

## ARTICLE INFO

Received	19 March 2023
Revised	05 May 2023
Accepted	15 May 2023
Published	30 June 2023

## AMBIENTI CULTURALI CON PROSPETTIVE NON SOLO UMANE

Prototipazione attraverso ricerca e formazione

## CULTURAL ENVIRONMENTS WITH MORE-THAN-HUMAN PERSPECTIVES

Prototyping through research and training

Marie Davidová, Shany Barath, Susannah Dickinson

### ABSTRACT

Il contributo illustra diversi casi studio tra ricerca e progettazione sistemica, mettendo in relazione sistemi ecologici, tecnologici e sociali in una prospettiva 'non solo umana'. La complessità del mondo reale richiede l'impiego di metodi, strumenti e processi digitali che favoriscano la progettazione di ambienti non solo per umani e anche più ecologici, dinamici e interconnessi. Gli Autori sostengono che per raggiungere la giustizia sociale è necessario raggiungere anche quella ambientale in sinergia con il pianeta, Gaia; questo ethos è la cifra dei casi studio illustrati che dimostrano la possibilità di instaurare relazioni tra i sistemi socio-ambientali progettati e/o realizzati e valutano da un lato le azioni necessarie, incluse quelle di contrasto allo sfruttamento delle risorse non rinnovabili, per rendere la terra abitabile attraverso innovazione e sostenibilità, dall'altro i relativi risvolti per una prassi più inclusiva in termini di ricerca accademica, obiettivi pedagogici e progettualità.

The paper focuses on several systemic research-by-design case studies relating ecological, technological and social systems with a more-than-human perspective. The complexity of the real requires methods that leverage digital tools and processes proposed to enable the design of more ecological, dynamic, interrelated posthuman environments. We argue that to achieve social justice, we must also reach environmental justice and become in synergy with the planet, with Gaia. This ethos is presented in multiple case studies demonstrating the relationships between designed and existing socio and environmental systems, evaluating whether our actions on the Earth and use of non-renewable resources are sustainably innovative and what this means for more inclusive practice, the academy and our pedagogical foci and design methods.

### KEYWORDS

post-Anthropocene, prospettiva 'non solo umana', architettura non antropocentrica, design sistemico, cibernetica

post-Anthropocene, more-than-human, non-anthropocentric architecture, systemic design, cybernetics

**Marie Davidová**, Systemic Designer, is an independent junior research group leader at IntCDC University of Stuttgart (Germany). She is the chair of the Collaborative Collective practice design-research network NGO, a founding and board member of the Systemic Design Association, and a founding member of the Creative Systemic Research Platform Institute. She founded the Systemic Approach to Architectural Performance research by codesign field. E-mail: marie.davidova@intcdc.uni-stuttgart.de

**Shany Barath**, Architect, is the Director of Disrupt Design Research Laboratory, and an Assistant Professor in the Architecture and Town Planning Faculty at the Technion – Israel Institute of Technology (Israel). Her research focuses on computational design and manufacturing technologies to improve the sustainability and quality of the built environment. E-mail: barathshany@technion.ac.il

**Susannah Dickinson**, Architect, is an Associate Professor at the University of Arizona (USA) and a co-founder of the Adaptive Environments Design Lab. Her research connects multi-scalar theories of biomimetics and complexity with digital processes and design pedagogy, to bring more life and sustainability into the built environment. Email: srd@arizona.edu



Il paper per il volume sulla Innovability® (parte II) – Transizione Ecologica presenta gli esiti di una Tavola Rotonda tenutasi in occasione del Relating Systems Thinking and Design Symposium 2022, durante la quale gli esperti coinvolti hanno discusso del post-Anthropocene ipotizzando che gli umani possano vivere insieme agli altri 'esseri' in maggiore simbiosi e valutando le relative implicazioni per il mondo accademico e professionale. Per esseri non umani si intendono quelli riferibili alla natura biotica e abiotica e alle innovazioni tecnologiche come l'intelligenza artificiale o i robot<sup>1</sup>. Il saggio affronta quindi il tema postumanista proposto da Donna Haraway (1991) e Bruno Latour (1993) su prototipi e processi di vita reale finalizzati a decentralizzare l'uomo, per renderlo più aperto alle istanze degli altri esseri, e sull'individuazione di percorsi per la sostenibilità.

Sebbene le persone facciamo parte dell'ecosistema spesso le attività antropiche tradiscono questa realtà, innescando meccanismi diretti e indiretti che già oggi portano alla perdita di biodiversità e nel tempo determineranno l'estinzione dell'uomo nell'Anthropocene (Wagler, 2017). Per modificare questa nefasta prospettiva ci vengono in soccorso alcune scienze come l'ecologia della conservazione, che si concentra sulla protezione e sul ripristino della biodiversità in territori naturali incontaminati o degradati, o come l'ecologia della riconciliazione, che studia i modi in cui gli ecosistemi dominati dall'uomo possono essere modificati per favorire altre prospettive oltre a quelle umane (Rosenzweig, 2003), tutte fondate su una visione post-anthropocena di particolare interesse in quanto potenziale supporto sia per la ricerca ecologica che per gli interventi a supporto della biodiversità. L'ambiente costruito non solo copre vaste aree che aumenteranno ulteriormente con l'urbanizzazione globale, ma è legato anche all'industria delle costruzioni che da sola è responsabile di una ingente quantità di emissioni di anidride carbonica (Myhr et alii, 2019).

L'ambiente è dinamico e interconnesso rispetto ai parametri scala e materia e pertanto anche le città e gli insediamenti urbanizzati determinano effetti e impatti che si ripercuotono sul contesto. Gli habitat urbani possono essere considerati dei casi estremi tipici, al pari di altri insediamenti antropici, e hanno un ruolo fondamentale per la sopravvivenza di tutti, non solo degli esseri umani; ad esempio le attività antropiche che insistono su aree cruciali per la migrazione possono costituire un problema a causa della tossicità dei terreni agricoli dovuta a pesticidi, erbicidi, ecc. (Spotswood et alii, 2021). Per progredire in simbiosi con la natura, cioè trovare un equilibrio tra le attività antropiche e i nostri sistemi sociali e gli altri abitanti dell'ecosistema, dobbiamo riconoscere e considerare questa complessa rete di scale e interdipendenze in qualsiasi proposta progettuale di ambiente costruito. La società è organizzata in strutture dicotomiche e la ricerca della conoscenza è generalmente affrontata attraverso le due prospettive, della tecnologia e della natura (Capra, 2015); in questo senso dobbiamo ripensare la relazioni che intercorrono tra gli uomini e gli altri esseri viventi che fanno parte dell'ecosistema che ci sostiene, il nostro posto in questo mondo e il modo in cui creiamo e influenziamo i diversi habitat.

La programmazione delle smart city sta inizian-

do solo ora a fare i conti con i temi dell'accessibilità alla residenza, dell'inclusione digitale e della giustizia sociale. L'elenco delle sfide è piuttosto lungo (Foth, 2017); tuttavia la presa di coscienza della complessità socio-ambientale del periodo in cui viviamo sembra stimolare nuove opportunità per riconoscere valori, doveri ed etica dei non umani; la disciplina del Design può supportare tale cambio di paradigma andando oltre l'esperienza e i bisogni umani, soprattutto alla luce delle attuali crisi ambientali ed economiche.

Per far evolvere gli approcci progettuali è necessario spostare il focus da ciò che è prerogativa umana e contemporaneamente considerare il ruolo e le prospettive dei non-umani (Forlano, 2016). Il tema della convivenza tra esseri diversi (umani, altre specie, IA, robot) è stato ampiamente dibattuto in letteratura e sollevato tra i primi da Donna Haraway (1991) e Bruno Latour (1993); successivi studi sono quelli di bioinformatica a cura dei cibernetici Stafford Beer e Gordon Pask (Pickering, 2009), di Benjamin Bratton (2013) che ha introdotto l'era post-anthropocena ridimensionando la centralità dell'agente umano rispetto al suo operato, di Gregory Bateson (2000) sul legame tra esseri viventi ed ecologia e di Lovelock (2000) con la sua Teoria di Gaia, mentre l'Architettura Non-Anthropocentrica è stata discussa da Hensel (2013).

I casi studio riferiti affrontano questi approcci sia nel mondo reale che nei processi di progettazione architettonica, urbana e del territorio, muovendosi verso un nuovo paradigma tra integrazione di artificiale e naturale, tecnologia e sostenibilità, digitale ed ecologia (Tucci and Ratti, 2022). Molti interventi che adottano questa nuova prassi sono il risultato di ricerche applicate o sperimentali (Scalisi and Ness, 2021) condotte da studi di progettazione come ecoLogicStudio (Valenti and Pasquero, 2021) o Terreform ONE con il Monarch Butterfly Sanctuary di Manhattan a New York che insiste sul percorso migratorio della farfalla monarca e funge da biotopo artificiale (Joachim, Aiolo and Terreform ONE, 2019). Questi esempi emblematici però si concentrano solo su un tipo di specie o soluzione (alghe, farfalle, inverdimenti), mentre i casi di studio presentati nel prosieguo del contributo, sviluppati dagli Autori e dai loro team, coinvolgono uno spettro più ampio di specie.

**Metodologia e casi studio** | I casi studio che si riportano sono il risultato di una ricerca applicata e adottano un approccio con una prospettiva sistemica (Sevaldson, 2010) in cui il Design è improntato alla 'cultura materiale' e alle 'arti del progettare, inventare, realizzare e fare' (Cross, 2007), approccio questo che accomuna il modus operandi di tutti gli Autori. Al pari dell'operato di alcuni ricercatori – afferenti a un esiguo numero di Università di diversa nazionalità – armati di eccellenti competenze digitali e di strumentazioni proprie dei 'makers' che, a fronte di una progettazione altamente complessa, sono in grado di realizzare manufatti estremamente semplici e per i quali non sono necessarie competenze di produzione e attrezzature costose (Pone, 2022), il contributo illustra alcuni casi studio innovativi, con impiego di tecnologie a basso costo, inclusivi e basati sulle opportunità, la fattibilità e il benessere delle parti interessate. Sebbene i casi studio interessino scale diverse e aree climatiche differenti (Austria, Ger-

mania, Israele, Italia e il deserto di Sonora, a cavallo tra Stati Uniti e Messico), così come vari sono i contesti e le persone coinvolte, è possibile individuare un comune denominatore nell'obiettivo primario del progetto, ovvero mirare all'inclusività e fornire soluzioni rispetto alle specificità locali e ai principi di equità e sostenibilità, aprendo un'ampia gamma di opportunità per la ricerca, l'insegnamento e il coinvolgimento degli utenti. Le differenze riguardano gli obiettivi programmatici specifici e il fatto che alcuni casi studio sono rimasti solo progetti mentre altri sono stati realizzati.

### Primo caso studio: interventi COLife, Stoccarda

Il primo gruppo di casi studio fa parte del più ampio progetto in corso COLife e coinvolge il patrimonio edilizio esistente utilizzando prototipi sviluppati e installati su parete e usati come dimostratori per coinvolgere la comunità locale. Si è deciso di lavorare con il patrimonio edilizio esistente perché rappresenta la maggior parte delle città europee; nello specifico, poiché in molte città lo spazio pubblico per sostenere la biodiversità è ridotto, l'installazione del prototipo è avvenuta all'interno di spazi privati e sui balconi.

I casi studio sono assimilabili a prototipi in scala reale (Hensel and Menges, 2006) o a interventi urbani prototipali (Doherty, 2005) e sono parte del cosiddetto 'laboratorio di co-design della vita reale', il che significa che vengono sviluppati e progettati per un caso reale in un ambiente reale (Davidová, 2020; Davidová and Zimová, 2021), un approccio questo molto efficiente che adotta una prospettiva non solo umana e genera un ampio coinvolgimento sociale: le realizzazioni aiutano la città a stimolare l'attenzione dei cittadini verso i processi di rigenerazione degli ecosistemi naturali e possono essere anche validi strumenti per una maggiore coesione sociale (Barbero, Giraldo Nohra and Campagnaro, 2022).

I due interventi stimolano il coinvolgimento sociale tramite specifici codici QR riportati sui prototipi che indirizzano al blog<sup>2</sup> e all'applicazione di citizen science Spot-A-Bee<sup>3</sup>: mentre il blog riporta le istruzioni d'uso fai da te che gli utenti possono seguire dai loro balconi, grazie alla collaborazione con l'Università di Cardiff l'applicazione Spot-A-Bee consente il riconoscimento tramite immagini delle piante utili alle api e presto consentirà di assegnare specifici punteggi alle prestazioni dell'impollinatore (Davidová et alii, 2022). Il blog, che in futuro potrebbe riversare i propri contenuti in un'applicazione interattiva per smartphone, riporta le istruzioni fai da te delle diverse soluzioni progettuali classificate per tipo di riproduzione: alcune sono facilmente realizzabili da parte di un bambino su un piccolo tavolo da cucina e con materiale trovato nel bosco o nel parco, altre sono rivolte a persone che hanno familiarità con attrezzi e laboratori, altre ancora sono indirizzate alla comunità dei 'makers' con accesso al Fablab o addirittura a un robot.

Il primo intervento del progetto COLife è POL-AI (Fig. 1) dove POL sta per impollinazione e AI per intelligenza artificiale. Il santuario POL-AI (Davidová, Fischer and Teye, 2022) è un hotel 'responsivo' in legno massello per insetti (Davidová and Prokop, 2018) con relativo giardino per impollinatori; i pannelli divisorii consentono alle singole camere di avere climi diversi per soddisfare le differenti esigenze degli insetti, in altre parole sostengono la biodiversità. La facciata responsiva



Fig. 1 | POL-AI Responsive Solid Wood Sanctuary (credit: G. Koemel, 2022).

in legno massello Ray (Davidová, 2016) è prodotta tagliando il tronco dell'albero in pannelli secondo la sezione longitudinale; grazie alla diversa densità delle fibre sui due lati il pannello si deforma verso il lato sinistro in caso di clima caldo e secco mentre in caso di umidità elevata e basse temperature ritorna alla configurazione iniziale o addirittura si deforma nella direzione opposta: con tali variazioni termoigrometriche il sistema dei pannelli favorisce il ricambio d'aria delle camere.

Il motivo per cui i pannelli si deformano in modo diverso è che provengono da parti diverse del tronco: quelli tagliati a partire dal centro si deformano meno o quasi per niente, mentre quelli più esterni sono molto sensibili alle variazioni di umidità (Hoadley, 1980). La biodiversità viene promossa utilizzando camere di dimensioni ed esposizioni diverse e 'giardini' in cui è messa a dimora una vegetazione autoctona appositamente selezionata per l'esposizione a meridione. Mentre il gruppo di ricercatori sta cercando di addestrare il sistema al riconoscimento delle immagini per registrare il comportamento degli impollinatori, a breve saranno installati dei dispositivi Arduino a bassa tecnologia con sensori utili a registrare l'umidità relativa interna ed esterna, la temperatura e il contenuto di umidità del suolo: allo scopo è stato aperto un blog didattico sperimentale per condividere la fase di progettazione (Fig. 2).

BioDivelIn (Fig. 3) è una seconda installazione sviluppata nel laboratorio didattico che simula gli habitat (con adeguate dimensioni) di specie come pipistrelli, rondoni, piccoli volatili, utilizzando alberghi per insetti (compresi quelli responsivi), vasi per piante e zone per il foraggiamento e il ristoro di volatili, scoiattoli e insetti. Mentre la realizzazione di POL-AI richiede una tecnologia avanzata, ad esempio un braccio robotico e una macchina a controllo numerico, BioDivelIn può essere prodotto in un tradizionale laboratorio di falegnameria o addirittura con gli strumenti che le persone hanno in casa. I BioDivelIn sono stati realizzati in un la-

boratorio di bricolage da giovani di età compresa tra i 12 e i 13 anni (Fig. 4) presso il Dillmann Gymnasium di Stuttgart e i moduli sono stati posizionati sulle recinzioni e sugli alberi, in quanto l'edificio è vincolato. Seguendo le istruzioni fai da te gli utenti hanno potuto scegliere il modulo in base allo spazio disponibile (ad esempio quello del balcone); le piante sono state messe a dimora in primavera in occasione di un evento di giardinaggio promosso tramite una piattaforma (Fig. 5) coinvolgendo la comunità a interagire e a riprodurre i prototipi. Naturalmente per alcune delle installazioni si è reso necessario l'uso di una piattaforma elevatrice.

**Secondo caso studio: progetto e produzione multispecie** | Il secondo gruppo di casi studio prende in esame la progettazione e la produzione di strutture per facilitare l'insediamento multispecie in un ambiente costruito. Vengono presentati tre progetti di ricerca in corso che si caratterizzano per altrettanti approcci: il primo computazionale richiede competenze di ecologia e di architettura per la progettazione di involucri edilizi, il secondo basato sulla fabbricazione digitale mette in relazione i requisiti ecologici specifici del sito con le geometrie di un sistema di pannellature e il terzo basato sui materiali per integrare processi microbiologici e stampa additiva.

Approccio computazionale – ECOLOPES (acronimo di ECOlogical building enveLOPES) è un progetto di ricerca<sup>4</sup> HORIZON 2020 finalizzato a rendere disponibili conoscenze di biologia per sviluppare soluzioni capaci di accogliere le esigenze di più abitanti (uomini, piante, animali e microbioti) nelle diverse attività e fasi di progettazione. L'involucro dell'edificio è il punto di partenza per un intervento di progettazione multispecie che media tra gli ambienti interni ed esterni, migliorando le prestazioni dell'edificio e potenzialmente favorisce la colonizzazione di organismi viventi (Mahrous et alii, 2022; Mirzabeigi and Razkenari, 2022).

Sebbene esistano altre ricerche sul miglioramento della biodiversità nell'ambiente costruito (Mata et alii, 2020) la loro influenza ecologica alla scala dell'edificio è piuttosto limitata. L'obiettivo di EcoLopes è introdurre il valore ecologico nella progettazione architettonica (Weisser et alii 2023), attraverso un approccio progettuale basato su un'ampia gamma di conoscenze specialistiche provenienti dai campi dell'architettura, dell'ecologia e dell'informatica.

Poiché la progettazione di involucri edilizi multispecie deve tenere conto in egual misura delle esigenze umane e di quelle di altri organismi viventi (Perini et alii, 2021; Canepa et alii, 2022; Weisser et alii, 2023) la progettazione deve risolvere e mediare eventuali conflitti attraverso un approccio sistemico e oggettivo, per agevolare il processo decisionale. Le attività di ricerca, tutt'ora in corso, impiegano una metodologia del tipo Multi-Criteria Decision-Making – MCDM (Selvan et alii, 2023b) che si basa sull'individuazione di indicatori (KPI) 'nidificati' per misurare le prestazioni architettoniche ed ecologiche in situazioni complesse, appunto come quelle in cui occorre integrare alcuni obiettivi ecologici nella progettazione architettonica (Fig. 6). La metodologia MCDM, integrata con la strategia KPI, è stata implementata in ambiente computazionale e testata su un involucro edilizio generico: i primi risultati hanno confermato il potenziale di questa metodologia integrata consentendo di confrontare e classificare le diverse soluzioni e prestazioni ecologico-architettoniche simulate (Selvan et alii, 2023a).

Approccio basato sulla fabbricazione digitale – Il progetto Subtractive Habitation nasce dall'osservazione di quelle superfici continue, prive di aggetti e impermeabili che caratterizzano la maggior parte degli involucri edilizi e che, a prima vista, sembrano offrire poche possibilità a una colonizzazione multispecie nelle città; tuttavia proprio le loro caratteristiche fisiche possono essere utili per sviluppare nuove soluzioni ecologiche. Mentre sono numerosi gli esempi di habitat verticali artificiali realizzati negli ecosistemi marini (Vozzo et alii, 2021), in ambito architettonico le soluzioni più diffuse impiegano la vegetazione o permettono la colonizzazione di singole specie animali (Joachim, Aiolova and Terreform ONE, 2019; Alton and Ratsnieks, 2020; Meier, Raps and Leistner, 2020). Per ampliare l'abitabilità delle superfici verticali a più specie è importante identificare le specie target rilevanti (Apfelbeck et alii, 2019) selezionando quelle combinazioni di specie uniche che sono proprie della città, ma non si trovano all'interno del loro bioma e proprio per questo sono considerate ecosistemi 'nuovi' (Hobbs et alii, 2006). Esaminare le loro caratteristiche e le condizioni favorevoli al loro insediamento può aiutare a definire gli obiettivi e i criteri di prestazione per gli interventi a supporto della biodiversità.

La progettazione computazionale abbinata a tecniche di produzione avanzata, come la fabbricazione digitale e i macchinari multiassiali, consente di modellare elementi geometrici complessi (Cohen and Barath, 2023) che meglio possono rispondere contemporaneamente alle numerose e specifiche esigenze di specie diverse, sia animali che vegetali. La fabbricazione digitale con metodo sottrattivo ha consentito la produzione di pannelli di Calcestruzzo Aerato Autoclavato (AAC) capaci di rispondere alle esigenze ecologiche specifiche



del sito (Fig. 7) e con le caratteristiche di leggerezza, resistenza al fuoco, isolamento termico e acustico nonché facilità di taglio, lavorazione e riutilizzo. (Kalpana and Mohith, 2020). Gli elevati gradi di porosità aperta, la superficie ruvida e la sensibilità ai processi naturali di carbonatazione, in seguito ai quali il suo PH si stabilizza alla neutralità, accrescono la sua bio-ricettività, cioè la capacità del materiale da costruzione di essere colonizzato da organismi viventi (Guillitte, 1995).

Mettendo a sistema le conoscenze del gruppo di lavoro nei settori dell'architettura, del design industriale, dell'ecologia urbana e della fabbricazione digitale, attraverso una serie di indagini sulla fauna selvatica e osservazioni sul campo, si è individuata una porzione di muro (3 m x 12 m) in un giardino ecologico urbano, nel quale rintracciare una serie di specie target rappresentative di colonizzatori pionieri, piante vascolari superiori, insetti, rettili, piccoli mammiferi e uccelli. Gli elementi geometrici identificati che soddisfano i requisiti di habitat delle specie target sono stati modellati parametricamente e distribuiti in base a potenziali posizioni favorevoli per gruppi di specie (ad esempio, per uccelli che nidificano oltre una determinata altezza o per alcune specie che potrebbero aver bisogno di maggiore di spazi più isolati).

Gli strumenti parametrici hanno permesso di

sperimentare molteplici configurazioni dell'intera parete e una partitura con pannelli che alle diverse fasce verticali presentano caratteristiche differenti mentre la fresatura robotizzata a cinque assi ha consentito un'ampia libertà nella realizzazione di elementi geometricamente complessi, come cavità, fessure e aggetti a uso delle specie target selezionate (Fig. 7). Terminata la fase di prototipazione si procederà con l'installazione dei pannelli e si valuterà la sua bioricettività che sarà di supporto nello sviluppo di linee guida progettuali e su come le caratteristiche fisiche possono influenzare la colonizzazione di più specie.

Approccio basato sui materiali: biomanufacturing di prototipi con cianobatteri – Una prospettiva multispecie può essere raggiunta anche integrando organismi viventi nel processo costruttivo e producendo materiali con proprietà biologiche come lo stoccaggio dell'anidride carbonica, la biodegradabilità e l'adattabilità all'ambiente (Qiu et alii, 2021). Attualmente la produzione della gran parte dei materiali da costruzione svolge un ruolo significativo nel depauperamento ambientale e dell'ecosistema, soprattutto se consideriamo cemento e calcestruzzo che da soli sono responsabili dell'8% delle emissioni annuali di gas serra a livello mondiale e contribuiscono all'aumento dei rifiuti industriali (Nature Board, 2021).

Analogamente ad altre attività di ricerca applicata e sperimentale su organismi viventi come alghe e miceli (Valenti and Pasquero, 2021) il gruppo di lavoro ha preso in esame i cianobatteri fotosintetici mettendo a punto un processo di co-fabbricazione multispecie capace di dosare, con strumenti robotici, il deposito di una biomiscela e la Precipitazione Carbonatica Microbica (MCP), denominati 'deposito batterico' (Fig. 8; Armaly et alii, 2023). Quindi mentre l'MCP, all'interno dei suoli bio-mediati, riduce lo spazio dei pori tra le particelle di sabbia legandole attraverso la precipitazione di calcite (DeJong et alii, 2010), i cianobatteri producono minerali di carbonato sotto forma di cristalli di calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) catturando e convertendo  $\text{CO}_2$  attraverso i processi di fotosintesi (Kamennaya et alii, 2012). La natura fotosintetica dei batteri ben si adatta alla fabbricazione additiva che consente di stampare strutture porose di grande superficie da esporre alla luce per consentire l'aumento di MCP (Armaly et alii, 2023). Sfruttando la consolidata relazione tra l'attività dei cianobatteri e la stabilità del suolo, lo stoccaggio del carbonio e la forma geometrica sono stati selezionati per la sperimentazione di due ceppi di altrettanti generi di cianobatteri (Synechococcus sp. ceppo PCC 7002 e Synechocystis sp. ceppo PCC 6803; Fig. 9).



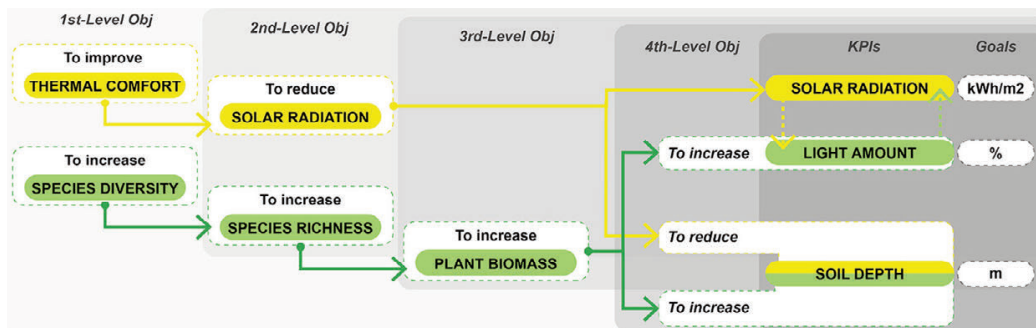
Fig. 2 | CoDesign Workshop (credit: M. Davidová, 2022).

Fig. 3 | BioDiveIn (credit: H. Behnam, 2023).

Fig. 4 | BioDiveIn DIY Workshop at Dillmann Gymnasium in Stuttgart (credit: H. Behnam, 2023).

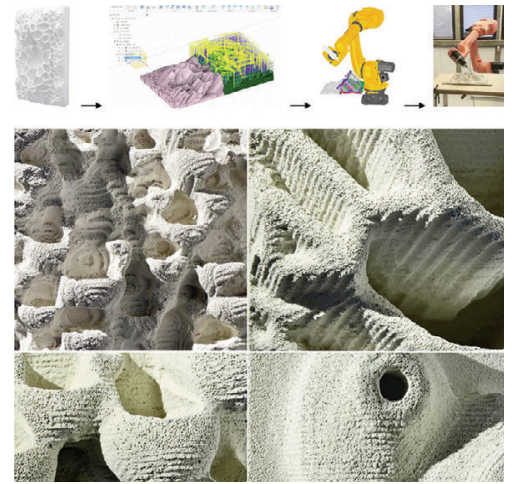
Fig. 5 | BioDiveIn Gardening Event and Opening in Stuttgart (credit: H. Behnam, 2023).





**Fig. 6** | An example of nested key performance indicators (KPIs) to evaluate first-level architectural (yellow) and ecological (green) objectives (source: Selvan et alii, 2023a).

**Fig. 7** | Computer-Aided Design (CAD) to Computer-Aided Manufacturing (CAM) workflow; Identified geometric features catering to the target species habitat requirements are fabricated on AAC (Autoclaved Aerated Concrete) panels (credits: S. Barath, D. Metcalfe, R. Fogel, 2022).



Per trovare la corretta relazione tra requisiti biologici e soluzioni architettoniche nel processo di co-fabbricazione additiva è quindi necessario introdurre gli architetti ai processi microbiologici. Questo insieme di conoscenze ha consentito al gruppo di lavoro di definire alcuni protocolli, rivolti ai progettisti, per la crescita e la proliferazione delle cellule e per facilitare le attività di manutenzione (Fig. 10). È stata infatti sviluppata una bio-miscela che può funzionare contemporaneamente alla scala biologica, come habitat dei batteri per un microambiente biocompatibile, e alla scala architettonica, tramite la stampa digitale, composta da sabbia di quarzo, agar con una soluzione nutritiva e cianobatteri, migliorando la solidificazione dei componenti architettonici additivati con la deposizione batterica.

**Terzo caso studio: interventi di confine, il deserto di Sonora** | Il terzo gruppo dei casi studio riguarda due progetti di Climate Change and Design, temi di altrettanti Laboratori, uno facoltativo l'altro obbligatorio, del Master of Science in Architecture dell'Università dell'Arizona, nei quali l'orientamento teorico fa riferimento al postumanesimo, alla teoria della complessità e ai processi ecologici e dei confini. La sperimentazione progettuale è fatta nel deserto di Sonora, a cavallo tra Stati Uniti e Messico; è luogo comune che i deserti siano regioni desolate e sterili, prive di acqua e di alberi e in generale di ogni forma di vita, quindi i partecipanti iniziano fin dalle prime ore del corso a capire quanto questo preconcetto sia infondato: il Sonora è uno dei quattro principali deserti del Nord America, ma l'unico a livello globale con due stagioni di pioggia, il che spiega in parte la straordinaria e ricca vita biotica di questo particolare bioma arido che vanta oltre 2.000 specie di piante, metà delle quali di origine tropicale (Dimmitt, 2020). Degne di nota sono anche storia e cultura dei nativi americani, al di là del colonialismo europeo che spesso è stato privilegiato nei libri (Henni, 2022).

Le attività antropiche sono state le principali responsabili della desertificazione della regione: redistribuzione dell'acqua ed espansione agricola da un lato ed estrazione di minerali dall'altro tendono a distruggere le comunità biotiche piuttosto che lavorare in simbiosi con l'ambiente. Le criticità dell'area sono state rilevate dallo United States Geological Survey che, nei suoi numerosi Rapporti, ha identificato le prossime sfide da affron-

tare in materia di ecologia, risorse idriche, ambiente e salute umana, attività antropica, risorse energetiche e minerarie, rischi naturali e sicurezza delle frontiere (Fitzpatrick et alii, 2013).

Per affrontare il tema, innovando in modo significativo e sostenibile, è necessario anche in questo caso un approccio tutt'altro che antropocentrico. Le tecnologie digitali e l'IA possono aiutare a comprendere la complessità del sito di intervento fornendo ulteriori strumenti rispetto a quelli più tradizionali di progettazione e analisi, come le mappe tematiche e i diagrammi, comunque necessari. Si potranno quindi acquisire tutti quei dati che sono ormai accessibili, dai big data alle immagini satellitari e così via, ma rimane la necessità di mettere a punto un complesso processo digitale di editing che consenta un'analisi sistemica di tutte le informazioni.

La qualità, l'origine e la tipologia delle informazioni da analizzare sono fondamentali: i giovani designer riescono a reperire anche quelle spesso poco accessibili e diffuse su disuguaglianze ambientali e sociali, prevaricazioni perpretate nel periodo coloniale sui nativi e orientamenti della politica, rendendo visibile quell'invisibile che spesso rappresenta un limite per le attività di ricerca. I ricercatori e i progettisti devono maturare quindi adeguate capacità per reperire e sistemizzare anche dati e immagini del passato affinché sia possibile ipotizzare scenari a lungo termine (Weizman, 2018). A tal fine sono state sviluppate diverse metodologie progettuali, teorizzati nuovi valori e messi a punto strumenti dinamici, tra cui il GIS (Geographic Information Systems) e software parametrici, discussi in pubblicazioni sulla teoria della complessità (Dickinson, 2021), sulla pedagogia, sugli strumenti digitali, sulla progettazione fondata su 'discipline altre' e sulla ricerca sul campo (Dickinson and Ida, 2021), riferibili a studi già consolidati tra cui quelli di Kiel Moe e del Santa Fe Institute.<sup>5</sup>

Nel primo caso studio Asif Zeshan ha indagato la condizione del muro di confine nelle città di Calexico (California) e Mexicali (Baja, Messico) da una prospettiva 'non umana', esplorandone le potenzialità per specie ed elementi naturali diversi. La ricerca ha evidenziato che, al di là del divario socio-politico ed economico dei due Stati, i sistemi produttivi locali dell'agricoltura e dell'industria hanno determinato uno scenario catastrofico per la biodiversità e la qualità dell'aria e dell'acqua. Poiché dal punto di vista politico sarebbe stato ingenuo proporre l'abbattimento del muro, si è

optato per alcune puntuali modifiche e adattamenti finalizzati a promuovere la convivenza tra i sistemi biotici e abiotici che lo circondano. Ad esempio nelle aree ad alto inquinamento atmosferico è stata prevista la presenza di pannelli con alghe per purificare l'aria, mentre laddove la presenza antropica è rilevante è stato ipotizzato di installare dei pannelli, da sviluppare con la prossima generazione di intelligenza artificiale, che si adattano cineticamente alle sensazioni umane (Fig. 11).

Per il secondo progetto Clarissa Becerril e Gregory Veitch hanno scelto di concentrarsi sulla comunità dei nativi americani Tohono O'odham, insediata a cavallo del confine tra Arizona (USA) e Sonora (Messico), in una zona del deserto di Sonora molto ricca dal punto di vista ecologico e culturale (Greenwald et alii, 2017). Lungo la linea di confine sono presenti delle Torri Permanenti Integrate (IFT) realizzate perché la comunità locale si è rifiutata di costruire una recinzione per i pedoni alta circa nove metri piedi in sostituzione della barriera per veicoli alta circa 1,80 metri<sup>6</sup>. Prima delle attività progettuali le mappature, che erano restituite su singoli layer nel GIS online, contenevano alcuni dati sulle condizioni ecologiche e umane di confine (Fig. 12).

Le attività di ricerca su quest'area hanno consentito di comprendere che la relazione tra i Tohono O'odham, il cactus saguaro e il pipistrello impollinatore dal naso più corto e le relative criticità per la ricchezza ecologica dell'area, insieme al percorso migratorio del volatile, non erano stati adeguatamente restituiti su mappe tematiche. Attraverso ricerche desk e sul campo sui Campi Elettrici e Magnetici (CEM) delle IFT si è proceduto a simulare il loro potenziale impatto sui percorsi migratori dei pipistrelli (Fig. 13) e a formulare una proposta progettuale caratterizzata dalla presenza di un'architettura in grado di monitorare e registrare la relazione tra l'uomo, i saguari e i pipistrelli, mettendo a sistema i valori e le pratiche culturali della comunità locale con le più recenti tecnologie di osservazione e monitoraggio. Si è fatto riferimento a un sistema costruttivo semplice, intelaiato e tradizionale, con materiali locali e sensori per il monitoraggio in aree lontane dal raggio di interferenza delle IFT e delle pattuglie di frontiera degli Stati Uniti. La progettazione è stata sviluppata seguendo i principi dei sistemi complessi, discretizzando cioè forme e soluzioni, riportandole a elementi semplici poi combinati e assemblati sul

campo con le tecniche tradizionali (Mitchell, 2011; Moe, 2013; Fig. 14).

L'obiettivo del progetto è fornire alla comunità le informazioni sugli impatti ecologici necessarie a supportare decisioni consapevoli per la salvaguardia e lo sviluppo della riserva, attraverso installazioni che, all'interno di questo paesaggio post-antropoceno, riescano a valorizzare contemporaneamente le caratteristiche naturali, la vita degli altri esseri viventi, la cultura locale e le tecnologie innovative (Fig. 15).

Un tale approccio è fondamentale per comprendere l'ecologia in chiave multiscale, dalla dimensione molecolare a quella territoriale (Ibañez, Hutton and Moe, 2019), ma allo stesso tempo è importante per attivare una progettazione più inclusiva (a doppio senso), processi più flessibili e strategie del tipo bottom-up con una maggiore interattività e adattabilità a più utenti e ambienti (Tramontin, 2006; Armstrong, 2018). La biomimetica e i sistemi abiotici naturali possono insegnarci molte cose, ad esempio con quali modalità le piante sopravvivono e conservano l'acqua in climi estremi come quello del deserto di Sonoran; nel caso di specie anche i modi di vivere e le pratiche delle popolazioni indigene e pre-coloniali, che erano spesso in sintonia con l'ambiente, hanno potuto fornire preziose indicazioni per il progetto. Non essendo possibile avere un'unica risposta a questioni complesse differenti, è necessario approfondire la conoscenza del reale per livelli e fasi di apprendimento successivi.

**Discussione e conclusioni** | I casi studio presentati impiegano approcci metodologici differenti per raggiungere il medesimo obiettivo, ovvero una maggiore inclusività e innovazione per andare verso un futuro più sostenibile, realizzabile decentralizzando l'uomo dal sistema di valori del progettista e acquisendo coscienza delle molteplici relazioni esistenti tra l'uomo e gli altri esseri viventi. Questi ultimi possono anche svolgere un ruolo attivo nel processo di progettazione, anche tramite l'intelligenza artificiale, e contribuire a realizzare un mondo improntato all'etica della diversità: soluzioni e prospettive multiple si fondano così, nel senso più ampio possibile, su conoscenza e tecnologia, da quella più innovativa a quella più tradizionale. È chiaro che occorre superare il pregiudizio di vedere il mondo attraverso una lente antropocentrica, fare autocritica ed essere disposti all'apprendimento permanente (soprattutto per chi lavora nell'accademia), verificando continuamente le ipotesi e gli scenari futuri in chiave etica.

Attraverso casi studio che tengono in considerazione le caratteristiche locali, i microclimi e gli abitanti, il contributo presenta una strategia di progettazione sistemica multicentrica con una prospettiva che non interessa più solo l'uomo ma mira alla simbiosi tra più esseri (viventi o non viventi, compresi gli esseri umani), trasferibile in luoghi che hanno specificità e caratteristiche diverse. La strategia è supportata dalle potenzialità della fab-

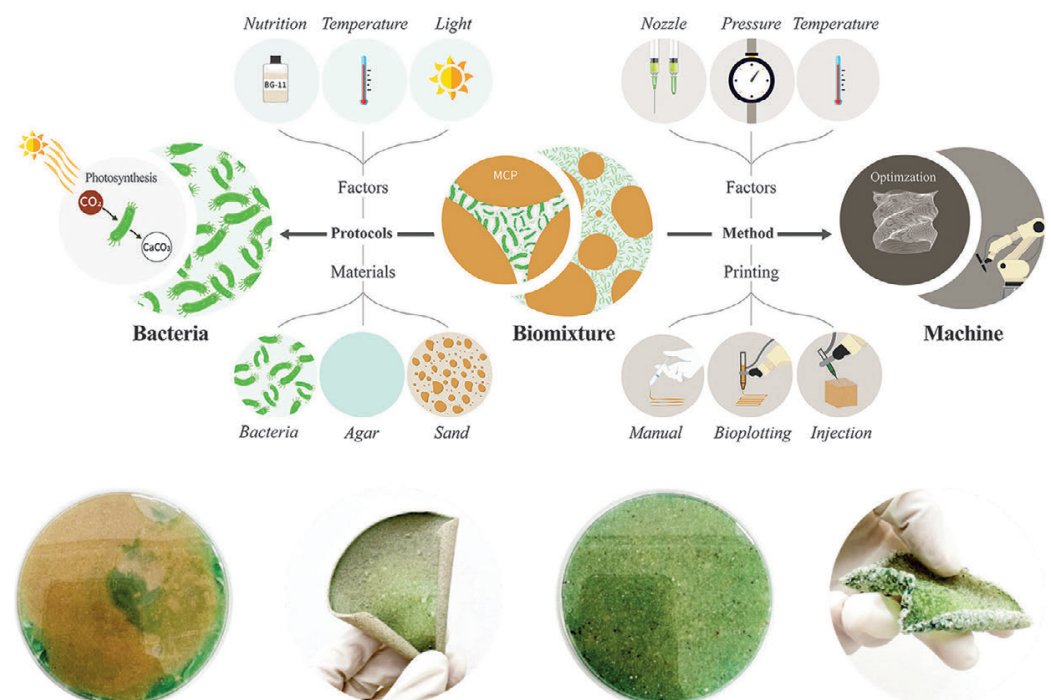
bricazione digitale, che supera i limiti della produzione industriale in serie, da tecnologie più tradizionali, da una progettazione partecipata e dall'interazione con gli utenti attraverso istruzioni fai da te, laboratori locali e applicazioni mobili per le comunità dei 'maker'. Tutto ciò conduce verso l'era post-antropoceno (Bratton, 2013, 2019) nella quale persone e altri esseri convivono in simbiosi valorizzando la reciproca diversità (Davidová and Zavoleas, 2020).

Diversi sono gli appelli a un cambiamento di prospettiva radicale e tra questi quelli di Fridays for Future, Extinction Rebellion, The Last Generation che richiamano come, in un mondo complesso nel quale giustizia sociale e ambientale sono strettamente dipendenti (McIntyre-Mills, 2014; Haase, 2017), il futuro dell'intero ecosistema debba essere di tipo simbiotico, inclusivo e transdisciplinare, capace di comprendere in profondità e a più livelli le differenze e le sfumature degli attori che popolano la Terra. Le strategie illustrate, trasferibili anche al settore edilizio e implementabili da politiche pubbliche, sono già realizzabili con il coinvolgimento dei cittadini attraverso interventi di ristrutturazione e riqualificazione di edifici o sul balcone di casa tramite le semplici istruzioni del fai da te; una diffusa applicazione delle strategie citate potrà produrre positivi risvolti socio-economici per una maggiore salubrità e vivibilità degli insediamenti urbani, aumentando contestualmente il valore economico delle proprietà, del quartiere e della città.

otic nature, and our technological innovations such as Artificial Intelligence or robots<sup>1</sup>. The essay is bringing the posthumanist discourse started with Donna Haraway (1991) and Bruno Latour (1993) into real-life prototypes and processes as a way of decentering the human to be more inclusive of others to find more sustainable paths forwards. Humans are part of the environment's overall ecosystem; however, recent human activity does not often reflect this, which has led to increased biodiversity loss and Anthropocene Extinction (Wagler, 2017). While some fields, such as conservation ecology, focus on the protection and restoration of biodiversity in pristine or degraded natural territories, others, such as reconciliation ecology, look at ways through which human-dominated ecosystems can be modified to encourage more-than-human perspectives (Rosenzweig, 2003). This post-Anthropocene perspective is of particular interest for the built environment as a potential facilitator for both ecological research and bio-enhancing interventions. The built environment not only covers vast areas, which will increase as the world urbanises, but it also reinforces a construction industry that is responsible for substantial emissions of carbon dioxide (Myhr et alii, 2019).

The environment is dynamic and interrelated in scale and matter; cities and urban environments have effects, impacts and connections to their surrounding environments. Urban habitats are typically the extremes of our anthropocentric interventions and are critical to the survival of all, not only for humans. For example, they are often located on critical migration paths, which are becoming increasingly strained as agricultural lands become toxic by pesticides, herbicides, etc. (Spotswood et alii, 2021). This complex web of scale and interdependencies needs to be addressed and acknowledged in our design proposals for the built environment if we are to move forward in a more synergetic nature, this means connecting our social activities and systems with those of the rest of the environment around us.

This submission for the Innovability<sup>®</sup> (part II) – Ecological Transition issue develops a panel discussion at the Relating Systems Thinking and Design Symposium 2022. The panel discussed the post-Anthropocene, where we speculated on how humans and other beings could live together in greater synergy and what this means for the academy and practice. These other beings are other than the human species, including biotic and abi-



**Fig. 8** | Co-fabrication diagram correlating biological and architectural requirements within an additive printing process (source: Armaly et alii, 2023).

**Fig. 9** | Comparison of spatial cell distribution and solidification of selected strain within quartz sand and thin sand (source: Armaly et alii, 2023).





**Fig. 10** | Developing material protocols within the design biolab (credit: S. Barath, P. Armaly, 2023).

Human society remains in dichotomous structures. The search for knowledge has been generally approached through two perspectives, either technological or natural (Capra, 2015). If we are to acknowledge the interconnected web of life and the more-than-human ecosystem that sustains us, we need to radically rethink not only our place in this world but the way we create and impact urban habitats. So far, the smart city agenda is only starting to come to terms with issues of housing affordability, digital inclusion, and social justice. However, the list of challenges does not end there (Foth, 2017). Given the socio-technical complexity of the current period and the enthusiasm for design, it would seem that we have more opportunities to delegate values, duties, and ethics to nonhumans. It is increasingly important for the field of design to find ways to move beyond human needs and the human experience of the world, particularly in light of environmental and economic crises.

One way of evolving design methodologies is to decentre the human and simultaneously consider the role(s) and perspectives of nonhumans (Forlano, 2016). The discussion of coliving amongst different beings (humans, other species, AI, robots) has been brought up by Dona Haraway (1991) and Bruno Latour (1993). Biological computing was investigated by cyberneticians Stafford Beer and Gordon Pask (Pickering, 2009). Benjamin Bratton (2013) introduced the post-Anthropocene era as articulation in advance of the displacement of the human agent from the subjective centre of its operations. Whilst the connection of natural beings on our planet concerning ecology has been discussed by cybernetician Gregory Bateson (2000) or by Gaia Theory (Lovelock, 2000), Non-Anthropocentric Architecture has been discussed by Hensel (2013).

The discussed case studies are bringing these concepts into the real world and design processes. The new urban and territorial approach is moving towards a new paradigm of integration between artificial and natural, technology and sustainability, digital and ecology (Tucci and Ratti, 2022). Many intervention cases towards increasing urban connectivity have been presented by research by design practices, such as ecoLogicStudio (Scalisi and Ness, 2021) or Monarch But-

terfly Sanctuary designed for Manhattan, New York by Terreform|ONE. That one is located on the monarch butterfly's migratory path and serves as an artificial biotope (Joachim, Aiolova and Terreform ONE, 2019). These examples, however, focus only on one type of species (greenery, algae, butterfly). The presented case studies developed by the authors and their teams focus on a wider biodiversity.

**Methodology and case studies** | The methodology of the following examples takes the approach of research by design, which is approached through a systemic perspective (Sevaldson, 2010). Design encompasses the appreciation of 'material culture' and the application of 'the arts of planning, inventing, making and doing' (Cross, 2007). This is what is common to the authors. A handful of researchers in a select number of universities, armed with extraordinary digital skills and maker-type instrumentation, are creating new experimental constructions and models in which highly complex design is combined with sometimes extremely simple construction, which do not necessarily require the manufacturing skills and expensive equipment that populate traditional construction sites (Pone, 2022). This paper shows how both advanced and low-tech case studies can also be combined; it, therefore, suggests inclusive proposals based on the stakeholders' opportunities, viability and well-being.

The case studies present multiple examples in different scales and climatic environments; Austria, Germany, Israel, Italy and the Sonoran Desert, USA and Mexico. The variety of locations including users, helps highlight some of the similarities in approach: all of which aim to be more inclusive and layered to issues of local diversity, equity and sustainability. The case studies also highlight a large range of opportunities in design research from pedagogy to large research teams to community-based design projects. The differences relate more to the specifics of the different geo-locations, scales and foci of the projects and design and construction phases, i.e. whether they are hypothetical design projects or built.

**Case study one: COLife interventions, Stuttgart** | The two following interventions from the work-in-progress project COLife are dealing with existing building stock. They are installed on the selected wall as prototypes as well as demonstrators to engage social systems. The idea behind working with existing building stock is clear. The majority of cities in Europe are already built. Instead of tearing down and building new buildings, the project argues for adapting existing architecture to current needs. In many cities, there is not much space to support biodiversity in public spaces. Therefore, the project suggests interventions in architectural boundaries and semi-interior spaces, such as balconies.

The following discussed work involves full-scale prototyping (Hensel and Menges, 2006) and prototypical urban interventions (Doherty, 2005). These interventions are placed in a so-called 'real-life codesign laboratory', which means that they are codesigned in real life with their real-life environments (Davidová, 2020; Davidová and Zimová, 2021). The real-life codesign laboratory is a very efficient way of codesigning with a more-

than-human perspective. However, it also very importantly generates engagement in human social systems. Such realisations in real life help the city to solicit the attention of citizens toward the idea that regeneration processes of natural ecosystems, and can also be valuable devices for greater social cohesion (Barbero, Giraldo Nohra and Campagnaro, 2022).

As mentioned, the following interventions are also demonstrators of social engagement. They have attached QR codes that lead to blog<sup>2</sup> and the citizen science application Spot-A-Bee<sup>3</sup>. The blog publishes DIY recipes that people can reproduce for their balconies. Thanks to the collaboration with Cardiff University, the Spot-A-Bee application collects images of pollinators' pollination for image recognition. This is to be experimented on by assigning value to the pollinator's performance and future multispecies economy (Davidová et alii, 2022). The blog covers several DIY recipes with different difficulties of reproduction. Some recipes could be reproduced with a material you find in the forest or park by a small child on the kitchen table; some address handy people with tools and possibly a workshop; some address makers' community with access to Fablab or even a robot, all of this should be synchronised in one interactive mobile application in the future.

POL-AI (Fig. 1) is the first intervention of project COLife. POL states for pollination and AI for artificial intelligence. POL-AI sanctuary (Davidová, Fischer and Teye, 2022) is a responsive solid wood insect hotel (Davidová and Prokop, 2018) and pollinators garden. Thanks to the different panels' responsivity, different chambers in the hotel have different climates. This supports insects' biodiversity, as different species have different climatic preferences. The insect hotel uses a concept of responsive solid wood façade Ray (Davidová, 2016). The solid tree trunk is cut for panels in the tangential section. Thanks to the different densities of the fibre on the left and right sides of the panel, the panel warps towards the left side in hot and dry weather. In high humidity and low temperature, the panel narrows again or even warps in the opposite direction. Thus, the panelling is airing the chambers.

The reason why the panels warp differently is that they are from different positions of the tree trunk; the panels cut from the centre of the tree trunk warp less or almost not at all, whilst the panels from the edge of the tree trunk are very reactive (Hoadley, 1980). In addition, we promote diversity by using different sizes and angles of the chambers, which provide a diversity of sun exposure. The prototype itself involves pollinators' gardens of local edible species for all. It covers several local herbs specially selected for south wall orientation exposure. We are trying to train image recognition for registering the pollinators' activity. Also, low-tech Arduino robots with different sensors for registering inner and outer relative humidity and temperature, and soil moisture content will be soon installed. An experimental training blog was involved in codesigning the installation (Fig. 2).

BioDiveIn (Fig. 3) is a second, current installation developed through experimental studio training. The installation covers several species' habitats, such as bats, swifts, small birds, insect hotels (including responsive ones), diverse plant pots, bird and squirrel feeders and water pools for



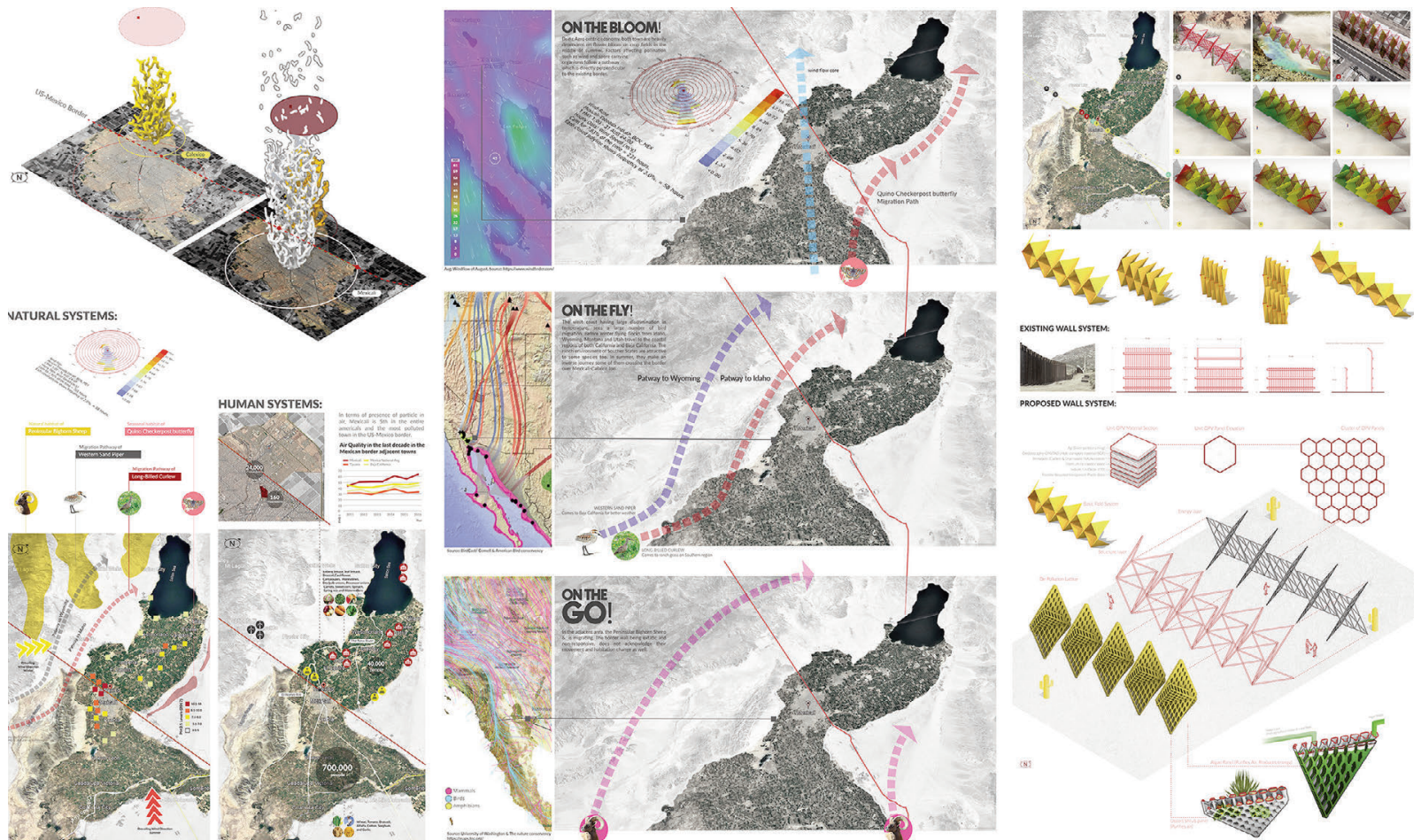


Fig. 11 | Studies showing mapping various natural and human systems with proposed adaptable border wall (credit: A. Zeshan, 2022).

birds and insects. Different species require different designs, heights and distances from each other. Whilst POL-AI requires advanced technology for prototyping, such as a robotic arm and CNC, BioDiveln could be produced in a traditional carpenter workshop or even with tools people have at home.

A local DIY workshop was performed at the local Dillmann Gymnasium with learners aged between 12 and 13 years (Fig. 4). The modules were placed on their fences and trees, as the building itself is protected. DIY users were able to choose a single module based on the height of their location (the height of the balcony, for example); this information was provided. Afterwards, plants were planted at the prototype opening this spring as a gardening event with a platform (Fig. 5), engaging the community to interact and possibly reproduce the recipes. Of course, a moving platform was necessary for some of our installations.

**Case study two: multispecies design and manufacturing** | The second group of case studies examines multispecies design and manufacturing frameworks for the built environment. Three ongoing research projects are presented: a computational approach of ecological and architectural synergies for designing buildings envelopes, a manufacturing approach correlating site-specific ecological requirements within fabricated geometries for a panelling system, and a material approach integrating microbiological processes within an additive co-fabrication workflow.

Computational approach – ECOLOPES (ECO-

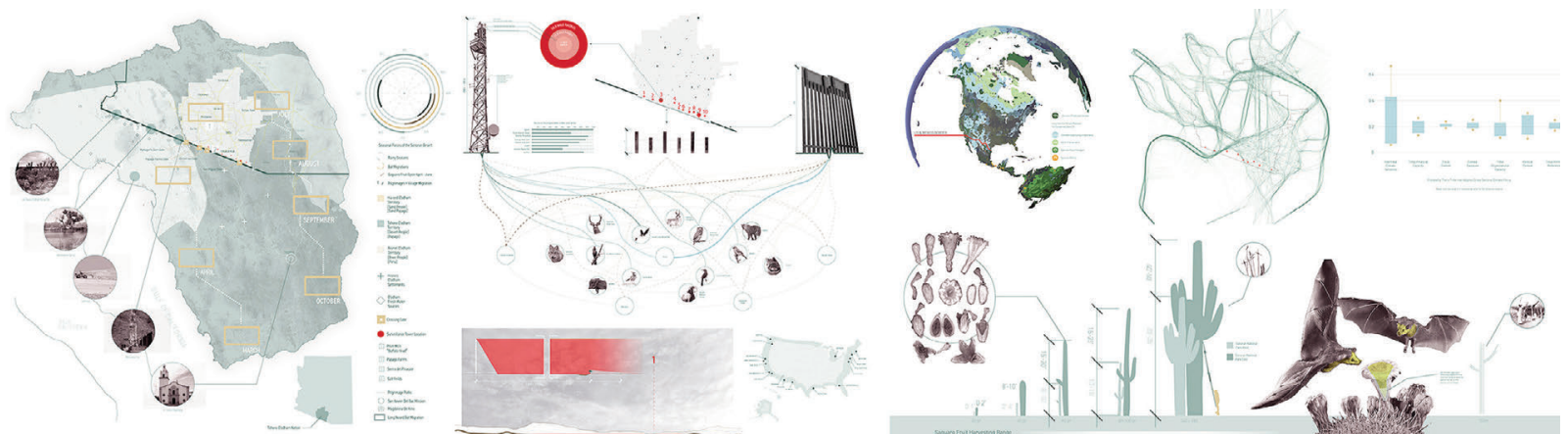
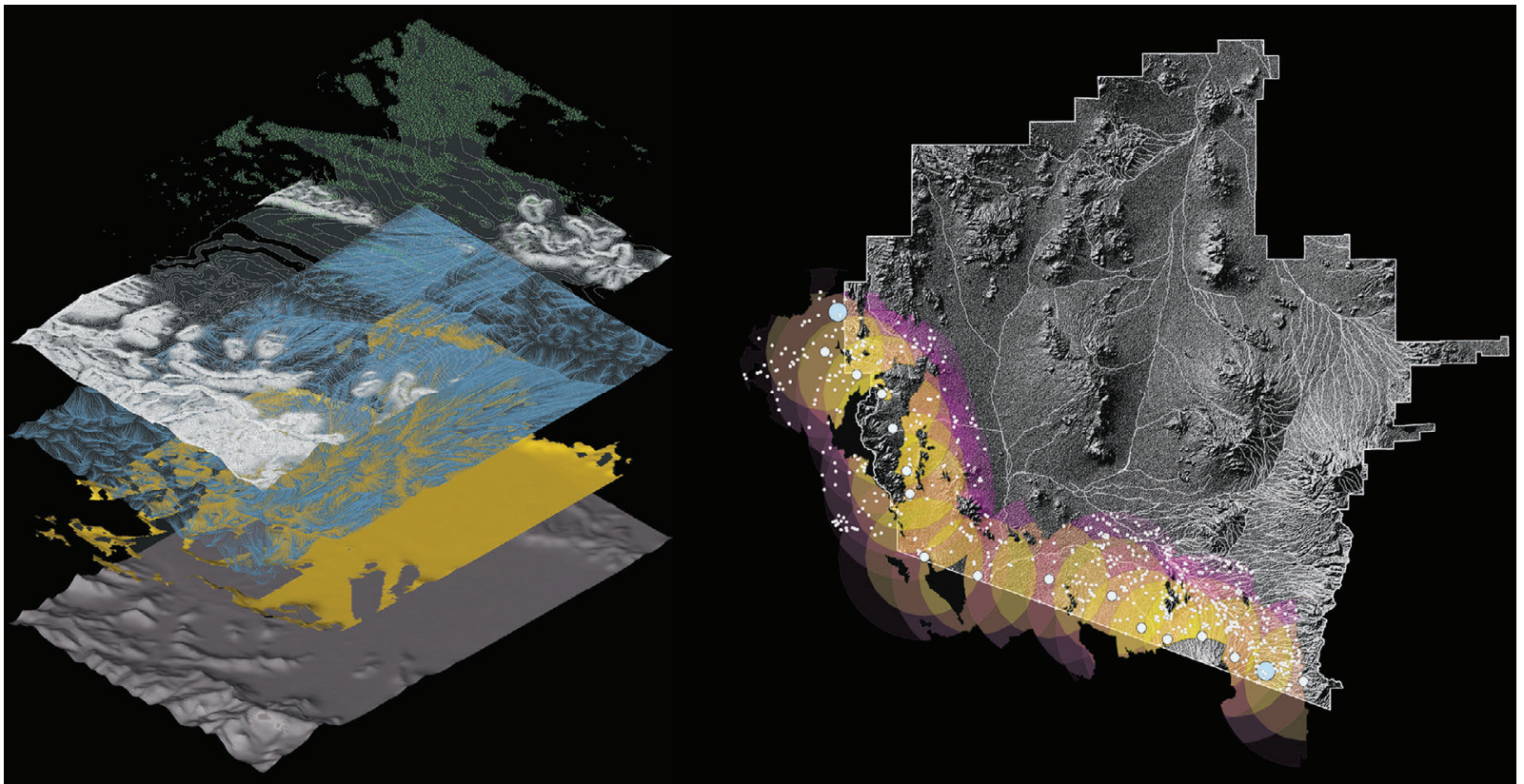
logical building envelope) is a HORIZON 2020 research project<sup>4</sup> that aims to make ecological knowledge available for architectural design and enable the understanding of trade-offs between the needs of multiple inhabitants, i.e., humans, plants, animals, and microbiota, within the design process. It proposes the building envelope as a starting point for multispecies design intervention as they are significant in mediating indoor and outdoor environments, enhancing building performance, and potentially supporting the colonisation of living organisms (Mahrouss et alii, 2022; Mirzabeigi and Razkenari, 2022). Although research on improving biodiversity in the built environment exists (Mata et alii, 2020), ecological influence at the building scale is limited. Therefore, this multispecies design framework aims to introduce ecological value into architectural design solutions (Weisser et alii, 2023). In the Ecologies, this involves the development of a computational design approach based on a wide range of expert knowledge from the fields of architecture, ecology, and computer science.

As multispecies building envelope design should equally account for human requirements and the requirements of other living organisms (Perini et alii, 2021; Canepa et alii, 2022; Weisser et alii, 2023), accounting for conflicting design criteria through a systematic and objective approach to decision-making is necessary. In this ongoing research, computational Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methodology is developed to support multispecies building envelope designs (Selvan et alii, 2023b).

The methodology outlines a nested Key Performance Indicators (KPIs) strategy to measure architectural and ecological performances that address the complexity of evaluating ecological objectives in architectural design (Fig. 6). The proposed MCDM methodology integrated with the KPI strategy was implemented in a computational environment and tested on a generic building envelope. Initial results showcase the potential of employing MCDM in a parametric environment to evaluate architectural and ecological performances of envelope design alternatives and rank the resulting optimised design solutions (Selvan et alii, 2023a).

Manufacturing approach – The Subtractive Habitation project originates from the smooth, flat, and impermeable surfaces, which predominantly characterise buildings and afford the little possibility for multispecies colonisation in cities. At the same time, physical features could be key to attributing such surfaces with new affordances. While there are multiple examples of artificially manufactured vertical habitats in marine ecosystems (Vozzo et alii, 2021), architectural approaches to enhancing ecosystems focus primarily on vegetation or singular animal species (Joachim, Aiolova and Terreform ONE, 2019; Alton and Ratnieks, 2020; Meier, Raps and Leistner, 2020). To enable the inhabitation of vertical surfaces by multispecies, it is important to identify relevant target species (Apfelbeck et alii, 2019). Cities possess unique species combinations which do not occur otherwise within their given biome and are considered 'novel' ecosystems (Hobbs et alii, 2006).





**Fig. 12** | GIS layers and mappings relating to ecological and human border conditions (credit: C. Becerril and G. Veitch, 2022).

**Fig. 13** | Mappings of areas of cultural importance, Integrated Fixed Towers (IFT) and Electric and Magnetic Fields (EMF) fields and Bat/Saguaro relationships (credit: C. Becerril and G. Veitch, 2022).

Examining their traits and the conditions which are advantageous to their establishment can help define relevant objectives and performance criteria for bio-enhancing interventions.

Computational design tools coupled with advanced manufacturing techniques such as robotic fabrication allow for the modelling of articulated geometrical features and their translation to physical form with multi-axis freedom (Cohen and Barath, 2023). This enables integrating potential ecological inputs, such as animal shelter specification through the manufacturing of articulated geometries advantageous for numerous animal and plant species.

Subtractive robotic manufacturing methods were tested on Autoclaved Aerated Concrete (AAC) panels to establish site-specific ecological requirements within geometrical modelling (Fig. 7). AAC is lightweight, fire-resistant, a good insulator for both thermal and sound, and can be easily

cut, processed, and repurposed (Kalpana and Mohith, 2020). It contains high degrees of open porosity, possesses a rough surface, and naturally undergoes a carbonation process, following which its PH stabilises at neutrality. These characteristics contribute to bio-receptivity, i.e., the ability of a building material to be colonised by living organisms (Guillitte, 1995).

Integrating knowledge from architecture, industrial design, urban ecology, and robotic manufacturing, a wall segment (3 m x 12 m) in an urban ecological garden was selected and assessed through wildlife surveys and field observations in order to identify a set of representative target species for colonisation; pioneer colonisers, higher plants, insects, reptiles, small mammals and birds. Identified geometric features catering to the target species' habitat requirements were modelled parametrically and distributed according to potential locations favourable for species groups (i.e., birds

nesting beyond a given height or species which might require separation from others).

The parametric workflow enabled examining multiple configurations of the overall wall and its segmentation into panels in terms of feature continuity. Five-axis robotic milling allowed for extended freedom of movement to fabricate geometrically complex features, such as cavities, crevices, and overhangs, which were identified for the selected target species (Fig. 7). Following the prototyping and installation phase, species establishment will be assessed over time towards the development of empirical guidelines into how physical features influence multispecies colonisation.

Material approach: biomanufacturing of architectural prototypes with cyanobacteria – A multispecies perspective can also be examined through the integration of living organisms in construction processes and materials. Such materials present biological properties such as carbon diox-



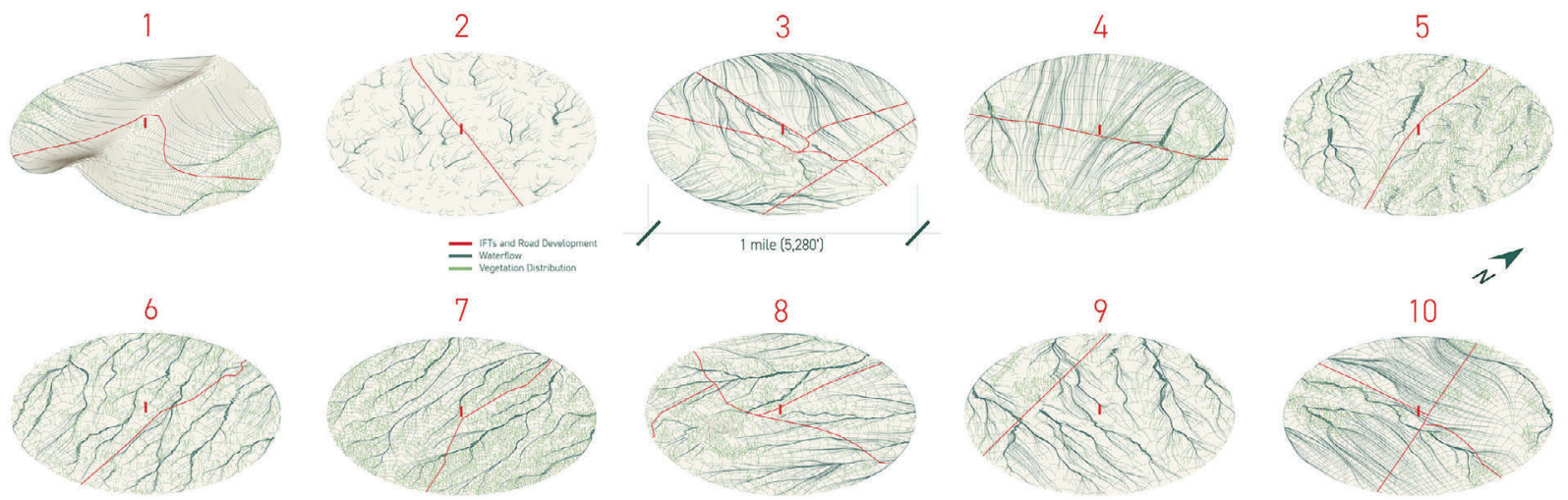


Fig. 14 | Proposed sites and methods for constructing prototypes based on weaving, stacking and framing (credit: C. Becerril and G. Veitch, 2022).





Fig. 15 | Final prototypes in the post-Anthropocene landscape (credit: C. Becerril and G. Veitch, 2022).

ide fixation, biodegradability, and adaptability to the environment (Qiu et alii, 2021). Currently, most building materials and their production play a significant role in the degradation of environmental and ecological conditions. This is particularly relevant for cement and concrete production, which are responsible for nearly 8% of the world's annual emissions of greenhouse gas carbon dioxide and contribute to increasing industrial waste (Nature Board, 2021).

Similar to the expanding research with living organisms such as algae and mycelium in design applications (Valenti and Pasquero, 2021), this project examines living bacteria, specifically the photosynthetic cyanobacteria in order to design a multispecies co-fabrication process calibrating human-led robotic deposition of a biomixture, and Microbial Carbonate Precipitation (MCP) which we refer to as 'bacterial deposition' (Fig. 8; Armaly et alii, 2023). MCP, within bio-mediated soils, reduces the pore space between sand particles and binds them together through calcite precipitation (DeJong et alii, 2010). Cyanobacteria can produce carbonate minerals in the shape of calcite crystals ( $\text{CaCO}_3$ ) by capturing and converting  $\text{CO}_2$  through the process of photosynthesis (Kamennaya et alii, 2012). The photosynthetic nature of the bacteria correlates well with additive manufacturing that enables the printing of porous structures with increased surface area for light exposure and there-

fore increased MCP (Armaly et alii, 2023). Based on the substantiated relation between cyanobacterial activity to soil stability, carbon fixation and geometrical form, two strains of two genera of cyanobacteria (*Synechococcus* sp. strain PCC 7002 and *Synechocystis* sp. strain PCC 6803) were selected for experimentation (Fig. 9).

Introducing architectural designers to microbiological processes is essential within a co-fabrication workflow in order to correlate biological and architectural requirements. This involves a wide range of knowledge from different fields: architecture, microbiology, and additive manufacturing. This knowledge exchange resulted in protocols for growing and proliferating the cells, oriented toward designers, to ease the appliance of biological maintenance (Fig. 10). A bio mixture was developed that can perform simultaneously in two scales: biologically as the bacteria habitat with a biocompatible microenvironment and architecturally as a printing medium composed of quartz sand, agar with a nutritional solution and cyanobacteria, enhancing solidification of biobased additive architectural components with bacterial deposition.

**Case study three: borderland interventions, the Sonoran Desert** | The third group of case studies disseminates two projects from Climate Change and Design, a vertical research option studio and a required course for the Master of Science in Ar-

chitecture program at the University of Arizona. The studio's theoretical thrust is through the lens of posthumanism, complexity theory, ecological processes and borders and boundaries, with design research centred on the Sonoran Desert region, which straddles USA and Mexico, as the setting for their subsequent architectural interventions. Deserts are desolate, barren regions, waterless and treeless, generally considered to be devoid of life, including those of humans. What young designers immediately begin to learn is the inaccuracy of these pre-conceptions. The Sonoran Desert is one of four major deserts in North America, but the only one globally with two rainy seasons, which in part explains the extraordinary richness of biotic life in this particular, arid biome with over 2,000 species of plants, half of which is tropical in origin (Dimmitt, 2020).

There is also a rich cultural history of Native Americans beyond the often-prioritised European colonialism (Henni, 2022). Recent human development is responsible for the desertification of the region, related to water distribution, mineral extraction and agriculture, which increases to support the trend of domination and destruction of biotic communities rather than working symbiotically with the environment. United States Geological Survey's Reports have identified Borderland Challenges in ecology, water resources, the environment and human health, human activity, energy and mineral resources, natural hazards and border security (Fitzpatrick et alii, 2013).

A postclassical, posthuman lens is critical for innovating in any meaningful, sustainable way. Digital technologies and AI can help professionals and learners understand the complexities of the real without becoming overwhelmed by the typically and often necessary reductive design, mapping and diagrammatic processes, but getting a sense of the real is a task in itself. There is plenty of access to information now, including satellite imagery, big data, etc., but it is a complex digital process of editing, refining and mapping all this information.

The content quality and origin are also key. Learners need to also begin to uncover and connect more invisible information and data, often relating to environmental and social inequities, past colonial atrocities and political information, which is often not as apparent and accessible as more mainstream content. Making the invisible visible is an important design aspect of a research process today. Architects need detective-like capabilities to find and sort through data and images from the past and present to help make forward-thinking projections (Weizman, 2018).

Various design methods, theoretical values and dynamic tools were explored to do this, including learning Geographic Information Systems (GIS) tools and parametric optimisation, which have been detailed in past publications relating to complexity theory (Dickinson, 2021), pedagogy, digital methods, design-based on 'alternative disciplines' and field research (Dickinson and Ida, 2021) building on the work and theories of others, particularly those of Kiel Moe and The Santa Fe Institute.<sup>5</sup>

In the first example, Asif Zeshan chose to look at the border wall condition in the border cities of Calexico (California) and Mexicali (Baja, Mexico), from a posthuman perspective, exploring the possibility of different species and natural elements. His research led him to the realisation that beyond

the socio-political and economic divide, the local human systems related to agriculture and industry have created a catastrophic scenario for the biodiversity and quality of air and water. Politically he deemed it naive just to propose tearing the wall down but proposed a transformation to the wall that would adapt at various locations to promote synergy with the biotic and abiotic systems around it. For example, in areas of high air pollution, algae panels would be installed to help purify the air, and in other areas where humans are actively present, panels would adapt kinetically to human sensations, which would hopefully develop with the next generation of posthuman intelligence (Fig. 11).

In the second example, Clarissa Becerril and Gregory Veitch chose to focus on the Native American Tohono O'odham community, which straddles the border between Arizona, USA and Sonora, Mexico, in a very ecologically and culturally rich part of the Sonoran Desert and globe (Greenwald et alii, 2017). The current border condition consists of Integrated Fixed Towers (IFTs) after the tribe refused to construct a new 30-foot-tall pedestrian fence in replacement of the 6-foot-tall vehicle barrier<sup>6</sup>. Initially, their mappings related to online GIS layers, relating to ecological and human border conditions (Fig. 12).

Research activities on this area led to the understanding of the relationship between the Tohono O'odham, the saguaro cactus, and the lesser long-nosed bat pollinators, as one of the most critical to both human culture and ecological richness. Little mapping and documentation exist of this relationship and critical migration path. With field and remote research into the Electric and Magnetic Fields (EMFs) of these new IFTs, they simulated the potential impact these may have on the migratory paths of the bats (Fig. 13). The final proposal was to propose an architecture that could monitor and record this relationship between humans, saguaros and bats as a form of stewardship connecting the tribe's values and cultural practices with contemporary technological ways of observing and monitoring.

The speculative future proposed laid out simple rules of methods of construction with local materials and sensors for spaces of gathering and monitoring in proposed sites out of site of the IFTs and US Border Patrol, based on historical methods of weaving, stacking and framing. The design methods followed principles of complex systems in the sense that numerous forms and conditions could arise from simple rules which could be easily assembled in the field with traditional techniques (Mitchell, 2011; Moe, 2013; Fig. 14). The

goal was to empower the community with information on ecological impacts in order for them to make future informed decisions related to their reservation lands. The final proposal hypothesised on how these installations could fit in this post-Anthropocene landscape with synergy between the natural features, life beyond humans, human culture and related technologies (Fig. 15).

These concepts and realities of time flows and cycles are key to understanding ecological realities, which is also why multi-scalar work is important to understand the connection of the molecular to the territorial (Ibañez, Hutton and Moe, 2019). Designing more inclusively is key, which means including softer forms of architecture and processes, which recent industrialisation often ignored, i.e., setting up a process or strategy that is not so top-down and controlling of others but allows for more interactive and adaptable for multiple users and environments (Tramontin, 2006; Armstrong, 2018). The goal is not just being inclusive of others but learning from them and including life beyond humans. Biomimetics and learning from natural abiotic systems can teach us many things, e.g., how plants survive and conserve water in extreme climates like in the Sonoran Desert, plus past indigenous and pre-colonial ways of living and making were often more in tune with the local environment around us. It is not necessary or even possible to always have an answer to complex issues, but what we need are steps in the layering and understanding of the complexity of the real.

**Discussion and conclusions** | The discussed case studies show various methodological approaches towards the same goals of greater inclusivity and innovation towards a more sustainable future. At the core is the need to de-centre the human from the designer's value system, understanding their relationship to other beings. These other beings can also be generators in the design process (e.g., by artificial intelligence), to enable us to design more inclusively in a complex world. Multiple solutions and perspectives are valid in a more inclusive society, but there is an urgent need for us to embrace this ethic of diversity and inclusivity and to use available knowledge and technology in non-reductive ways, integrating multiple expertise or sometimes using low-tech solutions or methods to get complex, inclusive results. Obviously, we all have our biases, and there is a fundamental challenge in understanding the world through a non-anthropocentric lens, so we continually need to critique, em-

brace life-long learning for those in the academy and beyond and continually check our assumptions and ethics moving forwards.

We are introducing a systemic multicentred design strategy with a more-than-human perspective. Such an approach searches for synergy across multiple beings. Therefore, it is different from a human top-down approach, which would, for instance, focus only on one species and design for them instead of with them. The discussed case studies have necessary local attributes, which respond to specific place-based microclimates and users, however, these methodologies are transferrable to other locations, where local conditions would be analysed. Also, advanced manufacturing does not need to follow past examples of industrialisation and globalisation to be a one size fits all corporate model, there are scalable low and high-tech potentials through increased interaction and community design, such as DIY recipes, local workshops and mobile applications for maker communities. The discussed approaches lead towards the post-Anthropocene era (Bratton, 2013, 2019), where people and others live together in synergy with greater diversity (Davidová and Zavoleas, 2020).

We appreciate a lot of calls for a similar change in some current movements, such as Fridays for Future, Extinction Rebellion, The Last Generation and others. In our complex world, as social and environmental justice are closely dependent (McIntyre-Mills, 2014; Haase, 2017) synergistic futures have to be inclusive and transdisciplinary across multiple beings, which involves a greater understanding, depth and uncovering of the layers, differences, nuances and relationships between us, others and the matter which makes up our environment. The research is also transferrable to the building industry and might also be implemented by public policy. Much of that is also achievable by public engagement, either through local owners' building renovation or in the example of case study one just applying the DIY on someone's balcony. This will result in clear socio-economic implications, leading to healthier and liveable cities for all, increasing the value of properties, the neighbourhood and the city.

## Acknowledgements

The contribution is the result of a common reflection of the Authors.

POL-AI Prototype | Design: M. Davidová, M. Teye, M. Guimaraes di Stasi, M. C. Valverde, H. Behnam (Institute of Social Sciences, University of Stuttgart); Ecosystem Consultancy: L. K. Fischer (Institute of Landscape Planning and Ecology, University of Stuttgart), M. Thiv (State Museum of Natural History Stuttgart and KomBioTa); Digital Fabrication Consultancy: T. Schwinn (ICD, University of

Stuttgart); Grasshopper Consultancy: Z. Akkbar (ICD, University of Stuttgart), Š. Prokop (MOLAB, FA CTU in Prague), L. Siriwardena (ICD, University of Stuttgart); Structural Consultancy: G. Neubauer (ITKE, University of Stuttgart); Student Assistants: M. He, H. Hildebrandt, W. Man Chau, A. Pelin Asa, C. Chun Kuo (ITECH, University of Stuttgart); Students: E. Blagojevic, R. Hillebrecht, T. Hillemanns, M. Schaal, M. Spielvogel (Architecture and Urban Planning and Master Planning and Participation, University of Stuttgart).

BioDiveln Prototype | Studio Lead: M. Davidová (Insti-

tute of Social Sciences, University of Stuttgart); Tutors: M. C. Valverde, H. Behnam (Institute of Social Sciences, University of Stuttgart); Ecosystem Consultancy: L. K. Fischer (Institute of Landscape Planning and Ecology, University of Stuttgart); Wood Workshop Consultancy: M. Schneider and P. Duncan (Faculty of Architecture and Urbanism); Students: T. Fadini, J. Hauweise, A. Hauke, M. Florescu, V. Ferrari, A. P. Ros, N. Vujovic, S. Knutelsky, O. Wosiak, M. Candia (Bc and Master of Architecture and Urban Planning, University of Stuttgart).

ECOLOPES | Technion Research Team: S. Barath, Y.



Grobman, S. U. Selvan, T. Saroglou. The Authors would like to extend their gratitude to all members of the ECOLOPES consortium for their support and toward further research developments.

Subtractive Habitation | Technion Research Team: S. Barath, D. Metcalfe, R. Fogel; Ecological consultancy: O. Kolodny; Material supplier: YTONG Israel.

Biomufacturing of architectural prototypes with cyanobacteria | Technion Research Team: S. Barath, P. Armaly, L. Illiasafov, Y. Kashi, S. Kirzner.

Borderland Intervention | The work shown is from the third iteration of the course taught solely by the respective Author. The previous two iterations were conceived and co-taught with a past colleague, Dr A. Ida. Beyond funded visitors and input, thank you to our Faculty Peers at the University of Arizona who gave lectures and/or workshops from their various disciplines, in particular Associate Professor S. Li, School of Landscape Architecture, University of Arizona.

Funding | This publication was funded by the German Research Foundation (DFG) grant Open Access Publication Funding 2023-2024, University of Stuttgart (512689491). The research published in this article is partially supported by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, German Research Foundation) under Germany's Excellence Strategy – EXC 2120/1–390831618. The Authors cordially thank the DFG. The ECOLOPES work is supported by the H2020-EU.1.2.1. – FET Open (Grant Agreement ID 964414). The Biomufacturing of architectural prototypes with cyanobacteria is supported by the Technion Additive Manufacturing Center (TAMC). Borderland Interventions was funded by the College of Architecture, Planning, and Landscape Architecture at the University of Arizona, with an in-house Grassroots Teaching Innovation Grant, which helped fund guest lectures, field tools, and various other items for the inaugural studio Climate Change and Design.

## Notes

1) For more information see the panel on Cultural Environments with More-than-Human Perspectives at the webpage: [rsdsymposium.org/cultural-environments-with-more-than-human-perspectives/](https://rsdsymposium.org/cultural-environments-with-more-than-human-perspectives/) [Accessed 14 April 2023].

2) For more information see the webpage: [systemicaproachtoarchitecturalperformance.wordpress.com/](https://systemicaproachtoarchitecturalperformance.wordpress.com/) [Accessed 14 April 2023].

3) For more information on Spot-A-Bee see the webpage: [spotabee.buzz/](https://spotabee.buzz/) [Accessed 14 April 2023].

4) For more information on Ecolopes see the webpage: [cordis.europa.eu/project/id/964414](https://cordis.europa.eu/project/id/964414) [Accessed 14 April 2023].

5) For more information see the webpage: [santafe.edu/](https://santafe.edu/) [Accessed 14 April 2023].

6) For more information on Deserted Border Lands – Mapping Surveillance Along the Tohono O'odham Nation see the webpage: [archleague.org/article/deserted-border-lands-mapping-surveillance-along-tohono-oodham-nation/?printpage=true](https://archleague.org/article/deserted-border-lands-mapping-surveillance-along-tohono-oodham-nation/?printpage=true) [Accessed 14 April 2023].

## References

- Alton, K. and Ratnieks, F. L. W. (2020), "Caveat Emptor – Do Products Sold to Help Bees and Pollinating Insects Actually Work?", in *Bee Word*, vol. 97, issue 2, pp. 57-60. [Online] Available at: [doi.org/10.1080/0005772X.2019.1702271](https://doi.org/10.1080/0005772X.2019.1702271) [Accessed 14 May 2023].
- Apfelbeck, B., Jakoby, C., Hanusch, M., Boas Steffani, E., Hauck, T. E. and Weisser, W. W. (2019), "A Conceptual Framework for Choosing Target Species for Wildlife-Inclusive Urban Design", in *Sustainability*, vol. 11, issue 4, article 6972, pp. 1-20. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/SU11246972](https://doi.org/10.3390/SU11246972) [Accessed 14 May 2023].
- Armaly, P., Kirzner, S., Kashi, Y. and Barath, S. (2023), "Biomufacturing of architectural prototypes with cyanobacteria", in *Human-Centric | 28th International Conference of the Association for Computer-aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA) 2023*, Association for

Computer-Aided Architectural Design in Asia, Ahmedabad, pp. 149-158. [Online] Available at: [doi.org/10.52842/conf.caadria.2023.2.149](https://doi.org/10.52842/conf.caadria.2023.2.149) [Accessed 14 May 2023].

Armstrong, R. (2018), *Soft Living Architecture – An Alternative View of Bio-informed Practice*, Bloomsbury Publishing, London. [Online] Available at: [collections.com/book/soft-living-architecture-an-alternative-view-of-bio-informed-practice/](https://collections.com/book/soft-living-architecture-an-alternative-view-of-bio-informed-practice/) [Accessed 14 May 2023].

Barbero, S., Giraldo Nohra, C. and Campagnaro, C. (2022), "Soluzioni sistemiche per un benessere olistico delle città – Processi, risultati e riflessioni | Systemic Solutions for the Holistic Well-Being of Cities – Processes, results and reflections", in *Agathon | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 50-61. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/1142022](https://doi.org/10.19229/2464-9309/1142022) [Accessed 14 May 2023].

Bateson, G. (2000), *Steps to Ecology of Mind – Collected Essays in Anthropology, Psychiatry, Evolution, and Epistemology*, The University of Chicago.

Bratton, B. H. (2019), "Further Trace Effects of the Post-Anthropocene", in *Architectural Design*, vol. 89, issue 1, pp. 14-21. [Online] Available at: [doi.org/10.1002/ad.2382](https://doi.org/10.1002/ad.2382) [Accessed 14 May 2023].

Bratton, B. H. (2013), "Some Trace Effects of the Post-Anthropocene – On Accelerationist Geopolitical Aesthetics", in *e-flux journal*, issue 46, pp. 1-12. [Online] Available at: [e-flux.com/journal/46/60076/some-trace-effects-of-the-post-anthropocene-on-accelerationist-geopolitical-aesthetics/](https://e-flux.com/journal/46/60076/some-trace-effects-of-the-post-anthropocene-on-accelerationist-geopolitical-aesthetics/) [Accessed 14 May 2023].

Canepa, M., Mosca, F., Barath, S., Changenet, A., Hauck, T. E., Ludwig, F., Roccotiello, E., Pianta, M., Selvan, S. U., Vogler, V. and Perini, K. (2022), "Ecolopes, oltre l'inverdimento – Un approccio multi-specie per lo spazio urbano | Ecolopes, beyond greening – A multi-species approach for urban design", in *Agathon | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 238-245. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/11212022](https://doi.org/10.19229/2464-9309/11212022) [Accessed 14 May 2023].

Capra, F. (2015), "Fritjof Capra on science and spirituality", in *Sutra Journal*, 12/2015. [Online] Available at: [sutrajournal.com/science-and-spirituality-by-fritjof-capra](https://sutrajournal.com/science-and-spirituality-by-fritjof-capra) [Accessed 14 May 2023].

Cohen, A. and Barath, S. (2023), "Integrating Large-Scale Additive Manufacturing and Bioplastic Compounds for Architectural Acoustic Performance", in *Human-Centric | 28th International Conference of the Association for Computer-aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA) 2023*, Association for Computer-Aided Architectural Design in Asia, Ahmedabad, pp. 179-188. [Online] Available at: [doi.org/10.52842/conf.caadria.2023.2.179](https://doi.org/10.52842/conf.caadria.2023.2.179) [Accessed 14 May 2023].

Cross, N. (2007), *Designerly Ways of Knowing*, Birkhäuser, Basel.

Davidová, M. (2020), "Synergy in the systemic approach to architectural performance – The integral multi- and cross-layered agencies in eco-systemic generative design processes of the post-Anthropocene", in *FormAkademisk | Research Journal of Design and Design Education*, vol. 13, issue 2, pp. 1-30. [Online] Available at: [doi.org/10.7577/formakademisk.3387](https://doi.org/10.7577/formakademisk.3387) [Accessed 14 May 2023].

Davidová, M. (2016), *Wood as a Primary Medium to Architectural Performance – A Case Study in Performance Oriented Architecture Approached through Systems Oriented Design*, Doctoral Thesis, Technical University of Liberec, Liberec. [Online] Available at: [researchgate.net/publication/307957987\\_Wood\\_as\\_a\\_Primary\\_Medium\\_to\\_Architectural\\_Performance\\_A\\_Case\\_Study\\_in\\_Performance\\_Oriented\\_Architecture\\_Approached\\_through\\_Systems\\_Oriented\\_Design](https://researchgate.net/publication/307957987_Wood_as_a_Primary_Medium_to_Architectural_Performance_A_Case_Study_in_Performance_Oriented_Architecture_Approached_through_Systems_Oriented_Design) [Accessed 14 May 2023].

Davidová, M., Fischer, L. K. and Teye, M. (2022), "POL-AI – Leveraging Urban EcoSystem", in *Proceedings of Relating Systems Thinking and Design (RSD11) 2022 Symposium, University of Brighton, Brighton (UK), October 13-15, 2022*, Systemic Design Association, Brighton, pp. 1-11. [Online] Available at: [researchgate.net/publication/367157532\\_POL-AI\\_Leveraging\\_Urban\\_EcoSystem](https://researchgate.net/publication/367157532_POL-AI_Leveraging_Urban_EcoSystem) [Accessed 14 May 2023].

Davidová, M. and Prokop, Š. (2018), "TreeHugger – The Eco-Systemic Prototypical Urban Intervention", in Kon-tovourkis, O. (ed.), *Sustainable Computational Workflows – 6th eCAADe Regional International Workshop Proceedings – Department of Architecture, University of Cyprus, Nicosia, Cyprus, 24-25 May 2018*, pp. 75-84. [Online] Available at: [papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaaderis2018\\_103](https://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaaderis2018_103) [Accessed 14 May 2023].

Davidová, M., Sharma, S., McMeel, D. and Loizides, F. (2022), "Co-De|GT – The Gamification and Tokenisation of More-Than-Human Qualities and Values", in *Sustainability*, vol. 14, issue 7, article 3787, pp. 1-20. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/SU14073787](https://doi.org/10.3390/SU14073787) [Accessed 14 May 2023].

Davidová, M. and Zavoleas, Y. (2020), "Post-Anthropocene – The Design after the Human Centered Design Age", in Holzer, D., Nakapan, W., Globa, A. and Koh, I. (eds), *RE – Anthropocene, Design in the Age of Humans – Proceedings of the 25th CAADRIA Conference – Volume 2, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 5-6 August 2020*, pp. 203-212. [Online] Available at: [doi.org/10.52842/conf.caadria.2020.2.203](https://doi.org/10.52842/conf.caadria.2020.2.203) [Accessed 14 May 2023].

Davidová, M. and Zimová, K. (2021), "COLreg – The Tokenised Cross – Species Multicentred Regenerative Region Co-Creation", in *Sustainability*, vol. 13, issue 12, article 6638, pp. 1-23. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/su13126638](https://doi.org/10.3390/su13126638) [Accessed 14 May 2023].

DeJong, J. T., Mortensen, B. M., Martinez, B. C. and Nelson, D. C. (2010), "Bio-mediated soil improvement", in *Ecological Engineering*, vol. 36, issue 2, pp. 197-210. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2008.12.029](https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2008.12.029) [Accessed 14 May 2023].

Dickinson, S. (2021), "The Complexity of the Built and Natural Environments", in Lastman, R. (ed.), *The City and Complexity – Life, Design and Commerce in the Built Environment*, AMPS, London, pp. 80-87. [Online] Available at: [architecturemp.com/wp-content/uploads/2021/04/Am-Pros-Proceedings-Series-19.2.pdf](https://architecturemp.com/wp-content/uploads/2021/04/Am-Pros-Proceedings-Series-19.2.pdf) [Accessed 14 May 2023].

Dickinson, S. and Ida, A. (2021), "Dynamic Interscalar Methods for Adaptive Design Futures", in Gomez, P. and Braida, F. (eds), *Designing Possibilities – Proceedings of the XXV International Conference of the Ibero-American Society of Digital Graphics (SIGraDi 2021), online, 8-12 November 2021*, Association for Computer-Aided Architectural Design in Asia, pp. 41-53. [Online] Available at: [papers.cumincad.org/cgi-bin/works/Show?sigradid2021\\_312](https://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/Show?sigradid2021_312) [Accessed 14 May 2023].

Dimmitt, M. (2020), "Biomes and Communities of the Sonoran Desert Region", in Phillips, S. J. and Wentworth Comus, P. (eds), *A Natural History of the Sonoran Desert*, Arizona-Sonora Desert Museum Press, University of California Press, Tucson, Los Angeles, pp. 3-18. [Online] Available at: [content.ucpress.edu/chapters/8707001.ch02.pdf](https://content.ucpress.edu/chapters/8707001.ch02.pdf) [Accessed 14 May 2023].

Doherty, G. (2005), "Prototypes in Pinkenba", in *Nordes | Nordic Design Research*, vol. 1, pp. 1-5. [Online] Available at: [nordes.org/opj/index.php/n13/article/view/262/245](https://nordes.org/opj/index.php/n13/article/view/262/245) [Accessed 14 May 2023].

Fitzpatrick, J., Gray, F., Dubiel, R., Langman, J., Moring, J. B., Norman, L. M., Page, W. R. and Parcher, J. W. (2013), "The Borderlands and climate change – Chapter 10", in *United States-Mexican Borderlands – Facing tomorrow's challenges through USGS science*, U.S. Geological Survey, Reston (VA), pp. 235-271. [Online] Available at: [doi.org/10.3133/CIR138010](https://doi.org/10.3133/CIR138010) [Accessed 14 May 2023].

Forlano, L. (2016), "Decentering the Human in the Design of Collaborative Cities", in *Design Issues*, vol. 32, issue 3, pp. 42-54. [Online] Available at: [doi.org/10.1162/DESI\\_A\\_00398](https://doi.org/10.1162/DESI_A_00398) [Accessed 14 May 2023].

Foth, M. (2017), "The next urban paradigm – Cohabitation in the smart city", in *IT | Information Technology*, vol. 59, issue 6, pp. 259-262. [Online] Available at: [doi.org/10.1515/itit-2017-0034](https://doi.org/10.1515/itit-2017-0034) [Accessed 14 May 2023].

Greenwald, N., Segee, B., Curry, T. and Bradley, C. (2017), *A Wall in the Wild – The Disastrous Impacts of Trump's Border Wall on Wildlife*, Center for Biological Diversity Report, Tucson. [Online] Available at: [doi.org/](https://doi.org/)

- 10.13140/RG.2.2.36526.97602 [Accessed 14 May 2023].
- Guillitte, O. (1995), “Bioreceptivity – A new concept for building ecology studies”, in *Science of the Total Environment*, vol. 167, issues 1-3, pp. 215-220. [Online] Available at: doi.org/10.1016/0048-9697(95)04582-L [Accessed 14 May 2023].
- Haase, A. (2017), “The Contribution of Nature-Based Solutions to Socially Inclusive Urban Development – Some Reflections from a Social-environmental Perspective”, in Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., Bonn, A. (eds), *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas – Theory and Practice of Urban Sustainability Transitions*, Springer, Cham, pp. 221-236. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5\_13 [Accessed 14 May 2023].
- Haraway, D. (1991), *Simians, Cyborgs and Women – The Reinvention of Nature*, Routledge, New York.
- Henni, S. (ed.) (2022), *Deserts Are Not Empty*, Columbia University, Graduate School of Architecture, New York.
- Hensel, M. (2013), *Performance-Oriented Architecture – Rethinking Architectural Design and the Built Environment*, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex.
- Hensel, M. and Menges, A. (2006), *Morpho-Ecologies – Towards heterogeneous space in architectural design*, AA Publications, London.
- Hoadley, R. B. (1980), *Understanding wood – A craftsman’s guide to wood technology*, The Taunton Press, New Town.
- Hobbs, R. J., Arico, S., Aronson, J., Baron, J. S., Bridgewater, P., Cramer, V. A., Epstein, P. R., Ewel, J. J., Klink, C. A., Lugo, A. E., Norton, D., Ojima, D., Richardson, D. M., Sanderson, E. W., Valladares, F., Vilà, M., Zamora, R. and Zobel, M. (2006), “Novel ecosystems – Theoretical and management aspects of the new ecological world order”, in *Global Ecology and Biogeography*, vol. 15, issue 1, pp. 1-7. [Online] Available at: doi.org/10.1111/J.1466-822X.2006.00212.X [Accessed 14 May 2023].
- Ibañez, D., Hutton, J. and Moe, K. (2019), *Wood Urbanism – From the Molecular to the Territorial*, Actar, New York-Barcelona.
- Joachim, M., Aiolova, M. and Terreform ONE (eds) (2019), *Design with Life – Biotech Architecture and Resilient Cities*, Actar, New York.
- Kalpna, M. and Mohith, S. (2020), “Study on autoclaved aerated concrete – Review”, in *Materials Today | Proceedings*, vol. 22, part 3, pp. 894-896. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.MATPR.2019.11.099 [Accessed 14 May 2023].
- Kamennaya, N. A., Ajo-Franklin, C. M., Northen, T. and Jansson, C. (2012), “Cyanobacteria as Biocatalysts for Carbonate Mineralization”, in *Minerals*, vol. 2, issue 4, pp. 338-364. [Online] Available at: doi.org/10.3390/MIN2040338 [Accessed 14 May 2023].
- Latour, B. (1993), *We Have never been Modern*, Harvard University Press, Cambridge. [Online] Available at: monoskop.org/images/e/e4/Latour\_Bruno\_We\_Have\_Never\_Been\_Modern.pdf [Accessed 14 May 2023].
- Lovelock, J. (2000), *Gaia – A New Look at Life on Earth*, Oxford University Press, Oxford.
- Mahrous, R., Giancola, E., Osman, A., Asawa, T. and Mahmoud, H. (2022), “Review of key factors that affect the implementation of bio-receptive façades in a hot arid climate – Case study north Egypt”, in *Building and Environment*, vol. 214, article 108920, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2022.108920 [Accessed 14 May 2023].
- Mata, L., Ramalho, C. E., Kennedy, J., Parris, K. M., Valentine, L., Miller, M., Bekessy, S., Hurley, S. and Cumpston, Z. (2020), “Bringing nature back into cities”, in *People and Nature*, vol. 2, issue 2, pp. 350-368. [Online] Available at: doi.org/10.1002/PAN3.10088 [Accessed 14 May 2023].
- McIntyre-Mills, J. (2014), “Systemic Ethics for Social and Environmental Justice”, in *Systemic Ethics and Non-Anthropocentric Stewardship*, Springer, Cham, pp. 121-153. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-07656-0\_6 [Accessed 14 May 2023].
- Meier, L., Raps, J. and Leistner, P. (2020), “Insect Habitat Systems Integrated into Façades-Impact on Building Physics and Awareness of Society”, in *Sustainability*, vol. 12, issue 2, article 570, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.3390/SU12020570 [Accessed 14 May 2023].
- Mirzabeigi, S. and Razkenari, M. (2022), “Design optimization of urban typologies – A framework for evaluating building energy performance and outdoor thermal comfort”, in *Sustainable Cities and Society*, vol. 76, article 103515, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.SCS.2021.103515 [Accessed 14 May 2023].
- Mitchell, M. (2011), *Complexity – A Guided Tour*, Oxford University Press, Oxford.
- Moe, K. (2013), “The Complicated and the Complex”, in *Convergence – An Architectural Agenda for Energy*, Routledge, New York, pp. 80-105.
- Myhr, A., Røyne, F., Brandtsegg, A. S., Bjerkseter, C., Throne-Holst, H., Borch, A., Wentzel, A. and Røyne, A. (2019), “Towards a low CO<sub>2</sub> emission building material employing bacterial metabolism (2/2) – Prospects for global warming potential reduction in the concrete industry”, in *PLOS ONE*, vol. 14, issue 4, e0208643, pp. 1-26. [Online] Available at: doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0208643 [Accessed 14 May 2023].
- Nature Board (2021), “Editorial | Concrete needs to lose its colossal carbon footprint”, in *Nature*, vol. 597, pp. 593-594. [Online] Available at: doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0208643 [Accessed 14 May 2023].
- Perini, K., Barath, S., Canepa, M., Hensel, M., Mimet, A., Mosca, F., Roccotiello, E., Selami, T., Hensel, D., Tyc, J., Selvan, S. U., Vogler, V. and Weisser, W. W. (2021), “ECOLOPES – A multi-species design approach to building envelope design for regenerative urban ecosystems”, in Markoupoulou, A. (ed.), *Responsive Cities – Design with Nature – Symposium Proceedings 2021*, Institut d’Arquitectura Avançada de Catalunya, Barcelona, pp. 368-380. [Online] Available at: researchgate.net/publication/360938775\_ECOLOPES\_A\_multi-species\_design\_approach\_to\_building\_envelope\_design\_for\_regenerative\_urban\_ecosystems [Accessed 14 May 2023].
- Pickering, A. (2009), “Beyond design – Cybernetics, biological computers and hylozoism”, in *Synthese*, vol. 168, issue 3, pp. 469-491. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11229-008-9446-z [Accessed 14 May 2023].
- Pone, S. (2022), “Maker – Il ritorno dei costruttori – Una possibile transizione digitale per l’Architettura | Maker – The return of the builders – A possible digital transition for Architecture”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 14-23. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1212022 [Accessed 14 May 2023].
- Qiu, J., Artier, J., Cook, S., Srubar III, W. V., Cameron, J. C. and Hubler M. H. (2021), “Engineering living building materials for enhanced bacterial viability and mechanical properties”, in *iScience*, vol. 24, issue 2, article 102083, pp. 1-8. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.isci.2021.102083 [Accessed 14 May 2023].
- Rosenzweig, M. L. (2003), “Reconciliation ecology and the future of species diversity”, in *Oryx*, vol. 37, issue 2, pp. 194-205. [Online] Available at: doi.org/10.1017/S0030605303000371 [Accessed 14 May 2023].
- Scalisi, F. and Ness, D. (2022), “Simbiosi tra vegetazione e costruito – Un approccio olistico, sistemico e multilivello | Symbiosis of greenery with built form – A holistic, systems, multi-level approach”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 26-39. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/112022 [Accessed 14 May 2023].
- Selvan, S. U., Saroglou, S. T., Mosca, F., Tyc, J., Joschinski, J., Calbi, M., Vogler, V., Weisser, W. W., Grobman, Y. G. and Barath, S. (2023a), “Multi-species building envelopes – Developing a multi-criteria design decision-making methodology for cohabitation”, in *Human-Centric | 28th International Conference of the Association for Computer-aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA) 2023*, Association for Computer-Aided Architectural Design in Asia, Ahmedabad, pp. 645-654. [Online] Available at: doi.org/10.52842/conf.caadria.2023.2.643 [Accessed 14 May 2023].
- Selvan, S. U., Saroglou, S. T., Joschinski, J., Calbi, M., Vogler, V., Barath, S. and Grobman, Y. G. (2023b), “Toward multi-species building envelopes – A critical literature review of multi-criteria decision-making for design support”, in *Building and Environment*, vol. 231, article 110006, pp. 1-21. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2023.110006 [Accessed 14 May 2023].
- Sevaldson, B. (2010), “Discussions & Movements in Design Research – A systems approach to practice research in design”, in *FormAkademisk | Research Journal of Design and Design Education*, vol. 3, issue 1, pp. 8-35. [Online] Available at: doi.org/10.7577/formakademisk.137 [Accessed 14 May 2023].
- Spotswood, E. N., Beller, E. E., Grossinger, R., Grenier, J. L., Heller, N. E. and Aronson, M. F. J. (2021), “The Biological Deserts Fallacy – Cities in Their Landscapes Contribute More than We Think to Regional Biodiversity”, in *BioScience*, vol. 71, issue 2, pp. 148-160. [Online] Available at: doi.org/10.1093/biosci/biaa155 [Accessed 14 May 2023].
- Tramontin, M. L. (2006), “Textile Tectonics – An Interview with Lars Spueybroek”, in *Architectural Design*, vol. 76, issue 6, pp. 52-59. [Online] Available at: doi.org/10.1002/AD.357 [Accessed 14 May 2023].
- Tucci, G. and Carlo Ratti Associati (2023), “La tecnologia come abilitatore di un nuovo ecosistema urbano responsivo – Intervista a Carlo Ratti (CRA Studio) | Technology as an enabler of a new ecosystem responsive urbanism – Interview with Carlo Ratti (CRA Studio)”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 190-201. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12172022 [Accessed 14 May 2023].
- Valenti, A. and Pasquero, C. (2021), “La seconda vita dei micro organismi – Il design bi-digitale per una nuova ecologia dello spazio e del comportamento | The second life of micro-organisms – Bio-digital design for a new ecology of space and behaviour”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 9, pp. 42-53. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/942021 [Accessed 14 May 2023].
- Vozzo, M. L., Mayer-Pinto, M., Bishop, M. J., Cumbo, V. R., Bugnot, A. B., Dafforn, K. A., Johnston, E. L., Steinberg, P. D. and Strain, E. M. A. (2021), “Making seawalls multifunctional – The positive effects of seeded bivalves and habitat structure on species diversity and filtration rates”, in *Marine Environmental Research*, vol. 165, article 105243, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.MARENRES.2020.105243 [Accessed 14 May 2023].
- Wagler, R. (2017) “Anthropocene extinction”, in *Access Science*. [Online] Available at: doi.org/10.1036/1097-8542.039350 [Accessed 14 May 2023].
- Weisser, W. W., Hensel, M., Barath, S., Culshaw, V., Grobman, Y. J., Hauck, T. E., Joschinski, J., Ludwig, F., Mimet, A., Perini, K., Roccotiello, E., Schloter, M., Schwartz, A., Hensel, D. S. and Vogler, V. (2023), “Creating ecologically sound buildings by integrating ecology, architecture and computational design”, in *People and Nature*, vol. 5, issue 1, pp. 4-20. [Online] Available at: doi.org/10.1002/PAN3.10411 [Accessed 14 May 2023].
- Weizman, E. (2018), *Forensic Architecture – Violence at the Threshold of Detectability*, Zone Books, New York. [Online] Available at: doi.org/10.2307/j.ctv14gphth [Accessed 14 May 2023].