4).

La Gastrofisica contribuisce anche all'innovazione (SDG 9) del settore alimentare con significativi risultati nella riduzione dei rifiuti e degli impatti con una produzione e un consumo responsabili (SDG 12), sull'azione per il clima (SDG 13) e sulla promozione di lavori dignitosi (SDG 8) e di comunità sostenibili (SDG 11). Iniziative come The Edible Tableware Project (Fig. 14) forniscono ad esempio dati e tecniche per la produzione di stoviglie biodegradabili e commestibili per ridurre i rifiuti in plastica usa e getta, utilizzando ingredienti naturali come fibre vegetali e alghe (Nair, Trafiałek and Kolanowski, 2023), mentre altre come il Sustainable Restaurant Lab impiegano la Gastrofisica per ottimizzare l'esperienza culinaria e promuovere un minore impatto del settore della ristorazione, riducendo il consumo di energia, utilizzando materiali biodegradabili e promuovendo pratiche di lavoro più eque (Madanaguli et alii, 2022).

In tale contesto è da segnalare anche la ricerca di Spence e Piqueras-Fiszman (2014) che ha esplorato l'applicazione di stimoli visivi, uditivi e olfattivi per migliorare l'esperienza gustativa: i due studiosi abbinando colori caldi e musica rilassante per accentuare la percezione del dolce, del salato o del grasso senza aumentarne il contenuto nelle pietanze. Stessa strategia ma con modalità diverse è stata proposta da Woods et alii (2011) per rendere più appetibili ingredienti meno ricercati, ma dall'equivalente valore nutrizionale e dal minor costo.

Degni di nota sono poi quei progetti che concorrono a diversificare le fonti alimentari, a preservare la biodiversità, a ridurre la pressione sulle risorse agricole convenzionali e sugli allevamenti di bovini, maiali e polli, individuando nuove fonti proteiche che non incidono sull'impatto ambientale. Tra questi il Flavor Exploration for Plant-Based Diets che ha studiato come rendere più saporite le proteine vegetali attraverso il potenziamento dei profili di gusto e texture, usando ingredienti naturali per migliorare il sapore senza l'aggiunta di grassi o zuccheri (Spence, 2015c) e i Future Foods Sensory Labs che hanno esplorato nuovi alimenti sostenibili, come alghe, piante selvatiche e insetti e utilizzato la Gastrofisica per renderli più attraenti, attraverso tecniche che migliorano la percezione sensoriale, facilitando la transizione a un'alimentazione sostenibile, integrandoli nelle diete (Lisboa et alii, 2024).

Innovativa è in tal senso l'attività sperimentale di ecoLogicStudio (Valenti and Pasquero, 2021) che trova applicazioni con la BIO.tech HUT (Fig. 15), nella quale colture di microalghe giornalmente assorbono CO_2 e producono ossigeno in una quantità equivalente a quella di 32 grandi alberi, consentendo di estrarre sia olio per produrre 1 kg di biocarburante sia la dose giornaliera di proteine per 12 adulti, e con AIReactor (Fig. 16) costituito da un fotobioreattore, un contenitore in vetro con un ceppo di spirulina e un terreno di coltura ricco di sostanze nutritive per purificare l'aria in un appartamento e produrre fino a 7 grammi di spirulina al giorno per uso alimentare.

L'utilizzo di parti di alimenti comunemente scartate è una pratica di Gastrofisica che permette di ridurre lo spreco creando nuove esperienze gustative che ne migliorano colore, profumo, sapore e consistenza per sfruttarne al meglio i valori nutrizionali: tramite la stampa 3D (Hooi Chuan Wong et alii, 2022) scarti come foglie e bucce commestibili di-

ventano nuovi ingredienti (Figg. 17, 18) e risorse che riducono la pressione sulla produzione alimentare convenzionale e parallelamente sostengono la sicurezza alimentare. Quest'ultima è promossa da pratiche come il mindful eating e l'educazione sensoriale che supportano salute e benessere ed educazione di qualità, incoraggiando scelte alimentari più consapevoli e sane: ad esempio Kristeller e Wolever (2011) attraverso il progetto Mindful Eating Experiences hanno evidenziato come specifiche ambientazioni e sottofondi musicali possano aiutare a migliorare la percezione del gusto, ridurre la velocità di consumo e migliorare la digestione del cibo.

Parallelamente con gli Educational Flavour Workshops for Kids, Coulthard e Sealy (2017) hanno sperimentato che utilizzando i principi della Gastrofisica è possibile adottare diete nutrienti sin dall'infanzia e insegnare ai bambini a riconoscere e apprezzare sapori diversi, riducendo la dipendenza da zuccheri e migliorando la consapevolezza alimentare; Vermeir e Roose (2020) hanno sperimentato soluzioni di plating per orientare le scelte alimentari verso pietanze vegetali in sostituzione di quelle a base di carne; la percezione della sazietà e la riduzione del consumo di calorie sono invece state indagate da van Kleef, Shimizu e Wansink (2012), attraverso l'utilizzo di piatti più piccoli e posate specifiche, e da Stafford e Welbeck (2011), attraverso i profumi di vaniglia e di lavanda.

In generale i casi studio citati mostrano come la Gastrofisica possa essere considerata area di ricerca dalle elevate potenzialità per supportare diversi SDG, contribuendo a un cambio di paradigma sulle modalità con cui produciamo, consumiamo e gustiamo il cibo. Tuttavia la diffusione delle sue pratiche incontra numerosi ostacoli che ne limitano l'adozione su larga scala, dovendo abbattere barriere di tipo culturale, psicologico, sociale, educativo, tecnico ed economico e legate ad aspetti di natura normativa regolatoria, ciascuna delle quali introduce sfide uniche: comprendere tali criticità è fondamentale per immaginare come rendere la Gastrofisica una pratica quotidiana accessibile e diffusa.

A livello culturale è da segnalare che le abitudini alimentari e la percezione del gusto sono spesso profondamente radicate nelle tradizioni locali tanto che la drastica riduzione di zuccheri, grassi e sale, la sostituzione di ingredienti base o la modifica di un sapore può far percepire il cibo come estraneo o persino 'minaccioso' per l'integrità delle tradizioni culinarie e come un allontanamento dalla propria cultura. Alle barriere di natura culturale si affiancano poi quelle di natura psicologica che derivano da abitudini e percezioni individuali: la maggior parte delle persone tende a resistere ai cambiamenti nelle proprie abitudini alimentari, anche quando è consapevole dei potenziali benefici, limitando l'assunzione di alimenti nuovi e sostenibili, come le proteine alternative vegetali o a di base alghe o di insetti. Molte persone provano un senso di disgusto o ripugnanza nei confronti di questi ultimi ingredienti, soprattutto nel mondo occidentale (Deroy, Reade and Spence, 2015) dove sono percepiti come 'di qualità inferiore' o poco sicuri, eppure sono una fonte eccellente di proteine e grassi sani, oltre a essere più sostenibili dal punto di vista ambientale rispetto alla carne (Jucker et alii, 2021; de Matos, Rasera and de Castro, 2024).

Dal punto di vista sociale alcune pratiche di Gastrofisica vengono spesso stigmatizzate, in particolare quelle che prevedono il riuso degli scarti alimentari come ingredienti perché associati a un cibo di 'seconda qualità' soprattutto nelle fasce sociali più abbienti. Al contempo la scelta di utilizzare piatti e porzioni di dimensioni ridotte, volta a generare senso di sazietà e ridurre consumo eccessivo e spreco, può essere fraintesa come un tentativo di risparmiare sui costi o di marcare il divario tra classi sociali differenti.

Le barriere relative all'educazione rappresentano un'ulteriore sfida significativa, soprattutto perché la Gastrofisica è un concetto relativamente nuovo e poco conosciuto dalla maggior parte dei consumatori, che spesso ne ignorano i benefici in termini di sostenibilità e salute, ma anche dai ristoratori e dagli operatori del settore; inoltre in molte comunità e in alcuni ceti sociali manca un'educazione alimentare di base che promuova una dieta sana e sostenibile, mentre la disinformazione contribuisce a creare scetticismo su pratiche e alimenti 'nuovi'.

Le barriere di natura tecnica rappresentano un ulteriore ostacolo poiché molte pratiche di Gastrofisica richiedono attrezzature specializzate e competenze specifiche, non sempre disponibili nei locali di ristorazione; ad esempio per ottimizzare la percezione degli scarti alimentari il design sensoriale richiede processi di trasformazione avanzati e quindi know-how e tecnologie specifiche tra cui quelle di stampa 3D, mentre la produzione di stoviglie commestibili e biodegradabili, ma anche sicure e durature, richiede una ricerca e uno sviluppo che non tutte le aziende sono in grado di affrontare.

Le barriere economiche costituiscono forse l'ostacolo più grande in quanto molte delle pratiche di Gastrofisica richiedono un investimento iniziale significativo, in termini di attrezzature per la cucina e per la sala e di formazione del personale, ma anche costi da sostenere nella fase di gestione poiché la materia prima nelle diete a base vegetale necessita di alimenti stagionali e di qualità che possono risultare costosi e non sempre alla portata di tutti. Esistono anche barriere legate alla reperibilità locale di ingredienti o materiali biodegradabili per stoviglie, il cui trasporto da luoghi di produzione molto distanti determina emissioni di CO_2 non indifferenti specialmente in aree rurali o in Paesi in via di sviluppo, dove le reti di approvvigionamento e le infrastrutture logistiche possono essere carenti.

La Gastrofisica deve anche confrontarsi con le barriere di natura normativa e regolatoria che possono ostacolare la diffusione di innovazioni alimentari sostenibili: in molti Paesi l'introduzione di nuovi alimenti come gli insetti è vincolata da rigide normative che richiedono approvazioni e certificazioni specifiche, costose e con tempi procedurali lunghi; l'uso di scarti alimentari come ingredienti e di stoviglie commestibili deve rispondere a standard e norme igieniche e di sicurezza che, seppur necessari, possono rendere queste pratiche di difficile adozione; infine contributi e agevolazioni fiscali destinati prevalentemente agli allevatori e produttori di carne e latticini, penalizzano la produzione di proteine vegetali e alternative e disincentivano la diffusione di diete a basso impatto ambientale.

Se quindi il raggiungimento degli SDG è diventato una priorità cruciale per l'umanità appare evidente che essa deve confrontarsi anche e soprattutto con le sfide globali legate ai sistemi alimentari, esplorando e adottando nuove pratiche alimentari ecologicamente sostenibili e socialmente accettabili. In quest'ottica i casi studio illustrati, seppur riferiti ad aree geografiche e contesti diversi e con impiego di tecnologie, metodologie e approcci differenti, hanno in comune i caratteri della modularità, della scalarità e della replicabilità che ne consentono l'implementazione per gestire i potenziali compromessi se affrontati in chiave sistemica e valorizzando competenze multidisciplinari, a cui la disciplina del Design, come si illustrerà nei successivi paragrafi, può dare un importante contributo.

Gastrofisica, Design della Comunicazione e Service Design | La Gastrofisica non si limita allo studio delle interazioni multisensoriali che influenzano la nostra percezione del cibo e delle bevande; essa include anche il Design della Comunicazione, conferendo un ruolo centrale a ciò che tradizionalmente rientra nella grafica e nel naming, con profonde implicazioni semiotiche (Meyerson, 2021): la dimensione narrativa può infatti giocare un ruolo fondamentale per configurare esperienze culinarie che non solo stimolano i sensi, ma anche la mente e l'immaginazione.

Un esempio emblematico del potere del nome nel contesto gastronomico è l'esperienza di un piatto denominato Nototenide della Patagonia, un pesce inizialmente respinto dai clienti a causa del suo nome poco appetitoso che ha visto decuplicare le sue vendite dopo essere stato rinominato Moro Oceanico. Il cambiamento di nome, semplice ma efficace, dimostra come le etichette e le descrizioni influenzino profondamente le scelte dei consumatori, manipolandone aspettative e percezioni: le associazioni mentali create da un nome possono trasformare un alimento ordinario in una prelibatezza desiderata. Questo fenomeno può essere considerato un esempio di 'nudge', 'spinta gentile' (Thaler and Sunstein, 2012): piccoli cambiamenti nel contesto decisionale possono influenzare significativamente i comportamenti dei consumatori, ecco perché nel Design della Comunicazione l'elaborazione del nome, che in gergo anglosassone è 'naming' (processo), è parte fondamentale del progetto.

Allo stesso modo i suoni legati alla preparazione e al consumo del cibo giocano un ruolo cruciale nell'esperienza culinaria. Suoni come il 'ding' del microonde, ad esempio, possono sminuire la percezione di un piatto, mentre quelli sfrigolanti, gorgoglianti e triturati possono aumentare l'appetito e la soddisfazione. Questa è l'intuizione del compositore svedese Per Samuelsson: registrare i suoni della cucina per trasformarli in composizioni musicali che esaltano l'esperienza del pasto dando luogo ad ambienti multisensoriali immersivi (Spence, 2015a, 2015b). Altri esempi emblematici del potere gastronomico del suono sono poi il Conchiglia Krug, un dispositivo acustico che amplifica il suono delle bollicine e migliora l'esperienza sensoriale dei consumatori, e la 'sonic chip' (Spence, 2017), uno studio che è valso a Charles Spence e Max Zampini il premio IgNobel 2008 per la nutrizione: manipolando i suoni del morso delle patatine Pringles, i due gastrofisici sono riusciti a modificare la percezione della croccantezza e della freschezza, dimostrando che quello che ascoltiamo influenza realmente quello che gustiamo. Questo progetto ha aperto nuove frontiere nel Design dell'esperienza alimentare, ribadendo come i suoni possano essere utilizzati per migliorare la percezione del cibo (Zampini and Spence, 2004).

Il Design della Comunicazione può giocare un ruolo fondamentale nel superare le diverse barriere psicologiche, culturali, educative, sociali e di soste-

nibilità legate all'adozione di pratiche alimentari sostenibili. In particolare il Design della Comunicazione può impiegare lo storytelling per normalizzare ingredienti alternativi o scarti alimentari, facendoli apparire come una scelta consapevole e positiva, supportando campagne di promozione con immagini di persone reali e familiari che consumano questi prodotti, trasmettendo un senso di appartenenza e legittimità; può creare contenuti educativi tramite infografiche, visual storytelling, video brevi e contenuti per i social media che illustrano in modo semplice e diretto i benefici della Gastrofisica, delle diete sostenibili e dell'uso di ingredienti alternativi tramite visualizzazioni dei dati e contenuti visivi finalizzati all'educazione alimentare e alla consapevolezza degli impatti ambientali e nutrizionali conseguenti alle scelte dei consumatori.

E ancora, può utilizzare il packaging tramite grafici, testi ed etichette dai colori caldi e rassicuranti che possono comunicare informazioni chiare e accessibili sui benefici del prodotto, sul suo impatto ambientale e su valori positivi, come l'etica e il rispetto per l'ambiente, trasformandoli in simboli di uno stile di vita moderno e responsabile, ma anche sensazioni rassicuranti e associazioni positive capaci di influenzare la percezione del gusto, migliorare l'esperienza complessiva e ridurre il pregiudizio verso prodotti considerati 'insoliti'.

Nell'ambito della Gastrofisica la narrazione progettata si nutre quindi di tutto ciò che coinvolge i nostri sensi per stimolare ricordi e associazioni mentali positive; ecco perché la Gastrofisica ha una vocazione narrativa: per configurare esperienze culinarie che vanno oltre il semplice gusto del cibo. Attraverso il naming e il Design della Comunicazione in generale, la Gastrofisica sfrutta il potere del mito e delle associazioni mentali per arricchire l'esperienza del commensale, dimostrando che tutto il resto è cruciale per comprendere e migliorare le nostre esperienze alimentari.

Un'altra contaminazione interessante è quella tra Gastrofisica e Service Design in quanto la prima punta a realizzare esperienze culinarie coinvolgenti, proprio come il secondo si occupa di progettare esperienze memorabili e coinvolgenti. Non a caso la 'user journey', strumento tipico del Service Design che evidenzia per tappe significative il viaggio che il fruitore compie attraverso l'esperienza progettata, guida la configurazione di esperienze gastronomiche (Stickdorn et alii, 2018). In tal senso anche il Service Design può essere un valido strumento per superare le barriere alla diffusione delle pratiche di Gastrofisica e per l'adozione di abitudini alimentari sostenibili: concentrandosi sulla progettazione di esperienze e di servizi centrati sulla persona, può essere particolarmente efficace nel creare interazioni informative e coinvolgenti tra i consumatori e i nuovi sistemi alimentari e nel ridurre la resistenza psicologica verso nuovi alimenti e pratiche sostenibili, rendendoli più familiari e accettabili.

Possibili sviluppi futuri per le sinergie tra Gastrofisica e Service Design possono riguardare la creazione di servizi di degustazione per abituare gradualmente i consumatori a sapori e consistenze nuove, attraverso sessioni guidate per imparare a riconoscere e apprezzare ad esempio i sapori insoliti delle proteine alternative o degli scarti riutilizzati, magari all'interno di ambienti accoglienti e rilassanti, in cui i consumatori si sentano a proprio agio nel provare qualcosa di nuovo; può creare Laboratori e Workshop Interattivi in cui i partecipanti possano cucinare e sperimentare nuovi ingredienti per ridurre la neofobia alimentare e i pregiudizi attraverso la guida di chef o di esperti che illustrano le caratteristiche nutrizionali e di sostenibilità degli ingredienti utilizzati; può integrare elementi di gioco in servizi educativi, ad esempio per incentivare i bambini a esplorare nuovi sapori progettando attività ludiche che trasformino l'assaggio di nuovi cibi in un gioco o per indirizzare le abitudini degli adulti attraverso programmi fedeltà o sfide di degustazione che premino la curiosità e l'apertura verso nuovi alimenti.

Il Service Design può creare servizi di consulenza su normative, sicurezza e gestione dei rifiuti alimentari o di formazione per gli operatori del settore; può creare piattaforme sia per la messa in rete di produttori, venditori, ristoratori e consumatori, al fine di facilitare l'accesso a risorse locali e sostenibili e migliorare la gestione logistica per ridurre le emissioni di carbonio, sia per la condivisione delle risorse e delle buone pratiche con l'obiettivo di scambiare conoscenze per superare le numerose barriere citate; può creare anche applicazioni digitali con informazioni, ricette, suggerimenti nutrizionali e percorsi educativi interattivi per aumentare la consapevolezza dei consumatori sui benefici della Gastrofisica e delle pratiche alimentari sostenibili; può sviluppare sistemi di informazione direttamente nelle scuole, ma anche nei punti di vendita di supermercati e ristoranti per informare i consumatori sui benefici nutrizionali mentre decidono acquisti, utilizzando pannelli informativi, display interattivi, video e QR code.

Il Service Design può inoltre facilitare l'integrazione di pratiche innovative nel rispetto delle sensibilità culturali e sociali, facendo leva su un approccio inclusivo e rispettoso delle tradizioni; in particolare può coinvolgere le comunità locali nella organizzazione di focus group e sessioni di co-creazione per definire menù e pratiche che integrino nuovi ingredienti senza alienare identità e tradizioni culturali, ma può anche personalizzare servizi per rispondere alle esigenze di specifici gruppi sociali e culturali, ad esempio in contesti in cui la carne è simbolo di ospitalità elaborando alternative a base vegetale che abbiano aspetto e gusto simile alla carne per ridurre il divario percettivo ed esaltarne i sapori.

Un concetto chiave nella gestione delle esperienze gastronomiche è lo 'sticktion', che indica gli indizi speciali all'interno di un'esperienza culinaria, significativi al punto da essere ricordati senza risultare eccessivi o invasivi. Questi elementi emergono senza dominare la scena e, se progettati con attenzione, possono radicare ricordi avvincenti legati all'esperienza stessa (LaTour and Carbone, 2014). In tale contesto la diffusione dei menù degustazione a più portate offre opportunità uniche per creare interazioni coinvolgenti, trasformando ogni portata in un momento di scoperta. Al contrario, offrire una porzione abbondante di un unico cibo potrebbe risultare meno efficace, poiché l'effetto di 'duration neglect' suggerisce che i commensali ricordano soprattutto i primi e ultimi bocconi, rendendo cruciale la qualità di antipasti e dessert.

Studi hanno rivelato che i ricordi legati ai ristoranti spesso dipendono più dall'atmosfera e dal servizio che dal cibo stesso: un'indagine su clienti di Pizza Hut ha mostrato come il ricordo più vivido fosse l'entusiasmo del personale, piuttosto che il cibo (Spence, 2017). Comprendere gli aspetti che restano impressi nella memoria dei clienti è fondamentale per migliorare l'offerta e il servizio, ovvero configurare esperienze davvero memorabili: i momenti che richiedono una riflessione più profonda tendono a rimanere impressi più a lungo, effetto noto come 'depth of processing', cruciale per chi progetta esperienze gastronomiche. Inoltre il modo in cui un pasto si conclude, il cosiddetto 'end effect', può influenzare significativamente il ricordo dell'intera esperienza: un classico esperimento con i biscotti ha dimostrato che il ricordo dell'ultimo biscotto al cioccolato può migliorare l'impressione generale, rispetto a una conclusione con un biscotto meno gradito.

La progettazione di esperienze multisensoriali esplora i collegamenti tra i sensi, creando sinestesie che sorprendono e affascinano: eventi come il Colour Lab, che combinano musica e colori per alterare il gusto del vino, dimostrano infatti come le esperienze multisensoriali possano essere progettate per esaltare specifici aspetti del gusto (Spence, Velasco and Knoeferle, 2014; Campo, Reinoso-Carvalho and Rosato, 2021).

Gastrofisica e Innovazione Tecnologica | Anche la sinergia tra Tecnologia e Design è cruciale per affrontare in modo strategico e integrato le diverse barriere che ostacolano l'adozione delle pratiche di Gastrofisica. Unendo l'Innovazione Tecnologica alla progettazione centrata sulla persona è possibile risolvere problemi complessi, migliorare l'accettazione sociale e culturale e l'accessibilità: la Tecnologia crea le piattaforme e i mezzi per sperimentare nuovi alimenti in un contesto virtuale o interattivo, mentre il Design li rende accessibili e appetibili attraverso presentazioni esteticamente curate e un'esperienza rassicurante.

Attraverso applicazioni di Realtà Aumentata (RA) e Realtà Virtuale (RV) è possibile ad esempio creare esperienze immersive e ridurre il senso di estraneità o disgusto verso nuovi alimenti rendendoli più familiari e gourmet sovrapponendo immagini accattivanti, simulando il loro utilizzo in ricette tradizionali all'interno di spazi sensoriali che utilizzano suoni, luci e profumi adatti allo scopo (Figg. 19, 20). Per rispettare le sensibilità culturali e normalizzare nuovi ingredienti o pratiche attraverso approcci inclusivi le piattaforme digitali di storytelling interattivo possono mostrare come alimenti innovativi si integrano con tradizioni locali, mentre i big data e l'analisi delle preferenze culturali possono aiutare a personalizzare i messaggi e le esperienze per particolari gruppi sociali o singoli utenti.

In tal senso sono già stati fatti degli studi e tra questi quello condotto da Crofton, Murray e Botinestean (2021) nel quale si è esplorato, attraverso la RV, l'impatto che diversi contesti ambientali hanno sulla risposta sensoriale ai prodotti alimentari e sulle valutazioni edonistiche dei partecipanti riguardo a bistecche di manzo e cioccolato al latte, per migliorare il contesto. I risultati hanno mostrato che la RV aveva un effetto significativo sulle risposte edonistiche dei partecipanti ai prodotti alimentari: il manzo è stato valutato significativamente più alto in termini di gradimento in un ristorante RV, mentre per il cioccolato il contesto della campagna RV ha generato punteggi edonistici più alti rispetto alla cabina sensoriale tradizionale.

Allo stesso modo Han et alii (2022) hanno esplorato le potenzialità della RA nelle esperienze culinarie attraverso narrazioni immersive e interattive per stimolare comportamenti alimentari sostenibili:

utilizzando metodi di design partecipativo lo studio ha sviluppato storyboard con i consumatori e valutato vari approcci con sviluppatori di applicazioni RA. I risultati della sperimentazione propongono un quadro concettuale su come le narrazioni immersive possano essere progettate e validate per contenuti narrativi AR impattanti, al fine di stimolare un comportamento alimentare sostenibile.

Esistono poi esempi pionieristici che impiegano l'Innovazione Tecnologica per personalizzare l'atmosfera in base ai commensali, come ad esempio il Goji Kitchen & Bar del Marriott Bund Hotel di Shanghai, dove l'arredamento cambia a seconda dell'ora del giorno configurando atmosfere diverse anche grazie all'utilizzo di altoparlanti direzionali che creano paesaggi sonori specifici per ciascun tavolo (Spence, 2022;), l'Eleven Madison Park a New York che utilizza la Tecnologia per raccogliere informazioni sui clienti, garantendo un'accoglienza calorosa e su misura per ogni cliente grazie a database dettagliati (Meyer, 2010), oppure Pizza Hut che, attraverso menù digitali e sistemi di tracciamento oculare, riesce a leggere le preferenze dei clienti (Lin et alii, 2023) e a trasformare il modo in cui ordiniamo e consumiamo il cibo.

La combinazione di Tecnologia e Design può aumentare la fiducia dei consumatori, rendere più sostenibili i processi di produzione e consumo alimentare e ridurne l'impatto ambientale: la Tecnologia fornisce strumenti, dati e soluzioni operative per migliorare la sostenibilità, mentre il design implementa questi strumenti in modo pratico e intuitivo.

Possibili sviluppi futuri per le sinergie tra Gastrofisica e Innovazione Tecnologica possono riguardare l'uso delle blockchain, ad esempio, per garantire la tracciabilità degli ingredienti e la trasparenza nella filiera alimentare, facilitando anche la conformità alle normative, mentre i sensori IoT possono monitorare in tempo reale la qualità e la sicurezza di alimenti, scarti riutilizzati o stoviglie biodegradabili, riducendo il rischio di non conformità; l'intelligenza artificiale e i sistemi di ottimizzazione logistica possono migliorare l'efficienza delle filiere alimentari, riducendo gli sprechi e il consumo di risorse, mentre i sensori IoT possono monitorare in tempo rea-





Fig. 8 | Food system components, processes, activities, and actors (source: Niles et alii, 2018).

Fig. 9 | The Outer Islands Food and Water Project, characterised by a participatory and inclusive approach led by the community, was also involved in installing and modernising rainwater collection systems (source: gccasupa.org).



Fig. 10 | Permaculture is based on 12 key principles or 'tools' to promote human health and happiness, soil monitoring, water conservation, biodiversity, and renewable energy production (source: permaculturedesign.org).

le il consumo di energia e acqua, ottimizzando i processi nelle cucine professionali e nei ristoranti; infine il design di packaging sostenibile, realizzato con materiali biodegradabili e facilmente riciclabili o biodegradabili, può ridurre l'impatto ambientale: anche i sistemi di gestione dei rifiuti, progettati in modo funzionale e intuitivo, possono facilitare il riutilizzo degli scarti alimentari e migliorare l'efficienza.

Tecnologia e Design possono mettere in campo sinergie nei sistemi alimentari anche per abbattere i costi di produzione e distribuzione, rendendo l'Innovazione accessibile a un pubblico più ampio e adattabile a diverse disponibilità economiche. Ad esempio la stampa digitale, l'automazione e la robotica possono ridurre i costi di produzione di alimenti e packaging, mentre le piattaforme di crowdfunding, di e-commerce o comunitarie possono rendere i prodotti alimentari alternativi più accessibili, collegando produttori e consumatori senza intermediari; con lo stesso fine la progettazione di sistemi scalabili e modulari, come impianti di compostaggio o macchine per il riciclo degli scarti, può permettere alle piccole imprese di adottare pratiche sostenibili senza grandi investimenti iniziali, mentre il design di prodotti indirizzati a comunità a basso reddito, che utilizzano materiali locali o processi semplificati, può aumentarne l'accessibilità.

La combinazione di Tecnologie avanzate, Design e Gastrofisica può quindi certamente incidere sul panorama culinario, offrendo esperienze multisensoriali personalizzate che migliorano la qualità e la percezione del cibo; queste innovazioni non solo possono rendere i pasti più piacevoli, ma possono offrire anche soluzioni pratiche per migliorare la salute e il benessere dei commensali. Il futuro della gastronomia è quindi strettamente legato all'evoluzione tecnologica e alla capacità di sfruttare questi strumenti per offrire esperienze culinarie indimenticabili.

Gastrofisica e Design Medicale | Le interazioni tra Gastrofisica e Design offrono interessanti applicazioni nel campo della cura di pazienti, attraverso esperienze personalizzate che ne migliorano il benessere, favorendone la fase di guarigione e limitando le barriere imposte dalle condizioni di salute. Una delle aree di ricerca più promettenti riguarda l'uso del suono per alterare la percezione del gusto, un campo in cui la Gastrofisica ha già ottenuto risultati significativi; ad esempio diversi Istituti sanitari hanno creato playlist sonore per aiutare pazienti diabetici a percepire il cibo come più dolce di quanto non sia realmente, riducendo così la necessità di zuccheri aggiunti: questa innovazione potrebbe migliorare significativamente la qualità della vita di chi deve seguire diete restrittive, dimostrando come la Gastrofisica possa passare dal laboratorio alla pratica clinica per raggiungere il pubblico di massa (Spence, 2017).

Un altro aspetto affascinante della Gastrofisica è senz'altro l'associazione tra colori e gusti poiché diverse ricerche hanno dimostrato come i primi arrivino a influenzare la percezione dei secondi (Wan et alii, 2014); una interessante applicazione è l'amuse bouche di Jozef Youssef con sferificazioni di gusti diversi (Fig. 21), ciascuna associata a un colore specifico, dimostrando che la maggior parte delle persone tende ad associare determinati gusti a colori specifici, come il rosso per il dolce e il verde per l'aspro. Ciò ha evidentemente possibili e utili applicazioni nel Design Medicale, dove la manipolazione dei colori dei cibi può migliorare l'esperienza gastronomica di pazienti con restrizioni dietetiche, rendendo i piatti più appetitosi e soddisfacenti senza l'uso di additivi chimici (Velasco et alii, 2016).

Anche il design delle stoviglie e dei contenitori alimentari è area in cui Gastrofisica e Design Medicale possono sviluppare sinergie tramite colore e forma dei piatti per influenzare la percezione del gusto e la quantità di cibo consumato. Emblematico è il Eatwell Plate System (Fig. 22), sviluppato in collaborazione tra designer medicali e specialisti di Gastrofisica e pensato per i pazienti anziani con disfagia o per chi ha problemi di obesità e deve seguire una dieta terapeutica: un piatto con compartimenti consente di calibrare la giusta porzione di nutrienti e di stimolare percezioni del cibo (colore, texture, temperatura) utili a incentivarne il consumo e la masticazione e a migliorare la capacità del paziente di mangiare in modo consapevole e soddisfacente.

Altri studi hanno mostrato che le mousse di fragole sembrano più dolci e gustose se servite su piatti bianchi anziché neri, che piatti rotondi tendono a essere percepiti come più dolci rispetto a quelli spigolosi e che l'uso di piatti più piccoli e con bordi stretti può ridurre la quantità di cibo consumato, un aspetto cruciale per la gestione delle diete nei pazienti (Piqueras-Fiszman et alii, 2012; Piquras-Fiszman, Giboreau and Spence, 2013; Stewart and Goss, 2013). Esistono poi numerose sperimentazioni che mirano a creare cibi con texture e consistenze personalizzate per pazienti che hanno difficoltà di deglutizione e con i quali, attraverso stampanti 3D alimentari, vengono prodotti pasti che mantengano un aspetto appetitoso e sono facili da ingerire (Raheem et alii, 2021).

Possibili sviluppi futuri per le sinergie tra Gastrofisica e Design Medicale possono riguardare azioni di cura e prevenzione per la salute degli utenti, attraverso metodi, strumenti e pratiche della cultura del progetto, nel migliorare la qualità del rapporto tra persone e cibo riservando particolare attenzione alla possibilità di indurre e facilitare comportamenti e stili di vita sani, fondati sui valori della cultura agroalimentare mediterranea.

Di particolare interesse saranno sicuramente i nuovi cibi nutraceutici e gli alimenti-integratori facili da trasportare e da consumare, ma anche strumenti domestici che ne facilitino e ne rendano più veloce la preparazione a casa. Molti piani terapeutici per patologie croniche, degenerative o tumorali impongono nella vita dei pazienti, già difficile, regimi alimentari molto rigidi che prevedono la prevalenza di vegetali e cibi integrali e spesso anche specifiche modalità di preparazione, conservazione e consumo, tutti aspetti che richiedono attenzione a problematiche di tipo psicologico, culturale, economico, sociale e antropologico. L'impiego degli strumenti progettuali del design consente di rendere più facilmente accettabili e adottabili le prescrizioni mediche per le persone per le quali sono di vitale importanza.

Il design del cibo può fornire un contributo anche in termini di 'design for all' rispondendo a esigenze come l'assimilare nutrienti antiossidanti o ridurre l'apporto di grassi e di zuccheri che intervengono sia in situazioni patologiche che in situazioni borderline (stress, depressione ed età avanzata) allo scopo di riequilibrare la consapevolezza del corpo, la capacità di percepire, sentire e modulare gli stimoli esterni sensoriali e multisensoriali sulla base delle più recenti mappature neuro-fisiologiche.

Potranno quindi essere concepiti snack funzionali nutraceutici con caratteristiche inconsuete per il mondo del food come schiume, gel, sfoglie multistrato e spray, oppure alimenti con una identità fortemente caratterizzata da Scienza e Innovazione Tecnologica, con elevati contenuti esperienziali, gradevolezza e adattabilità a stili di vita frenetici e dinamici in sostituzione degli integratori in pillole che, nell'aspetto e nella modalità di assunzione, sono troppo simili ai farmaci, o ancora cibi 'aumentati' di potere nutritivo e nutraceutico, intensi ed estesi in termini di gratificazione del palato, ma a basso contenuto calorico grazie a proprietà di leggerezza e ridotta densità ottenute impiegando processi innovativi come il foaming, la gelificazione, la stratificazione e la struttura composita, oppure concepiti in modo da non richiedere l'uso di accessori tradizionali come posate o carta per essere consumati: nuove tecnologie e conoscenze scientifiche avanzate potranno essere applicate al campo del progetto degli alimenti per correlare il benessere con il senso del piacere del cibo.

Conclusioni: fattori abilitanti e acceleratori per la sostenibilità dei sistemi alimentari | Il design per il food è un tema centrale nell'Agenda 2030 e di cogente attualità che, attraverso il filtro interpretativo delle scienze contemporanee, come le neuroscienze e la medicina personalizzata, e delle sperimentazioni transdisciplinari, può fornire l'opportunità di riflettere sugli scenari futuri dell'alimentazione e sulle adeguate soluzioni alle sempre più stringenti esigenze di benessere, salute e sostenibilità non soltanto per l'uomo ma anche per l'intero ecosistema.

La rilevanza del tema è testimoniata da due importanti documenti che riconoscono il ruolo fondamentale dei sistemi agroalimentari per il nostro futuro: il Global Sustainable Development Report 2019 (UN, 2019), che ha identificato la costruzione di sistemi alimentari sostenibili e di modelli di nutrizione sani come uno dei sei 'punti chiave' che con un'azione mirata e collaborativa può accelerare i progressi degli SDG, e il recente Strategic Framework 2022-2031 (FAO, 2021, p. 2) elaborato nel contesto delle principali sfide globali a sostegno di una trasformazione dei sistemi alimentari più «[…] efficient, inclusive, resilient and sustainable, agri-food systems for better production, better nutrition, a better environment, and a better life, leaving no one behind», che promuove una narrativa per il raggiungimento degli obiettivi improntata sui 'quattro betters' (migliore produzione, migliore nutrizione, migliore ambiente e migliore vita) a dimostrazione di come la FAO sostenga il raggiungimento degli SDG abbracciando le dimensioni economiche, sociali e ambientali dei sistemi agroalimentari e incoraggiando un approccio strategico e orientato ai sistemi.

Per il raggiungimento degli obiettivi primari ('riduzione della povertà', 'sicurezza alimentare', 'gestione e utilizzo sostenibile delle risorse naturali') e di tutti gli altri SDG il documento strategico della FAO (Fig. 23) individua quattro fattori abilitanti di cambiamento, identificandoli in 'Istituzioni e governance', 'distribuzione del reddito e della ricchezza', 'consapevolezza dei consumatori' e 'tecnologie e approcci innovativi', e quattro acceleratori, 'tecnologia', 'innovazione', 'dati' e 'complementi' (governance, capitale umano e istituzioni), che sinergicamente hanno il potenziale di garantire una nutrizione 'sostenibile' a quasi 10 miliardi di persone entro il 2050 (Weinberger, 2022): alcuni di essi risultano rilevanti per il presente saggio. Il fattore abilitante 'consapevolezza dei consumatori' mette in luce

la necessità di avviare azioni di formazione / educazione / informazione su tipo, quantità e qualità di alimenti da consumare, nonché di riduzione degli sprechi alimentari e di altri impatti più ampi dipendenti dalle scelte di consumo, in quanto i consumatori hanno la possibilità di influenzare direttamente le traiettorie future dei sistemi agroalimentari e, tramite effetti di retroazione, anche gli altri fattori abilitanti. Le giovani generazioni sono quelle più propense al cambiamento, sensibilizzate ad esempio dal cambiamento climatico che può mettere a rischio il loro futuro.

Altro fattore abilitante sono le 'tecnologie e gli approcci innovativi' su cui si fa grande affidamento per produrre di più con meno (acqua, degrado del suolo, perdita di biodiversità, costo di produzione, ecc.) e con maggiore qualità, soprattutto in termini di nutrienti. La 'digitalizzazione' e le 'nuove tecnologie' abbracciano tutti gli approcci, i sistemi, gli strumenti e le innovazioni disponibili: ad esempio i progressi della ricerca in campo alimentare e medico nell'area della genomica, del trattamento degli alimenti e della progettazione / formulazione di farmaci possono portare sempre più ad 'alimenti personalizzati' per affrontare specifiche condizioni di salute in un campo in rapida evoluzione che richiede tuttavia una guida e una supervisione normativa. Sebbene in generale l'impiego di tecnologie può determinare un divario tecnologico penalizzando gli operatori che non sono in grado di sopportare l'investimento iniziale, tuttavia un impiego strategico della Tecnologia e dell'Innovazione ha il potenziale per risolvere e minimizzare i compromessi tra gli SDG.

Oltre a essere fattori abilitanti, 'tecnologie e innovazione' sono anche 'acceleratori' degli interventi programmatici capaci di ridurre al minimo i compromessi tra i diversi SDG. Tecnologie emergenti come l'agricoltura digitale, le biotecnologie, l'agricoltura di precisione, l'agroecologia, l'IoT, l'IA e la stampa 3D, oppure scienze come la Gastrofisica stanno già cambiando il settore agroalimentare, ma la maggior parte degli attori dei sistemi agroalimentari non hanno ancora sfruttato il loro formidabile potenziale per aumentare la produzione alimentare e valorizzare i nutrienti nel rispetto dell'ambiente.

L'Innovazione nei sistemi alimentari è un altro acceleratore fondamentale per raggiungere un mondo libero dalla fame e dalla malnutrizione, soprattutto se abbraccia i campi del sociale, delle politiche, delle istituzioni, dell'economia e delle tecnologie basandosi su scienza ed evidenza; a livello globale alimentazione e agricoltura possono trarre grandi benefici dalla quarta rivoluzione industriale, guidata in gran parte da big data e dalle tecnologie digitali, per ottimizzare processi e migliorare i prodotti, aumentando l'efficacia, la competitività e la resilienza dei modelli d'impresa.

In tale ottica sono quindi da leggersi le sperimentazioni e i casi studio citati nel saggio poiché dimostrano come l'Innovazione nei sistemi alimentari, spinta da un approccio sistemico, olistico e multidimensionale, sia in grado di promuovere sinergie tra i diversi SDG e limitarne i compromessi; in particolare la disciplina del Design può assumere un ruolo centrale per creare un sistema alimentare più sostenibile, equo e rispettoso dell'ambiente e delle tradizioni culturali, contribuendo a trasformare la Gastrofisica in una pratica quotidiana accessibile e diffusa, capace di promuovere una relazione più sana e sostenibile con il cibo, valorizzando i benefici della dieta mediterranea, le cui proprietà antiossidanti, antinfiammatorie e lenitive, nonché la presenza di vitamine, sali minerali e fibre, costituiscono un patrimonio prezioso da tradurre in stili di vita contemporanei sani, in quanto favoriscono la prevenzione e riduzione di diverse patologie. Questo importante bagaglio di conoscenze scientifiche apre nuovi e inesplorati campi di sperimentazione progettuale per la disciplina del Design che è in grado di veicolare i valori e i potenziali benefici della cultura alimentare mediterranea, mediante il progetto di artefatti che si innestano nella freneticità e frugalità del quotidiano per divenire stile di vita e strumento di cura del benessere psico-fisico (Langella, Pontillo and Angari, 2021). Il Design ha una grande potenzialità persuasiva capace di indurre le persone a compiere specifiche azioni e scelte, rendendo tali azioni più semplici, piacevoli, divertenti, emozionanti, persistenti e continue. A tale potenzialità si aggiunge l'attitudine del Design per la Comunicazione di veicolare le più recenti conoscenze scientifiche sul rapporto tra cibo e salute rendendole accessibili e più facilmente memorizzabili per rendere le persone più consapevoli e in grado di compiere le loro scelte supportate dalla conoscenza scientifica.

Le questioni progettuali del futuro, che costituiscono possibili campi di ricerca per la disciplina del Design, sono state riportate seppur sinteticamente nei paragrafi precedenti come possibile contributo del Design della Comunicazione, del Service Design, del Design Medicale e delle Tecnologie Innovative in sinergia con la Gastrofisica ai sistemi alimentari sostenibili per abbattere le numerose barriere di tipo culturale, psicologico, sociale, educativo, tecnico, economico e normativo-regolatorio che possono frenare il raggiungimento dei 17 SDG.

Alla luce delle suddette prospettive ancora più rilevante sarà la figura del Food Designer. Nell'ultimo secolo il settore alimentare non si è basato su principi e qualità semplici e intuitive, ma si è costantemente evoluto attraverso processi complessi che incorporano molteplici variabili tutte correlate tra loro; in relazione alle sfide future tale complessità tenderà ad aumentare in modo esponenziale, richiedendo l'intervento di designer specializzati capaci di interpretare gusti e attitudini dei consumatori interandoli con le nuove opportunità offerte da scienze e tecnologie attraverso un approccio olistico, transdisciplinare, orientato al futuro e proattivo.

I progettisti alimentari dovranno capitalizzare le loro competenze e integrarle con le nuove conoscenze legate alla produzione agricola, al confezionamento e alla vendita al dettaglio di prodotti alimentari, alla salute e alla nutrizione, alla Gastronomia, alla Neurogastronomia, alla Gastrofisica e ad altri aspetti tecnico-scientifici, individuando nuovi elementi di innovazione specifici del cibo (Schifferstein, 2017). Ai Food Designer sarà richiesta inoltre una profonda consapevolezza su temi come la natura viva e altamente deperibile degli alimenti, il rapporto con le risorse naturali e l'ecosistema, il livello di gratificazione sensoriale che riflette il grado in cui gli alimenti sono radicati nelle tradizioni culturali locali, tenendo sempre a mente le implicazioni etiche e politiche derivanti da una produzione e distribuzione di cibo sufficiente e sicuro per l'intera popolazione del Pianeta (Bordewijk and Schifferstein, 2020) e i diversi Obiettivi di Sviluppo Sostenibile .

Mediante la traduzione di principi e conoscenze tratti dai settori scientifici più avanzati e l'impiego di tecnologie innovative digitali, i Food Designers del futuro potranno giungere alla realizzazione di soluzioni orientate a conferire un valore terapeutico e





Figg. 11, 12 | Sky Greens in Singapore, the world's first low-carbon hydraulic vertical farm (source: independent.co.uk).

preventivo al cibo, nonché alla valorizzazione della cultura alimentare e gastronomica mediterranea, della biodiversità dei passaggi produttivi, della multisensorialità e della convivialità, traducendoli in esperienza sinestetica, salute, benessere e piacere.

The international interest in the food systems as a strategic area for achieving the Sustainable Development Goals (SDGs) outlined in the 2030 Agenda (UN, 2015) is reflected in the growing number of research activities, experiments, scientific publications, and dedicated events over the past decade. Notable examples include Expo 2015 in Milan, centred on the theme Feeding the Planet – Energy for Life, the opening of FICO Eataly World in Bologna in 2017; the Edible Futures – The Travelling initiative promoted by the Dutch Institute of Food & Design and presented by the Netherlands Embassy in Canada in 2020; and Foodture Barcelona, an annual event launched in 2019 focusing on the Summit of Innovation in Food Design, Food Tech & Sustainability. Within this context, Design has taken on a growing role through various operational modalities, ranging from the development of tools for the food sector and the design of environments for food production and consumption to the communication of the intrinsic values of food products and the creation of innovative, nutrient-rich, and healthful foods.

Through transdisciplinary approaches, Design can integrate with scientific disciplines such as Gastrophysics, Gastronomy, Biotechnology, Food Science, Neurology, and Psychology to develop inclusive food models based on a systemic approach, positively impacting the achievement of all 17 SDGs. This integration can occur primarily through a shared goal-setting process: transdisciplinary academic research and teaching projects can involve design researchers and scientists in designing the future food landscape by working toward shared sustainability and health objectives within a 'one health' perspective. This collaboration will lead to the adoption of common technical languages, materials, approaches, and tools, enabling hybrid experiments on mutual areas of interest, such as the use of 3D food printing, the creation of new 'superfoods', and the establishment of circular, synergistic, and symbiotic supply chains (Angari et alii, 2021).

By acting as a catalyst for socio-cultural, economic, environmental, technological, and political transformations, Design will address the growing demands for food security, sustainability, circular economy, innovation, and community empowerment. It will develop methodologies and practices critically and responsibly to improve the relationship between individuals, food, and the environment while promoting healthy lifestyles.

Central to this effort is the transfer of scientific knowledge about healthy dietary models, including the Mediterranean diet, and the integration of related cultural and productive heritage. This fosters contemporary lifestyles characterised by conviviality, food quality, multisensory gratification, attention to detail, and well-being. At the same time, it seeks to reduce environmental impact by efficiently utilising plant-based resources, preserving crop biodiversity, lowering carbon emissions, and optimising water use.

Integrating Design with techno-scientific disciplines related to food opens up new professional perspectives and skills that can promote the value of healthy food culture through environments, communicative artefacts, utensils, packaging, and functional foods. These elements can be incorporated into daily life as physical and psychological care and well-being tools.

In recent years, several master's programs and specialised courses[1] have been launched, both in Italy and abroad, by academic Institutions to train designers with expertise in the food sector. These programs prepare professionals capable of designing products, services, spaces, and even food itself. Roles such as Food Product Designer, Food Service Designer, Food Brand Manager, and Food Innovation Specialist are developed with transdisciplinary skills, enabling them to operate across various domains of the food sector. They aim to propose innovative models for production and design, oriented toward sustainable, healthy, and inclusive nutrition and grounded in a systemic approach. Thanks to these new professional roles, the Design persuasive power can facilitate specific actions and choices, making them simpler, more enjoyable, and emotionally engaging. By effectively communicating scientific knowledge about the relationship between food and health, Design can increase user awareness and help them make informed choices.

Given these premises, this paper aims to 'nourish' the scientific debate on the centrality of food systems in achieving the goals of the 2030 Agenda. It does so by employing Design's approaches, methods, and tools, integrated with those from other scientific disciplines, particularly Gastrophysics. The goal is to provide industry professionals and future Food Designers with a state-of-the-art overview that systematises the vast potential offered by transdisciplinary and innovative digital technologies. This framework encourages the identification and experimentation of systemic, sustainable practices and solutions for future food and nutrition systems.

Specifically, the paper outlines the principles, methods, categories, parameters, and norms of Gastrophysics that emphasise the multisensory aspects of nutrition. It highlights early experiments, from Futurism to the present day, and examines the synergies and compromises, strengths, and barriers that food systems may present in achieving the Sustainable Development Goals (SDGs). It explores potential synergies between Gastrophysics and Communication Design, Service Design, Technological Innovation, and Medical Design to overcome identified barriers, identifying possible actions and research issues for the sustainability of food systems. Finally, the paper identifies the enabling factors and accelerators of change that can contribute to the sustainability of food systems. It underscores the need for Food Designers to expand their knowledge to approach food design holistically, transdisciplinarily, future-oriented, and proactively.

Methods, limitation, and originality of the study | The study was conducted using the Scoping Review method (Arksey and O'Malley, 2005), a research methodology that allows for the creation of a 'mapping' of the available scientific literature on a topic, and in this specific case on the potential of food systems to achieve the SDGs and on the possible interactions between Gastrophysics and Communication Design, Service Design, Technological Innovation and Medical Design, highlighting their strengths, limitations and criticalities. The Scopus database was used to analyse the state-of-the-art, through which research published between 1 January 2009 and 30 June 2024 was selected; the survey was carried out by entering strings with different combinations ('Gastrophysics', 'Communication Design', 'Service Design', 'Technological Innovation', 'Medical Design', 'SDGs', 'Sustainable Development Goals', 'Food Systems', 'Project', 'Case Study', and 'Good Practice/s') and selecting the contributions that met all the following conditions: 1) presence of at least two keywords in the title, subtitle, or abstract; 2) critical analysis of at least one case study consistent with more than two SDGs; 3) text in English. Other case studies were selected from the 2009-2024 timeframe in the portals of major international organisations.

Although the Scoping Review produced relevant results in terms of the number of publications and good practices using the keywords 'Food Systems', 'Technological Innovation', 'Sustainable Development Goals', and 'SDGs', their combination with 'Gastrophysics', 'Communication Design', 'Service Design', and 'Medical Design' did not produce any results; therefore, the contribution has the potential to advance knowledge in the discipline of Design. The study's limitations include the use of a limited number of keywords, the selection of English-only texts and the perimeter of the study over the last 15 years. However, the survey criteria were carefully assessed and considered justified – for the purposes of this study – as the Scopus database and the English language are a reference for the international scientific community, the combinations of the various keywords make it possible to identify – already from the title, subtitle, and abstract – the papers of interest for the present study, and the reference period is sufficiently large.

Design and Gastrophysics | Since the Industrial Revolution, human food consumption has radically changed. While historically constrained by what was readily available, food in the Western world is now abundantly accessible, with most products mass-produced and distributed. This availability has fundamentally altered the logic governing eating behaviours, prompting scientific research to understand the factors influencing food choices (May-Wilson et alii, 2022). Pleasure and enjoyment are decisive factors in consumer food choices (Clark, 1998) and Design can contribute significantly by developing new products with specifically engineered sensory characteristics. Such designs aim to promote healthier and more sustainable eating habits.

The term 'flavour' is 'the complex combination of olfactory, gustatory, and trigeminal sensations perceived during tasting'; it may be influenced by tactile, thermal, painful, and kinesthetic effects (ISO, 2008). When consuming food and beverages, a wide range of chemical components are released into the mouth, classified as 'volatile' and 'non-volatile'. These components are responsible for various taste- and smell-related sensations. Volatile molecules are released from the food matrix during consumption, activating the olfactory system, while irritating non-volatile components are detected by the gustatory and textural systems (Gawel et alii, 2018; Zarzo, 2007). This interdisciplinary approach positions Design as a transformative tool, capable of addressing the challenges of modern food systems while fostering innovation, sustainability, and the promotion of healthy lifestyles.

The stimuli that trigger tactile, irritant, and thermal sensations originate from the activation of chemosensory and somatosensory receptors within the

oral cavity (Gawel et alii, 2018; Guinard and Mazzucchelli, 1996). Unlike taste and aroma, mouthfeel is generally associated with signals transmitted by the trigeminal receptors (Hewson et alii, 2009; Reynolds, 2010) and is considered a crucial sensory parameter in the gustatory experience (Liu et alii, 2017).

The macroscopic shapes and surfaces of food provide the first impression when food is brought to the mouth. However, the overall pleasure and flavour of food are determined by a series of non-visible processes. From a purely physical perspective, food must be treated as a multiscale system (Limbach and Kremer, 2006), a fact that becomes evident in the sensory qualities perceived during eating (Lucas, et alii, 2002): as food is bitten, chewed, and swallowed, it is broken down and releases aromas, interacting with the oral cavity before ingestion. During this brief interval, the composite process of multisensory taste perception occurs (Chen and Engelen, 2012), primarily involving unconscious physiological and psychological aspects.

Thomas Vilgis (2013) from the Max Planck Institute for Polymer Research observed that food can be analysed and designed through the lens of material science. A common characteristic of the wide variety of raw and cooked foods is that they consist of multicomponent materials, including proteins, carbohydrates, minerals, fats, and water, which account for most of their structural and textural properties. Due to the varying solubility of these components in primary solvents like water and fat, many physical properties, such as structure and texture, are determined by the interactions between these components. Specifically, the water and fat content in foods influences the solubility of compounds and ions, significantly affecting aroma release and taste perception. These compounds diffuse across the tongue, stimulating taste buds and trigeminal receptors.

The multisensory perception of food, which arises from its chemical properties, texture, and the way it is processed in the mouth, plays a significant role in nutrition. Gastrophysics is the science that, for over 20 years, has studied these qualities relating to the physicochemical characteristics of food and the influence of internal and external environments. Charles Spence (2017) defines Gastrophysics as 'the scientific study of the factors influencing multisensory perception during the consumption of food and drink, combining principles of gastronomy and psychophysics'. This discipline scientifically examines human perception, treating individuals as systems that systematically respond to calibrated sensory inputs. Gastrophysicists employ precise scientific methodologies to objectively evaluate food qualities, aiming to understand the factors that truly influence human behaviour.

Through Gastrophysics, Design gains access to the study of food at various scales, viewed through the lens of multiple disciplines: Nanometric scale focuses on food chemistry, aroma chemistry, quantum chemistry, and molecular biology related to sensory receptor physiology and functioning, as well as material science; Micrometric scale examines the microstructure of food, which strongly influences its texture; Macroscopic scale considers food technologies involved in production and processing and incorporates insights from humanities and medical sciences, such as Anthropology, Ethnography, Psychology, and Neurology (Vilgis, 2013). Gastrophysics thus involves multiple dimensional and temporal scales, all intricately interconnected. At the perceptual level, each scale and time frame plays a crucial role and can be modulated during food processing to design specific sensory properties.

Food companies employ expert panels to conduct analyses based on shared and standardised sensory parameters established by national and international norms. The results of these analyses are used for research and development activities, quality control for product certifications and voluntary standards, and market research targeting specific consumer groups or general populations. Conducted with rigorous scientific methods, these analyses primarily ensure that food perception aligns with market expectations and preferences.

However, these tools are largely confined to food technologies. If made accessible to designers, they could be instrumental in developing new food concepts that appeal to the market while strategically making healthier foods more attractive. This would align producers' interests with public health objectives, reversing the trend fostered by marketing over recent decades that has associated pleasure and desire with unhealthy foods (Mouritsen, 2016a, 2016b).

The overcoming of barriers between design and techno-sciences should not be interpreted as a process of homogenisation or a loss of complexity. On the contrary, it represents a paradigm in which diverse forms of knowledge engage in dialogue, valuing and respecting their unique specificities and expertise. Only through collaborations in research projects or entrepreneurial initiatives, involving all stakeholders from the outset and granting equal status to designers, technologists, and scientists, can a shared convergence of languages, timelines, and methods be achieved. This approach acknowledges the wealth of knowledge and experiences each partner brings to the project. What emerges is an approach that profoundly redefines the culture of design, enriched by a collective attitude where all voices contribute differently but synergistically.

To effectively use such tools, designers need to acquire new, specialised scientific competencies beyond their traditional training (Langella, 2019). These include Gastronomy, which explores the relationships between culture and food; Food Chemistry and Physics, which explain how food composition affects perception; Psychology and Neurology, which help understand how people associate food with memories, sensations, and emotions; Production Processes to devise methods that ensure specific sensory qualities can be reproduced on an industrial scale.

Neurogastronomy, a discipline founded by Gordon Shepherd (2015), also plays a role in the multisensory perception of food. It investigates the biological, emotional, and cultural factors influencing the neural mechanisms triggered by food during tasting. Sensory data received through the five senses are processed by sensory organs and interpreted in dedicated brain regions. Research on the relationship between neuroreceptors and sensory data formation is highly active. For instance, the 'visual design' of foods, including their appearance and the iconography used in media communication, is critical. Virtual reality applications in Neurogastronomy can sim-





Fig. 13 | The cup produced by Coffeefrom with 3D printing and a blend made from coffee grounds (source: coffeefrom.it).

Fig. 14 | Narayana Peesapaty's Edible cutlery is made from dough made from wheat, jowar, and rice powder: the spoons are crunchy and come in three different flavours (sweet, salty, and plain): spices like rock salt, cumin seeds, and black pepper are mixed with the dough to make them flavourful; soybeans, barley, ragi, and millet are used to make them gluten-free (source: flavorfulz.com).



Fig. 15 | The BIO.tech HUT by ecoLogicStudio is a prototype of future housing that explores the anthropological relationship between humans and the natural environment, tests scenarios, and promotes a new narrative of food and energy (source: archello.com).

Fig. 16 | AIReactor by ecoLogicStudio is an indoor photobioreactor capable of absorbing carbon dioxide and pollutants, oxygenating the air, and producing spirulina for food use (source: designdiffusion.com).



ulate different food presentations and collect large datasets beneficial for food design and marketing (Tokat and Yilmaz, 2023).

Somatosensory perception strongly influences food design (Agorastos, 2023) and plays a significant neurological role. Sensory nerve pathways transmit tactile, proprioceptive, thermal, and pain impulses to the spinal cord via the dorsal roots of spinal nerves. In eating, somatosensory perception is activated by tactile receptors in the skin and mucous membranes of the oral cavity and pharynx, enabling the detection of temperature, astringency, oiliness, and granularity or structure. Muscle receptors in the jaw and at the roots of teeth contribute to chewing and sucking, allowing for the appreciation of kinesthetic sensations based on muscular sensitivity. Touching or chewing food reveals textural sensations like succulence and grain, which depend on the material's reaction to pressure.

A transdisciplinary approach is essential in these fields. This approach does not merely combine or intersect disciplines but synthesises them into innovative frameworks that transcend traditional boundaries, opening new avenues for exploration and understanding. In Design, transdisciplinarity integrates knowledge and methodologies from diverse fields, such as architecture, engineering, psychology, semiotics, and behavioural sciences. Designers must specialise in particular areas, such as micro-typography or UX/UI design, while also possessing the versatility to collaborate across disciplines. This versatility, often symbolised by the 'T-shaped professional', represents deep specialisation (the vertical line) and broad interdisciplinary integration (the horizontal line). Design thus acts as a cultural and technological mediator, fostering meaningful exchanges that drive innovation (Zurlo, 2012; Chung, 2020).

Gastrophysics and Neurogastronomy are inherently transdisciplinary. As Charles Spence (2017) describes, Gastrophysics combines elements of experimental psychology, cognitive neuroscience, sensory science, marketing, design, and behavioural economics to study the factors influencing our multisensory perception of food and beverages. Unlike modernist cuisine, which focuses on food preparation, or sensory science, which analyses perceptions in laboratory settings, Gastrophysics examines how the brain processes sensory information and how this shapes taste experiences. This blend of Gastronomy and Psychophysics provides a deeper understanding of food experiences by integrating multiple perspectives to offer a more comprehensive view of food enjoyment and its associations (Coucquyt, Lahousse and Langenbick, 2020).

Multisensoriality is, therefore, an important aspect of nutrition, to which many companies dedicate in-house laboratories based on increasingly established criteria. However, these facilities rarely include designers who can bring a design culture to food development and innovation. Instead, they often prioritise technical roles such as food technologists, marketing experts, or engineers, especially when the goal is to optimise transformation processes. This occurs partly because specialised educational pathways for designers oriented toward the food sector were historically uncommon, and partly due to companies' tendency to minimise costs by relegating designers to roles as graphic designers or packaging developers. The designer's natural inclination toward 'lateral thinking', which integrates human and technical factors with alternative perspectives, makes it possi-

ble to address the holistic complexity of individuals and translate the paradigm of multisensoriality into technical solutions that are not only effective but also innovative and original (Marti and Recupero, 2021).

For example, many sensations experienced during food consumption derive from its texture, a multidimensional quality closely tied to the structural composition of the food. Our sensory system detects and connects these characteristics with unconscious and emotional factors rooted in individual experiences, which often influence food preferences, as is the case with so-called 'comfort foods' (Jones and Long, 2017). The ability to understand these complex connections and translate them into innovative forms, such as porous, layered, or honeycomb structures, can enhance user satisfaction. Manipulating the properties of ingredients to achieve the desired texture and preserve it until consumption represents a challenge that bridges chemical-physical principles with perceptual-material aspects. When this expertise is leveraged to guide preferences toward healthier foods – often overlooked in favour of less nutritious but more appealing options – Design can become a valuable tool for both society and food manufacturers.

Sensory analysis in food: categories, parameters, and standards | Eating involves multiple sensory and neuropsychological domains. The physicochemical properties of food elicit physiological responses linked to nutrient-neurotransmitter interactions and sensory receptor activity. However, these properties also have profound cognitive and emotional implications. When food enters the mouth, processes are activated that shape the overall tasting experience.

Sensory analysis in the food sector is a scientific methodology used to evaluate the organoleptic qualities of products, regulated by various UNI and ISO standards. These qualities encompass the chemical-physical characteristics perceived by the senses (smell, sight, taste, touch, and hearing). Standards in this field prescribe the approaches to apply and the protocols to follow in analysing, measuring, interpreting, and understanding human perceptual responses to sensory stimuli associated with food properties. The scientific rigour of this process ensures repeatable and reliable results under identical conditions, removing the subjectivity that typically characterises eating in natural settings.

These analyses evaluate a variety of organoleptic descriptors tailored to the specific products being examined. For Food Designers specialising in certain food categories, understanding industry standards and descriptors is crucial. However, it is equally valuable for them to be aware of qualities and descriptors used for other foods. Considering uncommon qualities within a specific food category can foster innovation. For example, aerated chocolate bars were developed with the support of researchers from the University of Reading (UK), who tested the effects of various gases (e.g., nitrous oxide, nitrogen, carbon dioxide, and argon) on the chocolate's structure, bubble size, and sensory properties. Nitrous oxide proved most appealing to test panel members (Haedelt, Beckett and Niranjan, 2007), enabling the new product to stand out in a market characterised by high demand for innovation. This unique quality contributed to the brand's success.

The concepts of taste and flavour are fundamental in Design, not only as sensory perceptions but also in defining and expressing sensory attributes or qualities. Designers must distinguish between terminologies and understand the differences among various types of taste perception. Familiarity with diverse organoleptic qualities allows for creative opportunities to design pleasurable and memorable gustatory experiences rather than merely functional foods. For instance, while taste preferences are subjective, studies on food perception and enjoyment have shown that many people statistically favour composite textures that enrich flavour and appreciate surprises like the breaking of capsules or the release of juices. These elements add an experiential dimension to tasting (van Eck and Stieger, 2020).

One key UNI standard for sensory analysis of foods is UNI EN ISO 8586:2014 (Sensory analysis – General guidelines for the selection, training and monitoring of selected assessors and expert sensory assessors). This standard provides an objective framework for evaluating food, requiring a representative sample of consumers to assess products under conditions similar to typical consumption. A common goal of sensory analyses is the detailed characterisation of a single food product. This process involves 8-12 expert panellists, coordinated by a panel leader, who evaluate, for example, whether a sample conforms to a varietal standard. Panellists are trained to understand what their senses perceive, where these sensations occur, with what intensity, and for how long. They also learn to communicate their perceptions effectively. Their reliability and discriminatory ability, honed through training and field experience, transform them into analytical instruments capable of identifying and quantifying a food's characteristics.

Sensory analysis evaluates various parameters or organoleptic attributes grouped into broad categories. Familiarity with these categories is highly beneficial for strategic decision-making in the food industry during different stages of product development and management. By analysing scientific literature and synthesising the various categorisations of organoleptic attributes proposed by researchers specialising in this field (Vilgis, 2013; Guinard and Mazzucchelli, 1996; Clark, 1998; Di Lorenzo et alii, 2009; Heymann and Lawless, 2010; Gawel et alii, 2018; Aktar, Upadhyay and Chen, 2019; Agorastos et alii, 2020) an original categorisation has been developed. This categorisation is specifically designed as a tool for food design or as part of the training of Food Designers (Tab. 1).

The sense of smell plays a crucial role in the concept of flavour. Volatile aromatic compounds, responsible for aromas and odours, have specific structures selectively detected by specialised receptors in the olfactory bulb. While odours are perceived orthonasally, directly through the nose, aromas are detected retronasally, mediated through the mouth. Both aromas and odours are categorised into a wide range of perceptual parameters (Fig. 1).

Beyond primary organoleptic qualities, designers must also analyse composite qualities and the interaction between sensory attributes. For instance, the irritation and pain caused by capsaicin and piperine reduce the intensity of sweet, bitter, and umami tastes but have little or no effect on sour and salty tastes. Similarly, increased food viscosity can dampen olfactory perception intensity (Mouritsen, 2021).

Basic terminologies are complemented by composite terms used in the food industry. For example, flavour represents a combination of olfactory and gustatory sensations experienced during the tasting, influenced by tactile, thermal, painful, and kinesthetic effects. Meanwhile, texture is understood as the sensory manifestation of food based on its rheological and structural properties (e.g., grain, fibrosity, and smoothness) and how these structures react to applied forces, engaging the senses of touch, sight, and hearing (Szczesniak, 2002).

Gastrophysics is 'everything else': experiences from Futurism and the contemporary | According to Spence (2017) Gastrophysics is «[…] everything else [and] the pleasures of the table reside in the mind, not in the mouth». This perspective highlights why even the best-executed cuisine reaches its limits without considering factors beyond taste. To understand what truly makes a dish or drink appealing, stimulating, and memorable, one must explore the role of 'everything else'. Even a simple act like biting into a fresh, ripe apricot is, upon closer inspection, an incredibly complex multisensory experience. The brain integrates the aroma, flavour, texture, colour, and sound of the juicy flesh crushed by the teeth, along with the tactile sensation of the fuzzy skin in the hand and mouth. These sensory inputs and memories significantly contribute to the overall perception of taste, all of which occur in the brain.

Gastrophysics traces its roots to Italian Futurism in the 1930s when pioneers like Filippo Tommaso Marinetti explored new dimensions of sensory perception during meals. Their radical and innovative approach included tactile, olfactory, and auditory experiments that laid the groundwork for this modern science. One iconic example is the olfactory meal proposed by the Futurists, where dishes were passed under diners' noses to stimulate curiosity and provide sensory counterpoints (Marinetti and Fillìa, 1932), a precursor to today's experiential cooking techniques. Marinetti also organised tactile dinners, where diners were required to continually feed their fingertips on the pyjamas of their table neighbours (Marinetti and Fillìa, 1932). This practice of integrating tactile and olfactory elements into meals has been revitalised by modernist chefs such as Jozef Youssef (Kitchen Theory), who, in 2015, presented a dish called Marinetti's Vegetable Patch. Inspired by the Futurist Ortotattile (Marinetti and Fillìa, 1932), diners were invited to touch cubes covered in different materials while tasting the food. The experiment demonstrated that tactile sensations can alter taste perception, validating the Futurists' insights. The Futurists also experimented with spraying perfumes directly on diners, a technique echoed in high-end restaurants today. Marinetti and Fillìa (1932) wrote that 'each dish must be preceded by a fragrance that will be cleared from the table using fans'. A contemporary example is chef Homaru Cantu of Moto restaurant in Chicago, who uses chilli sprays to engage customers, reflecting the Futurists' innovative legacy in using aromas (Vettel, 2013; Cantu, 2017).

The concept of Gesamtkunstwerk, or total work of art, introduced by Richard Wagner (1850), profoundly influenced the Futurists, who sought to apply this vision to gastronomy. They aimed to create experiences engaging all the senses beyond simple taste. This idea has found new life in modern Gastrophysics, where the fusion of science, art, and technology generates immersive, multisensory gastronomic experiences. A prime example is chef Paul Pairet's Ultraviolet restaurant in Shanghai (Fig. 2), which integrates sound, light, aroma, video, and tactile stimuli to create a unique culinary journey. Each

dish in the tasting menu is accompanied by a carefully choreographed multisensory performance designed to enhance flavours and foster an emotional connection to the food. The intimate setting, with only ten seats, uses video projections, sound effects, dispersed aromas, and temperature changes to stimulate the senses (Gogois, 2014). «You can't escape from what I'm trying to convey. Everything will lead you to [develop] a strong focus on the dish», explains Paul Pairet (cit. in Joe, 2014).

A tangible example of how Gastrophysics integrates 'everything else' is the Canadian company Molecule-R and its Aromafork (Fig. 3). This commercially available kit includes four metal forks equipped with absorbent paper discs and 20 vials of various aromas designed to enhance the flavour of food with each bite. The Aromafork exemplifies how utensils can influence the taste experience, demonstrating that touch and even smell play crucial roles in food perception (Classen, Howes and Synnott, 2005).

Another noteworthy project is Tableware as Sensorial Stimuli (Fig. 4) by designer Jinhyun Jeon, a line of utensils designed to stimulate the senses during food consumption and enhance the overall gastronomic experience. The design influences temperature, texture, weight, and even colour. Materials with varying thermal conductivity create sensations of warmth or coolness, while textured surfaces engage the sense of touch. The project aims to integrate a complete sensory experience into the culinary process, considering how different senses interact to shape food perception. This innovative tableware design merges sensory and aesthetic considerations, highlighting the interplay between sight, touch, taste, and hearing in enhancing food perception (Welch, Youssef and Spence, 2016). Another fascinating concept is emotional ventriloquism, which illustrates how the tactile and visual sensations of food packaging influence our perceptions of food. Designer Naoto Fukasawa created packaging (Fig. 5) that mimics the surface of fruits such as bananas, strawberries, and kiwis (Ricciardiello, 2015). These emotional packaging designs not only improve the tactile experience but also enrich flavour perception, demonstrating that Gastrophysics extends beyond taste to encompass every aspect of the culinary experience, from the utensils we use to the packaging we touch, emphasising that 'everything else' is vital to understanding and enhancing food experiences.

In addition to food choice, the social context in which food is consumed plays a critical role. Recent studies reveal that people living alone waste significantly more food than those living and eating in groups. This issue is exacerbated by standardised portion sizes available in supermarkets, which are often unsuitable for individuals leading solitary lives (Genova and Allegretti, 2024). Modern technology and the fast-paced lifestyle have further complicated eating habits, increasing the prevalence of distracted meals where individuals eat while watching television or using electronic devices. Such distractions reduce mindfulness and enjoyment of meals, even when individuals physically eat in company, as they may still be engrossed in screens (Ellson, 2015).

Conversely, eating in the company of others can have significant positive effects on mood and food perception, enhancing the taste experience and fostering socialisation and cooperation. Archaeological studies even show evidence of communal meals dating back over 12,000 years (Jones, 2008). An ingenious solution to counteract technological distractions was tested in 2013 at the Salve Jorge bar in São Paulo, Brazil, with the Offline Glass (Fig. 6). This beer mug features a modified base that can only stand upright when balanced on a customer's phone, promoting a more sociable attitude during gatherings by forcing customers to disconnect from their devices. Though somewhat wobbly as a design, it represents a socially sustainable approach to combat the isolating effects of smartphones (Spence, 2017).

Food systems and Sustainable Development Goals: synergies and trade-offs | Food systems are both a cornerstone and a critical challenge for achieving the United Nations' 2030 Agenda for SDGs (UN, 2015). These systems are not only fundamental to ensuring food security but also play a pivotal role in addressing all SDGs (Niles et alii, 2018; Fassio, Cionchi and Tondella, 2020; Anderson et alii, 2022; FAO et alii, 2023; IGS, 2023; Fig. 7). Food systems impact poverty, health, gender equality, culture and education, responsible production and consumption, natural resource management on land and at sea, and the fight against climate change (Fig. 8). Numerous international best practices demonstrate how mindful management of food production and consumption can generate positive synergies across various areas of global development. These efforts can potentially create a more sustainable, equitable, and secure world.

The Empowering Women in Agrifood[2] (EWA) is a training program (SDG 4) aimed at women, designed to promote their economic inclusion (SDG 8) and gender equality in agri-food systems (SDG 5). It also contributes to other objectives, including poverty reduction (SDG 1), food security (SDG 2), and health and well-being (SDG 3). The program seeks to create opportunities for women who, on the one hand, play a significant role in food production, processing, and distribution (FAO, 2023), and, on the other hand, are often discriminated against in many developing countries due to sociocultural factors that also significantly impact their nutrition and health (Osabohien and Matthew, 2024). Launched in 2020, promoted by EIT Food, and co-funded by the European Community, the program provides women with the skills and resources to establish innovative, sustainable, and successful businesses in the agri-food sector. It also offers the support of a network of companies and investors in the field to structure partnership agreements (SDG 17). Between 2020 and 2023, the EWA program welcomed over 370 female entrepreneurs, awarded more than €560,000 in prizes to top participants upon course completion, and succeeded in attracting approximately €12 million in startup investments. Furthermore, it contributed to the growth in clients, employees, or revenue of over 40 agri-food startups.

Despite the numerous synergies between the Sustainable Development Goals (SDGs) and food systems, significant trade-offs also exist. These often stem from the difficulty of reconciling short-term economic demands with the long-term need for sustainable natural resource management and equitable distribution of social benefits.

Food systems have significant interconnections with the goal of 'clean water and sanitation', especially in the current climate emergency and regions affected by drought and irregular precipitation. To avoid the use of potable water for agriculture, attention is increasingly being directed toward 'non-conventional' water resources, those requiring costly specialised processes for utilisation or low-cost solutions and technologies for the collection and reuse of rainwater for various purposes. This is exemplified by the Outer Islands Food and Water Project, an experimental initiative (2014-2023) funded by the International Fund for Agricultural Development (IFAD,





Figg. 17, 18 | Printing waste ingredients and gourmet dishes (source: it.mashable.com)



Fig. 19 | Immersive dinners by Immersive Show Dinner (source: 10wattlocation.com).

2024). The project targeted the population of Kiribati, a Pacific island nation comprising 33 islands and atolls, among the most climate-vulnerable areas on the planet due to a combination of rising sea levels, hurricanes, and prolonged droughts.

Kiribati's islands are characterised by shallow, alkaline soils with low organic content, limited freshwater sources prone to saltwater contamination, and a high dependency on imported food, the cost of which is influenced by international political-economic events and fuel price fluctuations. To address these challenges, the project enabled local populations to achieve near self-sufficiency (Bailey et alii, 2018), by holistically valuing natural resources and providing the technical means and skills necessary to plan and implement community development interventions (SDGs 8 and 11). These efforts focused on access to clean water (Fig. 9), domestic food production, and nutritional education. Participatory processes led to the construction of 234 rainwater harvesting systems (SDG 6) and 2,135 gardens (SDGs 1 and 2). These were complemented by training courses (SDG 4), primarily aimed at women (SDG 5) and young people, on the nutritional properties of local fruits and vegetables, significantly improving the inhabitants' living and health conditions (SDG 3).

Moreover, using low-energy technologies and renewable energy sources, such as solar power, facilitated more sustainable food production (SDG 7). Agricultural practices aimed at preventing soil erosion and promoting climate-resilient crops enhanced community resilience to climate impacts, critical for islands facing drought and rising sea levels (SDG 13). Marine resources, essential to the local diet, were sustainably managed through regulated fishing practices (SDG 14), while the promotion of native plant cultivation and ecosystem preservation contributed to biodiversity conservation (SDG 15).

The initiative's success resulted in additional funding to replicate the model on five other islands, involving 24 villages and approximately 1,700 families. However, the project faced significant trade-offs, posing challenges to sustainable management in such fragile ecosystems: SDG 2 and SDG 14: The need to intensify fishing to ensure sustenance risked overexploitation of marine resources; SDG 2 and SDG 6: Balancing potable water availability for agricultural and domestic use during prolonged droughts proved difficult; SDG 1 and SDG 13. Introducing advanced agricultural technologies, critical for climate resilience, incurred high costs, often unsustainable for low-income families without financial support.

A similar initiative, the Blue Economy Project in Seychelles, has demonstrated the essential role of food system governance and international cooperation in achieving equitable and sustainable development (Benzaken et alii, 2022). Funded by the World Food Programme, the project focuses on improving food accessibility in conflict areas to promote peace and stability, strengthening social justice and institutional frameworks (SDG 16). It leverages partnerships among governments, NGOs, and the private sector to achieve common goals (SDG 17) while emphasising sustainable aquaculture (SDG 14) and economic development through maritime tourism (SDG 8). However, if unregulated, maritime tourism can increase pressure on ecosystems, compromising long-term sustainability.

The goal of 'clean and affordable energy' also has important connections with food systems, particularly when production practices yield multiple benefits. One example is Permaculture (Fig. 10), a system, or rather, a philosophy of production that replicates natural ecosystem models and strategies while fostering responsible, self-sufficient communities. Permaculture promotes seasonal crops, waste recycling, reduced food waste, and the adoption of locally appropriate technologies (Vacanti and Leonardi, 2024). Its potential includes reducing dependency on non-renewable energy sources through domestic biodigesters, which convert food scraps and animal waste into biogas for heating and liquid fertiliser for crops. Additionally, renewable natural resources like solar and wind energy generate electricity.

Innovative food production systems are likely to find fertile ground in highly industrialized and densely populated countries. Examples include Skyfarm, Farmscraper, Farmhouse, and Jian Mu Tower (Basso et alii, 2023; Tucci and Carlo Ratti Associati, 2023). In Singapore, for instance, Sky Greens (Figg. 11, 12), became the first low-carbon hydraulic vertical farm (Benke and Tomkins, 2017). To address the shortage of arable land amid continuous population growth, Singapore's Food Authority[3] launched the ambitious '30 by 30' initiative, aiming to produce 30% of the country's food needs domestically by 2030. This involves high-tech fish farming tanks that recycle water and nutrients and vertical hydroponic greenhouses that grow plants efficiently using nutrient-enriched water rather than soil. However, the most impactful sustainable practices are those requiring lower investments and involving larger populations, particularly in low-income countries.

In developing nations, noteworthy practices include those studied by Zahra Didarali and James Gambiza (2019), who compared traditional farming practices with Permaculture in three rural villages in South Africa and Zimbabwe. These communities face daily challenges related to food insecurity and environmental degradation. Semi-structured interviews revealed that Permaculture contributed over 40% of the total income in all three case studies (SDG 1 and 2), improving dietary variety and health (SDG 3), social resilience to environmental changes (SDGs 11 and 13), biodiversity (SDG 15), water resource management (SDG 6), renewable energy use (SDG 7), and reducing business costs (SDG 8).

However, the study also highlighted Permaculture's limitations, primarily the need for operator training and initial investments often inaccessible to local populations. International organisations and local institutions must provide targeted strategies to promote eco-sustainable agricultural practices as alternatives to traditional methods. In such contexts, only through public / private partnerships can a paradigm shift occur, from a linear production approach to a holistic and circular one, recognising individuals not merely as food producers but as stewards of ecological systems that provide ecosystem services.

Another emblematic project is Fairtrade in Ethiopia, which aims to improve the economic, social, and environmental conditions of coffee producers by offering a more equitable and sustainable trade system[4]. Coffee, one of Ethiopia's primary export resources, is a crucial income source for millions of smallholder farmers. However, the sector faces significant challenges, such as global market price instability, climate change effects, and regional infrastructure limitations. The Fairtrade model addresses these issues by guaranteeing a minimum price for growers and an additional premium for improving living conditions in rural communities (SDG 9). These improvements include infrastructure (SDG 11), schools (SDG 4), healthcare services (SDG 3), and access to clean water (SDG 6), making this approach an integrated community-based solution that goes beyond mere product certification.

The Fairtrade system is not merely an economic framework but also a mechanism for empowering farmers within the value chain, ensuring greater eq-

uity and recognition of their labour. Small-scale producers achieve economic stability (SDG 1) by organising into cooperatives, which provide access to essential goods and services for the community (SDGs 2 and 3) and technical knowledge (SDG 4) on more responsible and sustainable agricultural practices. These practices include reducing harmful pesticides and fertilisers, optimising water and soil management, and fostering methods that are competitive and resilient to climate change (SDGs 11, 12, 13, and 15). Such efforts simultaneously enhance product quality and minimise the environmental impact of crops. The Fairtrade project in Ethiopia also demonstrates the potential for improving the sustainability and transparency of the value chain through agroforestry techniques that integrate plants and trees to enhance biodiversity and climate resilience.

In alignment with the Sustainable Development Goals (SDGs), the Ethiopian Fairtrade project connects to multiple key areas, fostering significant synergies while highlighting trade-offs between occasionally conflicting objectives. For example, increased producer income enables crop diversification, reducing reliance on coffee and improving family nutritional quality. However, scaling up production to meet international demand risks compromising local agricultural production for food and incentivising deforestation to expand cultivation areas, creating trade-offs between food security, economic profitability, and climate change mitigation.

Another strength is the organisation of producers into cooperatives, which promote fairer and safer working conditions (SDG 8) and enhance bargaining power in international markets. However, due to high certification costs, not all producers can participate in the Fairtrade system, and the system may become less competitive when market prices exceed Fairtrade's minimum guaranteed price. This creates a tension between achieving global competitiveness and ensuring internal equity for local producers.

Beyond the production phase, the end-of-life stage of food products can offer numerous benefits, especially when waste is treated as a secondary raw material and given a second life. A notable example is the coffee cup (Fig. 13) produced by Coffeefrom[5], a social cooperative in Milan (Italy). To promote the principles of Extended Producer Responsibility in a circular economy context, the cooperative has launched the production of cups, glasses, and food-contact-safe, BPA-free packaging made from coffee waste supplied by local producers.

The production process involves industrialised injection moulding and 3D printing, using a blend of dried, spent coffee grounds and polylactic acid (SDGs 9, 11, 12, and 13). The resulting material, smooth to the touch and dark brown in colour, reflects its coffee origins while being mechanically durable, heat-resistant, and biodegradable (Ferrara and Squatrito, 2022). Additionally, the product has a significant social impact (SDGs 8 and 10), as the company employs vulnerable workers in logistics and packaging and collaborates with various local social enterprises for packaging production.

Gastrophysics and Sustainable Development Goals: strengths and barriers | The practices illustrated are just a few examples that highlight the importance of food systems for the objectives of the 2030 Agenda. In this context, Gastrophysics emerges as a strategic research area to support the SDGs, focusing on the interaction between food and the senses, as well as the psychological and social aspects of nutrition. It offers significant contributions ranging from food innovation to the promotion of sustainable diets, supporting food security, improving public health, reducing food waste, and encouraging sustainable agricultural practices.

Research and experiments using Gastrophysics demonstrate how multisensory stimuli can enhance taste experiences and positively influence flavor perception, contributing to the reduction of poverty (SDG 1) and inequalities (SDG 10), improving health and well-being (SDG 3), fostering responsible production and consumption (SDG 12), preserving biodiversity (SDG 15), and promoting food education (SDG 4).

Gastrophysics also contributes to innovation (SDG 9) in the food sector with significant results in reducing waste and impacts through responsible production and consumption (SDG 12), addressing climate action (SDG 13), and promoting decent work (SDG 8) and sustainable communities (SDG 11). Initiatives like The Edible Tableware Project (Fig. 14), for example, provide data and techniques for producing biodegradable and edible tableware to reduce single-use plastic waste, using natural ingredients such as plant fibres and algae (Nair, Trafiałek and Kolanowski, 2023). Similarly, projects like the Sustainable Restaurant Lab utilise Gastrophysics to optimise the culinary experience and promote a lower impact in the restaurant sector by reducing energy consumption, using biodegradable materials, and encouraging fairer work practices (Madanaguli et alii, 2022).

In this context, the research by Spence and Piqueras-Fiszman (2014) is noteworthy, exploring the application of visual, auditory, and olfactory stimuli to enhance the taste experience. These researchers paired warm colours and relaxing music to accentuate the perception of sweetness, saltiness, or richness without increasing the dishes' content. Though implemented differently, a similar strategy was proposed by Woods et alii (2011) to make less desirable ingredients more appealing while maintaining equivalent nutritional value and lower costs.

Noteworthy are the projects aimed at diversifying food sources, preserving biodiversity, and reducing pressure on conventional agricultural resources and livestock farming like cattle, pigs, and poultry by identifying new protein sources with minimal environmental impact. Among these is the Flavor Exploration for Plant-Based Diets, which studied how to enhance the taste of plant-based proteins by improving flavour and texture profiles using natural ingredients to boost taste without adding fats or sugars (Spence, 2015c) Similarly, the Future Foods Sensory Labs explored new sustainable foods such as algae, wild plants, and insects, applying Gastrophysics to make them more appealing through techniques that enhance sensory perception, thus facilitating the transition to sustainable diets and integrating them into everyday nutrition (Lisboa et alii, 2024).

Innovative in this regard is the experimental activity of ecoLogicStudio (Valenti and Pasquero, 2021), which finds applications in the BIO.tech HUT (Fig. 15). In this project, microalgae cultures absorb CO_2



Fig. 20 | Baptiste & Bottle's VR cocktail (credit: N. Burger; source: chicago.eat er.com).

daily and produce oxygen equivalent to 32 large trees. The system allows for oil extraction to produce 1 kg of biofuel and the daily protein requirement for 12 adults. Another application is the AIReactor (Fig. 16), consisting of a photobioreactor, a glass container holding a strain of spirulina and a nutrient-rich culture medium designed to purify the air in an apartment while producing up to 7 grams of spirulina per day for dietary use.

Using commonly discarded food parts is a Gastrophysics practice that helps reduce waste by creating new taste experiences that enhance these ingredients' colour, aroma, flavour, and texture, maximising their nutritional value. For example, through 3D printing (Hooi Chuan Wong et alii, 2022), waste materials like edible leaves and peels are transformed into new ingredients (Figg. 17, 18) and resources that reduce pressure on conventional food production while supporting food security. Food security is also promoted by mindful eating and sensory education, which support health, well-being, and quality education by encouraging more conscious and healthier food choices. For instance, Kristeller and Wolever (2011), through the Mindful Eating Experiences project, highlighted how specific settings and musical backgrounds can improve taste perception, slow consumption, and enhance digestion.

In parallel with the Educational Flavour Workshops for Kids, Coulthard and Sealy (2017) experimented with how the principles of Gastrophysics can help adopt nutritious diets from childhood and teach children to recognise and appreciate diverse flavours, reducing dependency on sugar and improving food awareness. Vermeir and Roose (2020) tested plating solutions to guide food choices toward plant-based dishes as an alternative to meat-based ones. Satiety perception and calorie intake reduction have been investigated by van Kleef, Shimizu, and Wansink (2012), using smaller plates and specific cutlery, and by Stafford and Welbeck (2011), using vanilla and lavender scents.

In general, the case studies cited show how Gastrophysics can be considered a research area with high potential to support various SDGs, contributing to a paradigm shift in how we produce, consume, and enjoy food. However, the widespread adoption of its practices faces numerous barriers that limit large-scale implementation, including cultural, psychological, social, educational, technical, and economic challenges, as well as regulatory issues, each introducing unique difficulties. Understanding these criticalities is fundamental to imagining how to make Gastrophysics an accessible and widely practised daily approach.

From a cultural perspective, it should be noted that eating habits and taste perception are often deeply rooted in local traditions, such that the drastic reduction of sugar, fats, and salt, the substitution of basic ingredients, or the alteration of flavours may make food feel unfamiliar or even 'threatening' to the integrity of culinary traditions and alienation from one's culture. Alongside cultural barriers are psychological ones, stemming from individual habits and perceptions: most people tend to resist changes in their eating habits, even when aware of the potential benefits, limiting the acceptance of new and sustainable foods, such as plant-based or algae- and insect-based alternative proteins. Many people experience feelings of disgust or repulsion toward these latter ingredients, particularly in the Western world (Deroy, Reade and Spence, 2015), where they are perceived as 'lower quality' or unsafe. Yet, they are an excellent source of proteins and healthy fats and are more environmentally sustainable than meat (Jucker et alii, 2021; de Matos, Rasera and de Castro, 2024). From a social perspective, some Gastrophysics practices are often stigmatised, especially those involving the reuse of food waste as ingredients, which are associated with 'second-class' food, particularly among the wealthier social classes. At the same time, the choice to use smaller plates and portions – aimed at creating a sense of satiety and reducing excessive consumption and waste – can be misinterpreted as an attempt to cut costs or highlight disparities between different social classes.



Fig. 21 | Yozef Youssef's 'multisensory gastronomy' with the help of psychologists (credit: P. Wolmuth).

Educational barriers represent another significant challenge, particularly because Gastrophysics is a relatively new concept and little known to most consumers, who often remain unaware of its sustainability and health benefits, as well as to restaurateurs and industry operators. Furthermore, in many communities and among certain social groups, there is a lack of basic food education promoting a healthy and sustainable diet, while misinformation fosters scepticism toward 'new' practices and foods.

Technical barriers represent an additional challenge because many Gastrophysics practices require specialised equipment and specific expertise, which are not always available in restaurants. For example, optimising the perception of food waste through sensory design involves advanced transformation processes, requiring specific know-how and technologies, including 3D printing. Similarly, producing edible and biodegradable tableware, which is also safe and durable, demands research and development capabilities that not all companies can afford.

Economic barriers are perhaps the most significant obstacle, as many Gastrophysics practices require substantial initial investments. These include equipment for kitchens and dining areas, staff training, and ongoing operational costs. Plant-based diets, for instance, often rely on high-quality, seasonal ingredients, which can be expensive and not always accessible. There are also challenges related to the local availability of ingredients or biodegradable materials for tableware. Transporting these materials from distant production locations results in significant CO_2 emissions, especially in rural areas or developing countries where supply chains and logistical infrastructure may be inadequate.

Gastrophysics must also address regulatory and normative barriers that can hinder the adoption of sustainable food innovations. In many countries, the introduction of new foods, such as insects, is subject to strict regulations that require specific approvals and certifications, which can be costly and involve lengthy procedures. The use of food waste as ingredients and edible tableware must comply with hygiene and safety standards that, while necessary, make these practices challenging to adopt. Finally, subsidies and tax incentives often favour meat and dairy farmers and producers, penalising the production of plant-based and alternative proteins and discouraging the spread of low-impact diets.

If achieving the Sustainable Development Goals has become a critical priority for humanity, it is clear that this effort must also address global challenges related to food systems by exploring and adopting new, ecologically sustainable, and socially acceptable food practices. In this perspective, the case studies presented, though referencing different geographical areas and contexts and employing varied technologies, methodologies, and approaches, share the characteristics of modularity, scalability, and replicability. These features allow their implementation to manage potential trade-offs when approached systemically and by leveraging multidisciplinary expertise, an area where the discipline of Design, as discussed in the following paragraphs, can provide significant contributions.

Gastrophysics, Communication Design, and Service Design | Gastrophysics is not limited to the study of multisensory interactions that influence our perception of food and beverages. It also encompasses Communication Design, focusing on tradi-

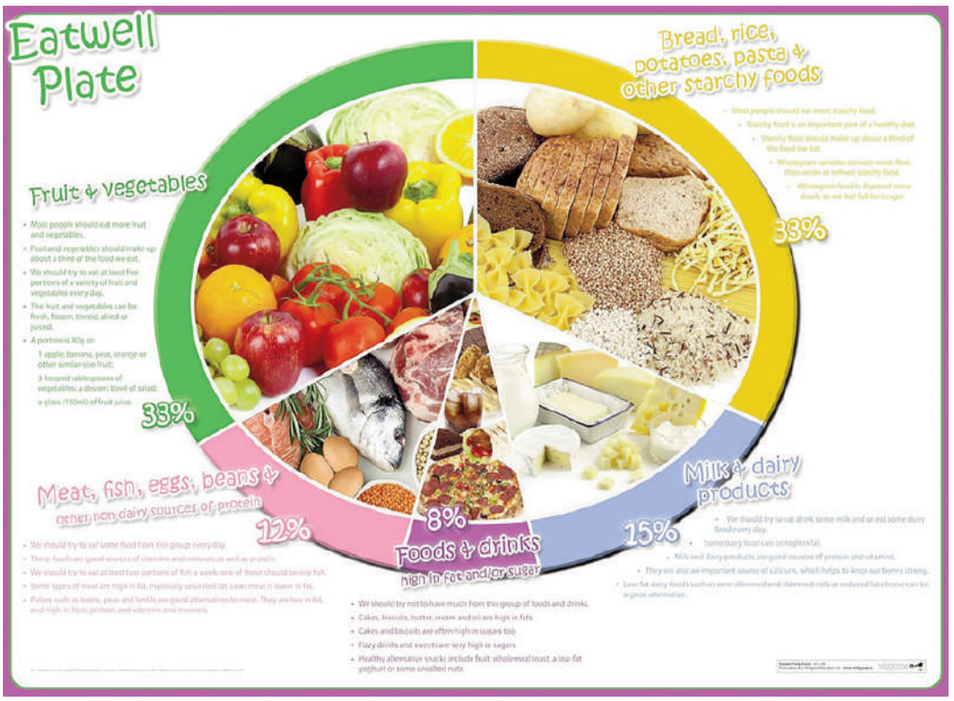




Fig. 22 | The Eatwell Plat System shows a healthy diet; the plate is divided into sections for easy portion control for a balanced and sustainable diet (source: wildgoose.education; amazon.co.uk).

tionally graphic and naming elements with profound semiotic implications (Meyerson, 2021). The narrative dimension, for instance, can play a fundamental role in shaping culinary experiences that stimulate the senses, mind, and imagination.

A striking example of the power of naming in the gastronomic context is the experience of a dish called Patagonian Toothfish, a type of fish initially rejected by customers due to its unappealing name. After being renamed Chilean Sea Bass, its sales increased tenfold. This simple yet effective name change demonstrates how labels and descriptions influence consumer choices by shaping expectations and perceptions. The mental associations created by a name can transform an ordinary food item into a desired delicacy. This phenomenon can be seen as an example of a 'nudge' or 'gentle push' (Thaler and Sunstein, 2012): small changes in the decision-making context can significantly influence consumer behaviour. This is why, in Communication Design, name creation, known as the 'naming process' in English, is a fundamental part of the project.

Similarly, the sounds associated with food preparation and consumption play a crucial role in the culinary experience. Sounds like the 'ding' of a microwave can diminish a dish's appeal, while sizzling, bubbling, and crunching sounds can enhance appetite and satisfaction. This is the insight of Swedish composer Per Samuelsson, who recorded kitchen sounds and transformed them into musical compositions to enhance the dining experience, creating immersive multisensory environments (Spence, 2015a, 2015b). Other noteworthy examples of the gastronomic power of sound include the Krug Shell, an acoustic device that amplifies the sound of bubbles to elevate the sensory experience of sparkling wine, and the 'sonic chip' (Spence, 2017). This study earned Charles Spence and Max Zampini the Ig Nobel Prize for Nutrition in 2008: by manipulating the crunching sounds of Pringles chips, the two gastrophysicists altered perceptions of crispness and freshness, demonstrating that what we hear truly influences what we taste. This project opened new frontiers in food experience design, reaffirming how sound can enhance food perception (Zampini and Spence, 2004).

The Communication Design can be crucial in overcoming psychological, cultural, educational, social, and sustainability-related barriers to adopting sustainable food practices. Specifically, Communication Design can use storytelling to normalise alternative ingredients or food waste, presenting them as conscious and positive choices. It can support promotional campaigns with images of real and relatable people consuming these products, creating a sense of belonging and legitimacy. Additionally, it can create educational content through infographics, visual storytelling, short videos, and social media materials that simplify and effectively communicate the benefits of Gastrophysics, sustainable diets, and alternative ingredients. These materials use data visualisation and visual content to educate about food impacts on the environment and nutrition.

Furthermore, packaging design can incorporate graphics, text, and warm, reassuring labels to provide clear, accessible information about a product's benefits, environmental impact, and positive values like ethics and environmental respect. These elements can transform products into symbols of a modern, responsible lifestyle, providing comforting sensations and positive associations influencing taste perception, enhancing the overall experience, and reducing biases against 'unusual' products.

In Gastrophysics, the narrative design draws upon all sensory elements to evoke memories and positive mental associations. This connection gives Gastrophysics its storytelling potential, enabling the creation of culinary experiences that transcend mere taste. Through naming and Communication Design, Gastrophysics exploits the power of myth and mental associations to enrich the diner's experience, demonstrating that everything else is crucial to understanding and improving our food experiences.

A compelling intersection emerges between Gastrophysics and Service Design. While Gastrophysics aims to create engaging culinary experiences, Service Design focuses on crafting memorable and immersive experiences. For example, the 'user journey', a typical Service Design tool that highlights key steps in the user's experience, can guide the design of gastronomic experiences (Stickdorn et alii, 2018). Service Design can also effectively address barriers to the adoption of Gastrophysics practices and sustainable food habits by designing user-centred services. It fosters informative and engaging interactions between consumers and new food systems, reducing psychological resistance to novel foods and practices, making them more familiar and acceptable.

Possible future developments regarding the synergies between Gastrophysics and Service Design may concern the creation of tasting services to gradually familiarise consumers with new flavours and textures through guided sessions that help them appreciate the unique tastes of alternative proteins or reused scraps. These sessions might take place in welcoming, relaxing environments where consumers feel comfortable trying something new. Additionally, interactive workshops and cooking labs can allow participants to experiment with new ingredients, reducing food neophobia and prejudice. Under the guidance of chefs or experts, participants can learn about the nutritional and sustainability aspects of the ingredients. Game elements can also be integrated into educational services, encouraging children to explore new flavours through playful activities or guiding adults' habits with loyalty programs or tasting challenges that reward curiosity and openness to new foods.

Service Design can provide consultation services on regulations, safety, and food waste management or training for industry professionals. It can also create platforms to connect producers, vendors, restaurateurs, and consumers, improving access to local and sustainable resources while optimising logistics to reduce carbon emissions. Other potential innovations include resource-sharing plat-

forms and apps offering information, recipes, nutritional tips, and interactive educational paths to raise consumer awareness about Gastrophysics and sustainable food practices. Information systems could also be implemented in schools, supermarkets, and restaurants through educational panels, interactive displays, videos, and QR codes to inform consumers about nutritional benefits as they make purchasing decisions.

Service Design can support the integration of innovative practices while respecting cultural and social sensitivities. This approach might include organising focus groups and co-creation sessions with local communities to design menus and practices that incorporate new ingredients without alienating cultural identities and traditions. Services can also be tailored to specific social and cultural groups, such as creating plant-based alternatives resembling meat for cultures where meat symbolises status or hospitality, thus reducing perceptual gaps and enhancing flavours.

A key concept in gastronomic experience management is 'sticktion', referring to unique, subtle elements within a culinary experience that are memorable without overwhelming. These elements stand out without dominating and, if thoughtfully designed, can leave compelling memories tied to the experience (LaTour and Carbone, 2014). Tasting menus with multiple courses offer unique opportunities for engaging interactions, where each course becomes a moment of discovery. In contrast, serving a single large portion may be less effective. The 'duration neglect' effect suggests that diners remember the first and last bites most vividly, emphasising the importance of high-quality appetisers and desserts.

Studies have shown that memories of restaurants often depend more on the atmosphere and service than on the food itself. For example, a study on Pizza Hut customers revealed that the most vivid memory was the staff's enthusiasm rather than the food (Spence, 2017). Understanding what resonates in customers' memories is critical to enhancing offerings and services, creating truly memorable experiences. Moments requiring deeper reflection tend to linger in memory longer, a phenomenon known as the 'depth of processing', which is crucial for designing gastronomic experiences. Additionally, the way a meal ends, known as the 'end effect', can significantly influence the overall memory of the experience. A classic experiment demonstrated that the memory of the last chocolate cookie in a tasting session can improve the overall impression, compared to ending with a less appreciated cookie.

The design of multisensory experiences explores connections between the senses, creating surprising and fascinating synesthetic effects. Events like the Colour Lab, which combine music and colours to alter wine taste perception, illustrate how multisensory experiences can be designed to enhance specific flavour aspects (Spence, Velasco and Knoeferle, 2014; Campo, Reinoso-Carvalho and Rosato, 2021).

Gastrophysics and Technological Innovation | The synergy between technology and design plays a crucial role in strategically and comprehensively addressing barriers to the adoption of Gastrophysics practices. By combining technological innovation with human-centred design, complex problems can be resolved, improving social and cultural acceptance as well as accessibility. Technology provides platforms and tools to experiment with new foods in virtual or interactive settings, while design enhances their appeal and accessibility by focusing on aesthetics and creating a reassuring experience.

For instance, Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) applications can immerse users in environments that make unfamiliar foods feel more approachable. These technologies can overlay enticing visuals, simulate their integration into traditional recipes, and create sensory-rich spaces with sound, lighting, and scents tailored to the context (Figg. 19, 20). Interactive digital storytelling platforms can also respect cultural sensitivities and normalise new ingredients or practices by demonstrating their compatibility with local traditions. Tools like big data and cultural preference analysis further personalize these messages and experiences for specific social groups or individuals.

In this context, several studies have already been conducted, including the one by Crofton, Murray, and Botinestean (2021), which explored, through VR, the impact of various environmental settings on sensory responses to food products and participants' hedonic evaluations of beef steaks and milk chocolate. The aim was to enhance the experience's context. The findings demonstrated that VR significantly influenced participants' hedonic responses to the food products: beef was rated significantly higher in enjoyment in a VR restaurant, while milk chocolate received higher hedonic ratings in a VR countryside setting compared to a traditional sensory booth.

Similarly, Han et alii (2022) investigated the potential of AR in culinary experiences through immersive and interactive storytelling aimed at promoting sustainable eating behaviours. Using participatory design methods, the study developed storyboards with consumers and evaluated various approaches with AR application developers. The results presented a conceptual framework for designing and validating impactful AR narratives to encourage sustainable eating habits.

There are also pioneering examples where Technological Innovation is used to personalise the ambience according to diners, enhancing the culinary experience. For instance, at the Goji Kitchen & Bar in the Marriott Bund Hotel in Shanghai, the décor changes throughout the day, creating distinct atmospheres with the help of directional speakers that produce unique soundscapes for each table (Spence, 2022). Similarly, Eleven Madison Park in New York employs technology to gather customer information, ensuring a warm and tailored welcome for every guest via detailed databases (Meyer, 2010). Pizza Hut, through digital menus and eye-tracking systems, identifies customer preferences (Lin et alii, 2023), transforming the way food is ordered and consumed.

Combining Technology and Design can enhance consumer trust, make food production and consumption processes more sustainable, and reduce environmental impact. Technology provides tools, data, and operational solutions to improve sustainability, while design ensures these tools are implemented practically and intuitively.

Possible future developments regarding the synergies between Gastrophysics and Technological Innovation may include blockchain technology that can guarantee ingredient traceability and supply chain transparency, facilitating regulatory compliance. IoT sensors can monitor real-time food quality and safety, reused waste, or biodegradable tableware, reducing non-compliance risks. Artificial intelligence and logistics optimisation systems can improve supply chain efficiency, reducing waste and resource consumption. IoT sensors can also track real-time energy and water usage, optimising processes in professional kitchens and restaurants. Furthermore, sustainable packaging design, using easily recyclable or biodegradable materials, can lower environmental impact, while functionally and intuitively designed waste management systems can facilitate the reuse of food waste and enhance efficiency.

Technology and Design can create synergies within food systems to lower production and distribution costs, making innovation more accessible to a broader audience and adaptable to various economic situations. For instance, digital printing, automation, and robotics can reduce food and packaging costs, while crowdfunding, e-commerce platforms, and community networks can make alternative food products more accessible by connecting producers and consumers without intermediaries. Similarly, the design of scalable and modular systems, such as composting plants or food waste recycling machines, can enable small businesses to adopt sustainable practices without substantial initial investments. Additionally, designing products for low-income communities using local materials or simplified processes can enhance accessibility.

The combination of Advanced Technologies, Design, and Gastrophysics can significantly transform the culinary landscape, offering personalised, multisensory experiences that enhance the quality and perception of food. These innovations not only make meals more enjoyable but also provide practical solutions to improve diners' health and well-being. The future of gastronomy is deeply intertwined with technological evolution and the ability to harness these tools to deliver unforgettable culinary experiences.

Gastrophysics and Medical Design | The interaction between Gastrophysics and design presents intriguing applications in patient care, offering personalised experiences that enhance well-being, support healing processes, and address health-related limitations. One promising area of research focuses on using sound to alter taste perception, a field where Gastrophysics has already achieved notable success. For example, various healthcare institutions have created soundtrack playlists to help diabetic patients perceive food as sweeter than it is, thus reducing the need for added sugars. This innovation has the potential to significantly improve the quality of life for those on restrictive diets, demonstrating how Gastrophysics can transition from the lab to clinical practice to benefit the general public (Spence, 2017).

Another fascinating aspect of Gastrophysics is the connection between colours and flavours. Research has shown that colours can significantly influence how flavours are perceived (Wan et alii, 2014). A compelling example is Jozef Youssef's amuse-bouche with flavour spheres (Fig. 21), each linked to a specific colour. It demonstrates that most people associate particular flavours with specific colours, such as red with sweetness and green with sourness. This finding has potential applications in Medical Design, where manipulating food colours could enhance the dining experience for patients with dietary restrictions, making meals more appealing and enjoyable without chemical additives (Velasco et alii, 2016).

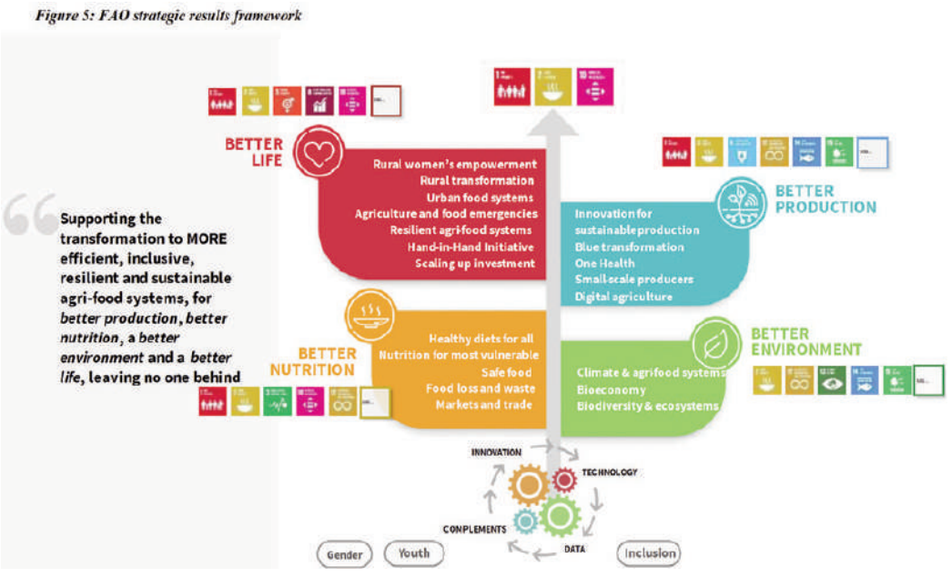


Fig. 23 | FAO Strategic results framework (source: FAO, 2021).

Tableware and food container design is another area where Gastrophysics and Medical Design can create synergies, using the colours and shapes of plates to influence taste perception and control portion sizes. A noteworthy example is the Eatwell Plate System (Fig. 22), developed collaboratively by designers and Gastrophysics specialists. Designed for elderly patients with dysphagia or individuals managing obesity through therapeutic diets, this compartmentalised plate helps balance nutrient portions while stimulating perceptions of food (e.g., colour, texture, temperature) to encourage consumption, proper chewing, and mindful eating.

Other studies have revealed that strawberry mousses taste sweeter and more flavourful when served on white plates rather than black ones. Similarly, round plates are perceived as sweeter than angular ones, and smaller plates with narrow edges can reduce food intake, a critical factor in dietary management for patients (Piqueras-Fiszman et alii, 2012; Piquras-Fiszman, Giboreau and Spence, 2013; Stewart and Goss, 2013). Additionally, experiments aim to create personalised food textures for patients with swallowing difficulties, using 3D food printers to produce meals that are both visually appealing and easy to consume (Raheem et alii, 2021).

Possible future developments regarding the synergies between Gastrophysics and Medical Design may concern health through care and prevention. By leveraging project-based methods, tools, and practices, they can enhance the relationship between people and food, focusing on fostering healthy behaviours and lifestyles rooted in Mediterranean agro-food culture values.

Innovations in functional foods and nutraceuticals are promising, including portable, convenient options and household tools that simplify preparation. Many therapeutic diets for chronic, degenerative, or cancer-related conditions require strict adherence to predominantly plant-based, whole-food regimens, often with specific preparation, storage, and consumption methods. These constraints intersect with psychological, cultural, economic, social, and anthropological challenges; they can become more manageable through design tools that make medical prescriptions more acceptable and accessible for those who rely on them.

Food design can also contribute to 'design for all', addressing needs such as increasing antioxidant intake or reducing fats and sugars. These approaches are relevant in pathological cases and borderline conditions (stress, depression, and ageing) to restore bodily awareness and the ability to perceive, feel, and modulate sensory and multisensory stimuli based on the latest neurophysiological research.

This could lead to the development of nutraceutical snacks with unconventional characteristics for the food sector, such as foams, gels, multilayered sheets, and sprays, or foods with a strong identity driven by Science and Technological Innovation. These would offer high experiential value, palatability, and adaptability to fast-paced, dynamic lifestyles, serving as alternatives to pill-based supplements, which often resemble medications in appearance and usage. Furthermore, 'augmented' foods with enhanced nutritional and nutraceutical properties could provide intense and satisfying taste experiences with low-calorie content, achieved through innovative processes like foaming, gelling, layering, and composite structuring. Such foods could even be designed to eliminate the need for traditional utensils or packaging, thanks to new technologies and advanced scientific knowledge applied to food design, bridging well-being with the pleasure of eating.

Conclusions: enabling and accelerating factors for sustainable food systems | Food design is a central theme in the 2030 Agenda, addressing contemporary issues. Through the interpretive lens of modern sciences like neuroscience and personalised medicine, alongside transdisciplinary experimentation, it provides an opportunity to explore future food scenarios and develop solutions to the pressing demands for well-being, health, and sustainability, not only for humans but for the entire ecosystem.

The significance of this topic is underscored by two key documents that highlight the crucial role of agri-food systems in our future. The Global Sustainable Development Report 2019 (UN, 2019) identifies the creation of sustainable food systems and healthy nutrition models as one of six 'entry points' that, through targeted and collaborative action, can accelerate progress toward the SDGs. Similarly, the Strategic Framework 2022-2031 (FAO, 2021) outlines the main global challenges in supporting the transformation of agri-food systems into 'efficient, inclusive, resilient, and sustainable systems for better production, better nutrition, a better environment, and a better life, leaving no one behind'. This framework promotes the 'four betters' (better production, better nutrition, better environment, and better life) as a pathway to achieving the SDGs by embracing the interconnected economic, social, and environmental dimensions of agri-food systems. It advocates a strategic, systems-oriented approach.

To achieve primary objectives such as 'reducing poverty', 'ensuring food security', and 'promoting the sustainable management and use of natural resources', as well as advancing all other SDGs, the FAO's strategic document (Fig. 23) identifies four enablers of change, identifying them as 'institutions and governance', 'income and wealth distribution', 'consumer awareness' and 'innovative technologies and approaches', and 'four accelerators', i.e. 'technology', 'innovation', 'data', and 'complements' (governance, human capital, and institutions), which synergistically have the potential to ensure 'sustainable' nutrition for nearly 10 billion people by 2050 (Weinberger, 2022), some of which are relevant to this essay.

The enabling factor 'consumer awareness' underscores the importance of initiating training / education / information actions on the type, quantity and quality of food to be consumed, as well as the reduction of food waste and other broader dependent impacts of consumption choices, as consumers can directly influence the future trajectories of agri-food systems and, through feedback effects, the other enabling factors as well. Younger generations, for instance, are particularly open to change, driven by concerns such as climate change, which threatens their future.

Another enabling factor is 'technologies and innovative approaches', which are heavily relied upon to achieve more with less (less water, soil degradation, biodiversity loss, production costs, etc.) and to ensure higher quality, especially in terms of nutrients. Digitalisation and new technologies encompass all available approaches, systems, tools, and innovations. For instance, advancements in food and medical research in areas like genomics, food processing, and drug design / formulation are increasingly enabling the creation of personalised foods to address specific health conditions. However, this rapidly evolving field requires regulatory guidance and oversight. Although the use of technology may create a technological divide, disadvantaging those unable to afford the initial investment, strategic use of technology and innovation holds the potential to resolve and minimise trade-offs among the SDGs.

Beyond being enabling factors, 'technology and innovation' are also 'accelerators' for programmatic interventions that reduce compromises between different SDGs. Emerging technologies such as digital agriculture, biotechnology, precision farming, agroecology, IoT, AI, and 3D printing, or disciplines like Gastrophysics, are already transforming the agri-food sector. However, most actors in the agri-food systems have yet to fully leverage their immense potential to enhance food production and improve nutrient value while respecting the environment.

Innovation in food systems is another critical accelerator for achieving a world free from hunger and malnutrition, particularly when it encompasses social, policy, institutional, economic, and technological dimensions, grounded in science and evidence. Globally, food and agriculture can greatly benefit from the Fourth Industrial Revolution, mainly driven by big data and digital technologies, to optimise processes, improve products, and boost the effectiveness, competitiveness, and resilience of business models.

In this context, the experiments and case studies mentioned in this paper demonstrate how innovation in food systems, guided by a systemic, holistic, and multidimensional approach, can foster synergies among various SDGs while minimising trade-offs. In particular, the discipline of Design can play a central role in creating a more sustainable, equitable food system that respects the environment and cultural traditions. It can help transform Gastrophysics into an accessible, everyday practice, promoting a healthier and more sustainable relationship with food. This approach also highlights the benefits of the Mediterranean diet, with its antioxidant, anti-inflammatory, and soothing properties, as well as its rich vitamins, minerals, and fibre content. This valuable heritage can be translated into contemporary healthy lifestyles, aiding in the prevention and reduction of various diseases.

This significant body of scientific knowledge opens up new and unexplored fields of experimental design. The design discipline can convey the values and potential benefits of Mediterranean food culture through the creation of artefacts that integrate seamlessly into the fast-paced and frugal nature of daily life, making them a lifestyle and a tool for fostering physical and mental well-being (Langella, Pontillo and Angari, 2021). Design possesses a powerful persuasive potential, capable of encouraging people to make specific actions and choices, making those actions simpler, more enjoyable, fun, emotional, persistent, and continuous. Additionally, the communication-oriented aspect of design can translate the latest scientific knowledge about the relationship between food and health into accessible, memorable formats, aiming to make people more aware and better equipped to make informed decisions based on scientific understanding.

The challenges of the future, which represent potential fields of research for the discipline of Design, have been summarised in the previous paragraphs as possible contributions of Communication Design, Service Design, Medical Design, and Innovative technologies in synergy with Gastrophysics to create sustainable food systems. These efforts aim to break down the numerous cultural, psychological, social, educational, technical, economic, and regulatory barriers that may hinder the achievement of the 17 SDGs.

In light of these perspectives, the role of the Food Designer will become even more critical. Over the last century, the food sector has not relied on simple, intuitive principles and qualities but has continually evolved through complex processes that incorporate multiple interconnected variables. With regard to future challenges, this complexity is expected to grow exponentially, necessitating the involvement of specialised designers capable of interpreting consumer preferences and attitudes while integrating them with new opportunities offered by science and technology. This approach must be holistic, transdisciplinary, forward-looking, and proactive. Food Designers will need to capitalise on their expertise and integrate it with new knowledge related to agricultural production, food packaging, retail, health and nutrition, Gastronomy, Neurogastronomy, Gastrophysics, and other technical-scientific areas, identifying new food-specific elements of innovation (Schifferstein, 2017). Moreover, Food Designers must possess a deep awareness of issues such as the living and highly perishable nature of food, its relationship with natural resources and ecosystems, the level of sensory satisfaction reflecting the extent to which food is rooted in local cultural traditions, and the ethical and political implications of ensuring the sufficient and safe production and distribution of food for the entire global population (Bordewijk and Schifferstein, 2020), alongside the Sustainable Development Goals.

By translating principles and insights from the most advanced scientific fields and employing innovative digital technologies, the Food Designers of the future will be able to develop solutions that imbue food with therapeutic and preventive value while celebrating the Mediterranean food culture and gastronomy, the biodiversity of production processes, multisensoriality, and conviviality. These elements can be transformed into synesthetic experiences, promoting health, well-being, and pleasure.

Acknowledgements

The contribution is the result of a collective reflection by the Authors. However, the paragraphs 'Design and Gastrophysics' and 'Sensory analysis in food: categories, parameters, and standards' are attributed to C. Langella, the paragraphs 'Gastrophysics is 'everything else': experiences from Futurism and the contemporary' and 'Gastrophysics, Communication Design, and Service Design' to D. Russo, the paragraphs 'Food systems and Sustainable Development Goals: synergies and trade-offs' and 'Gastrophysics and Sustainable Development Goals: strengths and barriers' to F. Scalisi (corresponding author), while all other sections, including the introduction, 'Methods, limitation, and originality of the study', 'Gastrophysics and Technological Innovation', 'Gastrophysics and Medical Design', and 'Conclusions: enabling and accelerating factors for sustainable food systems' are attributed equally to all three Authors.

Notes

1) The Masters in 'Design for Food' at the Politecnico di Milano (IT), the 'Federico II' University of Napoli (IT) and the University of Gastronomic Sciences of Pollenzo (IT), as well as the Master in 'Food Design and Innovation' at the Basque Culinary Center in Donostia-San Sebastián (Spain) and the 'Santa Chiara Lab' at the University of Siena (IT), are some examples that demonstrate this trend.

2) For more information, see the webpage: itfood.eu [Accessed 29 September 2024].

3) For more information, see the webpage: fhafnb.com/blog/30-by-30-singapore/ [Accessed 29 September 2024].

4) For more information, see the webpage: fairtrade.net [Accessed 29 September 2024].

5) For more information, see the webpage: coffeefrom.it [Accessed 29 September 2024].

References

Agorastos, G. (2023), *Unraveling mouthfeel – A novel approach to understand taste*, Doctoral Thesis, Doctor of Philosophy, Supervisor Prof. dr. Bast, A., Co-supervisor dr. Klosse, P. R., Maastricht University, Netherlands. [Online] Available at: doi.org/10.26481/dis.20230713ga [Accessed 29 September 2024].

Agorastos, G., van Halsema, E., Bast, A. and Klosse, P. (2020) "Review of Mouthfeel Classification – A New Perspective of Food Perception", in *Journal of Food Science & Nutrition*, pp. 1-10. [Online] Available at: researchgate net/profile/Emo-Van-Halsema/publication/344016341_Journal_of_Food_Science_Nutrition_Review_of_Mouthfeel_Classification_A_New_Perspective_of_Food_Perception/links/5f4e2c9a92851c6cfd1de132/Journal-of-Food-Science-Nutrition-Review-of-Mouthfeel-Classification-A-New-Perspective-of-Food-Perception.pdf [Accessed 29 September 2024].

Aktar, T., Upadhyay, R. and Chen, J. (2019), "Sensory and Oral Processing of Semisolid Foods", in Joyner, H. (ed.), *Rheology of semisolid Foods*, Springer, Cham, pp. 231-247. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-27134-3_8 [Accessed 29 September 2024].

Anderson, C. C., Denich, M., Warchold, A., Kropp, J. P. and Pradhan, P. (2022), "A systems model of target influence of the Goals on the 2030 Agenda for Sustainable Development", in *Sustainability Science*, vol. 17, pp. 1459-1472. Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-27134-3_8 [Accessed 29 September 2024].

Angari, R., Pontillo, G., Langella, C. and Piscitelli, D. (2021), "Transition RS – The design component for the communication of medical research", in *Infodesign | Revista Brasileira de Design da Informação – Brazilian Journal of Information Design*, vol. 18, issue 2, pp. 68-83. [Online] Available at: doi.org/10.51358/id.v18i2.930 [Accessed 10 December 2024].

Arskey, H. and O'Malley, L. (2005), "Scoping studies – Towards a methodological framework", in *International Journal of Social Research Methodology*, vol. 8, issue 1, pp. 19-32. [Online] Available at: doi.org/10.1080/1364557032000119616 [Accessed 7 December 2024].

Bailey, R. T., Beikmann, A., Kottermair, M., Taboroši, D. and Jenson, J. W. (2018), "Sustainability of rainwater catchment systems for small island communities", in *Journal of Hydrology*, vol. 557, pp. 137-146. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.12.016 [Accessed 29 September 2024].

Basso, S., Bisiani, T., Martorana, P. and Venudo, A. (2023), "Vertical farm – Dalle forme dell'agricoltura nuove architetture e città | Vertical farm – New architectures and cities from the forms of agriculture", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 141-152. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13122023 [Accessed 29 September 2024].

Benke, K. and Tomkins, B. (2017), "Future food-production systems – Vertical farming and controlled-environment agriculture", in *Sustainability Science Practice and Policy*, vol. 13, issue 1, pp. 13-26. [Online] Available at: doi.org/10.1080/15487733.2017.1394054 [Accessed 29 September 2024].

Benzaken, D., Voyer, M., Pouponneau, A. and Hanich, Q. (2022), "Good governance for sustainable blue economy in small islands – Lessons learned from the Seychelles experience", in *Frontiers in Political Science*, vol. 4, article 1040318, pp. 1-23. [Online] Available at: doi.org/10.3389/fpos.2022.1040318 [Accessed 29 September 2024].

Bordewijk, M. and Schifferstein, H. N. J. (2020), "The specifics of food design – Insights from professional design

practice", in *International Journal of Food Design*, vol. 4, issue 2, pp. 101-138. [Online] Available at: doi.org/10.1386/ijfd_00001_1 [Accessed 29 September 2024].

Campo, R., Reinoso-Carvalho, F. and Rosato, P. (2021), "Wine Experiences – A Review from a Multisensory Perspective", in *Applied Sciences*, vol. 11, issue 10, article 4488, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.3390/app11104488 [Accessed 29 September 2024].

Cantu, H. (2017), *MOTO – The Cookbook*, Hachette UK, London.

Chen, J. and Engelen, L. (eds) (2012), *Food oral processing – Fundamentals of eating and sensory perception*, Blackwell Publishing, Hoboken. [Online] Available at: doi.org/10.1002/9781444360943 [Accessed 29 September 2024].

Chung, K. (2020), *I, X, and T-Shaped Designers – What's the Difference?*. [Online] Available at: uxbeginner.com/i-x-and-t-shaped-designers/ [Accessed 29 September 2024].

Clark, J. E. (1998), "Taste and flavour – Their importance in food choice and acceptance", in *Proceedings of the Nutrition Society*, vol. 57, issue 4, pp. 639-643. [Online] Available at: doi.org/10.1079/PNS19980093 [Accessed 29 September 2024].

Classen, C., Howes, D. and Synnott, A. (2005), "Artificial flavours", in Korsmeyer, C. (ed.), *The Taste Culture Reader – Experiencing Food and Drink*, Berg, Oxford, pp. 337-342.

Coucquyt, P., Lahousse, B. and Langenbick, J. (eds) (2020), *The Art & Science of Foodpairing*, Mitchell Beazley, London.

Coulthard, H. and Sealy, A. (2017), "Food Neophobia and Perception of Novel Flavors in Children – An Educational Intervention", in *Appetite*, vol. 113, pp. 84-90. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.appet.2017.02.003 [Accessed 29 September 2024].

Crofton, E., Murray, N. and Botinestean, C. (2021), "Exploring the Effects of Immersive Virtual Reality Environments on Sensory Perception of Beef Steaks and Chocolate", in *Foods*, vol. 10, issue 6, article 1154, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.3390/foods10061154 [Accessed 29 September 2024].

de Matos, F. M., Rasera, G. B. and de Castro, R. J. S. (2024), "Insects as a sustainable source of emerging proteins and their processing to obtain bioactive compounds – An updated review", in *Sustainable Food Technology*, vol. 2, pp. 19-31. [Online] Available at: doi.org/10.1039/d3fb00097d [Accessed 29 September 2024].

Deroy, O., Reade, B. and Spence, C. (2015), "The insectivore's dilemma, and how to take the West out of it", in *Food Quality & Preference*, vol. 44, pp. 44-55. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.02.007 [Accessed 29 September 2024].

Di Lorenzo, P. M., Chen, J.-Y., Rosen, A. M. and Roussin, A. T. (2009), "Tastant", in Binder, M. D., Hirokawa, N. and Windhorst, U. (eds), *Encyclopedia of Neuroscience*, Springer, Berlin, pp. 4014-4019. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-540-29678- 2_5888 [Accessed 29 September 2024].

Didarali, Z. and Gambiza, J. (2019), "Permaculture – Challenges and Benefits in Improving Rural Livelihoods in South Africa and Zimbabwe", in *Sustainability*, vol. 11, issue 8, article 2219, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su11082219 [Accessed 29 September 2024].

Ellson, A. (2015), "Food wasted as dinner for one becomes norm", in *The Times*, newspaper online, 01/07/2015. [Online] Available at: thetimes.com/article/food-wasted-as-dinner-for-one-becomes-norm-20nw2cfgvbf [Accessed 29 September 2024].

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2023), *The Status of Women in Agrifood Systems*. [Online] Available at: openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cc5343en [Accessed 29 September 2024].

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2021), *Strategic Framework 2022-2031*. [Online] Available at: fao.org/strategic-framework/en [Accessed 29 September 2024].

FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO (2023), *The State of Food Security and Nutrition in the World 2023*. [Online] Available at: openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cc3017en [Accessed 29 September 2024].

Fassio, F., Cionchi, E. and Tondella, A. (2020), "La circular economy for food nelle città del futuro – Buone pratiche per la definizione di Smart Food | The circular economy for food in future cities – Good practices that define Smart Food", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 8, pp. 244-253. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/8232020 [Accessed 29 September 2024].

Ferrara, M. and Squatrito, A. (2022), "L'innovazione design-driven dei materiali circolari a base biologica – Strategie e competenze per la progettazione | Design-driven innovation of bio-based circular materials – Design strategies and skills", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 11, pp. 288-299. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/11262022 [Accessed 29 September 2024].

Gawel, R., Smith, P. A., Cicerale, S. and Keast, R. (2018), "The mouthfeel of white wine", in *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 58, issue 17, pp. 2939-2956. [Online] Available at: doi.org/10.1080/10408398.2017.1346584 [Accessed 29 September 2024].

Genova, C. and Allegretti, V. (2024), "Sustainable Food Consumption – Social Representations of Definitions, Drivers, and Obstacles", in *Sustainability*, vol. 16, issue 4, article 1415, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su16041415 [Accessed 29 September 2024].

Gogois, L. (2014), "Paul Pairet, le nouveau vatel", in *Yam | Le magazine des chefs*, vol. 18, pp. 20-27.

Guinard, J.-X. and Mazzucchelli, R. (1996), "The sensory perception of texture and mouthfeel", in *Trends in Food Science & Technology*, vol. 7, issue 7, pp. 213-219. [Online] Available at: doi.org/10.1016/0924-2244(96)10025-X [Accessed 29 September 2024].

Haedelt, J., Beckett, S. T. and Niranjan, K. (2007), "Bubble-included chocolate – Relating structure with sensory response", in *Journal of Food Science*, vol. 72, issue 3, pp. E138-E142. [Online] Available at: doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00313.x [Accessed 29 September 2024].

Han, D.-I. D., Abreu e Silva, S. G., Schröder, K., Melissen, F. and Haggis-Burridge, M. (2022), "Designing Immersive Sustainable Food Experiences in Augmented Reality – A Consumer Participatory Co-Creation Approach", in *Foods*, vol. 11, issue 22, article 3646, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.3390/foods11223646 [Accessed 29 September 2024].

Hewson, L., Hollowood, T., Chandra, S. and Hort, J. (2009), "Gustatory, Olfactory and Trigeminal Interactions in a Model Carbonated Beverage", in *Chemosensory Perception*, vol. 2, pp. 94-107. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s12078-009-9043-7 [Accessed 29 September 2024].

Heymann, H. and Lawless, H. T. (2010), *Sensory Evaluation of Food – Principles and Practices*, Springer, New York. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5 [Accessed 29 September 2024].

Hooi Chuan Wong, G., Pant, A., Zhang, Y., Kai Chua, C., Hashimoto, M., Huei Leo, C. and U-Xuan Tan, U.-X. (2022), "3D food printing-sustainability through food waste upcycling", in *Materials Today – Proceedings*, vol. 70, pp. 627-630. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.matpr.2022.08.565 [Accessed 29 September 2024].

IFAD – International Fund for Agricultural Development (2024), *Kiribati – Outer Islands Food and Water Project – Project Completion Report*. [Online] Available at: ifad.org/documents/48415603/49457717/KIR_1100001708_COMPLETION_REPORT_0010-51-387.pdf/407b45b2-b833-f19e-84ee-3183a3fdd28f?t=1726604572721 [Accessed 29 September 2024].

IGS – Independent Group of Scientists appointed by the Secretary-General (2023), *Global Sustainable Development Report 2023 – Times of crisis, times of change – Science for accelerating transformations to sustainable development*. [Online] Available at: sdgs.un.org/sites/default/files/2023-09/FINAL%20GSDR%202023-Digital%20-110923_1.pdf [Accessed 29 September 2024].

ISO – International Organization for Standardization (2008), *ISO 5492:2008 – Sensory analysis – Vocabulary*. [Online] Available at: iso.org/standard/38051.html [Accessed 29 September 2024].

Joe, M. (2014), "Chefs are offering diners a multisensory experience", in *South China Morning Post*, newspaper online, 09/01/2014. [Online] Available at: scmp.com/magazines/style/article/1393915/dishing-it-out-chefs-are-offering-diners-multisensory-experience [Accessed 29 September 2024].

Jones, M. (2008), *Feast – Why Humans Share Food*, Oxford University Press, Oxford.

Jones, M. O. and Long, L. M. (eds) (2017), *Comfort food – Meanings and memories*, Jackson University Press of Mississippi.

Jucker, C., Lupi, D., De Milato, S., Crippa, R., Leonardi, M. G. and Savoldelli, S. (2021), "Gli insetti come fonte proteica alternativa", in *Entomata*, vol. 14, pp. 40-44. [Online] Available at: air.unimi.it/retrieve/dfa8b9a7-329b-748b-e053-3a0 5fe0a3a96/Entomata_n_14_Jucker.pdf [Accessed 29 September 2024].

Kristeller, J. L. and Wolever, R. Q. (2011), "Mindfulness-Based Eating Awareness Training for Treating Binge Eating Disorder – The Conceptual Foundation", in *Eating Disorders*, vol. 19, issue 1, pp. 49-61. [Online] Available at: doi.org/10.1080/10640266.2011.533605 [Accessed 29 September 2024].

Langella, C. (2019), *Design e Scienza*, ListLab, Trento and Barcelona.

Langella, C., Pontillo, G. and Angari, R. (2021), "Intersections between Design and Science in the Mediterranean Food Landscape", in *PAD | Pages on Arts and Design*, vol. 21, pp. 22-45. [Online] Available at: flore.unifi.it/retrieve/dd8b1190-7480-4392-8c2e-ad96ba8983dd/PAD_%202021_%20 Langella_% 20Pontillo_%20Angari.pdf [Accessed 29 September 2024].

LaTour, K. A. and Carbone, L. P. (2014), "Sticktion – Assessing memory for the customer experience", in *Cornell Hospitality Quarterly*, vol. 55, issue 4, pp. 342-353. [Online] Available at: doi.org/10.1177/1938965514521689 [Accessed 29 September 2024].

Limbach, H. J. and Kremer, K. (2006), "Multi-scale modelling of polymers – Perspectives for food materials", in *Trends in Food Science & Technology*, vol. 17, issue 5, pp. 215-219. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.tifs.2005.11.001 [Accessed 29 September 2024].

Lin, P. M. C., Peng, K.-L., Au, W. C. W., Qiu, H. and Deng, C. D. (2023), "Digital menus innovation diffusion and transformation process of consumer behavior", in *Journal of Hospitality and Tourism Technology*, vol. 14, issue 5, pp. 732-761. [Online] Available at: doi.org/10.1108/JHTT-07-2021-0217 [Accessed 29 September 2024].

Lisboa, H. M., Nascimento, A., Arruda, A., Sarinho, A., Lima, J., Batista, L., Dantas, M. F. and Andrade, R. (2024), "Unlocking the Potential of Insect-Based Proteins – Sustainable Solutions for Global Food Security and Nutrition", in *Foods*, vol. 13, issue 12, article 1846, pp. 1-30. [Online] Available at: doi.org/10.3390/foods13121846 [Accessed 29 September 2024].

Liu, D., Deng, Y., Sha, L., Hashem, A. and Gai, S. (2017), "Impact of oral processing on texture attributes and taste perception", in *Journal of Food Science and Technology*, vol. 54, issue 8, pp. 2585-2593. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s13197-017-2661-1 [Accessed 29 September 2024].

Lucas, P. W., Prinz, J. F., Agrawal, K. R. and Bruce, I. C. (2002), "Food physics and oral physiology", in *Food Quality and Preference*, vol. 13, issue 4, pp. 203-213. [Online] Available at: doi.org/10.1016/S0950-3293(00)00036-7 [Accessed 29 September 2024].

Madanaguli, A., Dhir, A., Kaur, P., Srivastava, S. and Singh, G. (2022), "Environmental sustainability in restaurants – A systematic review and future research agenda on restaurant adoption of green practices", in *Scandinavian Journal of Hospitality and Tourism*, vol. 22, issue 4-5, pp. 303-330. [Online] Available at: doi.org/10.1080/15022250.2022.2134203 [Accessed 29 September 2024].

Marinetti, F. T. and Fillia, C. L. E. (1932), *La cucina futurista*, Casa Editrice Sonzogno, Milano.

Marti, P. and Recupero, A. (2021), "Enriching the food experience – A design journey through innovative technologies for creating, experimenting, consuming, socializing, and playing with food", in *Transdisciplinary Case Studies on Design for Food and Sustainability*, pp. 131-147, Woodhead Publishing. [Online] Available at: doi.org/10.1016/B978-0-12-817821-8.00009-6 [Accessed 10 Decembrer 2024].

May-Wilson, S., Matoba, N., Wade, K. H., Hottenga, J.-J., Concas, M. P., Mangino, M., Grzeszkowiak, E. J., Menni, C., Gasparini, P., Timpson, N. J., Veldhuizen, M. G., de

Geus, E., Wilson, J. F. and Pirastu, N. (2022) "Large-scale GWAS of food liking reveals genetic determinants and genetic correlations with distinct neurophysiological traits", in *Nature Communications*, vol. 13, article 2743, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1038/s41467-022-30187-w [Accessed 29 September 2024].

Meyer, D. (2010), *Setting the Table – Lessons and Inspirations from One of the World's Leading Entrepreneurs*, Marshall Cavendish International, Singapore.

Meyerson, R. (2021), *Brand Naming – The Complete Guide to Creating a Name for Your Company, Product, or Service*, Business Expert Press.

Mouritsen, O. G. (2021), "Texture – How Texture Makes Flavour", in Burke, R. M., Kelly, A. L., Lavelle, C. and This vo Kientza, H. (eds), *Handbook of Molecular Gastronomy – Scientific Foundations, Educational practices, and Culinary Applications*, CRC Press, Boca Raton, pp. 585-592. [Online] Available at: doi.org/10.1201/9780429168703 [Accessed 29 September 2024].

Mouritsen, O. G. (2016a), "Gastrophysics of the oral cavity", in *Current Pharmaceutical Design*, vol. 22, issue 15, pp. 2195-2203. [Online] Available at: doi.org/10.2174/1381612822666160219120940 [Accessed 29 September 2024].

Mouritsen, O. G. (2016b), "Deliciousness of food and a proper balance in fatty acid composition as means to improve human health and regulate food intake", in *Flavour*, vol. 5, article 1, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1186/s13411-016-0048-2 [Accessed 29 September 2024].

Nair, S. S., Trafiałek, J. and Kolanowski, W. (2023), "Edible Packaging – A Technological Update for the Sustainable Future of the Food Industry", in *Applied Science*, vol. 13, article 8234, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.20944/preprints202306.0827.v1 [Accessed 29 September 2024].

Niles, M. T., Ahuja, R., Esquivel, M. J., Mango, N., Duncan, M., Heller, M. and Tirado, C. (2017), *Climate change and food systems – Assessing impacts and opportunities*, Meridian Institute. [Online] Available at: scholarworks.uvm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1016&context=calsfac [Accessed 29 September 2024].

Osabohien, R. and Matthew, O. (2024), "Editorial – Nutrition and sustainable development goal 5 – Gender equality", in *Frontiers in Nutrition*, vol. 11, article 1384066, pp. 1-3. [Online] Available at: doi.org/10.3389/fnut.2024.1384066 [Accessed 29 September 2024].

Piqueras-Fiszman, B., Alcaide, J., Roura, E. and Spence, C. (2012), "Is it the plate or is it the food? Assessing the influence of the color (black or white) and shape of the plate on the perception of the food placed on it", in *Food Quality and Preference*, vol. 24, issue 1, pp. 205-208. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.08.011 [Accessed 29 September 2024].

Piqueras-Fiszman, B., Giboreau, A. and Spence, C. (2013), "Assessing the influence of the colour of the plate on the perception of the food in a restaurant setting", in *Flavour*, vol. 2, article 24, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.1186/2044-7248-2-24 [Accessed 29 September 2024].

Raheem, D., Carrascosa, C., Ramos, F., Saraiva, A. and Raposo, A. (2021), "Texture-Modified Food for Dysphagic Patients – A Comprehensive Review", in *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, issue 10, article 5125, pp. 1-24. [Online] Available at: doi.org/10.3390/ijerph18105125 [Accessed 29 September 2024].

Reynolds, A. G. (2010), *Managing wine quality – Viticulture and wine quality*, Woodhead Publishing, Cambridge. [Online] Available at: sciencedirect.com/book/9781845694845/managing-wine-quality#book-info [Accessed 29 September 2024].

Ricciardiello, T. (2015), "Fukasawa's Juice Skin – Delightfully honest", in *Poetic Design*, newspaper online, 12/05/2015. [Online] Available at: poeticdesignstudio.wordpress.com/2015/05/12/fukasawas-juice-skin-delightfully-honest/ [Accessed 29 September 2024].

Schifferstein, H. N. J. (2017), "Differentiating consumption contexts as a basis for diversity in food design education – Eating in or eating out?", in *International Journal of Food Design*, vol. 2, issue 1, pp. 83-101. [Online] Available at: doi.org/10.1386/ijfd.2.1.83_1 [Accessed 29 September 2024].

Shepherd, G. M. (2015), *Neurogastronomy – How the Brain Creates Flavor and Why it Matters*, Columbia University Press, New York.

Spence, C. (2022), "Sensehacking the guest's multisensory hotel experience", in *Frontiers in Psychology*, vol. 13, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1014818 [Accessed 29 September 2024].

Spence, C. (2017), *Gastrophysics – The New Science of Eating*, Penguin, London.

Spence, C. (2015a), "Eating with our ears – Assessing the importance of the sounds of consumption to our perception and enjoyment of multisensory flavour experiences", in *Flavour*, vol. 4, article 3, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1186/2044-7248-4-3 [Accessed 29 September 2024].

Spence, C. (2015b), "Music from the kitchen", in *Flavour*, vol. 4, article 25, pp. 1-7. [Online] Available at: doi.org/10.1186/s13411-015-0035-z [Accessed 29 September 2024].

Spence, C. (2015c), "Multisensory Flavor Perception", in *Cell*, vol. 161, issue 1, pp. 24-35. [Online] Available at: dx.doi.org/10.1016/j.cell.2015.03.007 [Accessed 29 September 2024].

Spence, C. and Piqueras-Fiszman, B. (2014), *The Perfect Meal – The Multisensory Science of Food and Dining*, Wiley-Blackwell, Oxford (UK).

Spence, C., Velasco, C. and Knoeferle, K. (2014), "A large sample study on the influence of the multisensory environment on the wine drinking experience", in *Flavour*, vol. 3, article 8, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1186/2044-7248-3-8 [Accessed 29 September 2024].

Stafford, L. D. and Welbeck, K. (2011), "High hunger state increases olfactory sensitivity to neutral but not food odors", in *Chemical Senses*, vol. 36, issue 2, pp. 189-198. [Online] Available at: doi.org/10.1093/chemse/bjq114 [Accessed 29 September 2024].

Stewart, P. C. and Goss, E. (2013), "Plate shape and colour interact to influence taste and quality judgments", in *Flavour*, vol. 2, article 27, pp. 1-9. [Online] Available at: doi.org/10.1186/2044-7248-2-27 [Accessed 29 September 2024].

Stickdorn, M., Lawrence, A., Hormess, M. E. and Schneider, J. (2018), *This is Service Design Doing – Applying Service Design Thinking in the Real World – A practitioners' handbook*, O'Reilly Media, Sebastopol (CA).

Szczesniak, A. S. (2002), "Texture is a sensory property", in *Food Quality and Preference*, vol. 13, issue 4, pp. 215-225. [Online] Available at: doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00039-8 [Accessed 29 September 2024].

Thaler, R. H. and Sunstein, C. R. (2012), *Nudge – Improving Decisions About Health, Wealth and Happiness*, Penguin, London.

Tokat, P. and Yilmaz, I. (2023), "Neurogastronomy – Factors Affecting the Taste Perception of Food", in *International Journal of Gastronomy Research*, vol. 2, issue 1, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.56479/ayed.2022.10261 [Accessed 29 September 2024].

Tucci, G. and Carlo Ratti Associati (2023), "La tecnologia come abilitatore di un nuovo ecosistema urbano responsivo – Intervista a Carlo Ratti (CRA Studio) | Technology as an enabler of a new ecosystem responsive urbanism – Interview with Carlo Ratti (CRA Studio)", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 12, pp. 190-201. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12172022 [Accessed 29 September 2024].

UN – United Nations (2019), *Global Sustainable Development Report 2019 – The Future is Now – Science for Achieving Sustainable Development*. [Online] Available at: sustainabledevelopment.un.org/content/documents/24797GSDR_report_2019.pdf [Accessed 29 September 2024].

UN – United Nations (2015), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: documents.un.org/doc/undoc/gen/n15/291/89/pdf/n1529189.pdf [Accessed 29 September 2024].

UNI EN ISO 8586:2014 (2014), *Sensory analysis – General guidelines for the selection, training and monitoring of selected assessors and expert sensory assessors*. [Online] Available at: conto.uni.com/en/uni-en-iso-8586-2014 [Accessed 29 September 2024].

Vacanti, A. and Leonardi, C. (2024), "Tecnologia, energia e tempo – Percorsi sperimentali per il design di tecnologie appropriate | Technology, energy, and time – Experimental paths for the design of appropriate technology", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 316-323. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15262024 [Accessed 29 September 2024].

Valenti, A. and Pasquero, C. (2021), "La seconda vita dei micro organismi – Il design biodigitale per una nuova ecologia dello spazio e del comportamento | The second life of micro-organisms – Bio-digital design for a new ecology of space and behaviour", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 9, pp. 42-53. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/942021 [Accessed 29 September 2024].

van Eck, A. and Stieger, M. (2020), "Oral processing behavior, sensory perception and intake of composite foods", in *Trends in Food Science & Technology*, vol. 106, pp. 219-231. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.008 [Accessed 29 September 2024].

van Kleef, E., Shimizu, M. and Wansink, B. (2012), "Serving Bowl Selection Biases the Amount of Food Served", in *Journal of Nutrition Education and Behavior*, vol. 44, issue 1, pp. 66-70. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jneb.2011.03.001 [Accessed 29 September 2024].

Velasco, C., Michel, C., Youssef, J., Gamez, X., Cheok, A. D. and Spence, C. (2016), "Colour-taste correspondences – Designing food experiences in meet expectations or to surprise", in *International Journal of Food Design*, vol. 1, issue 2, pp. 83-102. [Online] Available at: doi.org/10.1386/ijfd.1.2.83_1 [Accessed 29 September 2024].

Vermeir, I. and Roose, G. (2020), "Visual Design Cues Impacting Food Choice – A Review and Future Research Agenda", in *Foods*, vol. 9, article 1495, pp. 1-60. [Online] Available at: doi.org/10.3390/foods9101495 [Accessed 29 September 2024].

Vettel, P. (2013), *Good Eating's Fine Dining in Chicago*, Agate Publishing, Chicago.

Vilgis, T. A. (2013), "Texture, taste and aroma – Multi-scale materials and the Gastrophysics of food", in *Flavour*, vol. 2, article 12, pp. 1-5. [Online] Available at: doi.org/10.1186/2044-7248-2-12 [Accessed 29 September 2024].

Wagner, R. (1850), *Das Kunstwerk Der Zukunft*, Otto Wigand, Leipzig.

Wan, X., Woods A. T., van den Bosch, J. J. F., McKenzie, K. J., Velasco, C. and Spence, C. (2014), "Cross-cultural differences in crossmodal correspondences between tastes and visual features", in *Frontiers in Psychology*, vol. 5, article 1365, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01365 [Accessed 29 September 2024].

Weinberger, B. (2022), "New United Nations Population Estimates and Projections", in *populationconnection.org*, 19/09/2022. Online] Available at: populationconnection.org/article/new-united-nations-population-estimates-and-projections/ [Accessed 29 September 2024].

Welch, W., Youssef, J. and Spence, C. (2016), "Neuro-cutlery – The next frontier in cutlery design", in *Supper Magazine*, vol. 4, pp. 128-129.

Woods, A. T., Poliakoff, E., Lloyd, D. M., Kuenzel, J., Hodson, R., Gonda, H., Batchelor, J. Dijksterhuis, G. B. and Thomas, A. (2011), "Effect of background noise on food perception", in *Food Quality and Preference*, vol. 22, issue 1, pp. 42-47. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.07.003 [Accessed 29 September 2024].

Zampini, M. and Spence, C. (2004), "The role of auditory cues in modulating the perceived crispness and staleness of potato chips", in *Journal of Sensory Studies*, vol. 19, issue 5, pp. 347-363. [Online] Available at: doi.org/10.1111/j.1745-459x.2004.080403.x [Accessed 29 September 2024].

Zarzo, M. (2007), "The sense of smell – Molecular basis of odorant recognition", in *Biological Reviews*, vol. 82, issue 3, pp. 455-479. [Online] Available at: doi.org/10.1111/j.1469-185X.2007.00019.x [Accessed 29 September 2024].

Zurlo, F. (2012), *Le strategie del design – Disegnare il valore oltre il prodotto*, Libraccio Editore, Milano.

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 278-289
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/16232024

Article Info

Received 10 September 2024
Revised 10 October 2024
Accepted 12 October 2024
Published 30 December 2024

CORPI, MENTI E DESIGN
Un approccio integrato per l'innovazione museale

BODIES, MINDS, AND DESIGN
An integrated approach to museum innovation

Antonella Rosmino

Abstract

Il contributo esplora l'impatto delle tecnologie emergenti, con un focus particolare alle interfacce cervello-computer (BCI), nell'esperienza museale. Analizzando diversi casi studio si evidenziano le potenzialità delle BCI per il design della comunicazione visiva utili a personalizzare l'interazione tra visitatore e opera d'arte, rendendo le esperienze più coinvolgenti e significative. Per superare le limitazioni degli approcci attuali si propone una riflessione per un modello integrato che combina neuroscienze, design e scienze umane, centrato sull'individuo e sulla sua interazione con l'ambiente. Questo incontro interdisciplinare che, nell'ambito della Comunicazione Visiva per i Beni culturali non ha tradizioni di progettazione consolidate da cui partire, mira a offrire nuove prospettive di ricerca per la valorizzazione delle percezioni individuali durante le esperienze di fruizione multisensoriale del Patrimonio culturale.

This paper explores the impact of emerging technologies, with a particular focus on Brain-Computer Interfaces (BCI), within the museum experience. Analysing various case studies highlights the potential of BCIs in visual communication design to personalise the interaction between the visitor and artwork, making experiences more engaging and meaningful. To overcome the limitations of current approaches, the paper proposes a reflection on an integrated model that combines neuroscience, design, and the humanities, centred on the individual and their interaction with the environment. This interdisciplinary approach, which lacks established design traditions in Visual Communication for Cultural Heritage, aims to offer new research perspectives to enhance individual perceptions during multisensory experiences of cultural heritage.

Keywords

interazioni complesse, museo inclusivo, visual design interattivo, rappresentazioni mentali personalizzate, interfacce cervello-computer

complex interactions, inclusive museum, interactive visual design, personalised mental representations, brain-computer interfaces



Antonella Rosmino holds a degree in Design for Innovation from the 'Luigi Vanvitelli' University of Campania (Italy). She conducts research within the 'National PhD Programme in Design for Made in Italy – Identity, Innovation, and Sustainability', focusing on accessibility and the development of communication strategies for cultural heritage. Mob. +39 389/01.46.148 | E-mail: antonella.rosmino@unicampania.it

La sempre più stretta interconnessione tra uomo e tecnologia, che definisce l'attuale condizione post-digitale della contemporaneità, ha accelerato il processo di riflessione critica verso tutti i paradigmi 'oggettivanti' della modernità, promuovendo collaborazioni interdisciplinari e una maggiore consapevolezza delle complesse relazioni tra individuo, società e ambiente (Dal Falco, 2019). Come parte integrante di un 'ecosistema relazionale' in continua evoluzione, oggi l'uomo interagisce con entità naturali e artificiali dotate di intelligenza propria, con le quali co-evolve e comunica attraverso nuove modalità (Parisi, 2019; Iaconesi and Persico, 2021).

Le tecnologie digitali, inizialmente concepite come strumenti a servizio dell'uomo, si sono evolute fino a diventare estensioni delle capacità cognitive e fisiche. L'interazione uomo-macchina, un tempo unidirezionale, è diventata sempre più complessa e multidirezionale, con macchine che non solo rispondono ai comandi ma anticipano le esigenze e si adattano ai comportamenti degli utenti (Suchman, 2006; Zannoni, Sicklinger and Pezzi, 2021). Questi 'mediatori esperienziali' modellano attivamente il modo in cui le persone interagiscono tra loro e il mondo circostante, ridefinendo comportamenti, abitudini e persino l'identità personale (Neff, Jordan and McVeigh-Schultz, 2012; Barone and Barbanti, 2020; Dall'Osso, D'Alessandro and Melappioni, 2022).

Alla luce di queste premesse si propone una lettura critica delle tecnologie digitali nel complesso ecosistema dei Beni culturali, evidenziando la necessità di ripensare al Design della Comunicazione Visiva nel suo ruolo di mediatore e costruttore di un terreno di dialogo comune. Sebbene le Istituzioni culturali riconoscano la centralità del visitatore resta da valutare in che misura le tecnologie possano realmente influenzare la 'costruzione di significato'; il contributo quindi esplora diversi approcci all'uso della tecnologia nel contesto museale come strumento inclusivo.

Il primo paragrafo ne discute il suo essere uno strumento abilitante, in grado di promuovere una partecipazione attiva del pubblico e di sviluppare buone pratiche che favoriscano un'interazione dinamica con il Patrimonio culturale. Il secondo paragrafo evidenzia come l'evoluzione degli strumenti, fino alle Brain-Computer Interfaces (BCI), abbia spesso condotto a un uso riduttivo e passivo della tecnologia, in cui l'enfasi è posta prevalentemente sull'acquisizione di dati quantitativi piuttosto che qualitativi dell'interazione. Il terzo paragrafo esplora l'approccio creativo alle BCI come strumenti capaci di innescare relazioni dialogiche tra l'utente, gli oggetti e l'ambiente circostante attraverso l'esempio del lavoro di Suzanne Dikker. Il quarto paragrafo esamina criticamente le ricerche presentate in precedenza proponendo, nelle conclusioni, un percorso possibile per affrontare le criticità individuate, facendo riferimento al quadro teorico dell'Embedded Embodiment Cognition che definisce la cognizione come il risultato dell'interazione tra mente, corpo e ambiente e riconosce nei limiti fisici del corpo i fattori chiave che influenzano il modo in cui percepiamo e interpretiamo il mondo esterno (Noë, 2006; Erioli, 2013).

Pratiche per il coinvolgimento del visitatore e per la rimediazione dei Beni culturali | Le nuove direttive dell'International Council of Museums (ICOM, 2022) hanno incoraggiato i musei a ridefinire il proprio ruolo come agenti attivi sul territorio, impegnandosi a comprendere le esigenze delle comunità e a promuovere pratiche volte alla rimozione di ogni tipo di barriera (fisica, cognitiva o psicosensoriale) per garantire l'accessibilità a tutti, riconoscendo e valorizzando l'identità di ogni individuo, compresi coloro che non rientrano nel profilo del visitatore tradizionale (Ramadori, 2023).

A partire dalla fine del secolo scorso, la 'comunicazione' e la 'mediazione' hanno acquisito un ruolo centrale nella gestione museale, favorendo ricerche sulla personalizzazione delle esperienze (Hooper-Greenhill, 2000; Desvallées and Mairesse, 2010; Ardissono, KufliK and Petrelli, 2012). Questo cambiamento ha portato a una nuova prospettiva in cui il visitatore è elevato al pari dell'opera d'arte e l'esperienza museale fluisce in un dialogo inclusivo e partecipativo per stimolare riflessioni, azioni e cambiamenti concreti (Simon, 2010; Bonacini, 2024).

Lo stato di emergenza pandemica ha favorito lo sviluppo di strumenti come cataloghi online, forum di discussione e profili sui social network (YouTube, Instagram, Facebook) per facilitare le interazioni dirette tra musei e visitatori, ampliando le pratiche partecipative e attivando la 'rimediazione' dei contenuti da parte degli utenti. La condivisione online ha contribuito all'arricchimento continuo della memoria collettiva e alla costruzione di una narrazione storica che integra il punto di vista scientifico con quello personale del 'comune cittadino', co-autore nel processo di ri-significazione del Patrimonio culturale (Brusaporci and Maiezza, 2018).

L'avvento delle tecnologie digitali e l'adozione di strumenti multimediali avanzati come la realtà virtuale e aumentata, l'Internet of Things, le riproduzioni 3D e i touchscreen interattivi hanno trasformato le logiche espositive e comunicative dei musei, migliorando l'accessibilità e valorizzando la narrazione degli oggetti nel loro contesto originario (Luigini and Panciroli, 2018; Bilotto, 2019; Gargano, 2020; Lo Turco, Giovannini and Tomalini, 2021; Figg. 1-3). Queste innovazioni promuovono nuove forme di fruizione ed educazione in cui il visitatore è protagonista attivo della propria esperienza formativa (Di Benedetto, 2021; Dal Falco and Bonomi, 2021).

Le installazioni immersive e interattive – che talvolta si sovrappongono o sostituiscono i tradizionali strumenti museali – rievocano eventi passati e favoriscono il coinvolgimento fisico del visitatore, chiamato a interagire con gli oggetti in maniera naturale (Figg. 4, 5): come attore delle vicende messe in scena, il visitatore influisce sulle opere esposte e sulla linearità della narrazione, promuovendo la creazione di significato e un maggiore coinvolgimento emotivo. Nella complessità di queste relazioni, l'unione tra tangibile e intangibile, tra passato e presente, dà vita a esperienze culturali ricche e personalizzate, dove la co-creazione e partecipazione sono elementi primari (Lupo, 2021; Bollini and Borsotti, 2023).

Il delicato equilibrio tra il design degli spazi espositivi e le risposte emotive del fruitore | La ricerca del benessere nel contesto museale ha incentivato il coinvolgimento continuativo delle persone, nella creazione e nella co-creazione delle esperienze e dei contenuti, all'interno di un ambiente progettato e intenzionale. Soprattutto negli ultimi anni la progettazione museale è sempre più supportata da team multidisciplinari e da metodologie neurocognitive, che mirano ad allineare l'ambiente costruito ai processi cognitivi e alle emozioni dei visitatori (Figg. 6, 7).

In questa prospettiva è stato verificato che l'attività neurale genera campi elettrici e magnetici che possono essere misurati per identificare le regioni cerebrali coinvolte in determinate funzioni cognitive e motorie (O'Connor, Rees and Joffe, 2012). Le diverse aree del cervello, responsabili di funzioni distinte, forniscono dati preziosi su quali funzioni siano attivate volontariamente o involontariamente. Ad esempio, compiti come prendere decisioni, fare calcoli o decidere un movimento sono attività cerebrali evocate volontariamente, mentre stimoli multisensoriali, il sentimento o la memorizzazione, possono attivare regioni cerebrali in modo involontario influenzando stati come fatica, frustrazione o eccitazione.

Queste conoscenze vengono integrate nella progettazione degli spazi espositivi per cercare di regolare e migliorare lo stato emotivo e cognitivo dei visitatori in relazione alla forma e alle caratteristiche degli oggetti esposti, all'organizzazione e disposizione degli spazi espositivi e alle modalità di interazione delle persone con gli spazi e gli oggetti stessi.

La ricerca sulle emozioni si è largamente diffusa poiché esse svolgono un ruolo cruciale nel connettere i visitatori al Patrimonio culturale: anche in assenza di una comprensione approfondita un oggetto museale può suscitare risposte emotive immediate (Fig. 8), facilitando la memoria, l'apprendimento e l'esplorazione di emozioni nascoste (Fernandes et alii, 2019; Jagošová, 2020; Banzi, 2022; Yang and Huang, 2024). Tuttavia è essenziale non generare emozioni artificiali ma esaltare, con la tecnologia, quelle autentiche evocate dalla relazione con l'oggetto. A questo proposito – per delineare anche l'avanzamento della ricerca nel contesto italiano – sono presentati tre approcci delle BCI al contesto museale che analizzano empiricamente e sfruttano dati neuroscientifici per migliorare l'esperienza dei visitatori, comprendere le loro emozioni e personalizzare la fruizione delle opere d'arte.

Il progetto ASBA (Anxiety, Stress, Brain-friendly Museum Approach) propone di implementare nei musei d'arte e scientifici, metodologie come la Mindfulness, l'Art Therapy, VTS, Art Up e Green Art per valorizzare le collezioni e migliorare il benessere dei visitatori. Insieme allo State Anxiety Inventory (SAI), l'uso di BCI serve a monitorare e analizzare il profilo elettrocorticale dei partecipanti per valutare l'impatto di queste tecniche terapeutiche sul benessere percepito.

Il progetto è stato attuato dal 2022 alla Galleria d'Arte Moderna e al Museo di Storia Naturale di Milano e persegue altri macro obiettivi quali: la validazione dell'ambiente museale come spazio sociocognitivo per il benessere e la valorizzazione delle collezioni museali; l'adattamento e la standardizzazione delle suddette metodologie all'interno del contesto museale; l'analisi e il riscontro con i partecipanti dell'effetto delle tecniche sul benessere percepito; l'ampliamento del pubblico dei musei; il progetto mira a creare anche un database per migliorare le attività museali esistenti e progettarne di nuove, favorendo la sostenibilità a lungo termine delle iniziative proposte (Lucchiari et alii, 2024).

Sebbene le metodologie terapeutiche possano contribuire al benessere generale dei visitatori, è necessario valutare se queste pratiche siano in linea con la missione principale dei musei, che è quel-



Fig. 1 | The app's homepage and mobile interface (credit: E. Picchio, 2020).

la di connettere il pubblico alla memoria culturale e storica, promuovere l'educazione e garantire l'accessibilità al Patrimonio. Tre aspetti critici, che emergono da questo approccio, riguardano l'impatto di tali metodologie sul tempo di permanenza dei visitatori, il rischio di deviare l'attenzione dal valore educativo e culturale delle collezioni verso un approccio focalizzato sul benessere personale e l'effettiva adattabilità e accessibilità a tutti.

Nel 2018 Intesa Sanpaolo Innovation Center e Intesa Sanpaolo Gallerie d'Italia (Piazza Scala) hanno condotto con la società TSW uno studio su quattro opere d'arte presenti in Gallerie di Italia nell'ambito della mostra dal titolo L'Ultimo Caravaggio – Eredi e Nuovi Maestri con l'obiettivo di valutarne l'impatto emotivo su un campione di 30 volontari. A supporto dello studio sono stati integrati alla BCI, un 'eye tracking' per l'analisi delle fissazioni oculari e uno 'stress bracelet' per monitorare i cambiamenti della conduttanza cutanea: dall'analisi dei dati provenienti dai tre metodi, lo studio suggerisce che per favorire il flusso esperienziale di fruizione artistica e facilitare i processi di memorizzazione è opportuno privilegiare l'uso di opere ad alto impatto emotivo, con elevato 'engagement' e 'motivation' nella parte iniziale (effetto primacy) e finale (effetto recency) del percorso.

L'osservazione del comportamento oculare potrebbe ispirare la creazione di contenuti ad hoc che mettano in risalto aspetti dell'opera non immediatamente evidenti; infine suggerisce un'analisi dei contenuti aggiuntivi come i video, per capirne il contributo nel miglioramento dell'esperienza complessiva dell'opera (Caldato et alii, 2018; Pietrini et alii, 2018).

La proposta di distribuire le opere all'interno delle sale espositive basandosi esclusivamente sull'impatto emotivo rischia di ridurre l'esperienza museale a una semplice successione di stimoli emozionali, a scapito del valore educativo delle opere. È fondamentale quindi valutare l'influenza del contesto espositivo sui dati raccolti e chiarire le implicazioni pratiche della selezione o esclusione delle opere. Sebbene un percorso espositivo attentamente progettato possa migliorare l'esperienza dei visitatori, non vi è garanzia che questo approccio raggiunga gli obiettivi educativi del museo o promuova una maggiore accessibilità per un pubblico più ampio. Per quanto riguarda le opere meno apprezzate, potrebbe essere favorevole esplorare nuovi approcci narrativi che ne valorizzino la comprensione, piuttosto che basare le scelte curatoriali unicamente sui dati raccolti.

Il progetto BrainArt (2018), condotto presso il Dipartimento di Informatica dell'Università di Bari, ha avuto l'obiettivo di analizzare tramite una BCI il coinvolgimento visivo di 24 utenti in relazione a diverse opere d'arte durante visite museali sia virtuali che reali. Per lo studio sono state selezionate 20 opere, tra sculture e pitture, tratte da wikiart.org, rappresentative di cinque periodi storici definiti da WikiArt: Arte medievale, Arte rinascimentale, Arte post-rinascimentale, Arte moderna e Arte contemporanea.

I dati raccolti suggeriscono la possibilità di sviluppare un sistema di raccomandazione e personalizzazione delle visite museali: l'idea è che, per ridurre il carico cognitivo e migliorare l'esperienza del visitatore, si possano utilizzare indicatori di 'coinvolgimento' e 'interesse' per offrire suggerimenti che adattino la visita agli interessi e alle preferenze individuali. Inoltre si è ipotizzato che l'interpretazione dello stato mentale dell'utente possa essere utilizzata come strumento di controllo per l'adattamento automatico del sistema di profilazione degli utenti (Abbattista, Carofiglio and De Carolis, 2019).

L'utilizzo della BCI per il monitoraggio del coinvolgimento e dell'interesse dei visitatori rischia di rimanere ancorato a metodologie del passato, evidenziando l'obsolescenza degli strumenti utilizzati. L'idea di sviluppare un sistema di raccomandazione che copra un ampio spettro di stili artistici ha sicuramente aspetti positivi sulla riduzione del carico cognitivo; tuttavia resta da valutare se questo possa effettivamente migliorare l'esperienza del visitatore senza introdurre pregiudizi tecnologici all'esperienza estetica e ridurre la spontaneità della fruizione. In sintesi, i limiti e criticità principali degli approcci menzionati risiedono nella necessità di integrare queste metodologie nella missione museale senza deviare dall'aspetto educativo, garantire che le tecnologie siano adattabili e accessibili a tutti, evitare l'obsolescenza degli strumenti utilizzati e assicurare la sostenibilità a lungo termine delle iniziative proposte.

Le BCI attraverso lo sguardo artistico | Gli artisti che lavoravano con le BCI, d'altra parte, hanno avuto la capacità di andare oltre la valutazione quantitativa di queste tecnologie esplorandone l'impatto epistemologico, emotivo ed educativo: hanno democratizzato questi strumenti trasformandoli in mezzi per intessere reti di comunicazione tra singoli individui o una moltitudine (Sobell, 2019).

Il rilevamento dell'attività cerebrale e la sua traduzione in performance artistiche multisensoriali sono stati oggetto di sperimentazione sin dalla fine degli anni Sessanta e l'inizio degli anni Settanta del secolo scorso. All'epoca le possibilità per acquisire, processare, manipolare e trasformare l'attività cerebrale erano limitate dalla potenza di calcolo dei computer, dall'impossibilità di riconoscere schemi e dall'assenza di interfacce user-friendly. I risultati delle ricerche venivano generalmente presentati in forma visiva su un oscilloscopio o in forma uditiva tramite altoparlanti. Utilizzare le onde cerebrali in performance e installazioni interattive, quindi, era un compito estremamente impegnativo (Nijholt, 2019).

Anche in questo contesto ai processi rigorosi era necessario affiancare la collaborazione tra artisti e ricercatori in informatica, l'interazione uomo-computer e le neuroscienze per superare confini autoimposti e promuovere la riflessione e la comprensione profonda che emergono dagli scambi tra le persone e l'ambiente circostante.

La collaborazione tra la neuroscienziata cognitiva S. Dikker e l'artista tecnologico Matthias Oostrik si è fondata sulla messa in discussione delle coppie dicotomiche soggettivo / oggettivo e mente / corpo cercando nella danza la sincronizzazione delle onde cerebrali. Nella performance sperimentale Harmonic Dissonance – Synchron(icit)y (2018) due ballerini si sono esibiti in un 'doppio duetto': al movimento corporeo si aggiungeva una animazione Flow-Tools delle onde cerebrali proiettate alle loro spalle (Figg. 9, 10). Seguendo il flusso della performance i ballerini potevano avvicinarsi e fondersi man mano che aumentava la sincronizzazione delle onde cerebrali, oppure allontanarsi l'uno dall'altro quando le onde cerebrali diventano più dissonanti; inoltre potevano scegliere di agire in modo indipendente oppure restare immobili; in questo modo, in assenza dell'attività fisica, la sincronia poteva manifestarsi nella proiezione del loro mondo mentale.

Sebbene Harmonic Dissonance – Synchron(icit)y non sia stata concepita come un'installazione interattiva, ma come una performance da eseguire di fronte a un pubblico, l'intento di Dikker e Oostrik è stato quello di dimostrare come il coinvolgimento corporeo e l'attenzione alla coordinazione, riflessione, unisono, anticipazione, risonanza, gioco, ecc. potessero generare anche un senso di unità e sincronizzazione mentale. Nel 2018 tale effetto è stato ricercato attraverso un esperimento pilota al Ballet National de Marseille, dove l'opera è stata eseguita come parte di un progetto di ricerca sulla performance con elettroncefalogramma (EEG) che ha raccolto dati dai ballerini e dal pubblico.

Con un grado di complessità maggiore, determinata dalle condizioni imposte dal collettivo, potremmo considerare NeuroTango (2014; Fig. 11), l'altro progetto dedicato alla sincronizzazione mentale. Durante una serata dedicata alla discussione sulla connessione emotiva nella danza, in particolare nel tango, è stata utilizzata una BCI come strumento di gara: due coppie di ballerini di tango danzavano per ottenere il punteggio di sincronizzazione più alto in diverse 'condizioni', come ballare con partner familiari, cambiare partner, ballare con musica, ballare senza musica, ascoltare musica senza ballare e nel silenzio totale. Anche se i dati non sono stati utilizzati per scopi scientifici, l'ambiente di neurofeedback / performance / esperimento ha funzionato come esempio concreto per sviluppare l'analisi EEG durante l'esecuzione di movimenti rapidi, la sincronizzazione durante azioni collettive e gli effetti emotivi della connessione nella danza (Dikker, Montgomery and Tunca, 2019).

Entrambe le sperimentazioni artistiche dimostrano il potenziale delle BCI nel favorire connessioni profonde tra individui, esplorando dimensioni estetiche, emotive e cognitive che vanno oltre un approccio meramente utilitaristico alla tecnologia. Attraverso l'espressione multisensoriale dei dati queste esperienze ampliano le possibilità di comunicazione al di là dei confini del linguaggio verbale e corporeo tradizionale, promuovendo un'interconnessione più profonda tra mente, corpo e ambiente circostante.

Tuttavia la selezione, seppur non esaustiva, delle esperienze progettuali legate alla dimensione esperienziale del dato evidenzia criticità significative nella possibilità di generalizzare o persino raccogliere i dati in modo sistematico. Questi progetti infatti non si configurano come veri e propri studi di ricerca scientifica, ma piuttosto come performance

artistiche finalizzate a valorizzare le emozioni e l'interconnessione tra mente, corpo e ambiente. I limiti tecnologici, la complessità delle BCI e l'attenzione alla dimensione emotiva rendono difficile trasformare queste esperienze in dati generalizzabili, confermando che l'obiettivo principale non è la raccolta rigorosa di informazioni, ma la creazione di nuove modalità di espressione e di comunicazione multisensoriale.

Strategie multidisciplinari innovative per l'accessibilità alle opere d'arte | Il Design ha accompagnato l'evoluzione del museo riuscendo a guidare il progetto della valorizzazione, custodia e comunicazione grazie ai nuovi strumenti e linguaggi, mediando la relazione con il pubblico e talvolta coinvolgendolo nel processo di ideazione dell'esperienza; bisogna tuttavia valutare se i risultati raggiunti non si limitano solo a questioni formali che non riescono a contribuire a una reale consapevolezza e interiorizzazione del passato. Pertanto nel contesto attuale e alla luce della crescente sensibilità verso le minoranze, come sottolineato da Casiddu et alii (2022), anche i processi necessitano di un aggiornamento.

L'uso di modelli predefiniti come le 'personas' e l'applicazione delle BCI come strumenti di raccomandazione, oltre alle criticità già discusse, conferma diversi limiti: essi rischiano di semplificare eccessivamente la complessità degli utenti, di non coglierne le reali emozioni (Mowla et alii, 2020) confermando così l'obsolescenza degli strumenti (Pavlidis, 2018; Alarcão and Fonseca, 2019; Nikolaou, 2024). L'impiego di algoritmi di profilazione può portare alla creazione di stereotipi basati su sesso ed età (Altieri, Ceccacci and Giraldi, 2021), genere o cultura, contraddicendo i principi del Design for All che promuovono soluzioni orientate ai bisogni, alle aspirazioni e alle abilità individuali.

Si potrebbe innovare combinando le conoscenze esistenti con le capacità tecnologiche avanzate ma sovvertendone la modalità d'uso (Ramoglu, 2019) per creare contenuti che favoriscano una costruzione di senso e rispecchiamento per i singoli fruitori assunti come partecipanti attivi (Sanders and Stappers, 2016) nel processo di valorizzazione. Le pratiche artistiche con le BCI (Figg. 12, 13) propongono un modello prezioso per il Design della Comunicazione Visiva applicato ai Beni culturali: integrando un approccio critico e creativo (Dunne and Raby, 2013) il Design può adottare simili strategie per stimolare interazioni più profonde e personali con il pubblico, trasformando la tecnologia da semplice strumento di supporto a catalizzatore di esperienze culturali trasformative che riflettono e valorizzano la soggettività e capacità sensoriale (Merleau-Ponty, 1945; Spence, 2011; Deroy and Spence, 2013) individuale, favorendo il dialogo tra l'opera e il fruitore.

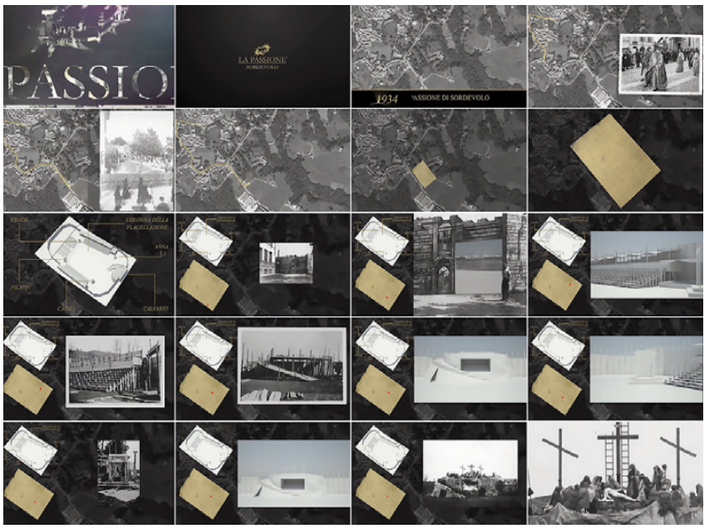
Le BCI, un tempo confinate ai laboratori di ricerca, grazie a numerosi sforzi (Schmorrow and Kruse, 2002; Shelly, 2020) sono oggi disponibili per un uso diversificato, permettendo di controllare ambienti domestici, vivere esperienze di gioco innovative e persino esprimere creatività attraverso il controllo volontario dell'attività cerebrale. Questa evoluzione tecnologica ha portato alla nascita di 'agenti intelligenti' (Floridi, 2014) con un certo grado di autonomia e reattività agli stimoli esterni (Dal Falco, Veneziano and Carlomagno, 2022; Figg. 14, 15) possono simulare processi creativi, permettendo di gestire elementi visivi come linee, colori e movimenti attraverso i livelli di attenzione (Zitong et alii, 2021; Figg. 16, 17); inoltre possono modulare l'aspetto degli oggetti in relazione allo stato emotivo, favorendo una maggiore consapevolezza di sé e offrendo strumenti interattivi per esplorare e comprendere le proprie emozioni come nelle diverse interpretazioni del Design Speculativo (Figg. 18, 19).

Conclusioni | Per garantire un'esperienza museale inclusiva e accessibile, a prescindere dalle capacità sensoriali o culturali, si propone un approccio che integra competenze interdisciplinari provenienti dall'informatica, dalle neuroscienze, dall'ingegneria, dalla psicologia della percezione e dal design visivo. Tale approccio si ispira al concetto di Embedded Body Cognition che – con riferimento al tema qui trattato – sottolinea l'importanza di considerare come le diverse modalità di fruizione, influenzate dal contesto ambientale e dalle specifiche capacità sensoriali degli individui, contribuiscano a modellare la percezione dell'opera d'arte. La percezione, come processo attivo e costruttivo in cui il corpo e l'ambiente sono in costante dialogo (Cecchi, 2018), si riorganizza continuamente tra la memoria passata e la proiezione verso obiettivi futuri (Marconi, 2021) e quindi influenza il significato che il Bene culturale può assumere nel tempo (Luo, Doucè and Nys, 2023; Diamantopoulou, Christidou and Blunden, 2024).

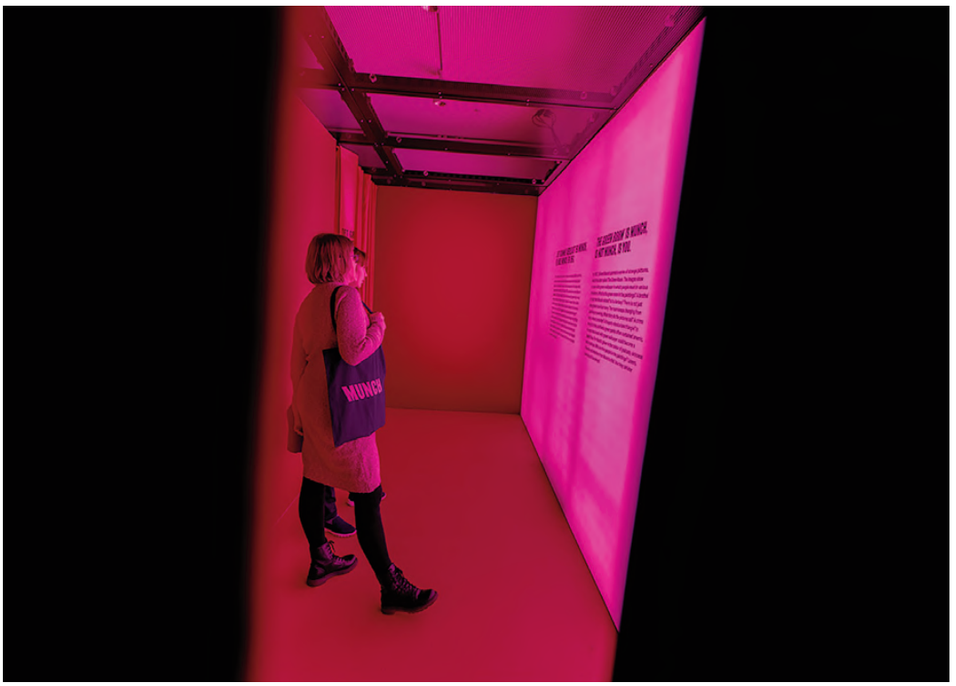
Con l'uso dell'EEG è possibile esplorare questi processi, permettendo di monitorare variazioni specifiche del segnale bioelettrico che derivano dalla stimolazione di una o più vie sensoriali (Hu and Shepley, 2022). Poiché la ricerca consente già di rielaborare immagini (Chen et alii, 2022) e parole (Tang et alii, 2023) a partire dai tracciati neurali, i designer possono immaginare di ricostruire le opere d'arte esprimendone la percezione del singolo individuo. In particolare, lo studio dei Potenziali Evento-Correlati, che emergono quando un soggetto attribuisce significato a uno stimolo a cui presta attenzione, può fornire indicazioni preziose sulle preferenze esperienziali del fruitore. Assumendo il digitale come un regno aperto, conversazionale ed eterogeneo (Marenko and van Allen, 2016) questi dati possono guidare il designer nella selezione dei contenuti da valorizzare, modellandoli con il supporto di software generativi.

Esistono numerosi limiti che questo approccio deve affrontare e verificare sul campo, a partire dallo sviluppo di competenze specialistiche, come quelle richieste per il dialogo tra le figure coinvolte nel progetto, fino agli aspetti economici legati al finanziamento e al sostegno della ricerca. La privacy e la protezione dei visitatori sono altri temi cruciali, specie considerando la raccolta di dati, la cui difficoltà di rilevamento e affidabilità sono ben documentate (Spence, 2019; Kansra et alii, 2022). Tuttavia l'integrazione dei dati con la IA potrebbe consentire il superamento delle categorizzazioni tradizionali basate su genere, età o background culturale, offrendo un nuovo paradigma utile a comprendere e personalizzare l'esperienza culturale.





Figg. 2, 3 | Comparison between digital modelling for reconstruction and the actual exhibition set-up; Significant frames from the video created for the new exhibition at the Museum of the Passion (credits: E. Picchio, 2020; E. Giovannini, 2021).



Figg. 4, 5 | Poison – Munch Museum (credits: Kilian Munch, Munchmuseet, 2021).

Next page

Fig. 6 | Mindfulness in the Museum for Well-being (credit: S. Jahan, 2022).

Fig. 7 | Art therapy in the Museum for Well-being (credit: The Montreal Museum of Fine Arts, 2018).

Fig. 8 | Video frames from the project by The Mill in collaboration with artist Steph Li for ArtFund (credit: The Mill, 2023).



Attraverso l'osservazione diretta e sul campo i dati possono fornire indicazioni preziose per progettare soluzioni contestuali e inclusive, favorendo la creazione di un processo adattabile e trasferibile; ciò permetterebbe ai diversi stakeholder di definire e valutare parametri specifici con l'obiettivo di promuovere il benessere dell'individuo all'interno di esperienze culturali più personalizzate. In questo contesto e con questo approccio, il Design diventa un atto di mediazione tra il contenuto 'autorevole' dell'opera e la rappresentazione mentale dell'utente: l'interfaccia funziona come un ponte tra la realtà tangibile delle opere e la loro interpretazione soggettiva, promuovendo non solo la 'consapevolezza' (Valenti et alii, 2024), ma anche un processo di rispecchiamento e riconoscimento personale che eleva l'interazione museale a un livello più profondo di connessione e significato.

The increasing interconnectedness between humans and technology, which defines the current post-digital condition of contemporary times, has accelerated the critical reflection on all 'objectifying' paradigms of modernity, promoting interdisciplinary collaborations and greater awareness of the complex relationships between individuals, society, and the environment (Dal Falco, 2019). As an integral part of an evolving 'relational ecosystem', humans today interact with natural and artificial entities equipped with their intelligence, with which they co-evolve and communicate through new modes (Parisi, 2019; Iaconesi and Persico, 2021).

Digital technologies, initially conceived as tools at the service of humans, have evolved into extensions of cognitive and physical capacities. The once one-directional human-machine interaction has become increasingly complex and multi-directional, with machines not only responding to commands but also anticipating needs and adapting to user behaviour (Suchman, 2006; Zannoni, Sicklinger and Pezzi, 2021). These 'experiential mediators' actively shape how people interact with each other and the world around them, redefining behaviours, habits, and even personal identity (Neff, Jordan and McVeigh-Schultz, 2012; Barone and Barbanti, 2020; Dall'Osso, D'Alessandro and Melappioni, 2022).

In light of these premises, a critical examination of digital technologies is proposed within the complex ecosystem of Cultural Heritage, emphasising the need to rethink Visual Communication Design as a mediator and builder of common ground for dialogue. Although cultural institutions recognise the centrality of the visitor, it remains to be assessed how much these technologies can truly influence the 'construction of meaning'. The paper explores various approaches to the use of technology in the museum context as an inclusive tool.

The first section discusses its role as an enabling tool, capable of promoting active public participation and developing best practices that encourage dynamic interaction with Cultural Heritage. The second section highlights how the evolution of tools, up to Brain-Computer Interfaces (BCIs), has often led to a reductive and passive use of technology, where the focus is mainly on collecting quantitative rather than qualitative interaction data. The third section explores the creative approach to BCIs as tools capable of triggering dialogic relationships between the user, objects, and the surrounding environment, exemplified by the Suzanne Dikker's work. The fourth section critically examines the previous research, proposing, in the conclusions, a possible path to address the identified challenges, referring to the







theoretical framework of Embedded Embodiment Cognition, which defines cognition as the result of the interaction between mind, body, and environment and recognises the physical limitations of the body as key factors that influence how we perceive and interpret the outside world (Noë, 2006; Erioli, 2013).

Visitor engagement practices and Remediation of Cultural Heritage | The new guidelines from the International Council of Museums (ICOM, 2022) have encouraged museums to redefine their role as active agents in their regions, focusing on understanding the needs of communities and promoting practices aimed at removing all types of barriers (physical, cognitive, or psycho-sensory) to ensure accessibility for everyone. This includes recognising and valuing the identity of every individual, even those who do not fit the profile of the traditional museum-goer (Ramadori, 2023).

Since the end of the last century, communication and mediation have gained a central role in museum management, fostering research on personalising experiences (Hooper-Greenhill, 2000; Desvallées and Mairesse, 2010; Ardissono, KufliK and Petrelli, 2012). This shift has led to a new perspective where the visitor is elevated to the same level as the artwork, and the museum experience flows into an inclusive, participatory dialogue aimed at inspiring reflections, actions, and concrete changes (Simon, 2010; Bonacini, 2024).

The pandemic emergency accelerated the development of tools like online catalogues, discussion forums, and profiles on social networks (YouTube, Instagram, Facebook). These tools facilitate direct interactions between museums and visitors, expand participatory practices, and enable users to remediate content. Online sharing has contributed to the ongoing enrichment of collective memory and the construction of a historical narrative that integrates the scientific perspective with the personal viewpoint of the common citizen, who becomes a co-author in the reinterpretation of cultural heritage (Brusaporci and Maiezza, 2018). The advent of digital technologies and the adoption of advanced multimedia tools such as virtual and augmented reality, the Internet of Things, 3D reproductions, and interactive touchscreens have transformed the exhibition and communication strategies of museums. These innovations improve accessibility and enhance the storytelling of objects within their original contexts (Luigini and Panciroli, 2018; Bilotto, 2019; Gargano, 2020; Lo Turco, Giovannini and Tomalini, 2021; Figg. 1-3). They promote new forms of education and engagement, where the visitor becomes an active protagonist of their learning experience (Di Benedetto, 2021; Dal Falco and Bonomi, 2021).

Immersive and interactive installations – sometimes overlapping or replacing traditional museum tools – recreate past events and encourage the visitor's physical involvement, calling on them to interact with objects naturally (Figg. 4, 5). In these setups, the visitor, as an actor in the staged narratives, influences the exhibited works and the linearity of the storyline, promoting the creation of meaning and greater emotional engagement. In the complexity of these relationships, the union of the tangible and intangible, of past and present, gives rise to rich and personalised cultural experiences where co-creation and participation are primary elements (Lupo, 2021; Bollini and Borsotti, 2023).

The delicate balance between exhibition design and visitor emotional responses | The quest for well-being in the museum context has fostered ongoing involvement in the creation and co-creation of experiences and content within a purposefully designed environment. In recent years, museum design has increasingly been supported by multidisciplinary teams and neuro-cognitive methodologies, which aim to align the built environment with visitors' cognitive processes and emotions (Figg. 6, 7).

From this perspective, neural activity has been shown to generate electrical and magnetic fields that can be measured to identify brain regions involved in certain cognitive and motor functions (O'Connor, Rees and Joffe, 2012). Different areas of the brain responsible for distinct functions provide valuable data on which functions are activated voluntarily or involuntarily. For example, tasks such as decision-making, performing calculations, or planning movement are voluntarily evoked brain activities. In contrast, multisensory stimuli, emotions, or memory can involuntarily activate brain regions, influencing states like fatigue, frustration, or excitement.

These insights are integrated into the design of exhibition spaces to regulate and enhance visitors' emotional and cognitive states about the form and features of the exhibited objects, the organisation and layout of the spaces, and the ways people interact with the spaces and objects themselves.

Research into emotions has spread widely as they play a crucial role in connecting visitors to cultural heritage. Even without a deep understanding, a museum object can evoke immediate emotional responses (Fig. 8), facilitating memory, learning, and the exploration of hidden emotions (Fernandes et alii, 2019; Jagošová, 2020; Banzi, 2022; Yang and Huang, 2024). It is essential, however, not to generate artificial emotions but to enhance, with technology, the authentic ones elicited by the relationship with the object. To advance research in this area in Italy, three approaches to Brain-Computer Interfaces (BCI) in the museum context are presented. These approaches empirically analyse and leverage neuroscientific data to improve visitors' experiences, understand their emotions, and personalise their interaction with artworks.

The ASBA (Anxiety, Stress, Brain-friendly Museum Approach) project proposes implementing Mindfulness, Art Therapy, VTS, Art Up, and Green Art in art and science museums to enhance collections and improve visitors' well-being. Together with the State Anxiety Inventory (SAI), BCIs are used to monitor and analyse participants' electrocortical profiles to assess the impact of these therapeutic techniques on perceived well-being.

This project was implemented in 2022 at the Galleria d'Arte Moderna and the Natural History Museum in Milan. It aims to validate the museum environment as a socio-cognitive space for well-being, enhance museum collections, standardise these methodologies within museums, analyse participants' feedback on well-being, and broaden the museum audience. Additionally, the project aims to create a database to improve existing museum activities and design new ones, fostering the long-term sustainability of the proposed initiatives (Lucchiari et alii, 2024).

Although therapeutic methodologies can contribute to visitors' overall well-being, it is necessary to assess whether these practices align with museums' primary mission: to connect the public with cultural and historical memory, promote education, and ensure accessibility to heritage. Three critical aspects of this approach involve the impact on visitors' length of stay, the risk of diverting attention from the educational and cultural value of the collections toward a focus on personal well-being, and the actual adaptability and accessibility of these practices for all.

In 2018, the Intesa Sanpaolo Innovation Center and Intesa Sanpaolo Gallerie d'Italia (Piazza Scala) conducted a study with the company TSW on four artworks featured in the Gallerie d'Italia as part of the exhibition titled L'Ultimo Caravaggio – Eredi e Nuovi Maestri (lit. The Last Caravaggio – Heirs and



Fig. 9 | Harmonic Dissonance – Synchron(icit)y (credit: S. Dikker and M. Oostrik, 2018).

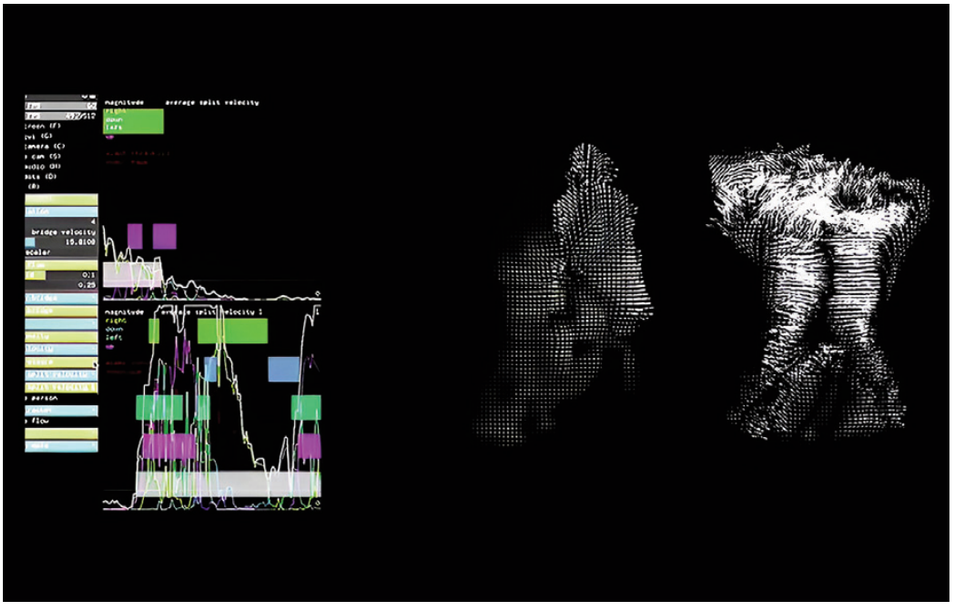


Fig. 10 | Harmonic Dissonance – Synchron(icit)y – FlowTools animation (credit: S. Dikker and M. Oostrik, 2018).



Fig. 11 | Neurotango (credit: S. Dikker and M. Oostrik, 2014).

Next page

Figg. 12, 13 | Video frames from Floor Space EEG test. Video frames from Electroencephalogram 3D Sculpture Geo version (credits: N. Cheung, 2023).

New Masters), to evaluate their emotional impact on a sample of 30 volunteers. To support the study, BCI was integrated with eye-tracking for analysing ocular fixations and a 'stress bracelet' to monitor changes in skin conductance. From the data collected from the three methods, the study suggests that to enhance the experiential flow of artistic appreciation and facilitate memory processes, works with high emotional impact ('engagement' and 'motivation') should be prioritised at the beginning (primacy effect) and end (recency effect) of the path.

Observing ocular behaviour could inspire the creation of content highlighting aspects of the artwork not immediately evident. Finally, the study suggests analysing additional content, such as videos, to understand their contribution to improving the overall experience of the artwork (Caldato et alii, 2018; Pietrini et alii, 2018).

The proposal to distribute works within the exhibition rooms solely based on their emotional impact risks reducing the museum experience to a mere succession of emotional stimuli, at the expense of the educational value of the works. Therefore, it is crucial to evaluate the influence of the exhibition context on the collected data and clarify the practical implications of selecting or excluding works. While a carefully designed exhibition path may enhance visitors' experiences, there is no guarantee that this approach will achieve the museum's educational objectives or promote greater accessibility to a broader audience. For lesser-appreciated works, it might be beneficial to explore new narrative approaches that enhance their understanding rather than base curatorial choices solely on collected data.

The BrainArt project (2018), conducted at the Department of Computer Science at the University of Bari, aimed to analyse, through BCI, the visual engagement of 24 users with different artworks during both virtual and real museum visits. Twenty works, including sculptures and paintings, representing five historical periods defined by WikiArt (Medieval Art, Renaissance Art, Post-Renaissance Art, Modern Art, and Contemporary Art), were selected for the study. The collected data suggest the possibility of developing a recommendation and personalisation system for museum visits. The idea is to reduce cognitive load and improve the visitor experience, engagement, and interest using indicators to offer suggestions that tailor the visit to individual interests and preferences. It was also hypothesised that interpreting the user's mental state could serve as a control tool for the automatic adaptation of the user profiling system (Abbattista, Carofiglio and De Carolis, 2019).

The use of BCI for monitoring visitor engagement and interest risks remains tied to outdated methodologies, highlighting the obsolescence of the tools employed. Developing a recommendation system that covers a wide range of artistic styles certainly has positive aspects in reducing cognitive load; however, it remains to be seen whether this can enhance the visitor experience without introducing technological biases or reducing the spontaneity of aesthetic appreciation. In summary, the main limitations and challenges of the mentioned approaches lie in the need to integrate these methodologies into the museum's mission without deviating from its educational purpose, ensuring that technologies are adaptable and accessible to all, avoiding the obsolescence of the tools used, and ensuring the long-term sustainability of the proposed initiatives.

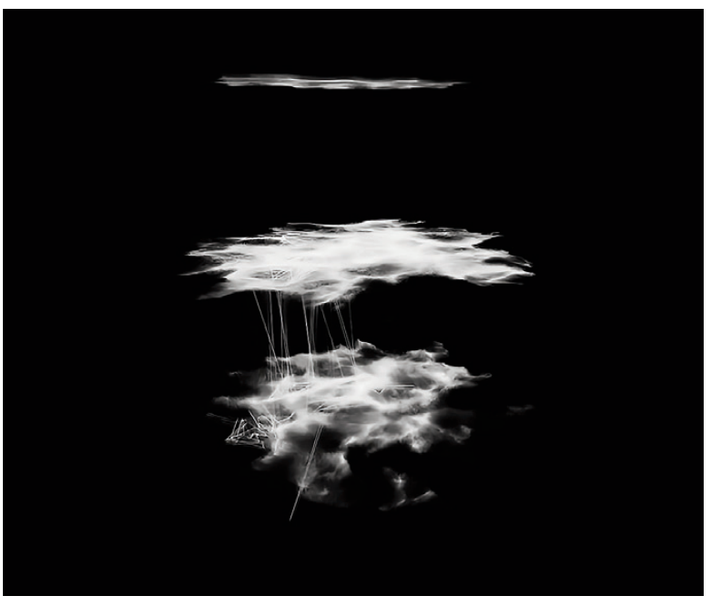
BCI through the artistic lens | Artists working with BCI, on the other hand, have been able to move beyond the quantitative evaluation of these technologies by exploring their epistemological, emotional, and educational impact: they have democratised these tools, transforming them into means for weaving communication networks between individuals or even crowds (Sobell, 2019).

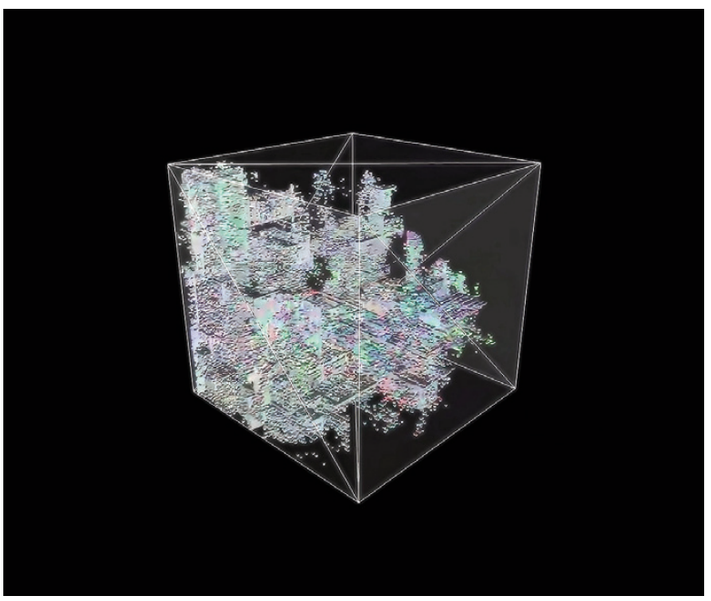
Since the late 1960s and early 1970s, brain activity detection and its translation into multisensory artistic performances have been areas of experimentation. At that time, the ability to acquire, process, manipulate, and transform brain activity was limited by the computing power of computers, the inability to recognise patterns, and the absence of user-friendly interfaces. The research results were generally presented visually on an oscilloscope or audibly through speakers. Using brainwaves in performances and interactive installations was, therefore, a highly challenging task (Nijholt, 2019). In this context, rigorous processes had to be accompanied by collaboration between artists and researchers in computer science, human-computer interaction, and neuroscience to transcend self-imposed boundaries and promote reflection and deep understanding that arise from exchanges between people and their environment.

The collaboration between cognitive neuroscientist S. Dikker and technological artist M. Oostrik was based on questioning dichotomies like subjective / objective and mind / body, seeking brainwave synchronisation in dance. In the experimental performance Harmonic Dissonance – Synchron(icit)y (2018), two dancers performed a 'double duet': in addition to physical movement, their brainwaves, animated by FlowTools, were projected behind them (Figg. 9, 10). As the performance unfolded, the dancers could move closer and merge as their brainwaves synchronised, or move apart when their brainwaves became more dissonant; they could also choose to act independently or remain still. In this way, in the absence of physical activity, the synchrony could manifest in the projection of their mental worlds.

Although Harmonic Dissonance – Synchron(icit)y was not designed as an interactive installation but as a performance to be executed before an audience, Dikker and Oostrik aimed to demonstrate how bodily involvement and attention to coordination, reflection, unison, anticipation, resonance, and play could also lead to a sense of unity and mental synchronisation. In 2018, this effect was pursued through a pilot experiment at the Ballet National de Marseille, where the work was performed as part of research on EEG-based performance, gathering data from both dancers and the audience.

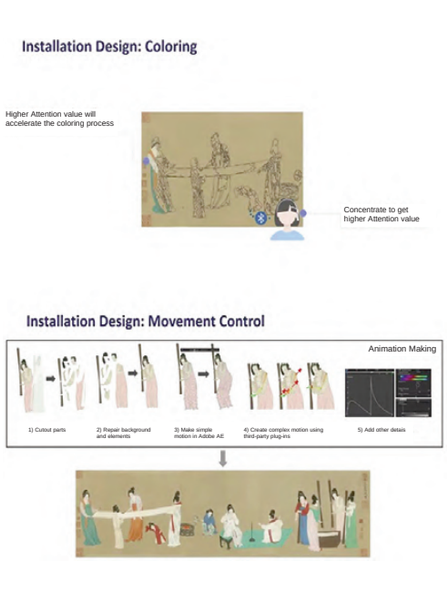
With a higher degree of complexity imposed by the collective's conditions, NeuroTango (2014; Fig. 11) is another project aimed at mental synchronisation. During an event dedicated to discussing emotional connection in dance, especially tango, a BCI was used as a competition tool: two pairs of tango dancers competed for the highest synchronisation score under different 'conditions', such as dancing with familiar partners, switching partners, dancing with music, dancing without music, listening to











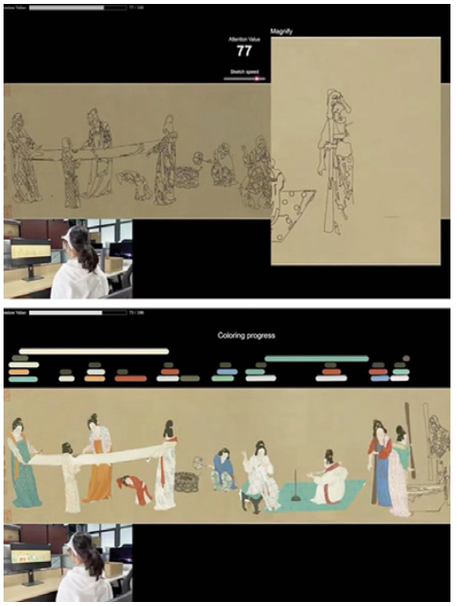


Fig. 14 | Electroencephalogram for autistic children by Anouk Wipprecht (credit: M. Dijkema, 2020).

Fig. 15 | Pangolin Scales, part of Transformation Projects at Kepler's Garden of Ars Electronica at the JUK (credit: A. Wipprecht, 2020).

Figg. 16, 17 | Video frames from the project 'Paint with Your Mind: Designing EEG-based Interactive Installation for Traditional Chinese Artworks' (source: Zitong et alii, 2021).

music without dancing, and in complete silence. Although the data was not used for scientific purposes, the neurofeedback / performance / experiment environment served as a concrete example for developing EEG analysis during rapid movements, synchronisation during collective actions, and the emotional effects of connection in dance (Dikker, Montgomery and Tunca, 2019).

Both artistic experiments demonstrate the potential of BCIs in fostering deep connections between individuals, exploring aesthetic, emotional, and cognitive dimensions that go beyond a purely utilitarian approach to technology. Through the multisensory expression of data, these experiences expand communication possibilities beyond the boundaries of traditional verbal and bodily language, promoting a deeper interconnection between mind, body, and environment.

However, the selection of project experiences related to the experiential dimension of data, although not exhaustive, highlights significant challenges in generalising or even systematically collecting the data. These projects do not constitute proper scientific research studies but rather artistic performances aimed at enhancing emotions and the interconnectedness of mind, body, and environment. The technological limitations, complexity of BCIs, and focus on the emotional dimension make it challenging to transform these experiences into generalisable data, confirming that the primary goal is not the rigorous collection of information but the creation of new modes of expression and multisensory communication.

Innovative multidisciplinary strategies for accessibility to works of art | Design has accompanied the evolution of museums, successfully guiding the project of enhancing, preserving, and communicating artworks through new tools and languages, mediating the relationship with the public, and sometimes involving them in the process of creating the experience. It is essential to consider whether the results achieved are limited to formal aspects without contributing to real awareness and internalisation of the past. Moreover, in the current context and in light of growing sensitivity toward minorities, as emphasised by Casiddu et alii (2022),



Fig. 18 | Participants in immersive installations during the experimentation of alpha signal amplitude and level of synchronicity (source: Shcattner et alii, 2023).

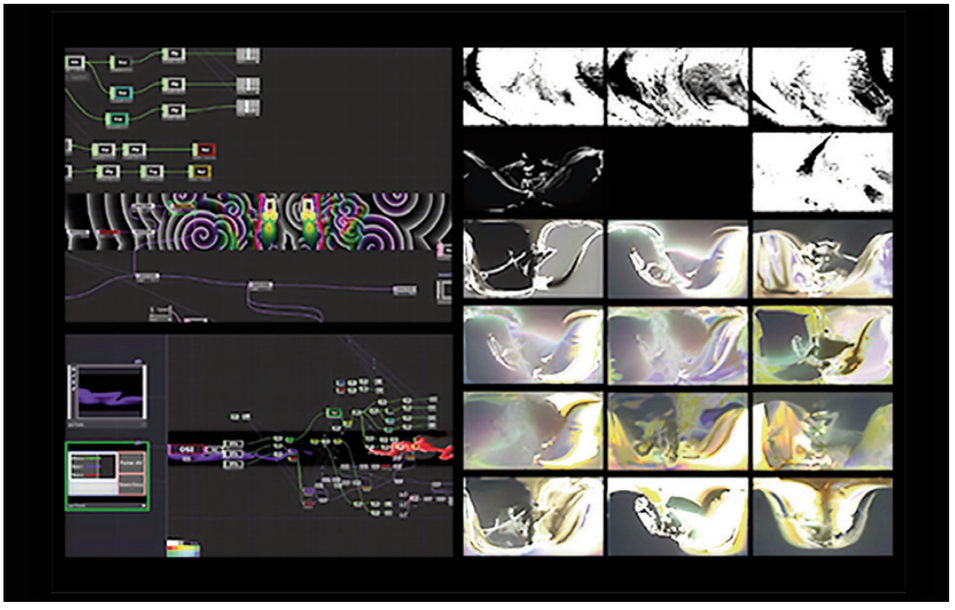


Fig. 19 | Design of Node Systems for Single and Combined NF in TouchDesigner and Frames from the Prototype Interface, illustrating the Transition between Single EEG Signals and Synchronicity (source: Shcattner et alii, 2023).

processes also need updating. The use of predefined models like 'personas' and applying BCI as recommendation tools, in addition to the already-discussed challenges, confirm several limitations: they risk oversimplifying the complexity of users and failing to capture their true emotions (Mowla et alii, 2020) confirming the obsolescence of the tools (Pavlidis, 2018; Alarcão and Fonseca, 2019; Nikolaou, 2024). The use of profiling algorithms can lead to the creation of stereotypes based on gender and age (Altieri, Ceccacci and Giraldi, 2021), gender or culture, contradicting the principles of Design for All, which promote solutions oriented to individual needs, aspirations, and abilities.

Innovation could be achieved by combining existing knowledge with advanced technological capabilities, subverting the usual methods (Ramoglu, 2019) to create content that fosters meaning-making and self-reflection for individual users, regarded as active participants (Sanders and Stappers, 2016) in the enhancement process. Artistic practices with BCI (Figg. 12, 13) offer a valuable model for visual communication design applied to cultural heritage: by integrating a critical and creative approach (Dunne and Raby, 2013), design can adopt similar strategies to stimulate deeper and more personal interactions with the public, transforming technology from a mere support tool into a catalyst for transformative cultural experiences that reflect and value individual subjectivity and sensory abilities (Merleau-Ponty, 1945; Spence, 2011; Deroy and Spence, 2013) fostering dialogue between the artwork and the viewer.

Once confined to research labs, BCI technologies, thanks to numerous efforts (Schmorrow and Kruse, 2002; Shelly, 2020), are now available for diverse use, enabling control of home environments, innovative gaming experiences, and even creative expression through voluntary control of brain activity. This technological evolution has led to the emergence of 'intelligent agents' (Floridi, 2014) with a certain degree of autonomy and responsiveness to external stimuli (Dal Falco, Veneziano and Carlomagno, 2022; Figg. 14, 15) capable of simulating creative processes and enabling users to manage visual elements such as lines, colours, and movements through attention levels (Zitong et alii, 2021; Figg. 16, 17). Additionally, they can modulate the appearance of objects about emotional states, promoting greater self-awareness and offering interactive tools to explore and understand emotions, as seen in various interpretations of Speculative Design (Figg. 18, 19).

Conclusions | To ensure an inclusive and accessible museum experience, regardless of sensory or cultural abilities, an approach is proposed to integrate interdisciplinary expertise from computer science, neuroscience, engineering, perception psychology, and visual design. This approach draws on Embedded Body Cognition, which, relevant to this topic, emphasises the importance of considering how different modes of engagement, influenced by environmental context and individuals' specific sensory abilities, shape the perception of artworks. Perception, as an active and constructive process in which the body and environment are in constant dialogue (Cecchi, 2018), continually reorganises between memory and future projection (Marconi, 2021), thereby influencing the meaning that cultural heritage can assume over time (Luo, Doucè and Nys, 2023; Diamantopoulou, Christidou and Blunden, 2024).

Through EEG usage, these processes can be explored by monitoring specific changes in bioelectrical signals derived from the stimulation of one or more sensory pathways (Hu and Shepley, 2022). Since research already allows the reworking of images (Chen et alii, 2022) and words (Tang et alii, 2023) based on neural traces, designers could envision reconstructing artworks that express the individual's perception. In particular, studying Event-Related Potentials, which emerge when a subject assigns meaning to a stimulus they pay attention to, can provide valuable insights into users' experiential preferences. Assuming the digital realm as an open, conversational, and heterogeneous space (Marenko and van Allen, 2016), these data can guide designers in selecting content to highlight, shaping them with the support of generative software.

There are numerous challenges that this approach must face and validate in practice, starting

with the need to develop specialised skills, such as those required for dialogue between the different roles involved in the project, as well as the economic aspects related to funding and research support. Privacy and visitor protection are also crucial issues, especially considering the collection of data, whose difficulty in measurement and reliability are well-documented (Spence, 2019; Kansra et alii, 2022). However, the integration of data with artificial intelligence could help overcome traditional categorisations based on gender, age, or cultural background, offering a new paradigm for understanding and personalising cultural experiences.

Through direct and field observation, data can provide valuable insights for designing contextual and inclusive solutions, fostering the creation of an adaptable and transferable process; this enables different stakeholders to define and evaluate specific parameters with the aim of promoting individual well-being within more personalised cultural experiences. In this context and with this approach, Design becomes an act of mediation between the 'authoritative' content of the work and the user's mental representation: the interface functions as a bridge between the tangible reality of the works and their subjective interpretation, promoting not only 'awareness' (Valenti et alii, 2024), but also a process of self-reflection and recognition that elevates the museum interaction to a deeper level of connection and meaning.

References

Abbattista, F., Carofiglio, V. and De Carolis, B. (2018), "BrainArt – A BCI-based Assessment of User's Interests in a Museum Visit", in De Carolis, B. N., Gena, C., Kuflik, T., Origlia, A. and Raptis, G. E. (eds), *Proceedings of the AVI-CH 2018 Workshop on Advanced Visual Interfaces for Cultural Heritage co-located with 2018 International Conference on Advanced Visual Interfaces, Castiglione della Pescaia, Italy, May 29, 2018*, vol. 2091, pp. 1-4. [Online] Available at: ceur-ws.org/Vol-2091/ [Accessed 9 September 2024].

Alarcão, S. M. and Fonseca, M. J. (2019), "Emotions Recognition Using EEG Signals – A Survey", in *IEEE Transactions on Affective Computing*, vol. 10, issue 3, pp. 374-393. [Online] Available at: doi.org/10.1109/TAFFC.2017.2714671 [Accessed 9 September 2024].

Altieri, A., Ceccacci, S., Giraldi, L., Leopardi, A., Mengoni, M. and Talipu, A. (2021), "Affective Guide for Museum – A System to Suggest Museum Paths Based on Visitors' Emotions", in Antona, M. and Stephanidis, C. (eds), *Universal Access in Human-Computer Interaction – Design Methods and User Experience – 15th International Conference, UAHCI 2021, Held as Part of the 23rd HCI International Conference, HCII 2021, Virtual Event, July 24-29, 2021, Proceedings, Part I*, Lecture Notes in Computer Science, vol. 12768, Springer, Cham, pp 521-532. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-78092-0_35 [Accessed 9 September 2024].

Ardissono, L., Kuflik, T. and Petrelli, D. (2012), "Personalization in cultural heritage – The road travelled and the one ahead", in *User Modeling and User-Adapted Interaction*, vol. 22, pp. 73-99. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11257-011-9104-x [Accessed 9 September 2024].

Banzi, A. (ed.) (2022), *The Brain-Friendly Museum – Using Psychology and Neuroscience to Improve the Visitor Experience*, Routledge, London. [Online] Available at: doi.org/10.4324/9781003304531 [Accessed 9 September 2024].

Barone, P. and Barbanti, C. V. (2020), "Nuovi media come dispositivi semiotecnici – Uno sguardo pedagogico", in *MeTis | Mondi Educativi – Temi, Indagini, Suggestioni*, vol. 10, issue 1, pp. 104-120. [Online] Available at: doi.org/10.30557/mt00114 [Accessed 9 September 2024].

Bilotto, R. (2019), *Le nuove tecnologie multimediali nel settore culturale – Il loro impatto sulla fruizione e sull'esperienza dei visitatori*. [Online] Available at: archeomedia.net/wp-content/uploads/2019/11/Le-nuove-tecnologie-multimediali-nel-settore-culturale.pdf [Accessed 9 September 2024].

Bollini, L. and Borsotti, M. (2023), "Exhibitions as Hybrid Environments – Exploring Situated and Embodied Interaction in Cultural Heritage", in *Diid | Disegno Industriale Industrial Design*, DSI 1, pp. 426-439. [Online] Available at: doi.org/10.30682/diiddsi23t3d [Accessed 9 September 2024].

Bonacini, E. (2023), "Dalla collezione alla connessione – Come si evolve empaticamente il museo del futuro", in Casalino, M. and Marinucci, C. (eds), *Cultura digitale relazione, empatia – Paradigmi della terza rivoluzione industriale*, Stamen, Roma, pp. 128-170. [Online] Available at: iris.unive.it/retrieve/2e62689c-5647-4e59-8cb1-fe02dfadfc11/collettivo_INTERNO.pdf [Accessed 9 September 2024].

Brusaporci, S. and Maiezza, P. (2018), "Tra Storia e Memoria – Tecnologie avanzate per la (ri)definizione partecipativa del significato dei luoghi nella città storica", in Luigini, A. and Panciroli, C. (eds), *Ambienti digitali per l'educazione all'arte e al patrimonio*, FrancoAngeli, Milano, pp. 51-63. [Online] Available at: series.francoangeli.it/index.php/oa/catalog/view/334/142/1578 [Accessed 9 September 2024].

Caldato, C., Benedetto, S., Bazzan, E., Rodighiero, L. and Mauri, M. (2018), "Emotional Impact played by Art Experience Measured by Means of Neuroscientific Techniques and Traditional Interviews", in Grant, R., Allen, T., Spink, A. and Sullivan, M. (eds), *Measuring Behavior 2018 – Conference Proceedings – 11th International Conference on Methods and Techniques in Behavioral Research, Manchester (UK), 5-8 June 2018*, Manchester Metropolitan University, pp. 63-68. [Online] Available at: tsw.it/wp-content/uploads/Assessment_of_Storefront_Displays_with_a_Multidisciplinary_Approach_based_on_Neuromarketing_and_Antropological_Marketing-with-cover-page.pdf [Accessed 9 September 2024].

Casiddu, N., Burlando, F., Nevoso, I., Porfirione, C. and Vacanti, A. (2022), "Beyond Personas – Il Machine Learning per personalizzare il progetto | Beyond Personas – Machine Learning to personalise the project", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 226-233. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12202022 [Accessed 9 September 2024].

Cecchi, D. (2018), "Percezione enattiva e operare artistico – Osservazioni a partire da Alva Noë", in *Lebenswelt*, vol. 12, pp. 65-72. [Online] Available at: doi.org/10.13130/2240-9599/10368 [Accessed 9 September 2024].

Chen, Z., Qing, J., Xiang, T., Yue, L. W. and Zhou, J. H. (2022), "Seeing Beyond the Brain – Conditional Diffusion Model with Sparse Masked Modeling for Vision Decoding", in *Computer Science | Computer Vision and Pattern Recognition*. [Online] Available at: doi.org/10.48550/arXiv.2211.0695 [Accessed 5 October 2024].

Dal Falco, F. (2018), "Corpi, design, post umano – Modernità, ancora?", in *Diid | Disegno Industriale Industrial Design*, vol. 64, pp. 134-141. [Online] Available at: researchgate.net/publication/333614279_N6418_Design_after_Modernity_Editorial [Accessed 9 September 2024].

Dal Falco, F. and Bonomi, S. (2021), "Comunicare il museo tra analogico e digitale – Un'esperienza di progettazione multimediale interattiva | Communicating the Museum Between Analogue and Digital – Interactive Multimedia Design Experience", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 200-209. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/10182021 [Accessed 9 September 2024].

Dal Falco, F., Veneziano, R. and Carlomagno, M. (2022), "Collaborazione tra natura e artificio – Processi simbiotici tra scienze, arti e design | Natural and Artificial Interaction – Symbiotic process between science, art and design", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 274-287. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/11252022 [Accessed 9 September 2024].

Dall'Osso, G., D'Alessandro, M. and Melappioni, V. (2022), "Interattività spaziali – Sensorialità e Progetto del dato digitale nello spazio | Spatial Interactivity – Sensoriality and design of digital data in the space", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 58-67. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1252022 [Accessed 9 September 2024].

Deroy, O. and Spence, C. (2013), "Why we are not all synesthetes (not even weakly so)", in *Psychonomic Bulletin & Review*, vol. 20, issue 1, pp. 643-664. [Online] Available at: doi.org/10.3758/s13423-013-0387-2 [Accessed 5 October 2024].

Desvallées, A. and Mairesse, M. (2010), *Concetti Chiave di Museologia*, Armand Colin, Parigi.

Di Benedetto, G. (2021), "Nuove Frontiere Museografiche – Immaterialità e multimedialità del museo narrativo | New museographic frontiers – Immateriality and multimediality of the narrative museum", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 68-75. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1062021 [Accessed 9 September 2024].

Diamantopoulou, S., Christidou, D. and Blunden, J. (2024), "Multimodality and museums – Innovative research methods and interpretive frameworks", in *Multimodality & Society*, vol. 4, issue 3, pp. 249-258. [Online] Available at: doi.org/10.1177/26349795241270436 [Accessed 5 October 2024].

Dikker, S., Montgomery, S. and Tunca, S. (2019), "Using synchrony-based neurofeedback in search of human connectedness", in Nijholt, A. (ed.), *Brain Art – Brain-Computer Interfaces for Artistic Expression*, Springer, Charm, pp. 161-206. [Online] Available at: doi.org/10.10 07/978-3-030-14323-7_6 [Accessed 9 September 2024].

Dunne, A. and Raby, F. (2013), *Speculative Everything – Design, fiction and social dreaming*, The MIT Press, Cambridge-London.

Erioli, A. (2013), *Design, controllo e creatività*, Doppiozero. [Online] Available at: doppiozero.com/design-controllo-e-creativita [Accessed 8 September 2024].

Fernandes, J. V. M. R., de Alexandria, A. R., Marques, J. A. L., de Assis, D. F., Motta, P. C. and dos Santos Silva, B. R. (2024), "Emotion Detection from EEG Signals Using Machine Deep Learning Models", in *Bioengineering*, vol. 11, issue 8, pp. 1-30. [Online] Available at: doi.org/10.3390/bioengineering11080782 [Accessed 9 September 2024].

Floridi, L. (2014), *The Fourth Revolution – How the infosphere is reshaping human reality*, Oxford University Press, Oxford.

Gargano, A. (2020), "Personalizzazione e accessibilità dei beni culturali grazie alla realtà aumentata | Personalization and Accessibility of Cultural Heritage Thanks to Aug-

mented Reality", in *Formazione & Insegnamento | European Journal of Research on Education and Teaching*, vol. 18, issue 1, tome II, pp. 729-736. [Online] Available at: doi.org/10.7346/-fei-XVIII-01-20_64 [Accessed 9 September 2024].

Hooper-Greenhill, E. (2000), *Museums and the Interpretation of Visual Culture*, Routledge, London. [Online] Available at: doi.org/10.4324/9781003124450 [Accessed 9 September 2024].

Hu, L. and Shepley, M. M. (2022), "Design Meets Neuroscience – A Preliminary Review of Design Research Using Neuroscience Tools", in *Journal of Interior Design*, vol. 47, issue 1, pp. 31-50. [Online] Available at: doi.org/10.1111/joid.12213 [Accessed 4 October 2024].

Iaconesi, S. and Persico, O. (2021), *Cosmologie – Antitesi / Wisteria Furibonda e i rituali del Nuovo Abitare – Poemetto Post-umano a due voci fra Scienza e Poesia*. [Online] Available at: he-r.it/wp-content/uploads/2021/08/Cosmologie.pdf [Accessed 9 September 2024].

ICOM – International Council of Museum (2022), *Approvata a Praga la nuova definizione di Museo di ICOM*. [Online] Available at: icom-italia.org/definizione-di-museo/ [Accessed 9 September 2024].

Jagošová, L. (2020), "Emotions in museum education – Potential for the development of a relationship to cultural and historical heritage", in *Museologica Brunensia*, vol. 9, issue 2, pp. 10-16. [Online] Available at: doi.org/10.5817/MuB2020-2-2 [Accessed 9 September 2024].

Kansra, P., Oberoi, S., Lal Gupta, S. and Singh, N. (2022), "Factors limiting the application of consumer neuroscience – A systematic review", in *Journal of Consumer Behaviour*, vol. 23, issue 1, pp. 32-42. [Online] Available at: doi.org/10.1002/cb.2131 [Accessed 4 October 2024].

Lo Turco, M., Giovannini, E. C. and Tomalini, A. (2021), "Fisico, Digitale, Virtuale, Immateriale – Esperienze di ricerca in ambito museale | Physical, Digital, Virtual, Intangible – Research Experiences in Museums", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 140-149. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/10122021 [Accessed 9 September 2024].

Lucchiari, C., Vanutelli, M. E., Ferrara, V., Folgieri, R. and Banzi, A. (2024), "Promoting Well-Being in the Museum – The ASBA Project Research Protocol", in *The International Journal of Health, Wellness and Society*, vol. 14, issue 4, pp. 73-88. [Online] Available at: doi.org/10.18848/2156-8960/cgp/v14i04/73-88 [Accessed 9 September 2024].

Luigini, A. and Pancirolli, C. (eds), *Ambienti digitali per l'educazione all'arte e al patrimonio*, FrancoAngeli, Milano, pp. 17-34. [Online] Available at: series.francoangeli.it/index.php/oa/catalog/view/334/142/1578 [Accessed 9 September 2024].

Luo, D., Doucé, L. and Nys, K. (2024), "Multisensory museum experience – An integrative view and future research directions", in *Museum Management and Curatorship*, pp. 1-28. [Online] Available at: doi.org/10.1080/09647775.2024.2357071 [Accessed 5 October 2024].

Lupo, E. (2021), "Design e Innovazione del Patrimonio Culturale – Connessioni phygital per un Patrimonio di prossimità | Design and Innovation for the Cultural Heritage – Phygital connections for a Heritage of proximity", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 186-199. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/10172021 [Accessed 9 September 2024].

Marconi, A. (2021), "Menti in (en)azione – Il fenomeno della cognizione da un punto di vista evolutivo ed ecologico", in *Nóema*, vol. 12, pp. 14-44. [Online] Available at: doi.org/10.13130/2239-5474/16597 [Accessed 9 September 2024].

Marenko, B. and van Allen, P. (2016) "Animistic design – How to reimagine digital interaction between the human and the nonhuman", in *Digital Creativity*, vol. 27, issue 1, pp. 52-70. [Online] Available at: doi.org/10.1080/14626268.2016.1145127 [Accessed 4 October 2024].

Merleau-Ponty, M. (1945), *Phenomenology of Perception*, Gallimard, Paris.

Mowla, R., Cano, R. I., Dhuyvetter, K. J. and Thompson, D. E. (2020), "Affective brain-computer interfaces – Choosing a meaningful performance measuring metric", in *Computers in Biology and Medicine*, vol. 126, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.compbiomed.2020. 104001 [Accessed 9 September 2024].

Neff, G., Jordan, T. and McVeigh-Schultz, J. (2012), "Affordances, technical agency, and the politics of technologies of cultural production", in *Culture Digitally*, 23/01/2012. [Online] Available at: culturedigitally.org/20 12/01/affordances-technical-agency-and-the-politics-of-technologies-of-cultural-production-2/#sthash.tZezjCJ8.d puf [Accessed 4 October 2024].

Nijholt, A. (2019), *Brain Art – Brain-Computer Interfaces for Artistic Expression*, Springer, Cham. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-14323-7 [Accessed 9 September 2024].

Nikolaou, P. (2024), "Museums and the Post-Digital – Revisiting Challenges in the Digital Transformation of Museums", in *Heritage*, vol. 7, issue 3, pp. 1784-1800. [Online] Available at: doi.org/10.3390/heritage7030084 [Accessed 9 September 2024].

Noë, A. (2006), *Action in Perception*, The MIT Press, Cambridge (MA).

O'Connor, C., Rees, G. and Joffe, H. (2012), "Neuroscience in the Public Sphere", in *Neuroview*, vol. 74, issue 2, pp. 220-226. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.neuron.2012.04.004 [Accessed 4 October 2024].

Pavlidis, G. (2018), "The Role of Recommender Systems in Cultural Heritage", in Panagopoulos, M., Papadopoulou, M. and Giannakoulopoulos, A. (eds), *DCAC 2018 – Digital Culture & Audiovisual Challenges – Interdisciplinary Creativity in Arts and Technology – Proceedings of the International Conference on Digital Culture & Audio-Visual Challenges, Corfu, Greece, June 1-2, 2018*, vol. 2811, pp. 62-69. [Online] Available at: ceur-ws.org/Vol-2811/ [Accessed 9 September 2024].

Parisi, L. (2019), "Critical Computation – Digital Automata and General Artificial Thinking", in *Theory, Culture & Society*, vol. 36, issue 2, pp. 89-121. [Online] Available at: doi.org/10.1177/0263276418818889 [Accessed 4 October 2024].

Pietrini, P., Lattanzi, N., Ricciardi, E., Patricelli Malizia, A., Bernardi, G. and Caldarelli, G. (2018), "Contributo Artech Gallerie d'Italia", in Montagnese, M., Costantini, M., Colombo, M., D'Arcangelo, S., Borghi, D. and Milone, M. (eds), *Neuroscience Impact – Brain and Business*, Intesa San Paolo Innovation Center, pp. 212-219. [Online] Available at: group.intesasanpaolo.com/content/dam/portalgroup/repository-documenti/20181206_Neuroscience%20Impact%20ITA.pdf [Accessed 9 September 2024].

Ramadori, M. (2023), "Accessibilità museale e disabilità – Dall'abbattimento delle barriere architettoniche (1971) al PNRR – Next Generation EU (2022-2026)", in *BTA | Bollettino Telematico dell'Arte*, vol. 935, pp. 1-13. [Online] Available at: bta.it/txt/a0/09/bta00935.html [Accessed 9 September 2024].

Ramoğlu, M. (2019), "Cyborg – Computer Interaction – Designing New Senses", in *The Design Journal*, vol. 22, issue suppl. 1, pp. 1215-1225. [Online] Available at: doi.org/10.1080/14606925.2019.1594986 [Accessed 5 October 2024].

Sanders, E. B.-N. and Stappers, P. J. (2016), *Convivial toolbox – Generative research for the front end of design*, BIS Publishers, Amsterdam.

Schmorrow, D. D. and Kruse, A. A. (2002), "DARPA's Augmented Cognition Program – Tomorrow's human computer interaction from vision to reality – Building cognitively aware computational systems", in Persensky, J. J., Hallbert, B. and Blackman H. S. (eds), *Proceedings of the 2002 IEEE 7th Conference on Human Factors and Power Plants, Scottsdale, Arizona, USA, September 15-17-19, 2002*, vol. 7, pp. 1-4. [Online] Available at: doi.org/10.1109/HFPP.2002.1042859 [Accessed 5 October 2024].

Shcattner, Y., Zamir, Y., Siton, N., Kimel, K., Zecharia, N. and Goldway, N. (2023), "Sync – Novel BCI design for neural synchrony, connectedness, and empathy", in De Sainz Molestina, D., Galluzzo, L., Rizzo, F. and Spallazzo, D. (eds), *IASDR 2023 – Life-Changing Design, 9-13 October, Milan (Italy)*, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.21606/iasdr.2023.820 [Accessed 9 September 2024].

Shelly, F. (2020), "Decoding the Brain Goes Global with the International Brain Initiative", in *Singularity Hub*, 28/01/2020. [Online] Available at: singularityhub.com/2020/01/28/decoding-the-brain-goes-global-with-the-international-brain-initiative/ [Accessed 5 October 2024].

Simon, N. (2010), *The Participatory Museum*, Museum 2.0, Santa Cruz. [Online] Available at: participatorymuseum.org/read/ [Accessed 9 September 2024].

Sobell, N. (2019), "Foreword", in Nijholt, A. (ed.), *Brain Art – Brain-Computer Interfaces for Artistic Expression*, Springer, Cham, pp. V-VI. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-14323-7 [Accessed 9 September 2024].

Spence, C. (2019), "Neuroscience-Inspired Design – From Academic Neuromarketing to Commercially Relevant Research", in *Organizational Research Methods*, vol. 22, issue 1, pp. 275-298. [Online] Available at: doi.org/10.1177/1094428116672003 [Accessed 5 October 2024].

Spence, C. (2011), "Crossmodal correspondences – A tutorial review", in *Attention, Perception, and Psychophysics*, vol. 73, pp. 971-995. [Online] Available at: doi.org/10.3758/s13414-010-0073-7 [Accessed 5 October 2024].

Suchman, L. (2006), *Human-Machine Reconfigurations – Plans and Situated Actions*, Cambridge University Press, Cambridge.

Tang, J., LeBel, A., Jain, S. and Huth, A. G. (2023), "Semantic reconstruction of continuous language from non-invasive brain recordings", in *Nature Neuroscience*, vol. 26, pp. 858-866. [Online] Available at: doi.org/10.1038/s41593-023-01304-9 [Accessed 5 October 2024].

Valenti, A., Scalisi, F., Sposito, C., Dellamotta, L. and Masserdotti, A. (2024), "Energia, Tecnologia emotiva e valore culturale dei dati – Creare consapevolezza nell'utente con lo storytelling | View of Energy, Emotional Technology and Cultural Value of Data – Creating user awareness through storytelling", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 70-83. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1552024 [Accessed 9 September 2024].

Yang, L. and Huang, E. (2024), "Innovation in Marketing Strategies for Museum Cultural and Creative Products Under New Consumer Demand", in *Journal of Humanities, Arts and Social Science*, vol. 8, issue 3, pp. 667-672. [Online] Available at: doi.org/10.26855/jhass.2024.03.019 [Accessed 9 September 2024].

Zannoni, M., Sicklinger, A. and Pezzi, M. (2021), "Human Body Interaction from the Imaginary to Contemporaneity – Anticipation Design Processes", in *Diid | Disegno Industriale Industrial Design*, vol. 74, pp. 10-19. [Online] Available at: doi.org/10.30682/diid7421a [Accessed 9 September 2024].

Zitong, C., Jing, L., Jianqiao, C., Chuyi, Z., Fangbing, C., Yang, W. and Preben, H. (2021), "Paint with Your Mind – Designing EEG-based Interactive Installation for Traditional Chinese Artworks", in Raphel, W. (ed.), *TEI '21 – Proceedings of the Fifteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction, Salzburg, Austria, February 14-17, 2021*, New York, Association for Computing Machinery, New York, article 49, pp. 1-6. [online] Available at: doi.org/10.1145/3430524.3442455 [Accessed 9 September 2024].

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 290-303
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/16242024

Article Info

Received 17 September 2024
Revised 13 October 2024
Accepted 15 October 2024
Published 30 December 2024

COMPLESSITÀ E SIGNIFICATI DEL MASHRABIYA NELLE ARTI ISLAMICHE TRA TRADIZIONE E INNOVAZIONE DIGITALE

COMPLEXITY AND MEANINGS OF THE MASHRABIYA IN THE ISLAMIC ARTS BETWEEN TRADITION AND DIGITAL INNOVATION

Federica Dal Falco, Omaymah Al Azhari

Abstract

In relazione al tema della complessità e al suo significato etimologico in termini di intreccio di elementi costituenti un'unità caratterizzata da variabilità, il contributo propone un focus sul Patrimonio culturale dell'arte islamica considerando le connessioni, le interazioni ambientali e socio-culturali e le intersezioni tra artigianato e design del Mashrabiya. Costituito da un volume aggettante sul fronte stradale, rivestito di raffinati pattern modulari generalmente in legno, il diaframma funziona come un dispositivo climatico e per la privacy, rispondendo ad alcuni principi tradizionali del mondo arabo, soprattutto legati alla condizione femminile. Lo studio indaga sul ruolo simbolico e culturale del Mashrabiya, analizzando calcoli e geometrie che sottendono il disegno dei pattern e proponendo la loro sistematizzazione in archivi open-source. In equilibrio tra tradizione e innovazione, al fine di preservare e trasmettere il valore del Mashrabiya per evoluzioni future, il contributo s'interroga sull'integrazione tra tecniche artigianali e design parametrico attraverso la collaborazione di diverse competenze.

In relation to the theme of complexity and its etymological meaning in terms of an intertwining of elements that constitute a unit characterised by variability, the contribution focuses on the cultural heritage of Islamic art by considering the connections, environmental and socio-cultural interactions, and the intersections between craftsmanship and design of the Mashrabiya. Consisting of a projecting volume on the street front, covered with refined modular patterns typically in wood, the screen functions as a climatic and privacy device, adhering to some traditional principles of the Arab world, especially those related to the condition of women. The study investigates the symbolic and cultural role of the Mashrabiya, analysing the calculations and geometries underlying the design of the patterns and proposing their systematisation in open-source archives. Striking a balance between tradition and innovation, to preserve and transmit the value of the Mashrabiya for future developments, the contribution explores the integration between artisanal techniques and parametric design through the collaboration of different expertise.

Keywords

patrimonio culturale, mashrabiya, complessità, artigianato, design parametrico

cultural heritage, mashrabiya, complexity, craftsmanship, parametric design

Federica Dal Falco, Architect and PhD, is an Associate Professor of Design at the Department of Planning, Design, and Architecture Technology, 'Sapienza' University of Rome (Italy) and the Director of the Master in Exhibit Design 'Cecilia Cecchini'. Her research focuses on the History of 20th Century Design and Architecture, the Communication of Cultural Heritage, and Design for Public Spaces. She is a Guest Investigator at CIEBA (Portugal). She has received awards for Excellence in Design in Lazio Adi for two monographs and a documentary, with eligibility for the Compasso d'Oro prize. Mob. +39 331/31.08.700 | E-mail: federica.dalfalco@uniroma1.it

Omaymah Al Azhari, PhD Candidate at the 'Sapienza' University of Rome (Italy), researches on the conservation and enhancement of cultural heritage in the MENA region, focusing on craftsmanship and artisanal techniques between architecture and design. Mob. +39 338/17.44.444 | E-mail: omaymah.alazhari@uniroma1.it

Il contributo affronta il tema della complessità in relazione al suo significato etimologico in termini di caratteristica qualitativa di un sistema strutturato da parti interagenti, più precisamente da un intreccio di elementi costituenti un'unità caratterizzata da variabilità e casualità, con riferimento ad alcune definizioni e riflessioni teoriche (Bateson, 1984; Kalton and Mobus, 2014; Morin, 2018).

Le questioni interrelate di ordine generale sono indagate a partire dallo studio del design del Mashrabiya, radicato nell'architettura del MENA (Middle East and North Africa; Ashour, 2018) e generalmente costituito da un volume aggettante, con una struttura a mensola e un diaframma di elementi in legno. Questo dispositivo climatico, modello di un linguaggio figurativo e costruttivo con forme ornamentali che comprendono elementi calligrafici, floreali e geometrici, è ben identificabile nell'ambito delle arti islamiche (Wichmann and Wade, 2021). L'approccio metodologico che sottende la ricerca propone, coerentemente alle definizioni di riferimento, l'analisi di un tema complesso a partire da un oggetto concreto stratificato nel tempo, con un'inversione dal micro al macro, individuando come tale manufatto incorpori contenuti interrelati e partecipi di una più ampia visione sistemica.

Questo tessuto materiale e immateriale di straordinaria complicazione implica innumerevoli questioni che possono essere indagate da diverse angolazioni. Tra i temi emersi dagli studi effettuati, sono considerati: il contesto antropocenico e la necessità di recuperare soluzioni costruttive tradizionali sostenibili tra design e architettura per la transizione energetica e la tutela e la valorizzazione del patrimonio culturale; l'importanza degli aspetti storico-identitari, socio-culturali e antropologici legati a luoghi e territori che costituiscono narrazioni connesse agli artefatti materiali secondo un approccio post-colonialista aperto a un dialogo multiculturale; il ruolo delle immagini nella trasmissione della cultura materiale e dell'arte tra Oriente e Occidente; la conoscenza e valorizzazione dei saperi artigianali operata attraverso la digitalizzazione archivistica e il design parametrico.

Nell'era dell'Antropocene, caratterizzata dagli attuali cambiamenti climatici con eventi metereologici estremi (Crutzen and Stoermer, 2000; Crutzen, 2002; Latour, 2018), i fattori ambientali e le relative soluzioni sostenibili, dovrebbero essere studiati a scala bio-regionale, considerando contesti specifici, culture e identità, relazioni sociali e questioni antropologiche. Tale approccio è correlato a fatti concreti e problemi reali e costruisce relazioni tra la natura e l'artificiale a partire dalle dinamiche complesse dell'ordine esterno: il clima, la posizione geografica, le risorse naturali disponibili e le pratiche culturali e rituali.

La sostenibilità non può quindi essere definita in modo univoco, ma in quanto dispositivo multipolare e sfaccettato che opera considerando valori storico-estetici, tradizioni locali e stratificazioni che hanno definito il carattere dei siti (Saleh and Saied, 2017), assimilando quella sapienza costruttiva che nel passato operava avvalendosi delle risorse più prossime e rispondendo alla complessità delle esigenze ambientali locali (Casanovas, Campanero and Campisi, 2024). La conoscenza e la comprensione di specifiche tradizioni aprono all'innovazione e alla sperimentazione progettuale alle diverse scale, attraverso il coinvolgimento delle comunità (Harris and Moore, 2015; Balducci and Camilli, 2022).

Per comprendere alcuni tra gli aspetti che caratterizzano la natura complessa del Mashrabiya rispetto ai temi evidenziati è opportuno tratteggiare un quadro di riferimento nel quale si colloca lo sviluppo di tale manufatto nell'ambito delle arti islamiche, la cui conoscenza in Europa è legata al colonialismo, ai viaggi, all'arte e al collezionismo.

Con l'espansione dell'Occidente nel mondo islamico, che si svilupperà dal XVIII secolo, le culture cosiddette orientali assumono maggior valore e interesse, superando il fenomeno dell'esotismo, legato alla percezione della distanza e al riconoscimento dell'originalità di testimonianze riportate dai viaggi in un altrove (Affergan, 1991). Gli oggetti esotici, non più conservati nelle Wunderkammer, sono utilizzati ed esibiti, a volte trasformati in una dimensione di contaminazione culturale. L'adeguamento al nuovo gusto ha determinato una trasposizione dai classici riferimenti greci e latini a un'arte diversa e misteriosa estesa su un'area sterminata, dalla Spagna all'India, che nel termine 'islamico' incorpora molteplici significati culturali, storici, politici, sociali, religiosi.

È solo in seguito a studi e pubblicazioni sull'architettura e su sistemi di oggetti (Saladin, 1907) e all'Exposition des Arts Musulman del 1893 tenuta al Palais de l'Industrie aux Champs Élysée di Parigi e curata da Georges Mayre (Commissario generale e membro della Mission en Afrique du Nord) che le manifestazioni artistiche fino allora classificate come arabe o orientali, assumono la definizione di arti islamiche, comprendendo tutti i monumenti dei Paesi sottomessi alla legge dell'Islam in Oriente o Occidente ed entrando a far parte del linguaggio scientifico (Peltre, 2006). La Mostra fu realizzata con i prestiti di più di ottanta collezionisti, rari pezzi acquistati durante viaggi e spedizioni, per un totale di circa 2.883 oggetti di diverse tipologie (pietre e marmi, maioliche, porcellane, vetri, strumenti musicali, armi, gioielli, stoffe, tappeti e costumi).

Lo scopo dell'evento andava oltre l'esposizione e la classificazione di opere sparse tra Musei e collezioni private: far conoscere l'arte islamica nel suo complesso significava indirizzare le industrie delle città francesi e dei Paesi musulmani assoggettati a realizzare nuovi prodotti per rafforzare l'economia e la cultura colonialista francese[1] (Mayre, 1893). Il collezionismo esercitò quindi una forte influenza sullo sviluppo del dialogo visuale tra Occidente e Oriente, diventando un fondamentale strumento d'indagine sociale e delle comunità in grado di registrare nei secoli i cambiamenti del gusto, delle relazioni, della circolazione e degli scambi culturali (Pomian, 1989).

Fermo restando il comune pensiero di una civiltà, per le innumerevoli varianti delle arti musulmane nei diversi territori, è stato recentemente sostenuto che sia più adeguato definire tali oggetti con un approccio antropologico, in cui gli aspetti storici e culturali sono strettamente connessi a specifiche estetiche, dal momento che oggetto e contesto si informano reciprocamente. I manufatti islamici sono quindi portatori di molteplici indizi inerenti alle relazioni sociali succedutesi nelle diverse epoche e alla rete di connessioni costituita dai passaggi di proprietà (Weber, 2013); le modalità del loro utilizzo, gli aspetti antropologici e di costume di cui sono parte integrante, ne costituiscono le biografie, anche considerando cambiamenti funzionali e di significati con attribuzione di nuove e diverse identità (Mattozzi et alii, 2009; McGregor, 2015).

Gli artefatti islamici, di cui il Mashrabiya fa parte a pieno titolo, sono quindi testimonianze di una civiltà variegata ed estremamente estesa, le cui generali caratteristiche decorative includono innumerevoli fenomeni singoli, che rispecchiano quotidianità passate e presenti in numerosi ambiti, con innesti di principi condivisi in contesti peculiari e distanti (Grabar, 1973). Il loro valore estetico basato sull'intreccio risulta legato a una più ampia e complessa narrazione costituita da tradizioni, miti, riti, gesti quotidiani, simboli e metafore difficilmente decrittabili da culture altre, anche per le iscrizioni calligrafiche che contraddistinguono rivestimenti parietali e oggetti, i cui testi sono spie dei periodi e luoghi della loro fattura.

In particolare, nel design dei pattern costituenti le unità modulari dei Mashrabiya presenti in Arabia Saudita e oggetto di questo studio, le influenze reciproche tra le diverse aree geografiche sono dovute soprattutto ai pellegrinaggi dall'Egitto a La Mecca durante il periodo Mamelucco e, più in generale, ai viaggi legati alle rotte commerciali (Behrens-Abouseif, 2011). Tra i pellegrini e i commercianti erano presenti artigiani che univano i doveri religiosi alla trasmissione delle competenze, incontrandosi con altri esperti nelle regioni visitate. Questi viaggi hanno costituito una vera e propria piattaforma di scambio di idee, conoscenze tecniche, abilità e innovazioni per un ampio spettro di mestieri.[2]

Il tema del viaggio si intreccia all'analisi della trasmissione dei saperi artigianali in ambito decorativo che, fin dal XIX secolo, è stata collegata al significato del design in termini di evoluzione, con studi che hanno indagato i cambiamenti morfologici di manufatti di utilità pratica attraverso analogie biologiche, come quella darwiniana. Tale approccio stabilisce che le mutazioni si verifichino con processi molto graduali, i cui stadi sono legati a copiature successive (Steadman, 1988), come l'analisi prospettata nella catena di esempi riunita da Henry Balfour (1893) che individua le origini di alcune forme decorative attraverso la ricerca delle copie.

Tra l'inizio e la fine della serie possono rilevarsi differenze tra gli esemplari talmente notevoli, da non riuscire a individuare una connessione 'genetica' se non conoscendo gli anelli intermedi (Steadman, 1988). Ciò che accade nella riproduzione di un motivo è che casuali dettagli di design possono essere scelti e ampliati, mentre altri non essere considerati. Lo stesso Balfour (1893) deduce che l'artigiano interpreti, ovvero compia variazioni volontarie dei motivi, prospettando così una divergenza dall'analogia con le teorie di Charles Darwin (1859), dal momento che nell'evoluzione organica le mutazioni sono casuali e solo quelle che risultano fortuitamente vantaggiose nel processo selettivo possono essere trasmesse ed ereditate (Steadman, 1988).

Questo tema è centrale nello studio del Mashrabiya, del quale si considerano da un lato la trasmissione di generazione in generazione di antiche conoscenze artigianali e l'evoluzione dei tipi (Partarakis and Zabulis, 2023), dall'altro l'innovazione dei motivi e la loro realizzazione tramite processi produttivi digitali, con un mix di industrializzazione e artigianalità.

In tal senso le immagini pervenute che ritraggono i Mashrabiya, tra quadri e riproduzioni fotografiche, sono considerate fonti di ricerca, in quanto costituiscono testimonianze oculari del passato (Burke, 2017). Sull'onda dell'orientalismo, le esplorazioni degli artisti europei nel mondo islamico, soprattutto francesi, furono effettuate a seguito di missioni



Fig. 1 | 'Arnaute fumant devant un Moucharabieh' (1865), painted by Jean-Léon Gérôme (source: mediene.over-blog.com, 2014).

diplomatiche. Gli orientalisti documentarono nelle loro opere forme e colori, ambienti esterni e interni, oggetti e costumi della tradizione islamica, in particolare dell'Egitto e della cultura maghrebina, aprendo la strada all'approccio etnografico e descrittivo che si affermerà nella seconda metà dell'Ottocento con l'influenza del realismo e della fotografia e la conseguente evoluzione della percezione dell'arte islamica in Occidente (Peltre, 2006).

Dai carnets di viaggio di Eugène Delacroix[3] alle opere di Jean-Léon Gérôme[4] (Fig. 1), ai quadri di John Varley II (Fig. 2), alle riproduzioni fotografiche di Henri Béchard[5] o di fotografi anonimi, alle impressioni di giornalisti come Gabriel Charmes che soggiornò in Egitto tra il 1879 e il 1880 (Peltre, 2006), il Mashrabiya filtra e frammenta la luce negli ambienti interni e caratterizza con le facciate il rapporto con la scena urbana. Nelle immagini selezionate è possibile individuare la presenza di alcuni archetipi tramandati nel tempo dalla sapienza artigiana, che sono oggetto di studio delle ricerche desk e sul campo effettuate, come il modello in legno 'Maymouni', riprodotto nell'immagine di Béchard quale tipico diaframma di facciata (Fig. 3) e nella parte superiore della fotografia di un Mashrabiya a Il Cairo, dove si comprende il suo utilizzo quale affaccio sulla strada (Fig. 4). L'archivio digitale che l'indagine propone di sistematizzare include anche tali immagini, nella convinzione che costituiscano un riferimento per comprendere il design dei pattern, i materiali e le tecniche utilizzati nei Mashrabiya esistenti in determinati periodi e luoghi.

Considerando le tematiche esposte, il contributo s'incentra in particolare sull'analisi morfologica, geometrica e costruttiva dei Mashrabiya, in quanto diaframma composto da una ripetizione di unità modulari modificabili e del suo significato nella cultura islamica, tra tradizione e innovazione.

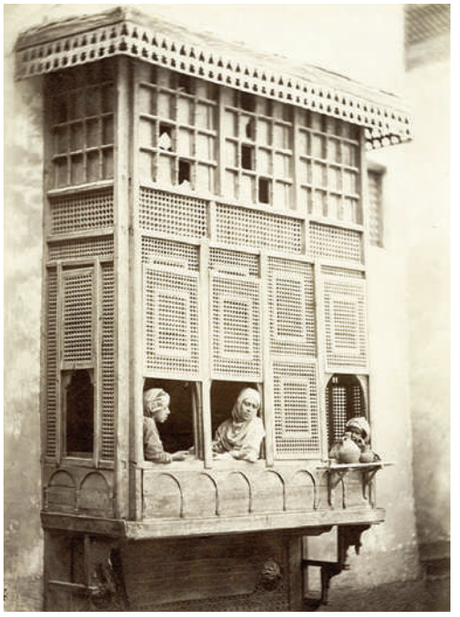
Come è noto, uno dei caratteri peculiari delle arti islamiche è la struttura continua e seriale, basata sulla reiterazione di pattern, le cui varianti potenzialmente infinite presentano motivi ornamentali, calligrafici e vegetali, espressione di principi religiosi, filosofici e teoretici. Questo linguaggio aniconico è costruito secondo una logica grafica con strutture rigorose controllate da leggi geometriche. Il disegno del Mashrabiya è sotteso da calcoli matematici (Paccard, 1980a) che regolano la sua funzione climatica e, come ogni pattern, presenta analogie con il tessuto, tra ripetizioni e variazioni realizzate con materiali diversi, dal gesso, al legno, alla ceramica, rendendo complessa l'analisi dei singoli elementi (linee, segni, forme) a favore della percezione dell'insieme.

Il Mashrabiya è espressione di una visione morfologica, di un utilizzo di concetti astratti alternativi alla figuratività, con riferimento alle tesi di Alois Riegl (2008), dove la storia dell'ornamento è legata alla percezione, in particolare alla tattilità che opera a livello mentale integrando la tridimensionalità nelle superfici, esperite visivamente soprattutto in quanto piani. D'altro canto il rapporto tra ornamento-rivestimento e struttura dell'organismo architettonico è il fondamento della teoria di Gottfried Semper (1992), in cui gli aspetti etnologici e storico-culturali integrano quelli materici, tecnologici e antropologici e l'origine dell'architettura è liminare a quella della tessitura, identificata nell'alternanza della trama e dell'ordito ad essa peculiare.

Questa variabilità intrinseca, originata dall'analogia tra ornamento e tessuto, è il fondamento delle leggi geometriche e matematiche che regolano la concezione e realizzazione del Mashrabiya, che può mutare a seconda di specifiche esigenze ambientali e sociali, con un'ampia gamma di disegni, trame più o meno fitte a seconda dell'esposizione solare, della destinazione degli interni a donne o uomini, dell'importanza degli edifici. La legittimazione artistica del pattern, oltre il suo significato di ripetizione meccanica di un motivo ornamentale, è stata avanzata da Amy Goldin (1975), individuando nelle possibilità di variazione di un modulo il centro di un sistema generativo dalle infinite potenzialità inespresse. Nello stesso anno Ernst Gombrich (1979) pubblica The Sense of Order, in cui sistematizza una psicologia dell'arte decorativa con ricadute sulla rivalutazione di tale cultura, da sempre legata a esigenze di ordine proprie della percezione visiva.

Nei paragrafi seguenti sono approfonditi gli aspetti morfologici e costruttivi di tali manufatti, considerando le questioni legate alla trasmissione delle culture artigianali decorative in una prospettiva in equilibrio tra tradizione e innovazione, che da un lato contempla la creazione di archivi digitali dedicati, dall'altro le opportunità innovative di riproporre e variare i pattern utilizzando il design parametrico. L'analisi individua i caratteri fondamentali del Mashrabiya nella regione del MENA, in particolare in Arabia Saudita, con studi sulle principali formule matematiche di costruzione del classico pattern 'Maymouni', argomentando l'importanza della creazione di archivi digitali per la valorizzazione dei pattern. Vengono presi in esame quattro casi studio contemporanei tra architettura e design nei quali i motivi tradizionali sono interpretati con nuovi registri figurativi, mentre nelle conclusioni si considera la





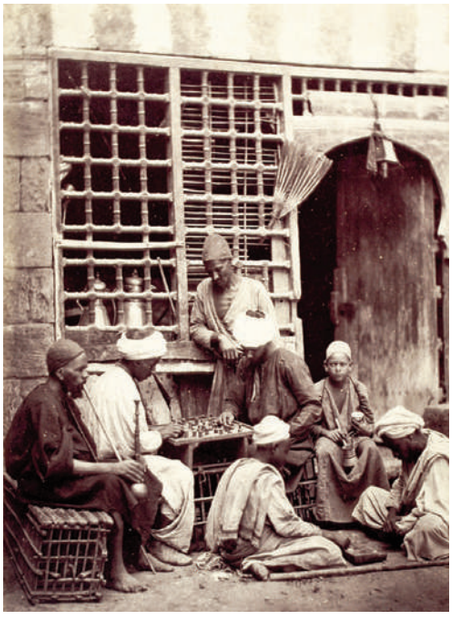


Fig. 2 | 'Street in Boulaq near Cairo' (1881), painted by John Varley II (source: wikiart).

Fig. 3 | 'Mashrabiya in Cairo' (4th quarter of the 19th Century), attributed to Henri Bechard (credit: musée Nicéphore Niépce, Ville de Chalon-sur-Saôn).

Fig. 4 | 'Egyptian café in Cairo' (1868), anonymous Author (credit: musée Nicéphore Niépce, Ville de Chalon-sur-Saône).

complessità e le potenzialità del rapporto tra artigianato e design parametrico, anche tratteggiando possibili linee di ricerca e approfondimenti.

Mashrabiya: pattern di un dispositivo climatico tra geometria e matematica | Nel mondo arabo l'attenzione alle arti tradizionali è sensibilmente aumentata, analogamente all'interesse per la conservazione e valorizzazione degli artefatti artigianali considerati storici. Il Mashrabiya, singolare manufatto tra design e architettura, appartiene a tale categoria per i suoi pattern modulari, per i caratteri costruttivi che consentono di regolare l'isolamento termico, l'ombreggiamento e la ventilazione e per la garanzia della privacy femminile (Casanovas, Campanero and Campisi, 2024). L'elemento architettonico, assimilabile a un bow-window e scomponibile in elementi portanti e di tompagno, è costituito dall'assemblaggio di moduli singoli che con le loro varianti compongono una struttura aggettante leggera, sorretta da un'impalcatura a mensola.

Generalmente in legno, la trama del rivestimento è una singolare sintesi di funzionalità, ricerca artistica e artigianale, controllo geometrico e matematico, che va oltre il mero valore decorativo (Ashour, 2018). L'analisi che segue si concentra sulla concezione e realizzazione del design dei moduli del Mashrabiya, basati su principi geometrici e calcoli matematici; la loro funzione ambientale e l'estetica, tra arabeschi e segni calligrafici, sono controllate con grande sapienza tecnica tramandata dagli artigiani, prima dell'utilizzo dei contemporanei strumenti del design (Paccard, 1980a).

Il volume del Mashrabiya, le cui dimensioni sono variabili[6] (Al-Murahhem, 2010), è generalmente costituito da tre parti principali (Fig. 5): la parte superiore denominata Taj (crown, top) leggermente aggettante, quella centrale Al Nafethah (window) con i diaframmi apribili e la parte inferiore, detta Al Qa'ida (base). Mashrabiya deriva etimologicamente dalla parola araba 'shourb', il cui significato è traducibile con il termine 'bere'. La funzione principale di questo manufatto, tradizionalmente costituito da elementi in legno tornito, è di facilitare la circolazione dell'aria e della luce, nonché di raffreddare l'acqua conservata in contenitori tramite la ventilazione (Paccard, 1980b).

In Arabia Saudita è denominato Roshan, locuzione probabilmente derivata dal persiano, assimilabile a ciò che è luminoso o chiaro (Al-Murahhem, 2010). Un'altra interpretazione del Mashrabiya deriva da Mashrafiya, la cui radice Alshurafa significa un luogo che consente di osservare da un livello più alto senza essere visti dalla quota stradale o dagli edifici posti sullo stesso fronte (Bagasi, Calautit and Karban, 2021). In tal senso la trama volumetrica che aggetta sul mondo esterno, nel celare l'intimità degli interni, rimarca il suo valore sociale rispetto alla privacy.

Come accennato, i moduli che compongono il Mashrabiya sono costituiti da modelli geometrici simmetrici e complessi, basati sull'equilibrio tra cultura visuale, frammentazione della luce ed efficienza di requisiti bioclimatici (Rian, Al Sebai and Abdalla, 2019), secondo una singolare sintesi tra valori estetici, funzionali, storici, culturali e antropologici, rappresentativa dell'architettura e delle arti decorative islamiche[7] (Fathy, 1986). Oltre alla tradizionale manifattura in elementi lignei, che consente la realizzazione di motivi intricati nel dettaglio più accurato garantendo la durata nel tempo, con analoghi risultati possono essere impiegati pietre e metalli (Fig. 6).

A partire dalla Bilia (Cube) il calcolo prevede che quest'ultima sia moltiplicata per la quantità prevista e poi sottratta dalla lunghezza totale Mukharraz (Block). Il valore risultante è poi diviso nei Farkh (Baluster) che vengono determinati sottraendo '1' dal numero totale di Bilia (Cubes; Fig. 7). Tale processo, denominato Taqseet (divisione), è stato descritto dall'artigiano egiziano Afifi Ali nell'ambito di una recente intervista e prevede i seguenti passaggi: a) definizione delle dimensioni complessive degli schermi Mashrabiya; b) dimensionamento di una singola Bilia in base alla profondità dello schermo; c) individuazione del numero di Bilia; d) calcolo dell'equazione per ottenere la lunghezza dei Farkh.

$$\frac{[\text{Lungh. totale} - \text{Dimen. Bilia (Quantità Bilia)}] \ / \ (\text{Quantità Bilia} - 1)}{=}$$
$$\text{Lunghezza dei Farkh}$$

La stima matematica dei motivi Mashrabiya si basa su una griglia geometrica che consente di stabilire le proporzioni degli elementi in relazione al pattern complessivo, utilizzando poligoni e anche avvalendosi della sezione aurea; le griglie prevedono forme geometriche come quadrati, cerchi ed esagoni che vengono ripetuti, connessi e ulteriormente suddivisi sempre attraverso calcoli precisi (Fig. 8). In particolare in Arabia Saudita le principali tecniche di produzione sono costituite dalla tornitura del legno (Khiratah) o dal taglio degli elementi lignei (Manjour) e comportano diverse fasi. Durante il processo vengono impiegati specifici strumenti di disegno e misurazione come matite e compassi, di taglio e intaglio quali seghe, torni e scalpelli, di levigatura e di finitura come pennelli, rulli o pistole a spruzzo per applicare vernici, pitture o sigillanti protettivi (Fig. 9).

Come accennato, i motivi geometrici del Mashrabiya sono costituiti da poligoni interconnessi (quadrati, esagoni, ottagoni) che vengono ripetuti e ruotati per formare un disegno continuo; l'ulteriore suddivisione in triangoli o rombi crea pattern più complessi e intricati, con un effetto visivo complessivo ritmico e dinamico, dove ogni elemento è controllato in modo estremamente accurato e concorre in ogni suo più minuto dettaglio alla composizione dell'insieme (Al-Kodmany, 2016).

Recentemente nel mondo arabo è cresciuto l'interesse per la conservazione e lo studio dei pattern dei Mashrabiya. In tal senso, questo studio propone di realizzare un archivio digitale open source[8] che documenta alcune tipologie di Mashrabiya, con riferimento ai calcoli e alle geometrie che li sottendo-

no, con raccolte di pattern inseriti in architetture storiche, esposti nei Musei o appartenenti a collezioni private, con analisi dei principi geometrici digitalizzati tramite software di progettazione CAD. Si tratta di una preziosa risorsa per conoscere e comprendere la natura del Mashrabiya e per preservare e trasmettere questo singolare aspetto del Patrimonio culturale islamico alle generazioni future.

Inoltre gli archivi digitali offrono nuove possibilità di studio e interpretazione dei motivi decorativi storici, attraverso il confronto dei diversi disegni e l'identificazione delle varianti regionali e locali, con ricerche mirate a tracciare l'evoluzione dei pattern nel tempo in relazione alle aree geografiche. Tali informazioni, che sono fondamentali nell'ambito del restauro di edifici storici, al contempo possono costituire riferimenti per la realizzazione di nuovi progetti che integrano la geometria tradizionale con i registri figurativi contemporanei.

Sono da considerare i nuovi strumenti digitali e in particolare i software parametrici che, per le loro specificità, consentono di sperimentare un'ampia gamma di configurazioni geometriche, generando nuovi modelli. L'integrazione dell'artigianato tradizionale con tali strumenti rappresenta un significativo campo di sviluppo nell'interpretazione contemporanea dei Mashrabiya, con soluzioni che possono combinare tecniche storiche e attuali, per rispondere con nuovi artefatti più efficienti a esigenze di illuminazione e di controllo della ventilazione naturale, preservando il significato culturale degli antichi manufatti (Ashour, 2018; Yang et alii, 2018). La ripetitività dei modelli consente di operare scomponendo gli elementi principali del diaframma in singoli pezzi, a loro volta costituiti da unità, e di digitalizzarli in script in modo da facilitare il design di varianti (Fig. 10).

La cultura del Mashrabiya, oltre a costituire un riferimento nelle pratiche di progettazione sostenibili attente alle condizioni climatiche locali e sensibili alla storia dei saperi costruttivi, si prospetta come trait d'union tra artigianato tradizionale e le più avanzate sperimentazioni digitali (Duan et alii, 2023), testimoniando come l'influenza del passato possa agire sul futuro del design e dell'architettura in una dimensione dinamica ed evolutiva (Rian, Al Sebai and Abdalla, 2020). Questo antico esempio di sistema bioclimatico passivo, radicato nei territori e nel tessuto urbano di grandi e piccole città di un'estesissima area geografica, continua quindi a proiettare i suoi significati simbolici, estetici e funzionali sulla contemporaneità, offrendo lezioni di progettazione resiliente, preziose e ineludibili nell'attuale contesto di emergenza climatica (Saeli and Campisi, 2020; Casanovas, Campanero and Campisi, 2024).

Interpretazioni contemporanee del Mashrabiya tra architettura e design | Nella contemporaneità le arti islamiche continuano ad evolversi adattandosi a multiformi e mutevoli contesti culturali, sociali, politici e i motivi della tradizione araba vengono realizzati con tecniche e materiali moderni: il Mashrabiya è stato reinterpretato in architetture contemporanee quale oggetto culturale emblematico di luoghi e Istituzioni dedicati al mondo arabo.

In tal senso è esemplare l'Institut du Monde Arabe (IMA) di Parigi, concepito da Jean Nouvel e Architecture-studio quale prototipo di trasparenze, gioco di luci, riferimenti geometrici, trattamento degli spazi in equilibrio tra culture tradizionali e innovazione; inaugurato il 30 novembre del 1987, collocato dal punto di vista urbanistico in un punto d'incontro tra la vecchia Parigi e la Parigi haussmaniana, è divenuto il luogo di un rinnovato dialogo tra mondo arabo e cultura occidentale.

Il complesso presenta una facciata sulla Senna che contrasta rispetto a quella orientata a sud aperta sugli edifici dell'Université Pierre et Marie Curie, costituita da 240 pannelli in acciaio e vetro ispirati ai Mashrabiya. Grazie a una cellula fotoelettrica la metà dei moduli può effettuare fino a 18 movimenti al giorno, modificando il disegno della facciata in relazione alle variazioni della luce, ricorrendo a una meccanica sottile che ricorda la tradizione orologiaia araba (Mollard, 2017). Nel tempo, per un inadeguato utilizzo, i Mashrabiya non hanno funzionato, mettendo in evidenza le difficoltà legate all'integrazione di soluzioni high-tech nei progetti architettonici, in particolare per quanto riguarda la manutenzione a lungo termine.[9]

Nel 2017 l'accurato restauro effettuato da la Société Baudin Chateauneuf ha consentito di rimettere in movimento l'emblematica facciata, simbolo della trasposizione e rielaborazione di quell'antico concetto radicato nel mondo arabo che vede la collaborazione tra natura, cultura e artificiale (Figg. 11, 12). Nello stesso anno Nouvel ha realizzato il Louvre di Abu Dhabi, ribaltando il concetto di involucro in Mashrabiya dell'IMA nella costruzione di una cupola di grandi dimensioni[10], che frammenta la luce con un complesso sistema strutturale costituito da otto strati di acciaio e alluminio, la cui trama diffonde la luce naturale con effetti di grande suggestione (Mantash and Youssef, 2021; Fig. 13). Il tema della stratificazione dei motivi geometrici costruiti su



Fig. 5 | A Mashrabiya structure in the Coptic Museum of Cairo (1908), founded by Marcus Simaika (credit: O. Al Azhari, 2024).

Next page

Fig. 6 | Common materials used to build the Mashrabiya structure: Wood structure at Gayer Anderson Museum (1908) in Cairo, Egypt; Stone structure at Al Fateh Grand Mosque (1987) in Manama, Bahrain; Metal structure at Zaouia of Moulay Idriss II (801-830 CE) in Fes, Morocco (credits: O. Al Azhari, 2023, 2024).

una griglia poligonale rimanda al motivo delle stelle islamiche, proiettando in una dimensione contemporanea un antico e simbolico motivo identitario.

Il disegno degli elementi geometrici è stato realizzato avvalendosi di metodi tradizionali di grande precisione, prevedendo poi l'assemblaggio dei componenti prefabbricati in acciaio. Dal punto di vista strutturale la cupola è sostenuta da quattro pilastri nascosti, dando l'impressione di una sorta di tappeto volante che fluttua sopra gli interni del complesso museale; questo effetto aereo e leggero, che in qualche misura contraddice il peso della struttura stratificata metallica della cupola, è stato oggetto di un'oculata e innovativa sperimentazione sviluppata da Buro Happold Engineering. La visione interdisciplinare, inclusiva e sostenibile dell'azienda ha interpretato con coerenza, dal punto di vista strutturale, il concetto di cupola galleggiante[11] progettato dall'architetto francese e il suo significato metaforico legato alla mission del museo, volto a creare uno spazio d'incontro e dialogo interculturale (Grancho, 2023).

La costruzione del Louvre di Abu Dhabi è stata lunga e complessa e ha dovuto affrontare e risolvere questioni significative, principalmente legate al design della grande cupola. Il progetto della struttura è stato più volte ridisegnato; analogamente i calcoli meticolosi che sottendono gli otto strati di pattern hanno contribuito a ritardare la realizzazione del complesso, la cui conclusione prevista per il 2009 è stata posticipata al 2017.[12]

Nel furniture design il Mashrabiya è stato reinterpretato da numerosi designer contemporanei, tra i quali Ahmad Angawi. I suoi arredi sono spesso caratterizzati dai tradizionali motivi a reticolo, con attenzione a principi inclusivi e di sostenibilità ambientale. Tra le altre realizzazioni, è di particolare interesse un sistema di oggetti in multi-plywood, prodotti con tecniche di laser cut. Questi mobili multifunzionali (Shai)[13], modulari e versatili, le cui diverse configurazioni si adattano a spazi esterni e interni, sono sviluppati ispirandosi alla famiglia di motivi geometrici a stella e complesse tassellature comuni in Iran, denominati Girih (Fig. 14). In questo caso tra le maggiori criticità riscontrabili sono da evidenziare, da un lato la necessità di avvalersi di artigiani altamente specializzati nelle tecniche e nei metodi di assemblaggio previsti, con conseguenti limitazioni all'accessibilità e inclusività alla ricerca progettuale e costruttiva di Angawi, dall'altro il fatto che i sistemi di oggetti sono utilizzabili solo per spazi interni, dal momento che i fattori ambientali esterni possono influire negativamente sulla durabilità dei materiali impiegati.

Un esempio originale di redesign del Mashrabiya, con riferimento a tipologie Jali della tradizione del Sud asiatico, è il sistema modulare a matrice tetraedrica, realizzato da Maulik Oza[14], che funziona sia come diaframma di separazione che come dispositivo di ventilazione. I moduli sono realizzati in argilla refrattaria, tramite un processo produttivo che prevede la costruzione di un pezzo in legno e di uno stampo in gesso su cui viene colata l'argilla liquida (Slip): il gesso assorbe l'umidità dell'argilla, mentre uno strato della materia inizia ad aderire allo stampo; dopo alcuni minuti, a seconda dello spessore previsto, si provvede a eliminare l'argilla liquida rimanente. La materia restante forma il modulo che, una volta asciutto, viene staccato dal negativo e cotto prima a 900 poi a 1.200 °C, per poter ricevere la smaltatura che lo rifinisce attribuendo qualità estetica, durata e resistenza al prodotto (Figg. 15, 16).

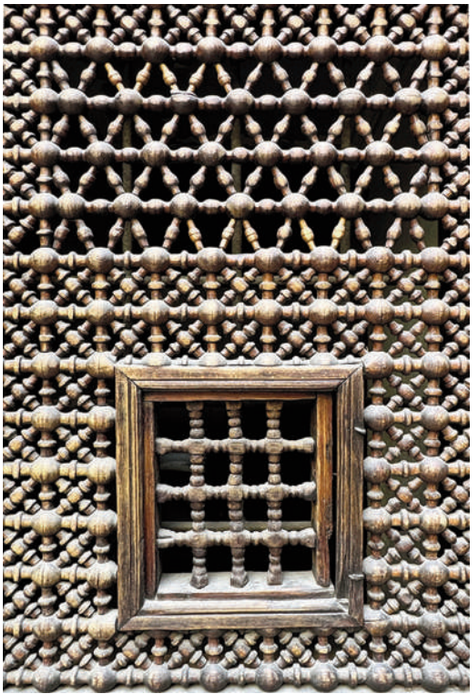
Il modulo Jali è stato studiato con un'attenzione particolare all'adattabilità a diversi tipi di telai, in legno o metallo, consentendo di ruotare e specchiare i moduli; tale approccio ha migliorato le caratteristiche di sicurezza del singolo pezzo, in quanto lo spessore di tre pollici e la forma perfettamente chiusa garantiscono il contenimento in caso di rottura riducendo il rischio di caduta degli elementi. Questo metodo di produzione suddiviso in più stadi comporta un processo lento e complesso con possibili conseguenze sulla riuscita dei pezzi e sull'economicità del prodotto: la cottura in due fasi dell'argilla prevede tempi lunghi e di conseguenza maggiori costi di produzione. Inoltre lo spessore richiesto per i moduli, necessario per prevenire rotture e migliorare la sicurezza, ne aumenta il peso limitando la flessibilità del sistema. Sebbene l'argilla sia resistente ai fattori climatici esterni, il prodotto richiede una manipolazione attenta e una cura scrupolosa nelle fasi d'installazione a causa della natura di questa sostanza minerale.

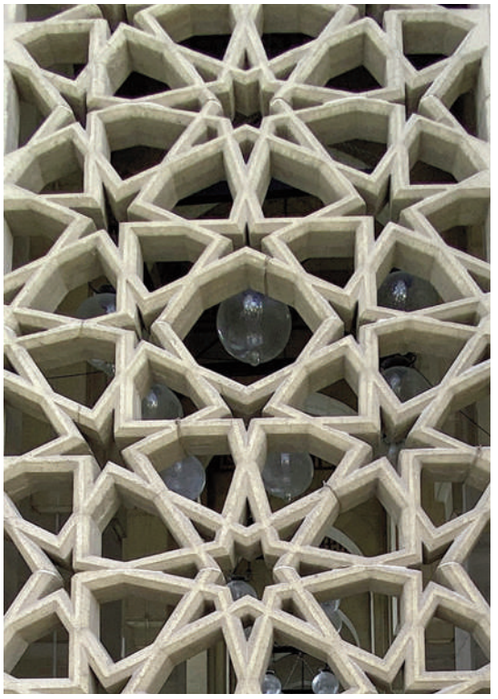
Gli esempi di reinterpretazione tra architettura e design del Mashrabiya dimostrano l'innovazione nella continuità della tradizione di questo oggetto culturale in contesti contemporanei, valorizzando un elemento complesso del Patrimonio culturale arabo in risposta alle attuali esigenze di sostenibilità e adattabilità al clima di specifici contesti.

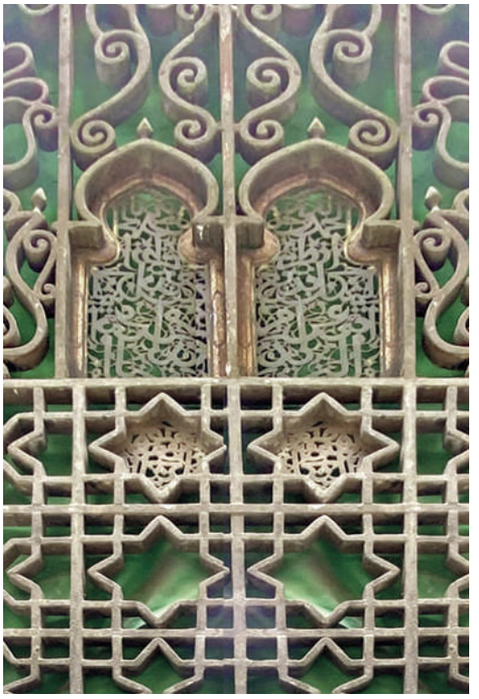
Conclusioni | Gli strumenti di progettazione parametrica consentono di creare modelli complessi che conservano le caratteristiche morfologiche e il significato culturale del Mashrabiya, ottimizzando al contempo le prestazioni ambientali: ciò riflette una tendenza più ampia che si riscontra nell'architettura adattiva, in particolare nella progettazione modulare mirata all'efficientamento energetico (Manni and Valzano, 2023).

Le relazioni tra gli elementi dei diaframmi vengono definite secondo un approccio aperto a molteplici varianti, consentendo l'adattabilità del singolo rispetto all'insieme e viceversa; in tal senso le modifiche di un'unità inducono mutazioni corrispondenti negli altri elementi, con modelli che si prefigurano altamente interattivi. Dal momento che le geometrie dei Mashrabiya sono progettate per essere interconnesse, la variazione dei parametri comporta risposte adattive all'interno del modello, generando sistemi dinamici controllati da algoritmi. Inoltre il design parametrico consente di modificare proprietà non solo dimensionali, ma anche legate a materiali e aspetti cromatici.

Il connubio tra artigianato tradizionale e design parametrico sviluppa riflessioni teoriche e pratiche







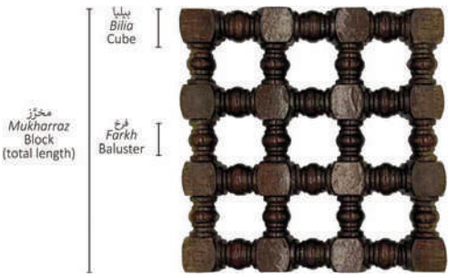


Fig. 7 | The components of a Mashrabiya screen using local terms in Egypt (credit: O. Al Azhari, 2023).

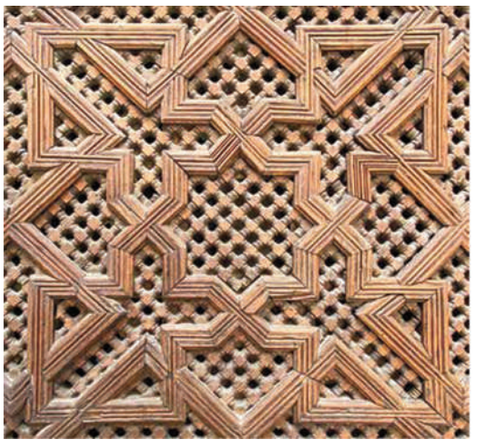
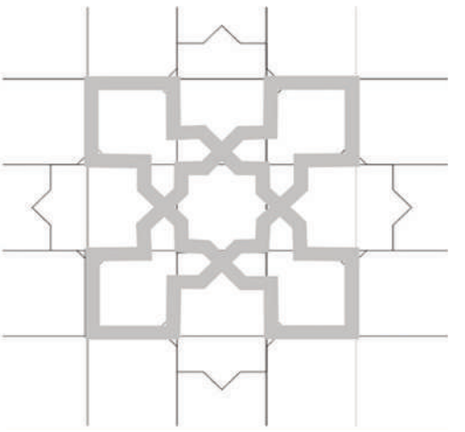


Fig. 8 | An extracted 8-pointed star (Khatim Sulemani) pattern from a Mashrabiya screen at Attarine Medrasa (1310-1331), built by the Marinid sultan Uthman II Abu Said in Fes, Morocco (credit: O. Al Azhari, 2023).



sull'evoluzione del design e sulla progettazione architettonica, in particolare nello studio del Mashrabiya. Come evidenziato nei paragrafi precedenti, questo componente in grado di regolare e filtrare la luce e l'aria, è profondamente radicato nelle città arabe e non solo, caratterizzando l'aspetto urbano, tra spazio pubblico e privato e riflettendo una particolare visione della privacy: la sua modularità e adattabilità sono coerenti con i più avanzati sistemi costruttivi, preposti a rispondere in tempo reale a particolari condizioni ambientali (Negroponte, 1976).

Come ha osservato McCullough (1996), il mondo artigianale non è separato da quello digitale. Al contrario le nuove tecnologie possono offrire grandi opportunità di sviluppo a tali pratiche, migliorando e incentivando mestieri a rischio di estinzione, fermo restando che per la conservazione e valorizzazione del Patrimonio culturale, nel caso del Mashrabiya e non solo, è necessario trovare un punto di equilibrio tra tradizione e innovazione, combinando tecniche artigianali con strumenti di design parametrico, metodologie stratificate nel tempo e fabbricazione digitale, e soprattutto riaprendo con maggiore forza, e non cancellando, il dibattito sul significato dell'artificiale quale prodotto culturale in relazione alla natura (Maldonado, 1992).

Questa integrazione è fondamentale per affrontare le sfide dell'efficienza energetica, preservando al contempo i valori culturali e materiali del Patrimonio storico architettonico (Salkini, Greco and Lucente, 2017; Kesseiba and El-Husseiny, 2019; Saleh and Saied, 2017; Casanovas, Campanero and Campisi, 2024). Lo studio del Mashrabiya è quindi un esempio significativo delle modalità con cui il rapporto tra artigianato e digitale possa fornire nuovi metodi e soluzioni tanto nell'ambito della conservazione del Patrimonio storico e delle sue ricadute sul restauro e la manutenzione di opere architettoniche, quanto nell'affrontare le sfide ambientali contemporanee. È infatti fondamentale la preservazione dei saperi costruttivi, anche nel corso della transizione energetica, poiché i sistemi bioclimatici passivi tradizionali restano comunque un'alternativa sostenibile (Salkini, Greco and Lucente, 2017; El-Hitami, Mahall and Serbest, 2023).

Il design dei Mashrabiya può essere realizzato con diverse tecniche digitali, a seconda delle specificità morfologiche dei dettagli. Finora la maggior parte degli esperimenti realizzati è stata concentrata su metodi di fabbricazione sottrattivi, quali la fresatura CNC e il laser cutting. I metodi additivi, come la stampa 3D, sono ancora oggetto di studio e ricerca, mentre la più recente stampa 4D, con l'introduzione di materiali intelligenti, prefigura innovative capacità di adattamento agli stimoli ambientali anche considerando la dimensione temporale, rispetto alla quale sono possibili variazioni morfologiche (Correa et alii, 2023). Si tratta di sperimentazioni all'avanguardia che necessitano di ulteriori ricerche al fine di valutarne l'applicabilità su larga scala (Momeni et alii, 2017; Morbiducci, Polverino and Battaglia, 2023).

L'integrazione tra artigianato e tecnologie digitali accessibili può contribuire a creare nuove relazioni tra capitale sociale e Patrimonio storico (Manzini, 2015), consentendo di conoscere, comprendere e trasmettere alle generazioni presenti e future l'estetica, la cultura geometrica e matematica e i significati simbolici e antropologici dei diversi modelli Mashrabiya. Il nuovo processo richiede grande attenzione e considerazione delle competenze degli artigiani tradizionali e al contempo delle pratiche di formazione sul digitale, promuovendo un ambiente collaborativo e di scambio di idee ed esperienze.

Lo studio proposto apre a diverse linee di ricerca e approfondimenti dei numerosi aspetti, tra i quali: la sistematizzazione di pattern esemplificativi in aree del Nord Africa, quali Egitto e Marocco, fortemente segnate dalla presenza dei Mashrabiya al fine di classificare in un archivio digitale open-source più famiglie comparabili; l'estensione delle indagini in contesti geografici diversi, tra cui l'India e la Spagna, che presentano analoghe tradizioni artigianali e architettoniche con l'obiettivo di implementare la raccolta; lo studio e la verifica delle potenzialità e dei limiti degli strumenti digitali in 3D e 4D, considerando possibili integrazioni fornite dal lavoro manuale degli artigiani; la necessità di comprendere le modalità di effettiva collaborazione tra artigiani e designer, testata attraverso indagini sul campo, anche di tipo etnografico.

Il Mashrabiya può quindi essere considerato da un lato per il suo valore in quanto oggetto concreto i cui significati sono stratificati nel tempo, dall'altro come strumento volto ad attivare la condivisione tra passato e innovazione, nell'ottica di creare nuove competenze per un design sostenibile e sensibile alle specificità di luoghi e territori, aperto al dialogo interculturale tra il mondo occidentale e il mondo arabo.

The paper addresses the theme of complexity in relation to its etymological meaning, understood as the qualitative characteristic of a system structured by interacting parts, more precisely by an intertwining of elements that constitute a unit characterised by variability and randomness, concerning some definitions and theoretical reflections (Bateson, 1984; Kalton and Mobus, 2014; Morin, 2018).

The interrelated general issues are investigated starting from the study of the design of the Mashrabiya, rooted in the architecture of the MENA (Middle East and North Africa; Ashour, 2018) and generally consisting of a projecting volume with a bracket structure and a wooden element diaphragm. This climatic device, a model of a figurative and constructive language with ornamental forms including calligraphic, floral, and geometric elements, is well identifiable within the scope of Islamic arts (Wichmann and Wade, 2021). The methodological approach underlying the research proposes, in line with the reference definitions, the analysis of a complex theme starting from a tangible object layered over time, with a shift from the micro to the macro, identifying how this artefact incorporates multiple interrelated elements and participates in a broader systemic vision.

This intricate material and immaterial fabric raises countless issues that can be explored from various perspectives. Among the themes that have emerged from the studies conducted are: the Anthropocene context and the need to recover traditional sustainable building solutions, bridging design and architecture for energy transition and the preservation and promotion of cultural heritage; the significance of historical, identity-related, socio-cultural, and anthropological aspects tied to places and territories, which form narratives connected to material artefacts through a post-colonial approach that fosters multicultural dialogue; the role of images in the transmission of material culture and art between the East and West; and the preservation and promotion of artisanal knowledge through archival digitisation and parametric design.

In the era of the Anthropocene, characterised by current climate changes with extreme weather events (Crutzen and Stoermer, 2000; Crutzen, 2002; Latour, 2018), environmental factors and related sustainable solutions should be studied on a bio-regional scale, taking into account specific contexts, cultures and identities, social relationships, and anthropological issues. This approach relates to concrete facts and real problems and builds connections between nature and the artificial based on the complex dynamics of the external order: climate, geographical location, available natural resources, and cultural and rit-

ual practices. Sustainability, therefore, cannot be defined univocally but rather as a multipolar and multifaceted mechanism that operates by considering historical-aesthetic values, local traditions, and layers that have defined the character of sites (Saleh and Saied, 2017), incorporating that constructive wisdom that in the past operated by using the nearest resources and responding to the complexity of local environmental needs (Casanovas, Campanero and Campisi, 2024). Knowledge and understanding of specific traditions open up innovation and design experimentation at various scales, involving communities (Harris and Moore, 2015; Balducci and Camilli, 2022).

To understand some of the aspects that characterise the Mashrabiya's complex nature regarding the highlighted themes, it is essential to outline a reference framework in which the development of this artefact takes place within Islamic arts, whose knowledge in Europe is linked to colonialism, travel, art, and collecting.

With the West's expansion into the Islamic world, which began in the 18th Century, so-called Oriental cultures gained more value and interest, surpassing the phenomenon of exoticism, which was linked to the perception of distance and the recognition of the originality of testimonies brought back from journeys (Affergan, 1991). Exotic objects, no longer kept in Wunderkammer, were displayed and sometimes transformed into a dimension of cultural contamination. The adaptation to new tastes led to a transposition from the classical Greek and Roman references to a different and mysterious art extended over a vast area, from Spain to India, which the term 'Islamic' incorporates with multiple cultural, historical, political, social, and religious meanings. It was only following studies and publications on architecture and systems of objects (Saladin, 1907) and the Exposition des Arts Musulman of 1893, held at the Palais de l'Industrie on the Champs Élysées in Paris and curated by Georges Mayre (General Commissioner and member of the Mission en Afrique du Nord), that artistic manifestations previously classified as Arabic or Oriental came to be defined as Islamic arts, including all monuments of countries subject to Islamic law in the East or West, thus entering the scientific language (Peltre, 2006). The exhibition was realised with loans from more than eighty collectors, rare pieces acquired during travels and expeditions, totalling about 2,883 objects of various types (stones and marbles, majolica, porcelain, glass, musical instruments, weapons, jewellery, fabrics, carpets, and costumes).

The purpose of the event went beyond merely exhibiting and classifying works scattered between museums and private collections: to introduce Islamic art as a whole meant directing the industries of French cities and the subjugated Muslim countries to create new products to strengthen the economy and French colonial culture[1] (Mayre, 1893). Collecting thus strongly influenced the development of the visual dialogue between the West and East, becoming a fundamental tool for social and community investigation capable of recording changes in taste, relationships, and cultural exchanges over centuries (Pomian, 1989).

Although there is a common perception of civilisation, due to the numerous variants of Islamic arts across different territories, it has recently been argued that it is more appropriate to define such objects with an anthropological approach, where historical and cultural aspects are closely connected to specific aesthetics, as object and context inform each other. Islamic artefacts, including the Mashrabiya, bear multiple clues to the social relationships that have unfolded over the ages and the network of connections formed by the passage of ownership (Weber, 2013). The way they are used and the anthropological and customary aspects they integrate constitute their biographies, even considering functional and meaning changes with the attribution of new and different identities (Mattozzi et alii, 2009; McGregor, 2015).

Islamic artefacts, of which the Mashrabiya is an integral part, are testimonies of a varied and extremely extensive civilisation, whose general decorative characteristics include countless individual phenomena, reflecting past and present everyday life in numerous contexts, with insertions of shared principles in peculiar and distant settings (Grabar, 1973). In this sense, their aesthetic value based on interweaving is linked to a broader and more complex narrative constituted by traditions, myths, rituals, daily gestures, symbols, and metaphors that are difficult to decipher by other cultures, also due to the calligraphic inscriptions that distinguish wall coverings and objects, whose texts are clues to the periods and places of their creation.

Specifically, in the design of the patterns making up the modular units of the Mashrabiya present in Saudi Arabia and the subject of this study, the mutual influences between different geographical areas are mainly due to the pilgrimages from Egypt to Mecca during the Mamluk period and, more generally, to the journeys related to trade routes (Behrens-Abouseif, 2011). Among the pilgrims and merchants were artisans who combined religious duties with the transmission of skills, meeting with other experts in the regions they visited. These journeys formed a true platform for the exchange of ideas, technical knowledge, skills, and innovations across a broad spectrum of crafts.[2]

The theme of travel intertwines with the analysis of the transmission of artisanal knowledge in the decorative field, which, since the 19th Century, has been linked to the meaning of design in terms of evolution, with studies investigating the morphological



Fig. 9 | The techniques of wood-turning and Manjour used in the Mashrabiya screens (credit: O. Al Azhari, 2022, 2023; source: D. K. Publishing, 2021).



Fig. 10 | An exploded view of the 'Maymouni' pattern elaborating its main building components for further digitisation and purposes (O. Al Azhari, 2024).

changes of practical artefacts through biological analogies, such as the Darwinian one. This approach establishes that mutations occur with very gradual processes, whose stages are tied to successive imitation (Steadman, 1988), as in the analysis proposed by Henry Balfour (1893), who identifies the origins of certain decorative forms through searching for these imitations.

From the beginning to the end of the series, differences between the specimens can be so significant that it is impossible to identify a 'genetic' connection without knowing the intermediate links (Steadman, 1988). In reproducing a motif, random design details may be chosen and expanded, while others may not be considered. Balfour (1893) himself deduces that the artisan interprets and makes voluntary variations of the motifs, thus proposing a divergence from the analogy with theories of Charles Darwin (1859), as in organic evolution, mutations are random, and only those that happen to be advantageous in the selection process can be transmitted and inherited (Steadman, 1988).

This theme is central to the study of Mashrabiya, which considers two aspects: on the one hand, the transmission of ancient artisanal knowledge from generation to generation and the evolution of types (Partarakis and Zabulis, 2023); on the other hand, the innovation of motifs and their production through digital processes, blending industrialisation with craftsmanship.

In this context, images of Mashrabiya, both in paintings and photographic reproductions, are seen as research sources, serving as eyewitness testimonies of the past (Burke, 2017). Influenced by orientalism, European artists, primarily French, explored the Islamic world following diplomatic missions. These orientalists documented forms, colours, exteriors and interiors, objects, and traditions of Islamic culture, particularly in Egypt and the Maghreb, paving the way for an ethnographic and descriptive approach that would become prevalent in the late 19th Century with the influence of realism and photography. This shift also contributed to the evolving perception of Islamic art in the West (Peltre, 2006).

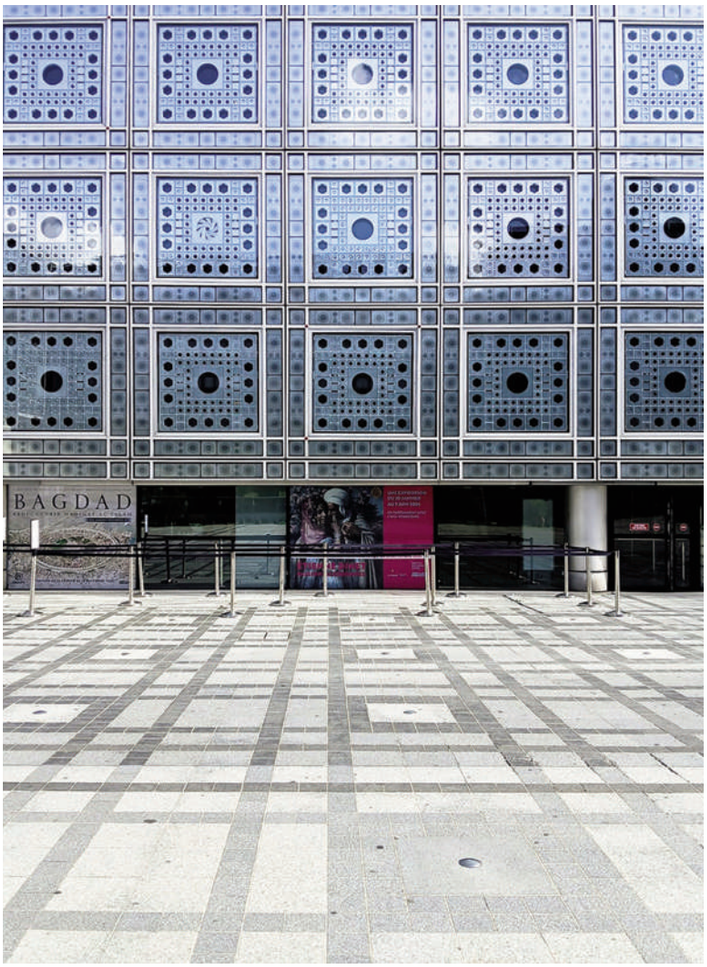
Through travel diaries of Eugène Delacroix[3], works by Jean-Léon Gérôme[4] (Fig. 1), paintings by John Varley II (Fig. 2), photographic reproductions by Henri Béchard[5] or anonymous photographers, and the impressions of journalists like Gabriel Charmes who stayed in Egypt between 1879 and 1880 (Peltre, 2006), the Mashrabiya is shown filtering and fragmenting light inside while shaping facades and their relationship to the urban scene outside.

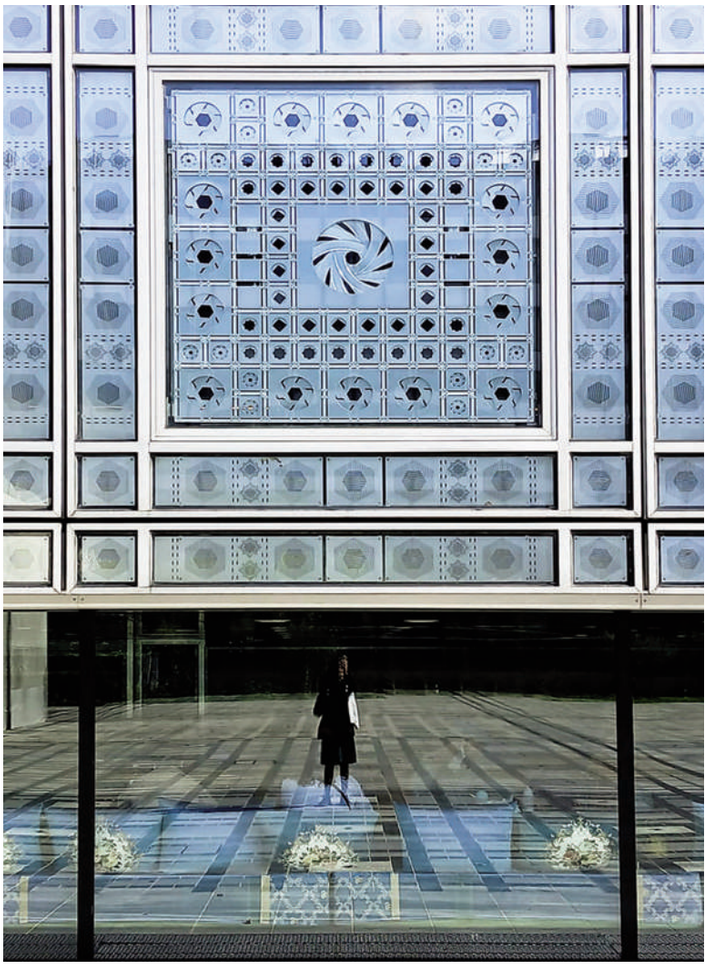
In selected images, certain archetypes passed down through artisanal knowledge can be identified, such as the wooden 'Maymouni' model, depicted in Béchard's image as a typical facade screen (Fig. 3) and in the upper part of a photograph of a Mashrabiya in Cairo, showing its use as a street-facing structure (Fig. 4). The digital archive proposed by this study includes these images, believing they provide insight into the design patterns, materials, and techniques used in Mashrabiya during specific periods and places.

Given these themes, the contribution focuses on the morphological, geometric, and constructive analysis of the Mashrabiya as a diaphragm made up of repeatable and modifiable modular units, and its significance in Islamic culture, balancing tradition and innovation.

One well-known characteristic of Islamic art is its continuous and serial structure, based on the repetition of patterns, whose potentially infinite variations include ornamental, calligraphic, and vegetal motifs, and expressions of religious, philosophical, and theoretical principles. This aniconic language is built on graphic logic with strict structures governed by geometric laws. The design of the Mashrabiya is underpinned by mathematical calculations (Paccard, 1980a) that regulate its climatic function. Like every pattern, it shares similarities with fabric, involving repetitions and variations made from different materials such as plaster, wood, and ceramics. It complicates the analysis of individual elements (lines, signs, shapes) in favour of perceiving the whole.

The Mashrabiya embodies a morphological vision and the use of abstract concepts alternative to figurative representation, referencing the theories of Alois Riegl (2008), where the history of ornament is tied to perception, particularly tactility, which men-





Figg. 11, 12 | A view from the Arab World Institute (1987) in Paris, designed by Jean Nouvel (credits: F. Dal Falco, 2024).

tally integrates three-dimensionality into surfaces, experienced visually mostly as planes. Furthermore, the relationship between ornament-cladding and the structure of the architectural body is fundamental to the theory of Gottfried Semper (1992), where ethnological and historical-cultural aspects integrate material, technological, and anthropological ones, and the origins of architecture are closely linked to weaving, identified in the alternating warp and weft unique to it.

This intrinsic variability, stemming from the analogy between ornament and fabric, underpins the geometric and mathematical laws that regulate the conception and construction of the Mashrabiya, which can vary based on specific environmental and social needs, with a wide range of designs and patterns more or less dense depending on sun exposure, whether interiors are for men or women, and the importance of buildings. The artistic legitimisation of the pattern, beyond its meaning as a mechanical repetition of an ornamental motif, was advocated by Amy Goldin (1975), who identified the possibilities of variation within a module as the centre of a generative system with infinite untapped potential. In the same year, Ernst Gombrich (1979) published The Sense of Order, in which he systematised a psychology of decorative art, impacting the re-evaluation of this culture, long associated with the need for order inherent in visual perception.

In the following sections, these artefacts' morphological and constructive aspects are explored, considering the issues related to the transmission of decorative craft cultures balancing tradition and innovation. This balance encompasses the creation of dedicated digital archives, highlighting innovative opportunities to reproduce and vary patterns using parametric design. The analysis identifies the fundamental characteristics of the Mashrabiya in the MENA region, particularly in Saudi Arabia, with studies on the main mathematical formulas used to construct the classic 'Maymouni' pattern, arguing for the importance of creating digital archives to valorise these patterns. Four contemporary case studies between architecture and design, where traditional motifs are reinterpreted with new figurative registers, are examined. The conclusion reflects on the complexity and potential of the relationship between craftsmanship and parametric design, outlining possible research directions.

Mashrabiya: the pattern of a climatic device between geometry and mathematics | In the Arab world, attention to traditional arts has significantly increased, along with interest in the conservation and valorisation of artisanal artefacts considered historic. The Mashrabiya, a unique object between design and architecture, belongs to this category due to its modular patterns and its constructive characteristics, which regulate thermal insulation, shading, ventilation, and guarantee female privacy (Casanovas, Campanero and Campisi, 2024). This architectural element, comparable to a bow window and composed of load-bearing and infill elements, is made up of the assembly of individual modules, whose variations form a lightweight projecting structure supported by a cantilevered framework.

Generally made of wood, the lattice structure is a unique synthesis of functionality, artistic and artisanal research, and geometric and mathematical control, transcending mere decorative value (Ashour, 2018). The following analysis focuses on the design and realisation of Mashrabiya modules, based on geometric principles and mathematical calculations. Their environmental function and aesthetics, between arabesques and calligraphic signs, are controlled with great technical expertise passed down by artisans, before the use of contemporary design tools (Paccard, 1980a).

The Mashrabiya, whose size can vary (Al-Murahhem, 2010)[6], generally consists of three main parts (Fig. 5): the upper part, called Taj (crown, top), slightly projecting; the central part, Al Nafethah (window), with openable diaphragms; and the lower part, called Al Qa'ida (base). The term Mashrabiya derives etymologically from the Arabic word 'shourb', which can be translated as 'to drink'. Traditionally made from turned wood, its primary function was to facilitate air circulation and light, as well as cool water stored in containers through ventilation (Paccard, 1980b).

In Saudi Arabia, it is called Roshan, a term likely derived from Persian, referring to something bright or clear (Al-Murahhem, 2010). Another interpretation of Mashrabiya comes from Mashrafiya, whose root, Alshurafa, means a place that allows observation from a higher level without being seen from the street or buildings on the same side (Bagasi, Calautit and Karban, 2021). In this sense, while concealing interior privacy, the projecting volumetric lattice emphasises its social value regarding privacy.

As mentioned, the modules that compose the Mashrabiya consist of symmetrical and complex geometric patterns, balanced between visual culture, light fragmentation, and bioclimatic efficiency (Rian, Al Sebai and Abdalla, 2019), representing a unique synthesis of aesthetic, functional, historical, cultural, and anthropological values, emblematic of Islamic architecture and decorative arts[7] (Fathy, 1986). Besides traditional wood craftsmanship, which allows for intricate motifs to be created with meticulous detail and longevity, stone and metal can also be used with similar results (Fig. 6).

Starting with the Bilia (Cube), the calculation involves multiplying it by the required amount and then subtracting it from the total length of the Mukharraz (Block). The resulting value is divided among the Farkh (Baluster), which are determined by subtracting '1' from the total number of Bilia (Cubes; Fig. 7). This process, called Taqseet (division), was described by the Egyptian craftsman Afifi Ali in a recent interview, following these steps: a) determining the overall size of the Mashrabiya screens; b) sizing a single Bilia based on the depth of the screen; c) identifying the number of Bilia; d) calculating the equation to obtain the length of the Farkh.

$$\frac{[\text{Total Length} - \text{Bilia Dimension (Bilia Quantity)}] \ / \ (\text{Bilia Quantity} - 1)}{=} \\ \text{Length of the Farkh}$$

The mathematical estimation of Mashrabiya patterns is based on a geometric grid that establishes the proportions of the elements concerning the overall design, using polygons and even applying the golden ratio. The grids involve geometric shapes such as squares, circles, and hexagons that are repeated, connected, and further divided through precise calculations (Fig. 8). In Saudi Arabia, the main production techniques include woodturning (Khiratah) and cutting wooden elements (Manjour). These processes involve several phases, during which specific drawing and measuring tools like pencils and compasses are used, as well as cutting and carving tools such as saws, lathes, and chisels, and finishing tools like brushes, rollers, or spray guns for applying varnishes, paints, or protective sealants (Fig. 9).



Fig. 13 | Part of the Louvre Abu Dhabi Museum building structure (2007) in the United Arab Emirates, designed by Jean Nouvel (credit: S. Al Ibrahim, 2019).

As previously mentioned, the geometric patterns of the Mashrabiya are made up of interconnected polygons (squares, hexagons, octagons) that are repeated and rotated to form a continuous design. Further subdivision into triangles or rhombuses creates more complex and intricate patterns, with a rhythmic and dynamic overall visual effect, where each element is precisely controlled and contributes in every detail to the composition of the whole (Al-Kodmany, 2016).

Recently, there has been a growing interest in the Arab world in preserving and studying Mashrabiya patterns. In this regard, this study proposes realising an open-source digital archive[8] that documents various types of Mashrabiya, focusing on their calculations and geometries. The archive will include collections of patterns featured in historical architecture, displayed in museums, or belonging to private collections, along with analyses of geometric principles digitised using CAD design software. These archives serve as a valuable resource for understanding the nature of Mashrabiya, especially for preserving and transmitting this unique aspect of Islamic cultural heritage to future generations. Furthermore, digital archives offer new possibilities for studying and interpreting historical decorative patterns by comparing different designs and identifying regional and local variations, with research aimed at tracing the evolution of the patterns over time concerning geographic areas. This information is crucial for the restoration of historic buildings and can also serve as a reference for new projects that integrate traditional geometry with contemporary figurative registers.

New digital tools, especially parametric software, enable experimentation with a wide range of geometric configurations, generating new models that balance tradition and innovation. The integration of traditional craftsmanship with these tools represents a significant area of development in the contemporary interpretation of Mashrabiya, offering solutions



that combine historical and current techniques to create more efficient artefacts while preserving the cultural significance of the ancient designs (Ashour, 2018; Yang et alii, 2018). The repetitive nature of the models allows for the main elements of the screen to be broken down into individual pieces, which are digitised into scripts to facilitate the design of variations (Fig. 10).

The Mashrabiya culture, while serving as a reference in sustainable design practices sensitive to local climatic conditions and respectful of construction knowledge, is also seen as a bridge between traditional craftsmanship and the most advanced digital experiments (Duan et alii, 2023). It demonstrates how the influence of the past can shape the future of design and architecture in a dynamic and evolving dimension (Rian, Al Sebai and Abdalla, 2020). This ancient example of a passive bioclimatic system, rooted in the territories and urban fabric of large and small cities across a vast geographic area, continues to project its symbolic, aesthetic, and functional meanings onto the contemporary world, offering invaluable lessons in resilient design, particularly relevant in today's context of climate emergency (Saeli and Campisi, 2020; Casanovas, Campanero and Campisi, 2024).

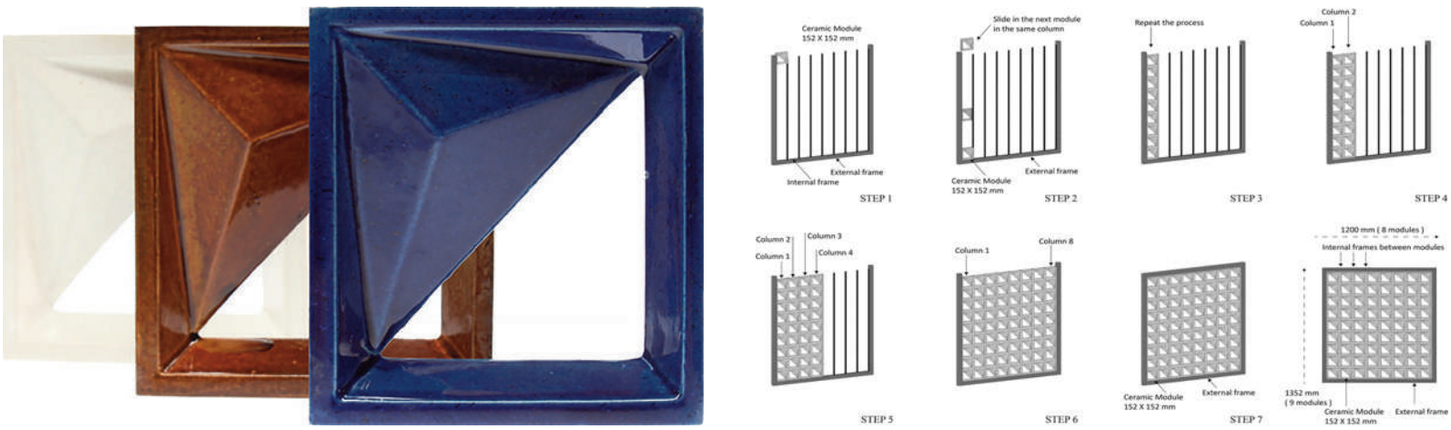
Contemporary interpretations of Mashrabiya between architecture and design | In modern times, Islamic arts continue to evolve, adapting to various cultural, social, and political contexts, while traditional Arab motifs are being created using modern techniques and materials. The Mashrabiya has been reinterpreted in contemporary architecture as an iconic cultural object representative of places and institutions dedicated to the Arab world.

A prime example is the Institut du Monde Arabe (IMA) in Paris, designed by Jean Nouvel and Architecture-Studio as a prototype of transparency, light play, geometric references, and a balanced treatment of spaces between traditional cultures and innovation. Inaugurated on November 30, 1987, and located at an urban intersection between old and Haussmannian Paris, it has become a renewed dialogue point between the Arab world and Western culture.

The complex features a façade on the Seine, which contrasts with the southern-facing one that opens onto the Université Pierre et Marie Curie buildings, consisting of 240 steel and glass panels inspired by the Mashrabiya. With a photoelectric cell, half of the modules can make up to 18 movements a day, altering the design of the façade based on light variations, using a delicate mechanism reminiscent of the Arab watchmaking tradition (Mollard, 2017). Over time, due to inadequate use, the Mashrabiya stopped functioning, highlighting the challenges of integrating high-tech solutions in architectural projects, particularly concerning long-term maintenance.[9]

In 2017, a meticulous restoration carried out by Société Baudin Chateauneuf enabled the iconic façade to move again, symbolising the reinterpretation and reimagining of the ancient concept from the Arab world that combines nature, culture, and the artificial (Figg. 11, 12). In the same year, Nouvel designed the Louvre Abu Dhabi, reversing the Mashrabiya concept of the IMA by creating a large dome[10],

Fig. 14 | The modular furniture reinterprets the geometry of the Mashrabiya screens and serves different functions, designed by Ahmad Angawi (credit: Zawiya 97 archive, 2024).



Figg. 15, 16 | Jali Screens Products made from stoneware clay as a main component in building screens and partitions, designed by Maulik Oza at Clay Club Innovations Pvt. Ltd. (source: clayclub.in, 2017).

that filters light through a complex structural system made of eight layers of steel and aluminium, casting impressive natural light effects (Mantash and Youssef, 2021; Fig. 13). The layering of geometric motifs built on a polygonal grid evokes Islamic star patterns, bringing an ancient and symbolic identity motif into a contemporary dimension.

The geometric elements were designed using traditional, highly precise methods, with the prefabricated steel components assembled later. Structurally, the dome is supported by four hidden pillars, giving the impression of a 'floating' carpet above the museum's interiors. This airy and lightweight effect, which somewhat contradicts the weight of the dome's metal layers, resulted from careful and innovative experimentation developed by Buro Happold Engineering. The company's interdisciplinary, inclusive, and sustainable approach structurally interpreted the French architect's floating dome concept[11] and its metaphorical significance, aligned with the museum's mission to create a space for intercultural dialogue (Grancho, 2023).

The construction of the Louvre Abu Dhabi was lengthy and complex, facing and solving significant challenges, primarily related to the design of the large dome. The structure was redesigned several times, and the meticulous calculations underlying the eight layers of patterns contributed to delays, pushing the completion from 2009 to 2017.[12]

Mashrabiya has been reinterpreted in furniture design by many contemporary designers, including Ahmad Angawi. His furniture is often characterised by traditional Mashrabiya lattice motifs, with a focus on inclusivity and environmental sustainability. Particularly interesting is a system of multi-plywood objects produced with laser-cut techniques. These multifunctional, modular, and versatile furniture pieces (Shai)[13], adaptable to both outdoor and indoor spaces, are inspired by the family of star motifs and complex tessellations common in Iran, known as Girih (Fig. 14). However, some notable challenges include the need for highly specialised artisans skilled in assembly techniques, which limits the accessibility and inclusiveness of Angawi's design and construction research. Additionally, the object systems are suitable mainly for indoor use as external environmental factors could negatively affect the durability of the materials.

An original example of the Mashrabiya redesign, referencing the Jali types from South Asian traditions, is the modular tetrahedral matrix system by Maulik Oza[14], which functions both as a partition and as a ventilation device. The modules are made of refractory clay through a production process involving the creation of a wooden piece and a plaster mould onto which liquid clay (Slip) is poured. The plaster absorbs the moisture from the clay, while a layer of the material begins to adhere to the mould; after a few minutes, the remaining liquid clay is removed depending on the thickness. The remaining material forms the module that is released once dry from the negative and fired first at 900 °C and then at 1,200 °C for the glazing, which enhances its aesthetic quality, durability, and resistance (Figg. 15, 16).

The Jali module was designed with particular attention to adaptability to different types of frames, whether wooden or metal, allowing the modules to be rotated and mirrored. This approach also improved the safety characteristics of each piece, as the three-inch thickness and perfectly enclosed shape ensure containment in case of breakage, reducing the risk of falling parts. This multi-stage production method leads to a slow and complex process, with possible consequences for the pieces' success and the product's cost-effectiveness. The two-stage clay firing process results in long production times and, therefore, higher costs. Additionally, the thickness required for the modules, necessary to prevent breakage and enhance safety, increases their weight, limiting the system's flexibility: although the clay is resistant to external climatic factors, the product requires careful handling and meticulous care during installation due to the nature of this material.

Examples of reinterpretations between the architecture and the Mashrabiya design demonstrate innovation in the continuity of the tradition of this cultural object in contemporary contexts, enhancing a complex element of Arab cultural heritage in response to current needs for sustainability and climate adaptability in specific environments.

Conclusions | Parametric design tools allow for the creation of complex models that preserve the Mashrabiya's morphological characteristics and cultural significance while optimising environmental performance. This reflects a broader trend in adaptive architecture, particularly in modular design aimed at energy efficiency (Manni and Valzano, 2023). The relationships between the elements of the screens are defined through an approach open to multiple variations, allowing the adaptability of the individual element concerning the whole and vice versa. In this sense, the modification of one unit induces corresponding changes in other elements, resulting in highly interactive models. Since the geometries of the Mashrabiya are designed to be interconnected, parameter variations lead to adaptive responses within the model, generating dynamic systems controlled by algorithms. Moreover, the parametric design allows for modifying properties related to dimensions, materials, and colour aspects.

The combination of traditional craftsmanship and parametric design fosters theoretical and practical reflections on the evolution of design and architectural planning, especially in the study of the Mashrabiya. As highlighted in the preceding paragraphs, this component, capable of regulating and filtering light and air, is deeply rooted in Arab cities and beyond, shaping the urban landscape between public and private spaces and reflecting a particular vision of privacy. Its modularity and adaptability are consistent with the most advanced construction systems, designed to respond in real-time to specific environmental conditions (Negroponte, 1976).

As McCullough (1996) observed, the world of craftsmanship is not separate from the digital world. On the contrary, new technologies can offer great development opportunities to these practices, improving and promoting trades at risk of extinction. However, for the preservation and valorising of cultural heritage, whether in the case of Mashrabiya or otherwise, it is necessary to find a balance between tradition and innovation, combining artisanal techniques with parametric design tools, time-layered methodologies, and digital fabrication; above all, reopening, rather than erasing, the debate on the meaning of the artificial as a cultural product concerning nature (Maldonado, 1992).

This integration is fundamental to addressing the challenges of energy efficiency while preserving the cultural and material values of historical architectural heritage (Salkini, Greco and Lucente, 2017; Kesseiba and El-Husseiny, 2019; Saleh and Saied, 2017; Casanovas, Campanero and Campisi, 2024). The study of the Mashrabiya is, therefore, a significant example of how the relationship between craftsmanship and digitalisation can provide new methods and solutions in both the conservation of historical heritage and its implications for the restoration

and maintenance of architectural works, as well as in tackling contemporary environmental challenges. It is indeed crucial to preserve constructive knowledge, even during the energy transition, as traditional passive bioclimatic systems remain a sustainable alternative (Salkini, Greco and Lucente, 2017; El-Hitami, Mahall and Serbest, 2023).

The design of the Mashrabiya can be realised with various digital techniques, depending on the morphological specificities of the details. So far, most experiments have focused on subtractive manufacturing methods, such as CNC milling and laser cutting. Additive methods, such as 3D printing, are still the subject of study and research, while the most recent 4D printing, with the introduction of smart materials, foreshadows innovative adaptation capabilities to environmental stimuli, even considering the temporal dimension, with possible morphological variations (Correa et alii, 2023). These cutting-edge experiments require further research to evaluate their scalability (Momeni et alii, 2017; Morbiducci, Polverino and Battaglia, 2023).

The integration between craftsmanship and accessible digital technologies can help create new relationships between social capital and historical heritage (Manzini, 2015), enabling the present and future generations to know, understand, and transmit the aesthetic, geometric, and mathematical culture, as well as the symbolic and anthropological meanings of the different Mashrabiya models. The new process requires great attention and consideration of the traditional artisans' skills while, at the same time, focusing on digital training practices and promoting a collaborative environment for the exchange of ideas and experiences.

The proposed study opens up various research lines and further investigations, including the systematisation of exemplary patterns in areas of North Africa, such as Egypt and Morocco, which are strongly marked by the presence of the Mashrabiya, to classify comparable families in an open-source digital archive; extending investigations into different geographic contexts, such as India and Spain, which have similar craft and architectural traditions, to expand the collection; studying and testing the potential and limits of 3D and 4D digital tools, considering possible integrations provided by the artisans' manual work; and understanding how effective collaboration between artisans and designers can be achieved, tested through field surveys, including ethnographic ones.

The Mashrabiya can thus be considered for both its value as a tangible object, whose meanings have been layered over time and as a tool aimed at activating the sharing between past and innovation, with the goal of creating new skills for sustainable design, sensitive to the specificities of places and territories, open to intercultural dialogue between the Western and Arab worlds.

Acknowledgements

Special thanks go to the Masharabiya Turquoise Mountain organisation (J. Oliver, N. Osman, and S. Bandar), the Zawiya 97 organisation (A. Angawi and H. Al Mashhour), the Chamber of Crafts of the Rabat-Salé-Kénitra Region (E. Esma and A. Morchidi), Clay Club Innovations Pvt. Ltd. (M. Oza), M. Al Emarah, and A. Al Khulaif.

The contribution is the result of shared reflection by the Authors. However, the introductory paragraph is attributed to F. Dal Falco, the paragraphs 'Mashrabiya: the pattern of a climatic device between geometry and mathematics' and 'Contemporary interpretations of Mashrabiya between architecture and design' are attributed to O. Al Azhari. The 'Conclusions' are attributed to both Authors.

Notes

1) It was a common tradition for wealthy and powerful Muslims from various geographic areas to send precious gifts to the two Holy Mosques, further contributing to cultural and economic exchanges and the knowledge of Muslim arts from other regions.

2) The exhibition also included the first retrospective of French Orientalist painting, organised by Léonce Bénédite, who later founded the Société des Peintres Orientalistes Français with Étienne Dinet, and was responsible for recognising this genre as a specific artistic movement (Benjamin, 2003). One of Bénédite's objectives was to place Orientalist art within the context of French colonial history, showing how objects and customs were depicted, serving as a reference for comparisons between displayed products and paintings.

3) In 1832, Delacroix travelled from Andalusia to the Maghreb for seven months following the diplomatic mission of Charles Henri Edgard, Count of Mornay-Montchevreuil. The artist recorded places, atmospheres, and cultures in his famous sketchbooks, drawing objects, costumes, decorations, and architectures, with explanatory notes and comments. At the height of the colonial crisis, his travel journal testified to the damages caused by the so-called civilisation on North African cultures and societies (Hannoosh, 2023). The historical character of his painting, immersed in the poetics of romantic commitment, is considered the starting point of modern art (Argan, 1964).

4) In the famous painting 'Arnault fumant' (1865), Gérôme depicts a Mashrabiya, a testament to the creation of finely carved typical motifs in larch wood (Thornton, 1983). In the stories and daguerreotypes of Goupil Fesquet, who travelled with historian Horace Vernet to the Maghreb during the Algerian campaign, the innovation of Arab craftsmanship is considered true art. Examples include small polygonal stools, used to hold plates or serve coffee, characterised by an infinite variety of geometric motifs (Moussa, 2011).

5) Henri Béchard opened his studio in the Ezbekia garden in Cairo. His work focused on landscape photography, accurate portraits of people, the spectacular nature of the images in which he interpreted archaeological sites, and urban scenes captured from unusual angles, including confined and restricted spaces (Perez, 1988).

6) The system of fixed or openable elements is based on a proportional structure roughly comparable to the following volumetric reference measurements: 230 cm in width, 300 cm in height, and between 110 and 190 cm in depth (Salloum, 1983).

7) Historian M. S. Briggs hypothesised that the Mashrabiya's origins could date back to the oldest Egyptian Coptic churches (Briggs, 1974).

8) Among the most interesting digital archives, through which architectural and design details can be analysed and studied, are the digital archive curated by Joinery JP, the digital archive of Bibliocad, and the digital archive of Pinshape. For more information, consult the web pages: thejoinery.jp, bibliocad.com/en/library/furniture-and-equipments, and pinshape.com [Accessed 11 October 2024].

9) For more information, consult the webpage: detail.de/de_en/from-our-archives-high-tech-for-cultural-exchange-institut-du-monde-arabe-in-paris-1987 [Accessed 9 October 2024].

10) The dome has a diameter of 180 meters and consists of 10,968 elements assembled into 85 sections. The 7,850 stars are arranged according to a complex geometric pattern designed to diffuse and fragment the light, providing shade and reducing heat, similar to a traditional Mashrabiya.

11) For more information, consult the webpage: archdaily.com/883157/louvre-abu-dhabi-atelier-jean-nouvel [Accessed 11 October 2024].

12) For more information on Louvre Abu Dhabi , consult the webpage: artsy.net/article/artsy-editorial-years-controversy-louvre-abu-dhabis-grand-ambitions-fall-short [Accessed 11 October 2024].

13) For more information, consult the webpage: saudigazette.com.sa/article/519293 [Accessed 11 October 2024].

14) For more information, consult the webpage: clayclub.in/triangle/ [Accessed 11 October 2024].

References

Affergan, F. (1991), *Esotismo e alterità – Saggio sui fondamenti di una critica dell'antropologia*, Ugo Mursia Editore, Milano.

Al-Kodmany, K. (2016), "Sustainable tall buildings – Cases from the Global South", in *Archnet-IJAR | International Journal of Architectural Research*, vol. 10, issue 2, pp. 52-66. [Online] Available at: archnet.org/publications/10694 [Accessed 29 September 2024].

Al-Murahhem, F. (2010), "The mechanism of the Rawāshīn – The Case Study of Makkah", in *WIT Transactions on | Ecology and the Environment*, vol. 128, pp. 561-573. [Online] Available at: doi.org/10.2495/ARC100481 [Accessed 29 September 2024].

Argan, G. C. (1964), *Salvezza e caduta nell'arte moderna*, Il Saggiatore, Milano.

Ashour, A. F. (2018), "Islamic architectural heritage – Mashrabiya", in *WIT Transactions on | The Built Environment*, vol. 177, pp. 245-253. [Online] Available at: doi.org/10.2495/IHA180211 [Accessed 29 September 2024].

Bagasi, A. A., Calautit, J. K. and Karban, A. S. (2021), "Evaluation of the integration of the traditional architectural element Mashrabiya into the ventilation strategy for buildings in hot climates", in *Energies*, vol. 14, issue 3, article 530, pp. 1-31. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en14030530 [Accessed 29 September 2024].

Balducci, B. and Camilli, F. (2022), "Progettare l'ecologia – Il vegetale come paradigma possibile di un'architettura sostenibile e resiliente | Designing ecology – The organic as a possible paradigm of a sustainable and resilient architecture", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 84-93. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1172022 [Accessed 29 September 2024].

Balfour, H. (1893), *The evolution of decorative art – An essay upon its origin and development as illustrated by the art of modern races of mankind*, Mc Millan and Co., New York. [Online] Available at: archive.org/details/evolutionofdecor00balfuoft/page/ii/mode/2up [Accessed 29 September 2024].

Bateson, G. (1984), *Mente e natura – Un'unità necessaria* [or. ed. *Mind and nature – A necessary unity*, 1979], Adelphi, Milano.

Behrens-Abouseif, D. (2011), "Craftsmen, upstarts and Sufis in the late Mamluk period", in *Bulletin of the School of Oriental and African Studies,* vol. 74, issue 3, pp. 375-395. [Online] Available at: doi.org/10.1017/S0041977X11000796 [Accessed 29 September 2024].

Benjamin, R. (2003), *Orientalist Aesthetics – Art, Colonialism, and French North Africa, 1880-1930*, University of California Press, Berkeley.

Briggs, S. (1974), *Muhammadan Architecture in Egypt and Palestine*, Da Capo Press, New York.

Burke, P. (2017), *Testimoni oculari – Il significato storico delle immagini* [or. ed. *Eyewitnessing – The Uses of Images as Historical Evidence*, 2001], Carocci, Roma.

Casanovas, X., Campanero, J. A. A. and Campisi, T. (2024), "Patrimonio culturale e transizione energetica – Una lezione dal passato | Past Cultural heritage and energy transition – A Lesson from the Past", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 58-69. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1542024 [Accessed 29 September 2024].

Correa, D., Bianconi, F., Filippucci, M. and Pelliccia, G. (2023), "Pattern modulari nel design igroscopico con stampa 4D – Forma e programmazione del materiale | Modular patterns in hygroscopic 4D printing design – Form and programming of the material", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 264-273. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14222023 [Accessed 29 September 2024].

Crutzen, P. J. (2002), "Geology of mankind", in *Nature*, vol. 415, issue 23, p. 23. [Online] Available at: doi.org/10.1038/415023a [Accessed 29 September 2024].

Crutzen, P. J. and Stoermer, E. F. (2000), "The "Anthropocene", in *Global Change Newsletter*, vol. 41, pp. 17-18. [Online] Available at: igbp.net/download/18.316f183213234701775800014 01/1376383088452/NL41.pdf#page=17 [Accessed 29 September 2024].

D. K. Publishing (2021), *Woodwork step by step – Carpentry techniques made easy*, D. K. Publishing, New York.

Darwin, C. (1859), *On the origin of species*, John Murray, London.

Duan, Z. Y., Tan, S.-K., Choon, S.-W. and Zhang, M. Y. (2023), "Crafting a place-based souvenir for sustaining cultural heritage", in *Heliyon*, vol. 9, issue 5, article e15761, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15761 [Accessed 29 September 2024].

El-Hitami, H., Mahall, M. and Serbest, A. (2023), "Ecologia dello spazio – Progetto architettonico e relazioni transfrontaliere | An ecology o space – Architectural design for transboundary relationships", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 153-164. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13132023 [Accessed 29 September 2024].

Fathy, H. (1986), *Natural energies and Vernacular Architecture – Principles and examples with reference to hot arid climates*, University of Chicago Press, Chicago.

Goldin, A. (1975), "Patterns Grids and Paintings", in *Artforum*, vol. 14, issue 1, pp. 50-54. [Online] Available at: artforum.com/features/patterns-grids-and-painting-209677/ [Accessed 9 October 2024].

Gombrich, E. H. (1979), *The sense of order – A study in the psychology of decorative art*, Phaidon Press, London.

Grabar, O. (1973), *The formation of Islamic art*, Yale University Press, New Haven.

Grancho, N. (2023), "Hybridity as an Appellation of Twentieth-Century Islamic Built Environment", in Drayson, E. (ed.), *Europe's Islamic Legacy – 1900 to the Present – Proceedings of the Online Conference Hosted by the University of Cambridge on 20 October 2020*, *Cambridge, England*, Brill, Leiden, pp. 69-97. [Online] Available at: doi.org/10.1163/9789004510722_006 [Accessed 29 September 2024].

Hannoosh, M. (2023), *Eugène Delacroix – Carnets de Voyage au Maghreb et en Andalousie*, Citadelles & Mazenod, Paris.

Harris, A. and Moore, S. (2015), "Convergence and divergence in conceptualising and planning the sustainable city – An Introduction", in *Area*, vol. 47, issue 2, pp. 106-109. [Online] Available at: doi.org/10.1111/area.12176 [Accessed 29 September 2024].

Kalton, M. C. and Mobus, G. E. (2014), *Principles of systems science*, Springer, New York. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-1-4939-1920-8 [Accessed 29 September 2024].

Kesseiba, K. and El-Husseiny, M.-A. (2019), "Indicazioni per una sostenibilità low-cost dell'edilizia residenziale egiziana | Indications for low-cost sustainability in Egyptian residential construction", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design,* vol. 6, pp. 182-191. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/6172019 [Accessed 29 September 2024].

Latour, B. (2018), *Down to earth – Politics in the new climate regime*, Polity Press, Cambridge.

Maldonado, T. (1992), *Reale e virtuale*, Feltrinelli, Milano.

Manni, V. and Valzano, L. S. (2023), "Modularità e architettura adattiva – Una strategia per la gestione di sistemi d'involucro complessi | Modularity and adaptive architecture – A strategy for managing complex envelope systems", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 134-151. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14112023 [Accessed 29 September 2024].

Mantash, L. and Youssef, M. (2021), "Exploring Utopian Representations in the Architecture of Art Museums in the Middle East", in Gambardella, C., Cennamo, C., Germanà, M. L., Shahidan, M. F. and Bougdah, H. (eds), *Advances in Utopian Studies and Sacred Architecture*, Springer, Cham, pp. 105-125. [Online] Available at: doi.org/10.1007/ 978-3-030-50765-7_10 [Accessed 29 September 2024].

Manzini, E. (2015), *Design, when everybody designs – An introduction to design for social innovation*, The MIT Press, Cambridge.

Mattozzi, A., Volonté, P., Burtscher, A. and Lupo, D. (2009), *Biografie di oggetti – Storie di cose*, Mondadori, Milano.

Mayre, G. (1893), "Première Exposition d'Art Musulman", in *Exposition d'art musulman – Palais de l'industrie – Catalogue officiel*, A. Bellier et C., Paris, pp. 9-15.

McCullough, M. (1996), *Abstracting craft – The practiced digital hand*, The MIT Press, Cambridge. [Online] Available at: dl.acm.org/doi/10.5555/524384 [Accessed 8 September 2024].

McGregor, N. (2015), *La storia del mondo in 100 oggetti*, Adelphi, Milano.

Mollard, C. (2017), "Entretien avec Jean Nouvel, architecte – L'esprit de l'IMA, c'est la lumière et les reflets", in Beaux Arts (ed.), *L'Institut di Monde Arabe – Une Renaissance*, Beaux arts and Cie, pp. 16-19. [Online] Available at: beauxarts.com/produit/linstitut-du-monde-arabe/ [Accessed 29 September 2024].

Momeni, F., Medhi Hassani, S. M. N., Liu, X. and Ni, J. (2017), "A review of 4D Printing", in *Materials & Design*, vol. 122, pp. 42-79. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.matdes.2017.02.068 [Accessed 29 September 2024].

Morbiducci, R., Polverino, S. and Battaglia, C. (2023), "Stampa 4D per componenti costruttivi modulari – Applicazioni e principali sviluppi | 4D printing for modular construction components – Applications and Main Developments", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 182-193. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14152023 [Accessed 29 September 2024].

Morin, E. (2018), *Conoscenza Ignoranza Mistero*, Raffaello Cortina Editore, Milano.

Moussa, S. (2011), "Le regard d'un artiste français sur l'Égypte ottoman – Le Voyage en Orient de Frédéric Goupil-Fesquet (1839-1840)", in *HAL Open Science*, pp. 1-56. [Online] Available at: shs.hal.science/halshs-00979405/document [Accessed 29 September 2024].

Negroponte, N. (1976), *Soft Architecture Machines*, The MIT Press, Cambridge. [Online] Available at: doi.org/10.7551/mitpress/6317.001.0001 [Accessed 29 September 2024].

Paccard, A. (1980a), *Traditional Islamic craft in Moroccan architecture – Vol. 1*, Éditions Atelier 74, Saint-Jorioz.

Paccard, A. (1980b), *Traditional Islamic craft in Moroccan architecture – Vol. 2*, Éditions Atelier 74, Saint-Jorioz.

Partarakis, N. and Zabulis, X. (2023), "Safeguarding traditional crafts in Europe", in *Encyclopedia*, vol. 3, issue 4, pp. 1244-1261. [Online] Available at: doi.org/10.3390/encyclopedia3040090 [Accessed 29 September 2024].

Peltre, C. (2006), *Les Arts de l'Islam – Itinéraire d'une redécouverte*, Gallimard, Paris.

Perez, N. (1988), *Focus East – Early photography in the Near East (1839-1885)*, Abrams, New York.

Pomian, K. (1989), *Collezionisti, amatori e curiosi – Parigi-Venezia XVI-XVIII secolo*, Il Saggiatore, Milano.

Rian, I. M., Al Sebai, H. and Abdalla, S. B. (2020), "Weaving the Mashrabiya Pavilion – A Mashrabiya – Inspired Pavilion Design based on Barycentric Subdivision", in Lázaro, C., Bletzinger, K.-U. and Oñate, E. (eds), *Structural Membranes 2019 – Form and Force – Proceedings of the IASS Annual Symposium 2019, Barcelona, Spain, October 7-10, 2019*, International Association for Shell and Spatial Structures (IASS), Madrid, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.6084/m9.figshare.12514226.v2 [Accessed 29 September 2024].

Riegl, A. (2008), *Grammatica storica delle Arti figurative*, Quodlibet, Macerata.

Saeli, M. and Campisi, T. (2020), "Architectural Technologies for Life Environment – Passive Cooling Strategies in the Architectures of the Mediterranean Area", in *ArchTheo '20 – Conference Proceedings*, *Istanbul, November 6, 2020*, Öztürk Dakam Yayinlari, İstanbul, pp. 7-23.

Saladin, H. (1907), *Manuel d'Art Musulman – Vol. I – L'Architecture*, Henri Picard et Fils, Paris.

Saleh, H. S. and Saied, S. Z. (2017), "Green architecture as a concept of historic Cairo", in *Procedia Environmental* Sciences, vol. 37, pp. 342-355. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.064 [Accessed 29 September 2024].

Salkini, H., Greco, L. and Lucente, R. (2017), "Towards adaptive residential buildings traditional and contemporary scenarios in bioclimatic design (the case of Aleppo)", *in Procedia Engineering*, vol. 180, pp. 1083-1092. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04. 268 [Accessed 29 September 2024].

Salloum, A. (1983), "El Rawashin of Jeddah Saudi Arabi", in Yannas, S. (ed.), *Passive and Low Energy Architecture – Proceedings of the Second International PLEA Conference, Crete, Greece, June 28-July 1, 1983*, Pergamon Press, Oxford, pp. 245-252. [Online] Available at: doi.org/10.1016/b978-0-08-030581-3.50036-0 [Accessed 29 September 2024].

Semper, G. (1992), *Lo stile nelle Arti tecniche e tettoniche, o estetica pratica – Manuale per tecnici, artisti e amatori*, Editori Laterza, Roma and Bari.

Steadman, P. (1988), *L'evoluzione del design – L'analisi biologica in architettura e nelle arti applicate* [or. ed. *The evolution of Design – Biological analogy in architecture and the applied arts*, 1979], Liguori Editore, Napoli.

Thornton, L. (1983), *Les Orientalistes – Peintres Voyageurs 1828-1908*, ACR, Paris.

Weber, S. (2013), "A Concert of things – Thoughts on objects of Islamic art in the museum context", in Junod, B., Khalil, G., Weber, S. and Wolf, G. (eds), *Islamic arts and the museum – Approaches to Art and Archeology of the Muslim world in the Twenty-First Century*, SAQI, London, pp. 28-53. [Online] Available at: fmik.de/index.php?aid=322-6 [Accessed 29 September 2024].

Wichmann, B. and Wade, D. (2021), "Islamic design and its relation to mathematics", in Sriraman, B. (ed.), *Handbook of the Mathematics of the Arts and Sciences*, Springer, Cham, pp. 2561-2586. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-57072-3_91 [Accessed 29 September 2024].

Yang, Y., Shafi, M., Song, X. and Yang, R. (2018), "Preservation of cultural heritage embodied in traditional crafts in the developing countries – A Case Study of Pakistani Handicraft Industry", in *Sustainability*, vol. 10, issue 5, article 1336, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su10051336 [Accessed 29 September 2024].

DESIGN
Essays & Viewpoint

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 304-313
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/16252024

Article Info

Received 13 September 2024
Revised 16 October 2024
Accepted 18 October 2024
Published 30 December 2024

SVELARE LA COMPLESSITÀ DELLA TRANSIZIONE CIRCOLARE PER IL SETTORE DEL MOBILE IMBOTTITO

UNVEILING THE COMPLEXITY OF CIRCULAR TRANSITION FOR THE UPHOLSTERED FURNITURE SECTOR

S. Maffei, P. Bolzan, M. Bianchini, F. Zeccara, S. Barbero, C. Campagnaro, N. Di Prima, A. Filippini, M. Puglielli, L. Rosato, G. Lotti, G. Pontillo

Abstract

Il contributo indaga le strategie che il Design può attuare per ridurre l'impatto ambientale dei mobili imbottiti, intervenendo su elementi costitutivi, scelta dei materiali e metodi di assemblaggio e dismissione. L'analisi della letteratura sul tema evidenzia la mancanza di attenzione verso la circolarità e la sostenibilità di processi e materiali, durante l'intero ciclo di vita del prodotto. Per questa ragione il contributo presenta il percorso di ricerca del progetto Circular Sofa Platform, evidenziando la necessità di definire un nuovo paradigma di piattaforma per l'imbottito, rispettandone gli elementi di complessità e rendendolo rispondente ai requisiti di circolarità e sostenibilità, parte integrante dello scenario di sviluppo sostenibile per la filiera produttiva contemporanea.

This paper investigates the strategies that Design can implement to reduce the environmental impact of upholstered furniture by addressing its constituent elements, material choices, and methods of assembly and disposal. The literature review highlights a lack of attention to the circularity and sustainability of processes and materials throughout the product's life cycle. For this reason, the paper presents the research journey of the Circular Sofa Platform project, emphasising the need to define a new platform paradigm for upholstered furniture that respects its complexity while meeting the requirements of circularity and sustainability, an integral part of a sustainable development scenario for the contemporary production chain.

Keywords

design circolare, mobili imbottiti, made in Italy, design per la sostenibilità, economia circolare

circular design, upholstered furniture, made in Italy, design for sustainability, circular economy

Stefano Maffei, Full Professor in Design, Politecnico di Milano (Italy).

Patrizia Bolzan, Researcher in Design, Politecnico di Milano (Italy).

Massimo Bianchini, Associate Professor in Design, Politecnico di Milano (Italy).

Francesca Zeccara, Research Fellow in Design, Politecnico di Milano (Italy).

Silvia Barbero, Associate Professor in Design, Politecnico di Torino (Italy).

Cristian Campagnaro, Full Professor in Design, Politecnico di Torino (Italy).

Nicolò Di Prima, Research Fellow in Design, Politecnico di Torino (Italy).

Ali Filippini, Researcher in Design, Politecnico di Torino (Italy).

Mariapaola Puglielli, PhD Candidate in Design and Technology, Politecnico di Torino (Italy).

Ludovica Rosato, Research Fellow in Design, University of Bologna (Italy).

Giuseppe Lotti, Full Professor in Design, University of Florence (Italy).

Gabriele Pontillo, Research Fellow in Design, University of Florence (Italy).

L'articolo esplora le strategie che il Design può adottare per ridurre l'impatto ambientale dei mobili imbottiti intervenendo sulle strategie di progettazione dei vari elementi costitutivi, sulla scelta dei materiali utilizzati e sui metodi di assemblaggio e smontaggio. La ricerca fa parte di un progetto finanziato, attualmente in corso, Circular Sofa Platform (CSP), e si inserisce nella complessa filiera contemporanea del mobile imbottito, settore di notevole importanza all'interno dell'economia italiana dal punto di vista economico e del Design (Bruno alii, 2022), ma in cui l'attenzione alla circolarità e alla sostenibilità è meno consolidata.

Dopo una descrizione del sistema complesso della filiera, l'articolo presenta la metodologia di ricerca adottata ed evidenzia gli approcci progettuali che possono favorire un cambiamento comportamentale guidato dal Design nell'ideazione, produzione, uso e gestione del fine vita degli imbottiti. In seguito sono presentate le direzioni progettuali all'interno della CSP che mirano a costruire un nuovo paradigma di piattaforma per il settore che risponda ai requisiti di sviluppo sostenibile.

Il paper si inserisce all'interno del dibattito sulle pratiche progettuali adatte a una transizione sostenibile e circolare delle filiere: attraverso l'analisi e la messa a sistema di casi studio reali il contributo propone possibili strategie di innovazione dei materiali, dei componenti, dei servizi e dei processi produttivi all'interno dell'intera filiera del mobile imbottito, per favorire il recupero e l'uso più consapevole delle risorse. Riflettendo sulle varie criticità generate dalla complessità del prodotto e della relativa filiera, l'articolo offre proposte progettuali plurali e puntuali in ottica sistemica, per agire in un ambito problematico bisognoso di intervento.

La filiera del divano non è ancora circolare | L'industria del mobile è un settore strategico per l'economia italiana, con un valore di 17,5 miliardi di euro nel 2017 e una posizione di rilievo nel commercio globale (EEB, 2017), che continua a raccogliere consensi a livello internazionale (Turrini and Sbordone, 2020); al suo interno i prodotti imbottiti rivestono un ruolo centrale pur essendo evidenti delle problematiche legate al loro smaltimento al termine del ciclo di vita. Ad oggi infatti la filiera degli imbottiti pone diverse criticità ambientali dettate dalle due caratteristiche che accomunano tali prodotti, ovvero la multimaterecità intrinseca e gli ingombri e i pesi elevati (Cerulo et alii, 2022). Pertanto la filiera necessita di una transizione verso un modello sostenibile e circolare (Zannoni et alii, 2024) attraverso un approccio sistemico che intervenga in tutte le fasi del processo: dalla progettazione alla scelta dei materiali, fino al consumo, riuso e gestione delle infrastrutture di smaltimento e recupero.

A tal proposito una delle fasi più critiche del ciclo di vita del divano è proprio la gestione del suo fine vita (Fig. 1), seguita dalla fase di estrazione e lavorazione delle materie prime (Mermertas et alii, 2018); il fenomeno è attribuibile a due principali fattori, il primo dei quali riguarda il sistema di smaltimento, che classifica i rifiuti in macrocategorie, impedendo una dettagliata disaggregazione dei dati (Crippa et alii, 2022): il Codice Europeo dei Rifiuti (CER; European Commission, 2008) colloca i divani tra i rifiuti ingombranti, insieme a tavoli e letti, senza una filiera di conferimento e smaltimento dedicata; conseguentemente anche i dati aggiornati annualmente relativi alla sola dismissione degli imbottiti risultano essere di difficile reperimento. Il secondo fattore riguarda la complessità strutturale dei divani, che rende complicato o impossibile il loro disassemblaggio e la separazione dei materiali, un processo oneroso sia per privati che operatori del settore, per mancanza di competenze o incentivi economici. Ciò porta spesso alla completa dismissione dei divani, senza tentativi di recupero (Fig. 2).

A livello europeo si stima che circa l'80-90% dei mobili finisca in discarica o negli inceneritori (EEB, 2017): nel 2021 la quantità di rifiuti ingombranti avviati allo smaltimento in Italia è stata pari a 957.922 tonnellate, con solo 118.142 tonnellate destinate al riciclo (ISPRA, 2022). La raccolta di questi rifiuti, inclusi i divani, avviene principalmente attraverso il conferimento diretto presso le isole ecologiche, adottato dal 50,3% della popolazione (ISTAT, 2022), e la raccolta a domicilio su richiesta, gestita gratuitamente dalle aziende municipalizzate.

Come accennato, un aspetto particolarmente problematico riguarda la limitata possibilità di recupero dei materiali: un'indagine di campo, svolta nel contesto del progetto CSP sui centri di raccolta rifiuti di quattro capoluoghi italiani, mostra come solo i componenti metallici dei divani letto (40% del peso totale) vengano regolarmente recuperati (Fig. 3), mentre il restante 60% dei materiali, costituito principalmente da legno (33,7%), schiuma poliuretanica (14%) e tessuti (9%), non va a riciclo. Questo tasso di recupero riguarda solo i divani letto, che costituiscono solo il 20% dei divani smaltiti. Considerando il volume, la situazione è più critica poiché le parti in schiuma poliuretanica dominano l'ingombro degli arredi imbottiti; nei divani tradizionali nessun materiale viene recuperato, eccetto occasionalmente i metalli.

Questo scenario rappresenta una sfida significativa nella gestione dei rifiuti verso forme di riciclo, recupero e riutilizzo a discariche, termovalorizzatori o inceneritori. Nonostante l'evidenza di un problema sistemico, non esistono norme specifiche a livello europeo o italiano per il fine vita dei mobili imbottiti. Questo vuoto normativo potrebbe derivare dall'incapacità dei codici CER di classificare adeguatamente i divani (European Commission, 2002). La categoria generica dei 'rifiuti ingombranti' (CER 20 03 07) ostacola sia la promulgazione di normative mirate che il monitoraggio del ciclo di vita dei divani, rendendo difficile il riciclo o riuso.

È da sottolineare che le normative europee in tema di rifiuti – nello specifico la Direttiva 2008/98/EC (European Commission, 2008) e la Direttiva 2018/851/EU (European Commission, 2018) – introducono il modello dell'economia circolare come approccio utile a promuovere strategie di riduzione e gestione dei rifiuti, anche attraverso recenti direttive specifiche e leggi che regolano e incentivano la produzione sostenibile, il riutilizzo dei materiali e la circolarità dei prodotti (UNI/TS 11820:2022; UNI EN 17902:2024;). In particolare il recente Regolamento del 18 luglio 2024 su Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR; European Commission, 2024) mira a migliorare significativamente la circolarità, le prestazioni energetiche e altri aspetti di sostenibilità ambientale dei prodotti immessi sul mercato dell'Unione Europea.

Pur con i suoi limiti e con gli ostacoli che troverà, il Regolamento rappresenta un segnale forte: la sua promulgazione mette l'acceleratore sull'adozione di strategie di sostenibilità e circolarità, riconoscendo il ruolo cruciale della disciplina del Design nel muovere un passo significativo verso una migliore protezione del nostro Pianeta, la promozione di modelli aziendali più sostenibili e il rafforzamento della competitività generale e della resilienza dell'economia della Comunità Europea.

Ri-progettare la sostenibilità del divano: metodologia | Quanto precedentemente esposto fa emergere come i prodotti imbottiti risultino particolarmente critici dal punto di vista del consumo e recupero delle risorse e quanto sia urgente apportare una transizione sostenibile in questo settore. Per comprendere come si possa ripensare e riprogettare il prodotto imbottito e la sua filiera in risposta ai bisogni di circolarità ambientale, sociale ed economica che le politiche di sviluppo oggi richiedono, è necessario perimetrare il tema della circolarità e capire come possa dialogare con la nostra tipologia di prodotti.

L'attuale economia industriale contribuisce a schemi di produzione insostenibili e a cicli di vita troppo brevi dei prodotti (EMF, 2013). La transizione verso un sistema rigenerativo, come quello dell'Economia Circolare, mira a ottimizzare l'uso delle risorse, ridurre i rifiuti e promuovere il riutilizzo e riciclo dei materiali (Stahel, 2013). L'Economia Circolare si basa sui principi delle '6R', ovvero ridurre, riutilizzare, riciclare, recuperare, ridisegnare e rigenerare (Yang et alii, 2017; Jawahir and Bradley, 2016) e allora come integrare questi principi di Economia Circolare nel contesto progettuale e produttivo del mobile imbottito (Figg. 4-6), per superare le criticità che affliggono la sua filiera?

Il Design, disciplina olistica in grado di affrontare, gestire e proporre soluzioni a problemi complessi, può essere la leva per la transizione sostenibile degli imbottiti, attivando strategie sostenibili ed enfatizzando il riutilizzo delle risorse per creare sistemi industriali rigenerativi e restaurativi (EMF, 2013). Questa transizione, fondata sui principi del Design for Sustainability (Ceschin and Gaziulusoy, 2016), supporta la Economia Circolare attraverso approcci innovativi alla gestione delle risorse. Il Design Circolare supera il modello lineare tradizionale, adottando un pensiero sistemico che consente di affrontare la complessità sistemica (Moreno et alii, 2016). I designer possono così scegliere strategie circolari adeguate al modello di business, considerando al contempo gli aspetti socio-culturali e i processi di transizione (Joore and Brezet, 2015): questo cambiamento richiede una trasformazione del mindset, da un approccio orientato al prodotto a uno più sistemico, orientato alla complessità (Bocken et alii, 2014).

Per esplorare come le strategie di Economia Circolare possono essere promosse dal Design Circolare, il progetto ha seguito una metodologia che combina studi quantitativi e qualitativi del settore degli imbottiti, con focus particolare sull'Italia, poiché le informazioni sono spesso aggregate a quelle dell'intero settore del mobile, che ha caratteristiche diverse.

Dalla revisione della letteratura è emersa una collezione di principi di Design Circolare in grado di favorire l'attuazione dell'Economia Circolare che sottolinea quanto sia essenziale anticipare e rispondere in modo preventivo alle problematiche legate all'Economia Circolare durante la fase di ideazione di un artefatto: intervenire già nella fase di progettazione è cruciale poiché dopo aver definito le specifiche di un prodotto è generalmente possibile apportare solo migliorie minime, non così significative per un cam-

bio radicale di paradigma di produzione e consumo. Modificare le scelte riguardanti soluzioni formali, materiali, processi e infrastrutture rappresenta infatti un intervento sistemico che non può essere affrontato in modo lineare e incrementale (Bocken et alii, 2014).

Gli autori, dopo aver esaminato la letteratura, hanno individuato dieci approcci di Design Circolare pertinenti per promuovere lo sviluppo di artefatti allineati ai principi della Economia Circolare, tra cui spiccano: Design for Product Life Extension (Stahel, 2013), Modular Design (Inoue et alii, 2020; Pietroni, Di Stefano and Galloppo, 2023), Design for Reparability (Cordella, Alfieri and Sanfelix Forner, 2019), Design for Disassembly (De Fazio et alii, 2021), Design for Upcycling (Ahn and Lee, 2018), Design for Material Efficiency (Allwood et alii, 2013; Lifset and Ecklman, 2013), Design for Productive Resource Efficiency (Nyamekye et alii, 2024), Open / Collaborative Design (Menichinelli and Cangiano, 2021), Emotional Design (Desmet and Hekkert, 2009; Lobos and Babbitt, 2013) e Product Service System Design (McAloone and Andreasen, 2004; Vezzoli, Garcia Parra and Kohtala, 2021). Tali approcci di Design Circolare, in relazione con i principi cardine della Economia Circolare, hanno guidato le osservazioni alla base del progetto.

Sulla base di queste è stata effettuata una schedatura di 40 casi studio sulla circolarità del prodotto divano contemporaneo, successivamente analizzati attraverso il filtro degli approcci di Design Circolare (Fig. 7). Per ciascun caso selezionato è stata compilata una scheda informativa contenente dati descrittivi (nome del prodotto, designer, azienda produttrice, Paese, anno di produzione, tipo di prodotto e livello di maturità – prototipo o prodotto in commercio), accompagnati da una breve descrizione con foto e riferimenti online, oltre a un focus sui materiali utilizzati e sugli elementi distintivi.

Questa analisi è stata successivamente messa in relazione con gli aspetti legati alla produzione, al modello di vendita e di post consumo, alle certificazioni ambientali, ai principi dell'economia circolare (le sei R) e al modello aziendale specifico, ovvero Circular Inputs, Life Extension, Product as a Service, Sharing Platforms oppure End of Life (Symbola, 2021). Le informazioni raccolte sono state organizzate in un foglio Excel con sezioni condizionalmente formattate per standardizzare la raccolta dei dati e consentire un confronto sistematico.

La comparazione dei casi e la loro rilettura rispetto ai principi del Design Circolare hanno permesso di evidenziare la ridotta presenza o totale assenza di soluzioni di servizio per il sistema prodotto-divano e l'attuazione di modelli aziendali circolari legati alla creazione di piattaforme di condivisione, gap questo che risulta importante in quanto, in termini di Economia Circolare, progettare l'intero sistema prodotto-servizio rappresenta un valore aggiunto. Il fatto che ad oggi nel settore dell'imbottito tale approccio non venga valorizzato risulta essere una prospettiva progettuale determinante: le strategie di recupero di materiali e rifabbricazione sono scarsamente affrontate, così come emergono lacune profonde in riferimento alla progettazione aperta e collaborativa.

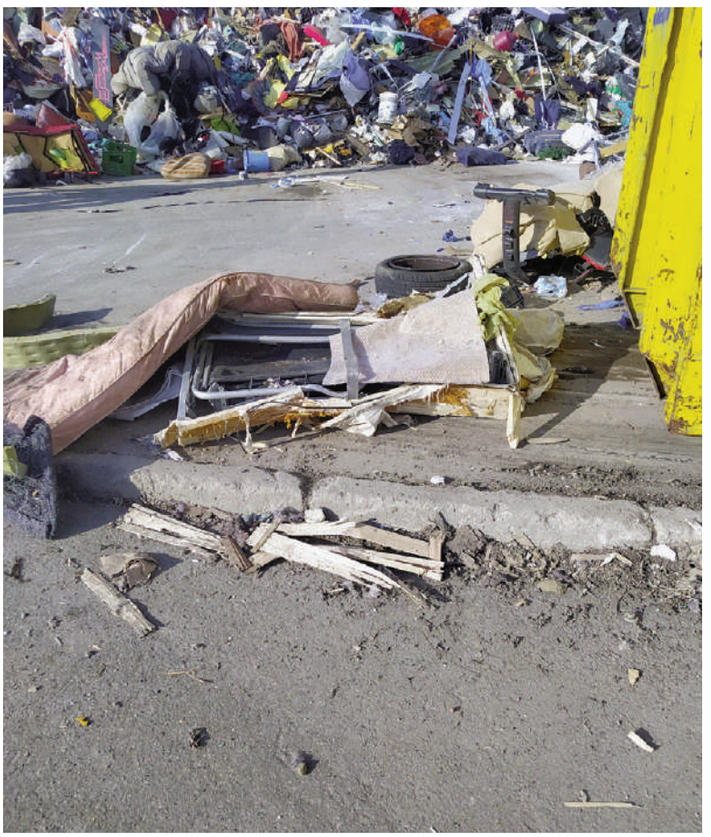
Per contro, altri approcci di Design Circolare sono maggiormente ricorrenti e tra questi Design for Product Life Extension, Modular Design, Design for Disassembly e Design for Repairability. Inoltre è interessante notare la presenza di prodotti storici che dagli anni Settanta vengono riproposti dalle aziende perché già in nuce soddisfacevano alcuni requisiti di modularità e disassemblaggio, oggi potenziati con nuovi materiali (Bruno et alii, 2022) o processi produttivi.

L'approccio adottato si è rivelato efficace nel consolidare un corpus di esempi rilevanti di pratiche circolari nel settore del mobile imbottito contemporaneo. La sistematizzazione strutturata dei dati ha consentito di confrontare i diversi casi e di individuare tendenze emergenti nella transizione verso l'Economia Circolare, tuttavia la mancanza di alcune informazioni chiave, unita alla scarsa disponibilità delle aziende a partecipare a interviste approfondite, ha limitato l'analisi qualitativa, riducendone la completezza.

Alla raccolta e analisi di casi studio è stata affiancata una raccolta di materiali circolari del settore dell'imbottito (Circular Sofa Platform Material Library), con l'obiettivo di raccogliere materiali che attualmente sono o potrebbero rappresentare validi sostituti per le materie prime considerate critiche nel settore (Fig. 8). Questa raccolta si propone come strumento progettuale per catalogare materiali già utilizzati in altri ambiti che possono essere potenzialmente impiegati inter-settorialmente. Al momento la libreria contiene 32 materiali ognuno dei quali è descrivibile come circolare, 'neomateriali' perché 'rinnovati e rinnovabili' o costituiti di «[…] materia 'rientrata' nel ciclo produttivo, sia essa proveniente da filiera omogenea o diversa» (Pellizzari and Genovesi, 2021, p. 20).

Grazie alle conoscenze e competenze acquisite attraverso l'attuazione della metodologia di ricerca presentata e la creazione dei primi output descritti





Figg. 1, 2 | Sofa destined for disposal; Disassembled sofa bed with mechanical arm for metal component recovery (credits: the Authors, 2024).

si è raggiunta la consapevolezza che, per poter intervenire in un sistema prodotto complesso come quello dell'imbottito, è necessario suddividerlo nelle sue componenti funzionali di tipo morfologico (Bonsiepe and Bertoldini, 1975). Il sistema divano, dunque, viene reinterpretato attraverso gli approcci di Design Circolare applicati ai suoi elementi primari compositivi (imbottitura, fusto, rivestimento e sistema connettivo), per mezzo di una sperimentazione suddivisa in quattro differenti Proof of Concept (PoC) tra loro sinergici.

Progettare per componenti: sperimentare nuove soluzioni progettuali | L'obiettivo della sperimentazione è realizzare un progetto piattaforma di nuova tipologia di mobile imbottito (divano) in grado di abbracciare i principi di sostenibilità ambientale, sociale ed economica, quindi di circolarità sistemica. Ogni elemento primario del divano ha obiettivi specifici per favorire soluzioni a basso impatto ma funzionali per utenti e produttori, nel rispetto dei vincoli tecnici. Il progetto include quattro PoC: 1) imbottitura; 2) struttura; 3) rivestimento; 4) soluzioni connettive. A seguire vengono dettagliati e approfonditi gli obiettivi dei singoli PoC.

Tra le principali criticità della filiera produttiva dell'arredo imbottito l'elemento dell'imbottitura è particolarmente complesso da gestire a fine vita, essendo costituito prevalentemente da poliuretano espanso, scelto per i suoi bassi costi produttivi (EUROPUR, 2015) e la composizione chimica (Usman, Adeosun and Osifeso, 2011), ma caratterizzato da una limitata filiera di riciclo o riutilizzo. Il progetto prevede la sostituzione del poliuretano espanso mantenendo le funzioni di sostegno e comfort del materiale dati dal suo comportamento elastico (Rampf et alii, 2012), attraverso una trasposizione delle proprietà materiche in proprietà geometriche, riprogettando il componente secondo l'approccio Modular Design.

La progettazione è caratterizzata da moduli cavi la cui geometria auxetica è capace di riprodurre il comportamento a compressione e decompressione proprio delle schiume poliuretaniche (Figg. 9-11): questa tipologia di geometria ha infatti un'espansione perpendicolare quando sottoposta a trazione in una direzione, e una compressione perpendicolare quando sottoposta a un carico (Evans and Alderson, 2000). Dall'analisi delle diverse tipologie di geometrie auxetiche sono state selezionate quelle allineate ai vincoli progettuali definiti, inclusa una compressione verso il baricentro senza variazione dimensionale. I materiali scelti per la realizzazione dei moduli fanno riferimento ai polimeri termoplastici, che offrono adeguate prestazioni meccaniche e dispongono di una filiera di riciclo consolidata (Plastics Europe, 2024; Circular Economy Network, 2024; ISPRA, 2024).

In riferimento alla struttura le possibili soluzioni devono rispondere all'allungamento del ciclo di vita del prodotto per l'adattabilità, la riconfigurabilità, la manutenzione e la riparazione dei vari componenti, la trasportabilità e la sostenibilità delle risorse materiche. Risulta fondamentale applicare il principio della disassemblabilità unito alla riduzione massima dell'ingombro quando il divano è smontato e all'ottimizzazione dei materiali per rendere la struttura più leggera, facilitandone il trasporto, in tutte le fasi del ciclo di vita, quindi non solo al momento della consegna post vendita. La sua riprogettazione deve facilitarne la separazione dal rivestimento, al contrario di quanto avviene negli attuali prodotti di media gamma (Fig. 12), mirando a mantenere a vista sia il fusto che gli elementi di sostegno e molleggio delle imbottiture, spesso integrati.

Infine, per agevolare la riconfigurabilità del prodotto, è utile sviluppare elementi modulari che svolgano le diverse funzioni del sistema divano ovvero sedute, braccioli, schienali e poggiapiedi. Nell'ottica della modularità e della disassemblabilità è necessario ipotizzare modalità di connessione / assemblaggio tra gli elementi che favoriscano l'uso di giunti standardizzati e reversibili, approcci che sarebbero ulteriormente valorizzati dall'uso di materiali facilmente inseribili in una filiera di recupero ben strutturata come quella dei materiali metallici, in particolare dell'acciaio.

In merito al rivestimento l'attenzione è stata focalizzata sulla filiera della pelle con l'obiettivo di testare e validare l'impiego della concia vegetale, definendo una soluzione circolare e sostenibile, obiettivi questi di migliorare la filiera della produzione conciaria riducendo l'impatto ambientale, garantire il comfort equivalente a quello dei rivestimenti tradizionali e assicurare una durata comparabile (UNIC, 2022).

Ad oggi i rivestimenti sono realizzati con vari materiali, ciascuno con catene di fornitura specifiche, tra cui pelle naturale ed ecopelle, quest'ultima trattata secondo normative che ne determinano un minore impatto ambientale (Black et alii, 2013). Tuttavia il settore conciario necessita di ulteriori miglioramenti in termini di sostenibilità e circolarità che devono prevedere il coinvolgimento di diverse realtà del territorio. Lo scopo della sperimentazione legata



Fig. 3 | Bulky end-of-life waste (credit: the Authors, 2024).

al rivestimento in pelle è dunque approfondire l'utilizzo della concia vegetale, nel tentativo di strutturare una filiera rispondente ai criteri di circolarità e sostenibilità, anche attraverso la valorizzazione degli scarti provenienti da altri settori. In parallelo anche la produzione di pelle da scarti vegetali può essere una valida soluzione da implementare, per creare alternative sostenibili alle filiere tradizionali, indagando la scalabilità del processo, la durabilità del materiale e l'accettazione da parte del mercato.

Infine l'indagine degli elementi connettivi dei rivestimenti tra tessuto e fusto mira a individuare nuove soluzioni che possano permettere di progettare componenti monomateriali in grado di ridurre l'impatto ambientale in termini di produzione e riciclo, anche disassemblabili per favorire sostituzione, riparazione, dismissione.

Il rivestimento pone ancora delle criticità rispetto sia ai materiali utilizzati – spesso costituiti di poliesteri non riciclabili, intrecciati con altri materiali in modo non reversibile – sia all'assemblaggio, in quanto spesso cuciti in modo non reversibile all'imbottitura e connessi con chiodi e colle al fusto rendendoli non lavabili, non riparabili e non disassemblabili a fine vita, oppure attraverso i fastener, elementi ritrovabili in diversi settori merceologici, che permettono l'assemblaggio delle varie parti di un prodotto. La sperimentazione si sofferma su nuove soluzioni di connessioni tra il rivestimento e il fusto al fine di permettere l'allungamento della sua vita d'uso e garantire un processo produttivo in linea con quello dell'imbottito, favorendone il flusso di lavoro e migliorandolo in fase di assemblaggio.

Le varie innovazioni di progetto e di processo relative ai quattro elementi (imbottitura, struttura, rivestimento e connessioni) costituenti il prodotto imbottito possono lavorare in modo sinergico e integrato nella realizzazione di un PoC per rispondere meglio ai principi del Design Circolare. Inoltre tutte le scelte progettuali devono essere guidate dall'effettiva possibilità di utilizzare materiali e processi di lavorazione a basso impatto e già diffusi nel territorio (es. estrusione di termoplastici, taglio e saldatura di tubolari metallici, taglio della pelle, ecc.), prediligendo soluzioni con la scalabilità della produzione che può aprire nuove opportunità di mercato per le piccole e medie imprese senza richiedere ingenti investimenti infrastrutturali.

Conclusioni | Il divano è un oggetto complesso la cui trasformazione nel corso del tempo riflette anche i più ampi cambiamenti della società: da simbolo di status e formalità si è evoluto in elemento più inclusivo e multifunzionale negli spazi abitativi contemporanei, cambiamento che può essere attribuito a fattori quali i progressi nelle tecniche di produzione, i cambiamenti nello stile di vita e nelle dinamiche sociali e una maggiore attenzione al comfort e alla praticità.

La sfida è agire non solo sulla consapevolezza dei produttori, affinché abbraccino e integrino gradualmente le soluzioni alle problematiche del prodotto in termini di sostenibilità, ma anche sulla sensibilizzazione degli utenti. Questi ultimi infatti sono una parte determinante per il raggiungimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile della filiera dell'imbottito, perché coi loro comportamenti e scelte possono favorire la messa a sistema delle proposte progettuali. L'intera strategia di sviluppo del progetto verte dunque sullo spacchettamento della complessità del prodotto finito in elementi comprensibili, su cui può essere costruita sia la sensibilizzazione puntuale degli attori della filiera dell'imbottito sia la comunicazione destinata agli utilizzatori, quali utenti informati.

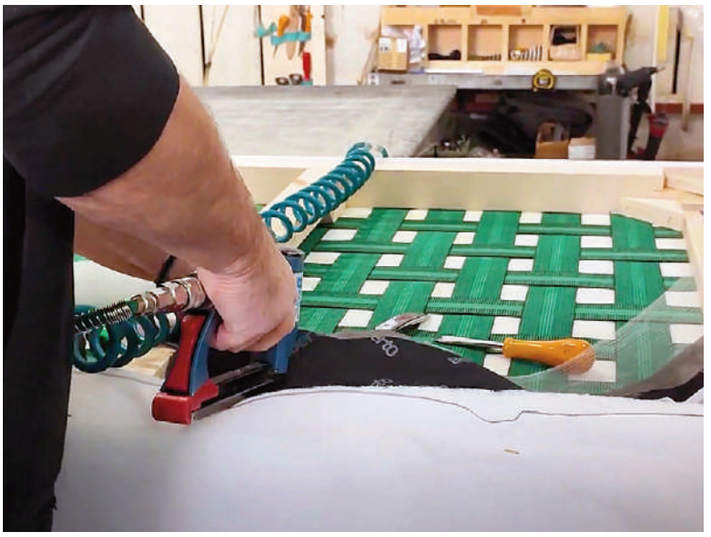
Intervenire già nella fase di progettazione è cruciale, poiché, una volta definite le specifiche di un prodotto, è generalmente possibile apportare solo minime migliorie, non così significative per un cambio radicale di paradigma. Modificare le scelte riguardanti soluzioni formali, materiali, processi e in-



Fig. 4 | Upholstery production space (credit: the Authors, 2024).

Fig. 5 | Couch belting in the production stage (credit: the Authors, 2024).

Fig. 6 | Example of multi-materiality of the sofa (credit: the Authors, 2024).





frastrutture coinvolte rappresenta un intervento sistemico che non può essere affrontato in modo lineare. Il progetto, a partire dalla suddivisione di un sistema articolato nei suoi elementi costituenti, mira al re-impacchettamento della sua complessità per favorire una possibile adozione graduale delle migliorie da prevedere già nella fase di concepimento del prodotto.

Il progetto CSP promuove l'adozione di approcci di Design Circolare in modo strutturato e consapevole affinché possa effettivamente portare a una transizione sostenibile nella creazione di prodotti; a tale fine si avvale delle possibilità offerte dalla realizzazione di modelli di studio e prototipi di funzionamento, anche attraverso l'uso della fabbricazione digitale, che consente di simulare e testare in un ridotto arco di tempo soluzioni poi scalabili in ambito industriale.

L'approccio presentato nel contributo permette di generare ricadute positive su più livelli, dalla riduzione dell'impatto ambientale alla ridefinizione di produttivi e di relazioni tra i diversi attori della filiera maggiormente circolari, aprendo nuove prospettive, non solo per una progettazione più sostenibile di imbottiti, ma anche per la creazione di un nuovo modello di produzione che potrebbe ridisegnare l'intero settore del mobile imbottito. In tal senso la disciplina del Design può giocare un ruolo fondamentale nel mettere a punto nuove strategie per affrontare la complessità di innovazioni sistemiche.

The article explores the strategies that Design can adopt to reduce the environmental impact of upholstered furniture by focusing on the design strategies of various constituent elements, the choice of materials used, and the methods of assembly and disassembly. The research is part of an ongoing funded project, Circular Sofa Platform (CSP), and fits within the complex contemporary supply chain of upholstered furniture, a sector of significance to the Italian economy from both economic and design perspectives (Bruno et alii, 2022), but one where attention to circularity and sustainability is less established.

After describing the complex supply chain system, this article presents the research methodology adopted. It highlights the Design Approaches that can encourage behavioural change driven by Design in the conception, production, use, and end-of-life management of upholstered furniture. Subsequently, this article presents the design directions within the CSP that aim to build a new platform paradigm for the sector that meets the requirements of sustainable development.

The article contributes to the ongoing debate on design practices suitable for a sustainable and circular transition of supply chains. Through analysing and systematising product case studies, the article proposes possible strategies for innovation in materials, components, services, and production processes across the entire upholstered furniture supply chain, promoting resource recovery and more conscious use. By reflecting on the various challenges generated by the complexity of the product and its related supply chain, the article offers multiple precise design proposals from a systemic perspective to address an area in need of intervention.

The upholstered furniture supply chain is still not circular | The furniture industry is a strategic sector for the Italian economy, with a value of 17.5 billion euros in 2017 and a prominent position in global trade (EEB, 2017), continuing to garner international recognition (Turrini and Sbordone, 2020). Upholstered products play a central role within this sector, though there are evident challenges related to their disposal at the end of their life cycle. To date, the upholstered furniture supply chain presents several environmental issues stemming from two common characteristics of these products: their intrinsic multi-material composition and their large size and weight (Cerulo et alii, 2022). Therefore, the supply chain requires a transition toward a sustainable and circular model (Zannoni et alii, 2024) through a systemic approach that addresses all stages of the process, from design and material selection through to consumption, reuse, and the management of disposal and recovery infrastructures.

In this regard, one of the most critical stages in the sofa's life cycle is the management of its end-of-life (Fig. 1), followed by the extraction and processing of raw materials (Mermertas et alii, 2018). We can attribute this issue to two main factors. The first concerns the waste management system, which classifies waste into broad categories, preventing a detailed disaggregation of data (Crippa et alii, 2022). The European Waste Code (EWC; European Commission, 2008) places sofas in the category of bulky waste, alongside tables and beds, without a dedicated collection and disposal supply chain. Consequently, even the annually updated data on the disposal of upholstered furniture alone is challenging to obtain. The second factor relates to the structural complexity of sofas, making their disassembly and material separation challenging or impossible. This process is costly for private individuals and industry operators due to a lack of expertise or financial incentives, often leading to the complete disposal of sofas without any attempts at recovery (Fig. 2).

At the European level, between 80% and 90% of furniture is estimated to end up in landfills or incinerators (EEB, 2017). In 2021, the amount of bulky waste sent for disposal in Italy amounted to 957,922 metric tons, with only 118,142 metric tons destined for recycling (ISPRA, 2022). The collection of this waste, including sofas, is mainly carried out through direct drop-offs at recycling centres, used by 50.3% of the population (ISTAT, 2022), and home collection upon request, managed free of charge by municipal companies.

As mentioned, a particularly problematic aspect is the limited possibility for material recovery. A field survey conducted as part of the CSP project at waste collection centres in four Italian cities showed that only the metal components of sofa beds (40% of the total weight) were regularly recovered (Fig. 3). In contrast, the remaining 60% of materials – primarily composed of wood (33.7%), polyurethane foam (14%), and fabric (9%) – were not recycled. This recovery rate applies only to sofa beds, constituting only 20% of disposed sofas. For traditional sofas, no materials are recovered except for metal on rare occasions. Considering these volumes, the situation is even more critical, as polyurethane foam parts dominate the bulk of upholstered furniture.

This scenario highlights a significant challenge in waste management, which should encourage recycling, recovery, and reuse over landfilling, waste-to-energy plants, or incinerators. Despite the evident systemic issue, there are no specific European or Italian regulations for the end-of-life management of upholstered furniture. This regulatory gap may stem from the European Waste Code's (EWC) inability to classify sofas adequately (European Commission, 2002). The generic category of 'bulky waste' (EWC 20 03 07) hinders the introduction of targeted regulations for and monitoring of the life cycle of sofas, making recycling or reuse difficult.

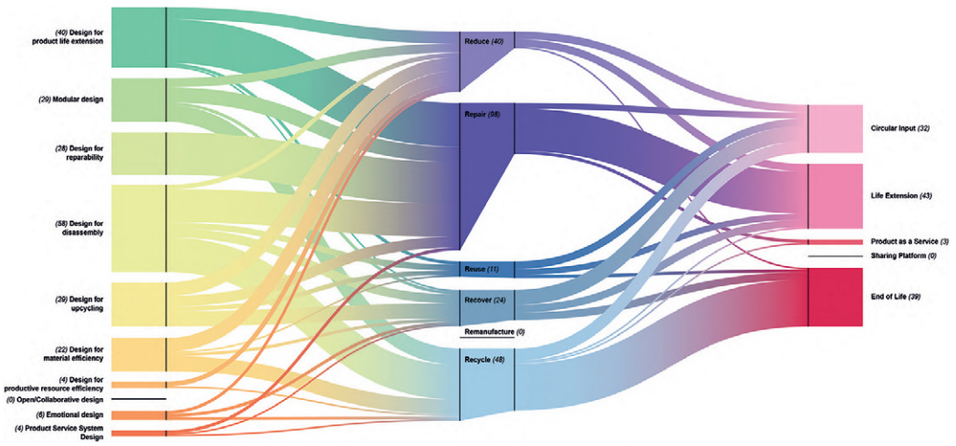
However, it is worth noting that European waste regulations – specifically Directive 2008/98/EC (European Commission, 2008) and Directive 2018/851/EU (European Commission, 2018) – introduce the circular economy model as a valuable approach to promote waste reduction and management strategies. This is further reinforced by recent specific directives and laws that regulate and incentivise sustainable production, material reuse, and product circularity (UNI/TS 11820:2022; UNI EN 17902:2024). In particular, the recent Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR) of July 18, 2024 (European Commission, 2024) aims to significantly improve the circularity, energy performance, and other environmental sustainability aspects of products placed on the European Union market.

Despite its limitations and potential challenges, the Regulation sends a strong signal; its enactment accelerates the adoption of sustainability and circularity strategies, recognising the crucial role of Design in taking a significant step towards better protection of our planet, promoting more sustainable business models, and enhancing the overall competitiveness and resilience of the European Union's economy.

Re-designing upholstered furniture for sustainability: methodology | The above discussion highlights how upholstered products are particularly critical in terms of resource consumption and recovery and how urgent it is to bring about a sustainable transition in this sector. To understand how upholstered furniture and its supply chain can be rethought and redesigned in response to current global economic development policies' environmental, social, and economic circularity needs, it is necessary to define the scope of circularity and how it can interact with this product category.

The industrial economy contributes to unsustainable production patterns and overly short product life cycles (EMF, 2013). The transition towards a regenerative system, like that of the Circular Economy, aims to optimise resource use, reduce waste, and promote the reuse and recycling of materials (Stahel, 2013). The Circular Economy is based on the principles of the '6Rs': reduce, reuse, recycle, recover, redesign, and regenerate (Yang et alii, 2017; Jawahir and Bradley, 2016). How can these Circular Economy principles be integrated into the design and production context of upholstered furniture (Figg. 4-6) to overcome the challenges facing its supply chain?

Design can drive the sustainable transition of upholstered furniture as a holistic discipline capable of finding, addressing, and proposing solutions to complex problems. It can activate sustainable strategies and emphasise resource reuse to create regenerative and restorative industrial systems (EMF, 2013). This transition, based on the principles of Design for Sustainability (Ceschin and Gaziulusoy, 2016), supports the Circular Economy through innovative approaches to resource management. Circular Design goes beyond the traditional linear model by adopting a system thinking approach to address this com-



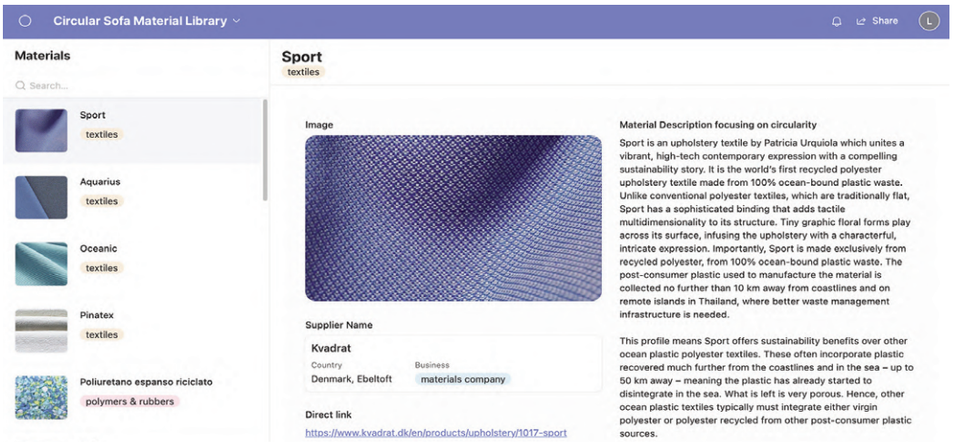


Fig. 7 | Circular Design Approach in relation to Circular Economy Principle and Business Model (credit: the Authors, 2024).
Fig. 8 | Circular Sofa Material Library: a collection of circular materials from the upholstery industry (credit: the Authors, 2024)

plexity (Moreno et alii, 2016). Designers can thus choose circular strategies suitable for the business model while also considering socio-cultural aspects and transition processes (Joore and Brezet, 2015). This shift requires a mindset transformation from a product-oriented approach to a more systemic one focused on complexity (Bocken et alii, 2014).

As the information is often aggregated with that of the entire furniture sector, which has different characteristics, the CSP project followed a methodology combining quantitative and qualitative studies of the upholstered furniture sector, focusing on Italy. This is to explore how Circular Design can promote Circular Economy strategies.

The literature review revealed a collection of Circular Design principles capable of facilitating the implementation of the Circular Economy. The existing literature emphasises how essential it is to anticipate and proactively address issues related to the Circular Economy during the design phase of an artefact. Intervening early in the design phase is crucial because, once a product's specifications are defined, it is generally only possible to make minimal improvements, which are insufficient to drive radical shifts in production and consumption paradigms. Driving different choices regarding formal solutions, materials, processes, and infrastructures represents a systemic intervention that cannot be addressed linearly and incrementally (Bocken et alii, 2014).

After reviewing the literature, the authors identified 10 Circular Design approaches relevant to promoting the development of artefacts aligned with the principles of the Circular Economy, including: Design for Product Life Extension (Stahel, 2013), Modular Design (Inoue et alii, 2020; Pietroni, Di Stefano and Galloppo, 2023), Design for Reparability (Cordella, Alfieri and Sanfelix Forner, 2019), Design for Disassembly (De Fazio et alii, 2021), Design for Upcycling (Ahn and Lee, 2018), Design for Material Efficiency (Allwood et alii, 2013; Lifset and Ecklman, 2013), Design for Productive Resource Efficiency (Nyamekye et alii, 2024), Open / Collaborative Design (Menichinelli and Cangiano, 2021), Emotional Design (Desmet and Hekkert, 2009; Lobos and Babbitt, 2013), and Product-Service System Design (McAloone and Andreasen, 2004; Vezzoli, Garcia Parra and Kohtala, 2021). These Circular Design approaches concerning the core principles of the Circular Economy have guided the observations that underpin the project.

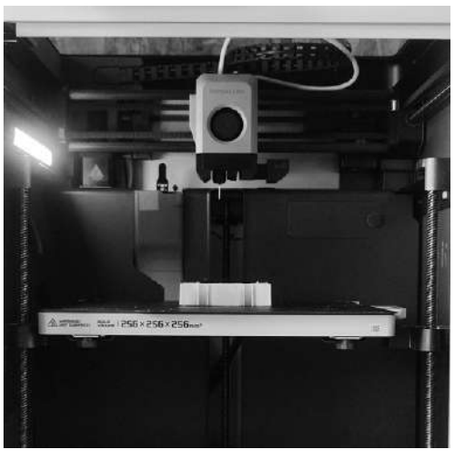
Based on these principles, 40 case studies on the circularity of contemporary sofas were catalogued, and subsequently analysed through the lens of Circular Design approaches (Fig. 7). For each selected case, an information sheet was compiled, containing descriptive data (product name, designer, manufacturing company, country, year of production, type of product, and level of maturity – prototype or market product), accompanied by a brief description with photos and online references, as well as the materials used and distinctive elements. This analysis was then cross-referenced with aspects related to production, sales and post-consumption models, environmental certifications, the principles of the circular economy (the 6Rs), and the specific business model, such as Circular Inputs, Life Extension, Product as a Service, Sharing Platforms, or End-of-Life (Symbola, 2021). The collected information was organised in an Excel spreadsheet with conditionally formatted sections to standardise data collection and enable a systematic comparison.

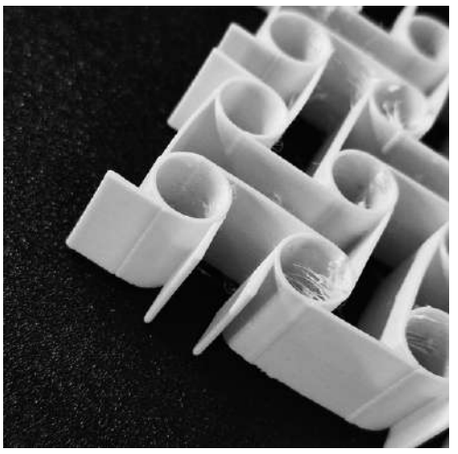
The comparison of the cases and their re-evaluation in light of Circular Design principles highlighted the limited presence or complete absence of service solutions for the sofa product system and the implementation of circular business models related to the creation of sharing platforms. This gap is significant because designing the entire product-service system represents added value in the Circular Economy. The fact that, to date, this approach has not been emphasised in the upholstered furniture sector presents a crucial design opportunity: strategies for material recovery and remanufacturing are scarcely addressed, and there are deep gaps in terms of open and collaborative design. On the other hand, other Circular Design approaches are more prevalent, including Design for Product Life Extension, Modular Design, Design for Disassembly, and Design for Repairability. Additionally, it is interesting to note the presence of historic products, reintroduced by companies since the 1970s, because they already inherently met some modularity and disassembly requirements, which have been enhanced today with new materials (Bruno et alii, 2022) or production processes.

The approach adopted has proven effective in consolidating a body of relevant examples of circular practices in the contemporary upholstered furniture sector. The structured systematisation of data enabled comparisons between different cases and identifying emerging trends in the transition toward the Circular Economy. However, the lack of some critical information, along with the limited willingness of companies to participate in in-depth interviews, constrained the qualitative analysis, reducing its completeness.

In addition to the collection and analysis of case studies, a collection of circular materials from the upholstered furniture sector was created (Circular Sofa Platform Material Library) to gather materials that are currently or could potentially be valid substitutes for raw materials considered critical in the industry (Fig. 8). This collection could be regarded as a design tool to catalogue materials already used in other fields that could potentially be employed across industries. At present, the library contains 32 materials, each of which can be described as circular 'neo-materials' because they are 'renewed and renewable', or made from material that has 're-entered' the production cycle, whether from a homogeneous or different supply chain (Pellizzari and Genovesi, 2021).

Thanks to the knowledge and skills acquired through the implementation of the presented research methodology and the creation of the initial outputs described, it became clear that, to intervene in a complex product system like upholstered furniture, it is necessary to break it down into its functional morphological components (Bonsiepe and Bertoldini, 1975). The sofa system is thus reinterpreted through Circular Design approaches applied to its primary compositional elements (padding, frame, upholstery, and connective system) using experi-





Figg. 9-11 | Experimentation on padding: FDM 3D printing of auxetic elements; example of auxetic structure; example of compression of an auxetic structure (credits: the Authors, 2024).

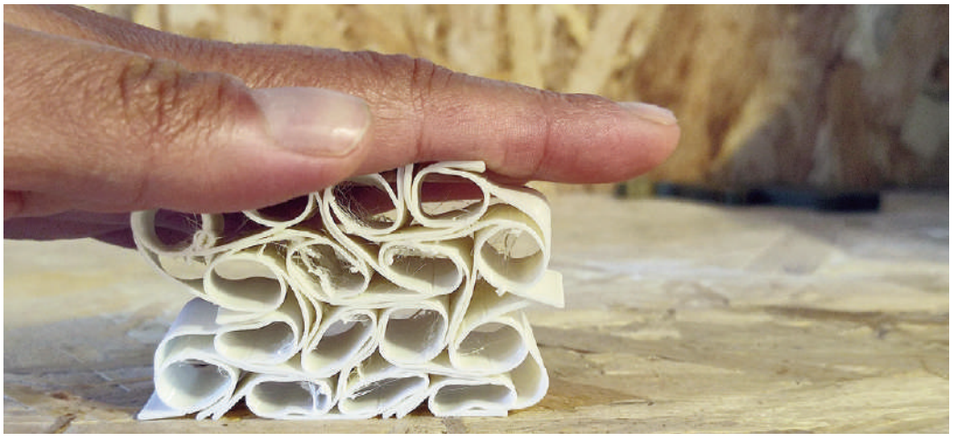


Fig. 12 | Drum experiment: the study of the current mid-range non-disassembly drum (credit: the Authors, 2024).



mentation divided into four different yet synergistic four Proof of Concept (PoCs) experiments.

Designing by components: experimenting with new design solutions | The experimentation aims to develop a platform project for a new type of upholstered furniture (sofa) that fully embraces the principles of environmental, social, and economic sustainability, thereby achieving systemic circularity. Each primary element of the sofa has specific goals to promote low-impact but functional solutions for users and manufacturers while respecting technical constraints. The project includes four PoCs: 1) padding, 2) structure, 3) upholstery, and 4) connective solutions. The objectives of each PoC are detailed and explored below.

Among the main challenges in the production chain of upholstered furniture, managing the padding element at the end of its life is particularly complex, as it is primarily made of polyurethane foam. This material is chosen for its low production costs (EUROPUR, 2015) and chemical composition (Usman, Adeosun and Osifeso, 2011), but is characterised by a limited recycling or reuse chain. The project, therefore, aims to replace polyurethane foam while maintaining the supportive and comfort-providing functions it offers due to its elastic properties (Rampf et alii, 2012). The replacement is achieved by translating material properties into geometric properties and redesigning the component according to the Modular Design approach. Hollow modules characterise the design with an auxetic geometry capable of replicating the compression and decompression behaviour typical of polyurethane foams (Figg. 9-11). This type of geometry expands perpendicularly when subjected to tension in one direction and compresses perpendicularly when subjected to a load (Evans and Alderson, 2000). From the analysis of different auxetic geometries, those aligned with the defined design constraints were selected, including compression towards the centre of mass without dimensional variation. The materials chosen for the modules are thermoplastic polymers, which provide adequate mechanical performance and have a well-established recycling chain (Plastics Europe, 2024; Circular Economy Network, 2024; ISPRA, 2024).

Regarding the structure, potential solutions must address the extension of the product's life cycle by ensuring the adaptability, reconfigurability, maintenance, repairability of various components, transportability, and sustainability of material resources. It is essential to apply the principle of disassembly, combined with minimising bulk when the sofa is disassembled and optimising materials to make the structure lighter, thus facilitating transport at all lifecycle stages, not just at the time of post-sale delivery. The redesign must allow for easier separation from the upholstery, unlike current mid-range products (Fig. 12). The redesign, therefore, aims to keep both the frame and the support and spring elements of the cushions visible, which are often integrated.

Finally, to facilitate product reconfigurability, it is helpful to develop modular elements that fulfil different functions of the sofa system, such as seats, armrests, backrests, and footrests. In the context of modularity and disassembly, it is necessary to consider connection / assembly methods between elements that promote standardised and reversible joints. These approaches would be further enhanced by using materials that can easily be integrated into a well-structured recovery chain, such as metallic materials, particularly steel.

Regarding upholstery, attention has been focused on the leather supply chain to test and validate the use of vegetable tanning, aiming to define a circular and sustainable solution. The objectives are to improve the leather production supply chain by reducing its environmental impact, ensuring comfort equivalent to traditional upholstery, and guaranteeing comparable durability (UNIC, 2022).

Currently, upholstery is made from various materials, each with specific supply chains, including natural leather and eco-leather, the latter being treated according to regulations that reduce its environmental impact (Black et alii, 2013). However, the leather

industry still requires further improvements in sustainability and circularity, which should involve various local stakeholders. The goal of the leather upholstery experimentation is thus to explore the use of vegetable tanning, intending to structure a supply chain that meets the criteria of circularity and sustainability while also leveraging waste from other sectors. In parallel, producing leather from plant waste could be a viable solution, creating sustainable alternatives to traditional supply chains by investigating the process's scalability, and the material's durability and market acceptance.

Finally, the investigation into the connective elements between fabric and frame aims to identify new solutions that can enable the design of mono-material components, reducing the environmental impact of production, recycling, and disassembly to facilitate replacement, repair, and disposal.

Currently, upholstery poses challenges both in the materials used – it is often made of non-recyclable polyesters intertwined with other materials in a non-reversible way – and in its assembly, as it is frequently sewn irreversibly to the padding and connected with nails and glue to the frame, making it non-washable, non-repairable, and unable to be disassembled at the end of its life. Alternatively, fasteners in various sectors allow the assembly of different product parts. The experimentation focuses on new solutions for connections between the upholstery and the frame, aiming to extend the product's lifespan and ensure a production process in line with that of upholstered furniture, facilitating and improving the workflow during assembly.

The various design and process innovations related to the four components (padding, structure, upholstery, and connections) that make up the upholstered product can work in a synergetic and integrated way to realise a PoC that better aligns with Circular Design principles. Moreover, all design choices must be guided by the practical feasibility of using low-impact materials and processing techniques that are already widespread in the region (e.g., thermoplastic extrusion, cutting and welding of metal tubing, leather cutting), favouring scalable solutions that can open new market opportunities for small and medium-sized enterprises without requiring significant infrastructural investments.

Conclusions | The sofa is a complex object whose transformation over time reflects broader societal changes: from a symbol of status and formality, it has evolved into a more inclusive and multifunctional element in contemporary living spaces. This shift can be attributed to technological advances, changes in lifestyle and social dynamics, and an increased focus on comfort and practicality.

The challenge lies in raising awareness among manufacturers so they can gradually embrace and integrate solutions to product sustainability issues and educate consumers. The latter is a crucial factor in achieving the sustainable development goals of the upholstered furniture industry, as consumers' behaviours and choices can support the systemic implementation of these design proposals. Therefore, the entire development strategy of the project focused on breaking down the complexity of the finished product into understandable elements, which could serve as the basis for raising awareness among actors in the upholstery supply chain and for communication targeted at users, enabling them to become informed consumers.

Intervening in the design phase is crucial, as once a product's specifications are defined, only minimal improvements can generally be made, which are not significant enough for a radical paradigm shift. In contrast, modifying choices related to formal solutions, materials, processes, and the involved infrastructure represents a systemic intervention that cannot be addressed linearly. Thus, by breaking down a complex system into its constituent elements, the project aimed to repackage its complexity, enabling a gradual adoption of improvements that would be anticipated from the product conception phase.

The CSP project promotes the adoption of Circular Design approaches in a structured and mindful way to effectively drive a sustainable transition in product creation. To this end, it takes advantage of study models and working prototypes, including digital fabrication, which allows for the simulation and testing of solutions in a shortened timeframe that can then be scaled in an industrial context.

The approach presented in this contribution enables positive outcomes on multiple levels, from reducing environmental impact to redefining production processes and fostering more circular relationships among the various actors in the supply chain. This opens new perspectives not only for more sustainable upholstered furniture design but also for creating a new production model that could reshape the entire upholstered furniture sector. In this sense, the discipline of Design can play a fundamental role in developing new strategies to address the complexity of systemic innovations.

Acknowledgements

The Circular Sofa Platform project is funded by the European Union (Next Generation EU grant) through the Ministry of University and Research as part of the National Recovery and Resilience Plan and is included in Spoke 2 of the extended partnership 'Made in Italy Circular and Sustainable' (MICS).

This contribution is the result of a collective reflection by the Authors. However, the drafting of the document was carried out by P. Bolzan, N. Di Prima, A. Filippini, G. Pontillo, M. Puglielli, L. Rosato, and F. Zeccara.

References

Ahn, S. H. and Lee, J. Y. (2018), "Re-Envisioning Material Circulation and Designing Process in Upcycling Design Product Life Cycle", in *Archives of Design Research*, vol. 31, issue 4, pp. 5-21. [Online] Available at: doi.org/10.15187/adr.2018.11.31.4.5 [Accessed 15 October 2024].

Allwood, J. M., Ashby, M. F., Gutowski, T. G. and Worrell, E. (2013), "Material efficiency – Providing material services with less material production", in *Philosophical Transactions of The Royal Society*, vol. 371, issue 1986, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1098/rsta.2012.0496 [Accessed 15 October 2024].

Black, M., Canova, M., Rydin, S., Scalet, B. M., Roudier, S. and Sancho, L. D. (2013), *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Tanning of Hides and Skins – Industrial Emission Directive 2010/75/EU (integrated pollution prevention and control)*, JRC, Report EUR 26130 EN. [Online] Available at: doi.org/10.2788/13548 [Accessed 15 October 2024].

Bocken, N. M. P., Farracho, M., Bosworth, R. and Kemp, R. (2014), "The front-end of eco-innovation for eco-innovative small and medium sized companies", in *Journal of Engineering and Technology Management*, vol. 31, pp. 43-57. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jengtecman.2013.10.004 [Accessed 15 October 2024].

Bonsiepe, G. and Bertoldini, M. (1975), *Teoria e pratica del disegno industriale – Elementi per una manualistica critica*, Feltrinelli, Milano.

Bruno, D., Ferrara, M., D'Alessandro, F. and Mandelli, A. (2022), "The Role of Design in the CE Transition of the Furniture Industry – The Case of the Italian Company Cassina", in *Sustainability*, vol. 14, issue 15, article 9168, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su14159168 [Accessed 15 October 2024].

Cerulo, B., Papile, F., Motta, M., Marinelli, A., Conti, G. M. and Del Curto, B. (2022), "3D knitting for upholstery – Guidelines to design at the interface of sustainable fashion and furniture", in Gianni Montagna, G. and Carvalho, C. (eds), *Proceedings of the 13th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2022)*, AHFE Open Access, vol. 32, AHFE International, USA. [Online] Available at: openaccess.cms-conferences.org/publications/book/978-1-958651-08-7/article/978-1-958651-08-7_16 [Accessed 15 October 2024].

Ceschin, F. and Gaziulusoy, I. (2016), "Evolution of design for sustainability – From product design to design for system innovations and transitions", in *Design Studies*, vol. 47, pp. 118-163. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.destud.2016.09.002 [Accessed 15 October 2024].

Circular Economy Network (ed.) (2024), *6° Rapporto sull'economia circolare in Italia – Focus – Indagine sull'economia circolare nelle piccole imprese.* [Online] Available at: circulareconomynetwork.it/wp-content/uploads/2024/05/CEN2024-Impagina-TOT-DEF.pdf [Accessed 15 October 2024].

Cordella, M., Alfieri, F. and Sanfelix Forner, J. (2019), *Analysis and development of a scoring system for repair and upgrade of products*, JRC Technical Report, JRC114337, EUR 29711 EN. [Online] Available at: doi.org/10.2760/725068 [Accessed 15 October 2024].

Crippa, D., Villa, M. C., Di Prete, B., Ratti, L., Rebaglio, A., Zanini, M. and Zanotto, F. (2022), "Verso un progetto circolare, tra architettura e allestimento – Piattaforme digitali per il riuso | Towards a circular project, between architecture and exhibition design – Digital platforms for reuse practices" in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 234-245. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12212022 [Accessed 15 October 2024].

De Fazio, F., Bakker, C., Flipsen, B. and Balkenende, R. (2021), "The Disassembly Map – A new method to enhance design for product repairability", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 320, article 128552, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128552 [Accessed 15 October 2024].

Desmet, P. M. A. and Hekkert, P. (2009), "Special Issue Editorial – Design & Emotion, in *International Journal of Design*, vol. 3, issue 2. [Online] Available at: ijdesign.org/in

dex.php/IJDesign/article/view/626/255 [Accessed 15 October 2024].

EEB – European Environmental Bureau (2017), *Circular Economy Opportunities in the Furniture Sector*. [Online] Available at: circulareconomy.europa.eu/platform/sites/ default/files/eeb_-_ce_in_the_furniture_sector_final_high_ res.pdf [Accessed 15 October 2024].

EMF – Ellen MacArthur Foundation (2013), *Towards the Circular Economy – Vol. 1 – Economic and business rationale for an accelerated transition.* [Online] Available at: emf.thirdlight.com/link/x8ay372a3r11-k6775n/@/preview/1?o [Accessed 15 October 2024].

European Commission (2024), *Regulation (EU) 2024/1781 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for sustainable products, amending Directive (EU) 2020/1828 and Regulation (EU) 2023/1542 and repealing Directive 2009/125/EC*, document 32024R1781. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/ ?uri=CELEX%3A32024R1781&qid=1719580391746 [Accessed 15 October 2024].

European Commission (2018), *Directive (EU) 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste*, document 32018L0851. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0851 [Accessed 15 October 2024].

European Commission (2008), *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives*, document 32008L0098. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008L0098 [Accessed 15 October 2024].

European Commission (2002), *Regulation No EC 2150/ 2002 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2002 on waste statistics*, document 32002 R2150. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ ALL/?uri=CELEX%3A32002R2150 [Accessed 15 October 2024].

EUROPUR – European Association of Flexible Polyurethane Foam Blocks Manufacturers (2015), *Flexible Polyurethane (PU) Foam – EUROPUR – August 2015 – Eco-profiles and Environmental Product Declarations of the European Plastics Manufacturers*. [Online] Available at: europur.org/wp-content/uploads/2022/04/20150821_EUROPURZEco-profileZPUZfoam_finalZincl.ZReviewZMSchulz.pdf [Accessed 15 October 2024].

Evans, K. E. and Alderson, A. (2000), "Auxetic Materials – Functional Materials and Structures from Lateral Thinking!", in *Advanced Materials*, vol. 12, issue 9, pp. 617-628. [Online] Available at: doi.org/10.1002/(SICI)1521-4095(200005)12:9<617::AID-ADMA617>3.0.CO;2-3 [Accessed 15 October 2024].

Inoue, M., Yamada, S., Miyajima, S., Ishii, K., Hasebe, R., Aoyama, K., Yamada, T. and Bracke, S. (2020), "A modular design strategy considering sustainability and supplier selection", in *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, vol. 14, issue 2, pp. 1-10. [Online] Available at: researchgate.net/publication/340093215_A_modular_design_strategy_considering_sustainability_and_supplier_selection [Accessed 15 October 2024]

ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2024), *Rapporto Rifiuti Speciali – Edizione 2024.* [Online] Available at: isprambiente.gov.it/files2024/pubblicazioni/rapporti/rapportorifiutispeciali_ed-2024_n402_versioneintegrale.pdf [Accessed 15 October 2024].

ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2022), *Rapporto Rifiuti Urbani – Edizione 2022.* [Online] Available at: isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/rapporto-rifiuti-urbani-edizione-2022 [Accessed 15 October 2024].

ISTAT (2022), *Raccolta differenziata dei rifiuti – Comportamenti e Soddisfazione dei Cittadini e Politiche nelle Città – Anni 2020-2021*. [Online] Available at: istat.it/comunicato-stampa/raccolta-differenziata-dei-rifiuti-comportamenti-e-soddisfazione-dei-cittadini-e-politiche-nelle-citta-anni-2020-2021/ [Accessed 15 October 2024].

Jawahir, I. S. and Bradley, R. (2016), "Technological Elements of Circular Economy and the Principles of 6R-Based Closed-loop Material Flow in Sustainable Manufacturing", in *Procedia CIRP*, vol. 40, pp. 103-108. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.067 [Accessed 15 October 2024].

Joore, P. and Brezet, H. (2015), "A Multilevel Design Model – The mutual relationship between product-service system development and societal change processes", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 97, pp. 92-105. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.043 [Accessed 16 October 2024].

Lifset, R. and Eckelman, M. (2013), "Material efficiency in a multi-material world", in *Philosophical Transactions of Royal Society A*, vol. 371, issue 1986, pp. 2012-2031. [Online] Available at: doi.org/10.1098/rsta.2012.0002 [Accessed 15 October 2024].

Lobos, A. and Babbitt, C. W. (2013), "Integrating Emotional Attachment and Sustainability in Electronic Product Design", in *Challenges*, vol. 4, issue 1, pp. 19-33. [Online] Available at: doi.org/10.3390/challe4010019 [Accessed 15 October 2024].

McAloone, T. C. and Andreasen, M. M. (2004), "Design for utility, sustainability and societal virtues – Developing Product Service Systems", in Marjanovic D. (ed), *Proceedings of DESIGN 2004 – The 8th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia*, pp. 1545-1552. [Online] Available at: designsociety.org/publication/19951/DESIGN+FOR+UTILITY%2C+SUSTAINABILITY+AND+SOCIETAL+VIRTUES%3A+DEVELOPING+PRODUCT+SERVICE+SYSTEMS [Accessed 15 October 2024].

Menichinelli, M. and Cangiano, S. (2021), "Open Design as an approach for the commoning of design – The collaborative experience of openly defining Open Design with an open source process", in Botta, M. and Junginger, S. (eds), *Design as Common Good – Framing Design through Pluralism and Social Values – Swiss Design Network – Symposium 2021 – Conference Proceedings*, Scuola Universitaria Professionale della Svizzera italiana (SUPSI), pp. 466-481. [Online] Available at: drive.switch.ch/index.php/s/92PEcA3qKVoXEDD [Accessed 15 October 2024].

Mermertas, M., Ozsoy, K., Gloria, T. and Babuna, F. G. (2018), "Environmental Sustainability of a Sofa", in *EURASIA 2018 Waste Management Symposium – YTU Davutpasa Congress Center, Istanbul, Turkey, 2-4 May 2018*, pp. 654-660. [Online] Available at: researchgate.net/publication/325403020_Environmental_Sustainability_of_a_Sofa [Accessed 15 October 2024].

Moreno, M., De los Rios, C., Rowe, Z. and Charnley, F. (2016), "A Conceptual Framework for Circular Design", in *Sustainability*, vol. 8, issue 9, article 937, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su8090937 [Accessed 15 October 2024].

Nyamekye, P., Lakshmanan, R., Tepponen, V. and Westman, S. (2024), "Sustainability aspects of additive manufacturing – Leveraging resource efficiency via product design optimization and laser powder bed fusion", in *Heliyon*, vol. 10, issue 1, article e23152, pp. 1-21. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23152 [Accessed 15 October 2024].

Pellizzari, A. and Genovesi, E. (2021), *Neomateriali 2.0 nell'economia circolare*, Edizioni Ambiente, Milano.

Pietroni, L., Di Stefano, A. and Galloppo, D. (2023), "Il design modulare verso l'economia circolare – Dal 'fare per disfare' al 'fare per rifare' | Modular design towards the circular economy – From 'making to unmake' to 'making to remake'", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 274-283. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14232023 [Accessed 15 October 2024].

Plastics Europe (2024), *The Circular Economy for Plastics – A European Analysis*, March 2024. [Online] Available at: plasticseurope.org/knowledge-hub/the-circular-economy-for-plastics-a-european-analysis-2024/ [Accessed 15 October 2024].

Rampf, M., Speck, O., Speck, T. and Luchsinger, R. H. (2012), "Structural and mechanical properties of flexible polyurethane foams cured under pressure", in *Journal of Cellular Plastics*, vol. 48, issue 1, pp 53-59. [Online] Available at: doi.org/10.1177/0021955X11429171 [Accessed 15 October 2024].

Stahel, W. R. (2013), "Policy for material efficiency – Sustainable taxation as a departure from the throwaway society", in *Philosophical Transactions of the Royal* Society, vol. 371, issue 1986, article 20110567. [Online] Available at: doi.org/10.1098/rsta.2011.0567 [Accessed 15 October 2024]

Symbola (2021), *100 Italian Circular Economy Stories 2021.* [Online] Available at: symbola.net/ricerca/100-italian-circular-economy-stories/ [Accessed 15 October 2024]

Turrini, D. and Sbordone, M. A. (2020), "Designed and Made in Italy – Invarianti, transizioni, nuove mappe valoriali", in *MD Journal*, vol. 9, pp. 6-19. [Online] Available at: mdj.materialdesign.it/index.php/mdj/article/view/157/178 [Accessed 15 October 2024].

UNI EN 17902:2024 (2024), *Furniture – Circularity – Evaluation method for dis/re-assembly capability*. [Online] Available at: store.uni.com/uni-en-17902-2024 [Accessed 15 October 2024].

UNI/TS 11820:2022 (2022), *Measuring circularity – Methods and indicators for measuring circular processes in organizations.* [Online] Available at: store.uni.com/en/uni-ts-11820-2022 [Accessed 15 October 2024].

UNIC (2022), *Report di Sostenibilità 2022*. [Online] Available at: unic.it//storage/Report%20Sostenibilità%20UNIC%20Concerie%20Italiane%202022.pdf [Accessed 15 October 2024].

Usman, M., Adeosun, S. and Osifeso, O. G. (2011), "Optimum Calcium Carbonate Filler Concentration for Flexible Polyurethane Foam Composite", in *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, vol. 11, issue 3, pp. 311-320. [Online] Available at: doi.org/10.4236/jmmce.2012.113023 [Accessed 15 September 2024]

Vezzoli, C., Garcia Parra, B. and Kohtala, C. (eds) (2021), *Designing Sustainability for All – The Design of Sustainable Product-Service Systems Applied to Distributed Economies*, Springer, Cham. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-66300-1 [Accessed 15 October 2024].

Yang, H., Xia, J., Thompson, J. R. and Flower, R. J. (2017), "Urban construction and demolition waste and landfill failure in Shenzhen, China", in *Waste Management,* vol. 63, pp. 393-396. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.026 [Accessed 15 October 2024].

Zannoni, M., Succini, L., Rosato, L. and Pasini, V. (2024), "Transitional industrial designer – La responsabilità di progettisti e imprese per una transizione sostenibile | Transitional industrial designer – The responsibility of designers and companies for a sustainable transition", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 332-343. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15282024 [Accessed 15 October 2024].

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 314-323
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/16262024

Article Info

Received 10 September 2024
Revised 10 October 2024
Accepted 11 October 2024
Published 30 December 2024

BIOMATERIALI E ZONE UMIDE
Filiere per l'edilizia e il tessile dalla valorizzazione di ecosistemi locali

BIOMATERIALS AND WETLANDS
Supply chains for construction and textiles through the enhancement of local ecosystems

Eugenia Morpurgo

Abstract

I cambiamenti climatici e la conseguente perdita di biodiversità rappresentano una minaccia per l'umanità. In risposta emergono pratiche progettuali che integrano la conservazione degli ecosistemi e la produzione di biomateriali, promuovendo un design ecologico. Ne sono esempio due casi studio, uno nel settore edile e l'altro nel tessile, che evidenziano come il design possa contribuire allo scopo adattandosi alla specificità e complessità degli ecosistemi locali. I progetti dimostrano che l'interazione tra materiali, tecnologie e ambienti ecologici non solo favorisce la sostenibilità, ma crea anche opportunità economiche attraverso filiere produttive innovative e locali. Il confronto tra i due casi evidenzia approcci distinti ma complementari, suggerendo una possibile contaminazione tra settori produttivi per promuovere economie locali più sostenibili.

Climate change and the consequent loss of biodiversity pose a threat to humanity. In response, design practices that integrate ecosystem conservation and biomaterial production are emerging, promoting ecological design. Two case studies, one in the construction sector and the other in textiles, illustrate how design can contribute to this goal by adapting to the specificity and complexity of local ecosystems. The projects demonstrate that the interaction between materials, technologies, and ecological environments not only fosters sustainability but also creates economic opportunities through innovative and local production chains. The comparison between the two cases highlights distinct yet complementary approaches, suggesting potential cross-pollination between productive sectors to promote more sustainable local economies.

Keywords

biomateriali, biodiversità, zona umida, filiera tessile, filiera edile

biomaterials, biodiversity, wetland, textile supply chain, construction supply chain



Eugenia Morpurgo is a PhD candidate in Design Sciences at the 'Iuav' University of Venice (Italy). Her research explores the existing and potential relationships between the ecological transition of agricultural systems and the design and production of biomaterials within bioregional supply chains Mob. +39 339/80.56.887 | E-mail: emorpurgo@iuav.it

I cambiamenti climatici che il nostro pianeta si trova ad affrontare sono la manifestazione, e causa, di complessi fenomeni interconnessi che mettono a rischio la sopravvivenza dell'umanità (Richardson et alii, 2023; Fig. 1); tra questi l'esponenziale perdita di biodiversità, alla quale assistiamo da oltre sessant'anni (Carson, 1962), causata dall'impronta antropogenica sugli ecosistemi agricoli e urbani, che ha raggiunto livelli tali da essere stata denominata 'la sesta estinzione di massa' (Ceballos et alii, 2015). In risposta a questo fenomeno, diverse pratiche progettuali cercano di mettere al centro processi di mitigazione dei cambiamenti climatici, conservazione degli habitat e della loro biodiversità (Catalano and Balducci, 2022), dando forma, anche nella disciplina del Design, a un pensiero ecologico ed ambientalista, sia in pratiche sperimentali e speculative (Valenti, Trimarchi and Farresin, 2023) che in riflessioni teoriche (Boehnert, 2018) e storiche (Fallan and Jørgensen, 2017).

Il presente contributo si inserisce in quel dibattito della disciplina del Design che guarda ai materiali e alla loro catalogazione, progettazione e utilizzo (Ferrara, 2021; Ferrara and Squatrito, 2022; Dal Palù and Lerma, 2023; Duarte Poblete, Romani and Rognoli, 2024); nello specifico si intende portare l'attenzione su quelle pratiche progettuali che si occupano della conservazione di ecosistemi complessi e della loro biodiversità, attraverso la produzione di biomateriali, intesi come materiali realizzati a partire da biomassa animale o vegetale, e la progettazione delle filiere locali necessarie per la loro produzione.

I progetti presentati propongono processi di transizione (Irwin, 2015) di filiera che intendono valorizzare la complessità degli ecosistemi attraverso la creazione di filiere locali di biomateriali sostenibili (Gaddi and Mastrolonardo, 2024). Attraverso un'analisi qualitativa comparata di due casi studio il contributo vuole comprendere le criticità e le potenzialità di questo approccio progettuale con l'obiettivo di presentare buone pratiche, per diffonderle e per individuare nuove linee di indirizzo per la ricerca e sperimentazione nell'ambito del progetto.

Biomateriali, semplificazione della complessità e agricoltura | Storicamente la produzione di artefatti e semilavorati realizzati con biomassa vegetale e animale è stata caratterizzata da una dimensione locale, dalle tipicità dei paesaggi e dalla loro diversità biologica. Ciò è accaduto fino ai grandi processi di delocalizzazione e globalizzazione dei mercati, a partire dal secondo dopoguerra in poi, che hanno visto da un lato l'introduzione di materiali provenienti dall'industria chimica e dall'altro biomateriali importati a costi inferiori di quelli prodotti localmente (Marot, 2019; Koolhaas and AMO, 2020; Scodeller, 2023).

Per quanto riguarda i biomateriali, di fronte alla ricchezza di risorse esistenti, si è storicamente scelto di semplificare, standardizzare e uniformare i materiali utilizzati, estraendoli dal loro contesto ecologico e culturale, un processo questo che ha portato alla semplificazione degli ecosistemi da cui vengono estratte le biomasse a scapito della salubrità del suolo, dell'acqua e dell'aria, con una crescente perdita di diversità biologica all'interno degli ecosistemi produttivi, tanto da essere denominato Plantationocene da Haraway e Tsing (Mitman, 2019, p. 6) che hanno definito la nostra epoca come l'era della piantagione, caratterizzata da «[…] radical simplification; substitution of peoples, crops, microbes, and life forms». Ciò è riscontrabile in un'analisi relativa al mercato attuale delle fibre vegetali che, con 31,4 milioni di tonnellate, rappresentano solo il 25% delle fibre prodotte a livello mondiale nel 2023 (Fig. 2) e che derivano quasi esclusivamente soltanto da dieci piante diverse. Il cotone è il protagonista con il 78,6% del mercato, a seguire la iuta con il 11,09% e il restante 10,31% diviso tra otto piante principali (cocco, lino, canapa, sisal, abaca, kapok, fibre di agave e ramie) e altre fibre di tiglio in parte minore (Textile Exchange, 2024; Figg. 3, 4).

Tuttavia i database che mappano le piante utili del mondo ne annoverano un numero molto più grande. Ad esempio la piattaforma Useful Tropical Plants Database cataloga 12.727 specie con informazioni sugli usi potenziali delle singole piante, dal campo alimentare a quello delle costruzioni, e ne riporta ben 1.375 da cui si possono estrarre fibre; la maggior parte di esse fa riferimento a usi artigianali tradizionali, senza una chiara descrizione dei processi di estrazione, tuttavia la pura discrepanza tra 10 e 1.375 appare degna di nota.

Questione analoga è rilevabile per il loro impiego nell'industria delle costruzioni: guardando al mercato europeo dei materiali termoisolanti, ad esempio, nel 2015 il 58% era occupato da lana minerale e il 41% da materiali plastici, lasciando solo un 1% del mercato alle risorse alternative, all'interno delle quali ricadono biomasse come la lana di pecora o, in maniera ancora più marginale, la canapa (Pavel and Blagoeva, 2018). Questi dati non lasciano spazio a interpretazioni e restituiscono l'immagine di una cultura dei materiali altamente uniforme e standardizzata che si confronta con una limitata diversità biologica delle risorse, trasversalmente nelle diverse filiere.

Metodologia e obiettivi | Concentrandosi su quelle esperienze che producono materiali a partire da una gestione ecologica del paesaggio l'analisi si pone l'obiettivo di comprendere quali relazioni si instaurano tra la complessità ecologica del contesto di produzione delle biomasse e la complessità delle filiere attuate per la progettazione e produzione di bio-materiali. La metodologia utilizzata si basa su un'analisi qualitativa comparata di due casi di studio in cui vengono sviluppati biomateriali a partire da biomassa da zona umida: il progetto di ricerca intitolato Wetlands and Construction – An opportunity for Berlin-Brandenburg realizzato dallo studio inglese Material Cultures (MC) nel 2023 e il progetto RietGoed, iniziato nel 2021 dalla designer olandese Iris Veentjer.

I casi studio sono stati selezionati, tra i diversi progetti di biomateriali prodotti da biomassa di zona umida, per similitudine nello stato di avanzamento del progetto, infatti entrambi sono progetti sperimentali non ancora presenti sul mercato, e per l'accessibilità delle fonti.

Sono stati usati i seguenti metodi di ricerca: un'intervista, un sopralluogo, l'analisi delle rispettive filiere e la revisione della letteratura dei due casi di studio e della produzione di biomateriali a partire da biomassa da zona umida (Muratovski, 2016). Per il progetto di MC gli stessi progettisti hanno condiviso un report approfondito del loro lavoro che permette la ricostruzione di un'analisi di filiera (Islam and Moatazed-Keivani, 2023). Per l'analisi del progetto RietGoed invece sono stati necessari un'intervista qualitativa e un sopralluogo. Nonostante i due casi di studio appartengano a due distinte filiere, rispettivamente quella edile e quella del tessile, e siano stati sviluppati in due contesti geografici diversi, Germania e Olanda, la spinta motrice per la loro realizzazione è la stessa: la necessità di rendere le zone umide redditizie per incentivarne la conservazione e, in alcuni casi, la loro creazione.

In relazione alla comune caratteristica 'ecologica', si è scelto di svolgere un'analisi trasversale tra le due filiere, per evidenziare l'uso polivalente delle biomasse e le connessioni esistenti, o potenzialmente esistenti, tra i vari settori produttivi evidenziando analogie, specificità e potenzialità di contaminazione tra filiere. Infatti come hanno sapientemente già evidenziato Bisson et alii (2022) attraverso un'analisi critica di progetti che valorizzano materie prime locali con un'attenzione specifica alla salvaguardia della biodiversità, questi progetti spesso restano buoni esempi solo all'interno della propria filiera.

Il valore ecologico delle zone umide | Per apprezzare l'importanza dei casi di studio presi in esame è necessario comprendere il valore ecologico che le zone umide ricoprono nel contesto di superamento dei limiti planetari e di sesta estinzione di massa (Mace et alii, 2014). Questi ambienti infatti vengono definiti 'scrigni di biodiversità' perché ospitano quasi il 40% della biodiversità mondiale, sono degli accumulatori di CO_2 e, grazie all'alta porosità del terreno, sono in grado di assorbire notevoli quantità d'acqua (Mitsch et alii, 2013).

Tale caratteristica li rende strumenti di difesa contro eventi climatici estremi a cui siamo sempre più soggetti: in caso di forti piogge riescono a limitare possibili inondazioni, mentre in momenti di grande siccità trattengono acqua negli apparati radicali della loro vegetazione, diventando un'oasi per la biodiversità locale. Ciononostante negli ultimi cent'anni il 64% delle zone umide del mondo sono scomparse, con un'accelerazione particolare negli ultimi quarant'anni a un ritmo tre volte maggiore delle foreste, portando un quarto della biodiversità ospitata in questi ambienti a rischio di estinzione (Davidson, 2014).

In risposta a questi dati i 196 firmatari dell'Accordo di Parigi si sono posti l'obiettivo di ri-umidificare 2,5 milioni di chilometri quadrati di zone umide attualmente drenate entro il 2050 (Ramsar Convention on Wetlands, 2018). Una delle strategie individuate per facilitare questi processi è il rendere questi ecosistemi economicamente produttivi, nel rispetto delle caratteristiche che li rendono così preziosi dal punto di vista ecologico. Obiettivo dei due casi di studio è proprio quello di rendere redditizi questi ecosistemi, rispettando la complessità ecologica che li caratterizza e utilizzando la biomassa prodotta per la creazione di filiere locali di biomateriali.

Biomassa da zona umida per l'industria edile: Material Cultures | Wetlands and Construction è il risultato del Bauhaus Earth Fellowship Programme 2023, condotto da MC presso il Centro di ricerca Bauhaus Earth. La ricerca si sviluppa attorno alla torbiera Sernitz Torfwiese, nella regione del Brandeburgo, e su due livelli: l'analisi da un lato della biodiversità del sito, dall'altro delle infrastrutture produttive per componenti bio-edili in Germania: l'obiettivo è studiare come pratiche agricole che promuovono il mantenimento di una torbiera[1] possano contribuire alla decarbonizzazione dell'edilizia, generando benefici climatici, ecologici ed economici su larga scala (Islam and Moatazed-Keivani,

2023). Sernitz Torfwiese, con i suoi 80 ettari, viene considerato un modello sperimentale per sviluppare un processo replicabile in contesti simili.

L'analisi della biodiversità ha permesso a MC di identificare sei piante tipiche della paludicoltura[2] (Fig. 5), studiandone contesto ecologico, caratteristiche fisiche e usi nel settore edile e l'analisi delle infrastrutture produttive ha portato ad approfondire le tipologie tecnologiche utilizzate per produrre biomateriali edili nella regione tedesca. Le industrie di riferimento principali sono state la lavorazione della canapa con Hanffaser Uckermark e la produzione di pannelli termopressati a partire da erbe di palude con la ditta Zelfo.

L'unione di queste ricerche ha dato vita a una serie di sperimentazioni per la realizzazione di componenti edili, come materiali isolanti e pannellature, e la progettazione di sistemi costruttivi basati sull'utilizzo di tali componenti. Si è così quantificato il volume di materiali producibili in un anno da un sito come Sernitz Torfwiese e il numero di abitazioni costruibili con quei materiali, pari a 60 abitazioni isolate con pannelli rigidi in cannucciato e dotate di tetto in paglia, in ragione di 72 ettari coltivati e considerando un 10% della superficie del sito lasciata a riserva naturale. Sebbene siano state considerate sei piante, le componenti edili prototipate sono sedici, suddivise per applicazione (strutturale, isolante e di rivestimento) e per tecnologia utilizzata (fibra sciolta, triturata e pressata). Questo approccio 'multi-biomassa / multi-uso', che sfrutta la varietà di biomassa presente in un ecosistema per diversi utilizzi, è comune nei progetti che studiano la gestione ecologica dei sistemi agricoli produttori di biomassa, si veda il progetto Possible Landscapes[3] di Biobased Creation in Olanda, o il lavoro svolto da Atelier Luma[4] ad Arles in Francia.

Biomassa da zona umida per l'industria tessile: Iris Veentjer | RietGoed nasce nel 2021 dalla volontà della designer olandese Iris Veentjer di comprendere come produrre un filato di alta qualità dalla biomassa di tifa[5] (Fig. 6). In Olanda molte zone agricole, situate sotto il livello del mare, sono rese coltivabili da progetti ingegneristici che pompano le acque sotterranee; la trasformazione di questi terreni, da torbiere in campi agricoli intensivi, provoca l'ossidazione della torba rilasciando CO_2 e causando cedimenti del suolo. Per aderire alla Risoluzione XIII.13 (Ramsar Convention on Wetlands, 2018) sulla riumidificazione delle zone umide, il Governo olandese sta esplorando pratiche agricole che rendano produttivi questi ecosistemi; la tifa è al centro di sperimentazioni sia in contesti di coltivazione intensiva che ad alta biodiversità per la produzione alimentare (De Jong et alii, 2021).

Per contribuire a questo processo Veentjer sta cercando di produrre un filato compatibile con i sistemi di produzione tessile industriali presenti in Olanda (Fig. 7). Il progetto, ancora in fase di sviluppo, ha portato alla ideazione di un processo di estrazione e lavorazione della fibra e alla realizzazione dei macchinari necessari; dopo diverse sperimentazioni la designer si è concentrata sull'estrazione della fibra dalle foglie verdi, inizialmente attraverso la raschiatura manuale e successivamente con un macchinario che utilizza getti d'acqua (Fig. 8). Il macchinario, ancora in fase di prototipazione, promette l'automatizzazione parziale di una delle fasi più laboriose del processo. La fibra, una volta estratta ed essiccata, viene filata con una Hilo Spinning Machine[6] (Fig. 9) customizzata, adattata per funzionare con fibre rigide come quelle della tifa.

Grazie all'open source hardware (Bonvoisin et alii, 2017) la customizzazione è stata relativamente semplice e l'innovazione verrà ri-condivisa sotto licenze aperte, permettendo una diffusione rapida della tecnologia. In collaborazione con Studio Hilo, al corpo compatto della Hilo Spinning Machine tradizionale, è stato aggiunto un carrello che trasporta le fibre di tifa fino all'ugello del filatoio mantenendole compatte.

Finora Veentjer ha prodotto piccole quantità di filato e tessuti con ordito in lino o cotone e trama in tifa. La ricerca è stata possibile grazie a una serie di finanziamenti pubblici, uno dei quali assegnatole per il ruolo che il progetto ricopre in processi di ripristino del paesaggio nella zona delle torbiere. RietGoed si concentra esclusivamente sulla filiera tessile tuttavia, in sintonia con le pratiche di economia circolare (Mishra et alii, 2023) e in collaborazione con l'azienda Van Hier, sono stati realizzati pannelli decorativi attraverso l'utilizzo di una pressa a calore, senza l'aggiunta di collanti, e a partire dagli scarti di produzione del filato (Fig. 10).

Analogie, specificità e potenzialità di contaminazione tra i due approcci progettuali | Nonostante entrambi i progetti siano sperimentali e non commercializzati e nascano in risposta all'esigenza di sviluppare strategie mirate a rendere zone umide economicamente produttive, il rapporto con la diversità biologica dell'ecosistema di riferimento è radicalmente diverso. Mentre MC parte da un'analisi della diversità biologica e punta allo sviluppo di materiali a partire da essa, RietGoed si concentra sull'utilizzo di un'unica specie. Questo porta a una differenza sostanziale nella varietà di materiali e prodotti che i due progetti possono generare: viene da chiedersi se l'approccio sviluppato da MC non possa essere rilevante anche per il settore tessile.

Tradizionalmente anche sul territorio italiano sono stati prodotti molti artefatti a partire dalla diver-

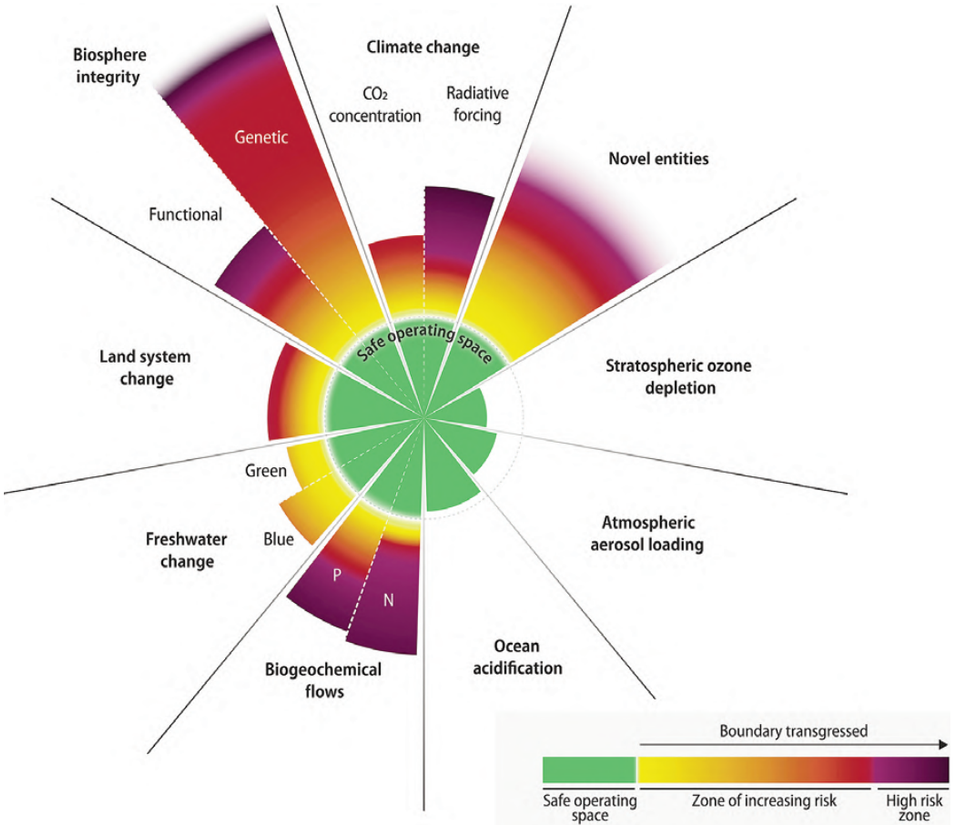


Fig. 1 | Current status of control variables for all nine planetary boundaries (source: Richardson et alii, 2023).

Next page

Figg. 2-4 | Fibre and plant fibre markets in 2023 (source: Textile Exchange, 2024).

Fig. 5 | Wetland landscape with the species identified by Material Cultures in the Sernitz Torfwiese site: connecting landscape biodiversity with materials prototyped from its biomass (credit: E. Morpurgo, 2024).

sità biologica caratteristica della zona umida, soprattutto con l'impiego della canna palustre (Fig. 11) per la produzione di arelle, le stuoie fatte di canne, tradizionalmente utilizzate in edilizia per controsoffitti e contropareti o nell'industria della seta come letti per l'allevamento dei bachi e per l'industria vivaistica (Fig. 12). Anche le altre erbe palustri trovavano impieghi diversi: dall'impagliatura delle sedie tradizionali in carice, alle corde e borse in tifa o le scope realizzate con specifiche parti della canna (Dall'Acqua, 2003; Toni, 2012; Figg. 13-15).

Un'altra differenza chiave risiede nelle tecnologie di trasformazione utilizzate. MC si affida all'industria esistente per facilitare l'adozione dei suoi prodotti innovativi nella filiera edile, in linea con la tendenza a utilizzare nuove tipologie di materiali come surrogati di materiali tradizionali per facilitarne l'adozione, senza metterne in discussione il sistema produttivo (Duarte Poblete, Romani and Rognoli, 2024). Tuttavia nel report (Islam and Moatazed-Keivan, 2023), MC evidenzia la mancanza di un'infrastruttura locale per la produzione di componenti edili che li spinge a collaborare con aziende nazionali in attesa di individuare un futuro campo d'intervento del progetto per la realizzazione di una filiera interamente locale, dall'estrazione della biomassa al processo produttivo.

D'altro canto Veentjer si è trovata obbligata a sviluppare i propri strumenti perché le industrie nel settore di lavorazione filati si sono rifiutate di sperimentare con la tifa per il rischio di compromettere i macchinari; aprendosi all'open source hardware per affrontare un gap conoscitivo legato a tecnologie complesse, Veentjer ha progettato strumenti in piccola scala, che sono riproducibili e distribuibili sul territorio, aprendosi involontariamente a quei possibili modelli economici auspicati da MC.

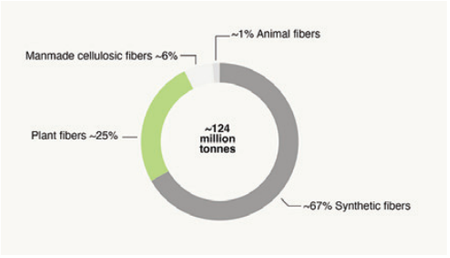
Un ulteriore fattore da considerare è il rapporto tra RietGoed e l'organizzazione Voedsel Moeras che sta testando in due piccoli siti le capacità produttive di una zona umida per una filiera agroalimentare. L'integrazione di questa filiera con una di biomateriali, a partire da un contesto ad alta biodiversità, risulta interessante dal punto di vista economico per entrambe le esperienze analizzate, offrendo una potenziale doppia rendita, come già visto per molte filiere circolari di biomateriali (Diamantidis and Koukios, 2000). Ciò risulta rilevante per evitare di proporre soluzioni di bioeconomia in competizione nelle quali la produzione di biomassa per l'una o l'altra filiera di materiali rischia di venire privilegiata a discapito della produzione alimentare o viceversa (Kershaw et alii, 2021).

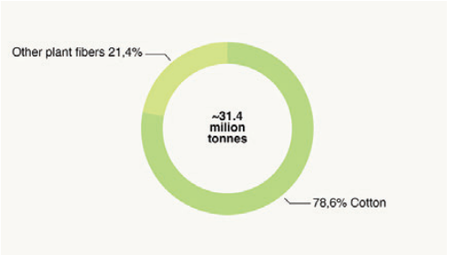
Conclusioni | L'analisi presentata illustra come una transizione verso l'applicazione di un design bioregionale (Thackara, 2019) possa partire anche dalla valorizzazione di ecosistemi complessi e della loro biodiveristà, permettendo al design, che si occupa di progettare biomateriali, di contribuire ai processi di conservazione della biodiversità e di mitigazione dei cambiamenti climatici.

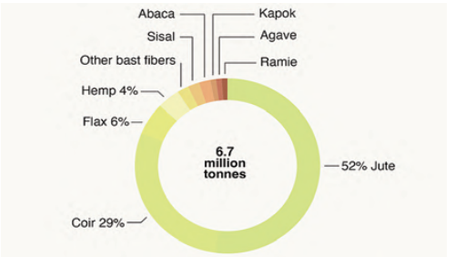
Un approfondimento su questo tipo di esperienze, all'interno del contesto ecologico della zona umida, per la sua caratteristica fragilità e ricchezza biologica, mette in evidenza ulteriori aspetti significativi che, se messi a sistema, possono influenzare anche la progettazione di filiere corte per biomateriali in contesti ecologici diversi. Chi studia la produzione di materiali a partire da biomassa da zona umida sottolinea infatti il forte legame che si instaura tra materiali, tecnologie ed ecosistemi territoriali ad alta biodiversità: economie locali fondate su saperi e culture tradizionali che mettono al centro la cura del territorio e la sua biodiversità, proponendo modelli di sviluppo e processi tecnologici alternativi a quelli caratteristici del mondo occidentale contemporaneo, risultano più sostenibili dal punto di vista ecologico, culturale e anche economico in una visione a lungo termine (Toni, 2012; Watson, 2019; Balducci and Camilli, 2022).

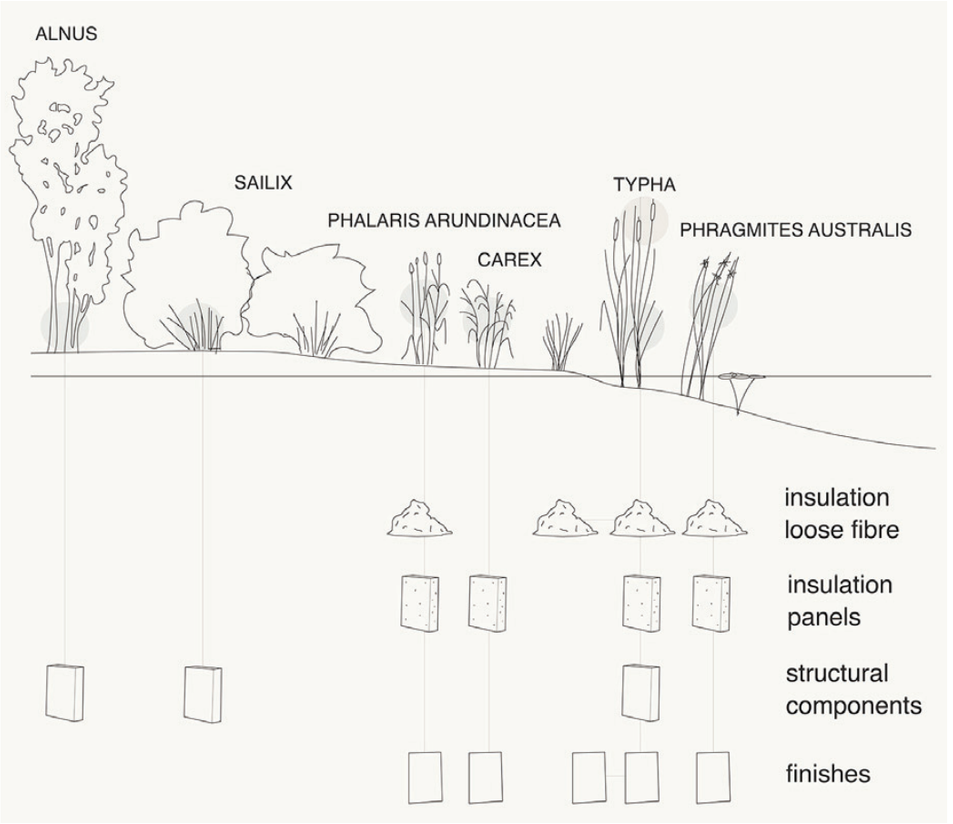
Nonostante le realtà che presentano questo approccio attualmente siano poche e spesso legate al mondo della ricerca, si reputa importante valorizzare queste esperienze per la visione che propongono, in radicale discontinuità con le pratiche progettuali e produttive che hanno caratterizzato gli ultimi cinquant'anni. Si tratta di nicchie di innovazione (Bisson et alii, 2022) che hanno però il potenziale di attivare processi di transizione nel breve / medio termine, fortemente necessari all'interno della complessa crisi ecologica che stiamo vivendo.

The climate changes our planet is facing are both a manifestation and cause of complex interconnected phenomena that threaten humanity's survival (Richardson et alii, 2023; Fig. 1). Among these, the exponential loss of biodiversity, which has been ongoing for over sixty years (Carson, 1962), driven by the anthropogenic impact on both agricultural and urban ecosystems, has reached such levels that it has been termed 'the sixth mass extinction' (Ceballos et alii, 2015). In response to this phenomenon, various design practices aim to prioritise processes which mitigate climate change and conserve habitats and their biodiversity (Catalano and Balducci, 2022), shaping ecological and environmentalist thinking within the Design discipline, both in experimental and speculative practices (Valenti,

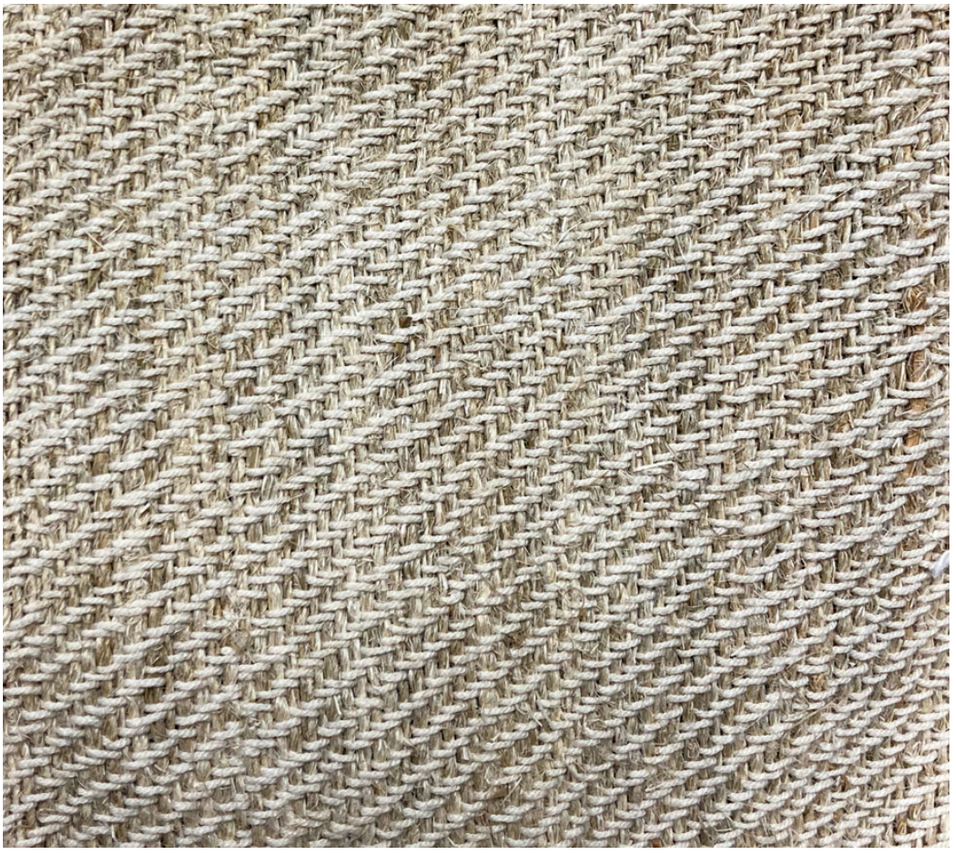












Figg. 6, 7 | Typha angustifolia Linnaeus; Sample of textile made with typha fibres made by RietGoed (source: floraofalabama.org; credit: E. Morpurgo, 2024).

Trimarchi and Farresin, 2023) and in theoretical (Boehnert, 2018) and historical reflections (Fallan and Jørgensen, 2017).

This contribution fits into the ongoing debate within the field of Design, which focuses on materials and their cataloguing, design, and use (Ferrara, 2021; Ferrara and Squatrito, 2022; Dal Palù and Lerma, 2023; Duarte Poblete, Romani and Rognoli, 2024). Specifically, it aims to draw attention to design practices that address the conservation of complex ecosystems and their biodiversity through the production of biomaterials, defined as materials made from animal or plant biomass, and the design of local supply chains necessary for their production.

The projects presented propose supply chain transition processes (Irwin, 2015) that aim to enhance ecosystem complexity through the creation of local, sustainable biomaterial supply chains (Gaddi and Mastrolonardo, 2024). Through a comparative qualitative analysis of two case studies, this contribution seeks to understand the challenges and opportunities of this design approach, to present best practices to spread them and identify new directions for research and experimentation in the design field.

Biomaterials, simplification of complexity, and agriculture | Historically, the production of artefacts and semi-finished products made from plant and animal biomass has been characterised by local dimensions, the specificity of landscapes, and their biological diversity. This continued until the major processes of market offshoring and globalisation, beginning after World War II, which led to the introduction of materials from the chemical industry on the one hand, and cheaper imported biomaterials than those produced locally on the other (Marot, 2019; Koolhaas and AMO, 2020; Scodeller, 2023).

As for biomaterials, despite the abundance of existing resources, there has been a historical trend toward simplifying, standardising, and homogenising the materials used, extracting them from their ecological and cultural context. This process has led to the simplification of the ecosystems from which biomasses are extracted at the expense of the health of soil, water, and air, resulting in a growing loss of biological diversity within productive ecosystems. Haraway and Tsing have referred to this phenomenon as the Plantationocene, defining our era as the plantation age, characterised by «[…] radical simplification; substitution of peoples, crops, microbes, and life forms» (Mitman, 2019, p. 6). This trend can be seen in the analysis of the current vegetable fibre market, which, with 31.4 million tons, represents only 25% of the world's fibres produced in 2023 (Fig. 2) and comes almost exclusively from just ten different plants. Cotton dominates with 78.6% of the market, followed by jute at 11.09%, and the remaining 10.31% is divided among eight main plants (coconut, flax, hemp, sisal, abaca, kapok, agave fibres, and ramie) and other minor bast fibres (Textile Exchange, 2024; Figg. 3, 4).

However, databases that map useful plants worldwide record a much larger number. For example, the Useful Tropical Plants Database catalogues 12,727 species with information on the potential uses of individual plants, from food to construction, and lists 1,375 from which fibres can be extracted. Most of these references pertain to traditional artisanal uses, without a clear description of extraction processes, yet the sheer discrepancy between 10 and 1,375 is noteworthy.





Fig. 8 | Typha fibres extraction samples made by RietGoed (credit: E. Morpurgo, 2024).
Fig. 9 | Hilo spinning machine (credit: Studio Hilo, 2022).

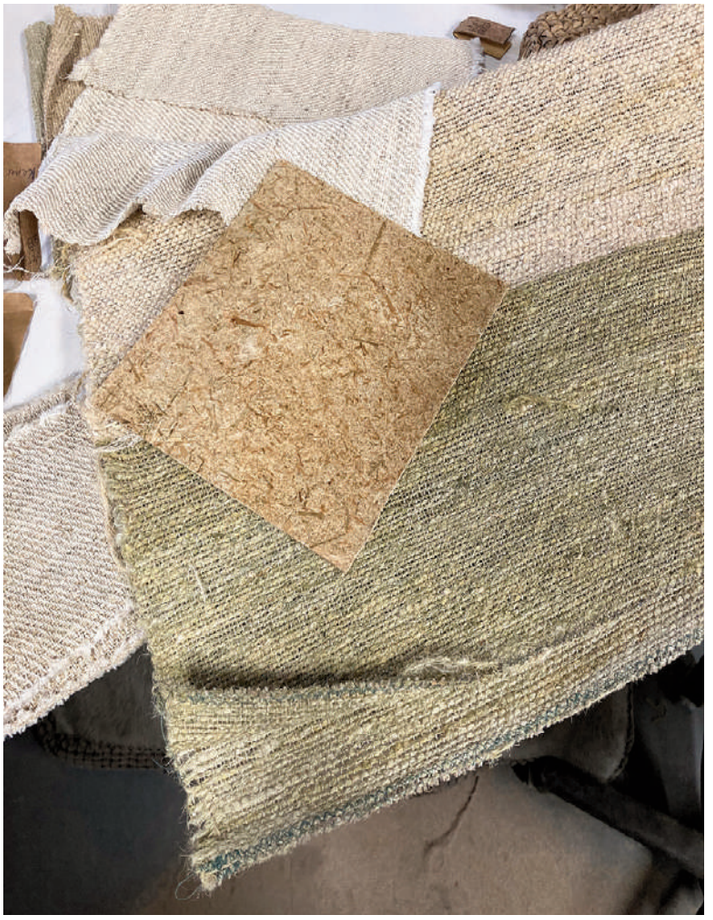


Fig. 10 | Samples of materials made with typha by RietGoed and Van Hier (credit: E. Morpurgo, 2024).

A similar issue is evident in their use in the construction industry. Looking at the European market for thermal insulating materials, for example, in 2015, 58% was occupied by mineral wool and 41% by oil-based materials, leaving only 1% of the market to alternative resources, which include biomasses like sheep's wool or, even more marginally, hemp (Pavel and Blagoeva, 2018). These data leave little room for interpretation and depict an image of a highly uniform and standardised material culture that faces limited biological diversity in resources, across various supply chains.

Methodology and objectives | Focusing on experiences that produce materials through ecological landscape management, the analysis aims to understand the relationships between the ecological complexity of the biomass production context and the complexity of the supply chains involved in the design and production of biomaterials. The methodology is based on a comparative qualitative analysis of two case studies where biomaterials are developed from wetland biomass: the research project titled Wetlands and Construction – An Opportunity for Berlin-Brandenburg by the British studio Material Cultures (MC) in 2023 and the project RietGoed, initiated in 2021 by Dutch designer Iris Veentjer.

The case studies were selected from various wetland biomass biomaterial projects due to similarities in project progress, as both are experimental and not yet available in the market, and due to the accessibility of sources. The following research methods were used: an interview, a site visit, an analysis of the respective supply chains, and a literature review on the two case studies and the production of biomaterials from wetland biomass (Muratovski, 2016). For the MC project, the designers shared a detailed report of their work, enabling the reconstruction of a supply chain analysis (Islam and Moatazed-Keivani, 2023). For the analysis of the RietGoed project, a qualitative interview and a site visit were necessary. Although the two case studies belong to two distinct supply chains, the construction and textile sectors respectively, and were developed in different geographic contexts, Germany and the Netherlands, the driving force behind their realisation is the same: the need to make wetlands economically viable to encourage their conservation and, in some cases, their creation.

Given their common 'ecological' characteristic, a cross-sector analysis was conducted to highlight the versatile use of biomass and the existing, or potentially existing, connections between various production sectors, emphasising similarities, specificities, and the potential for cross-pollination between supply chains. As Bisson et alii (2022) have pointed out through a critical analysis of projects that enhance local raw materials with specific attention to biodiversity conservation, these projects often remain good examples only within their supply chains.

The ecological value of wetlands | To appreciate the importance of the case studies examined, it is necessary to understand the ecological value that wetlands hold within planetary boundaries and the sixth mass extinction (Mace et alii, 2014). These environments are considered 'biodiversity treasure troves' as they host nearly 40% of the world's biodiversity, are CO_2 accumulators, and, thanks to their highly porous soil, can absorb significant amounts of water (Mitsch et alii, 2013).

This characteristic makes them effective defences against the extreme climatic events to which we are increasingly subjected: in the case of heavy rainfall, they can limit potential flooding, while during periods of severe drought, they retain water in the root systems of their vegetation, becoming an oasis for local biodiversity. Nevertheless, 64% of the world's wetlands have disappeared over the past hundred years, with a particular acceleration over the past forty years at a rate three times faster than forests, leading a quarter of the biodiversity hosted in these environments to face extinction (Davidson, 2014).

In response to these data, the 196 signatories of the Paris Agreement have set the goal of re-humidifying 2.5 million square kilometres of currently drained wetlands by 2050 (Ramsar Convention on Wetlands, 2018). One strategy identified to facilitate these processes is making these ecosystems economically productive while respecting the characteristics that make them so ecologically valuable. The goal of the two case studies is precisely to make these ecosystems profitable, respecting the ecological complexity that characterises them and using the biomass produced to create local supply chains for biomaterials.

Wetland biomass for the construction industry: Material Cultures | Wetlands and Construction is the



Fig. 11 | Marsh reed landscape in the Mincio Valleys, Mantua (credit: F. Floriani, 2022).



Figg. 12-15 | Arella and Craft artefacts made from marsh grasses, Ethnographic Museum of River Crafts in Rivalta sul Mincio, Mantua, Italy (credits: F. Floriani, 2022).

result of the Bauhaus Earth Fellowship Programme 2023, conducted by MC at the Bauhaus Earth Research Center. The research focuses on the Sernitz Torfwiese peatland in the Brandenburg region and operates on two levels: analysing the site's biodiversity and examining the productive infrastructure for bio-construction components in Germany. The objective is to study how agricultural practices that promote the maintenance of peatlands[1] can contribute to the decarbonisation of construction, generating large-scale climatic, ecological, and economic benefits (Islam and Moatazed-Keivani, 2023). With its 80 hectares, Sernitz Torfwiese is considered an experimental model for developing a replicable process in similar contexts.

The biodiversity analysis allowed MC to identify six plants typical of paludiculture[2] (Fig. 5), studying their ecological context, physical characteristics, and uses in the construction sector. The analysis of productive infrastructures delved into the technological types used to produce construction biomaterials in the German region. The main reference industries were hemp processing with Hanffaser Uckermark and the production of thermo-pressed panels from wetland grasses with the company Zelfo.

Combining these studies led to a series of experiments to create construction components, such as insulating materials and panels, and to design building systems based on the use of these components. They quantified the volume of materials that could be produced annually from a site like Sernitz Torfwiese and the number of houses that could be built with those materials: 60 houses insulated with rigid reed panels and equipped with thatched roofs, based on 72 hectares of cultivated land and considering 10% of the site left as a nature reserve. Although six plants were considered, the prototyped construction components amounted to sixteen, divided by application (structural, insulating, and cladding) and the technology used (loose fibre, crushed, and pressed).

This 'multi-biomass / multi-use' approach, which leverages the variety of biomass present in an ecosystem for different uses, is common in projects that study the ecological management of biomass-producing agricultural systems, such as the Possible Landscapes project[3] by Biobased Creation in the Netherlands, or the work carried out by Atelier Luma[4] in Arles, France.

Biomass from wetlands for the textile industry: Iris Veentjer | RietGoed was founded in 2021 by Dutch designer Iris Veentjer to understand how to produce high-quality yarn from cattail biomass[5] (Fig. 6). In the Netherlands, many agricultural areas located below sea level are made arable through engineering projects that pump groundwater. The conversion of these lands from peat bogs to intensive agricultural fields causes peat oxidation, releasing CO_2 and causing soil subsidence. To comply with Resolution XIII.13 (Ramsar Convention on Wetlands, 2018) on the rewetting of wetlands, the Dutch government is exploring agricultural practices that make these ecosystems productive. Cattail is at the centre of experiments both in intensive cultivation and high-biodiversity contexts for food production (De Jong et alii, 2021).

To contribute to this process, Veentjer is attempting to produce a yarn compatible with the existing industrial textile production systems in the Netherlands (Fig. 7). The project, still in development, has led to the design of a process for fibre extraction and processing and the creation of the necessary machinery. After several experiments, the designer focused on extracting fibre from green leaves, initially through manual scraping and later with a machine that uses water jets (Fig. 8). The machine, still in the prototyping phase, promises to partially automate one of the most labour-intensive stages of the process. Once extracted and dried, the fibre is spun using a custom Hilo Spinning Machine[6] (Fig. 9), adapted to work with stiff fibres like the cattail.

Thanks to the open-source hardware (Bonvoisin et alii, 2017), the customisation was relatively simple, and the innovation will be shared under open licenses, allowing for rapid technology dissemination. In collaboration with Studio Hilo, a trolley was added to the traditional compact body of the Hilo Spinning Machine to transport cattail fibres to the spinning nozzle, keeping them compact.

So far, Veentjer has produced small quantities of yarn and fabrics with linen or cotton warp and cattail weft. The research has been made possible through public funding, one of which was awarded for the project's role in landscape restoration processes in peatland areas. RietGoed focuses exclusively on the textile supply chain; however, in line with circular economy practices (Mishra et alii, 2023), and in collaboration with the Van Hier company, decorative panels have been made using a heat press, without adhesives, and from production waste from the yarn (Fig. 10).

Analogies, specificities, and potential cross-pollination between the two design approaches | Although both projects are experimental, not commercialised, and respond to the need to develop strategies to make wetlands economically productive, their relationship with the biological diversity of the ecosystem in question is radically different. While MC starts from an analysis of biological diversity and aims to develop materials based on it, RietGoed focuses on using a single species. This leads to a substantial difference in the variety of materials and products that the two projects can generate. One wonders if the approach developed by MC could also be relevant to the textile sector.

Traditionally, many artefacts were also produced from the biological diversity of wetlands in Italy, especially with the use of reeds (Fig. 11) for the production of mats made of reeds traditionally used in construction for ceilings and walls, or the silk industry as beds for silkworms and in the plants nursery industry (Fig. 12). Other marsh plants found different uses: from traditional rush chair weaving to ropes and bags made of cattail, or brooms made with specific parts of the reed (Dall'Acqua, 2003; Toni, 2012; Figg. 13-15).

Another key difference lies in the transformation technologies used. MC relies on the existing industry to facilitate the adoption of its innovative products in the construction supply chain, in line with the trend of using new types of materials as substitutes for traditional ones to facilitate their adoption without questioning the production system (Duarte Poblete, Romani and Rognoli, 2024). However, in the report (Islam and Moatazed-Keivan, 2023), MC highlights the lack of local infrastructure for producing construction components, which drives them to collaborate with national companies while waiting to identify a future project area for creating a fully local supply chain, from biomass extraction to the production process.

On the other hand, Veentjer was forced to develop her own tools because the yarn processing industries refused to experiment with cattails due to the risk of damaging the machinery. By embracing open-source hardware to address the knowledge gap related to complex technologies, Veentjer has designed small-scale tools that are reproducible and distributable in the region, unintentionally opening up to the economic models envisioned by MC.

Another factor to consider is the relationship between RietGoed and the Voedsel Moeras organisation, which is testing the productive capacities of a wetland for an agro-food supply chain at two small sites. The integration of this supply chain with one for biomaterials, starting from a high-biodiversity context, is economically interesting for both experiences, offering potential double income, as seen in many circular biomaterial supply chains (Diamantidis and Koukios, 2000). This is relevant to avoid proposing competing bioeconomy solutions where biomass production for one supply chain risks being prioritised over food production or vice versa (Kershaw et alii, 2021).

Conclusions | The analysis presented illustrates how a transition towards the application of bioregional design (Thackara, 2019) can begin by valuing complex ecosystems and their biodiversity. This allows design, particularly in biomaterial development, to contribute to biodiversity conservation processes and climate change mitigation.

A closer examination of these experiences highlights additional significant aspects, due to the characteristic fragility and biological richness of wetlands. If these aspects are integrated into a broader system, they could also influence the design of short supply chains for biomaterials in different ecological settings. Researchers focusing on material production from wetland biomass emphasise the strong connection between materials, technologies, and high-biodiversity ecosystems. Local economies based on traditional knowledge and cultures that prioritise care for the landscape and its biodiversity offer alternative development models and technological processes, distinct from those typical of the contemporary Western world. These models prove to be more sustainable ecologically, culturally, and economically in the long term (Toni, 2012; Watson, 2019; Balducci and Camilli, 2022).

Although few current initiatives embody this approach and are often tied to the research world, it is important to promote these experiences for the vision they offer, which marks a radical departure from the design and production practices that have dominated the last fifty years. These are innovation niches (Bisson et alii, 2022) that have the potential to trigger transition processes in the short to medium term, something urgently needed in the face of the complex ecological crisis we are currently experiencing.

Notes

1) Wetland characterised by the presence of peat.

2) Paludiculture is a form of wetland agriculture.

3) The research project Possible Landscapes explores the productive potential of specific landscapes for producing building components. The project brings together various stakeholders who can make a local biomaterial supply chain possible. For more information, visit the website: possible-landscapes.com/ [Accessed 28 September 2024].

4) Atelier LUMA is a transdisciplinary laboratory interested in creating new sustainable ways to use natural and cultural resources within the bioregional context of the Camargue. For more information, see the following publications: Atelier LUMA, 2023; Boelen, Sacchetti and Atelier LUMA (2019).

5) Marsh plants are widespread in America, Africa, Europe, and Asia.

6) Refers to the open-source electric spinning wheel designed by Studio Hilo.

References

Atelier LUMA (2023), *Pratiques biorégionales de design | Bioregional design practices*, LUMA, Arles.

Balducci, B. and Camilli, F. (2022), "Progettare l'ecologia – Il vegetale come paradigma possibile di un'architettura sostenibile e resiliente | Designing ecology – The organic as a possible paradigm of a sustainable and resilient architecture", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 84-93. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1172022 [Accessed 28 September 2024].

Bisson, M., Palmieri, S., Ianniello, A. and Botta, L. (2022), "Transition product design – Una proposta di framework per un approccio olistico alla progettazione sistemica | Transition product design – A framework proposal for a holistic approach to systemic design", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 12, pp. 202-211. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12182022 [Accessed 7 October 2024].

Boehnert, J. (2018), *Design, Ecology, Politics – Towards the ecocene*, Bloomsbury Academic, New York.

Boelen, J., Sacchetti, V. and Atelier LUMA (2019), *Le design comme outil de transition – L'approche d'Atelier LUMA*, Luma Foundation, Arles.

Bonvoisin, J., Mies, R., Boujut, J.-F. and Stark, R. (2017), "What is the 'Source' of Open Source Hardware?", in *Journal of Open Hardware*, vol. 1, issue 1, article 5, pp. 1-18. Online available at: doi.org/10.5334/joh.7 [Accessed 28 September 2024].

Carson, R. (1962), *Silent spring*, Penguin Classics, London.

Catalano, C. and Balducci, A. (2022), "Analisi ambientale e progettazione ecosistemica – Sondaggi, criticità e soluzioni applicative | Environmental analysis and ecosystemic design – Survey, critical issues and application solutions", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 246-257. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/11222022 [Accessed 28 September 2024].

Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Barnosky, A. D., García, A., Pringle, R. M. and Palmer, T. M. (2015), "Accelerated modern human-induced species losses – Entering the sixth mass extinction", in *Science Advances*, vol. 1, issue 5, pp. 1-5. [Online] Available at: doi.org/10.1126/sciadv.1400253 [Accessed 28 September 2024].

Dal Palù, D. and Lerma, B. (2023), "How Natural Are the 'Natural' Materials? Proposal for a Quali-Quantitative Measurement Index of Naturalness in the Environmental Sustainability Context", in *Sustainability*, vol. 15, issue 5, article 4349, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su15054349 [Accessed 28 September 2024].

Dall'Acqua, A. (2003), *Giunchi e fili di seta – Rivalta sul Mincio – Società ed economia di valle*, Tre lune, Mantova.

Davidson, N. C. (2014), "How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area", in *Marine and Freshwater Research*, vol. 65, issue 10, pp. 934-941. [Online] Available at: doi.org/10.1071/MF14173 [Accessed 28 September 2024].

de Jong, M., van Hal, O., Pijlman, J. and van Eekeren, N. and Junginger, M. (2021), "Paludiculture as paludifuture on Dutch peatlands – An environmental and economic analysis of Typha cultivation and insulation production", in *Science of The Total Environment*, vol. 792, article 148161, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148161 [Accessed 28 September 2024].

Diamantidis, N. D. and Koukios, E. G. (2000), "Agricultural crops and residues as feedstocks for non-food products in Western Europe", in *Industrial Crops and Products*, vol. 11, issues 2-3, pp. 97-106. [Online] Available at: doi.org/10.1016/S0926-6690(99)00045-X [Accessed 28 September 2024].

Duarte Poblete, S. S., Romani, A. and Rognoli, V. (2024), "Emerging materials for transition – A taxonomy proposal from a design perspective", in *Sustainable Futures*, vol. 7, article 100155, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100155 [Accessed 28 September 2024].

Fallan, K. and Jørgensen, F. A. (2017), "Environmental Histories of Design – Towards a New Research Agenda", in *Journal of Design History*, vol. 30, issue 2, pp. 103-121. [Online] Available at: doi.org/10.1093/jdh/epx017 [Accessed 28 September 2024].

Ferrara, M. (2021), "Circular Material for Creative Industries – The Emerging Bioplastics", in Clèries, L., Rognoli, V., Solanki, S. and Llorach, P. (eds), *Material Designers – Boosting talent towards circular economies*, Creative Europe Programme of the European Union, pp. 52-59. [Online] Available at: re.public.polimi.it/handle/11311/1168768 [Accessed 28 September 2024].

Ferrara, M. and Squatrito, A. (2022), "L'innovazione design-driven dei materiali circolari a base biologica – Strategie e competenze per la progettazione | Design-driven innovation of bio-based circular materials – Design strategies and skills", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 288-299. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/11262022 [Accessed 28 September 2024].

Gaddi, R. and Mastrolonardo, L. (2024), "Micro-reti locali per la transizione verde della filiera della lana | Local micro-networks for green transition of the wool supply chain", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 344-353. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15292024 [Accessed 28 September 2024].

Irwin, T. (2015), "Transition Design – A Proposal for a New Area of Design Practice, Study, and Research", in *Design and Culture | The Journal of the Design Studies Forum*, vol. 7, issue 2, pp. 229-246. [Online] Available at: doi.org/10.1080/17547075.2015.1051829 [Accessed 28 September 2024].

Islam, S. and Moatazed-Keivani, D. (2023), *Wetlands and Constructions – An opportunity for Berlin-Brandenburg*, Material Cultures. [Online] Available at: materialcultures.org/2023-wetlands-and-construction-report/ [Accessed 28 September 2024].

Kershaw, E. H., Hartley, S., McLeod, C. and Polson, P. (2021), "The Sustainable Path to a Circular Bioeconomy", in *Trends in Biotechnology*, vol. 39, issue 6, pp. 542-545. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.tibtech.2020.10.015 [Accessed 28 September 2024].

Koolhaas, R. and AMO (2020), *Countryside – A report*, Taschen, Köln.

Mace, G. M., Reyers, B., Alkemade, R., Biggs, R., Chapin III, F. S., Cornell, S. E., Díaz, S., Jennings, S., Leadley, P., Mumby, P. J., Purvis, A., Scholes, R. J., Seddon, A. W. R., Solan, M., Steffen, W. and Woodward, G. (2014), "Approaches to defining a planetary boundary for biodiversity", in *Global Environmental Change*, vol. 28, pp. 289-297. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.07.009 [Accessed 28 September 2024].

Marot, S. (2019), *Taking the country's side – Agriculture and architecture*, Ediciones Polígrafa, Lisbona and Barcelona.

Mishra, B., Mohanta, Y. K., Reddy, C. N., Reddy, S. D. M., Mandal, S. K., Yadavalli, R. and Sarma, H. (2023), "Valorization of agro-industrial biowaste to biomaterials – An innovative circular bioeconomy approach", in *Circular Economy*, vol. 2, issue 3, article 100050, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.cec.2023.100050 [Accessed 28 September 2024].

Mitman, G. (2019), *Reflections on the Plantationocene – A conversation with Donna Haraway & Anna Tsing – Moderated by Gregg Mitman*, Edge Effects Magazine. [Online] Available at: edgeeffects.net/wp-content/uploads/2019/06/PlantationoceneReflections_Haraway_Tsing.pdf [Accessed 28 September 2024].

Mitsch, W. J., Bernal, B., Nahlik, A. M., Mander, Ü., Zhang, L., Anderson, C. J., Jørgensen, S. E. and Brix, H. (2013), "Wetlands, carbon, and climate change", in *Landscape Ecology*, vol. 28, pp. 583-597. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s10980-012-9758-8 [Accessed 28 September 2024].

Muratovski, G. (2016), *Research for designers – A guide to methods and practice*, SAGE, Thousand Oaks.

Pavel, C. and Blagoeva, D. T. (2018), *Competitive landscape of the EU's insulation materials industry for energy-efficient buildings*, JRC Technical Reports, JRC108692, EUR 28816 EN. [Online] Available at: doi.org/10.2760/750646 [Accessed 28 September 2024].

Ramsar Convention on Wetlands (2018), *Resolution XI-II.13 – Restoration of degraded peatlands to mitigate and adapt to climate change and enhance biodiversity and disaster risk reduction – 13th Meeting of the Conference of the Contracting Parties to the Ramsar Convention on Wetlands –Wetlands for a Sustainable Urban Future – Dubai, United Arab Emirates, 21-29 October 2018*, COP13, Ramsar. [Online] Available at: ramsar.org/sites/default/files/documents/library/xiii.13_peatland_restoration_e.pdf [Accessed 28 September 2024].

Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummu, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., Petri, S., Porkka, M., Rahmstorf, S., Schaphoff, S., Thonicke, K., Tobian, A., Virkki, V., Wang-Erlandsson, L., Weber, L. and Rockström, J. (2023), "Earth beyond six of nine planetary boundaries", in *Science Advances*, vol. 9, issue 37, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.1126/sciadv.adh2458 [Accessed 28 September 2024].

Scodeller, D. (2023), "Design tra agricoltura e industria", in Scodeller, D. and Mancini, M. (eds), *Design e Fibre Naturali – Atti del Convegno scientifico internazionale*, *Ferrara, Italia, 20-21 Ottobre 2022*, Media MD, Ferrara, pp. 24-41. [Online] Available at: hdl.handle.net/11392/2537934 [Accessed 28 September 2024].

Textile Exchange (2024), *Materials Market Report*, September 2024. [Online] Available at: textileexchange.org/app/uploads/2024/09/Materials-Market-Report-2024.pdf [Accessed 03 October 2024].

Thackara, J. (2019), "Bioregioning – Pathways to Urban-Rural Reconnection", in *She Ji | The Journal of Design, Economics, and Innovation*, vol. 5, issue 1, pp. 15-28. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.sheji.2019.01.002 [Accessed 28 September 2024].

Toni, M. (2012), *Un materiale e il suo ambiente – Utilizzo della canna palustre nelle costruzioni*, Alinea Editrice, Firenze.

Valenti, A., Trimarchi, A. and Farresin, S. (2023), "Design e pensiero ecologico – Le nuove narrative del progetto contemporaneo che mettono la Terra in primo piano | Design and ecological thinking – The new narratives of contemporary design placing Earth on centre stage", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 19-30. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1312023 [Accessed 28 September 2024].

Watson, J. (2019), *Lo-TEK – Design by Radical Indigenism*, Taschen, Köln.

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 324-333
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/16272024

Article Info

Received 07 September 2024
Revised 09 October 2024
Accepted 10 October 2024
Published 30 December 2024

IDENTITÀ TERRITORIALE SCALABILE
Progettare la comunicazione della complessità

SCALABLE TERRITORIAL IDENTITY
Designing the communication of complexity

Luca Casarotto, Monica Oddone

Abstract

La progettazione legata all'identità dei luoghi è un'attività di particolare interesse per la disciplina del Design, soprattutto nel suo processo di narrazione e comunicazione valoriale rivolto a un pubblico ampio. Le azioni progettuali si vanno a collocare in un contesto di grande complessità, in termini di stratificazione di significati e di sistemi visivi preesistenti, confrontandosi con scale territoriali anche molto diverse fra loro (dalla nazione al singolo prodotto tipico). La sperimentazione descritta nel contributo presenta una possibile metodologia per la definizione di un'identità territoriale scalabile e multimodale, applicata a un contesto territoriale di riferimento, con l'utilizzo di strumenti sviluppati appositamente per contrastare la diffusa frammentazione della comunicazione, che solitamente determina situazioni di scarsa riconoscibilità ed efficacia strategica.

The design linked to the identity of places is an activity of particular interest for the design discipline, especially in its narration and value communication process addressed to a broad public. The design actions take place in a context of great complexity regarding the stratification of meanings and pre-existing visual systems, confronting very different territorial scales (from the nation to the single typical product). The experimentation described in the contribution presents a potential methodology for defining a scalable and multimodal territorial identity. This methodology, applied to a reference territorial context, is designed with tools specifically developed to counter the widespread fragmentation of communication, which usually determines situations of poor recognisability and strategic effectiveness.

Keywords

immagine identitaria, sistemi visivi, marchio territoriale, storytelling, sviluppo sostenibile

identity image, visual systems, territorial branding, storytelling, sustainable development

Luca Casarotto is an Associate Professor in Design at the Department of Design Cultures, 'Iuav' University of Venice (Italy). He researches the topics of innovative technologies, new production processes, Industry 4.0 and 5.0, the relationship between artificial intelligence and design, polymeric materials and environmental and sustainable processes. Mob. +39 348/78.01.271 | E-mail: luca.casarotto@iuav.it

Monica Oddone, Designer and PhD, is a Research Fellow at the Department of Project Cultures, 'Iuav' University of Venice (Italy). She conducts research activities to enhance cultural and territorial identity, develop products, services, and strategies incorporating sustainability and inclusiveness, and use new technologies. Mob. +39 334/36.90.216 | E-mail: moddone@iuav.it

La dimensione territoriale, intesa come sistema complesso e dinamico, costituita da un numero potenzialmente infinito di elementi e relazioni in continuo mutamento (Caroli, 2005), è spesso oggetto di esplorazione e sperimentazione progettuale da parte di discipline come l'Architettura e il Design (Porter, 2017; Parente and Sedini, 2017; Trocchianesi, 2012). In particolare le attività legate allo sviluppo dell'identità dei luoghi ha raggiunto grande rilevanza strategica nel richiamare turisti, visitatori e potenziali abitanti (Kotler, Haider and Rein, 2002; Anholt, 2007), migliorando al contempo la fruizione della comunità locale e promuovendo forme narrative a favore dell'unicità dell'offerta territoriale.

Il proliferare di marchi ombrello[1], marchi collettivi[2] e marchi d'area territoriale[3] che vanno ad affiancarsi ad altri sistemi di certificazione attribuiti a livello europeo – come i riconoscimenti IGP e DOP – va ad alimentare una complessità non solo visiva, ma anche gerarchica che rischia di perdere efficacia nella comunicazione della qualità e dei valori territoriali, sfociando nell'overbranding (Rozhkov et alii, 2020). Per coniugare l'espansione della domanda turistica con lo sviluppo sostenibile (Ferreira Crispim and Cetara, 2022) diventa fondamentale far conoscere al meglio le iniziative virtuose legate ai temi della mobilità lenta, della biodiversità, della produzione agroalimentare locale e del Patrimonio materiale e immateriale (Aguado, Heredia-Carroza and Arbona, 2024). Quando si opera in ecosistemi territoriali agricoli o marginali «[…] il paesaggio rurale torna a essere considerato una ricchezza per l'uomo, soprattutto in funzione dei valori culturali e spirituali che gli vengono riconosciuti, come scenario fondamentale per la costruzione della vita individuale e della collettività» (Fumo, 2019, p. 36). Dal punto di vista comunicativo queste sinergie non emergono quando manca una pianificazione strategica e una concertazione regolata e condivisa da tutti gli stakeholder.

In quest'ottica il contributo illustra gli esiti iniziali di una ricerca svolta nell'ambito del progetto STAI Veneto – Slow Tourism and Agrifood Integration[4] presso l'Università Iuav di Venezia, che si pone l'obiettivo di definire anche un modello di sviluppo e gestione di un sistema di identità territoriale basato sulle diverse scale osservabili – definite da criteri morfologici, geografici, politici e culturali – che possa supportare la comunicazione del suo Patrimonio in senso ampio, restituendo in modo coerente e riconoscibile la complessità di uno specifico luogo.

Il contributo, che mira a condividere con la comunità scientifica gli strumenti elaborati ad hoc per la fase di esplorazione e mappatura territoriale, si articola secondo le quattro macrofasi della ricerca. Partendo dalla descrizione dello stato dell'arte in ottica multidisciplinare si prosegue con l'analisi dei casi studio, utile per individuare le tematiche progettuali ricorrenti. Il focus centrale è la fase di analisi del contesto territoriale per la quale si delinea una nuova metodologia di valutazione per la definizione di un'immagine univoca e scalabile con l'applicazione a uno specifico territorio per verificarne l'efficacia e restituire un output progettuale coerente.

Attualmente la ricerca si colloca in quest'ultimo passaggio rivelando come l'approccio suggerito possa essere utile non solo ai progettisti, ma anche alla Pubblica Amministrazione coinvolta nelle attività di promozione territoriale, integrando la visione per livelli sovrapposti – che si espande potenzialmente dalla scala nazionale a quella dei prodotti – con un'attenta categorizzazione dei punti di interesse. L'impatto positivo e l'interesse per lo sviluppo di branding territoriali scalabili e multimodali riguarda soprattutto la loro potenzialità di espansione, declinazione e riproducibilità su diversi contesti, rappresentando un punto di partenza per ulteriori sperimentazioni da parte della comunità scientifica.

Progettare l'identità dei luoghi | Il Design si è spesso confrontato con la progettazione dell'identità dei luoghi, sia con riflessioni teoriche che con applicazioni pratiche, aprendo un dialogo costante sull'importanza della comunicazione dei Beni culturali (Ferrara, 2007; Bucchetti, 2018) e dei territori (Follesa, 2013; Parente, Lupo and Sedini, 2018), sostenuta soprattutto dalla sua funzione di pubblica utilità (Sinni, 2018). In particolare l'identità visiva delle città precede l'idea del brand, definendosi come immagine simbolica in cui si riconosce una comunità composita all'interno del contesto urbano, caratterizzato da una semiotica complessa (Sinni and Palazzi, 2021).

Dal punto di vista strategico si tende a differenziare i concetti di 'city branding', 'place branding' (Govers and Go, 2009; Kavaratzis, Warnaby and Ashworth, 2015) e 'destination branding', creando diverse versioni narrative di un unico territorio in base al pubblico a cui ci si rivolge: le destinazioni turistiche, ad esempio, si raccontano ai turisti in modo attraente, alludendo all'immaginario delle mete da sogno, spesso ignorando la possibilità di creare un 'sensescape' (paesaggio di senso) che rispecchi la vera identità dei luoghi e delle comunità che li abitano (Campelo, 2017). Analogamente al processo di creazione di un brand aziendale o istituzionale anche i luoghi necessitano di una vision condivisa – legata a ciò che il territorio mira a diventare entro un determinato orizzonte temporale – di una matrice valoriale che garantisca continuità e di un'evoluzione coerente dell'identità (Carmi, 2020) e una definizione chiara dei 'touchpoint' o, ancora meglio, dei 'touchplace' che influenzano l'esperienza diretta dell'utente con il brand (Finesso and Guida, 2023).

Esperienze di riferimento | L'analisi dei casi studio è stata strutturata in più fasi, articolandola come una raccolta di esempi virtuosi suddivisi nelle varie scale territoriali di interesse (Fig. 1), indagate in fasi successive secondo parametri valutativi diversi. L'obiettivo è stato individuare modelli di gestione e tematiche progettuali ricorrenti, applicando un'attenta analisi semiotica e dei contenuti (Muratovski, 2022).

Inizialmente si è provveduto alla raccolta di circa 80 casi studio e alla loro schedatura secondo criteri che tenessero conto dell'approccio progettuale, degli elementi di richiamo al territorio (Sandriester and Pizzera, 2024), delle caratteristiche grafiche e dei canali di applicazione (Fig. 2). In particolare il primo aspetto si è concentrato sulle scelte legate alle strategie del progetto di brand – marchio, famiglia di marchi o toolkit – alla sua articolazione – statica, dinamica o generativa – e all'eventuale presenza di iniziative di co-progettazione e partecipazione attiva degli stakeholder. Dalla dimensione nazionale alla scala provinciale l'analisi, legata agli aspetti comunicativi e progettuali, è stata affiancata da una schedatura dei modelli di gestione del marchio (Fig. 3), includendo committenza, Ente di gestione, Ente di verifica e soggetti licenziatari. Dall'analisi sono emersi alcuni esempi di particolare interesse, differenziati per scala territoriale, pubblico di riferimento, obiettivo strategico e declinazione dell'identità visiva (Tab. 1).

'Marca Perú', ad esempio, è un brand nazionale commissionato nel 2011 dal Ministero del Commercio e del Turismo peruviano allo studio FutureBrand, con l'obiettivo di narrare i valori e l'identità nazionale, incoraggiando il turismo e rafforzando il senso di appartenenza della comunità locale. La lettera 'P' del marchio richiama la spirale delle decorazioni precolombiane (Fig. 4), esplicitando un forte legame con la storia e le tradizioni del Paese, coerentemente con l'applicazione degli elementi di immagine coordinata, concessi in licenza a imprese nei settori agricolo, turistico e tessile. La campagna comunicativa si è rivelata efficace verso il pubblico estero, ma ha suscitato critiche da parte della comunità nazionale perché non in linea con un contesto sociale ancora dominato dalle diseguaglianze (Cánepa, 2013).

Per ovviare al possibile senso di estraniamento e alla non accettazione dei brand su scala così ampia, alcune nazioni hanno preferito modalità di coinvolgimento attivo e di personalizzazione dell'identità territoriale, mantenendola comunque riconoscibile e coerente. Ad esempio l'Estonia (2017) ha sviluppato, grazie al lavoro dell'Estonian Design Team, un toolbox digitale composto da vari elementi (Fig. 5) e correlato da linee guida condivise, con l'obiettivo di creare un brand piattaforma aperto, capace di evolvere e adattarsi (Ruggeri, 2022).

Senso di appartenenza e orgoglio sono alla base anche del marchio collettivo 'Io sono Friuli Venezia Giulia' (2020), nato dall'iniziativa #iocomproFVG, diffusosi durante la pandemia di Coronavirus e del conseguente lockdown. Gestito dalla società consortile AgrifoodFVG, il marchio si propone di valorizzare le attività produttive che si impegnano nello sviluppo sostenibile del territorio regionale. La famiglia di marchi è composta da tre elementi, differenziati secondo la loro applicazione (Fig. 6): il marchio Azienda per le imprese agroalimentari, il marchio Prodotto affiancato da un QR code, che permette di tracciare l'intera filiera, e il marchio Servizi che prevede una moltitudine di applicazioni, dai mezzi di trasporto alle divise delle squadre di calcio regionali. Questo esempio, erede concettuale della strategia messa in atto dall'Alto Adige a partire dal 2003 (D'Adamo and Spellini, 2011), dimostra come la creazione di un brand territoriale possa unire i diversi attori sotto un unico simbolo di appartenenza (de Almeida, 2023).

Casi virtuosi di branding territoriale interessano anche zone delimitate non da confini politici, ma definite da conformazioni naturali: è questo il caso del marchio collettivo 'Valtellina', nato nel 1982 e aggiornato nel 2021 nelle modalità di concessione e nella grafica, a cura dello studio Landor Associates. Il simbolo richiama visivamente le linee curve che disegnano il territorio – come i vigneti terrazzati, i percorsi ciclo-pedonali e i fiumi – mentre l'intero sistema di identità si articola con diverse declinazioni settoriali adattate alle possibili applicazioni (Fig. 7), con licenziatari afferenti all'alimentare, all'artigianato, all'industria, al turismo e ai servizi. L'istituzione di un marchio collettivo per questa regione geografica alpina ha reso possibile la costruzione di un network fra le piccole imprese locali, andando a promuovere le sue eccellenze con un'unica voce (Basile, 2018).

Gli esempi citati sono da considerarsi eccezioni nel panorama del branding territoriale: attraverso l'analisi dei diversi casi studio è infatti emersa una generale e diffusa frammentazione delle identità, con

un'evidente difficoltà nella gestione di sistemi scalabili, determinando situazioni di scarsa riconoscibilità ed efficacia strategica.

Il contesto territoriale di riferimento | Il progetto STAI Veneto (Slow Tourism and Agrifood Integration), di cui fa parte la ricerca, coinvolge un gruppo multidisciplinare con competenze relative all'Architettura, alla Pianificazione territoriale e al Design e individua come territorio di riferimento il Veneto Orientale, in particolare la porzione della Provincia di Treviso che si trova a Est della direttrice ciclabile Monaco-Venezia (Fig. 8). L'obiettivo principale riguarda l'esplorazione di nuove modalità di fruizione del territorio, incoraggiando e integrando la mobilità lenta con la valorizzazione del Patrimonio agricolo e dei suoi prodotti tipici (Havadi-Nagy, 2020). Si cerca quindi di spostare il focus di turisti e visitatori dalle mete più rinomate e circoscritte, afflitte ormai da fenomeni di sovraffollamento, a territori con bassa densità, considerati marginali, ma ricchi di una potenziale attrattività diffusa.

In ottica operativa viene ipotizzata la costruzione di una rinnovata rete fisica di frequentazione dei luoghi, che possa sfruttare le strade minori (Fig. 9), soprattutto nella loro integrazione con i sistemi infrastrutturali dell'acqua (Fig. 10) – argini, golene, spazi di mediazione – e con la consapevolezza di come «[…] l'attraversamento del paesaggio con itinerari, sentieri tematici o percorsi a tema che toccano luoghi di interesse, possa diventare uno strumento di comunicazione dei valori presenti» (Ghersi et alii, 2023, p. 195).

Metodologia applicata e strumenti sviluppati | Alle attività di riqualificazione di costruzioni agricole dismesse, di progettazione degli itinerari cicloturistici e di mappatura per la comunicazione territoriale si affianca l'elaborazione di un'identità scalabile e multimodale del territorio di riferimento, grazie alla quale è stato possibile impostare una riflessione metodologica originale da poter sperimentare e verificare nel contesto specifico. Attraverso la sintesi di quanto emerso nelle fasi precedenti della ricerca è stato possibile elaborare una serie di passaggi logici e individuare degli strumenti correlati per poter supportare le attività di progettazione (Tab. 2).

L'analisi territoriale dispone già di diversi approcci esplorativi legati al mondo del design e del marketing: ne sono alcuni esempi il modello multidimensionale per l'analisi territoriale e la valutazione di scenario (Orsi, Cavaco and Gil, 2024), il percorso di Brand Building (Ciocca, 2017) e l'audit sulla percezione del luogo (Caroli, 2011). Non sono emersi invece strumenti che aiutassero nella mappatura dei sistemi visivi preesistenti in un dato territorio, permettendone una visione d'insieme e una comprensione necessaria per l'integrazione di nuovi elementi comunicativi. A questo scopo è stato elaborato uno schema, articolato per livelli territoriali, che analizza e aiuta ad analizzare la scalabilità dei sistemi visivi preesistenti, individuando aree di miglioramento.

La compilazione dello Schema delle Preesistenze (Fig. 11) include i sistemi visivi già utilizzati nella zona di riferimento, collocandoli sulla scala territoriale di applicazione e analizzandone le relazioni strategiche con i livelli superiori e quelli inferiori. Nello specifico viene utilizzato come strumento di valutazione per l'individuazione di aree potenziali di intervento, ad esempio un marchio territoriale applicato alle Istituzioni e alle aziende può essere scalato ulteriormente sul livello dei prodotti oppure, se già utilizzato in questo contesto, può prevedere l'ampliamento del riconoscimento a famiglie di prodotti non ancora incluse.

Nel caso di studio lo schema è stato utilizzato per documentare la lettura del territorio Veneto: a un primo colpo d'occhio emerge non solo la grande quantità di possibili certificazioni e riconoscimenti, ma anche la coesistenza di linguaggi grafici completamente diversi fra loro (Fig. 12) che dichiarano come queste iniziative siano spesso concepite come a sé stanti, non in dialogo con un contesto narrativo preesistente. Nonostante si tratti di marchi gestiti da Enti pubblici, pochi fra loro incorporano un richiamo diretto e riconoscibile alla Regione, risultando slegati da un discorso identitario più ampio.[5]

Completato questo primo censimento, si procede con l'Analisi degli elementi ricorrenti, suddivisi per singolo livello (Fig. 13), da estrapolare con un approccio semantico che individua il significato dei simboli emersi (Raposo et alii, 2020). L'obiettivo è aumentare la consapevolezza del designer e delle figure coinvolte nel contesto in cui si opera, creando una sorta di abbecedario comune: la raccolta dei simboli identitari e dei colori dominanti è fondamentale per la scelta dell'approccio progettuale da intraprendere, se in continuità o in contrasto con la preesistenza. Successivamente i componenti estrapolati possono essere affiancati a dalle peculiarità individuate durante l'analisi territoriale e possono diventare il punto di partenza per la creazione di un marchio – o di una famiglia di marchi – con un linguaggio unitario, coerente e riconoscibile.

Tornando all'aspetto strategico, grazie alla schedatura dei modelli di gestione dei casi studio, è stato possibile elaborare lo schema dei punti di interesse e dei possibili partner (Fig. 14), organizzati per insiemi che si possono 'accendere' o 'spegnere' e, quindi, coinvolgere o meno, in base alla tematica e ai valori che il marchio deve comunicare. La struttura dello schema e le categorizzazioni possono variare in base alla prevalenza di certe attività, delle loro ca-

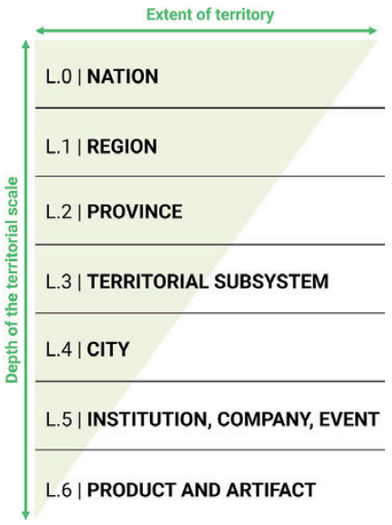


Fig. 1 | Diagram summarising the spatial scales of interest, ordered from most significant to most minor (credit: M. Oddone, 2024).

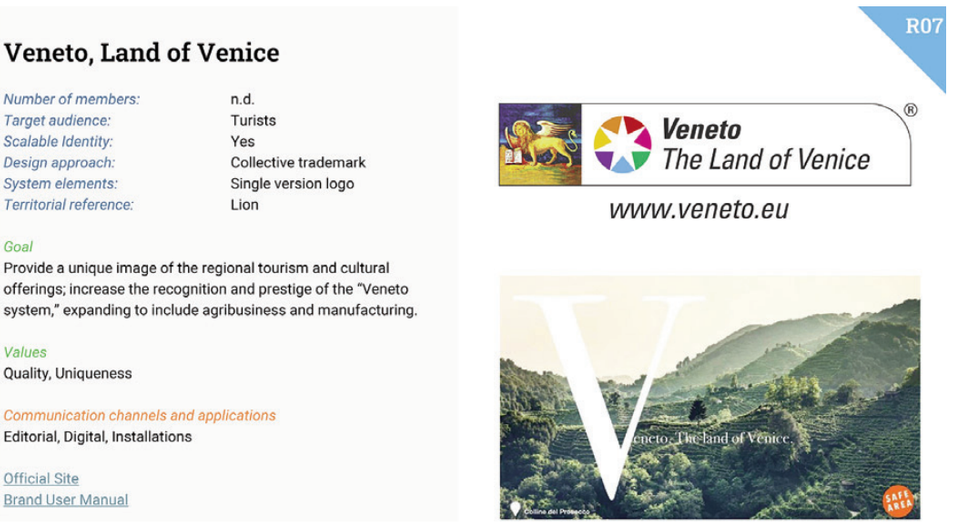


Fig. 2 | Extract from the case study analysis file (credit: M. Oddone, 2024).

Tab. 1 | Summary diagram of the main characteristics of the case studies analysed (credit: the Authors).

Brand name	Location	Year	Design Studio	Territorial level	Brand strategy
Marca Perú	Perù (South America)	2011	FutureBrand	Nation	Umbrella brand
E-stonia	Estonia (Europe)	2017	Estonian Design Team	Nation	Toolkit
Io sono FVG	Friuli Venezia Giulia (Italy)	2020	n.d.	Region	Brand family
Valtellina	Lombardia (Italy)	2021	Landor Associates	Territorial Subsystem	Umbrella brand

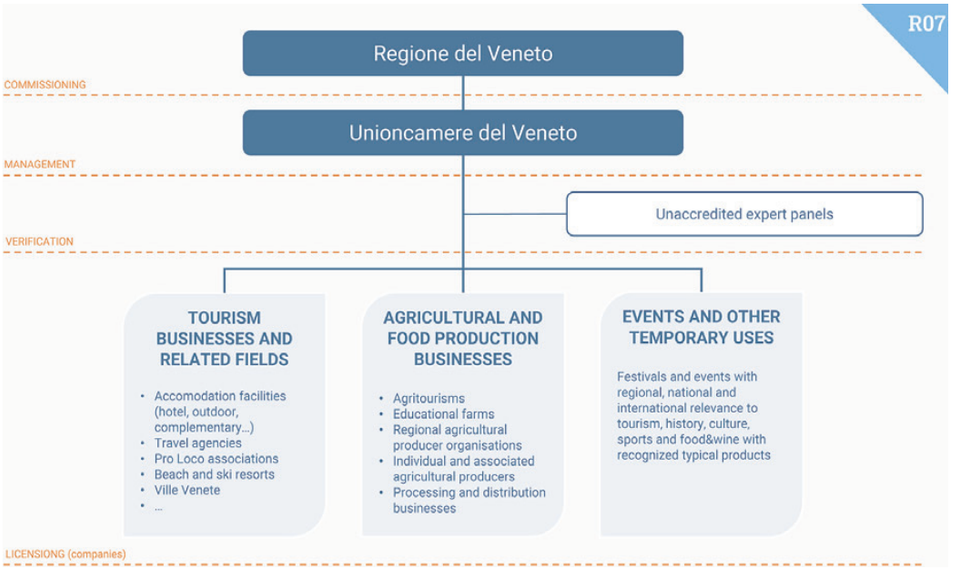


Fig. 3 | Example of a filing of management models (credit: M. Oddone, 2024).

ratteristiche specifiche e della complessità prevista per il sistema di comunicazione in progetto. La compilazione chiara e corretta di questo strumento può essere un utile supporto nell'articolazione dell'architettura del brand e nelle decisioni relative al numero di declinazioni e varianti necessarie.

In questa fase viene anche stabilita la 'profondità' dell'intervento, in base alle scale territoriali su cui si intende lavorare: nel caso specifico del progetto STAI Veneto, si è scelto di partire dalla scala dei sottosistemi territoriali – riguardante possibili itinerari collocati nel territorio provinciale, che coinvolgono diversi Comuni – fino al livello delle singole Istituzioni, aziende o eventi, con possibilità di ampliarsi in futuro alla scala dei prodotti, nei casi in cui questi non siano già riconosciuti o riconoscibili grazie ai marchi preesistenti (Fig. 15).

L'ultimo passo, che comprende anche l'elaborazione dei primi concept progettuali, è la formulazione di una proposta progettuale che verrà sviluppata con la collaborazione di uno studio partner, specializzato in branding e comunicazione visiva.

Prossimi passi e sviluppi futuri | Come anticipato, la ricerca è rivolta all'elaborazione progettuale del sistema di identità di alcuni itinerari cicloturistici tracciati attraverso la Provincia di Treviso. Il primo itinerario ipotizzato (che attraversa principalmente i Comuni di Conegliano, Codognè, Gaiarine e Cordignano), inteso come progetto pilota, vedrà lo sviluppo delle componenti grafiche, delle griglie che permetteranno la declinazione sugli altri percorsi, delle applicazioni sui diversi canali (dalla segnaletica ai contenuti digitali) e del format comunicativo declinabile (Gasparotto et alii, 2021). Altri itinerari, sviluppati successivamente e coerenti per tematica, creeranno l'occasione per testare la flessibilità del sistema di identità proposto, includendo elementi di personalizzazione legati ai Comuni coinvolti.

I principali limiti individuati sono conseguenza della specificità del luogo sul quale si lavora; in particolare i livelli territoriali utilizzati per la mappatura dei sistemi preesistenti e per la collocazione delle nuove iniziative possono essere integrati e modificati in base alle caratteristiche geografiche e/o politiche con cui ci si interfaccia: ad esempio la suddivisione tra Regioni e Province è calzante per il contesto italiano, ma può variare in altre nazioni con la necessità di adattare gli schemi proposti.

Alcune barriere, riscontrate nella fase di esplorazione, hanno riguardato la difficoltà nel reperire informazioni sui sistemi visivi preesistenti con il rischio di basarsi su una mappatura incompleta; questo può risolversi con un coinvolgimento preliminare degli stakeholder, riconosciuti come portatori di conoscenza, con i quali condividere gli schemi già elaborati per semplificare la comunicazione e lo scambio di informazioni. Un possibile sviluppo futuro ipotizza l'utilizzo di questo approccio in ottica non necessariamente progettuale, aiutando Amministratori e figure professionali legate allo sviluppo territoriale strategico a valutare in modo completo e consapevole la situazione esistente per pianificare al meglio interventi e iniziative di promozione, oltre che a individuare gli interlocutori principali da coinvolgere.

Nonostante la ricerca sia stata sviluppata nell'ambito del progetto STAI Veneto, con un territorio di riferimento già definito, si riconosce l'importanza di poter replicare e declinare le modalità operative adottate anche a contesti molto diversi, nazionali e internazionali – magari con la collaborazione attiva degli Enti territoriali – in modo da poterla sottoporre a miglioramenti iterativi e provarne l'effettivo valore, non solo in termini progettuali, ma anche misurando le ricadute culturali, economiche e sociali che possono attivare l'utilizzo di un'identità scalabile e multimodale.

The territorial dimension, understood as a complex and dynamic system consisting of a potentially infinite number of elements and relationships that are constantly changing (Caroli, 2005), is often the subject of exploration and design experimentation by disciplines such as Architecture and Design (Porter, 2017; Parente and Sedini, 2017; Trocchianesi, 2012). In particular, the activities related to the development of the identity of places have achieved great strategic relevance in attracting tourists, visitors and potential inhabitants (Kotler, Haider and Rein, 2002; Anholt, 2007), while enhancing the enjoyment of the local community and promoting narrative forms in favour of the uniqueness of the territorial offer.

The proliferation of umbrella brands[1], collective brands[2] and territorial area brands[3] that go hand in hand with other certification systems attributed at a European level – such as the PGI and PDO awards – is fuelling a complexity that is not only visual but also hierarchical and risks losing effectiveness in communicating quality and territorial values, leading to overbranding (Rozhkov et alii, 2020). In order to combine the expansion of tourism demand with sustainable development (Ferreira Crispim and Cetara, 2022), it becomes essential to publicise virtuous initiatives related to the themes of slow mobility, biodiversity, local agrifood production and tangible and intangible heritage (Aguado, Heredia-Carroza and Arbona, 2024). When operating in agricultural or marginal territorial ecosystems, the rural landscape returns to be considered a richness for man, especially in the function of the cultural and spiritual values that are recognised to it, as a fundamental scenario for the construction of individual and collective life (Fumo, 2019). From a communicative point of view, these synergies do not emerge when there is a lack of strategic planning and regulated consultation shared by all stakeholders.

With this in mind, the contribution illustrates the initial outcomes of research conducted within the STAI Veneto – Slow Tourism and Agrifood Integration[4] project at the Iuav University of Venice, which also aims at defining a model for the development and management of a territorial identity system based on the various observable scales – defined by morphological, geographical, political and cultural criteria – that can support the communication of its heritage in a broad sense, restoring the complexity of a specific place coherently and recognisably.

The contribution, which aims to share with the scientific community the tools developed ad hoc for the territorial exploration and mapping phase, is articulated according to the four macro-phases of the research. Starting from the description of the state of the art from a multidisciplinary point of view, it continues with the analysis of case studies, functional to identify recurring project themes. The central focus is the phase of territorial context analysis, for which there is a new evaluation methodology for the definition of an unambiguous and scalable image, with application to a specific territory to verify its effectiveness and return a coherent project result.

At present, the research is in the latter phase, revealing how the suggested approach can be helpful not only to planners but also to the Public Administration involved in territorial promotion activities, integrating the vision by overlapping levels – potentially expanding from the national to the product scale – with a careful categorisation of points of interest. The positive impact and interest in developing scalable and multimodal territorial branding concern their potential for expansion, declination and reproducibility in different contexts, representing a starting point for further experimentation by the scientific community.

Designing the identity of places | Design has often been confronted with the design of the identity of places, both with theoretical reflections and practical applications, opening an ongoing dialogue on the importance of the communication of cultural Heritage (Ferrara, 2007; Bucchetti, 2018) and territories (Follesa, 2013; Parente, Lupo and Sedini, 2018), supported above all by its function of public utility (Sinni, 2018). In particular, the visual identity of cities precedes the idea of the brand, defining itself as a symbolic image in which a composite community within the urban context recognises itself, characterised by complex semiotics (Sinni and Palazzi, 2021).

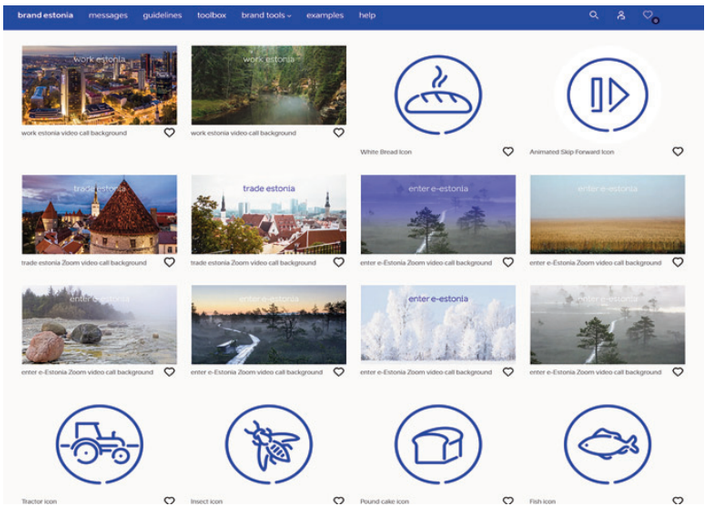
From a strategic point of view, there is a tendency to differentiate the concepts of 'city branding', 'place branding' (Govers and Go, 2009; Kavaratzis, Warnaby and Ashworth, 2015) and 'destination branding', creating different narrative versions of a single territory according to the target audience: tourist destinations, for example, tell themselves to tourists in an attractive way, alluding to the imagery of dream destinations, often ignoring the possibility of creating a 'sensescape' (landscape of meaning) that reflects the true identity of places and the communities that inhabit them (Campelo, 2017). Similarly to the process of creating a corporate or institutional brand, places also need a shared vision – linked to what the territory aims to become within a given time horizon – a value matrix that guarantees continuity and a coherent evolution of identity (Carmi, 2020) and a clear definition of the 'touchpoint' or, even better, the 'touchplaces' that influence the user's direct experience with the brand (Finesso and Guida, 2023).

Reference experiences | The analysis of the case studies was structured in several stages, articulating it as a collection of virtuous examples divided into the various territorial scales of interest (Fig. 1), investigated in successive stages according to different evaluation parameters. The aim was to identify recurring management models and project themes, applying a careful semiotic and content analysis (Muratovski, 2022).

Initially, about 80 case studies were collected and listed according to criteria that took into account the design approach, the elements of reference to the territory (Sandriester and Pizzera, 2024), the graphic characteristics and the application channels (Fig. 2). In particular, the first aspect focused on choices related to the brand design strategy (brand, brand family or toolkit), its articulation (static, dynamic or generative), and the possible presence of co-design and active stakeholder participation initiatives. From the national to the provincial scale, the analysis related to communication and design aspects came together with an overview of the brand management models (Fig. 3), including commissioning, management Entity, verification Entity and licensees. Some examples of particular interest emerged from the analysis, differentiated by territorial scale, reference public, strategic objective and declination of the visual identity (Tab. 1).

'Marca Perú', for example, is a national brand commissioned in 2011 by the Peruvian Ministry of Commerce and Tourism to the FutureBrand studio to narrate national values and identity, encourage tourism and strengthen the local community's sense of belonging. The letter 'P' of the brand recalls the spiral of pre-Columbian decorations (Fig. 4), expressing a strong link with the country's history and traditions, consistent with the application of the coordinated image elements licensed to companies in the agricultural, tourism and textile sectors. The communication campaign proved effective towards foreign audiences but attracted criticism from the national com-









munity because it was not in line with a social context still dominated by inequalities (Cánepa, 2013).

Some nations have preferred ways of actively engaging in and personalising territorial identity while keeping it recognisable and consistent, surpassing the potential sense of alienation and non-acceptance of brands on such a large scale. For example, Estonia (2017) developed, through the work of the Estonian Design Team, a digital toolbox composed of various elements (Fig. 5) and correlated by shared guidelines to create an open platform brand capable of evolving and adapting (Ruggeri, 2022).

A strong sense of belonging and pride are also behind the 'Io sono Friuli Venezia Giulia' collective brand (2020), born from the #iocomproFVG initiative, which spread during the Coronavirus pandemic and the subsequent lockdown. Managed by the consortium company AgrifoodFVG, the brand aims to valorise production activities committed to the regional territory's sustainable development. The brand family consists of three elements, differentiated according to their application (Fig. 6): the Company brand for agrifood companies, the Product brand flanked by a QR code, which makes it possible to trace the entire supply chain, and the Services brand, which has a multitude of applications, from means of transport to regional football team uniforms. This example, the conceptual heir of the strategy implemented by South Tyrol since 2003 (D'Adamo and

Previous page

Fig. 4 | 'Marca Perú' and its applications (2011), designed by FutureBrand (source: futurebrand.com).

Fig. 5 | Toolbox Brand Estonia (2017), designed by the Estonian Design Team (source: brand.estonia.ee).

Fig. 6 | Collective brand 'Io sono Friuli Venezia Giulia' and its applications, 2020 (source: iosonofvg.it).

Fig. 7 | Collective brand 'Valtellina' and its applications (2021), designed by Landor Associates (source: marchiovaltellina.it).

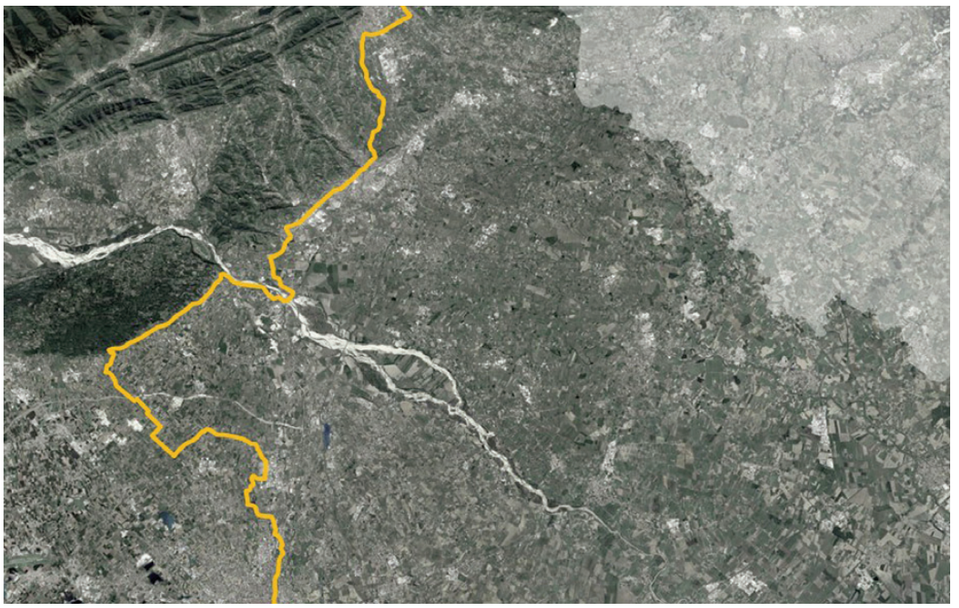






Fig. 8 | STAI Veneto project: reference territory with regional borders and its location about the Munich-Venice cycle route.

Fig. 9 | White road in the municipality of Nervesa della Battaglia (credit: E. Bortolotto, 2024).

Fig. 10 | Rural landscape and integration with water infrastructure systems (credit: C. Mazzonetto, 2024).

Methodological steps	Ad-hoc tools	Goals
1.Collection of pre-existing visual systems in a given area	Pre-existence overview	Collection of pre-existing visual systems through desk research and stakeholder engagement, organizing the material according to the appropriate tool, taking into account spatial levels and brand scalability
2. Interpretation of the first mapping results	Pre-existence overview	Identification of possible areas of operation: opportunities of scalability to lower levels (vertical expansion) or expanding identity to other categories/types (horizontal expansion)
3. Analysis and comparison of brands on the same territorial level	Analysis of recurring elements	Semantic analysis of graphic elements (symbols, colours, text, grids, layout, etc.) for the identification of a place-specific identity language
4. Definition of the local identity language	–	Collection of recurring elements and integration with symbols and signs that emerged during other territorial analysis (field visits, text consultation, interviews with local experts, etc.)
5. Definition of brand architecture	Points of interest and possible partners diagram	Identify points of interest to highlight and partners to engage in order to proceed with the brand architecture categorization, giving references to its graphic articulation (variants and declinations)
6. Visual identity design	–	Design elaboration as a synthesis of the previous steps for the development of a scalable, identity-based territorial identity

Tab. 2 | Methodological proposal for spatial exploration and mapping in the context of brand design (credit: the Authors).

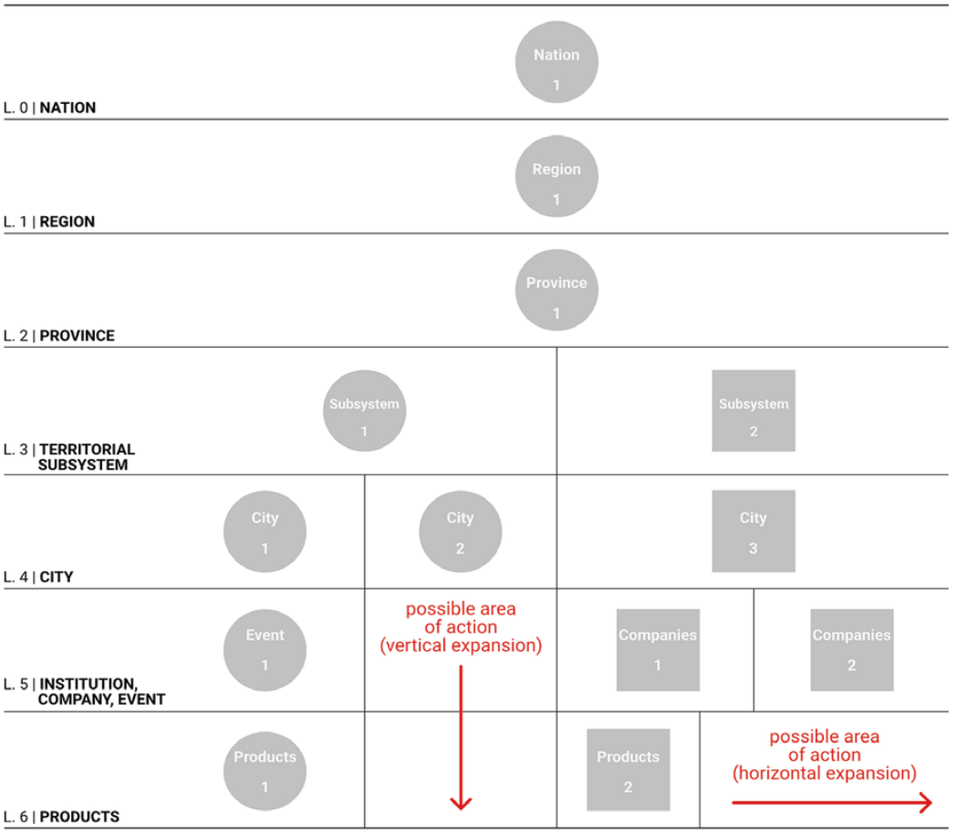


Fig. 11 | Pre-existence scheme: compilation example with identification of intervention areas (credit: M. Oddone, 2024).

Next page

Fig. 12 | Pre-existence scheme applied to the STAI Veneto project (credit: M. Oddone, 2024).

Fig. 13 | Analysis of recurring elements: graphic and semantic reading of pre-existing visual systems in the Territorial Subsystems level (credit: M. Oddone, 2024).

Spellini, 2011), demonstrates how creating a territorial brand can unite different actors under a single symbol of belonging (de Almeida, 2023).

Virtuous cases of territorial branding also involve areas delimited not by political borders but defined by natural conformations: this is the case of the 'Valtellina' collective brand, created in 1982 and updated in 2021 in the concession methods and graphics by the Landor Associates studio. The symbol visually recalls the curved lines that draw the territory – such as terraced vineyards, cycle-pedestrian routes and rivers – while the entire identity system features different sectoral declinations adapted to possible applications (Fig. 7), with licences on food, crafts, industry, tourism and services. Establishing a collective brand for this Alpine geographical region has made it possible to build a network among local small businesses, promoting its excellence with a single voice (Basile, 2018).

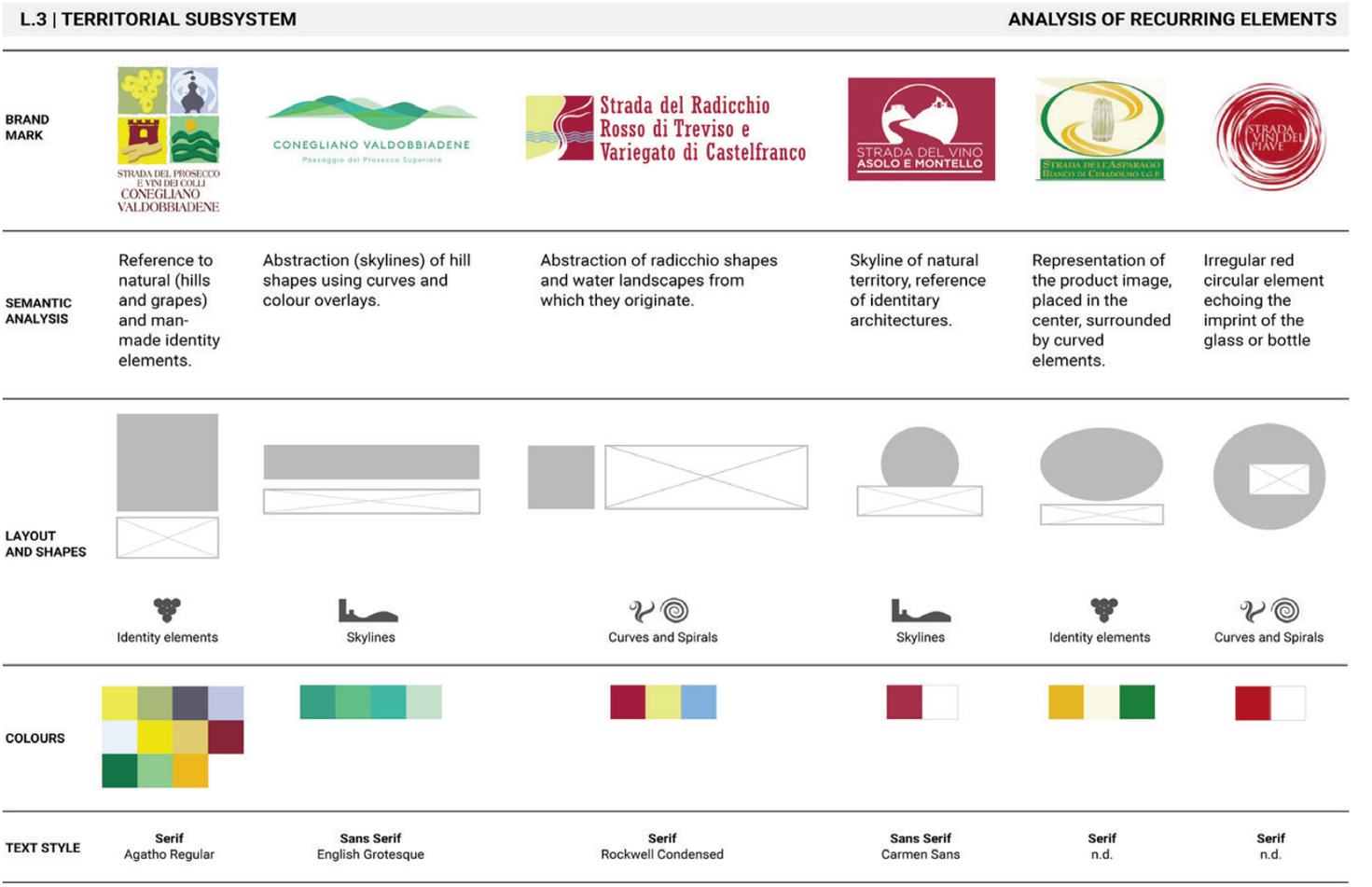
The examples cited are exceptions in the landscape of territorial branding: through the analysis of the various case studies, a general and widespread fragmentation of identities emerged, with an apparent difficulty in managing scalable systems, leading to low recognisability and strategic effectiveness.

The territorial context of reference | The STAI Veneto (Slow Tourism and Agrifood Integration) project, of which this research is a part, involves a multidisciplinary group with competencies related to Architecture, Territorial Planning and Design and identifies the Eastern Veneto region as its reference territory, in particular the portion of the Province of Treviso that lies to the East of the Munich-Venice cycle route (Fig. 8). The main objective concerns the exploration of new ways to use the territory, encouraging and integrating slow mobility with the valorisation of the agricultural Heritage and its typical products (Havadi-Nagy, 2020). In this way, efforts aimed at shifting the attention of tourists and visitors away from the more popular and circumscribed destinations, now plagued by overcrowding, towards low-density territories, considered marginal but rich in potential for widespread attraction.

From an operational point of view, we hypothesise the construction of a renewed physical network of frequentation of the places, which can exploit the minor road network (Fig. 9), especially in its integration with the water infrastructure systems (Fig. 10) – embankments, floodplains, mediation spaces – and with the awareness of how 'crossing the landscape with itineraries, thematic routes or routes that touch the places of interest, can become a communication tool of the values present' (Ghersi et alii, 2023).

Applied methodology and tools developed | The redevelopment of disused farm buildings, the design of bicycle touring routes and the mapping for territorial communication activities went hand in hand with the elaboration of a scalable and multimodal identity of the reference territory, thanks to which it was possible to set up an original methodological reflection to be tested and verified in the specific context. By synthesising what emerged in the previous phases of the research, it was possible to elaborate a se-





ries of logical steps and identify correlated tools to support the planning activities (Tab. 2).

Territorial analysis already has several exploratory approaches linked to the world of design and marketing: examples include the multidimensional model for territorial analysis and scenario evaluation (Orsi, Cavaco and Gil, 2024), the Brand Building pathway (Ciocca, 2017) and the place perception audit (Caroli, 2011). On the other hand, no tools emerged to help map the pre-existing visual systems in a given territory, allowing an overview and understanding necessary to integrate new communication elements. With this objective in mind, a scheme is divided into territorial levels for analysing and helping to analyse the scalability of pre-existing visual systems and identifying areas for improvement.

The compilation of the Pre-existence Scheme (Fig. 11) includes the visual systems already used in the reference area, placing them on the territorial scale of application and analysing their strategic relationships with the upper and lower levels. In particular, an evaluation tool for identifying potential areas of intervention should arise: for example, a territorial mark applied to institutions and companies may scale up further to the product level or, if already used in this context, it may provide for the extension of recognition to product families not yet included.

In the case study, the scheme went on to document the reading of the Veneto region: at first glance, what emerges is not only the large number of pos-

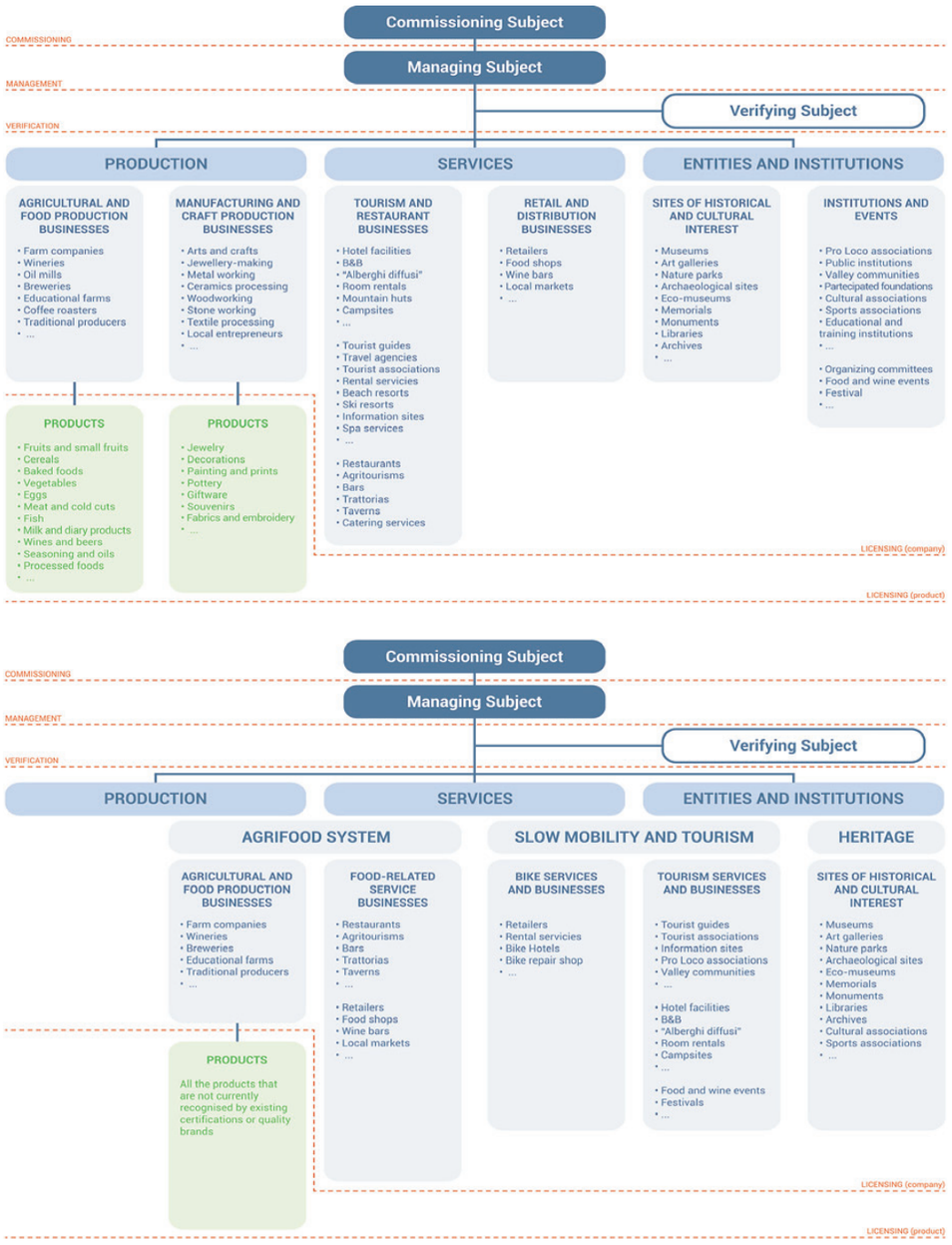


Fig. 14 | Diagram of points of interest and possible partners: general layout (credit: M. Oddone, 2024).

Fig. 15 | Diagram of points of interest and possible partners applied to the STAI Veneto project (credit: M. Oddone, 2024)

sible certifications and recognitions but also the co-existence of completely different graphic languages (Fig. 12), which declare how these initiatives go stand-alone, not in dialogue with a pre-existing narrative context. Although public bodies manage these brands, only some incorporate a direct and recognisable reference to the region, unrelated to a broader identity discourse.[5]

Having completed this initial census, we proceed with the analysis of recurring elements, subdivided by level (Fig. 13), to extract using a semantic approach that identifies the meaning of the emerged symbols (Raposo et alii, 2020). The objective is to increase the awareness of the designer and the figures involved about the context in which they work, creating a sort of ordinary spelling book: the collection of identity symbols and dominant colours is fundamental for the choice of the design approach to take, whether in continuity or contrast with the pre-existing one. Subsequently, the extrapolated components combine with the peculiarities identified during the territorial analysis. They can become the starting point for creating a brand – or a family of brands – with a unitary, coherent and recognisable language.

Returning to the strategic aspect, thanks to the filing of case study management models, it was possible to elaborate the scheme of points of interest and possible partners (Fig. 14), organised by sets that can be 'switched on' or 'switched off' and, therefore, involved or not, depending on the theme and values to be communicated by the brand. The scheme structure and categorisations may vary according to the prevalence of certain activities, their specific characteristics and the expected complexity of the planned communication system. This tool's clear and correct compilation can help articulate the brand architecture and decide the number of declinations and variants needed.

In this phase the 'depth' of the intervention is also established, according to the territorial scales on which one intends to work: in the specific case of the STAI Veneto project, it was decided to start from the scale of territorial subsystems – concerning possible itineraries located in the provincial territory, involving several municipalities – down to the level of individual institutions, companies or events, with the possibility of expanding in the future to the scale of products, in cases where these are not already recognised or recognisable thanks to pre-existing brands (Fig. 15).

The last step, which also includes elaborating on the first design concepts, is formulating a design proposal that will be developed in collaboration with a partner studio specialising in branding and visual communication.

Next steps and future developments | As anticipated, the research is turning to the design elaboration of the identity system of several cycle tourism itineraries traced across the Province of Treviso. The first hypothesised itinerary (which mainly crosses the municipalities of Conegliano, Codognè, Gaiarine e Cordignano), intended as a pilot project, will see the development of the graphic components of the grids that will allow the declination on the other routes of the applications on the different channels (from signage to digital content) and of the communicative format that can be declined (Gasparotto et alii, 2021). Other routes, subsequently developed and thematically consistent, will create the opportunity to test the flexibility of the proposed identity system, including customisation elements linked to the municipalities involved.

The primary limitations identified are a consequence of the specificity of the place in which one is working. In particular, the territorial levels used for the mapping of pre-existing systems and the location of new initiatives may be integrated and modified according to the geographical and/or political characteristics with which one interfaces: for example, the subdivision between Regions and Provinces is fitting for the Italian context, but may vary in other countries with the need to adapt the proposed schemes.

Some of the barriers encountered in the exploration phase concern the search for information on pre-existing visual systems, with the risk of relying on incomplete mapping. The prior involvement of stakeholders can solve this, recognised as knowledge bearers with whom to share the already elaborated schemes to simplify communication and information exchange.

A possible future development envisages using this approach from a non-project perspective, helping administrators and professionals involved in strategic territorial development comprehensively and consciously assess the existing situation to plan interventions and promotion initiatives better and identify the main stakeholders to be involved.

Even though the research originates within the STAI Veneto project, with a reference territory already defined, we recognise the importance of being able to replicate and apply the operational methods also adapted to very different national and international contexts – perhaps with the active collaboration of local authorities – in order to subject it to iterative improvements and demonstrate its actual value, not only in design terms but also by measuring the cultural, economic and social spin-offs that the use of a scalable and multimodal identity can trigger.

Notes

1) An umbrella trademark is a distinctive sign characterising different products and/or services the same company provides.

2) The collective mark distinguishes goods or services of several undertakings, other than the proprietor, by their specific origin, nature or quality, guaranteeing compliance with a specific regulation (specification).

3) A territorial area brand identifies a precise geographical area identified and united by environmental, economic, cultural, and social characteristics that make it typical.

4) PR Veneto ESF+ research project 'STAI Veneto – Slow Tourism and Agrifood Integration – Realisation of a scalable and multimodal territorial visual identity', 'Iuav' University of Venice.

5) However, it is worth highlighting the desire to strengthen the tourism brand in order to extend it to the agrifood and manufacturing sectors as well, thanks to a collaboration agreement with Unioncamere del Veneto, as set out in DGR no. 915 of 9 August 2024. For further details, please consult the web page: bur.regione.veneto.it/BurvServices/pubblica/DettaglioDgr.aspx?id=536560 [Accessed 23 September 2024].

References

Aguado, L. F., Heredia-Carroza, J. and Arbona, A. (2024), "Territory, intangible heritage and value generation", in *Creative Industries Journal*, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.1080/17510694.2024.2329823 [Accessed 26 August 2024].

Anholt, S. (2007), *L'identità competitiva – Il branding di nazioni, città, regioni*, EGEA, Milano.

Basile, M. (2018), "Local food, wine heritage and destination marketing – Relaunching Valtellina alpine destination", in *Economia della Cultura | Rivista trimestrale dell'Associazione per L'economia della Cultura*, vol. 28, issue 1-2, pp. 213-220. [Online] Available at: doi.org/10.1446/90729 [Accessed 21 August 2024].

Bucchetti, V. (ed.) (2018), *Progetto e Culture Visive – Elementi per il Design della Comunicazione*, FrancoAngeli, Milano.

Campelo, A. (2017), "Smell it, taste it, hear it, touch it and see it to make sense of this place", in Campelo, A. (ed.), *Handbook on Place Branding and Marketing*, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, pp. 124-144. [Online] Available at: doi.org/10.4337/9781784718602 [Accessed 21 August 2024].

Cánepa, G. K. (2013), "Nation Branding – The Re-foundation of Community, Citizenship and the State in the context of Neoliberalism in Peru", in *MedienJournal | Zeitschrift für Medien und Kommunikationsforschung*, vol. 37, issue 3, pp. 7-18. [Online] Available at: doi.org/10.24989/medienjournal.v37i3.116 [Accessed 21 August 2024].

Carmi, E. (2020), *Branding Design Oriented – Progettare la Marca – La strategia, il Metodo, il Linguaggio – Dalle origini al modello di Marca Carmi e Ubertis 0.9*, Fausto Lupetti Editore, Bologna.

Caroli, M. G. (ed.) (2011), *Il marketing territoriale – Idee ed esperienze nelle regioni italiane*, FrancoAngeli, Milano

Caroli, M. G. (2005), *Il marketing territoriale – Strategie per la competitività sostenibile del territorio*, FrancoAngeli, Milano.

Ciocca, C. (2017), *Total City Experience – Idee e metodologie per il city branding competitivo*, FrancoAngeli, Milano.

D'Adamo, P. and Spellini, L. (2011), "Regione Alto Adige / Südtirol", in Gabardi, E. (ed.), *Regioni e Province italiane – Sette casi significativi di comunicazione turistica*, FrancoAngeli, Milano, pp. 23-45.

de Almeida, G. G. F. (2023), "Territorial Brand in Regional Development – Interdisciplinary Discussions", in *Encyclopedia*, vol. 3, issue 3, pp. 870-886. [Online] Available at: doi.org/10.3390/encyclopedia3030062 [Accessed 27 June 2024].

Ferrara, C. (2007), *La Comunicazione dei Beni Culturali – Il progetto dell'identità visiva di musei, siti archeologici, luoghi della cultura*, Lupetti, Milano.

Ferreira Crispim, S. and Cetara, L. (2022), "Design for Territories and Green Economy – In Search of a Strategy for Local Development", in *Territorial Identity and Development*, vol. 7, issue 1, pp. 27-36. [Online] Available at: doi.org/10.23740/TID120222 [Accessed 26 August 2024].

Finesso, E. and Guida, F. E. (2023), "The Brand as a Place – For a Model Interpreting the Behavior of Brands", in *Diid | Disegno Industriale Industrial Design*, vol. 80, pp. 108-119. [Online] Available at: doi.org/10.30682/diid8023i [Accessed 23 May 2024].

Follesa, S. (2013), *Design & Identità – Progettare per i luoghi*, FrancoAngeli, Milano.

Fumo, M. (2019), "Paesaggi culturali – Artificio tra resilienza e selezione naturale | Cultural Landscapes – Artificiality within resilience and natural selection", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 6, pp. 36-45. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/642019 [Accessed 20 August 2024].

Gasparotto, S., Bosco, A., Lengua, M. and Baruzzi, P. (2021), "MEET – Un percorso espositivo interattivo tra co-design e valorizzazione del territorio | Meet – An interactive exhibition itinerary between co-design and enhancement of the territory", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 10, pp. 242-249. [Online] Available at: agathon.it/agathon/article/view/282/308 [Accessed 26 August 2024].

Ghersi, A., Pericu, S., Delprino, F. and Melli, S. (2023), "Misurare i paesaggi – Un ritmo per la narrazione attraverso luoghi e itinerari condivisi | Measuring Landscapes – A storytelling rhythm through shared places and itineraries", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 14, pp. 194-203. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14162023 [Accessed 04 September 2024].

Govers, R. and Go, F. (2009), *Place Branding – Glocal, Virtual and Physical Identities, Constructed, Imagined and Experienced*, Palgrave Macmillan, London. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-0-230-24702-4 [Accessed 26 August 2024].

Havadi-Nagy, K. X. (2020), "Food in Tourism – Relevant Research Angles and Topics", in *Territorial Identity and Development*, vol. 5, issue 1, pp. 21-36. [Online] Available at: doi.org/10.23740/TID120202 [Accessed 26 August 2024].

Kavaratzis, M., Warnaby, G. and Ashworth, G. J. (eds) (2015), *Rethinking Place Branding – Comprehensive Brand Development for Cities and Regions*, Springer, Cham. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-12424-7 [Accessed 26 August 2024].

Kotler, P., Haider, D. H. and Rein, I. (2002), *Marketing Places – Attracting Investment, Industry, and Tourism to Cities, States, and Nations*, Simon and Schuster, New York.

Muratovski, G. (2022), *Research for Designers – A guide to methods and practice*, SAGE Publications Ltd, London.

Orsi, F., Cavaco, C. and Gil, J. (2024), "From Territorial Capital to Regional Design – A Multidimensional Model for Territorial Analysis and Scenario Evaluation", in *Planning Practice & Research*, vol. 39, issue 1, pp. 116-135. [Online] Available at: doi.org/10.1080/02697459.2022.2120490 [Accessed 27 June 2024].

Parente, M., Lupo, E. and Sedini, C. (2018), "Design Approaches and Methodologies for the Valorization of Places – Experiences from the Western Mediterranean Area", in *PAD | Pages on Art and Design*, vol. 14, pp. 61-84. [Online] Available at: padjournal.net/wp-content/uploads/2023/01/1405-PAD-OK-PARENTE-LUPO-SEDINI.pdf [Accessed 20 April 2024].

Parente, M. and Sedini, C. (2017), "Design for Territories as Practice and Theoretical Field of Study", in *The Design Journal | An International Journal for All Aspects of Design*, vol. 20, issue supp. 1, pp. S3047-S3058. [Online] Available at: doi.org/10.1080/14606925.2017.1352812 [Accessed 8 May 2024].

Porter, N. (2017), *Landscape and Branding – The promotion and production of place*, Routledge, London.

Raposo, D., Laginha, C., Neves, J., Silva, J. and da Silva, F. M. (2020), "Methodology of Analysis of Brand Visual Identity of Food Products – Comprehension and valuation of graphic signs", in Rebelo, F. and Soares, M. M. (eds), *Advances in Ergonomics in Design – Proceedings of the AHFE 2019 International Conference on Ergonomics in Design, Washington D.C., July 24-28, 2019*, Springer International Publishing, Cham, pp. 188-203. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-20227-9_18 [Accessed 24 August 2024].

Rozhkov, K., Khomutskii, K., Romanowski, R. and Muniz-Martinez, N. (2020), "Place Overbranding and How to Prevent it – Combining two Conceptual and Methodological Approaches", in *Qualitative Market Research*, vol. 23, issue 4, pp. 979-999. [Online] Available at: doi.org/10.1108/QMR-12-2017-0180 [Accessed 21 August 2024].

Ruggeri, I. (2022), "L'identità visiva di un territorio come bene comune – Pratiche progettuali oltre le istanze competitive", in *Officina*, vol. 36, pp. 82-85. [Online] Available at: officinajournal.it/officina/index.php/journal/issue/view/officina36/officina36 [Accessed 23 August 2024].

Sandriester, J. and Pizzera, J. (2024), "Destination Brandscapes – Integration of Landscape Elements into Destination Brands", in *European Countryside*, vol. 16, issue 2, pp. 286-304. [Online] Available at: doi.org/10.2478/euco-2024-0016 [Accessed 20 August 2024].

Sinni, G. (2018), *Una, nessuna, centomila – L'identità pubblica da logo a piattaforma*, Quodlibet, Macerata.

Sinni, G. and Palazzi, A. (eds) (2021), *Voi siete qui – City branding – Lo scenario italiano e i progetti di Edenspiekermann per Amsterdam, Santa Monica e Parma*, Electa, Milano.

Trocchianesi, R. (2012), "From the Place Identity to Scenarios for the Valorisation of the Territory – Design as an Interpreter of New Vocations and Languages to the Fruition", in *Strategic Design Research Journal*, vol. 5, issue 3, pp. 129-135. [Online] Available at: doi.org/10.4013/sdrj.2012.53.05 [Accessed 16 June 2024].

DESIGN
Research & Experimentation

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 334-343
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/16282024

Article Info

Received 09 September 2024
Revised 22 October 2024
Accepted 23 October 2024
Published 30 December 2024

LA MEDIAZIONE DEL DESIGN
L'integrazione tra agenti artificiali autonomi, produzione manifatturiera e servizi

THE MEDIATION OF DESIGN
The integration between autonomous artificial agents, manufacturing production, and services

Flaviano Celaschi, Giorgio Casoni, Elena Formia

Abstract

L'articolo analizza l'emergere degli Agenti Artificiali Autonomi (AAA) e il loro impatto sulla progettazione nell'era dell'Industria 4.0. Dotati di capacità decisionali, gli AAA stanno trasformando non solo il design di prodotti e servizi, ma anche il rapporto tra produzione e consumo, portando all'introduzione di nuovi attori economici, come i 'machine customers'. Attraverso l'analisi di casi studio nel contesto industriale italiano, il testo esplora l'implementazione di queste tecnologie avanzate nei processi aziendali e invita a una riflessione sul ruolo dei designer nell'era delle macchine intelligenti, suggerendo un approccio responsabile che tenga conto delle implicazioni etiche e sociali. Infine vengono discusse le prospettive future legate all'adozione diffusa degli AAA, con un'attenzione particolare all'evoluzione dell'economia programmabile e ai suoi effetti su design e aziende.

This paper analyses the emergence of Autonomous Artificial Agents (AAA) and their impact on design in the era of Industry 4.0. Equipped with decision-making abilities, AAA is transforming the design of products and services and the relationship between production and consumption, leading to the introduction of new economic actors, such as 'machine customers'. Through case study analysis in the Italian industrial context, this paper explores the implementation of these advanced technologies in business processes and invites reflection on the role of designers in the age of intelligent machines, suggesting a responsible approach that considers the ethical and social implications. Finally, future perspectives related to the widespread adoption of AAA are discussed, focusing on the evolution of the programmable economy and its effects on design and businesses.

Keywords

agenti artificiali autonomi, economia delle macchine, design, industria 4.0, intelligenza artificiale

autonomous artificial agents, machine economy, design, industry 4.0, artificial intelligence

Flaviano Celaschi, Architect and PhD, is a Full Professor of Design at the Department of Architecture, University of Bologna (Italy). He conducts research in Design-driven innovation and foresight (Advanced Design). He founded and directed applied research centres in Italy (POLI.Design in 1999 and C.R.I.C.C in 2018) and international Universities and companies. E-mail: flaviano.celaschi@unibo.it

Giorgio Casoni, Economist, Research Fellow, and Member of the Advanced Design Unit at the Department of Architecture, University of Bologna (Italy), conducts research primarily in innovation management. He is a co-Founder and CEO of Neocogita, a company that develops neurotechnology systems and services for corporate wellness management and improvement. E-mail: giorgio.casoni@unibo.it

Elena Formia, Architect and PhD, is a Full Professor of Design at the Department of Architecture, University of Bologna (Italy), where she collaborates with the Research Group on Advanced Design. Since 2019, she has coordinated the Bachelor's and Master's programmes in Design. Her research focuses on the history and culture of design, investigating the contribution of human and social sciences to design. E-mail: elena.formia@unibo.it



L'emergere degli Agenti Artificiali Autonomi (AAA) rappresenta un'evoluzione significativa nel panorama delle tecnologie avanzate, con implicazioni profonde su vari ambiti, tra cui quello dell'Intelligenza Artificiale (IA), della robotica e del calcolo ubiquo. Questi agenti sono ispirati alla capacità di agire autonomamente osservata nei sistemi biologici e si caratterizzano per la loro abilità di operare senza intervento umano diretto, prendendo decisioni e interagendo con l'ambiente circostante in modo dinamico e adattivo. L'introduzione degli AAA sta radicalmente trasformando il modo in cui si progettano beni e servizi, spostando l'attenzione dal semplice soddisfacimento delle esigenze umane a una visione più ampia che include, come si evince dalla letteratura sul tema, la cooperazione e l'interazione con gli spazi e con le altre macchine intelligenti che già popolano le nostre vite (Wooldridge and Jennings, 1995; Franklin and Graesser, 1996; Dattathrani and De', 2023; Schlicht, 2023).

Nel contesto dell'economia dei dati, gli AAA rappresentano quindi l'avanguardia della progettazione contemporanea, influenzando non solo il 'cosa' si progetta, ma anche il 'come' si progetta: la progettazione di un'automobile a guida autonoma ad esempio non si limita alla vettura stessa, ma richiede un'intera infrastruttura di supporto che integra dispositivi e sistemi di controllo, sia fisici che digitali. La medesima cosa si può dire di un edificio che viene accompagnato lungo il ciclo di vita da un continuum di servizi e monitoraggi (Rigillo, Galluccio and Paragliola, 2023). Questo implica che il progettista non solo deve rispondere alle esigenze umane, ma anche adattare l'ambiente (naturale e artificiale) per renderlo compatibile con le esigenze delle macchine autonome, creando uno spazio che possa essere definito 'antropocenico', capace di accogliere sia l'uomo che le tecnologie avanzate, senza trascurare l'importanza di preservare l'ambiente naturale e le altre forme di vita.

L'evoluzione degli AAA si intreccia con la cosiddetta Quarta Rivoluzione Industriale (Schwab, 2017) e l'Industry 4.0 (Lasi et alii, 2014; Lage, 2019) che ha visto una trasformazione profonda del sistema produttivo globale: in questo nuovo contesto l'informazione e i dati assumono un ruolo centrale, con una circolarità che collega in tempo reale i processi produttivi, i comportamenti di consumo e le dinamiche di mercato (Barbero and Ferrulli, 2023). Gli AAA non solo eseguono compiti complessi in modo più efficiente, ma possono anche intervenire nei processi decisionali, influenzando l'evoluzione del mercato e la dinamica delle relazioni tra produttori e consumatori, attori chiave in un'economia sempre più orientata verso l'automazione e la programmabilità, aprendo nuove opportunità progettuali e sfide in termini di regolamentazione e gestione delle interazioni tra macchine ed esseri umani.

Il testo è strutturato con una prima parte nella quale si collega il fenomeno di nicchia degli AAA all'evoluzione dell'automazione, dall'introduzione delle prime tecnologie fino all'uso attuale di IA e calcolo ubiquo, per offrire una base per comprendere le origini del dibattito nelle pratiche progettuali. La seconda parte del testo riflette criticamente sulla definizione degli AAA calandoli all'interno di un nuovo modello di relazione tra produzione e consumo e ne analizza l'impatto sul design, esaminando come queste tecnologie stiano trasformando il ruolo del progettista, che ora deve gestire cambiamenti strutturali e considerare le implicazioni etiche e sociali, introducendo anche i 'machine customers' nell'approccio progettuale; da qui la definizione dell'apporto innovativo della ricerca, così come della metodologia adottata.

Segue un'esplorazione delle applicazioni pratiche degli AAA, con esempi specifici di come influenzano i processi di innovazione design-driven delle aziende e, quindi, le prospettive di evoluzione delle economie globali, obbligando i progettisti a considerare nuovi tipi di clienti non umani. Questa sezione presenta casi studio che dimostrano l'impatto degli AAA, evidenziando le opportunità per i designer. L'articolo si conclude con una riflessione sul futuro degli AAA, invitando i progettisti a un approccio responsabile e consapevole nella loro adozione e sviluppo, riassumendo i punti chiave discussi e suggerendo direzioni per ricerche e applicazioni future.

Continuità con il passato | In forma meccanica gli 'automata' artificiali esistono fin dall'antichità, come macchine che eseguono una serie di azioni in modo sequenziale, applicando determinate regole; alcuni passaggi fondamentali segnano la ricorrenza del tema, che è strettamente connessa alla fascinazione di progettisti / inventori (Fig. 1). Lo storico della scienza e delle tecniche Vittorio Marchis (2005) ne ha ricostruito alcuni passaggi fondamentali: le complesse teorizzazioni del De Architectura vitruviano in continuità con la tradizione greca ed ellenica (e in particolare le opere Automata e Spiritalia di Erone); l'immaginazione propria della tradizione medievale incline a figurare il grande circo delle 'meraviglie' con ambientazioni fantastiche dal gusto stravagante, tradizione poi parzialmente ripresa in epoca rinascimentale (basti pensare a figure come quella di Leonardo), a partire dalla quale viene stabilita una stretta relazione con le funzioni del corpo umano. Come sostiene infatti Nicolas P. Maffei (2001), l'idea del corpo tecnologico non è nuova: nel 1637 René Descartes sviluppa una nozione della macchina umana attraverso una comparazione dell'automata meccanico / artificiale (homunculi) e le macchine viventi della natura, tra cui solo la macchina umana ha il dono della ragione e della parola, e quindi di un'anima (Fig. 2).

L'avvento dell'informatica, l'introduzione della cibernetica e l'uso della matematica discreta a metà del XX secolo hanno trasformato le macchine astratte in solutori di problemi computazionali. I primi calcolatori hanno permesso alle macchine di fare previsioni e rispondere agli input ambientali (Fig. 3), spostandosi verso il design vero e proprio e inaugurando una fase della relazione tra macchine e umani che Manovich (2010), teorico della 'software society', descrive come 'integrata'. Gli anni '70 negli USA hanno poi visto emergere il 'design ambientale', un approccio in cui la programmazione delle macchine e le analisi quali-quantitative si intrecciano con l'operare del progettista (Fig. 4), anticipando, per certi aspetti, il successivo movimento dei 'makers', con l'uso di nuove tecnologie per personalizzare gli artefatti e l'ambiente (Pone, 2022).

Dalla fine degli anni '80, autori come Antonio Caronia (1991), Bruce Sterling (1992) e Derrick De Kerchove (1992) hanno poi esplorato la relazione tra tecnologia, corpo umano e comportamenti, sviluppando una nuova discussione sui 'cyborg'. Questi studi pionieristici, così come successive letture filosofiche (Floridi, 2014; Accoto, 2020), evidenziano come gli AAA non siano l'esito della semplice costruzione di macchine, ma di una nuova e complessa prospettiva di produzione della nostra realtà e di interazione con l'ambiente circostante in cui si innesta anche la spinta innovativa del design (Manovich, 2019; Cattabriga and Joler, 2023).

Mercato attuale e contesto tecnologico | Gli AAA, evoluti da semplici programmi reattivi a sistemi complessi con memoria, capacità di apprendimento e abilità di perseguire obiettivi a lungo termine, possono ora operare indipendentemente in vari campi, dalla gestione dei social media alla scrittura creativa. Il modello della relazione tra produzione e consumo adottato per analizzare questa rivoluzione tecnologica, sociale ed economica si basa su due livelli di lettura.

Il primo livello include tre poli: produttori di energia / beni / servizi, produttori di conoscenza e consumatori (Fig. 5a); nello stato primitivo di società i membri di una 'tribù' svolgevano tutti i ruoli, ma con l'evoluzione sociale e produttiva, questi poli si sono separati, richiedendo una specializzazione maggiore e nuovi mediatori, come tecnici, economisti e intellettuali, come illustrato nella Figura 5b.

Il secondo livello rappresenta il sistema di governo e controllo; con l'avvento delle tecnologie abilitanti e dell'IA generativa (Fig. 5c) emerge una nuova trasformazione: gli AAA sostituiscono progressivamente alcune funzioni umane, migliorando l'efficienza e precisione delle interazioni tra i poli della società. Questi agenti non solo facilitano la comunicazione, ma influenzano e automatizzano sempre più i processi decisionali e produttivi; in questo nuovo paradigma gli AAA emergono come mediatori digitali e possono essere classificati in diverse tipologie funzionali (Dodig-Crnkovic and Burgin, 2024; Tab. 1):
– Agenti semplici che reagiscono istantaneamente alle percezioni senza elaborazione o memoria di eventi passati;
– Agenti con memoria che conservano uno stato interno che riflette esperienze passate, permettendo loro di adattarsi a situazioni simili future;
– Agenti basati sugli obiettivi che sono guidati da obiettivi specifici, lavorando per raggiungerli e gestendo attivamente le informazioni di stato;
– Agenti basati sull'utilità che operano secondo principi di razionalità e ottimizzazione, basati sulla teoria dell'utilità;
– Agenti fisici che includono esseri umani, animali e robot, che possono essere biologici, artificiali o ibridi;
– Agenti virtuali che si trovano in ambienti digitali o simulati, includendo software e processi cognitivi;
– Agenti strutturali che funzionano all'interno di sistemi di elaborazione dati o reti, operando in modo simile a una macchina di Turing.

A partire da questa classificazione è evidente quanto gli AAA siano una componente essenziale nella 'machine economy', un sistema economico in cui le macchine intelligenti eseguono autonomamente compiti e interagiscono tra loro con comunicazioni Machine-to-Machine (Panarello et alii, 2018; Jöhnk et alii, 2021; Hartwich et alii, 2023; Duda et alii, 2024; Nestorovic and Radicevic, 2018). Dotati di IA e tecnologie digitali avanzate questi agenti possono prendere decisioni, apprendere e adattarsi autonomamente attraverso smart contract[1] (Zou et alii, 2021; Vacca et alii, 2021), riducendo la necessità di intervento umano e aumentando l'efficienza operativa. Essi diventano così entità aziendali autonome capaci di agire indipendentemente dalle decisioni quotidiane umane (Reyes, 2021) e possono funzionare come principali attori economici, non solo come agenti (Schuetz and Venkatesh, 2020).

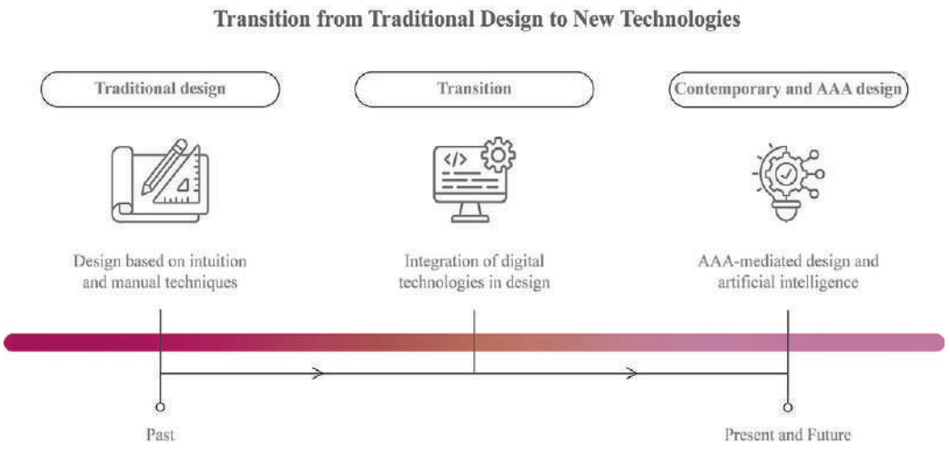


Fig. 1 | Transition from traditional design to new technologies (credit: the Authors, 2024).

L'introduzione dei 'machine customers' (Scheibenreif and Raskino, 2023), ovvero la crescente diffusione degli AAA che si sostituiscono al consumatore assumendo decisioni che generano scambi di mercato, rappresenta un'ulteriore innovazione su cui si concentra in particolare questo articolo: dopo aver automatizzato la produzione si automatizza il consumo, cambiando il tradizionale concetto di utenza umana. Questi clienti automatizzati, guidati dall'IA, sono capaci di fare acquisti e negoziare transazioni autonomamente, espandendo il mercato e presentando nuove sfide e opportunità per le aziende. Scheibenreif e Raskino (2023) estendono ulteriormente il concetto alla 'programmable economy', un sistema economico programmabile che comprende decisioni aziendali e meccanismi monetari, potenziati da asset digitali come token[2] e Organizzazioni Autonome Decentralizzate (Decentralized Autonomous Organizations – DAO[3]; Wang et alii, 2019; Hassan and De Filippi, 2021; Santana and Albareda, 2022; Van Kerckhoven and Chohan, 2024). Furlonger e Uzreau (cit. in Scheibenreif and Raskino, 2023, p. 60) stimano che questa economia possa generare fino a 163 trilioni di dollari di valore aggiunto entro il 2030 (Tab. 2).

Questi sviluppi stanno trasformando anche il campo del progetto, spingendo i designer a considerare sia le esigenze umane che quelle delle macchine autonome. Il nuovo paradigma emergente cambia radicalmente il loro ruolo, richiedendo di operare in un contesto d'integrazione tra elementi fisici e digitali (Di Dio et alii, 2022). Dovendo i progetti adattarsi sia agli esseri umani che alle macchine, considerando anche l'ambiente e altre forme di vita, la crescente complessità tecnologica impone ai designer di sviluppare competenze avanzate e critiche per affrontare le sfide dell'automazione, dimensione questa su cui si innesta l'originalità dell'articolo (Fig. 6).

Metodologia | Il presente studio adotta pertanto una metodologia ibrida che combina l'analisi dello stato dell'arte sul tema con l'esame di due casi studio applicativi, intesi come spazio di sperimentazione delle sfide raccolte in letteratura con quelle derivate dall'analisi sul campo. L'analisi contenuta nei precedenti paragrafi ha messo in evidenza l'evoluzione teorica e pratica degli AAA, esaminando contributi chiave con ricadute nel campo dell'IA, della robotica e della progettazione integrata. Questa lettura critica permette di contestualizzare le recenti innovazioni nel quadro più ampio delle tecnologie emergenti e delle loro implicazioni socioeconomiche.

Di seguito vengono descritti due casi studio sviluppati in collaborazione con industrie italiane di primo piano, selezionati per la rilevanza e la validità dei dati. Le principali fonti derivano da collaborazioni dirette tra Università e aziende che hanno offerto un accesso privilegiato a documenti interni e interviste con i team di progettazione e management. Il periodo di riferimento (2019-2023) riflette l'adozione progressiva degli AAA nei processi aziendali; i casi si concentrano sull'integrazione di AAA nell'Industria 4.0 e nell'automazione, evidenziando sia benefici che criticità, e offrono un confronto diretto tra teoria e pratica, contribuendo a una comprensione più approfondita del loro impatto sul design contemporaneo.

Le esperienze applicative di Rolleri e Galletti | Nell'intervallo tra il 2019 e il 2023, l'Advanced Design Unit dell'Università di Bologna ha coordinato alcune attività commissionate da imprese che intendevano affidarsi alla ricerca universitaria per ampliare il ventaglio dell'innovazione di prodotto, di servizio e di processo, in un'ottica di medio termine. Accomuna i casi citati la sperimentazione pratica di progetti di innovazione trainati dal design. L'analisi di seguito mostra che le aziende italiane stanno adottando AAA, collaborando attivamente con la ricerca universitaria che agisce come ponte tra tecnologie avanzate e necessità di mercato.

Il primo caso riguarda Rolleri (Piacenza), un gruppo industriale di circa dieci unità produttive B2B, specializzato in lavorazioni metalliche e robot collaborativi e riferimento per imprese che realizzano manufatti metallici. Il gruppo ha avviato un programma di innovazione di 36 mesi per sviluppare l'azienda con nuovi progetti e integrare tecnologie avanzate al servizio dell'attuale business (Fig. 7).

Un risultato notevole di questo processo è stato lo sviluppo di una chatbot per assistere le PMI metalmeccaniche (clienti) nella redazione di preventivi, automatizzando le lavorazioni e personalizzando gli utensili necessari alla fornitura da preventivare. I dati raccolti dai preventivi, intesi come intelligenza informata, hanno permesso successivamente a Rolleri di analizzare i costi di produzione e di esplorare l'idea, in corso di sviluppo, di un marketplace automatizzato capace di bypassare il fornitore, in cui l'AAA ottimizza le decisioni di approvvigionamento e servizio cliente basandosi su variabili come distanza, disponibilità / tipologia di macchine e utensili a magazzino e costi di lavorazione.

Il secondo caso riguarda un progetto per la Galletti (Bentivoglio, Bologna) produttrice di impianti per il condizionamento dell'aria che ha sviluppato, in collaborazione con l'Advanced Design Unit dell'Università di Bologna, terminali idronici (fancoil) capaci di diventare AAA rispetto alle decisioni del produttore e del cliente, adattandosi autonomamente alle condizioni interne ed esterne (Figg. 8-11).

Sostanzialmente i terminali acquisiscono una mole di dati rispetto alle attività e occupazioni indoor e alle condizioni outdoor dell'ambiente circostante allo scopo di mediare decisioni di vario tipo: dalla possibilità di chiudere la porosità dell'edificio nei confronti dell'aria esterna in caso di crescita dei parametri di inquinamento registrati dal monitoraggio Google del territorio, alla gestione del rumore esterno-interno (per favorire la permeabilità positiva e neutralizzare suoni negativi indesiderati), della temperatura e del tasso di umidità relativo, all'impiego del terminale come amplificatore e diffusore sonoro, video-registratore nei locali, agente di sicurezza contro l'intrusione. Si viene così a creare in ogni locale del sistema abitativo o di lavoro un'unica macchina indispensabile per l'abitabilità e dotata di un gradiente di tecnologia e di autonomia che può essere contrattato o lasciato libero di agire per il perfezionamento continuo delle performance ambientali (Tab. 3).

L'implementazione degli AAA è ostacolata da criticità come la compatibilità tecnologica con i sistemi informatici, che richiedono costosi aggiornamenti, e la carenza di competenze tecniche adeguate; la gestione dei dati solleva inoltre preoccupazioni su sicurezza, privacy e conformità normativa, mentre le implicazioni etiche e sociali impongono una riflessione sulla trasparenza e responsabilità delle decisioni autonome.

Conclusioni | Il mercato italiano del design per l'innovazione di prodotti e processi è pronto a integrare le tecnologie avanzate dell'economia dei dati e dell'IA e la ricerca universitaria può agire come catalizzatore, mediando tra queste tecnologie e le esigenze di mercato. L'approccio del Product Service System è efficace nell'affrontare aspetti materiali e immateriali, come conferma lo studio dei casi di Rolleri e Galletti nei quali gli AAA arricchiscono l'offerta e trasformano il design, fondendo fisico e digitale.

Tuttavia i designer devono sviluppare competenze avanzate per affrontare le sfide etiche e tecniche, agendo come mediatori tra innovazione e sostenibilità, specialmente nel fuzzy front end dell'innovazione, definito come 'advanced design problems'. Questo studio sottolinea come il mercato italiano sia maturo per integrare gli AAA di ultima generazione e l'economia dei dati con approcci design-driven, innovando i processi: gli AAA infatti migliorano i prodotti e trasformano il design, combinando elementi fisici e digitali in un ecosistema unificato (Figg. 12-14).

Il potenziale futuro degli AAA, intesi soprattutto come 'machine customers', potrebbe rivoluzionare i modelli di consumo e produzione. L'adozione di queste tecnologie è però ancora agli inizi e necessita di ulteriori ricerche per esplorarne compiutamente opportunità e sfide. Per i professionisti è cruciale adottare un approccio critico e proattivo, partecipando a living labs e progetti pilota per sperimentare e adattare le tecnologie emergenti. Le ricerche future dovrebbero indagare l'interazione tra

design, IA e sostenibilità, per definire nuovi paradigmi nello sviluppo di prodotti e servizi nell'era delle macchine intelligenti. In conclusione lo studio conferma il potenziale del Design Thinking e dell'Advanced Design nell'implementazione di AAA come esito auspicato anche in imprese di medio-piccole dimensioni e con uno stadio di consapevolezza tecnologia non ancora maturo.

The emergence of Autonomous Artificial Agents (AAA) represents a significant evolution in advanced technologies, with profound implications across various fields, including Artificial Intelligence (AI), robotics, and ubiquitous computing. These agents are inspired by the ability to act autonomously, as observed in biological systems, and are characterised by their ability to operate without direct human intervention, make decisions, and interact with their surrounding environment dynamically and adaptively. The introduction of AAA is radically transforming the way goods and services are designed, shifting the focus from merely satisfying human needs to a broader vision that includes, as evidenced by the literature on the subject, cooperation and interaction with spaces and other intelligent machines that already populate our lives (Wooldridge and Jennings, 1995; Franklin and Graesser, 1996; Dattathrani and De', 2023; Schlicht, 2023).

In the context of the data economy, AAA thus represents the forefront of contemporary design, influencing not only the 'what' of design but also the 'how': the design of an autonomous vehicle, for example, does not limit itself to the vehicle itself but requires an entire support infrastructure that integrates both physical and digital control systems. The same can be said of a building that is accompanied throughout its lifecycle by a continuum of services and monitoring (Rigillo, Galluccio and Paragliola, 2023). This implies that the designer must not only meet human needs but also adapt the environment (both natural and artificial) to make it compatible with the needs of autonomous machines, creating a space that can be described as 'Anthropocenic', capable of accommodating both humans and advanced technologies, without neglecting the importance of preserving the natural environment and other forms of life.

The evolution of AAA intertwines with the so-called Fourth Industrial Revolution (Schwab, 2017) and Industry 4.0 (Lasi et alii, 2014; Lage, 2019), which has seen a profound transformation of the global production system. In this new context, information and data assume a central role, with a circularity that connects production processes, consumer behaviours, and market dynamics in real time (Barbero and Ferrulli, 2023). AAA performs complex tasks more efficiently and can intervene in decision-making processes, influencing market evolution and the dynamics of relationships between producers and consumers. Thus, they become key players in an economy increasingly oriented towards automation and programmability, opening new design opportunities and challenges in terms of regulation and managing interactions between machines and humans.

The text is structured with a first section that connects the niche phenomenon of AAA to the evolution of automation, from the introduction of the first technologies to the current use of AI and ubiquitous computing, providing a foundation for understanding the origins of the debate in design practices. The second part critically reflects on the definition of AAA, situating them within a new model of the relationship between production and consumption, and analyses their impact on design, examining how these technologies are transforming the role of the designer, who now must manage structural changes and consider ethical and social implications more closely, also introducing 'machine customers' into the design approach. From this arises the definition of the research's innovative contribution, as well as the methodology adopted.

This is followed by the exploration of the applications of AAA, with specific examples of how they influence companies' design-driven innovation processes and, consequently, the prospects for the evolution of global economies, forcing designers to consider new types of non-human customers. This sec-

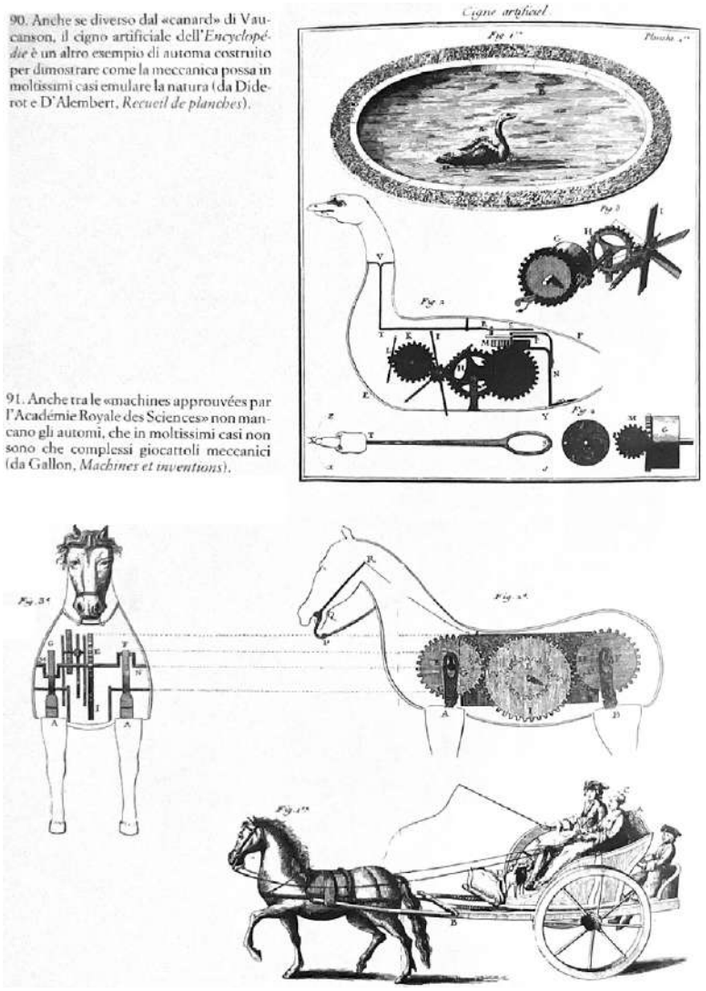


Fig. 2 | Automata and toys according to the 18th-century tradition (source: Marchis, 2005).

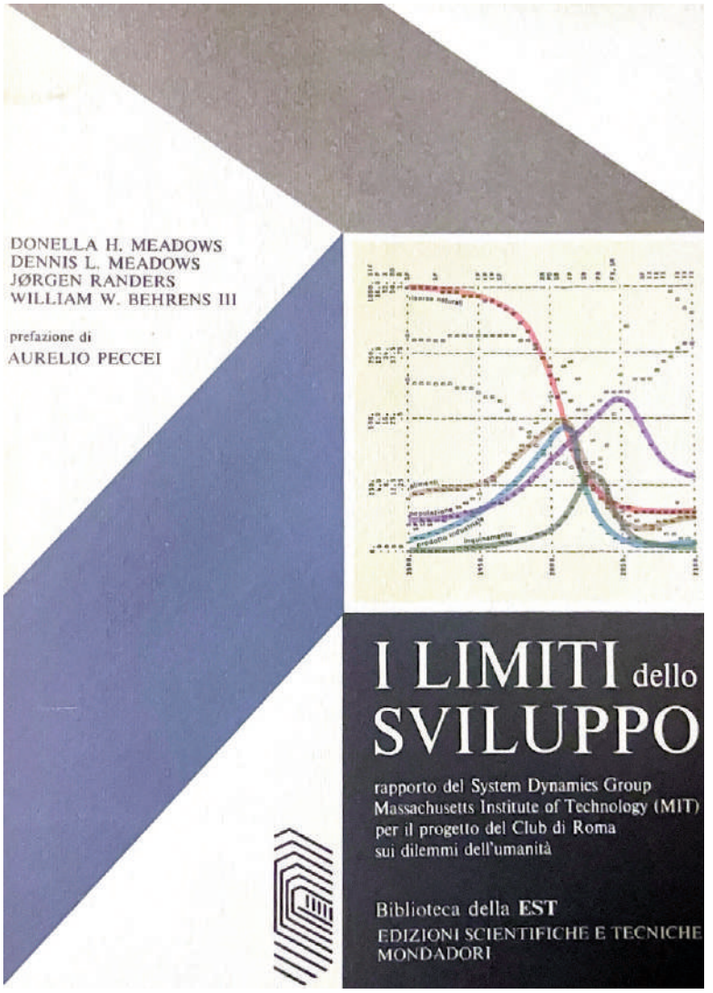


Fig. 3 | Cover of the Italian edition of 'The Limits to Growth' (source: Meadows et alii, 1972).

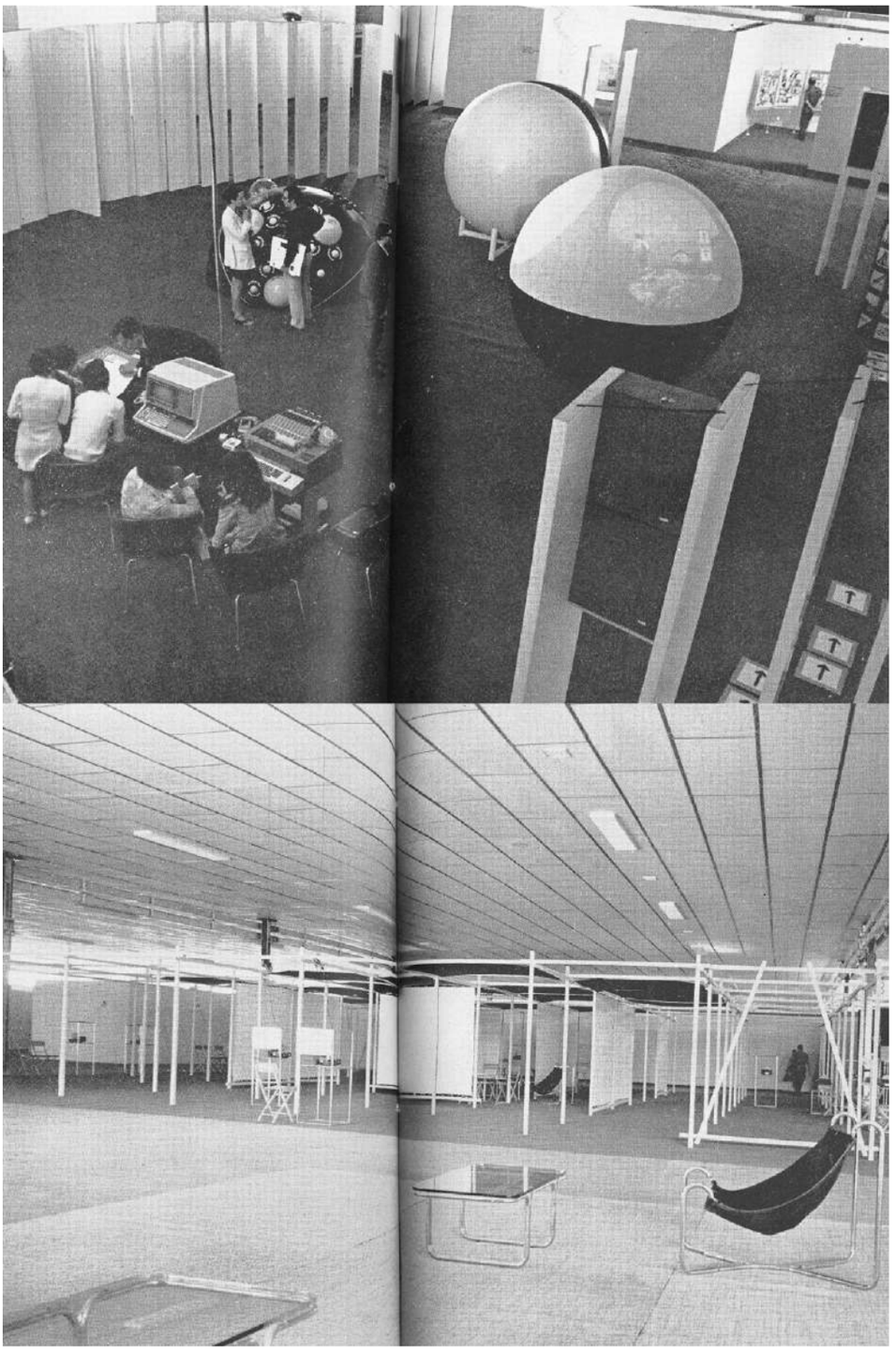


Fig. 4 | The exhibition of the group coordinated by Herbert Ohl on 'Leisure', featuring Univac's 1108 electronic computer, presented at the First International Biennial of Global Design Methodology 'The Forms of the Human Environment', Rimini, 1970 (source: Strutture Ambientali, no. 4-5, 1970).

Next page

Fig. 5 | The evolutionary role of mediators in human organisations (credit: the Authors, 2024).

tion presents case studies that demonstrate the impact of AAA, highlighting opportunities for designers. The article concludes with a reflection on the future of AAA, inviting designers to adopt a responsible and aware approach in their adoption and development, summarising the key points discussed and suggesting directions for future research and applications.

Continuity with the past | In mechanical form, artificial 'automata' have existed since antiquity as machines that perform a series of actions sequentially, following specific rules. Key developments mark the recurrence of this theme, which is closely linked to the fascination of designers and inventors (Fig. 1). The historian of science and technology Vittorio Marchis (2005) reconstructed some of these fundamental moments: the complex theories of Vitruvius' De Architectura, in continuity with the Greek and Hellenistic traditions (particularly the Automata and Spiritalia by Heron); the imagination inherent in the medieval tradition, inclined to depict the grand circus of 'wonders' with fantastic settings and extravagant tastes, a tradition partially revisited during the Renaissance (consider figures like Leonardo), from which a close relationship with the functions of the human body was established. As Nicolas P. Maffei (2001) argues, the idea of the technological body is not new: in 1637, René Descartes developed a notion of the human machine by comparing mechanical / artificial automata (homunculi) with the living machines of nature, where only the human machine is endowed with reason and speech, and therefore reveals a soul (Fig. 2).

The advent of computer science, the introduction of cybernetics, and the use of discrete mathematics in the mid-20th century finally transformed abstract machines into problem-solving tools. The first computers allowed machines to make predictions and respond to environmental inputs (Fig. 3), leading to actual design and inaugurating a phase in the relationship between machines and humans that Manovich (2010), theorist of the 'software society', describes as 'integrated'. The 1970s in the USA saw the emergence of 'environmental design', an approach in which the programming of machines and qualitative-quantitative analysis intertwined with the designer's work (Fig. 4), foreshadowing, in some aspects, the later 'makers' movement, with the use of new technologies to customise artefacts and the environment (Pone, 2022).

Since the late 1980s, authors like Antonio Caronia (1991), Bruce Sterling (1992) and Derrick De Kerchove (1992) have explored the relationship between technology, the human body, and behaviour, developing a new discussion around 'cyborgs'. These pioneering studies, along with later philosophical interpretations (Floridi, 2014; Accoto, 2020), highlight how AAA is not merely the result of building machines but of a new and complex perspective on producing our reality and interacting with the surrounding environment, into which the innovative thrust of design is also embedded (Manovich, 2019; Cattabriga and Joler, 2023).

Current market and technological context | AAA (Autonomous Artificial Agents), which have evolved from simple reactive programs to complex systems with memory, learning capabilities, and the ability to pursue long-term goals, can now operate independently in various fields, from social media management to creative writing. The model of the relationship between production and consumption used to analyse this technological, social, and economic revolution is based on two levels of analysis.

The first level includes three poles: producers of energy / goods / services, producers of knowledge, and consumers (Fig. 5a). In primitive societies, the members of a 'tribe' fulfilled all roles, but with social and productive evolution, these poles separated, requiring greater specialisation and new intermediaries, such as technicians, economists, and intellectuals, as illustrated in Figure 5b.

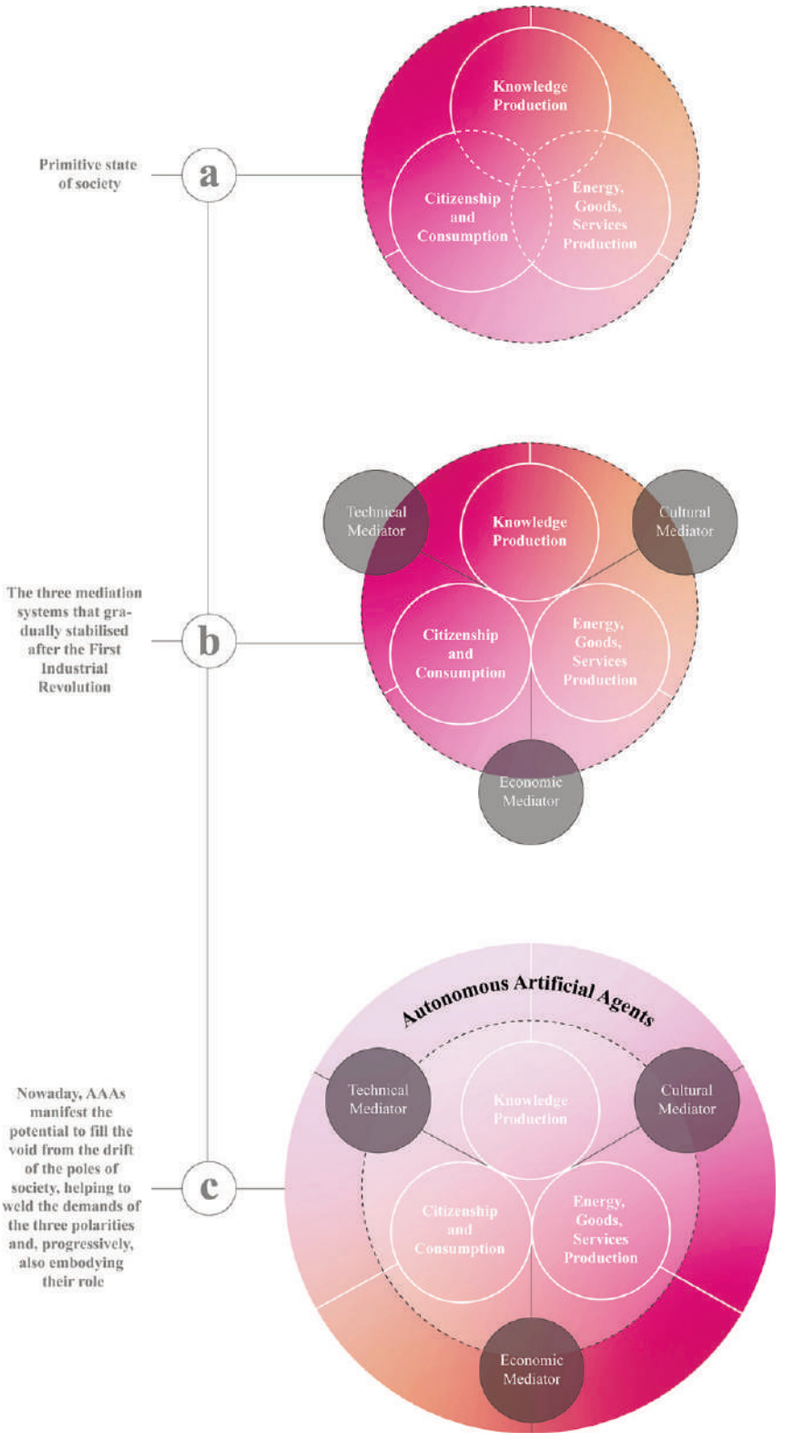
The second level represents the system of governance and control; with the advent of enabling technologies and generative AI (Fig. 5c), a new transformation emerges: AAA progressively replace some human functions, improving the efficiency and precision of interactions between society's poles. These agents facilitate communication and increasingly in-

fluence and automate decision-making and production processes. In this new paradigm, AAAs emerge as digital mediators and can be classified into various functional types (Dodig-Crnkovic and Burgin, 2024; Tab. 1):
– Simple agents, which react instantly to perceptions without processing or memory of past events;
– Agents with memory, which maintain an internal state reflecting past experiences, allowing them to adapt to similar future situations;
– Goal-based agents, which are guided by specific objectives, working to achieve them while actively managing state information;
– Utility-based agents, which operate according to principles of rationality and optimisation, based on utility theory;
– Physical agents, including humans, animals, and robots, which can be biological, artificial, or hybrid;
– Virtual agents, which exist in digital or simulated environments, including software and cognitive processes;
– Structural agents, which function within data processing systems or networks, operating similarly to a Turing machine.

From this classification, it is clear that AAAs are an essential component of the 'machine economy', an economic system in which intelligent machines autonomously perform tasks and interact with each other through Machine-to-Machine communications (Panarello et alii 2018; Jöhnk et alii, 2021; Hartwich et alii, 2023; Duda et alii, 2024; Nestorovic and Radicevic, 2018). Equipped with AI and advanced digital technologies, these agents can make decisions, learn, and adapt independently through smart contracts[1] (Zou et alii, 2021; Vacca et alii, 2021), reducing human intervention and increasing operational efficiency. As such, they become autonomous business entities capable of acting independently of human day-to-day decision-making (Reyes, 2021) and can function as primary economic actors, not just agents (Schuetz and Venkatesh, 2020).

The introduction of 'machine customers' (Scheibenreif and Raskino, 2023) – i.e., the growing presence of AAA that replace consumers by making decisions that generate market exchanges – represents another innovation this article focuses on: after automating production, consumption is automated, changing the traditional concept of human users. These automated customers driven by AI can make purchases and negotiate transactions autonomously, expanding the market and presenting new challenges and opportunities for companies. Scheibenreif and Raskino (2023) further extend the concept to the 'programmable economy', a system where business decisions and monetary mechanisms are programmable, powered by digital assets such as tokens[2] and Decentralized Autonomous Organizations – DAO[3]; Wang et alii, 2019; Hassan and De Filippi, 2021; Santana and Albareda, 2022; Van Kerckhoven and Chohan, 2024). Furlonger and Uzreau (cit. in Scheibenreif and Raskino, 2023, p. 60) estimate that this economy could generate up to 163 trillion dollars in added value by 2030 (Tab. 2).

These developments are also transforming the field of design, pushing designers to consider both human needs and those of autonomous machines. The emerging paradigm radically changes their role, requiring them to operate in a context where physical and digital elements are integrated (Di Dio et alii, 2022). Since designs must adapt to both humans and machines, while also considering the environment and other life forms, the growing technological complexity compels designers to develop advanced and critical skills to navigate the challenges of automation. This dimension is where the originality of this article lies (Fig. 6).



Methodology | This study adopts a hybrid methodology that combines a state-of-the-art analysis on the subject with the examination of two case studies, used as experimental spaces to test the challenges raised in the literature with those derived from field analysis. The analysis in the previous paragraphs highlighted the theoretical and practical evolution of AAAs, examining key contributions with implications in AI, robotics, and integrated design. This critical reading allows for the contextualisation of recent innovations within the broader framework of emerging technologies and their socioeconomic implications.

The following sections describe two case studies developed in collaboration with leading Italian industries, selected for the relevance and validity of the data. The primary sources come from direct collaborations between universities and companies, which offered privileged access to internal documents and interviews with design and management teams. The reference period (2019-2023) reflects the progressive adoption of AAA in business processes; the

Type of AAA	Functional Description	Key Features
Simple Agents	They react instantly to perceptions without memory of past events	Immediate responses, no memory or learning
Agents with Memory	They maintain an internal state that reflects past experiences, enabling them to adapt to similar situations	Adaptation based on past experience, learning ability
Goal-Based Agents	Guided by specific goals, they work to achieve them by actively managing status information	Planning and managing resources to achieve goals
Utility-Based Agents	They operate on principles of rationality and optimisation, based on utility theory	Decision optimization, utility maximization
Physical Agents	They include humans, animals and robots, both biological and artificial or hybrid	Interaction with the physical environment, operational and adaptive skills
Virtual Agents	They operate in digital or simulated environments, including software and cognitive processes	Existence in virtual spaces, data manipulation and processes
Structural Agents	They function within data processing systems or networks, operating as Turing machines	Computational skills and operations on data networks

Tab. 1 | Classification of AAA by functional types (credit: the Authors, 2024).

Opportunity / advantage	Description	Benefits for the Company
Complete Automation	Automation of repetitive and complex processes	Reducing operating costs and increasing efficiency
Process Optimisation	Continuous improvement based on real-time data analysis	Increased productivity and reduced waste
Service Customisation	Adapting products and services to customer needs through AAAs	Increased customer satisfaction and loyalty
Adaptability to Variables	Ability to adapt in real time to environmental or operational changes	Increased flexibility and market competitiveness
Improved Decision Making	Faster and more accurate decisions based on advanced algorithms	Reducing errors and increasing accuracy

Tab. 2 | Opportunities and Advantages of AAA (credit: the Authors, 2024).

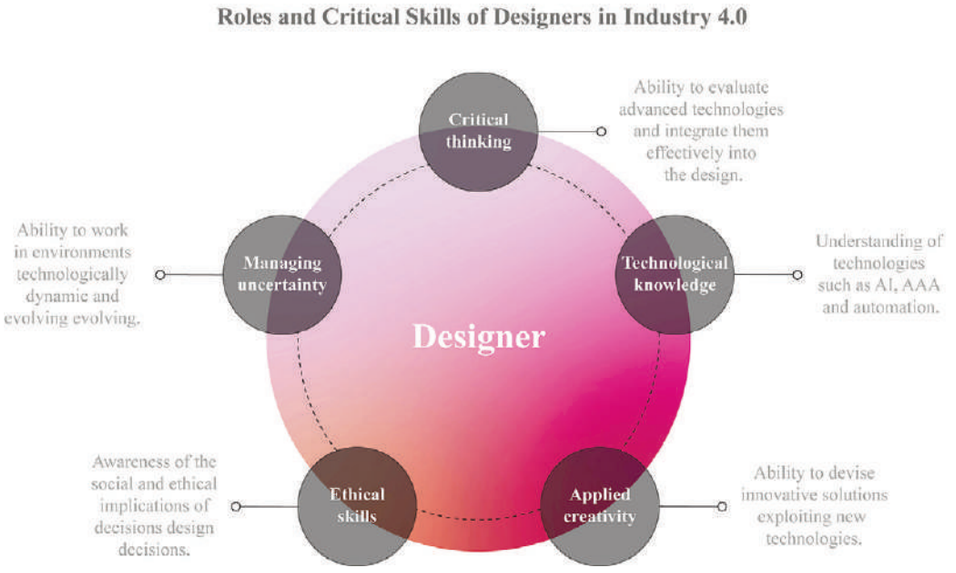


Fig. 6 | Critical roles and competencies of designers in Industry 4.0 (credit: the Authors, 2024).

Next page

Fig. 7 | Matrix of projects developed during experimental research with Rolleri Group (credit: V. De Matteo, PM Advanced Design Unit, University of Bologna, 2023).

Figg. 8-10 | Design scenarios for human-machine interaction in hydronic terminals developed for Galletti (credits: A. Calleo, PM Advanced Design Unit, University of Bologna, 2023).

Fig. 11 | Aeronic terminal project for suspended ceilings, which governs perceptual synesthesia with a single AI-powered device that autonomously collects and manages environmental responses appropriate to the usage and population within the managed space (credit: A. Calleo, PM Advanced Design Unit, University of Bologna, 2023).

Tab. 3 | Case Study Analysis: Galletti and Rolleri.

cases focus on the integration of AAA in Industry 4.0 and automation, highlighting both benefits and challenges, and offer a direct comparison between theory and practice, contributing to a deeper understanding of their impact on contemporary design.

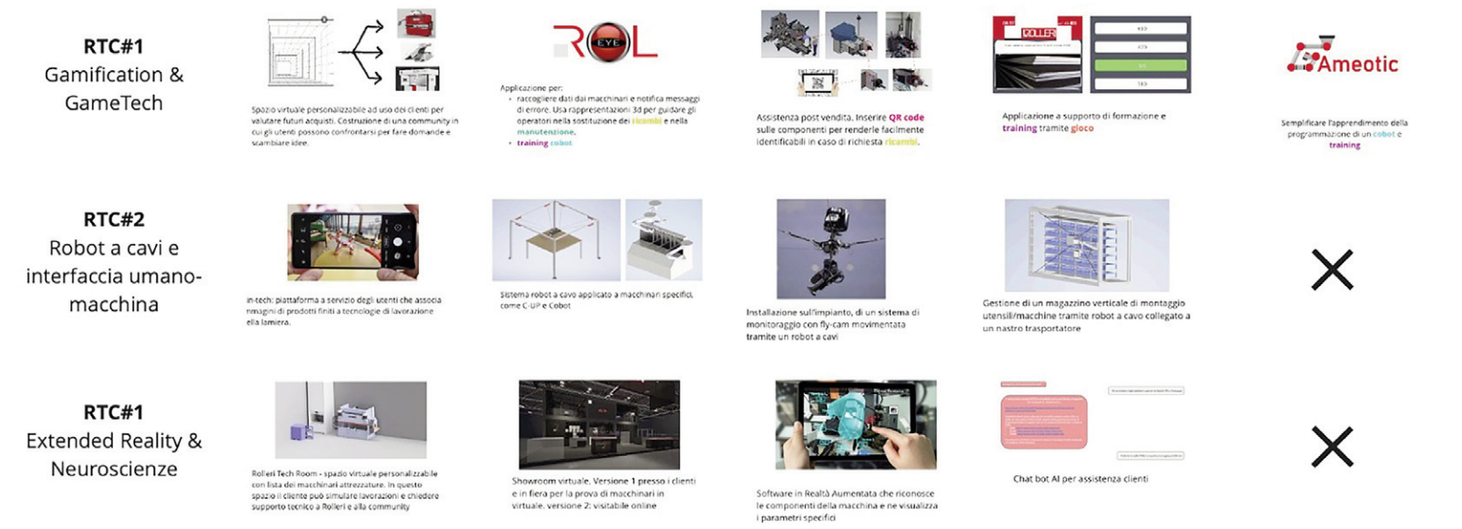
The experiences of Rolleri and Galletti | Between 2019 and 2023, the Advanced Design Unit of the University of Bologna coordinated several activities commissioned by companies seeking to leverage university research to broaden the scope of product, service, and process innovation, with a medium-term perspective. The cases cited share the practical experimentation of innovation projects driven by design. The analysis below shows that Italian companies are adopting AAAs and actively collaborating with academic research, which serves as a bridge between advanced technologies and market needs.

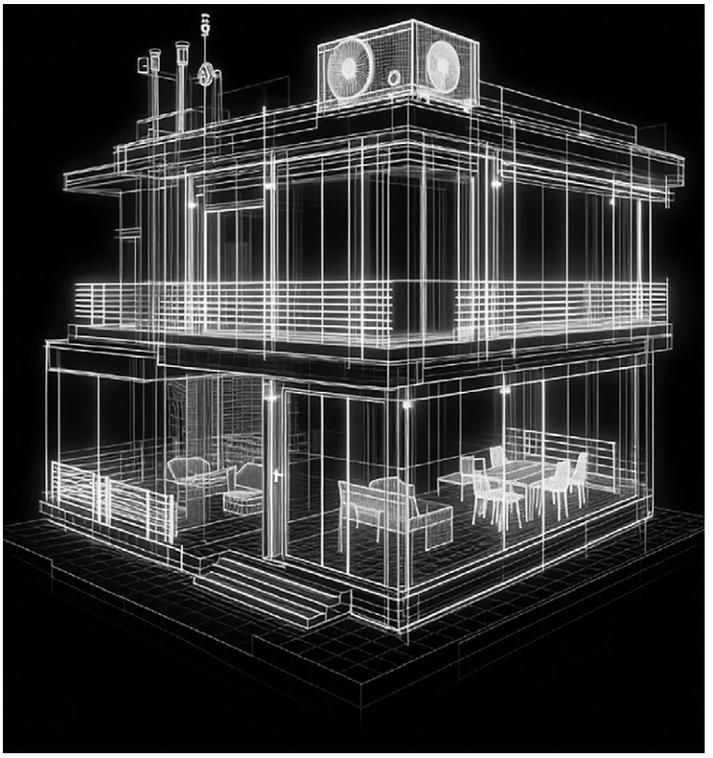
The first case involves Rolleri (Piacenza, IT), an industrial group comprising about ten B2B production units, specialising in metalworking and collaborative robotics, serving companies that produce metal products. The group initiated a 36-month innovation program to develop the company with new projects and integrate advanced technologies into its current business (Fig. 7).

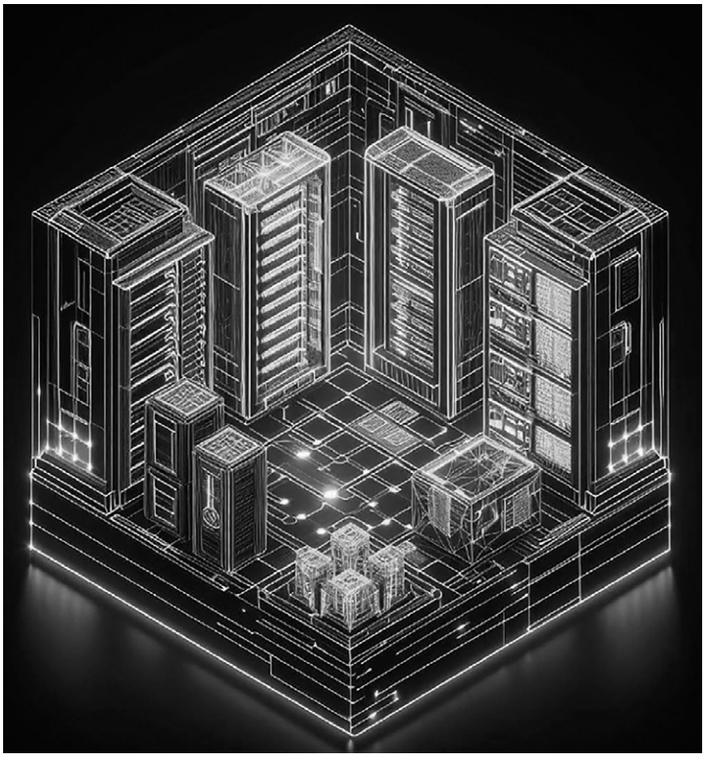
A notable result of this process was the development of a chatbot to assist metalworking SMEs (customers) in drafting estimates, automating processes, and customising the tools needed for the supply to be quoted. The data collected from the estimates, understood as informed intelligence, subsequently allowed Rolleri to analyse production costs and explore the idea, currently under development, of an automated marketplace capable of bypassing the supplier, where the AAA optimises procurement and customer service decisions based on variables such as distance, machine / tool availability, and processing costs.

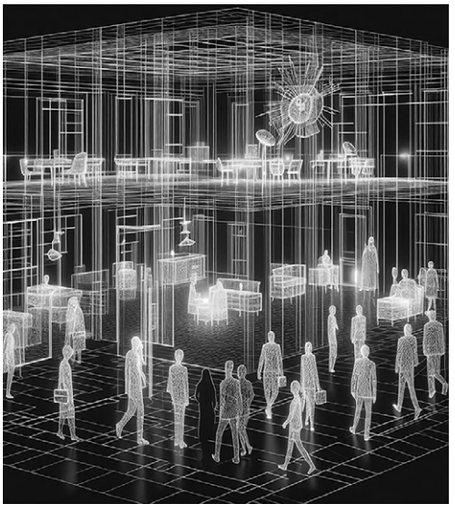
The second case concerns a project for Galletti (Bentivoglio, Bologna, IT), a producer of air conditioning systems, which developed, in collaboration with the Advanced Design Unit of the University of Bologna, hydronic terminals (fan coils) capable of becoming AAA concerning the decisions of both the manufacturer and the customer, autonomously adapting to internal and external conditions (Figg. 8-11).

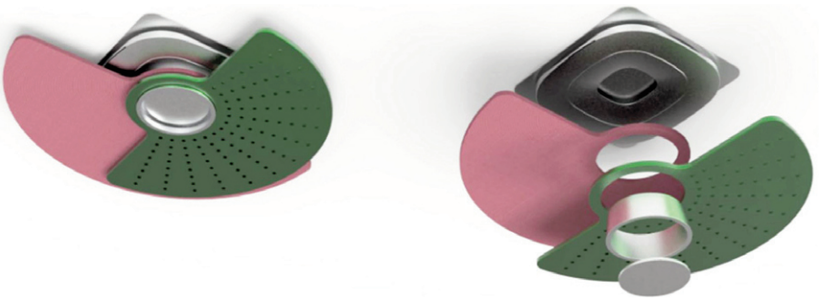
Essentially, the terminals collect a large amount of data regarding indoor activities and occupations, as well as outdoor environmental conditions, to mediate various decisions. From the ability to close the building's porosity to external air in case of increased pollution levels as recorded by Google's territorial monitoring, to the management of external-internal noise (to enhance positive permeability and neutralise unwanted negative sounds), temperature and relative humidity, to using the terminal as a sound ampli-











Company	Sector	Innovation Implemented	Result
Rolleri	Metalworking and collaborative robots	Development of chatbots to automate quotes	Improved efficiency in product customisation
Galletti	Air conditioning	Hydronic terminals with autonomous adaptive capacity	Improved management of environmental comfort and energy resources

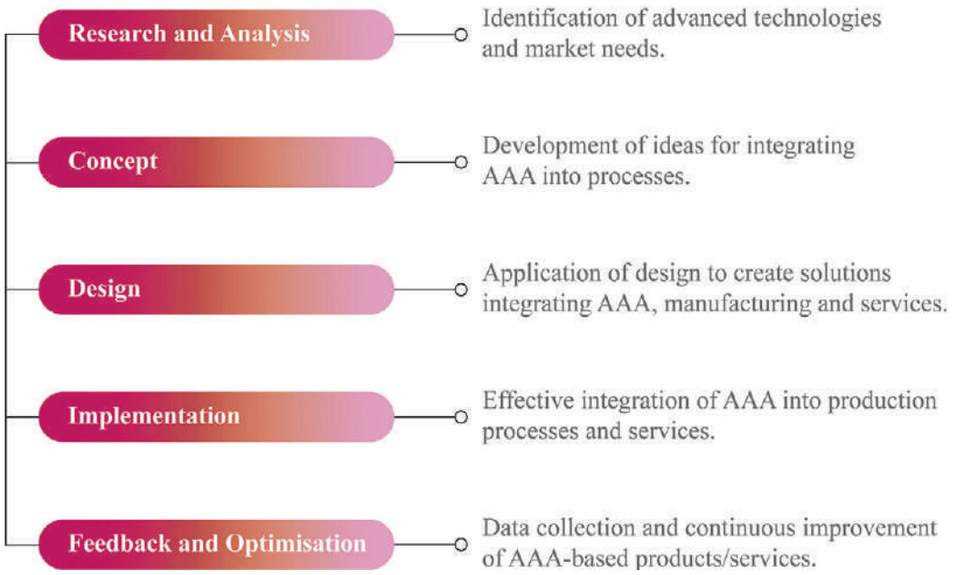


Fig. 12 | Innovation process in design with AAA (credit: the Authors, 2024).

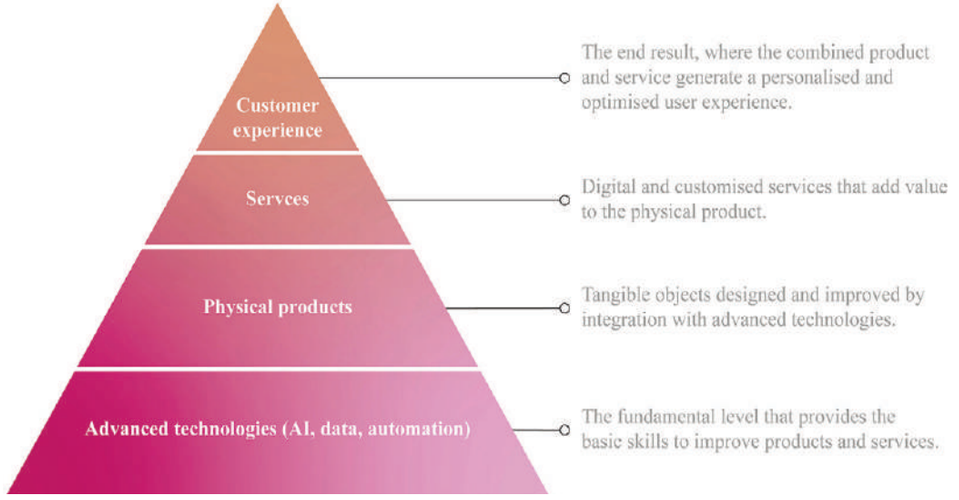


Fig. 13 | Integration of technologies in Product Service System Design (credit: the Authors, 2024).

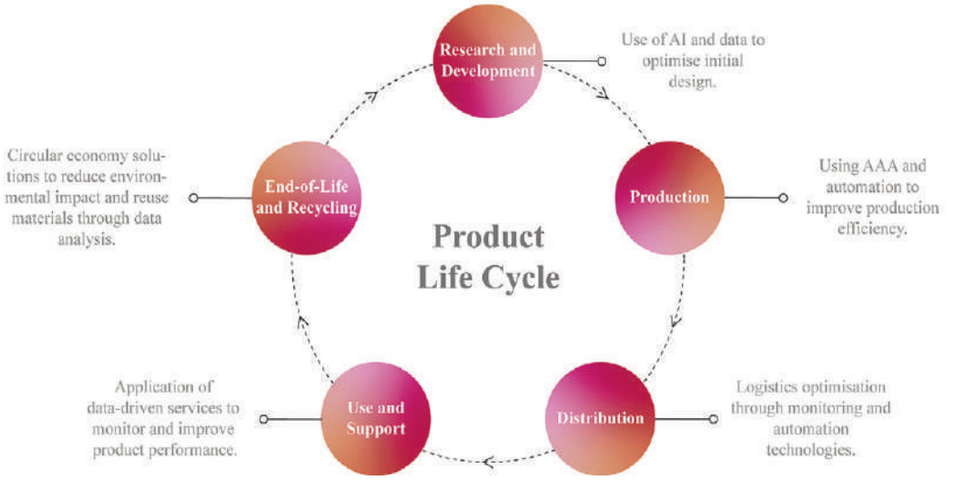


Fig. 14 | Product life cycle with advanced technologies (credit: the Authors, 2024).

fier, video recorder in rooms, or security agent against intrusion. Thus, each room within the living or working system becomes equipped with a single machine essential for habitability, with a gradient of technology and autonomy that can be negotiated or left free to act, continuously optimising environmental performance (Tab. 3).

The implementation of AAAs is hindered by challenges such as technological compatibility with IT systems, which require costly updates, and the lack of adequate technical skills; data management also raises concerns about security, privacy, and regulatory compliance, while the ethical and social implications necessitate reflection on the transparency and accountability of autonomous decisions.

Conclusions | The Italian market for design innovation in products and processes is ready to integrate advanced technologies from the data economy and AI, and university research can act as a catalyst, mediating between these technologies and market needs. The Product Service System approach effectively addresses both material and immaterial aspects, as confirmed by the case studies of Rolleri and Galletti, where AAAs enrich the offerings and transform design, merging the physical and digital.

However, designers must develop advanced skills to tackle ethical and technical challenges, acting as mediators between innovation and sustainability, particularly in the fuzzy front end of innovation, referred to as 'advanced design problems'. This study highlights how the Italian market is mature for integrating next-generation AAA and the data economy with design-driven approaches, innovating processes: in fact, AAA improve products and transform design, combining physical and digital elements in a unified ecosystem (Figg. 12-14).

The future potential of AAA, especially as 'machine customers', could revolutionise consumption and production models. However, adopting these technologies is still in its early stages and requires further research to explore opportunities and challenges fully. It is crucial for professionals to adopt a critical and proactive approach, participating in living labs and pilot projects to experiment with and adapt to emerging technologies. Future research should investigate the interaction between design, AI, and sustainability to define new product and service development paradigms in the era of intelligent machines. In conclusion, the study confirms the potential of Design Thinking and Advanced Design in implementing AAA: this goal is desirable for small and medium-sized enterprises with an as-yet immature level of technological awareness.

Acknowledgements

This study is conducted within the framework of the Extended Partnership MICS (Made in Italy Circolare e Sostenibile), funded by the European Union – NextGenerationEU – National Recovery and Resilience Plan (NRRP) – Mission 4, Component 2, Investment 1.3 – D.D. 1551.11-10-2022, PE00000004. The views and opinions expressed are solely those of the Authors and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Commission. Neither the European Union nor the European Commission can be held responsible for them.

This paper results from a shared reflection by the Authors. Nevertheless, the paragraph 'Continuity with the past' is attributed to E. Formia, the paragraphs 'Current market and technological context' as well as 'Conclusions' to G. Casoni, and the paragraphs 'Methodology' and 'The experiences of Rolleri and Galletti' to F. Celaschi.

Notes

1) Smart contracts automate procedures and reduce the need for human intervention. They are self-executing programs that activate when specific conditions are met, facilitating operations such as payments, service agreements, and even automated management decisions within a DAO.

2) Tokens are digital tools representing values or assets in digital format on the blockchain; they can be used for various purposes, including payment for services or the purchase of goods by machine customers, as well as serving as a mechanism for transferring ownership or rights. Cryptography ensures that transactions are secure and that tokens cannot be duplicated or forged.

3) DAOs (Decentralized Autonomous Organizations) are fully automated organisations governed by programming code distributed on a blockchain. Machine customers can operate under the guidance of a DAO, executing transactions and operations based on predefined rules without human oversight. DAOs can also allow machine customers to make collective decisions, such as in resource allocation or strategic management.

References

Accoto, C. (2020), "Mani, menti, mercati", in Bordoni, C. (ed.), *Il primato delle tecnologie – Guida per una nuova iperumanità*, Mimesis, Milano, pp. 19-30.

Barbero, S. and Ferrulli, E. (2023), "Transizione Ecologica e Digitale – Il Design Sistemico nei processi di innovazione aperta delle PMI | Ecological and Digital Transition – Systemic Design in SMEs open innovation processes", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 269-280. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13232023 [Accessed 20 September 2024].

Caronia, A. (1991), *Il cyborg – Saggio sull'uomo artificiale*, Theoria, Roma.

Cattabriga, A. and Joler, V. (2023), "Decentring Design With AI", in *DIID | Disegno Industriale Industrial Design*, vol. 80, pp. 10-19. [Online] Available at: doi.org/10.30682/diid8023a [Accessed 20 September 2024].

Dattathrani, S. and De', R. (2023), "The Concept of Agency in the Era of Artificial Intelligence – Dimensions and Degrees", in *Information Systems Frontiers*, vol. 25, pp. 29-54. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s10796-022-10336-8 [Accessed 20 September 2024].

De Kerchove, D. (1992), *Brainframes – Mente, tecnologia, mercato*, Baskerville, Bologna.

Di Dio, S., Inzerillo, B., Monterosso, F. and Russo, D. (2022), "Design e Trandizione Digitale – Nuove sfide design-driven per l'innovazione tecno-sociale | Design and Digital Transition – New design-driven challenges for techno-social innovation", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 212-225. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12192022 [Accessed 20 September 2024].

Dodig-Crnkovic, G. and Burgin, M. (2024), "A Systematic Approach to Autonomous Agents", in *Philosophies*, vol. 9, issue 2, article 44, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.3390/philosophies9020044 [Accessed 20 September 2024].

Duda, S., Stoetzer, J.-C., Guggenberger, T. and Urbach, N. (2024), "Understanding the Machine Economy – Combining Findings from Science and Practice", in *International Journal of Innovation and Technology Management*, vol. 21, issue 4, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.1142/S0219877024500342 [Accessed 20 September 2024].

Floridi, L. (2014), *The 4th Revolution – How the infosphere is reshaping human reality*, Oxford University Press, Oxford.

Franklin, S. and Graesser, A. (1997), "Is It an Agent, or Just a Program? A Taxonomy for Autonomous Agents", in Müller, J. P., Wooldridge, M. J. and Jennings, N. R. (eds), *Intelligent Agents III – Agent Theories, Architectures, and Languages – ECAI'96 Workshop (ATAL), Budapest, Hungary, August 12-13, 1996 – Proceedings*, Lecture Notes in Computer Science, vol. 1193, Springer, Berlin-Heidelberg, pp. 21-35. [Online] Available at: doi.org/10.1007/BFb0013570 [Accessed 20 September 2024].

Hartwich, E., Rieger, A., Sedlmeir, J., Jurek, D. and Fridgen, G. (2023), "Machine economies", in *Electronic Markets*, vol. 33, article 36, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s12525-023-00649-0 [Accessed 20 September 2024].

Hassan, S. and De Filippi, P. (2021), "Decentralized Autonomous Organization", in *Internet Policy Review*, vol. 10, issue 2, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.14763/2021.2.1556 [Accessed 20 September 2024].

Jöhnk, J., Albrecht, T., Arnold, L., Guggenberger, T., Lämmermann, L., Schweizer, A. and Urbach, N. (2021), "The rise of the machines – Conceptualizing the machine economy", in Vogel, D., Ning Shen, K and Shan Ling, P. (eds), *PACIS 2021 – Proceedings of the 25th Pacific Asia Conference on Information Systems, Dubai, UAE, July 12-14, 2021*, pp. 1-14. [Online] Available at: fim-rc.de/Paperbibliothek/Veroeffentlicht/1319/wi-1319.pdf [Accessed 20 September 2024].

Lage, O. (2019), "Blockchain – From Industry 4.0 to the Machine Economy", in Thomas, C., Fraga-Lamas, P. and Fernández-Caramés, T. M. (eds), *Computer Security Threats,* IntechOpen, London. [Online] Available at: dx.doi.org/10.5772/intechopen.88694 [Accessed 20 September 2024].

Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T. and Hoffmann, M. (2014), "Industry 4.0", in *Business & Information Systems Engineering*, vol. 6, pp. 239-242. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4 [Accessed 20 September 2024].

Maffei, N. P. (2001), "Introduction", in *Journal of Design History*, vol. 14, issue 4, pp. 253-255. [Online] Available at: doi.org/10.1093/jdh/14.4.253 [Accessed 20 September 2024].

Manovich, L. (2019), *AI Aesthetics*, Strelka Press, Moscow. [Online] Available at: manovich.net/content/04-projects/172-ai-aesthetics/manovich.ai_aesthetics_2018.pdf [Accessed 20 September 2024].

Manovich, L. (2010), *Software Culture*, Edizioni Olivares, Milano.

Marchis, V. (2005), *Storia delle macchine – Tre millenni di cultura tecnologica*, Laterza, Roma-Bari.

Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. and Behrens, W. W. III (1972), *I Limiti Dello Sviluppo – Rapporto del System Dynamics Group Massachusetts Institute of Technology (MIT) per il progetto del Club di Roma sui dilemmi dell'umanità*, Edizioni Scientifiche e Tecniche Mondadori.

Nestorović, M. and Radicevic, D. T. (2018), "Machine Economy", in Hammes, K., Klopotan, I. and Nestorović, M. (eds), *Economic and Social Development – 30th International Scientific Conference – Book of Proceedings, Belgrade, 25-26 May 2018*, Varazdin Development and Entrepreneurship Agency, pp. 204-210. [Online] Available at: researchgate.net/publication/343452338_Machine_Econom. [Accessed 20 September 2024].

Panarello, A., Tapas, N., Merlino, G., Longo, F. and Puliafito, A. (2018), "Blockchain and IoT integration – A Systematic Survey", in *Sensors*, vol. 18, issue 8, pp. 1-37. [Online] Available at: doi.org/10.3390/s18082575 [Accessed 20 September 2024].

Pone, S. (2022), "Maker – Il ritorno dei costruttori – Una possibile transizione digitale per l'Architettura | Maker – The return of the builders – A possible digital transition for Architecture", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 14-23. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1212022 [Accessed 20 September 2023].

Reyes, C. L. (2021), "Autonomous Business Reality", in *Nevada Law Journal*, vol. 21, issue 2, pp. 437-490. [Online] Available at: scholars.law.unlv.edu/nlj/vol21/iss2/2 [Accessed 20 September 2024].

Rigillo, M., Galluccio, G. and Paragliola, F. (2023), "Digitale e circolarità in edilizia – Le KETs per la gestione degli scarti nell'Unione Europea | Digital and circularity in building – KETs for waste management in the European Union", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 247-258. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13212023 [Accessed 20 September 2024].

Santana, C. and Albareda, L. (2022), "Blockchain and the emergence of Decentralized Autonomous Organizations (DAOs) – An integrative model and research agenda", in *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 182, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121806 [Accessed 20 September 2024].

Scheibenreif, D. and Raskino, M. (2023), *When Machines Become Customers – Ready or not, AI enabled non-human customers are coming to your business – How you adapt will make or break your future*, Gartner Inc., Stamford.

Schlicht, M. (2023), "The Complete Beginners Guide to Autonomous Agents – Everything you need to know", in *Matt Schlicht's AI Newsletter*, 08/04/23. [Online] Available at: mattprd.com/p/the-complete-beginners-guide-to-autonomous-agents [Accessed 20 September 2024].

Schuetz, S. and Venkatesh, V. (2020), "Research Perspective – The rise of human machines – How cognitive computing systems challenge assumptions of user-system interaction", in *Journal of the Association for Information Systems*, vol. 21, issue 2, article 2, pp. 460-482. [Online] Available at: doi.org/10.17705/1jais.00608 [Accessed 20 September 2024].

Schwab, K. (2017), *The Fourth Industrial Revolution,* Random House, New York.

Sterling, B. (1992), *The hacker crackdown – Law and disorder on the electronic frontier*, Bantam Books, New York.

Vacca, A., Di Sorbo, A., Visaggio, C. A. and Canfora, G. (2021), "A systematic literature review of blockchain and smart contract development – Techniques, tools, and open challenges", in *Journal of Systems and Software*, vol. 174, article 110891, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jss.2020.110891 [Accessed 20 September 2024].

Van Kerckhoven, S. and Chohan, U. W. (eds) (2024), *Decentralized autonomous organizations – Innovation and vulnerability in the digital economy*, Taylor & Francis, London.

Wang, S., Ding, W., Li, J., Yuan, Y., Ouyang, L. and Wang, F.-Y. (2019), "Decentralized Autonomous Organizations – Concept, model, and applications", in *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, vol. 6, issue 5, pp. 870-878. [Online] Available at: doi.org/10.1109/TCSS.2019.2938190 [Accessed 20 September 2024].

Wooldridge, M. and Jennings, N. R. (1995), "Intelligent agents – Theory and practice", in *The Knowledge Engineering Review*, vol. 10, issue 2, pp. 115-152. [Online] Available at: doi.org/10.1017/S0269888900008122 [Accessed 20 September 2024].

Zou, W., Lo, D., Kochhar, P. S., Le, X.-B. D., Xia, X., Feng, Y., Chen, Z. and Xu, B. (2021), "Smart contract development – Challenges and opportunities", in *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 47, issue 10, pp. 2084-2106. [Online] Available at: doi.org/10.1109/TSE.2019.2942301 [Accessed 20 September 2024].

DESIGN
Research & Experimentation

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 16 | 2024 | pp. 344-353
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/16292024

Article Info

Received 10 September 2024
Revised 09 October 2024
Accepted 10 October 2024
Published 30 December 2024

VERBAL DESIGN MODELLING
Complessità, IA e innovazione di prodotto

VERBAL DESIGN MODELLING
Complexity, AI and product innovation

Jacopo Mascitti, Davide Paciotti

Abstract

Il costante aumento di strumenti per la generazione di contenuti tramite l'Intelligenza Artificiale (IA) sta influenzando e influenzerà sempre più l'ambito del design. Il contributo analizza l'applicazione della tecnologia IA di conversione del testo in immagini nello specifico campo del design di prodotto e in particolare nella fase di sviluppo dei concept iniziali, intravedendo implicazioni significative per l'innovazione dei prodotti industriali: per la prima volta il designer può essere affiancato dalla tecnologia nella fase di concezione del prodotto, anziché in una fase successiva. Viene presentato e discusso un approccio sperimentale, chiamato Verbal Design Modelling (VDM), per lo sviluppo di concept di prodotti innovativi tramite l'impiego di software IA dal-testo-alla-immagine, il cui obiettivo è rendere gestibile la complessità dell'interazione IA-designer in questo specifico contesto.

The constant increase in tools for content generation through Artificial Intelligence (AI) is influencing and will increasingly impact the design field. This paper analyses the application of AI technology for text-to-image conversion in the specific area of product design, particularly during the development of initial concepts, identifying significant implications for innovation in industrial products. For the first time, technology can assist designers in the product conception phase, rather than in a later stage. An experimental approach, called Verbal Design Modelling (VDM), is presented and discussed. It aims to develop innovative product concepts through AI text-to-image software, to manage the complexity of AI-designer interaction in this specific context.

Keywords

disegno industriale, intelligenza artificiale, innovazione di prodotto, modellazione verbale, midjourney

industrial design, artificial intelligence, product innovation, verbal modelling, midjourney

Jacopo Mascitti, Designer, Architect, and PhD, is a Researcher at the School of Architecture and Design, University of Camerino (Italy). His research primarily focuses on Industrial Design, particularly in innovation processes related to environmental sustainability, bio-inspiration, safety, and artificial intelligence. Mob. +39 328/48.36.758 | E-mail: jacopo.mascitti@unicam.it

Davide Paciotti, Designer and PhD, is a Researcher at the School of Architecture and Design, University of Camerino (Italy). His research primarily focuses on Industrial Design, with a particular interest in the evolutionary processes resulting from the interaction between rapid production technologies, generative parametric modelling, and artificial intelligence. Mob. +39 333/93.05.441 | E-mail: davide.paciotti@unicam.it

Secondo ChatGPT4 i sistemi basati sull'Intelligenza Artificiale sono capaci di eseguire compiti che, se svolti da esseri umani, richiederebbero appunto intelligenza. Questi includono il riconoscimento di immagini, la comprensione del linguaggio naturale, il processo decisionale e la risoluzione di problemi complessi. L'AI si basa su tecniche come l'apprendimento automatico (machine learning), in cui i sistemi apprendono dai dati per migliorare le proprie prestazioni nel tempo, e l'elaborazione del linguaggio naturale (NLP) che consente la comunicazione tra macchine e umani in modo più naturale.[1]

Recentemente l'IA è emersa quale potente strumento per la progettazione industriale. I modelli e gli strumenti basati sull'IA possono essere utilizzati per automatizzare attività, generare nuove idee e migliorare l'efficienza e l'efficacia del processo di progettazione. La maggioranza dei sistemi di IA disponibili commercialmente sfruttano tre modelli di apprendimento automatico: 'supervisionato', 'non supervisionato' e 'apprendimento di rinforzo' (Verganti, Vendraminelli and Iansiti, 2020): il primo è in grado di analizzare un'immagine ed etichettarla, differenziando, ad esempio, la foto di un cane da quella di un gatto; il secondo è in grado di trovare raggruppamenti 'naturali' e definire associazioni spontanee tra le diverse immagini, ovvero relazionare i contenuti per caratteri condivisi, creando degli insiemi tematici; il terzo, partendo da un singolo dato (l'immagine di un gatto) e una funzione di prestazione, è in grado di sondare lo spazio intorno al punto di partenza, usando come feedback, per comprendere se ha migliorato o peggiorato le prestazioni del risultato, le successive interazioni. Quest'ultimo modello è assimilabile a un vero e proprio processo di progettazione tradizionale, in cui è noto il punto di partenza ma sconosciuto il punto di arrivo.

Dopo essere stata debitamente addestrata, l'IA può gestire in autonomia compiti ripetitivi e altamente complessi (Tsang and Lee, 2022), consentendo ai progettisti di efficientare attività specifiche sia nella fase di sviluppo del progetto, come ad esempio la selezione dei materiali (Merayo, Rodríguez-Prieto and Camacho, 2019) e l'ottimizzazione di risorse e processi (Liu, Tian and Kan, 2022), che di progettazione esecutiva, attraverso la creazione automatizzata di rendering o disegni. In questo modo il designer può concentrarsi sugli aspetti più complessi del lavoro e su attività maggiormente creative e strategiche per la buona riuscita del progetto, quali lo sviluppo del concept e il sensemaking (Madsbjerg, 2019). È proprio in queste fasi cruciali che ancora oggi il ruolo dell'IA è in corso di definizione: utilizzando modelli generativi (Generative Artificial Intelligence – GAI), l'IA può fornire al designer soluzioni progettuali 'visive', sulla base di un prompt[2] elaborato dall'uomo.

Si va materializzando la figura di un 'virtual design assistant', avanzata da Sang-Gook Kim (et alii, 2019) e dal suo gruppo di ricerca del Massachusetts Institute of Technology, che sia in grado di aiutare il designer nelle fasi iniziali della progettazione: una soluzione d'intelligenza ibrida (Kamar, 2016) finalizzata a superare la progettazione di routine e a generare idee, in cui l'intelligenza umana collabora con quella artificiale.

Tuttavia persistono alcune limitazioni e sfide associate all'IA generativa impiegata in questa specifica fase progettuale nell'ambito del design industriale, poiché può essere difficile controllare le caratteristiche e la qualità dei risultati prodotti o, per meglio specificare, l'aderenza ai requisiti e ai vincoli del progetto e, dunque, all'idea e alle aspettative del progettista. Allo stesso tempo l'ennesima rivoluzione tecnologica introdotta dall'IA impone un riesame dei tradizionali approcci e un aggiornamento della pratica progettuale, per consentire al designer di mantenere la propria efficacia nello strutturare esperienze d'uso piacevoli, utili e positive (Casiddu et alii, 2022).

Le sperimentazioni fin qui condotte evidenziano come l'impiego di sistemi neurali nell'ambito della pratica e della didattica del Design consentano di aumentare l'efficienza e ottenere risultati originali e innovativi: tuttavia la maggior parte di queste hanno fino ad ora preso in considerazione processi di progettazione che eludono lo specifico campo del design di prodotto (Jaruga-Rozdolska, 2022; Derevyanko and Zalevska, 2023; Yin, Zhang and Liu, 2023). Questo perché forma, funzione e contenuto simbolico di un prodotto sono costruiti attraverso un processo di progettazione complessa e multifattoriale, difficilmente standardizzabile e trasferibile in modo diretto all'IA.

Tanto la formulazione del problema progettuale quanto la definizione della relativa soluzione, che deve necessariamente tenere in considerazione parametri in parte oggettivabili (ad esempio la producibilità tecnica, la commerciabilità oppure la sostenibilità ambientale del prodotto) non possono essere dissociati dall'identità culturale e tecnica del progettista, dagli obiettivi economici e d'immagine dell'azienda e dalle aspettative, esplicite e implicite, dell'utilizzatore finale; tutti fattori fortemente influenzanti l'iter progettuale e non riconducibili a banche dati o casi studio a cui l'IA possa attingere per determinare la migliore soluzione progettuale per lo specifico caso. I presupposti operativi dei modelli GAI, al contrario, permettono di generare immagini basate su modelli prevedibili e ben identificabili tramite le categorizzazioni offerte dagli archivi digitali e dai modelli culturali del web (Ko et alii, 2023).

Emerge dunque l'esigenza di comprendere come poter integrare gli strumenti GAI all'interno dell'iter di ideazione di nuovi prodotti industriali e identificare delle possibili strade per superarne le limitazioni. Ciò che i progettisti sono chiamati a fare nel contesto dell'IA, infatti, non deve essere votato all'elaborazione di soluzioni dirette (generate dal motore di Intelligenza Artificiale), ma a strutturare 'cicli di risoluzione dei problemi' (Verganti, Vendraminelli and Iansiti, 2020).

In quest'ottica il contributo presenta e discute le potenzialità e i limiti di un modello sperimentale, sviluppato e testato all'interno della Scuola di Architettura e Design dell'Università di Camerino, chiamato Verbal Design Modelling (VDM), che guida il progettista nella gestione e integrazione della complessità dell'IA per la generazione di nuovi concept di prodotti industriali.

Pensato per efficientare e raccordare i differenti processi d'innovazione progettuale (Cautela and Rampino, 2019), il modello prevede un percorso di co-evoluzione in cui il designer, da un lato apprende le modalità d'informazione dell'IA tramite prompt testuali e dall'altro lato informa progressivamente il modello neurale sulle proprie intenzioni e preferenze progettuali che vengono memorizzate dalla piattaforma attraverso i cookie. Lo strumento utilizzato è Midjourney[3], che sfrutta un modello d'Intelligenza Artificiale chiamato Generative Pre-trained Transformer (GPT), un modello di rete neurale addestrato su un enorme set di dati di immagini e testo in grado di generare immagini realistiche e creative perché capace di apprendere le relazioni tra le immagini e il testo. In tal modo strumenti avanzati di IA sono in grado di supportare il designer nella cruciale fase d'ideazione di un nuovo prodotto, attraverso la costruzione di un modello d'interazione, oggetto della sperimentazione di seguito descritta, e il conseguente addestramento di un assistente virtuale basato su un modello pre-addestrato, capace di analizzare, elaborare, sintetizzare e far evolvere i dati forniti dall'interfaccia umana.

Verbal Design Modeling: metodologia e fasi | La metodologia d'integrazione del modello GPT nel processo di progettazione si articola in quattro fasi a cascata: 1) costruzione verbale di un oggetto reale; 2) sperimentazione verbale; 3) definizione del concept; 4) co-creazione di un prodotto (Fig. 1). Ognuna delle fasi è a sua volta suddivisa in un flusso di lavoro in quattro passaggi: a) generazione di un prompt testuale; b) elaborazione da parte della piattaforma di quattro immagini; c) modifica della stringa per rimuovere, aggiornare o integrare il risultato ottenuto; d) generazione di una nuova serie di quattro immagini; e) l'upscaling[4] ad alta risoluzione dell'immagine selezionata.

Nella prima fase, incentrata sulla trasposizione verbale di un oggetto reale, il flusso di lavoro del modello GPT viene utilizzato per delineare il campo d'azione e orientare l'esplorazione dell'algoritmo. Si procede alla costruzione di un prompt in grado di descrivere un oggetto reale, di particolare interesse per il processo progettuale. La descrizione dovrà cercare, senza considerare se la corrispondenza tra le parole e le immagini generate sia coerente o meno, di riprodurre quanto più fedelmente il prodotto selezionato. L'obiettivo è mettere in relazione l'oggetto fisico, la sua descrizione verbale e l'immagine generata dall'IA. Questa attività consente di valutare le capacità interpretative dell'IA del particolare tema dato e di identificare eventuali incongruenze tra il prodotto reale e la sua rappresentazione digitale generata dalla descrizione verbale.

Nella seconda fase il prodotto selezionato viene sottoposto a un processo di sperimentazione volto a elaborare variazioni formali, materiali, funzionali e di significato, ovvero esplorare potenziali scenari evolutivi. Lo scopo è valutare i limiti e le potenzialità dell'IA nel combinare caratteristiche differenti, anche contrastanti con la natura del prodotto, sfruttando le sue capacità interpretative e creative. Questa fase risulta particolarmente utile per testare parametri e parole chiave in grado di migliorare la formulazione dei prompt e determinarne la capacità di variare il risultato. Il processo è eseguito per un minimo di cinque cicli ognuno dei quali comprende cinque prompt di partenza, cinque serie di immagini generate, cinque variazioni dei prompt, ulteriori cinque serie di immagini e, infine, l'upscaling di uno dei risultati.

La terza fase è incentrata sullo sviluppo del concept a partire dalle interazioni svolte nelle precedenti sessioni: l'idea viene descritta dapprima in modo dettagliato, attraverso una stringa che integra le caratteristiche progettuali e prefigura le relazioni tra queste, producendo un primo set d'immagini. A partire dal risultato ottenuto si avvia quindi un processo, eseguito almeno cinque volte, di rifi-

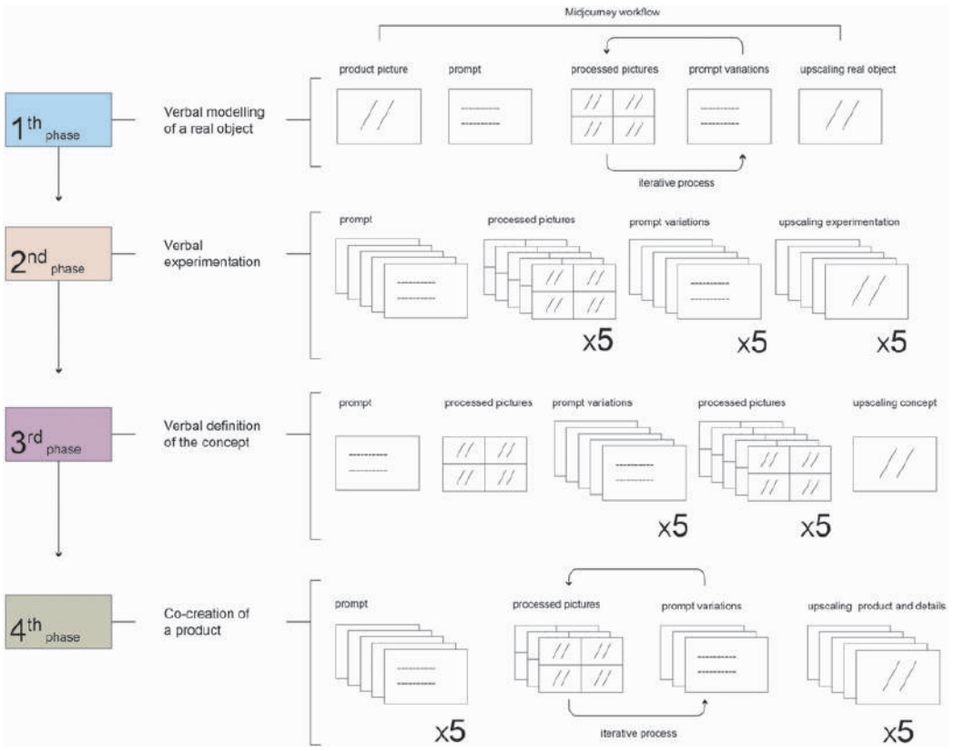


Fig. 1 | Verbal Design Modelling (VDM): experimental approach scheme (credit: the Authors, 2024).

nitura e progressiva semplificazione del prompt e relative quartine di immagini; al termine si procede all'upscaling per congelare il risultato ottenuto. L'obiettivo è ottimizzare il prompt attraverso variazioni successive, con l'intento di generare un concept innovativo che sia quanto più possibile allineato all'idea di partenza del progettista.

Nel quarto e ultimo step si lavora al perfezionamento del concept: partendo dal risultato della fase precedente vengono generate ulteriori immagini di dettaglio e viene affinata l'idea; quest'ultimo passaggio adotta un approccio iterativo che prevede la generazione di nuove quartine di immagini e successive variazioni dei prompt.

Con le differenti interazioni svolte durante le quattro fasi del metodo, l'algoritmo d'Intelligenza Artificiale esegue due funzioni distinte: la prima, evidente e ampiamente nota, consiste nell'interpretazione delle informazioni fornite al fine di generare l'immagine desiderata; la seconda, celata, provvede all'addestramento della piattaforma attraverso l'archiviazione dei prompt e delle preferenze espresse sulle quartine di immagini.

Questo processo fornisce una base solida per la co-evoluzione della visione progettuale del designer e per l'apprendimento incrementale dell'IA. L'approccio adottato si basa su un meccanismo di apprendimento bidirezionale: da un lato il progettista perfeziona la capacità di strutturare in modo efficiente le stringhe di testo utilizzate nei prompt, dall'altro l'IA acquisisce, elabora e implementa le caratteristiche progettuali proposte, orientando la generazione delle immagini verso risultati sempre più aderenti alle specifiche richieste. Ciò è possibile grazie agli aggiornamenti più recenti della piattaforma Midjourney, le cui funzionalità avanzate, come la rigenerazione parziale delle immagini, la ponderazione dei termini nel prompt e l'aggiornamento dinamico delle preferenze dell'utente, possono essere replicate anche in altre piattaforme di generazione e manipolazione delle immagini. L'approccio incrementale adottato permette inoltre di ottenere una comprensione più approfondita delle dinamiche che governano la comunicazione delle idee attraverso l'uso combinato di descrizioni verbali e visive.

L'algoritmo di generazione delle immagini opera con un miglioramento dinamico, alternando automaticamente fasi di esplorazione e di sfruttamento (Verganti, Vendraminelli and Iansiti, 2020), approccio che consente di apprendere progressivamente le preferenze del progettista, ottimizzando le iterazioni per il raggiungimento del risultato prefissato. È rilevante osservare che l'equilibrio tra esplorazione e sfruttamento nell'apprendimento per 'rinforzo' presenta significative analogie con il processo di progettazione umana, in particolare con il principio delle iterazioni precedentemente illustrato. Analogamente agli approcci tradizionali di progettazione un'ampia fase di esplorazione iniziale può condurre a scelte più innovative e interessanti; tuttavia essa deve essere attentamente bilanciata con la necessità di garantire che la fase di sfruttamento concluda il processo con una soluzione concretamente utilizzabile.

Esemplificazione del metodo | Il percorso sperimentale proposto può essere ulteriormente chiarito attraverso la presentazione di un caso studio specifico, un monopattino elettrico, dimostrandone la replicabilità del metodo tramite altri due concept.

Definite le principali caratteristiche del monopattino è stato elaborato il seguente prompt: «electric scooter consisting of a black metal frame with yellow wheel rims, a handlebar with the rear brake lever on the right handlebar and a braking element through the foot above the rear wheel». I risultati hanno mostrato una discrepanza significativa rispetto alle aspettative, poiché le immagini generate non corrispondevano alla descrizione fornita. L'analisi congiunta di prompt e immagini evidenziava come all'aumentare delle informazioni crescesse la probabilità di errore da parte dell'IA, principalmente a causa della 'cultura digitale' dello strumento, soggetta in alcuni casi a distorsioni. Ad esempio, il semplice uso della parola 'platform' induceva nello strumento una fortissima devianza, dovuta al mondo dei videogame (Fig. 2).

Riducendo la complessità della descrizione e, soprattutto, individuando i riferimenti a cui l'IA correlava alcune parole chiave, si è ottenuto un significativo miglioramento dei risultati con il prompt «kickscooter, yellow details on the wheels» (Fig. 3). L'utilizzo della parola chiave 'kickscooter' al posto di 'electric scooter' è stato il termine che ha maggiormente incrementato la corrispondenza.

Raggiunto l'obiettivo della prima fase, nella seconda sono state introdotte le variazioni sul prodotto (Fig. 4). Per la prima è stato preso come riferimento lo stile scultoreo della designer olandese Iris van Herpen: «iris van herpen kickscooter —v5», che ha generato un risultato ricco di dettagli grazie all'ampia disponibilità di materiale fotografico online. La seconda ha esplorato l'uso del marmo attraverso il prompt «advertising photo of a kickscooter sculpted from marble, realistic, f2.8, professional photography —v5». La terza ha ipotizzato una struttura gelatinosa del veicolo: «advertising photo of kickscooter made of jelly, realistic, f2.8, professional photography —v5». La quarta ed ultima, focalizzata sulla funzionalità, ha immaginato un sistema di pulizia integrato al monopattino, mediante il prompt «advertising photo of a swiffer kickscooter, realistic, f2.8, professional photography —v5».

Risulta utile evidenziare come l'associazione di un noto marchio di prodotti per la pulizia abbia permesso di ottenere un oggetto che combina alcune delle caratteristiche funzionali, materiche e cromatiche del brand con quelle del monopattino. La veridicità del risultato è stata agevolata dalla vasta disponibilità online di immagini relative al prodotto per la pulizia domestica.

Proprio la sperimentazione ha permesso di individuare il punto di partenza per la generazione del concept, ipotizzando lo sviluppo di un monopattino per la pulizia di ampi spazi interni (Fig. 5). Attraverso successive iterazioni delle descrizioni, sono state introdotte caratteristiche aggiuntive, quali spazzole, panni in microfibra, un dispenser di detergenti, un diffusore di fragranze e un laser per il rilevamento della polvere, sintetizzati dal prompt «advertising photo of a swiffer kickscooter, underglow neon lights::3, has laser lights on the sides, set in a living room::2, rideable cleaning aid, damp mop, realistic, f2.8, professional photography —v5». Questi dettagli hanno progressivamente arricchito il prodotto, definendone l'identità funzionale e formale (Fig. 6). Il processo ha portato alla generazione di risultati sempre più coerenti, grazie alla memoria cronologica acquisita attraverso le iterazioni (Fig. 7), consentendo di ridurre all'essenziale il prompt.

La sperimentazione è stata applicata anche ad altre due tipologie di prodotto: un casco e un tripode. Nel primo sono state esplorate diverse varianti, tra cui l'utilizzo di materiali lignei e l'integrazione di un pannello fotovoltaico sulla parte superiore. Un'ulteriore variante, di particolare interesse, ha ri-

guardato l'ipotesi di un casco dotato di elementi gonfiabili (Figg. 8, 9). Per quanto riguarda il tripode, la sperimentazione ha evidenziato due aspetti significativi: l'integrazione di un sistema robotico per la gestione automatizzata della macchina fotografica e l'aggiunta di una nuova funzionalità, ossia l'utilizzo del treppiede come tenda da osservazione (Figg. 10, 11).

Anche in questi casi, solo dopo la fase di addestramento, prompt sintetici e focalizzati, come «mtb helmet made of pine, professional photo — v5», hanno dimostrato di essere efficaci nel generare l'output desiderato. Analogamente, prompt con riferimenti a un marchio noto e diffuso online, come «photographic tripod with extendible and curved legs, able to become a quechua camouflage camping tent», ha permesso all'AI di produrre una serie di immagini che visualizzano un prodotto concretamente utilizzabile, combinando con successo le caratteristiche morfologiche richieste.

Conclusioni, limitazioni e sviluppi | Sistematizzata all'interno di una metodologia replicabile come quella proposta, l'IA generativa, e gli strumenti che ne derivano, sono in grado di accelerare la visualizzazione dei concetti di design, consentendo una rapida ideazione ed esplorazione di potenziali soluzioni. Tale metodologia non può direttamente essere rivolta, però, alla risoluzione del problema progettuale ma richiede una fase preliminare di allineamento finalizzata alla perimetrazione del campo d'azione progettuale e a una predisposizione dello strumento alla sperimentazione in determinate direzioni concettuali.

Semplificando la fase concettuale del processo di progettazione, l'Intelligenza Artificiale consente di dedicare maggiore attenzione al sensemaking del prodotto e di assumere una visione olistica e sistemica del progetto (Germak, 2019; Bisson et alii, 2022), favorendo in ultima analisi lo sviluppo di soluzioni innovative e dirompenti in grado di generare nuove relazioni tra oggetti e soggetti. Grazie alla 'interfaccia verbale' i modelli GAI si propongono come valido e promettente strumento di supporto per approcci progettuali sistemici caratterizzati da 'innovazione aperta' (Barbero and Ferulli, 2023; Zannoni et alii, 2024), che necessitano di una traduzione del pensiero progettuale, spesso elaborato in modo non lineare e con modalità informali di trasferimento e condivisione.

La sperimentazione permette di affermare che l'introduzione di strumenti di IA generativa, esemplificati da piattaforme come Midjourney, sono in grado di promuovere la creatività e facilitare i processi complessi e iterativi di hard- e soft-design, coinvolgendo i gruppi di esperti e utenti in dinamiche di co-design che ampliano il ruolo del progettista a quello di facilitatore e visualizzatore di scenari (Fagnoni and Olivastri, 2019). Al contempo appare evidente che il modello elaborato, seppur generalizzabile, soffre della limitatezza dell'unica piattaforma utilizzata; pertanto, studi futuri potrebbero riguardare la validazione dello stesso attraverso l'applicazione a differenti strumenti IA dal-testo-alle-immagini.

L'emergere e il rapido sviluppo di strumenti generativi dal-testo-al-3D apre, infine, il campo alla possibilità di avere a disposizione strumenti capaci di elaborare modelli tridimensionali che possano restituire in modo spazializzato e altamente dettagliato i nuovi concept di prodotto. Ciò significa poter effettuare una vera e propria 'modellazione verbale' dell'oggetto fin dalle primissime fasi del suo processo d'ideazione e avere poi a disposizione un modello di riferimento avanzato su cui impostare lo sviluppo progettuale.

Lo scenario che induce a prefigurare il presente paper è dunque quello in cui il designer potrà fare affidamento su un set di strumenti capaci di supportare il progettista nella cruciale fase d'impostazione del concept di un nuovo prodotto, ovvero la possibilità di avere un 'virtual assistant' in grado di co-generare idee di prodotto, grazie alla sua capacità di ampliare e completare l'intuizione progettuale, che rimane prerogativa dell'umano, così come la sua insostituibile e preziosa 'sensibilità' nell'intravedere in immagini più o meno realistiche, percorsi progettuali caratterizzati da un potenziale d'innovazione. È il designer infatti che deve guidare con le sue scelte lo strumento, e non viceversa, an-



Fig. 2 | VDM: an example of a mistake made by misusing a keyword (credit: the Authors, 2024).

dando oltre il mero dato oggettivo (l'immagine) e aprendosi alle opportunità che possono emergere davanti ai suoi occhi, in modo più o meno fortuito.

According to ChatGPT4, AI-based systems can perform tasks that would require intelligence if performed by humans. These include image recognition, natural language understanding, decision-making, and solving complex problems. AI relies on techniques such as machine learning, where systems learn from data to improve their performance over time, and natural language processing (NLP), which enables more natural communication between machines and humans.[1]

Recently, AI has emerged as a powerful tool for industrial design. AI-based models and tools can be used to automate tasks, generate new ideas, and enhance the efficiency and effectiveness of a design process. Most commercially available AI systems leverage three machine learning models: supervised, unsupervised, and reinforcement learning (Verganti, Vendraminelli and Iansiti, 2020). The first can analyse and label images, for example, differentiating between a dog and a cat. The second can identify 'natural' groupings and spontaneously associate different images, relating content through shared characteristics to create thematic sets. The third, starting from a single piece of data (such as an image of a cat) and a performance function, can explore the space around the starting point, using feedback from subsequent interactions to understand whether the performance has improved or worsened. This model closely resembles a traditional design process, where the starting point is known, but the endpoint is not.

Once properly trained, AI can autonomously handle repetitive and highly complex tasks (Tsang and Lee, 2022), allowing designers to optimise specific activities both in the project development phase, such as material selection (Merayo, Rodríguez-Prieto and Camacho, 2019) and resource and process optimisation (Liu, Tian and Kan, 2022), and in the executive design phase, through the automated creation of renderings or drawings. This allows the designer to focus on the more complex aspects of the work and more creative and strategic activities crucial for the project's success, such as concept development and sensemaking (Madsbjerg, 2019). It is precisely in these crucial phases that the role of AI is still being defined. Using generative models (Generative Artificial Intelligence – GAI), AI can provide designers with 'visual' design solutions based on a human-generated prompt.[2]

The figure of a 'virtual design assistant', proposed by Sang-Gook Kim (et alii, 2019) and his research group at the Massachusetts Institute of Technology, is beginning to take shape. This assistant would be capable of helping designers during the early stages of the design process, representing a hybrid intelligence solution (Kamar, 2016) aimed at surpassing routine design and generating ideas, where human intelligence collaborates with artificial intelligence.

However, some limitations and challenges remain associated with generative AI in this specific industrial design phase. It can be difficult to control the characteristics and quality of the results, or more specifically, the adherence to the project's requirements and constraints and, therefore, to the designer's idea and expectations. At the same time, the technological revolution introduced by AI necessitates a reassessment of traditional approaches and an update to design practices, enabling designers to maintain their effectiveness in creating pleasant, useful, and positive user experiences (Casiddu et alii, 2022).

The experiments conducted so far show that using neural systems in design practice and education can increase efficiency and achieve original and innovative results. However, most of these experiments have focused on design processes outside the specific field of product design (Jaruga-Rozdolska, 2022; Derevyanko and Zalevska, 2023; Yin, Zhang and Liu, 2023). This is because the form, function, and symbolic content of a product are constructed through a complex, multifactorial design process, which is difficult to standardise and directly transfer to AI.

Both the formulation of the design problem and the definition of the solution, which must consider parameters that can be partially objectified (such as technical producibility, marketability, or environmental sustainability), cannot be separated from the designer's cultural and technical identity, of the company's economic and image objectives, and the explicit and implicit expectations of the end user. These factors strongly influence the design process and cannot be easily sourced from databases or case studies for AI to determine the best design solution for a specific case. Instead, the operational foundations of GAI models allow for the generation of images based on predictable patterns, which are easily identifiable through digital archives and cultural models found online (Ko et alii, 2023).

Thus, there is a need to understand how GAI tools can be integrated into the ideation process of new industrial products and to identify possible ways to overcome their limitations. What designers are required to do in the context of AI is not to produce direct solutions (generated by the AI engine) but to structure 'problem-solving cycles' (Verganti, Vendraminelli and Iansiti, 2020).

In this context, the paper presents and discusses the potential and limitations of an experimental model, developed and tested within the School of Architecture and Design at the University of Camerino, called Verbal Design Modelling (VDM). This model guides designers in managing and integrating the complexity of AI in generating new industrial product concepts.

Designed to streamline and connect different design innovation processes (Cautela and Rampino, 2019), the model outlines a co-evolutionary process in which the designer, on the one hand, learns how to inform the AI through text prompts, and on the other, progressively informs the neural model about their design intentions and preferences, which are saved by the platform through cookies. The tool used is Midjourney[3], which employs an AI model called Generative Pre-trained Transformer (GPT), a neural network trained on a massive dataset of images and text. It can generate realistic and creative images by learning the relationships between images and text. This way, advanced AI tools can support the designer in the crucial phase of ideating a new product. This is possible through creating an



Fig. 3 | VDM: 1st phase, verbal modelling of a real object, electric scooter example (credit: the Authors, 2024).



Fig. 4 | VDM: 2nd phase, verbal experimentation, electric scooter example (credit: the Authors, 2024).





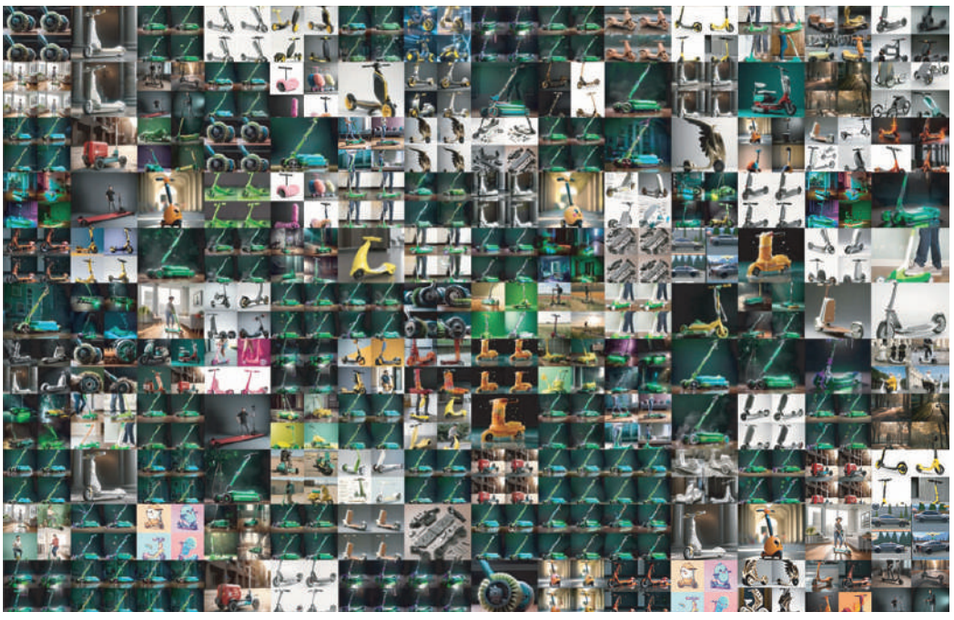


Fig. 5 | VDM: 3rd phase, verbal definition of the concept, electric scooter example (credit: the Authors, 2024).

Fig. 6 | VDM: 4th phase, co-creation of a product, electric scooter example (credit: the Authors, 2024).

Fig. 7 | VDM: an overview of the iteration process (credit: the Authors, 2024).

interaction model, the subject of the following experiment, and the subsequent training of a virtual assistant based on a pre-trained model capable of analysing, processing, synthesising, and evolving data provided by the human interface.

Verbal Design Modeling: Methodology and Phases | The methodology for integrating the GPT model into the design process is divided into four cascading phases: 1) verbal construction of a real object; 2) verbal experimentation; 3) concept definition; 4) co-creation of a product (Fig. 1). Each phase is further broken down into a four-step workflow: a) generating a text prompt; b) the platform generating four images; c) modifying the string to remove, update, or integrate the results obtained; d) generating a new set of four images; e) upscaling[4] the selected image to high resolution.

In the first phase, focused on the verbal transposition of a real object, the GPT model's workflow is used to define the scope of action and guide the algorithm's exploration. A prompt is constructed that describes a real object of particular interest to the design process. The description should aim to faithfully reproduce the selected product, regardless of whether the correspondence between the words and the generated images is consistent. The goal is to relate the physical object, its verbal description, and the AI-generated image. This activity allows for evaluating AI's interpretive abilities concerning the specific theme and identifying any inconsistencies between the real product and its digital representation generated from the verbal description.

In the second phase, the selected product undergoes experimentation to develop variations in form, material, function, and meaning, exploring potential evolutionary scenarios. The purpose is to assess AI's limits and capabilities in combining different, even contrasting, characteristics with the nature of the product, exploiting its interpretive and creative abilities. This phase is particularly useful for testing parameters and keywords to improve prompt formulation and determine its ability to vary results. The process is carried out over a minimum of five cycles, each consisting of five initial prompts, five sets of generated images, five prompt variations, an additional five sets of images, and finally, the upscaling of one of the results.

The third phase focuses on concept development based on the interactions from previous sessions. The idea is first described in detail through a string that integrates the design characteristics and anticipates their relationships, producing a first set of images. From the obtained result, a process of refinement and progressive simplification of the prompt and corresponding image sets begins, repeated at least five times. Finally, the upscaling is performed to solidify the result. The goal is to optimise the prompt through successive variations, aiming to generate an innovative concept that aligns as closely as possible with the designer's initial idea.

In the fourth and final step, the concept is further refined: starting from the result of the previous phase, additional detailed images are generated, and the idea is fine-tuned. This final step adopts an iterative approach, generating new sets of images and varying the prompts accordingly.

Throughout the four phases of the method, the AI algorithm performs two distinct functions: the first, obvious and well-known, is interpreting the provided information to generate the desired image; the second, hidden function, trains the platform by storing the prompts and preferences expressed regarding the image sets.

This process provides a solid foundation for the co-evolution of the designer's vision and the incremental learning of the AI. The approach is based on a bidirectional learning mechanism: on the one hand, the designer improves their ability to structure the text strings used in the prompts efficiently; on the other, the AI acquires, processes, and implements the proposed design characteristics, directing image generation towards results that increasingly meet specific requests. This is made possible by recent updates to the Midjourney platform, whose advanced features, such as partial image regeneration, prompt term weighting, and dynamic updating of user preferences, can also be replicated on other image generation and manipulation platforms. The incremental approach also enables a deeper understanding of the dynamics that govern the communication of ideas through the combined use of verbal and visual descriptions.

The image generation algorithm operates with dynamic improvement, automatically alternating between exploration and exploitation phases (Verganti, Vendraminelli and Iansiti, 2020). This approach allows the AI to learn the designer's preferences progressively, optimising interactions to achieve the desired result. It is worth noting that the balance between exploration and exploitation in reinforcement learning has significant parallels with the human design process, particularly with the iterative principle discussed earlier. Like traditional design approaches, an extensive initial exploration phase can lead to more innovative and interesting choices; however, it must be carefully balanced to ensure that the exploitation phase concludes with a practically usable solution.

Method example | The proposed experimental process can be further clarified through the presentation of a specific case study, an electric scooter, demonstrating the replicability of the method with two other concepts.

After defining the main characteristics of the scooter, the following prompt was developed: «electric scooter consisting of a black metal frame with yellow wheel rims, a handlebar with the rear brake lever on the right handlebar and a braking element through the foot above the rear wheel». The results showed a significant discrepancy with expectations, as the generated images did not match the provided description. A joint analysis of the prompt and images revealed that increasing the amount of information increased the likelihood of AI errors, primarily due to the tool's 'digital culture', which in some cases is prone to distortions. For example, the simple use of the word 'platform' led the tool to deviate significantly due to associations with the world of video games (Fig. 2).

By reducing the complexity of the description and, most importantly, identifying the references the AI associated with certain keywords, a significant improvement was achieved with the prompt «kick scooter, yellow details on the wheels» (Fig. 3). The use of the keyword 'kick scooter' instead of 'electric scooter' was the term that most increased the correspondence.

Once the first phase goal was achieved, variations on the product were introduced in the second phase (Fig. 4). For the first variation, the sculptural style of Dutch designer Iris van Herpen was referenced: «iris van herpen kick scooter —v5», which generated a highly detailed result due to the wide availability of photographic material online. The second explored the use of marble through the prompt «advertising photo of a kick scooter sculpted from marble, realistic, f2.8, professional photography —v5». The third imagined a gelatinous structure for the vehicle: «advertising photo of kick scooter made of jelly, realistic, f2.8, professional photography —v5». The fourth and final variation, focused on functionality, imagined an integrated cleaning system for the scooter, using the prompt «advertising photo of a Swiffer kick scooter, realistic, f2.8, professional photography —v5».

It is worth highlighting that associating a well-known cleaning product brand made it possible to create an object that combines some of the functional, material, and colour characteristics of the brand with those of the scooter. The accuracy of the result was facilitated by the wide availability of images of the household cleaning product online.

Experimentation has allowed for the identification of the starting point for concept generation, imagining the development of a scooter designed for cleaning large indoor spaces (Fig. 5). Through successive iterations of the descriptions, additional features were introduced, such as brushes, microfiber cloths, a detergent dispenser, a fragrance diffuser, and a dust detection laser, synthesised in the prompt: «advertising photo of a Swiffer kick scooter, underflow neon lights:3, has laser lights on the sides, set in a living room:2, rideable cleaning aid, damp mop, realistic, f2.8, professional photography —v5». These details progressively enriched the product, defining its functional and formal identity (Fig. 6). The process led to increasingly consistent results thanks to the chronological memory acquired through the iterations (Fig. 7), enabling the prompt to be reduced to its essentials.

The experimentation was also applied to two other product types: a helmet and a tripod. In the first, various variants were explored, including the use of wooden materials and the integration of a photovoltaic panel on the top. Another particularly interesting variant involved the concept of a helmet equipped with inflatable elements (Figg. 8, 9). Regarding the tripod, the experimentation highlighted two significant aspects: integrating a robotic system for automated camera management and adding a new feature, using the tripod as an observation tent (Figg. 10, 11).

Even in these cases, only after the training phase did synthetic and focused prompts, such as «MTB helmet made of pine, professional photo —v5 prove effective in generating the desired output. Similarly, prompts with references to a well-known and widely available brand, such as «photographic tripod with extendible and curved legs, able to become a Quechua camouflage camping tent», enabled the AI to produce a series of images visualizing a concretely usable product, successfully combining the required morphological features.

Conclusions, limitations, and developments | Systematized within a replicable methodology like the one proposed, generative AI and its derived tools can accelerate the visualisation of design concepts, enabling rapid creativity and exploration of potential solutions. However, this methodology cannot directly address the design problem but requires a





Figg. 8, 9 | VDM: 2nd and 3rd phase, helmet example (credits: the Authors, 2024).





Figg. 10, 11 | VDM: 2nd and 3rd phase, tripod example (credits: the Authors, 2024).

preliminary alignment phase to define the scope of the design field and prepare the tool for experimentation in specific conceptual directions.

By simplifying the conceptual phase of the design process, AI allows for greater attention to be given to the product's sensemaking and for adopting a holistic and systemic view of the project (Germak, 2019; Bisson et alii, 2022), ultimately fostering the development of innovative and disruptive solutions capable of generating new relationships between objects and subjects. Thanks to the 'verbal interface', GAI models present themselves as a promising support tool for systemic design approaches characterised by 'open innovation' (Barbero and Ferulli, 2023; Zannoni et alii, 2024), which require the translation of design thinking, often developed non-linearly and with informal methods of transfer and sharing.

The experimentation shows that the introduction of generative AI tools, exemplified by platforms like Midjourney, can promote creativity and facilitate

complex and iterative processes in hard and soft design. These tools involve expert groups and users in co-design dynamics, expanding the role of the designer to that of a facilitator and visualiser of scenarios (Fagnoni and Olivastri, 2019). At the same time, it is clear that the developed model, although generalisable, suffers from the limitation of being tested on a single platform. Therefore, future studies could focus on validating it by applying different text-to-image AI tools.

The emergence and rapid development of text-to-3D generative tools finally opens up the possibility of having tools capable of creating highly detailed 3D models, spatially representing new product concepts. This means enabling true 'verbal modelling' of the object from the earliest stages of its ideation process and then having an advanced reference model for project development.

The scenario envisioned by this paper is one in which the designer can rely on a set of tools capable of supporting them in the crucial phase of concept creation for a new product. The designer could potentially have a 'virtual assistant' able to co-generate product ideas by expanding and completing the design intuition, something that remains a human prerogative, along with the irreplaceable and invaluable 'sensitivity' to glimpse, in more or less realistic images, design paths characterised by innovation potential. It is the designer who must guide the tool with their choices, rather than the other way around, going beyond the mere objective data (the image) and opening up to the opportunities that may emerge before their eyes, whether by chance or not.

Notes

1) The text generated through the web page: chatgpt.com [Accessed 30 September 2024] is as follows: «AI, or Artificial Intelligence, refers to the simulation of human intelligence processes by machines, especially computer systems. It involves creating algorithms and systems to perform tasks that require human intelligence. These tasks include problem-solving, learning, understanding natural language, recognising patterns, and making decisions».

2) In computer science, a 'prompt' is a visual cue, consisting of textual or graphical elements, sometimes mixed, that appears on the computer screen to inform the user that the system is awaiting a command. In the context of generative AI, the prompt takes on a reversed meaning, referring to a string of natural language text created by the user, which instructs the model to perform a specific task. Visual elements that provide context or further clarify the request can also be associated with the textual string.

3) For more information, see the website: midjourney.com [Accessed 30 September 2024].

4) In the context of the Midjourney platform, upscaling is the process of increasing the resolution and quality of a generated image.

References

Barbero, S. and Ferrulli, E. (2023), "Transizione ecologica e digitale – Il Design Sistemico nei processi di innovazione aperta delle PMI | Ecological and digital transition – Systemic Design in SMEs open innovation processes", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 13, pp. 269-280. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/13232023 [Accessed 30 September 2024].

Bisson, M., Palmieri, S., Ianniello, A. and Botta, L. (2022), "Transition product design – Una proposta di framework per un approccio olistico alla progettazione sistemica | Transition product design – A framework proposal for a holistic approach to systemic design", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 202-211. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12182022 [Accessed 30 September 2024].

Casiddu, N., Burlando, F., Nevoso, I., Porfirione, C. and Vacanti, A. (2022), "Beyond personas – Il Machine Learning per personalizzare il progetto | Beyond personas – Machine Learning to personalise the project", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 226-233. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12202022 [Accessed 30 September 2024].

Cautela, C. and Rampino, L. (2019), "Le Tipologie d'Innovazione nel Design – Analisi Critica di una Relazione Complessa | Design Innovation Typologies – A critical Analysis of a Complex Relationship", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 5, pp. 127-136. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/5142019 [Accessed 30 September 2024].

Derevyanko, N. V. and Zalevska, O. (2023), "Comparative analysis of neural networks Midjourney, Stable Diffusion, and DALL-E and ways of their implementation in the educational process of students of design specialities", in *Scientific Bulletin of Mukachevo State University | Series Pedagogy and Psychology*, vol. 9, issue 3, pp. 36-44. [Online] Available at: doi.org/10.52534/msu-pp3.2023.36 [Accessed 30 September 2024].

Fagnoni, R. and Olivastri, C. (2019), "Hardesign vs Softdesign | Hardesign vs Softdesign", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 5, pp. 145-152. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/5162019 [Accessed 30 September 2024].

Germak, C. (2019), "Design resiliente – Un quadro sinottico | Resilient Design – A synoptic framework", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 6, pp. 26-35. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/632019 [Accessed 30 September 2024].

Jaruga-Rozdolska, A. (2022), "Artificial intelligence as part of future practices in the architect's work – MidJourney generative tool as part of a process of creating an architectural form", in *Architectus*, vol. 3, issue 71, pp. 95-104. [Online] Available at: dx.doi.org/10.37190/arc220310 [Accessed 30 September 2024].

Kamar, E. (2016), "Directions in Hybrid Intelligence – Complementing AI Systems with Human Intelligence", in Kambhampati, S. (ed.), *IJCAI '16 – Proceedings of the Twenty-Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, *New York, USA, July 9-15, 2016*, AAAI Press, Washington, pp. 4070-4073. [Online] Available at: ijcai.org/Proceedings/16/Papers/603.pdf [Accessed 30 September 2024].

Kim, S.-G., Yoon, S. M., Yang, M., Choi, J., Akay, H. and Burnell, E. (2019), "AI for design – Virtual design assistant", in *CIRP Annals*, vol. 68, issue 1, pp. 141-144. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.cirp.2019.03.024 [Accessed 30 September 2024].

Ko, H.-K., Park, G., Jeon, H., Jo, J., Kim, J. and Seo, J. (2023), "Large-scale Text-to-Image Generation Models for Visual Artists' Creative Works", in Chen, F., Bilinghurst, M., Zhou, M. and Berkovsky, S. (eds), *IUI '23 – Proceedings of the 28th International Conference on Intelligent User Interfaces – Sydney, Australia, March 27-31, 2023*, Association for Computing Machinery, New York, pp. 919-933. [Online] Available at: doi.org/10.1145/3581641.3584078 [Accessed 30 September 2024].

Liu, C., Tian, W. and Kan C. (2022), "When AI meets additive manufacturing – Challenges and emerging opportunities for human-centered products development", in *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 64, pp. 648-656. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.04.010 [Accessed 30 September 2024].

Madsbjerg, C. (2019), *Sensemaking – What Makes Human Intelligence Essential in the Age of the Algorithm,* Little-Brown Book Group, Boston.

Merayo, D., Rodriguez-Prieto, A. and Camacho, A. M. (2019), "Comparative analysis of artificial intelligence techniques for material selection applied to manufacturing in Industry 4.0", in *Procedia Manufacturing*, vol. 41, pp. 42-49. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.promfg.2019.07.027 [Accessed 30 September 2024].

Tsang, Y. P., and Lee, C. K. M. (2022), "Artificial intelligence in industrial design – A semi-automated literature survey", in *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 112, article 104884, pp. 1-21. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.engappai.2022.104884 [Accessed 30 September 2024].

Verganti, R., Vendraminelli, L. and Iansiti, M. (2020), "Innovation and design in the age of artificial intelligence", in *Journal of Product Innovation Management*, vol. 37, issue 3, pp. 212-227. [Online] Available at: doi.org/10.1111/jpim.12523 [Accessed 30 September 2024].

Yin, H., Zhang, Z. and Liu, Y. (2023), "The Exploration of Integrating the Midjourney Artificial Intelligence Generated Content Tool into Design Systems to Direct Designers towards Future-Oriented Innovation", in *Systems*, vol. 11, issue 12, article 566, p. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.3390/systems11120566 [Accessed 30 September 2024].

Zannoni, M., Succini, L., Rosato, L. and Pasini, V. (2024), "Transitional industrial designer – La responsabilità di progettisti e imprese per una transizione sostenibile | Transitional industrial designer – The responsibility of designers and companies for a sustainable transition", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 332-343. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/15282024 [Accessed 30 September 2024].

Printed in December 2024
by The Factory S.r.l.
via Triburtina n. 912 | 00156 Roma (IT)