

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 iNEST¹ 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 oltretutto 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 Task² 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 culturale³ (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 quanto meno 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 culturale⁴. 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, diversamente 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

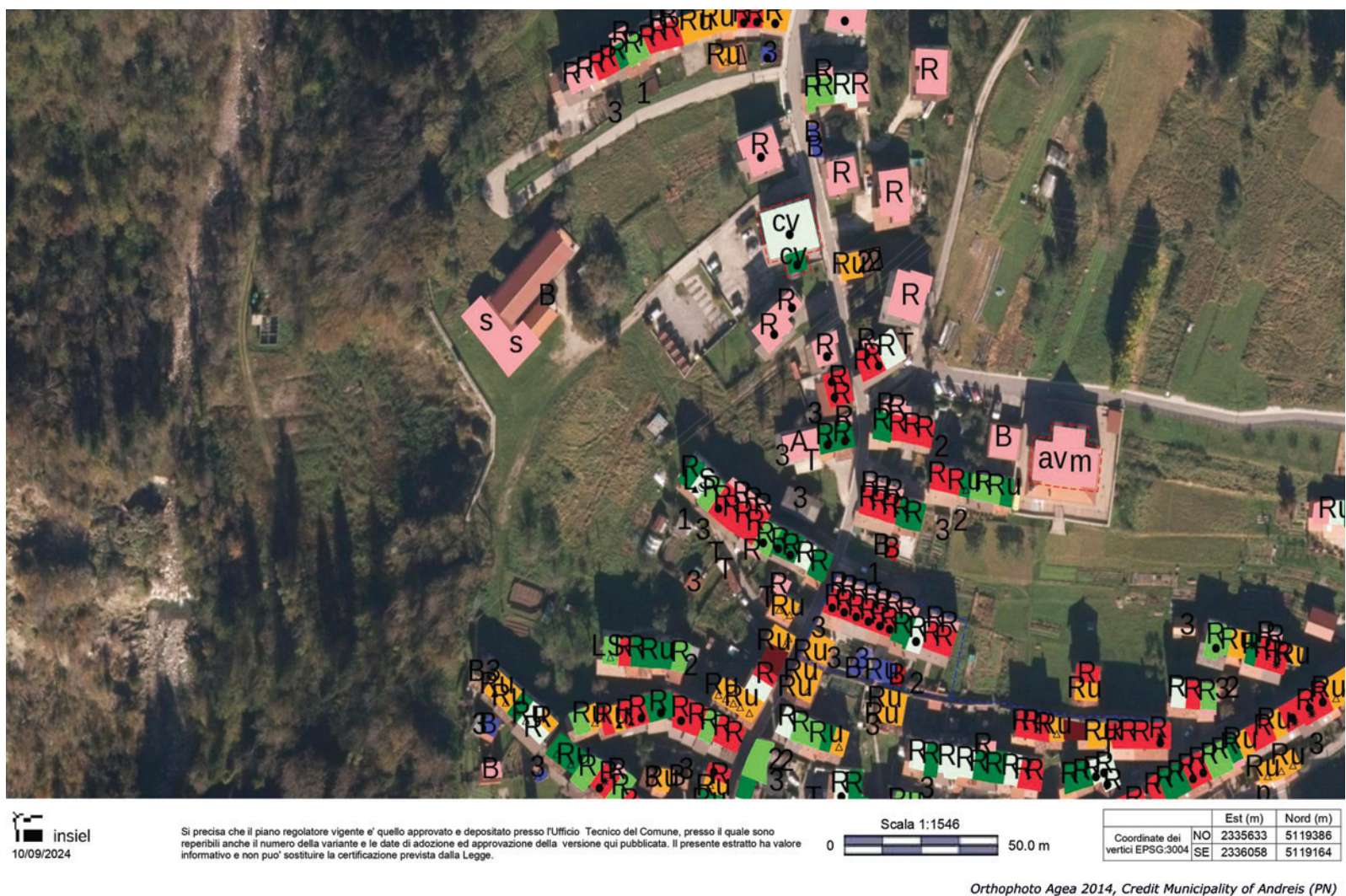
Partiamo da una prima considerazione da cui scaturiscono valutazioni e scelte in ordine a metodo e indirizzi operativi adottati: nel prossimo futuro le variazioni di temperatura previste sono destinate a indurre, o anche a incrementare, fenomeni di pericolosità per cui si rischia la perdita del Patrimonio 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 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 provvisoriale 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-



LEGEND

Typological and morphological

- 1 - Daltz
- 2 - Barn/Stable
- 3 - Typical building with conforming features
- 4 - Typical building with non-conforming features
- 5 - Old building
- 6 - Old building in partial conflict
- 7 - Old building in total conflict
- 8 - New non-conflict building
- 9 - New building in conflict
- 10 - Service structures

- Extension of the original building
- Old building area
- Building under restoration (paused works)
- Building in excellent condition
- Valuable stone building
- Valuable building with balcony
- △ Building in a poor state of conservation
- ▲ Building in a very poor state of conservation
- Public areas of environmental value
- Building of public interest

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 andrea, 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'essiccazione 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 Masarente, 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 neces-

sario 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 gover-

nance e di tutela del Patrimonio culturale alle raccomandazioni previste dalla FVGreen – Disposizioni per lo Sviluppo Sostenibile e la Transizione Ecologica del Friuli Venezia Giulia⁶, 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 iNEST¹ 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 environ-

mental 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 task² 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 (Fig. 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.

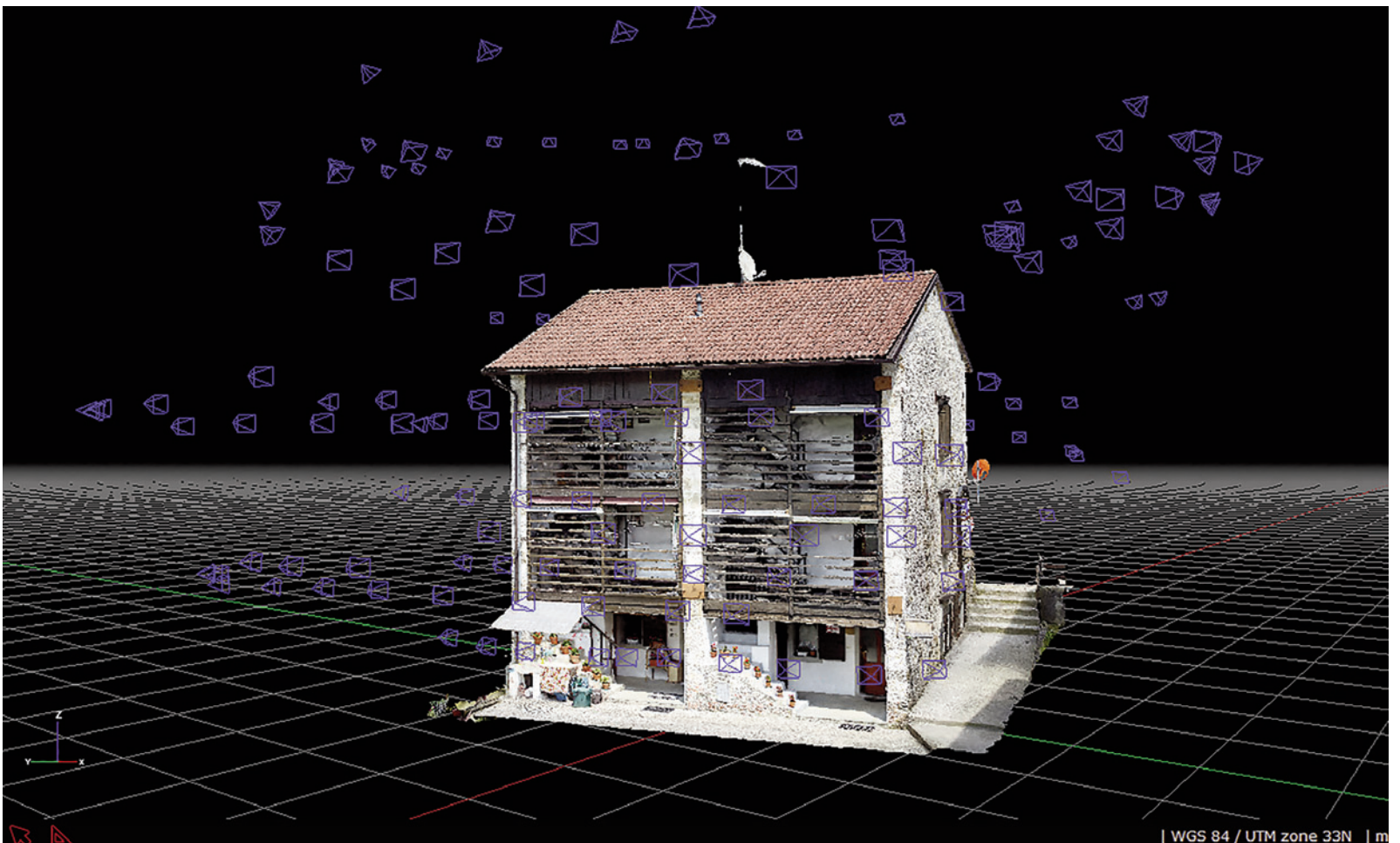
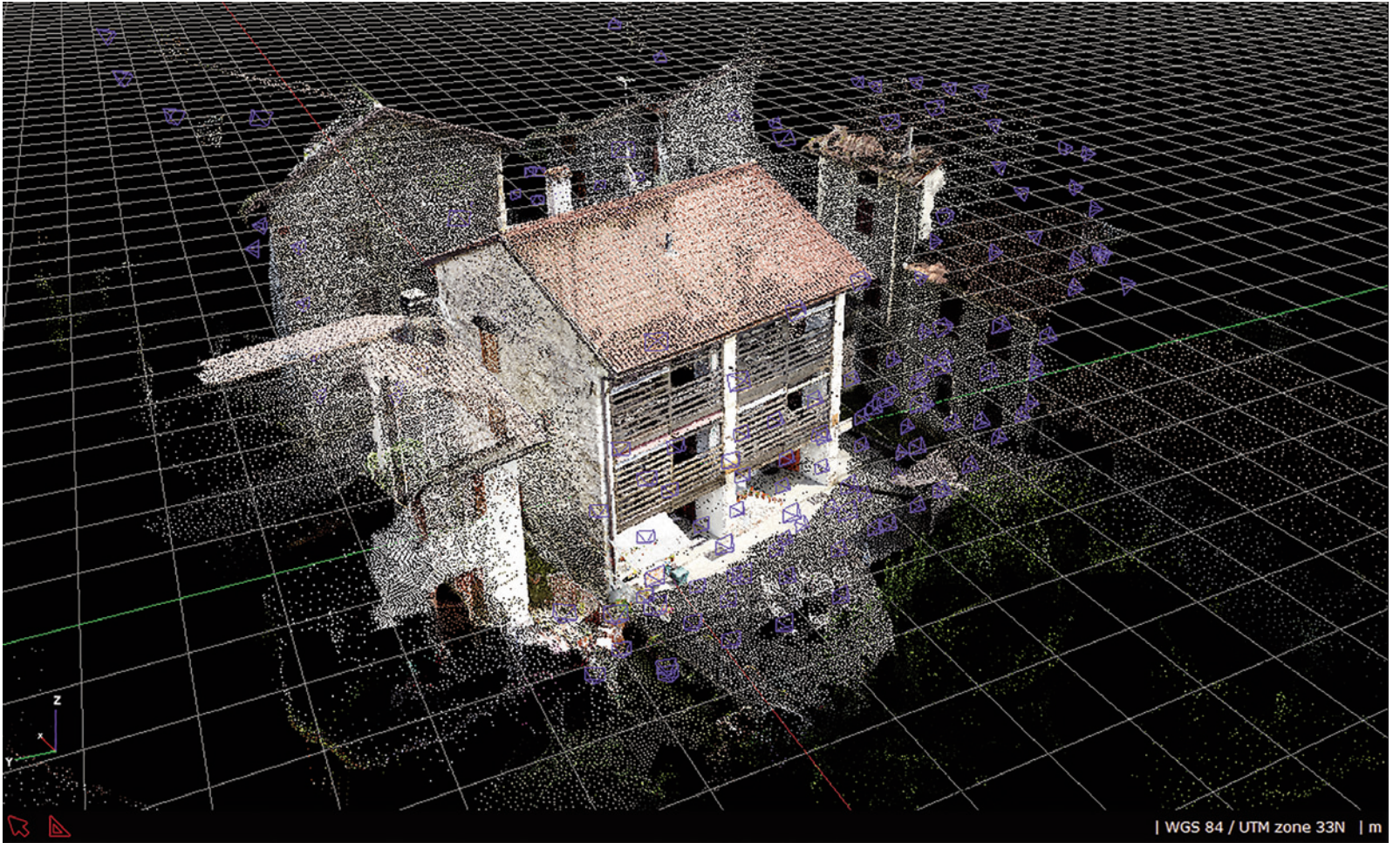
The outcomes and reflections from this analysis broaden the understanding of the village's settlement characteristics, integrating architectural and urban scales. Experts in Landscape Architecture and Project Design, along with the interpretation of

	Biotic Deterioration			Non-Biotic Deterioration	
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	
3	Elements not in contact with the ground but not sheltered	Occasionally more than 20%	Balconies	Primary Fungi	Secondary 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 cur-

rent 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 Heritage³ (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 Heritage⁴. 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-

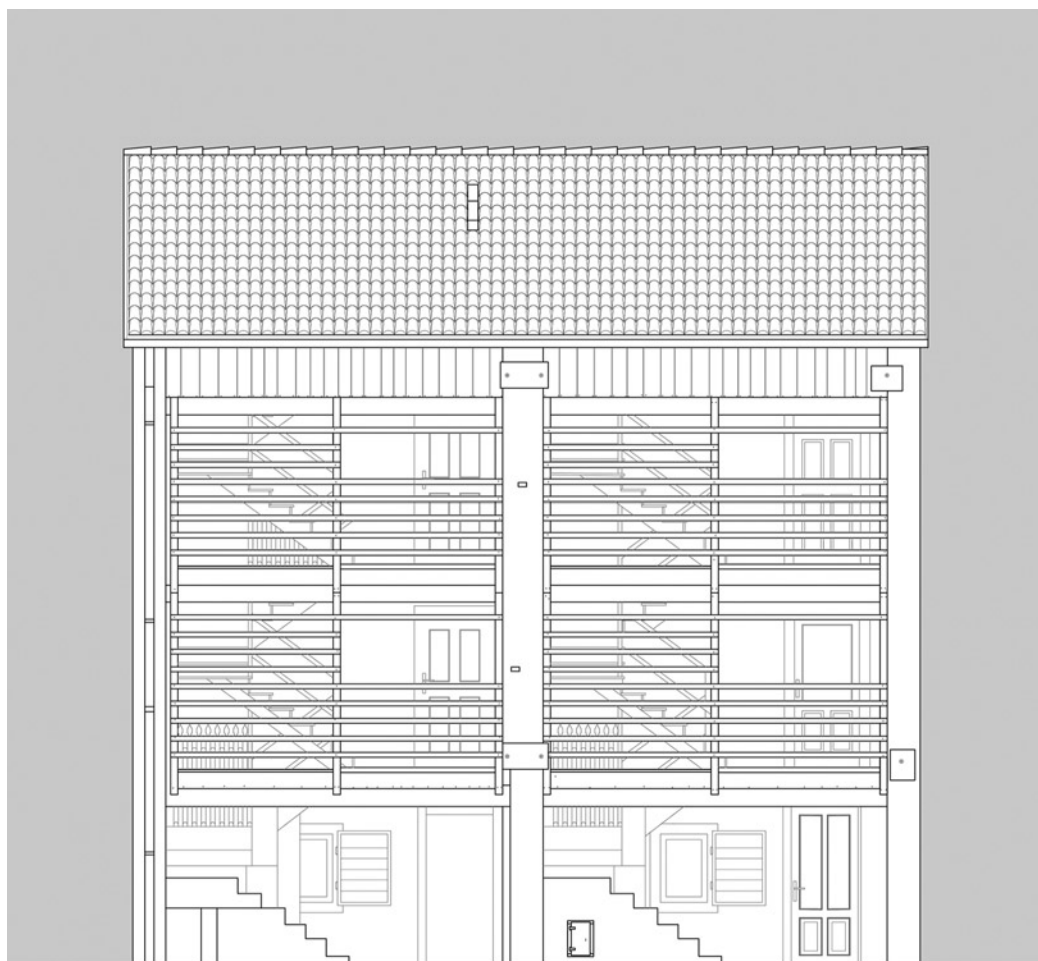
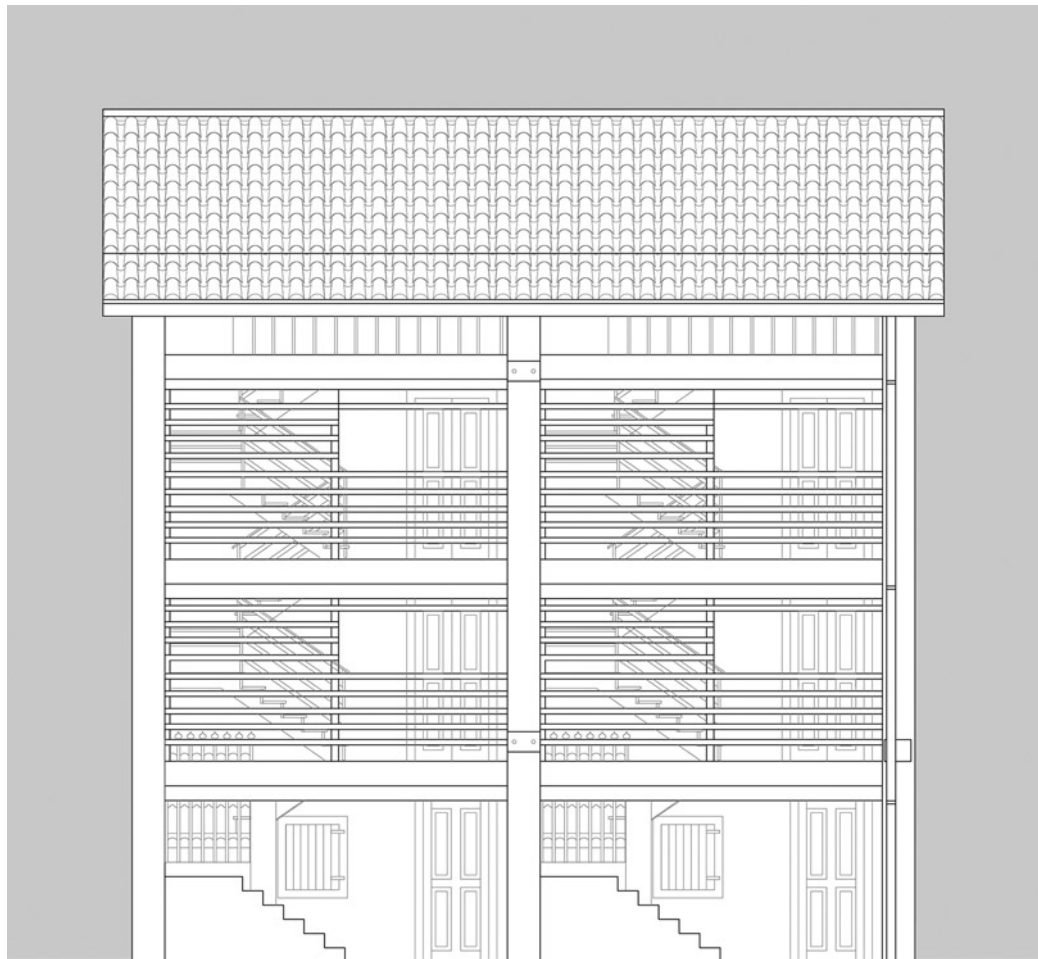


Fig. 12 | Digital representation of the view according to the 1981 consolidation project (credit: V. Riavis, 2024).

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 distinc-

tive 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 (Figs. 5-7), was aligned with risk assessment parameters (Fig. 8; Tab. 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 (Fig. 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 (Fig. 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 north-eastern 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 Masarente, 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 vul-

nerability 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 Giulia⁶. 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 Next-GenerationEU, ECS_00000043 – CUP UNIUD G23C22001130006, (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. Cervasato.

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 Ecologi-

cal Transition of Friuli Venezia Giulia’. For more information, refer to the webpage: bur.regione.fvg.it/newbur/visionaBUR?num=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/publicazioni/colana-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 Applica-

tion”, 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 Fimo, 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-orNbn103018DlaNq1eJxUoRAfjGngiUk1M8znY-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/10.19229/2464-9309/1582024 [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/4bfc605-2741-11ed-8fa0-01aa75ed71a1/language-en [Accessed 11 September 2024].

Falzett, 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., Aciero, 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., Aciero, 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, Altralea, 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: fondazione.scuolapatrium.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 Nuntii, 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 Cervasato, 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].