

DESIGN E MICROALGHE Sistemi sostenibili per le città

DESIGN AND MICROALGAE Sustainable systems for cities

Pier Paolo Peruccio, Maurizio Vrenna

ABSTRACT

Nuove pratiche che si rifanno alle scienze biologiche stanno emergendo nel mondo del design e dell'architettura. Negli ultimi anni svariati interventi, anche su scala urbana, hanno coinvolto l'uso di organismi viventi e biomateriali. Il presente saggio analizza i progetti che hanno visto l'utilizzo delle microalghe, tracciando i loro limiti e possibilità. Vengono inoltre definite le linee guida per l'implementazione di progetti analoghi a livello di prodotto o di piccole installazioni. Nell'ottica di progettare a vantaggio dei cittadini e date le innumerevoli proprietà delle microalghe, soluzioni di questo tipo e innovativi servizi integrati potrebbero essere una risposta per mitigare i problemi ambientali, ma anche sociali ed economici delle città del presente e del futuro.

New practices linked to biological sciences are emerging in the world of design and architecture. In recent years various interventions have involved the use of living organisms and biomaterials even in an urban context. This essay analyzes those projects that have entailed the use of microalgae, tracing their limits and possibilities. The guidelines for the implementation of similar projects at the level of products or small installations are also defined. From the perspective of designing for the benefit of citizens and given the countless properties of microalgae, solutions of this kind and innovative integrated services could be a way to mitigate the environmental, but also social and economic problems, of present and future cities.

KEYWORDS

microalghe, produzione urbana, limiti e possibilità, prodotto/servizio/sistema, sostenibilità

microalgae, urban production, limits and possibilities, product/service/system, sustainability

Pier Paolo Peruccio, Architect and PhD, is an Associate Professor at the Department of Architecture and Design of Politecnico di Torino (Italy). He is Vice Head of the Design School, Director of the SYDERE (Systemic Design Research and Education) Center in Lyon (France), and Coordinator of the II Level Specializing Master in Design for Arts. He is currently working on several research projects concerning the history of sustainable design, systems thinking, and innovation in design education. Tel. +39 (0)11/090.65.40 | E-mail: pierpaolo.peruccio@polito.it

Maurizio Vrenna is a PhD candidate in Management, Production, and Design at the Department of Architecture and Design of Politecnico di Torino (Italy). During the professional and academic career in Europe and Asia, he has been involved in the development of sustainable products and services. His current research revolves around the topics of air pollution and microalgae production in urban areas. Mob. +39 346/05.67.133 | E-mail: maurizio.vrenna@polito.it

Le città sono luoghi in cui nascono culture, si sviluppano idee e prosperano sistemi economico-produttivi (Braudel, 1984). Allo stesso tempo è in questi contesti che si palesano i grandi problemi derivanti da modelli di crescita insostenibili, cambiamenti climatici, migrazioni e crisi finanziarie (Jacobs, 1961). Gli agglomerati urbani, che vedranno un forte sviluppo demografico e dimensionale nei prossimi decenni (United Nations, 2018), hanno un considerevole impatto negativo sugli ecosistemi naturali. Operare quindi sulla loro sostenibilità è imprescindibile e presenta difficoltà, ma anche opportunità uniche (Rees and Wackernagel, 1996). Fra le molteplici sfide, le città resilienti dovrebbero essere in grado di far fronte all'inquinamento atmosferico, pianificare l'approvvigionamento idrico e alimentare in funzione delle aree agricole venute meno, reindirizzare nuovi usi per le zone dismesse o degradate e supportare le fasce più deboli della popolazione. Questo non solo nell'ottica di mitigare danni, ma, soprattutto, adattare nuove proposte progettuali a un cambiamento radicale e irreversibile.

Il design, oggi, è chiamato a progettare prodotti, sistemi, servizi ed esperienze che possano portare a una maggiore qualità della vita¹. Il design dovrebbe privarsi della sua visione antropocentrica e «i suoi metodi dovrebbero essere rivolti [...] a reintegrare il nostro rapporto con l'ambiente e con tutte le specie» (Antonelli, 2019, p. 38). Per la prima volta sta emergendo un approccio radicale alla progettazione che si rifà alle scienze biologiche, incorporando l'uso di materia vivente all'interno di prodotti, strutture e processi (Myers, 2018) e sono diversi i designer che hanno presentato alternative all'avanguardia – anche su scala urbana – coinvolgendo l'uso di animali, piante, alghe, muschi, funghi, batteri e altri materiali organici². Il presente contributo analizza le caratteristiche dei progetti che hanno visto l'uso delle microalghe, fornendo a ricercatori e professionisti nel campo del design le linee guida per introdurre l'uso in sperimentazioni urbane. Vengono suggeriti, inoltre, quali possano essere le diverse contaminazioni con altri ambiti di studio, identificando anche possibili attori interessati. Sebbene ci sarà bisogno di tempo affinché la nostra cultura cambi prospettiva sulle potenzialità di proposte così inconsuete, queste potrebbero essere la chiave per adottare visioni a lungo termine che possano promuovere uno sviluppo urbano sostenibile, inclusivo ed equo.

Il potenziale delle microalghe | Le microalghe sono organismi fotosintetici di diversa natura caratterizzati dall'assenza di radici, gambo o foglie, che si trovano tipicamente in acque dolci o salate. In ficologia, il termine 'microalga' fa riferimento alle alghe microscopiche sensu stricto, includendo anche i cianobatteri (Tomaselli, 2004). Alcune fra le microalghe maggiormente coltivate sono la *Chlorella* e la *Spirulina* (Fig. 1). Quest'ultima, un cianobatterio di colore blu-verde, è oggi diventato un integratore alimentare molto popolare dato l'alto contenuto proteico. Le proprietà delle alghe erano conosciute dall'uomo sin dall'antichità e in Messico la *Spirulina* veniva utilizzata come

cibo dagli Aztechi. I locali raccoglievano l'alga fresca dal lago Texcoco, facendola asciugare al sole e vendendola nei mercati sotto forma di piccole torte (Sánchez et alii, 2003). Un modo molto simile di raccolta era adottato dagli indigeni della tribù Kanembu che mangiavano un cibo chiamato 'dihé', risultato dell'essiccazione della biomassa algale sulle rive del lago Ciad (Ciferri, 1983; Fig. 2). Questa pratica tradizionale è ancora comune nella regione e il suo commercio rappresenta un importante contributo all'economia locale (Abdulqader et alii, 2000).

Nei Paesi in via di sviluppo la coltivazione di *Spirulina* è, inoltre, un efficace rimedio contro la malnutrizione cronica e permette la creazione di svariati posti di lavoro. Anche in Francia vi è un vasto network di produttori che coltivano *Spirulina* con pratiche di stampo artigianale³. A partire dagli anni '50 e in seguito all'emergere di forti dubbi sull'efficacia dell'agricoltura convenzionale per far fronte alla dilagante fame nel mondo (Belasco, 1997), un crescente numero di esperti è stato attratto dalle parecchie possibilità d'uso delle microalghe. Ambiziosi studi sono stati finanziati dai maggiori istituti di ricerca e sono state avviate coltivazioni sotto condizioni controllate mirate a investigarne il potenziale in diversi campi (Garrido-Cardenas et alii, 2018; Fig. 3).

Le più recenti ricerche hanno dimostrato che le microalghe possono essere utilizzate a uso nutritivo umano e animale, per l'estrazione di componenti ricchi di principi attivi, ma anche per la fitodepurazione, la produzione di biocarburanti e fertilizzanti organici (Khan et alii, 2018). Per via della loro efficienza fotosintetica, le microalghe costituiscono in aggiunta uno strumento promettente per la mitigazione del biossido di carbonio in atmosfera (Singh and Ahluwalia, 2013). Considerando quindi i diversi ambiti di applicazione e la relativa facilità di coltivazione, le microalghe potrebbero ricoprire un ruolo importante all'interno di soluzioni pionieristiche su più livelli.⁴

Sperimentazioni, progetti, realizzazioni | Nella sfera del design e dell'architettura le sperimentazioni che utilizzano le microalghe sono piuttosto circoscritte. Il paragrafo passa in rassegna alcuni fra i più significativi progetti avviati nell'ultimo decennio. Queste realizzazioni operano dal livello del prodotto fino a quello architettonico e sono state, in molti casi, risultato della collaborazione con biologi e ingegneri. Per quanto concerne le sperimentazioni con i pigmenti, il prototipo di *Algaerium Bioprinter* è un innovativo dispositivo che permette la stampa digitale per mezzo di un bio-inchiostro a base di microalghe (Sawa, 2016). Similmente, il gruppo di ricerca di Living Ink Technologies sta lavorando per la commercializzazione di un inchiostro simpatico (Fig. 4), con il quale si possano creare illustrazioni dinamiche⁵. Lo studio di design berlinese Blonde & Bieber ha invece optato per lavorare con la stampa tessile: forme astratte vengono impresse su tessuto per creare pattern unici dai colori variegati.⁶

Sono stati inoltre ideati diversi sistemi per la produzione domestica di *Spirulina*. Degno di nota è Farma (Fig. 5), il lavoro di William Patrick del MIT Media Lab, ovvero un fotobioreattore

da tavolo in grado di produrre e filtrare la *Spirulina*, creandone una polvere che può essere inserita in capsule. Le istruzioni per la costruzione del dispositivo sono state rese disponibili online per poterlo replicare in autonomia⁷. Living Things è infine un'installazione del 2015 di Jacob Douenias e Ethan Frier che mette in mostra futuristici elementi di arredo celebranti una relazione simbiotica fra le persone e i microrganismi. In questo caso la *Spirulina* viene coltivata per mezzo di bioreattori in vetro incorporati all'interno di mobili per la cucina, per la sala da pranzo e il salone (Fig. 6).

In contesti urbani le microalghe possono essere utilizzate per la realizzazione di rivestimenti di edifici e facciate verdi in grado di purificare le acque reflue degli stabili sulle quali sono installate (Marino and Giordano, 2015). «I vantaggi unici di queste bio-facciate, che combinano cicli tecnici e biologici, inaugurano un approccio innovativo alla sostenibilità integrando valori ambientali, energetici e iconici»

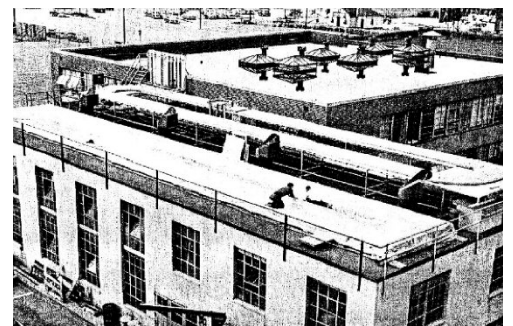


Fig. 1 | Filaments of *Arthrospira Platensis*, also known as *Spirulina*, under microscopic view. The name derives from its unique form (credit: www.iltarassaco.com).

Fig. 2 | A woman harvests sun-dried *Spirulina* on the sandy shores of Lake Chad. The technique is handed down from mother to daughter (credit: M. Marzot, 2010).

Fig. 3 | First microalgae mass culture experiments on a rooftop at MIT, Massachusetts (credit: J. S. Burlew, 1953).



Fig. 4 | Timelapse Ink by Living Ink Technologies is a sustainable bio-ink obtained from algae that can also be used for digital printing (credit: Living Ink Technologies, 2015).

Fig. 5 | Farma reactor brews, measures, filters, and dries Spirulina for domestic use (credit: W. Patrick, 2015).

(Elrayies, 2018, p. 1175). Ne è un esempio la BIQ House di Amburgo (Fig. 7), la prima costruzione al mondo che utilizza le microalghe per produrre la biomassa e l'energia termica necessarie al fabbisogno dell'edificio. La produzione microalgale può essere integrata anche con altre infrastrutture metropolitane, come nel caso di Culture Urbaine a Ginevra (Fig. 8). Il progetto, che ha previsto l'installazione su un viadotto di un sistema chiuso di tubi trasparenti, è stato eseguito in prossimità di una strada trafficata per poter utilizzare la luce solare e la CO₂, entrambe abbondantemente presenti in loco. Culture Urbaine è di particolare interesse in quanto riesce a coniugare la produzione alimentare in un ambiente urbano, la reinterpretazione delle infrastrutture esistenti e il mantenimento degli spazi verdi.

Un altro progetto rilevante è Floating Fields a Shenzhen (Fig. 9), che ha visto la trasformazione di una fabbrica di farina in disuso in «un paesaggio produttivo di bacini d'acqua, che dimostra come la progettazione architettonica possa integrare al suo interno temi quali acquaponica, coltivazione di alghe, ciclo di purificazione dell'acqua e produzione alimentare sostenibile» (Chung, 2016, p. 35). Quest'area è stata concepita come un laboratorio di ricerca sul design rigenerativo, nonché come punto di incontro e ricreazione per la comunità. L'integrazione architettonica e infrastrutturale di coltivazioni di microalghe apre quindi nuove dimensioni nel campo della sostenibilità per designer e architetti (Proksch, 2013).

Diverse altre strutture e padiglioni sono stati progettati negli ultimi anni. Fra tutte meritano

menzione Algaeator di Tyler Stevermer e Jie Zhang, Urban Algae Folly (Fig. 10), BIOtech-HUT e Photo.Synth.Etica di ecoLogicStudio e Algae Dome di SPACE10 (Fig. 11). Dotato di una struttura a cupola che permette l'alloggiamento di un tubo flessibile all'interno del quale cresce la Spirulina, Algae Dome è stato esposto a Copenaghen in occasione della CHART Art Fair del 2017. Obiettivo dell'installazione è stato quello di far riflettere sulle potenzialità delle microalghe nel contrastare la malnutrizione e mitigare i cambiamenti climatici globali, nel tentativo di creare uno spazio produttivo a disposizione dei cittadini. Con la biomassa coltivata, sono state realizzate visionarie ricette fra cui le patatine alla Spirulina e il Dogless Hotdog (Fig. 12)⁸. Per quanto concerne i fotobioreattori a uso comunitario, è senza dubbio ugualmente ammirevole il lavoro di Cesare Griffa, che ha costruito WaterLilly 3.17 per ingaggiare la collettività. È stato inoltre ipotizzato uno scenario economico comprensivo di un corollario di attività per assicurare la sostenibilità del progetto (Griffa and Vissio, 2018).⁹

I casi illustrati sono estremamente innovativi e hanno ottenuto discreti riscontri mediatici. Ciononostante la loro effettiva sostenibilità, sia in termini ambientali che economici, è ancora da dimostrare. Facendo seguito a questo successo, molti altri designer e architetti stanno presentando concept avveniristici, ma che sovente risultano di difficile implementazione – se non impossibile – perlomeno con le tecnologie odierne (Fig. 13). Al fine, perciò, di realizzare progetti in grado di sfruttare appieno le proprietà delle microalghe, è necessario anzitutto possederne una buona conoscenza. Oltre a ciò è opportuno ragionare sistematicamente per cogliere potenziali connessioni con altri domini.

Metodologia di analisi | Dalla letteratura non emergono rilevanti studi comparativi su progetti che coinvolgono la produzione di microalghe in scenari urbani. L'analisi dei casi studio qui di seguito illustrata permette di evidenziare quali siano le potenzialità e le criticità delle diverse realizzazioni, le tendenze progettuali e i relativi periodi di durata operativa. Allo scopo di avere una panoramica più completa possibile, lo studio ha preso in considerazione casi esemplari di diversa tipologia fra cui installazioni, integrazioni architettoniche e infrastrutturali, oltre a progetti per il sociale. I casi esaminati sono 18 e si collocano temporalmente dal 2011 a oggi.

La produzione di microalghe in città possiede, in effetti, molti punti in comune con le ben più note pratiche di agricoltura urbana e periurbana. A motivo di tali rassomiglianze, i casi studio sono stati valutati attraverso una metodologia simile a quella impiegata da MADRE (2018) per una selezione di buone pratiche di orti cittadini. Questa ha previsto la determinazione di alcuni parametri, messi a confronto per mezzo di un grafico radar composito. L'analisi ha identificato il contributo di ognuno dei progetti a sei diverse sfide: i parametri assumono una connotazione di tipo qualitativo e sono visualizzati su una scala da 1 a 3, in cui 1 esprime un contributo minimo e 3 un contributo significativo. A seguire la descrizione delle sfide e il dettaglio della valutazione per ognuna di esse.

- 1) Creazione di lavoro: nuove attività lavorative attinenti alla manutenzione degli impianti di produzione, coltivazione, trasformazione, commercializzazione, promozione e distribuzione di prodotti (primari e trasformati), ma anche la formazione di personale specializzato. È utile per contrastare la povertà nelle aree più degradate.
- 2) Inclusione sociale: iniziative che coinvolgono direttamente le comunità locali senza distinzione di sesso, età o etnia e mirate all'integrazione delle fasce più deboli della popolazione.
- 3) Supporto educativo/divulgativo: trasmissione di principi relativi alla sostenibilità ambientale, al tema del cibo sano e della sicurezza alimentare per un pubblico allargato. Ci si riferisce all'educazione di bambini, adulti e anziani attraverso metodi pedagogici tradizionali o alternativi. L'aspetto divulgativo tiene conto, oltremodo, della risonanza mediatica del progetto o dell'affluenza di visitatori in caso di mostre e fiere.
- 4) Impatto ambientale: per qualificare il contributo a questa sfida ci si è limitati a considerare la quantità di biomassa prodotta, la sostenibilità delle tecniche applicate per la produzione e la raccolta e le misure adottate per l'eventuale distribuzione.
- 5) Creazione di valore: la vendita al dettaglio e la realizzazione di un marchio sono modi per consolidare la qualità dei prodotti, permettendo ai consumatori di riconoscere il valore aggiunto.
- 6) Avvio di sinergie sul territorio: la collaborazione con terzi favorisce lo sviluppo e il mantenimento dei progetti. Questo genera fruttuose interazioni con cittadini e associazioni di consumatori, autorità pubbliche a livello locale e/o regionale, piccole e medie imprese private, professionisti di settore, scuole, Università e Centri di ricerca.

Limiti e possibilità dei progetti | La restituzione dei casi studio mostra anche la loro collocazione spaziale e temporale (Fig. 14). Si nota che la durata operativa media della maggior parte dei progetti risulta di pochi mesi (in alcuni casi addirittura giorni), quindi relativamente limitata. Quelli che si distinguono per un'operatività più lunga – anche di anni – sono principalmente integrazioni architettonali o attività con un modello di business solido, dove il contributo multidisciplinare di più profili è stato fondamentale. Una maggiore durata è un fattore non indifferente che permette di pianificare e mettere in pratica una serie di collaborazioni virtuose. Il grafico radar (Fig. 15), risultato della sovrapposizione dei diagrammi ottenuti dall'analisi di ogni singolo caso studio, mostra il contributo globale dei progetti a ogni sfida. Le aree dal colore più scuro indicano un contributo superiore. Sperimentazioni così nuove e fuori dagli ordinari canoni necessitano di essere spiegate e raccontate tanto quanto le proprietà delle microalghe: il valore educativo dei progetti è, quindi, mediamente elevato. La sostenibilità ambientale è un ulteriore elemento molto importante. Tuttavia le prestazioni a livello tecnico-produttivo appaiono spesso inadatte, risultando in progetti esteticamente attraenti ma poco efficienti. In alcuni casi, inoltre, la biomassa prodotta non viene addirittura utilizzata in quanto non certificata a uso alimentare.

È interessante notare che, a prescindere dalla durata, vi è una tendenza a inserire i progetti all'interno di contesti allargati, come eventi cittadini e aree a uso polivalente, quasi a sottolineare la necessità di connetterli al tessuto locale. A esclusione di alcuni casi esemplari, la maggior parte non contempla la possibilità di utilizzare le microalghe come vettore di crescita economica e integrazione sociale. Queste sono indubbiamente aree di lavoro critiche che meriterebbero di essere approfondite. Ambito di ricerca e pratica particolarmente avvincente, ma scarsamente investigato è, infine, quello della promozione, con speciale attenzione alla comunicazione dei valori legati al prodotto e alla filiera nella sua più ampia accezione. I casi studio analizzati presentano importanti limiti, ma al contempo aprono nuove possibilità. In ottica di progettare a vantaggio delle comunità, facendo fronte ai problemi delle città con un pensiero resiliente, soluzioni di questo tipo dovrebbero operare con uno spettro d'azione a più ampio raggio e sul lungo periodo, favorendone la scalabilità. Un approccio tale promuoverebbe nuove visioni legate sia alla realizzazione di un prodotto, ma anche alle infrastrutture economiche e sociali nella loro interezza (Peruccio et alii, 2018).

Linee guida progettuali | Di seguito vengono tracciate le linee guida per la progettazione di

prodotti, servizi e sistemi adattivi integrati, attuabili non solo in aree urbane e tali da utilizzare le microalghe come forza trainante per incentivare la redditività economica, la sostenibilità ambientale e l'inclusione sociale. Queste indicazioni sono prevalentemente per la progettazione di prodotti o di installazioni urbane dalle dimensioni contenute, sebbene possano essere valide – con le dovute considerazioni – anche per interventi su scala architettonica. In primo luogo è necessario analizzare criticamente le cornici uniche in cui si opera, al fine di identificare le leve per far fronte ai problemi con cognizione di causa e rigore scientifico. La produzione di microalghe non deve essere tuttavia un'opzione calata dall'alto, bensì una risposta adeguata al contesto. Senza entrare a fondo in domini di competenza tipici di altre materie, lo studio delle microalghe è basilare per capirne il funzionamento.

Sulla base delle necessità progettuali è d'uopo identificare le specie più indicate per il caso particolare, prevenendo che se usate a scopo alimentare devono essere coltivate in acque incontaminate. Il designer dovrebbe distogliere l'attenzione dalla sola componente materiale del progetto, focalizzandosi sulla definizione di servizi annessi, esperienze e sugli aspetti educativi. Data la scarsa conoscenza del tema a un pubblico di non esperti, è bene fornire nozioni di carattere generale che ne per-



Fig. 6 | Living Things is an installation by J. Douenias and E. Frier at the Mattress Factory Museum in Pittsburgh, Pennsylvania, 2015 (credit: E. Frier, 2015).



Fig. 7 | BIQ House by ARUP. The south-east and south-west facades are covered with panel photobioreactors (credit: ARUP, 2013).

Fig. 8 | Culture Urbaine by The Cloud Collective is one of the 13 temporary installations that were part of the 'Festival Genève: Villes et Champs', 2014 (credit: The Cloud Collective, 2014).

mettano una maggiore comprensione. La consapevolezza permetterebbe di incoraggiare l'adozione, che a oggi è ancora limitata. La collaborazione con altri professionisti è fortemente consigliata per colmare le lacune disciplinari. Così come è importante il coinvolgimento dei cittadini e delle attività locali quali ristoranti, mense, negozi, scuole e palestre. Anche le istituzioni e le Università potrebbero partecipare in maniera più o meno diretta, fornendo contributi finanziari, scientifici e culturali.

Oltre all'impatto ambientale, bisogna verificare attentamente la sostenibilità economica dei progetti. Per fare ciò è consigliabile rifarsi a modelli dimostratisi vincenti, richiedendo il supporto di specialisti e migliorando i periodi di recupero dell'investimento. Per agevolare la replicabilità, si potrebbe, infine, prevedere di rendere i progetti 'open source', ovvero modificabili, adattabili e migliorabili da parte di chiunque. Si consideri, inoltre, che la scala fisica della realizzazione non è proporzionalmente correlata al suo impatto: piccoli prodotti possono cambiare radicalmente la qualità della vita di intere comunità, mentre installazioni più grandi potrebbero richiedere ingenti sforzi economici e gestionali. Per concludere, è bene tenere a mente che lo scopo finale del progetto non deve essere la sola coltivazione delle microalghe a uso commerciale – come d'altronde avviene già in enormi impianti produttivi situati fuori dai centri abitati – ma l'utilizzo di queste per la creazione di valore e l'avvio di un cambiamento urbano positivo per i residenti.

Considerazioni finali | La dimensione architettonica e quella del prodotto, così come l'auto-produzione e la coltivazione urbana, operano su diverse scale e necessitano pertanto di ap-

procci progettuali ben distinti. Nonostante l'implementazione di progetti che prevedono la produzione microalgale non sia immediata a causa delle complessità tecniche, operative e gestionali, ve ne sono diversi in fase di avviamento anche in Italia, come quello di TNE (Torino Nuova Economia) presso gli ex stabilimenti Fiat di Mirafiori (Luise, 2019). Esempi virtuosi come i precedentemente citati Algae Dome e Skyline Spirulina (Fig. 16) dovrebbero essere presi come modello. Skyline Spirulina è il progetto di una start up thailandese che coltiva microalghe sul tetto di un hotel nel centro di Bangkok, per distribuirle sia a clienti alto spendenti che ai più bisognosi (Ortolani, 2016). I presenti progetti che di base posseggono molte differenze, sono in realtà efficaci perché accomunati dal coinvolgimento di più parti (aziende private, Istituzioni, Centri di ricerca, ecc.). Per quanto concerne i modelli di business, si potrebbero, inoltre, adattare all'ambiente urbano quelli degli Spiruliniers francesi e dei villaggi rurali nei Paesi in via di sviluppo che, a fronte di bassi investimenti e tecnologie elementari, consentono di generare occupazione e di produrre cibo sano e sostenibile in abbondanza.

Coltivazioni microalgali in città sui tetti piani, in aree inutilizzate, in spazi comuni ma anche in ambienti indoor, renderebbero l'aria più pulita e creerebbero nuove zone per l'approvvigionamento alimentare, non in competizione con quelle dedicate alle produzioni agricole tradizionali. La biomassa potrebbe essere utilizzata anche come fertilizzante per orti e giardini. Alla stregua di qualsiasi altra pratica di agricoltura urbana, prodotti, servizi e sistemi analoghi permetterebbero di coinvolgere la popolazione «migliorando l'identità sociale e culturale comune dei cittadini» (Ackerman et alii, 2014, p. 190). In

un futuro prossimo le coltivazioni di microalghe potrebbero vedere una rapida ascesa. Se «alcuni prevedono grandi impianti centralizzati che producono cibo ed energia su vasta scala [...] altri vedono invece produzioni più piccole connesse in rete» (Henrikson, 2013, p. 11). Si ipotizzano, ad esempio, dispositivi a uso comunitario che possano fungere anche da luogo di aggregazione. Questi potrebbero essere inseriti all'interno di quartieri, scuole o centri commerciali e mostrare in tempo reale le quantità di biomassa prodotta e di CO₂ sottratta. Il servizio di distribuzione potrebbe avvenire per opera di volontari, che otterrebbero dei crediti spendibili all'interno di una rete di attività commerciali partner.

Soluzioni simili potrebbero essere alcune fra le vie perseguibili per immaginare un futuro sostenibile per le città e di conseguenza pianificare prospetti resilienti caratterizzati da nuovi equilibri. Il maggiore ostacolo, per il momento, sembra essere di tipo culturale poiché le microalghe non sono un alimento dal gusto e dall'aspetto familiari. La coltivazione locale in città potrebbe, però, cambiarne la percezione e quindi fornire una motivazione in più per l'adozione, immaginando anche nuovi usi della biomassa fresca.

Cities are places in which cultures are born, ideas are developed, and economic-productive systems flourish (Braudel, 1984). At the same time, it is in these contexts that the great problems arising from unsustainable growth models, climate change, migration, and financial crises are being revealed (Jacobs, 1961). Urban agglomerations, which are expected to



Fig. 9 | Floating Fields in Shenzhen is a project by T. Chung and one of the winners for the World Architecture Festival 2016 (credit: T. Chung, 2016).

Fig. 10 | Urban Algae Folly by ecoLogicStudio in the Future Food District at Milan EXPO2015 (credit: ecoLogicStudio, 2015).

see a strong demographic and dimensional development in the next decades (United Nations, 2018), have a considerable negative impact on natural ecosystems. Therefore, operating on their sustainability is imperative, entailing difficulties but also unique opportunities (Rees and Wackernagel, 1996). Among the many challenges, resilient cities should be able to cope with air pollution, to plan water and food supply systems in the event of scarcity of agricultural areas, find new uses for abandoned or degraded zones, while supporting disadvantaged groups of the population. This is not only to mitigate damages but, primarily, to adapt new project proposals to a radical and irreversible change.

Nowadays design means conceiving products, systems, services, and experiences that lead to a better quality of life¹. The Design should not have an anthropocentric vision anymore and «its methods should be aimed at [...] reintegrating our relationship with the environment and with all the species» (Antonelli, 2019, p. 38). For the first time, a radical approach to design is emerging. It draws on biological sciences and combines the use of living matter within products, structures, and processes (Myers, 2018). Several designers have already showcased progressive solutions – even to urban-scale problems – which involved the use of animals, plants, algae, mosses, fungi, bacteria, and other organic materials². This paper analyzes the characteristics of those projects that included the use of microalgae, providing design researchers and professionals with the guidelines to introduce them in urban experimentations. Moreover, possible disciplinary influences are suggested, and potential stakeholders identified. Although our culture will need

time to shift its perspective to the potential of such unusual proposals, these could be the key for the adoption of long-term visions that can foster sustainable, inclusive, and fair urban development.

The potential of microalgae | Microalgae are photosynthetic organisms of different natures characterized by the absence of roots, stem or leaves, which are typically found in fresh or salt waters. In phycology, the term ‘microalga’ refers to the microscopic algae *sensu stricto*, and the cyanobacteria (Tomaselli, 2004). Some of the most widely cultivated microalgae are *Chlorella* and *Spirulina* (Fig. 1). The latter, a blue-green cyanobacterium, has become a popular food supplement due to its high protein content. The properties of algae have been known to man since ancient times, and in Mexico, they were used as food by the Aztecs. Fresh *Spirulina* was harvested from Lake Texcoco, exposing it to the sunshine for drying, and selling it in markets in the form of small cakes (Sánchez et alii, 2003). A similar harvesting method was adopted by the indigenous Kanembu tribe, who ate a substance called ‘dihé’, obtained by sun-drying the algal biomass on the shores of Lake Chad (Ciferri, 1983; Fig. 2). This traditional practice is still common in the region and its trading represents an important contribution to the local economy (Abdulqader et alii, 2000).

In developing countries, the cultivation of *Spirulina* produces also an effective remedy against chronic malnutrition and permits the creation of numerous jobs. There is also a vast network of producers in France who grow *Spirulina* with artisanal practices³. Since the ‘50s significant doubts have emerged about

the ability of conventional agriculture to feed the exponentially-growing world population (Belasco, 1997), and many experts have been attracted by the numerous possibilities of using microalgae. Major research institutes have funded ambitious studies, and cultivations under controlled conditions have started, aimed at investigating their potential in various fields (Garrido-Cardenas et alii, 2018; Fig. 3).

Recent research has shown that microalgae can be used as human food and animal feed, to extract added value components, but also for phyto-purification, the production of biofuels, and organic fertilizers (Khan et alii, 2018). Besides, because of their photosynthetic efficiency, microalgae represent a promising tool for mitigating carbon dioxide in the atmosphere (Singh and Ahluwalia, 2013). Therefore, considering the different fields of application and the relative ease of cultivation, microalgae could play an important role in pioneering solutions in different contexts.⁴

Experimentations, projects, installations | In the sphere of design and architecture, experimentations with microalgae are still rather limited. This section reviews some of the most significant projects of the last decade. These developments range from products to architectural installations and, in multiple cases, were the result of collaboration with biologists and engineers. As regards experimentation with pigments, the prototype of *Algaerium Bio-printer* is an innovative device that allows digital printing utilizing an algal bio-ink (Sawa, 2016). Similarly, the research group of Living Ink Technologies is working on the marketing of a time-lapse ink (Fig. 4), with which dynamic illustrations can be created⁵. The Berlin-based design studio



Fig. 11 | People gathering and chatting under the Algae Dome in Copenhagen, 2017 (credit: N. A. Vindelev, 2017).

Fig. 12 | Spirulina is commonly added to the dough for several recipes. The Dogless Hotdog, developed by SPACE10's chef-in-residence S. Perez, replaces meat with mushrooms and has a high protein content (credit: K. Kristoffersen, 2017).

Fig. 13 | The utopian Eco-Pod concept by Höweler + Yoon and Squared Design Lab. The modules are located in brownfield sites and continuously reconfigured to ensure optimal algae growth conditions, to be used for the production of biofuels (credit: Squared Design Lab, 2009).

Blonde & Bieber has instead opted to work with textile printing: abstract shapes are imprinted on fabric to create unique patterns with mottled colours.⁶

Different systems have also been designed for the domestic production of Spirulina. Worthy of note is Farma (Fig. 5), the work of William Patrick from the MIT Media Lab, which is a table photobioreactor capable of producing and filtering Spirulina, creating a powder to be inserted in capsules. The instructions for the construction of the device have been made

available online for users to be able to replicate it independently⁷. Lastly, Living Things is a 2015 installation by Jacob Douenias and Ethan Frier which contains futuristic furnishings celebrating a symbiotic relationship between human beings and microorganisms. In this case, Spirulina is cultivated through glass bioreactors incorporated within the furniture of the kitchen, the dining room, and the living room (Fig. 6).

In urban contexts, microalgae can be used for claddings of structures and green facades, capable of purifying the wastewaters of the

buildings on which they are installed (Marino and Giordano, 2015). «The unique benefits of the bio-facades through the combination of the technical and biological cycles within buildings inaugurate an innovative approach to sustainability by integrating environmental, energetic, and iconic values» (Elrayies, 2018, p. 1175). One example is the BIQ House in Hamburg (Fig. 7), the first building in the world that used microalgae to produce the biomass and thermal energy necessary for its needs. Microalgal production can also be integrated with

other metropolitan infrastructures as in the case of Culture Urbaine in Geneva (Fig. 8). The project, which included the installation of a closed transparent pipe system on a viaduct, was carried out near a busy road to use sunlight and CO₂ – both abundantly present on-site. Culture Urbaine is of particular interest as it has succeeded in combining food production in an urban environment, in reinterpreting the existing infrastructures, and in the maintenance of green spaces.

Another relevant project is Floating Fields in Shenzhen (Fig. 9), the transformation of an abandoned flour factory into «a productive and leisure pond-scape, demonstrating how architectural design can integrate concepts of aquaponics, floating plots, algae cultivation, self-cleansing water cycle and sustainable food production» (Chung, 2016, p. 36). This area is conceived as a research laboratory on regenerative design, as well as a recreational location for the community. Thus, the architectural and infrastructural integration of microalgae cultivations opens up new dimensions in the field of sustainability for designers and architects (Proksch, 2013).

Several other structures and pavilions have been designed in recent years. Among them Algaevator by Tyler Stevermer and Jie Zhang, Urban Algae Folly (Fig. 10), BIOtechHUT and Photo.Synth.Etica by ecoLogicStudio, and Algae Dome by SPACE10 (Fig. 11). Characterized by a hemispherical-shaped structure that allows the housing of a flexible tube in which Spirulina grows, Algae Dome was presented in Copenhagen during the 2017 CHART Art Fair. The installation was aimed at stimulating reflection on the potential of microalgae for preventing malnutrition and mitigating climate change, in the attempt to create a productive space available to citizens. With the cultivated biomass, visionary recipes were created, including Spirulina chips and the Dogless Hotdog (Fig. 12)⁸. Regarding photobioreactors for a communitarian use, the work of Cesare Griffa is undoubtedly admirable. Griffa built WaterLilly 3.17 to engage the community, and an economic scenario was also hypothesised, including a corollary of activities to ensure the sustainability of the project (Griffa and Vissio, 2018).⁹

All these designs are truly innovative and have gained considerable media coverage. Nevertheless, their sustainability both in environmental and economic terms has yet to be demonstrated. Following on from this success, many other designers and architects have presented futuristic concepts, which however are often difficult – if not impossible – to implement with present-day technologies (Fig. 13). Therefore, it is of primary necessity to possess a good knowledge of microalgae, to develop projects which can take full advantage of their countless properties. In addition to this, systemic reasoning is helpful to grasp potential connections with other domains.

Analysis methodology | The literature does not provide any relevant comparative studies on projects that involve the production of microalgae in urban scenarios. The analysis of the case studies illustrated below highlights the potential and criticality of the different developments, the design trends, and the relative periods of operation. To have a more comprehensive view, this study took into consideration exemplary cases of diverse types, including installations, architectural and infrastructural integrations, as well as social projects. 18 cases from 2011 to the present are examined.

The production of microalgae in cities has multiple points in common with the better-known urban and peri-urban farming practices. Because of these similarities, the case studies were analyzed adopting a methodology similar to the one used by MADRE (2018) for the assessment of selected urban farming activities. This involved the determination of several parameters, later compared through a composite radar chart. The analysis identified the contribution of each project to six different challenges. The parameters have a qualitative connotation and are displayed on a scale of 1-3, in which 1 expresses a minimum contribution and 3 a significant contribution. The description of the challenges and the evaluation details follow.

- 1) Job creation: new activities related to maintenance, production, harvesting, processing, marketing, promotion, and distribution of products (primary and processed). This also includes the training of specialized personnel and is useful for fighting poverty in the most degraded areas.
- 2) Social inclusion: initiatives that directly involve local communities without distinction of sex, age or ethnicity and are aimed at empowering people from disadvantaged neighbourhoods.
- 3) Education/divulgaration support: transmission to a wider public of principles linked to environmental sustainability, healthy diet, and food security. This encompasses the education of children, adults and the elderly through traditional or alternative pedagogical methods. The divulgation takes into account the media coverage of the project or the number of visitors in

the case of exhibitions and fairs.

4) Environmental impact: to evaluate the contribution to this challenge, the quantity of biomass produced, the sustainability of the techniques applied for the production and collection, and the measures adopted for the eventual distribution have been taken into account.

5) Value creation: retailing and brand building are ways to consolidate the quality of the products, permitting consumers to recognize the added value.

6) Generation of synergies on the territory: collaboration with third parties encourages the development and maintenance of the projects. This generates fruitful interactions with citizens and consumer associations, public authorities at local and/or regional level, small and medium private companies, professionals, schools, Universities, and Research centers.

Limits and possibilities of the projects | The analysis of the case studies also examined their spatial and temporal location (Fig. 14). Interestingly, the average duration of most projects is a few months (in certain cases only some days), therefore relatively limited. Those that stand out for a longer operational time – even years – are mainly architectural integrations or activities with a solid business model, where the multidisciplinary contribution of several experts has been crucial. A longer duration is a factor that allows a series of fruitful collaborations to be planned and put into practice. The radar chart (Fig. 15), resulting from the overlapping of the diagrams obtained from the analysis of each case study, shows the global contribution of the projects to each challenge. The darker areas indicate greater contribution. Such new experimentations, unfettered by the established canons, need to be explained and narrated as much as the properties of microalgae: the educational value of the projects is therefore generally high. Environmental sustainability is another very important element. However, technical performances often appear unsuitable, resulting in aesthetically attractive but inefficient projects. In some cases, moreover, the biomass produced is not even utilized as it is not certified for food use.

Regardless of duration, there is a tendency

Fig. 14 | The most representative projects involving the production of microalgae in urban areas since 2011 (data as at September 2019).

Project name	Designer(s)	Place	Starting period	Duration
1. Algaegarden	Ring, Parker, & Fredericks	Grand-Métis, Canada	2011, June	15 months
2. Skyline Spirulina	EnerGaia	Bangkok, Thailand	2013, January	6 years and 8 months
3. BIQ House	ARUP	Hamburg, Germany	2013, April	6 years and 5 months
4. Algaevator	Stevermer & Zhang	Cambridge, Massachusetts	2013, December	3 months
5. Urban Algae Canopy	ecoLogicStudio	Milan, Italy	2014, April	12 days
6. Urban Algae Facade	Cesare Griffa	Milan, Italy	2014, April	12 days
7. Culture Urbaine	The Cloud Collective	Geneva, Switzerland	2014, June	5 months
8. The Third Paradise	Michelangelo Pistoletto	Copenhagen, Denmark	2014, October	2 months
9. Urban Algae Folly	ecoLogicStudio	Milan, Italy	2015, May	6 months
10. Facade System	MINT Engineering GmbH	Berlin, Germany	2015, November	3 years and 10 months
11. Floating Fields	Thomas Chung	Shenzhen, China	2016, March	10 months
12. BIOtechHUT	ecoLogicStudio	Astana, Kazakhstan	2017, June	3 months
13. The Carbon Sink	Fermentalg & SUEZ	Paris, France	2017, July	2 years and 2 months
14. Algae Dome	SPACE10	Copenhagen, Denmark	2017, September	3 days
15. Living Solar Modules	Solaga	Berlin, Germany	2017, October	1 year and 11 months
16. WaterLilly 3.17	Cesare Griffa	Turin, Italy	2018, February	5 months
17. BioUrban 2.0	BiomiTech	Puebla, Mexico	2018, June	15 months
18. Photo.Synth.Etica	ecoLogicStudio	Dublin, Ireland	2018, November	3 days

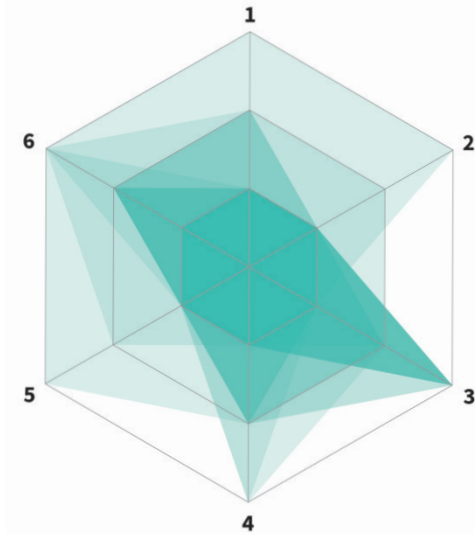


Fig. 15 | Visual depiction of the overall contribution of the case studies to the various challenges. The numbers identify: 1) Job creation; 2) Social inclusion; 3) Education/divulcation support; 4) Environmental impact; 5) Value creation; 6) Generation of synergies on the territory.



Fig. 16 | Startup EnerGaia grows Spirulina on the rooftop of the hotel Novotel in Siam Square, Bangkok (credit: P. Di Bella/Redux, 2016).

to include projects within far more extended contexts, such as city events or multi-purpose areas, as if to emphasize the need to connect them to the surroundings. Apart from some exemplary cases, most do not ponder the possibility of using microalgae as a vector of economic growth and social integration. These are two undoubtedly critical areas of practice and research that deserve to be explored. Finally, the communication and promotion of the values of these projects are particularly compelling but poorly investigated. The case studies analyzed have significant limitations but at the same time present new possibilities. To design for the benefit of the community, dealing with the problems of cities with resilient thinking, projects like these should operate with a larger range of action, and in the long term, with the intent of favouring their scalability. This approach would promote new visions not only linked to the creation of a product but also the economic and social infrastructures in their entirety (Peruccio et alii, 2018).

Design guidelines | This paragraph draws the guidelines for the design of integrated adaptive products, services, and systems. These are useful for the implementation of projects which involve the use of microalgae as driving forces for fostering economic profitability, environmental sustainability, and social inclusion primarily in urban areas, but also everywhere. These indications are mainly for the design of products or small-scale urban installations, although they can be valid – with due consideration – also for interventions on an architectural scale. Firstly, it is necessary to critically examine the unique contexts of operation, to identify the key factors for facing the problems with full knowledge of the facts and scientific rigour. However, the production of microalgae must not be an imposed option, but rather an adequate response to the circumstances. The study of microalgae is fundamental to understand how they function, without the need to enter deeply into the domains of competence of other subjects.

Based on the project needs, it is necessary to identify the most suitable algal species for the particular case, planning that if they have to be used as food they must be cultivated in clean waters. Designers should divert attention from the sole material component of the project, focusing on the definition of related services, experiences, and educational aspects. Given the lack of knowledge on the topic possessed by an audience of non-experts, it is good to provide general notions for a better understanding. Increased awareness would encourage adoption, which is still limited. Collaboration with other professionals is strongly recommended to fill disciplinary gaps. It is also important to involve citizens and local activities such as restaurants, canteens, shops, schools, and gyms. Even institutions and Universities could participate in providing financial, scientific and cultural contributions.

In addition to the environmental impact, the economic sustainability of the projects must be thoroughly checked. To do this it is advisable to refer to models that have been proved successful and, if necessary, asking for the support of specialists to shorten payback periods. To facilitate its replicability, the project can be 'open', therefore modifiable, adaptable and improved by anyone. The physical scale of the outcome is not proportionally related to its impact: small products can radically improve the life quality of entire communities, while larger installations may require substantial economic and management efforts.

To conclude, it is important to bear in mind that the final aim of the projects must not be the mere cultivation of microalgae for commercial use – as indeed already happens in huge production plants located in the countryside – but the use of these for the creation of value leading towards positive urban change for residents.

Final considerations | The architectural dimension and that of the product, as well as the self-production and the urban farming, operate

on different scales and therefore need distinct approaches. Although the implementation of projects which envisage microalgal production is not immediate due to technical, operational and management complexities, various projects are in the start-up phase also in Italy such as the one in Mirafiori (the former Fiat plant) by TNE – Torino Nuova Economia (Luise, 2019). Worthy examples, such as the aforementioned Algae Dome and Skyline Spirulina (Fig. 16), should be taken as reference. Skyline Spirulina is the project of a Thai company that cultivates microalgae on the rooftop of a hotel in the center of Bangkok. It distributes the product to both high-spending customers and people in need (Ortolani, 2016). These two projects, considerably different from each other, are indeed effective because they involve several stakeholders (private companies, Institutions, Research centers, etc.). As far as business models are concerned, those of the French Spiruliniers and the rural villages in developing countries could also be adapted to the urban environment. In the face of low investments and rudimentary technologies, these models enable the generation of employment and the production of healthy and sustainable food in abundance.

Urban microalgae farms on flat roofs, in brownfield sites, in common spaces, but also indoor, would make the air cleaner and create new food supply areas, without competing with those dedicated to traditional agriculture. The biomass could also be used as fertilizer for vegetable gardens and parks. Like any other urban farming practice, the relative products, services, and systems would allow the population to be involved «enhancing the common social and cultural identity for city residents» (Ackerman et alii, 2014, p. 190). Shortly, microalgae production could experience a rapid rise. If «some envision huge centralized algae farms producing food and energy on a vast scale [...] others see networks of smaller farms» (Henrikson, 2013, p. 11). Realizations can be, for example, devices for community use, that can also serve as places

for social aggregation. These could be located in neighbourhoods, schools or shopping centers and show the real-time quantities of biomass produced, and of CO₂ removed. The distribution could be made by volunteers, who would get credits to be spent within a network of business partners.

Acknowledgements

The contribution is the result of a common reflection of the Authors. However, the introductory paragraph is to be attributed to P. P. Peruccio, while the paragraphs ‘The potential of microalgae’, ‘Experimentations, projects and installations’, ‘Analysis methodology’, ‘Limits and possibilities of the projects’, ‘Design guidelines’ and ‘Final considerations’ to M. Vrenna.

Notes

1) A definition of industrial design can be found on the World Design Organization’s website at: wdo.org/about/definition/ [Accessed 10 August 2019].

2) Examples are Oyster-ecture which aims to block wave motion and purify water through oyster colonies, and Pigeon d’Or, a series of installations that allow feeding the pigeons with a special yogurt, that gives cleansing properties to their faeces. Visit the websites: www.scapestudio.com/projects/oyster-ecture/ and www.cohen.vanbalen.com/work/pigeon-dor [Accessed 13 August 2019].

3) Antenna Foundation has contributed to charitable activities in Africa, Asia and South America. The model has been adopted by the farmers belonging to the Fédération des Spiruliniers de France. Visit the websites: www.antenna.ch/en/andwww.spiruliniersdefrance.fr/ [Accessed 19 August 2019].

4) Microalgae need water, light, and nutrients to grow. Even though the cultivation in open ponds is productive, photobioreactors (aquarium-like controlled closed systems) guarantee higher yields by using less land and extending the growing season.

5) More information on the website: www.kickstarter.com/projects/livingink/living-ink-time-lapse-ink [Accessed 14 September 2019].

6) More information on the website: www.domusweb.it/it/design/2014/07/16/blond_bieber_algaemy.html [Accessed 15 September 2019].

7) Cfr. Patrick, W. (2015), *Farma – A Home Bioreactor for Pharmaceutical Drugs*. [Online] Available at: www.i-amwillpatrick.com/FARMA [Accessed 18 September 2019].

8) SPACE10 works on projects related to sustainable living, and some of these focus on food production in urban environments. It is suggested to read: SPACE10 (2019), *Future food today*, Frame, Amsterdam.

9) The study noted that the system would be economically viable if the labour is considered as part of the family/community activities, or if it is shared with other activities (e.g., building management).

References

Abdulqader, G., Barsanti, L. and Tredici, M. R. (2000), “Harvest of *Arthrospira platensis* from Lake Kossorom (Chad) and its household usage among the Kanembu”, in *Journal of Applied Phycology*, vol. 12, issue 3-5, pp. 493-498.

Ackerman, K., Conard, M., Culligan, P., Plunz, R., Sutto, M.-P. and Whittinghill, L. (2014), “Sustainable food systems for future cities: The potential of urban agriculture”, in *The Economic and Social Review*, vol. 45, issue 2, pp. 189-206.

Antonelli, P. (2019), “Broken nature”, in Antonelli, P. and Tannir, A. (eds), *Broken nature – XXII Triennale di*

Similar solutions could be some of the viable means to imagine a sustainable future for cities and to plan resilient prospects characterized by new equilibria. The major obstacle for the moment seems to be cultural, as microalgae do not have a familiar taste and appearance. However, local cultivation in the city could

Milano, Mondadori Electa, Milano, pp. 16-42.

Belasco, W. (1997), “Algae Burgers for a Hungry World? The Rise and Fall of *Chlorella Cuisine*”, in *Technology and Culture*, vol. 38, issue 3, pp. 608-634.

Braudel, F. (1984), *The perspective of the world. Civilization & Capitalism, 15th -18th Century*, Harper & Row, New York.

Chung, T. (2016), “Floating Fields. Il riscatto della natura”, in *ACER*, vol. 6, issue 32, pp. 35-40.

Ciferri, O. (1983), “Spirulina, the edible microorganism”, in *Microbiological Reviews*, vol. 47, issue 4, pp. 551-578.

Elrayies, G. M. (2018), “Microalgae: Prospects for greener future buildings”, in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 1175-1191.

Garrido-Cardenas, J. A., Manzano-Agugliaro, F., Acien-Fernandez, F. G. and Molina-Grima, E. (2018), “Microalgae research worldwide”, in *Algal Research*, vol. 35, pp. 50-60.

Griffa, C. and Vissio, A. (2018), *WaterLilly – Story of an architectural photobioreactor*. [Online] Available at: drive.google.com/file/d/1VxFkWDO5fkZywy4yXEuUz-Uz_W1tfs3Vh/view [Accessed 13 June 2019].

Henrikson, R. (2013), *Algae microfarms: for home, school, community and urban gardens, rooftop, mobile and vertical farms and living buildings*, CreateSpace Independent Publishing Platform.

Jacobs, J. (1961), *The death and life of great American cities*, Vintage Books, New York.

Khan, M. I., Shin, J. H. and Kim, J. D. (2018), “The promising future of microalgae: current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products”, in *Microbial Cell Factories*, vol. 17, article number 36, pp. 1-21.

Luise, C. (2019), “Mirafiori, là dove c’era la fabbrica verrà coltivata l’alga spirulina”, in *La Stampa*, newspaper, March 6, p. 27.

MADRE (2018), *Urban and peri-urban agriculture – Best practice catalogue*. [Online] Available at: madre.interreg-med.eu/fileadmin/user_upload/Sites/Green_Growth/Projects/MADRE/MADRE_best_practice_catalogue.pdf [Accessed 17 June 2019].

Marino, V. and Giordano, R. (2015), “Requirements and performances of a façade integrated microalgae photo-bioreactor for domestic wastewater recycling”, in Astudillo, J. et alii (eds), *Proceedings of the VII International Congress on Architectural Envelopes*, Tecnalia Research & Innovation, San Sebastián, pp. 79-86.

Myers, W. (2018), *Biodesign – Nature, Science, Creativity*, Revised and expanded edition, Thames & Hudson, New York.

Ortolani, G. (2016), “Is spirulina the new kale? A Thai startup is bringing back the tiny green algae”, in *The Guardian*, newspaper online, April 7. [Online] Available at: www.theguardian.com/sustainable-business/2016/apr/07/spirulina-kale-thailand-urban-farming-environment-food [Accessed 23 September 2019].

Peruccio, P. P., Vrenna, M., Menzardi, P. and Savina, A. (2018), “From ‘the limits to growth’ to systemic design: Envisioning a sustainable future”, in Linghao, Z., Yanyan, L., Dongjuan, X., Gong, M. and Di, S. (eds), *Cumulus Conference Proceedings 2018 – Diffused Transition and Design Opportunities*, Wuxi, China, October 31-November 3, 2018, Huguang Elegant Print Co., pp. 751-759.

change this perception and therefore provide extra motivation for the adoption, also imagining new uses for the fresh biomass.

Proksch, G. (2013), “Growing Sustainability – Integrating Algae Cultivation into the Built Environment”, in *Edinburgh Architectural Research Journal*, vol. 33, pp. 147-162. [Online] Available at: sites.eca.ed.ac.uk/ear/files/2014/07/147-1621_Updated.pdf [Accessed 22 August 2019].

Rees, W. and Wackernagel, M. (1996), “Urban ecological footprints: Why cities cannot be sustainable, and why they are a key to sustainability”, in *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 16, issue 4-6, pp. 223-248.

Sánchez, M., Bernal-Castillo, J., Roza, C. and Rodríguez, I. (2003), “Spirulina (*Arthrospira*): An Edible Microorganism – A Review”, in *Universitas Scientiarum*, vol. 8, issue 1, pp. 7-24.

Sawa, M. (2016), “The laboratory life of a designer at the intersection with algal biotechnology”, in *Architectural Research Quarterly*, vol. 20, issue 1, pp. 65-72.

Singh, U. B. and Ahluwalia, A. S. (2013), “Microalgae: a promising tool for carbon sequestration”, in *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 18, issue 1, pp. 73-95.

Tomaselli, L. (2004), “The microalgal cell”, in Richmond, A. (ed.), *Handbook of Microalgal Culture – Biotechnology and Applied Phycology*, Blackwell Science, Oxford, pp. 3-19.

United Nations – Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2018), *World urbanization prospects – The 2018 revision*. [Online] Available at: population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-KeyFacts.pdf [Accessed 12 September 2019].