

## ARTICLE INFO

Received 15 October 2023  
 Revised 20 October 2023  
 Accepted 08 November 2023  
 Published 31 December 2023

## ARCHITETTURE MINIME PER IL PAESAGGIO Il modulo come strumento per la sostenibilità

## MINIMAL ARCHITECTURES FOR LANDSCAPE The module as a tool for sustainability

Jorge Garcia Valdecabres, Daniela Besana

### ABSTRACT

Il tema dell'emergenza ambientale è ormai al centro delle riflessioni sul modo di pensare e concepire il progetto di architettura. Il contributo sostiene l'opportunità di leggere il progetto edilizio come un processo circolare che possa, in tutte le fasi della progettazione, aiutare i progettisti a trovare risposte consapevoli e funzionali al tema dell'impatto ambientale delle costruzioni: ciò impone una necessaria revisione dei requisiti prestazionali del progetto che trovano una possibile risposta, completa ed efficace, nelle architetture modulari minime. Si ritiene infatti che il modulo in architettura possa essere concepito, a parità di elemento minimo base, come flessibile rispetto alle esigenze d'uso, ai contesti e alle prestazioni ottenibili. A dimostrazione di quanto esplicitato, si riportano esperienze di ricerca su questa concezione architettonica-progettuale.

The theme of environmental emergency is now at the forefront of discussions on how to plan and conceive architectural design. This paper argues for the opportunity to interpret building design as a circular process that can, at all stages, help designers find conscious and functional answers to the issue of the environmental impact of construction: this calls for a necessary review of the project's performance requirements, which can find a possible complete and adequate answer in minimal modular architectures. It is indeed believed that the module in architecture can be designed, given the same basic minimum element, as flexible with respect to usage requirements, contexts and achievable performance. To demonstrate the above, research experiences regarding this architectural-design concept are provided.

### KEYWORDS

costruzione modulare, sostenibilità, flessibilità, prestazioni, processo progettuale

modular construction, sustainability, flexibility, performance, design process

**Jorge Garcia Valdecabres**, Architect and PhD, is a Professor at the Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación Universitat Politècnica de València (Spain). He carries out research activities mainly within the context of the conservation, recovery and valorisation of Cultural Heritage, focusing on asset management. E-mail: jgvalde@ega.upv.es

**Daniela Besana**, Building Engineer-Architect and PhD, an Associate Professor of Building Technology at the Department of Civil Engineering and Architecture (DICAr) of the University of Pavia (Italy). She carries out research on the project of reuse and valorisation of Cultural Heritage and traditional and innovative construction technologies for sustainable designs. Email: daniela.besana@unipv.it



Le attuali politiche internazionali orientano, con sempre maggior forza, le proprie azioni per contrastare l'emergenza ambientale che coinvolge ormai l'intero pianeta: l'innalzamento delle temperature, del livello dei mari e delle emissioni di CO<sub>2</sub> nell'ambiente, unito a sempre più frequenti e intensi eventi meteorologici estremi e imprevedibili, impone la presa di coscienza della necessità di cambiare radicalmente il modo di pensare e di agire (IPCC, 2021). Il mondo delle costruzioni è infatti tra i principali responsabili dell'impatto ambientale sul pianeta con il 35% di consumo di energia e il 38% di emissioni di CO<sub>2</sub>, ma anche con un altrettanto impattante produzione di rifiuti e scarti (UNEP, 2020; Fig. 1).

In tale ottica obiettivo del contributo è investire un nuovo approccio al progetto di Architettura in grado di trovare possibili risposte immediate ed efficaci al tema ambientale, verso una 'nuova cultura della sostenibilità' (IEA, 2019). Se l'Architettura è disciplina in grado di trasformare e plasmare il costruito e il contesto nel quale si colloca, essa diventa oggi occasione per un generale ripensamento del modo di progettare in termini di sostenibilità ambientale, azione culturale basata sulla conoscenza, sulla sperimentazione e sull'innovazione sia di processo che di prodotto (Nocca, 2017). La sfida è legata alle necessità di pensare in un'ottica d'innovazione l'intera pianificazione e gestione del processo edilizio attraverso soluzioni tecnico-costruttive improntate alla circolarità di prodotto e di processo, a partire dalle scelte dei materiali naturali, ecologici e locali, dalla valutazione degli impatti di produzione, trasporto e messa in opera fino alle tematiche di gestione e manutenzione consapevole, di riuso e riutilizzo parziale, selettivo o globale dell'oggetto edilizio.

**Stato dell'arte: impatto ambientale e processo edilizio** | Gli SDGs dettagliatamente elencati e argomentati all'interno dell'Agenda 2030 (UN – General Assembly, 2015) impongono, con sempre maggiore urgenza, che l'intero Pianeta trovi soluzioni, strategie e risposte concrete a temi diversi tra loro integrati; in particolare, riferendosi gli Obiettivi nel settore edilizio, l'Agenda prevede un ambizioso taglio delle emissioni di gas serra del 60% al 2030 rispetto al 2015 quale azione centrale per la decarbonizzazione dell'economia, integrandosi così con la Legge Europea per il Clima (European Parliament, 2021; Gates, 2022). Risulta chiaro come l'intero settore edilizio, tanto per le nuove realizzazioni quanto per gli interventi sul costruito, sia al centro dell'European Green Deal (European Commission, 2019) e delle politiche di transizione ecologica (Chou, 2021). L'obiettivo è certamente sfidante: costruire e ristrutturare in modo efficiente sotto il profilo energetico e delle risorse per evitare che la Terra, da qui al 2050, venga depauperata di una quantità risorse pari a quella disponibile in tre pianeti (European Commission, 2020; Fig. 2).

Si prevede che nei prossimi quarant'anni il consumo complessivo di risorse come la biomassa, i combustibili fossili, i metalli e i minerali raddoppierà (OECD 2019) e parallelamente la produzione annuale di rifiuti aumenterà del 70% entro il 2050 (Silpa et alii, 2018). Poiché l'estrazione e la trasformazione delle risorse sono all'origine della metà delle emissioni totali di gas a effetto serra e di oltre il 90% della perdita di biodiversità e dello stress idrico, l'European Green Deal ha varato una

strategia concertata per un'economia climaticamente neutra, efficiente sotto il profilo delle risorse e competitiva: un approccio improntato all'economia circolare condiviso da tutti i cittadini (utenti, aziende, imprese, ecc.) che contribuirà in modo significativo al conseguimento della neutralità climatica entro il 2050 e a una crescita economica disaccoppiata dall'uso delle risorse, garantendo al contempo la competitività a lungo termine dell'Unione Europea senza lasciare indietro nessuno (Balzani and Di Giulio, 2021; Scalisi and Ness, 2022).

Per concretizzare questa ambizione l'Unione Europea nel prossimo decennio deve accelerare la transizione verso un modello di crescita rigenerativo che restituisca al pianeta più di quanto prenda, riducendo contestualmente i consumi e raddoppiando la percentuale di utilizzo di materiali circolari (Tweed and Sutherland, 2007), ciò anche in ragione del fatto che annualmente ogni cittadino dell'Unione Europea genera in media 4,5 tonnellate di rifiuti, di cui circa la metà viene smaltita in discarica. Si tratta di numeri allarmanti che non siamo più in grado di sostenere sia in termini ambientali che economici e frutto di un modello lineare dell'economia che destina inevitabilmente ogni prodotto a un 'fine vita'.

Gli obiettivi fin qui esposti impongono dunque un sostanziale cambio di paradigma nel modo di progettare, allargando, pur con la specificità che ogni tema impone e richiede, la visuale dal progetto all'intero processo progettuale (Park Associati and Bollinger + Grohmann, 2021) attraverso un'attenta valutazione già nelle fasi preliminari che concorrono alla decisione di risorse e materiali, processi di produzione, impatti sul clima, consumi energetici, gestione del cantiere e del fabbricato durante la fase di esercizio, disassemblabilità e riuso dei componenti (Arup, 2016), il tutto possibile solo se i progettisti posseggono una visione d'insieme, sistemica e olistica con un approccio consapevole e sostenibile al progetto.

**La reversibilità per le architetture modulari** | Gli aspetti citati inducono quindi a considerare il tema ambientale con una inedita consapevolezza del problema da parte di tutti gli attori ma anche e soprattutto rispetto alla necessità di anticipare le questioni ambientali attraverso la scelta di soluzioni progettuali che siano non solo in grado di rimediare ai danni causati dai processi di produzione e consumo, ma soprattutto di intervenire in termini preventivi. Una ipotesi percorribile risiede nella possibilità di contrapporre al modello lineare quello di economia circolare (Ellen Mac Arthur Foundation, 2013), il cui principale obiettivo è oltrepassare il concetto di fine vita della materia riferendosi sostanzialmente a ciò che normalmente accade in natura, dove non esiste il rifiuto: tutto quello che viene prodotto ha uno scopo e lo scarto diventa nuova risorsa rimessa in circolo nell'ecosistema. Al contempo è necessario prevedere dei passaggi intermedi virtuosi come la riparazione o il riutilizzo dopo il consumo e prima dello smaltimento (Fig. 3).

Un tale cambio di prospettiva del processo edilizio che sposa i principi dell'economia circolare esplicita dunque la necessità di passare da un approccio 'cradle to grave' a uno 'cradle to cradle' (McDonough and Braungart, 2003), non dando dunque più per scontato un percorso che termina

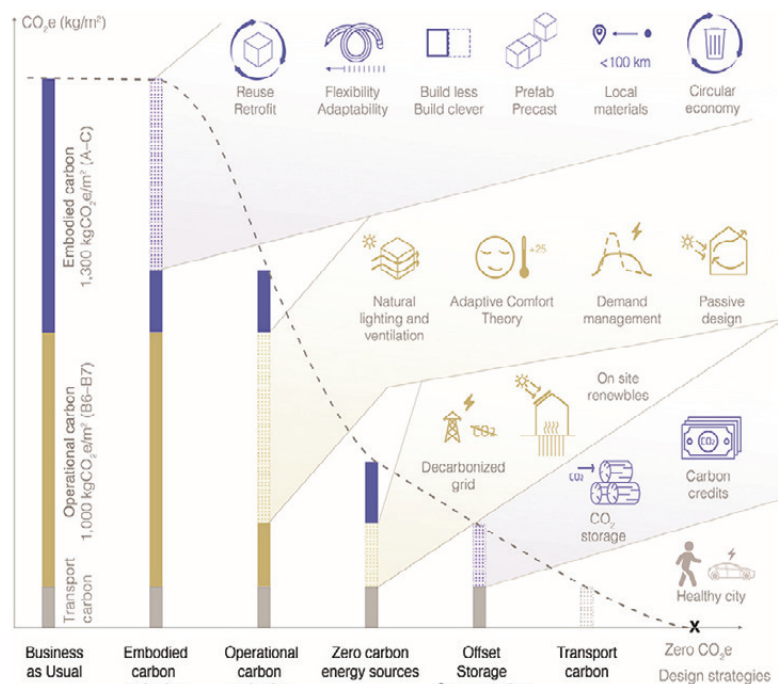
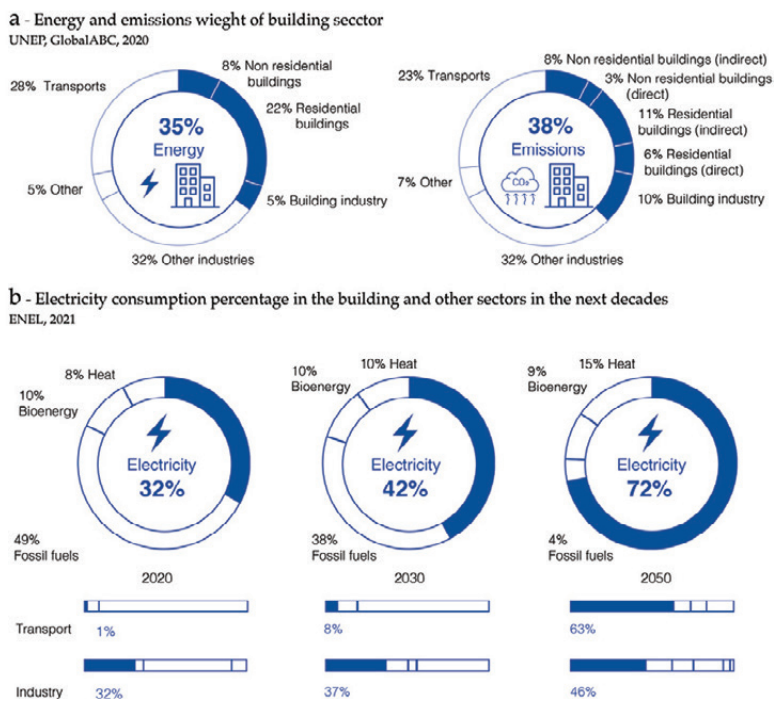
con l'esaurimento della vita utile di un prodotto ma operando una valutazione e un'analisi preliminare, ancor prima della fase di progettazione, su come eliminare o ridurre al massimo rifiuti e scarti a fine vita di prodotti e beni.

Ciò su cui si vuole riflettere è come sia possibile trasporre in architettura i processi vitali della natura per rideterminare il comportamento dei nostri edifici in risposta all'emergenza ambientale (Tucci, 2017). A tal riguardo Mario Cucinella (2019, p. 21) richiama la necessità di non trascurare la sostenibilità nelle nostre città, perché quello che sta succedendo non ha precedenti nella storia: «Ad oggi abbiamo costruito grosso modo 145 miliardi di metri quadri [...]. Quello che preoccupa nel tempo più vicino, nei prossimi 15 anni è la previsione di crescita. Costruiremo la metà di tutto quello che abbiamo costruito fino ad oggi [...] 73 miliardi di metri quadrati che corrispondono grossomodo a un miliardo e mezzo di persone».

Al contempo l'Archistar richiama a una profonda riflessione sul modo di progettare i nostri edifici e sul contesto climatico nei quali vengono realizzati, invitando a non affidare solo alla tecnologia i requisiti prestazionali oggi necessari. «Prima ancora di nuove azioni, quindi, abbiamo bisogno di nuova etica e di un nuovo modo di concepire l'architettura e gli strumenti della progettazione [...] Dove troveremo tutte le risorse per [costruire] e poi l'energia per mantenere quegli edifici? [...] è obbligatorio fare un passo indietro e prendere consapevolezza di come negli ultimi due secoli abbiamo perso l'abilità di dialogare con il clima, confidando nella sola tecnologia come risposta alle nostre esigenze. Questo appiattimento sulla tecnologia ha ridotto le nostre conoscenze portandoci a creare edifici totalmente estranei ai luoghi e alle tradizioni in cui sorgono» (Cucinella, 2022).

L'impiego eccessivo e incondizionato dell'innovazione tecnologica ha dunque presentato un conto salato alla natura (Mario Cucinella Architects, 2020), tuttavia una possibile azione da mettere in campo non è certo il suo abbandono ma la ricerca per sviluppare nuovi materiali e tecniche a servizio del progetto, considerando quest'ultimo come processo circolare virtuoso (Fig. 4) a favore di una nuova relazione empatica tra architettura e ambiente. Una tale visione richiede inevitabilmente di confrontarsi con nuovi requisiti prestazionali legati ai temi della reversibilità del costruito per uno specifico territorio, della temporaneità di uso e dello sfruttamento di risorse non rinnovabili (Fig. 5), della flessibilità tipologica, prestazionale e funzionale in grado di rispondere a mutati quadri esigenziali, dell'autosufficienza energetica del prodotto edilizio e della potenziale esportabilità e trasformabilità a contesti diversi (Nocca, 2017).

Parallelamente l'European Green Deal amplia gli orizzonti del progetto proponendo una strategia di crescita che preveda non solo la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, ma anche un innalzamento degli standard di vita e nuove opportunità di lavoro legati a nuovi modelli di produzione, di consumo, di organizzazione sociale e del costruito (European Commission, 2021). Una certa direzione in questo senso è fornita dal 'system change compass' (SystemIQ and Club of Roma, 2020) che «[...] indirizza anche la pianificazione urbana intelligente, la riqualificazione di edifici sottoutilizzati, e una 'gestione dello spazio fluida e orientata all'autosufficienza' tramite l'aumento di edifici du-



**Fig. 1 |** (a) Percentage of energy consumption and emissions of the building sector, 2019; (b) Increasing demand of electricity by the building sector: in 2050, it will be crucial to produce enough electricity to supply all the sectors as it will be the primary source of power (source: Besana and Tirelli, 2022).

**Fig. 2 |** Embodied and operational carbon timeline to complete decarbonisation in four phases: starting from the business-as-usual (BaU) condition, it is possible to reduce embodied and operational carbon and then offset/compensate for the remaining part; healthy-city principles can considerably reduce transport carbon (source: Tirelli and Besana, 2023).

revoli, modulari, efficienti e con un’equa quantità di spazio per persona’» (Ness, 2021, p. 23).

Rileggendo la Storia dell’Architettura è possibile ad esempio interpretare gli insegnamenti derivanti dalla prefabbricazione edilizia non solo come metodologia produttiva industriale in grado di rispondere ai nuovi requisiti prestazionali, ma soprattutto come strategia progettuale e operativa (Russo Ermolli and Galluccio, 2019). La realizzazione di componenti prefabbricati basati sul concetto di modulo diventa chiave importante di soluzioni a temi complessi e diversi (Wallace, 2021); in questo senso il Modulo in architettura può dunque essere interpretato come modulo architettonico, oggetto edilizio, che a seconda delle specificità di contesto per le quali è pensato, può assumere diverse declinazioni: modulo come elemento compositivo riconoscibile e identitario nel territorio, modulo tipologico e funzionale per rispondere alle esigenze di flessibilità o modulo tecnologico-costruttivo come risposta al soddisfacimento di requisiti prestazionali, esempio di comportamento virtuoso in termini di autosufficienza energetica nell’intero ciclo di vita.

La progettazione di moduli sostenibili, ai fini di una loro effettiva applicazione, richiede una necessaria discesa di scala sulla definizione di alcuni concetti cardine (Lauria, 2018). Un requisito prestazionale fondamentale è la reversibilità che rimanda conseguentemente al soddisfacimento di altri requisiti ad esso collegati, come ad esempio la flessibilità d’uso, tipologica, funzionale e prestazionale o l’autosufficienza energetica (Bologna, 2002). In linea generale sono definite reversibili tutte le soluzioni progettuali che possono garantire un elevato potenziale di riutilizzo dell’edificio, degli impianti, dei prodotti e dei materiali e che presentano un elevato potenziale di trasformazione. Disassemblaggio, adattabilità e riuso costituiscono il nucleo delle tre dimensioni della reversi-

bilità e come tali determinano i livelli spaziali e strutturali degli edifici reversibili. Un approccio progettuale incentrato specificatamente sulla reversibilità e flessibilità è riconducibile agli assunti teorici del Reversible Building Design (Durmisevic, 2018) che individua tre dimensioni come indicatori del carattere di trasformabilità di un edificio: reversibilità spaziale, tecnica e dei materiali.

La trasformazione spaziale ed edilizia si muove nella direzione di modificare la funzione dell’edificio ed è quindi legata alla scelta dello schema strutturale da analizzare durante la fase di fattibilità e di progettazione preliminare. Durante la fase di progettazione è possibile valutare la capacità dello spazio e della struttura di ospitare diverse funzioni senza causare grandi modifiche edilizie, demolizioni e perdite di materiale: minore è lo sforzo necessario per trasformare un edificio maggiore sarà il suo potenziale di trasformazione; maggiori le possibili soluzioni di riutilizzo e di trasformazione d’uso, maggiore sarà il potenziale di trasformazione dell’edificio in oggetto.

Nel progetto di architettura Durmisevic (2018) individua tre tipi principali di trasformazioni: la trasformazione monofunzionale, ossia la capacità di modificare la tipologia di layout all’interno di una funzione; la trasformazione transfunzionale, la capacità di modificare la funzione di un edificio; la trasformazione multidimensionale (denominata anche trasformabile), che integra le precedenti nonché l’intercambiabilità e la ricollocazione, ovvero la capacità di modificare una funzione con aggiunta caratteristica di flessibilità dimensionale, ossia con aumenti o riduzioni volumetriche, cinematiche o ricollocazioni in altra sede. Sempre Durmisevic (2019) individua i parametri di progettazione che influiscono sul potenziale di trasformazione e tra questi la tipologia edilizia, i dati dimensionali dell’edificio, la posizione e distanza dei nuclei rigidi, la tipologia del sistema strutturale, il me-

todo di costruzione, l’altezza interna e le aperture delle finestre.

Alla luce di quanto sopra si configura l’assunto che tanto più si progetta alla scala del modulo edilizio aggregabile e componibile secondo diverse configurazioni, più alto risulterà il grado di reversibilità del progetto e quindi la risposta edilizia ai temi della circolarità e della sostenibilità. Entrando più specificatamente all’interno della progettazione tecnologica, come strumento per controllare l’effettiva reversibilità, è possibile individuare tre livelli di composizione / scomposizione tecnica: la disposizione dei sistemi, che sono portatori delle principali funzioni dell’edificio (costruzione portante, finiture e partizioni in un’ottica anche di successiva manutenzione), la disposizione dei componenti che sono portatori delle sottofunzioni del sistema e infine la disposizione degli elementi e dei materiali, che sono portatori delle funzioni dei componenti (Durmisevic, 2006).

L’impianto strutturale di un edificio governa il controllo della reversibilità secondo tre ambiti di progettazione, funzionale, tecnica e fisica: il primo si occupa della scomposizione e allocazione funzionale, definendo le dipendenze funzionali; la seconda della disposizione gerarchica dei materiali da costruzione e delle loro relazioni; la terza delle interfacce che definiscono l’integrità fisica e le dipendenze della struttura. In particolare il tema della reversibilità tecnica porta al controllo in fase di progetto di due requisiti prestazionali: intercambiabilità e smontabilità (Galle and De Temmerman, 2013).

La prima si riferisce alla capacità del sistema costruttivo di consentire la sostituzione di componenti ed elementi del sistema edilizio con altri simili per dimensioni, caratteristiche e funzioni senza necessità di ricorrere a interventi di modifica e adattamento degli elementi del sistema che circondano la parte da sostituire; questa proprietà facilita la manutenzione del sistema edilizio o la sua



implementazione tecnologica nel tempo, ma consente anche la trasformabilità spaziale dell'edificio per adattarlo a funzioni diverse durante il ciclo di vita.

La seconda si riferisce alla possibilità che il sistema costruttivo permetta la separazione delle sue parti costitutive senza danneggiare o compromettere l'integrità dei componenti, in modo da favorire il riciclo dei materiali o il reimpiego in altre costruzioni ove possibile. Tale approccio trova le sue radici teoriche con i principi di 'open building' (Habraken, 1972), cioè di una progettazione che tiene conto delle eventuali modifiche o trasformazioni di un edificio durante il suo ciclo di vita in ragione di cambiamenti sociali, funzionali e tecnologici (Scalisi and Sposito, 2021). Da qui lo sviluppo dei principi del Design for Disassembly con implicazioni tanto sulle modalità esecutive dell'opera, impiegando tecnologie a secco e prefabbricate rispetto a tecnologie umide per consentire una migliore separazione tra elementi tecnici, componenti e materiali (Akinade et alii, 2017), quanto sul disegno e sulla progettazione delle relazioni tra gli elementi attraverso giunti e connessioni reversibili (Fig. 6).

Secondo Durmisevic (2006) le scelte preliminari progettuali si possono basare su otto criteri utili ad indirizzare la progettazione: 1) indipendenza funzionale di ogni componente che vede nella loro separazione totale la migliore soluzione, come nel caso della S/R – Struttura/Rivestimento (Imperadori, 2008); 2) sistematizzazione dei singoli sottosistemi come raggruppamento di elementi in un modulo indipendente basato su funzionalità, montaggio / smontaggio, coordinamento del ciclo di vita degli elementi e ciclo di vita d'uso previsto; 3) minimizzazione del numero di relazioni che rappresentano le dipendenze funzionali e tecniche tra gli elementi di un edificio a favore dei principi di assemblabilità e sostituibilità dei componenti; 4) definizione del modulo base della configurazione e

degli elementi per permettere l'indipendenza e la separazione fisica tra i vari sottosistemi funzionali dell'organismo edilizio; 5) modalità sequenziale o in parallelo delle attività di montaggio / smontaggio (se l'assemblaggio sequenziale rende meno efficace la sostituibilità dei componenti in quanto crea maggiori vincoli reciproci, il montaggio in parallelo rende meno vincolati tra loro gli elementi, facilita le operazioni di sostituzione e modifica e consente di velocizzare il processo di costruzione dell'opera); 6) progetto della forma e della geometria dei componenti in funzione del montaggio e smontaggio senza danneggiamento e quindi con possibilità di riutilizzo; 7) individuazione del tipo di connessione a secco, meccanica o chimica per agevolare assemblaggio e disassemblaggio; 8) coordinamento del ciclo di vita secondo il principio generale per cui materiali dotati di un ciclo di vita più breve dovrebbero essere montati per ultimi ma smontati per primi (Fig. 7).

A partire quindi dalla definizione dei suddetti principi prestazionali sono disponibili soluzioni e strategie di prefabbricazione e stratificazione a secco mirate alla progettazione di kit di assemblaggio di componenti: tanto più si lavora con i principi della progettazione modulare, sia essa intesa come modulo planimetrico, modulo e sottomodulo di organizzazione spaziale tra struttura, partizioni, arredo, modulo di facciata o modulo tridimensionale, maggiore sarà il grado di reversibilità e quindi l'impatto della circolarità del processo edilizio (Fig. 8).

**Modulo architettonico di piccola scala per il paesaggio**

L'approccio proposto da Durmisevic trova un ampio grado di applicazione ed esportabilità a tutte le scale di progetto a partire dalle architetture minime modulari che, per combinazione e aggregazione di un medesimo elemento, possono generare diverse tipologie d'uso attraverso differenti

linguaggi architettonici, preservando una propria reversibilità e riconoscibilità sul territorio in cui vengono progettate: l'architettura modulare minima consente, a partire da una chiara definizione dei requisiti prestazionali, un'ampia applicazione in luoghi e contesti diversi oltre che una molteplicità di soluzioni progettuali e funzionali.

Il modulo può essere impiegato anche come possibile strumento per attuare le politiche di sostenibilità ambientale e le più generali politiche internazionali di valorizzazione del Patrimonio paesaggistico sia italiano che europeo. Numerosi sono i paesaggi che possono essere percorsi a piedi, in bicicletta, sull'acqua – a scopo turistico o di pellegrinaggio – caratterizzati da realtà sempre diverse e mutevoli ma specifiche e da preservare nel loro carattere identitario. Paesaggi rurali e urbanizzati con suoli e colori diversi, contesti topografici e climatici differenti e percorsi e vedute che mutano rispetto ai parametri tempo e spazio richiedono al progetto la rispondenza a un quadro esigenziale-prestazionale in costante mutazione.

In quest'ottica si richiama, a titolo puramente esemplificativo, il tracciato turistico della ciclovia Ven-To che collega Venezia e Torino e che, lungo un percorso unitario, attraverso contesti paesaggistici differenti intersecandosi con percorsi tematici eno-gastronomici, turistico architettonici o paesaggistici, serviti da strutture modulari alla piccola scala, concepite secondo tecniche e principi di reversibilità, fortemente identitarie e riconoscibili lungo tutto il percorso, ma flessibili per esigenze d'uso nel rispetto del territorio (Figg. 9-11).

Analogamente è possibile richiamare il tracciato turistico-religioso della via Francigena che collega Roma a Canterbury lungo il quale, pur con le varietà proprie dei paesaggi che attraversa, moduli edilizi concepiti tutti con sistema costruttivo a secco riescono a generare nella loro composizione un'ampia variazione tipologica e un'adeguata ri-

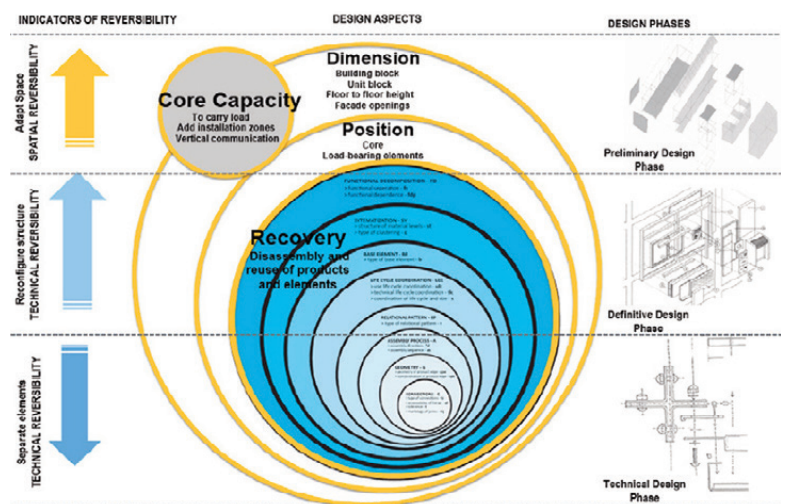
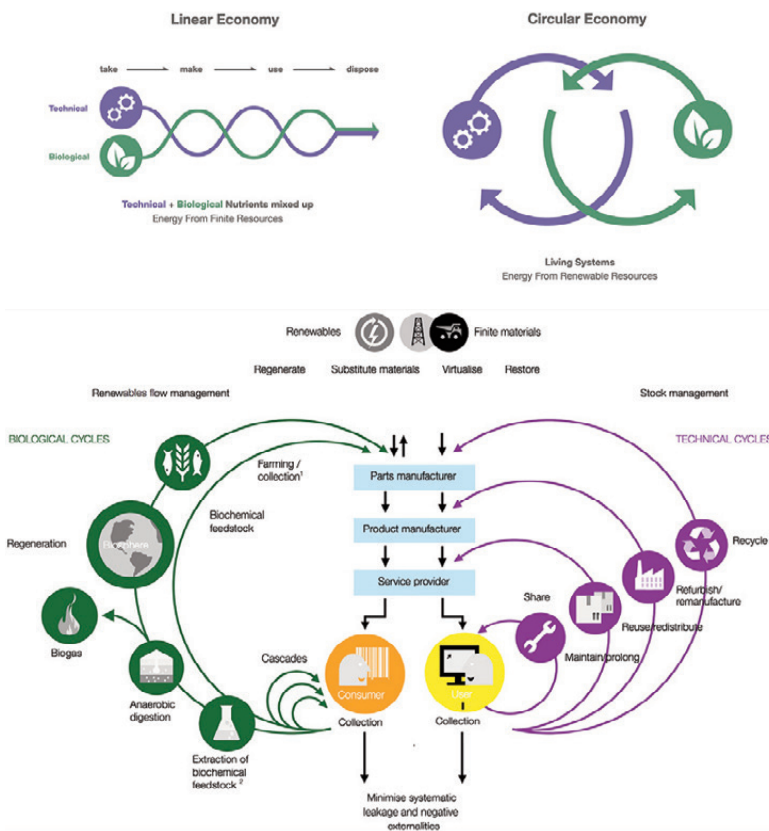


Fig. 3 | Linear economy versus circular economy in the built environment (source: Arup, 2016).

Fig. 4 | Reversible building protocol integrating spatial and technical aspects of reversibility (source: Durmisevic, 2019).

TEMI DI PROGETTO - SOSTENIBILITÀ NELLE SUE 3 DIMENSIONI: Ambientale, Economica e Sociale

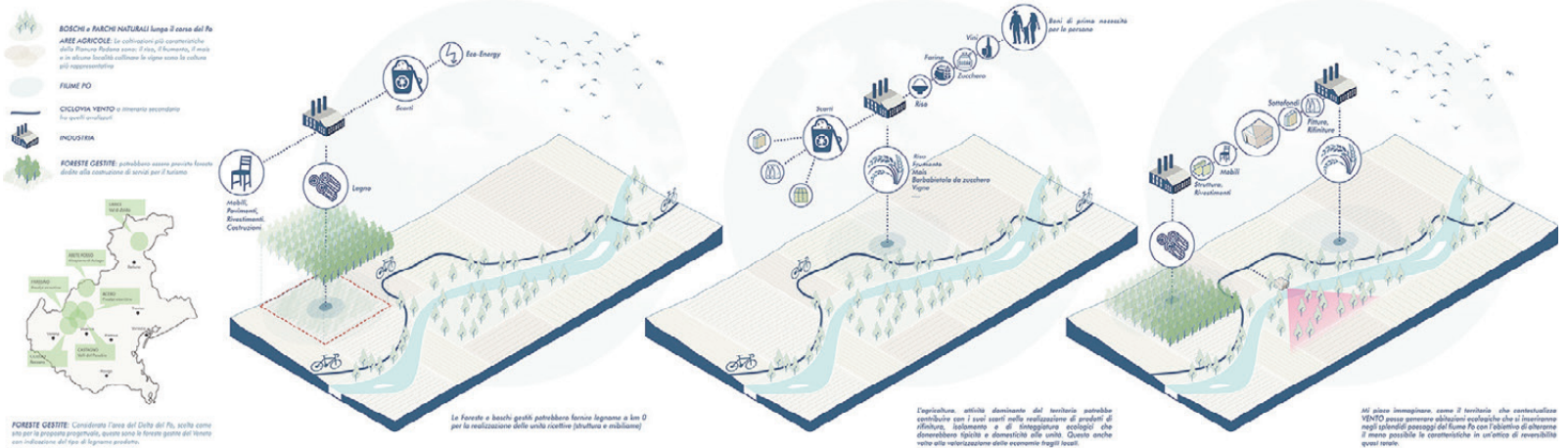


Fig. 5 | Sustainable concept design of an architectural module along the Ven-To route (credit: C. Caroli and D. Besana, 2019).

spondenza a differenti quadri esigenziali: nell'eterogeneità del percorso le architetture modulari di piccola scala rispondono a specifiche esigenze di uso – spazi di ristoro, di servizio, di pernottamento, informativi e religiosi – favorendo il controllo del processo edilizio in un'ottica di disassemblaggio per parti e per componenti e garantendo la reversibilità del luogo di insediamento (Fig. 12).

A dimostrazione della numerosità delle casistiche sulle quali poter lavorare con la stessa metodologia progettuale è possibile in ultimo citare i percorsi e le reti ciclabili ricavabili tra tracciati ferroviari dismessi come nel caso della Riviera Ligure (Figg. 13, 14) o i canali d'acqua, lungo i fiumi o lungo i navigli. Pur nella loro specificità, ogni percorso o rete ha caratteristiche analoghe in tema di requisiti di progetto, potendo rispondere con un'architettura di piccola scala, elemento riconoscibile nel territorio, alle specifiche esigenze funzionali dei diversi luoghi (Fig. 15). L'architettura modulare minima offre quindi una possibile risposta alla valorizzazione di un territorio attraverso un elemento identitario seppur specifico delle diverse destinazioni d'uso, in un'ottica di sostenibilità e piena conoscenza del luogo in cui si insedia.

**Conclusioni** | Il presente saggio ha sostenuto che il progetto di Architettura, attraverso tecnica e tecnologia, possa dare risposte adeguate (validate da attività di ricerca e sperimentazioni condotte in ambiti differenti) e innovative in termini di controllo e impatto ambientale, attraverso un approccio modulare di piccola scala, grazie alle sue caratteristiche di componibilità, ripetibilità e versatilità (funzionali e spaziali) che garantiscono alti livelli prestazionali e qualitativi.

Per raggiungere un tale obiettivo al progetto si richiede l'implementazione di nuovi requisiti prestazionali riconducibili ai principi e alle strategie del Reversible Building Design in tutte le fasi del processo, in particolare nella fase preliminare del progetto poiché l'integrazione tardiva della reversibilità nella progettazione può incidere pesantemente sulla sostenibilità ambientale, economica e sociale del costruito. Il progetto può così rispondere alle esigenze del contesto, della società e del territorio nel quale si inserisce, esprimendo una qualità edilizia, linguistica e architettonica a servizio della fruizione e valorizzazione di un territorio e mantenendo i suoi caratteri di riconoscibilità.

Ad oggi un tema ancora aperto è la trasposizione del modulo dalla progettazione di piccola scala a quella di un'architettura più complessa ed estesa in cui sviluppare con la medesima attenzione principi e strategie del Reversible Building Design. Una particolare linea di ricerca in questa direzione potrebbe partire proprio dalla definizione di requisiti e parametri prestazionali da codificare in linee guida generali, verificando l'applicabilità a contesti diversi e a scale differenti.

Current international policies are increasingly directing their actions to counter the environmental emergency that now involves the entire planet: the rise in temperatures, sea levels and emissions of CO<sub>2</sub> in the environment, combined with increasingly frequent and intense extreme and unpredictable weather events, mandates an awareness of the need to radically change the way we think and act (IPCC, 2021). The construction sector is, in fact, among the main contributors to the environmental impact on the planet, with 35% of energy consumption and 38% of CO<sub>2</sub> emissions but also with an equally impactful production of waste as refuse (UNEP, 2020; Fig. 1).

In this perspective, the contribution aims to investigate a new approach to Architectural design that can find possible immediate and effective responses to the environmental issue toward a 'new culture of sustainability' (IEA, 2019). If Architecture is a discipline capable of transforming and shaping the built environment and the context in which it is placed, it now becomes an opportunity for a general rethinking of the way we design in terms of environmental sustainability, a cultural action based on knowledge, experimentation and innovation in both process and product (Nocca, 2017).

The challenge is related to the need to rethink from an innovation perspective the entire planning and management of the building process through technical-constructive solutions oriented on product and process circularity, starting from the choices of natural, ecological and local materials, from the assessment of the impacts of production, transport and installation to the issues of conscious management and maintenance, partial, selective or global reuse and reuse of the building object.

**State of the art: environmental impact and the building process** | The SDGs detailed and articulated within the 2030 Agenda (UN – General Assembly, 2015) impose, with increasing urgency, that the entire Planet must find solutions, strategies and concrete responses to different interconnected issues; in particular, tailoring the Goals to the building sector, the Agenda calls for an ambitious 60% cut in greenhouse gas emissions by 2030 (compared to 2015) as a central action for the decarbonisation of the economy, thus complementing the European Climate Act (European Parliament, 2021; Gates, 2022). It is clear that the entire building sector, both for new construction as well as for interventions on the built environment, is at the centre of the European Green Deal (European Commission, 2019) and green transition policies (Chou, 2021). The goal is undoubtedly challenging: to build and renovate in an energy and resource-efficient way, with the certainty that, although there is only one planet Earth, the latter will consume resources equal to three planets between now and 2050 if the situation does not change (European Commission, 2020; Fig. 2).

The total consumption of resources such as biomass, fossil fuels, metals and minerals is expected to double in the next four decades (OECD 2019), and in parallel, annual waste generation is expected to increase by 70% by 2050 (Silpa et alii, 2018). Since resource extraction and processing account for half of total greenhouse gas emissions and more than 90% of biodiversity loss and water stress, the European Green Deal has launched a concerted strategy for a climate-neutral, resource-efficient and competitive economy: a circular economy approach shared by all citizens (users, companies, businesses, etc.) that will significantly contribute to achieving climate neutrality by 2050 and to economic growth decoupled from resource use, while ensuring the long-term competitiveness of the European Union without leaving anyone behind (Balzani and Di Giulio, 2021; Scalisi and Ness, 2022).

To make this ambition a reality, within the next decade, the European Union must accelerate the transition to a regenerative growth model that gives back to the planet more than it takes, while at the same time reducing consumption and doubling the proportion of circular material use (Tweed and Sutherland, 2007), partly because each EU



citizen generates an average of 4.5 tons of waste annually, about half of which is disposed of in landfills. These alarming numbers can no longer be sustained in both environmental and economic terms, and are the result of a linear economy model that inevitably destines every product to an 'end-of-life'.

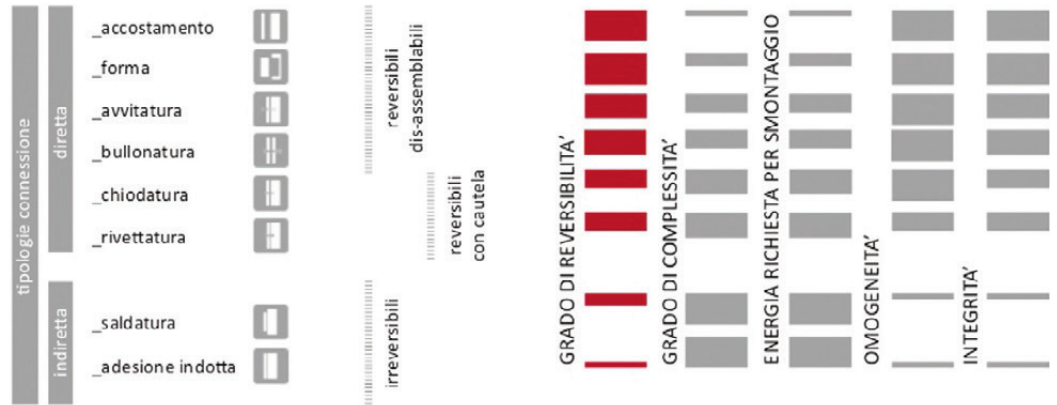
The objectives set out so far, therefore, impose a substantial paradigm shift in the way of designing, broadening the view from the project to the entire design process (Park Associati and Bollinger + Grohmann, 2021), albeit with the specificity that each theme imposes and requires, through careful evaluation as early as the preliminary stages that contribute to the decision of resources and materials, production processes, climate impacts, energy consumption, site and building management during the operational phase, disassembly and reuse of components (Arup, 2016), all possible only if architects possess a comprehensive, systemic and holistic view with a conscious and sustainable approach to the project.

**Reversibility for modular architectures** | The aforementioned aspects thus lead to a new awareness in considering the environmental issue on behalf of all parties, also and especially with respect to the need to anticipate environmental issues through the choice of design solutions that are not only able to remedy the damage caused by production and consumption processes, but above all to intervene in preventive terms. A viable hypothesis lies in the possibility of contrasting the linear model with the circular economy model (Ellen Mac Arthur Foundation, 2013), whose main objective is to go beyond the concept of material end-of-life by basically referring to what normally happens in nature, where there is no such thing as waste: everything that is produced has a purpose and waste becomes a new resource recirculated back into the ecosystem. At the same time, it is necessary to envisage virtuous intermediate steps such as repair or reuse after consumption and before disposal (Fig. 3).

This shift in the perspective of the building process embraces the principles of the circular economy and thus explicitly addresses the need to move from a 'cradle to grave' to a 'cradle to cradle' approach (McDonough and Braungart, 2003), no longer taking for granted a pathway that ends with the exhaustion of a product's useful life but making a preliminary assessment and analysis, even before the design phase, on how to eliminate or minimise waste and waste at the end of life of products and goods.

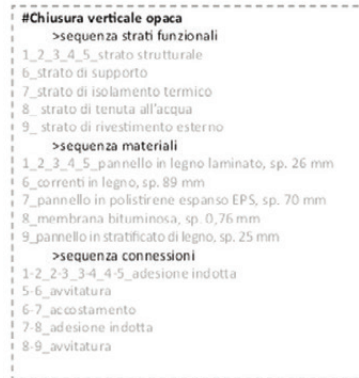
The aim is to reflect on how nature's life processes can be transposed into architecture to re-determine the behaviour of our buildings in response to the environmental emergency (Tucci, 2017). In this regard, Mario Cucinella (2019, p. 21) points out the need to avoid neglecting sustain-

## Tipologie di connessione



### #04\_House 19

<http://www.kortekniestuhlmacher.nl/>



#### #Struttura di elevazione

#### #Struttura di fondazione

puntuale; elementi prefabbricati in cls con cuscinetti di appoggio in gomma, elemento di sostegno in xlam

#### #Chiusura verticale opaca

pannelli xlam a 5 strati, pannello isolante in schiuma rigida sp. 70 mm, correnti in legno 44/89 mm, guaina impermeabilizzante e finitura con pannello stratificato di legno verniciato;

#### #Chiusura orizzontale superiore

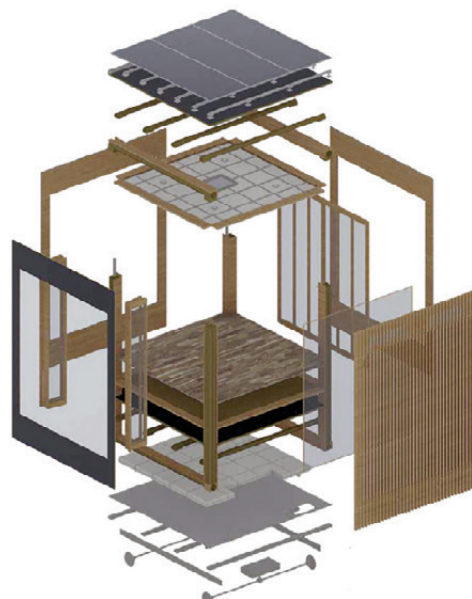
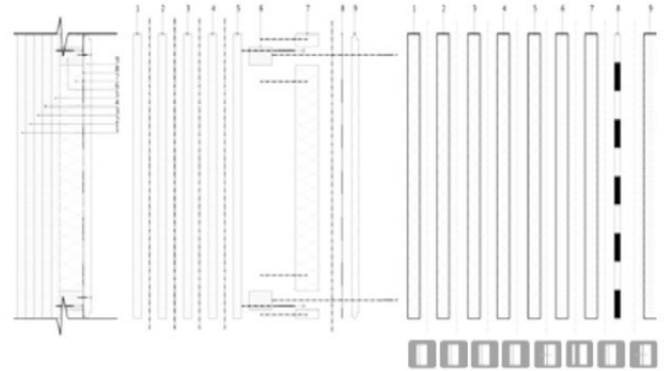
pannelli xlam a 5 strati, pannello isolante in schiuma rigida sp. 50 mm, guaina impermeabilizzante;

#### #Chiusura orizzontale inferiore

pannelli xlam a 5 strati, correnti di sostegno in legno sp. 44mm, pannello isolante in schiuma rigida sp. 20 mm, pannello OSB rivestito in resina epossidica sp. 18 mm;

#### #Chiusura verticale trasparente

vetri isolanti



**Fig. 6** | Systems and types of connections between modular components of the building system (source: Bazzana, 2009).

**Fig. 7** | Example form of the technological design on a case study to analyse the type of collection and the constructive system (source: Bazzana, 2009).

**Fig. 8** | Modular and combinable module designed with Structure/Envelope (S/E) technology and reversibility principles (credit: D. Besana, 2023).



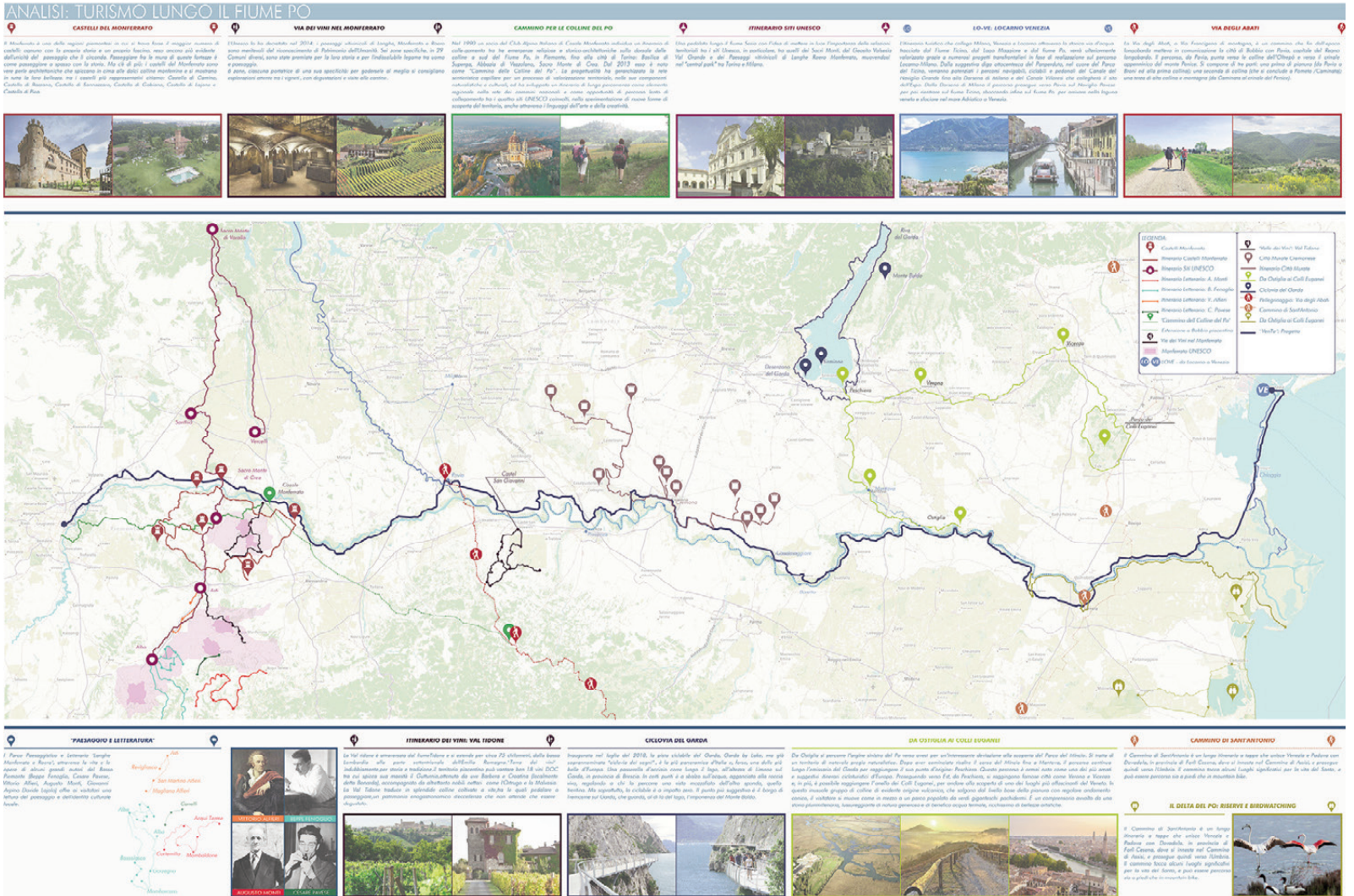


Fig. 9 | Preliminary functional analysis of tourism and of historical and literature events along the Ven-To route to design a new recognisable architectural module (credit: C. Caroli and D. Besana, 2019).

ability in our cities because what is happening is unprecedented in history: to date, we have roughly built 145 billion square meters, with a worrying growth forecast for the next 15 years, as it is expected that we will build half the amount of everything we have built to date, i.e. 73 billion square meters that roughly corresponds to one and a half billion people.

At the same time, the archistar calls for deep reflection on the way we design our buildings and the climatic context in which they are built, urging us not to rely solely on technology for the performance requirements that are necessary today. «Thus, new actions need to be preceded by new way to view architecture and design methods. [...] Where will we find all the resources to do this [to design], as well as the energy needed to maintain these buildings? [...] we need to take a step back and understand how, over the last two centuries, we have lost the ability to communicate with the climate, relying exclusively on technology to serve our needs. This technological simplification has reduced our awareness, leading us to create buildings that are completely alien to their surroundings» (Cucinella, 2022).

The excessive and unconditional reliance on technological innovation has consequently come with a hefty bill to nature (Mario Cucinella Architects, 2020); however, this must not be abandoned

but instead employed in the development of new materials and techniques to serve the project, considering the latter as a virtuous circular process (Fig. 4) in favour of a new empathetic relationship between architecture and the environment. Such a vision inevitably requires addressing new performance requirements related, for example, to the issues of reversibility of the built environment for a specific territory, temporariness of use and exploitation of non-renewable resources (Fig. 5), typological, performance and functional flexibility capable of responding to changing demand frameworks, energy self-sufficiency of the building product, and potential exportability and transformability to different contexts (Nocca, 2017).

At the same time, the European Green Deal expands project horizons by proposing a growth strategy that includes not only the reduction of CO<sub>2</sub> emissions but also an increase in living standards and new job opportunities linked to new models of production, consumption, social organisation and the built environment (European Commission, 2021). Some direction in this regard is provided by the 'system change compass' (SystemIQ and Club of Roma, 2020), which «[...] also champions smart urban planning, repurposing underutilised buildings, and 'fluid and sufficiency-oriented space management' by 'increasing provision of durable and modular, space-efficient

buildings with sufficiency-oriented amount of space per person» (Ness, 2021, p. 29).

A reread of the History of Architecture, for example, makes it possible to interpret the learnings from building prefabrication not only as an industrial production methodology capable of responding to new performance requirements but more importantly as a design and operational strategy (Russo Ermolli and Galluccio, 2019). The realisation of prefabricated components based on the module concept becomes a primary key to finding solutions for complex and diverse issues (Wallance, 2021); in this sense, the Module in architecture can, therefore, be interpreted as an architectural module, a building object, which, depending on the context specificities for which it is designed, can take on different declinations: Module as a recognisable and identifiable compositional element in the territory, typological and functional module to respond to the need for flexibility or technological-constructive module as a response to the fulfilment of performance requirements, an example of virtuous behaviour in terms of energy self-sufficiency in the entire life cycle.

The design of sustainable modules, for their effective implementation, requires a necessary downward scaling on defining certain pivotal concepts (Lauria, 2018). A key performance requirement is reversibility, which consequently refers to the ful-



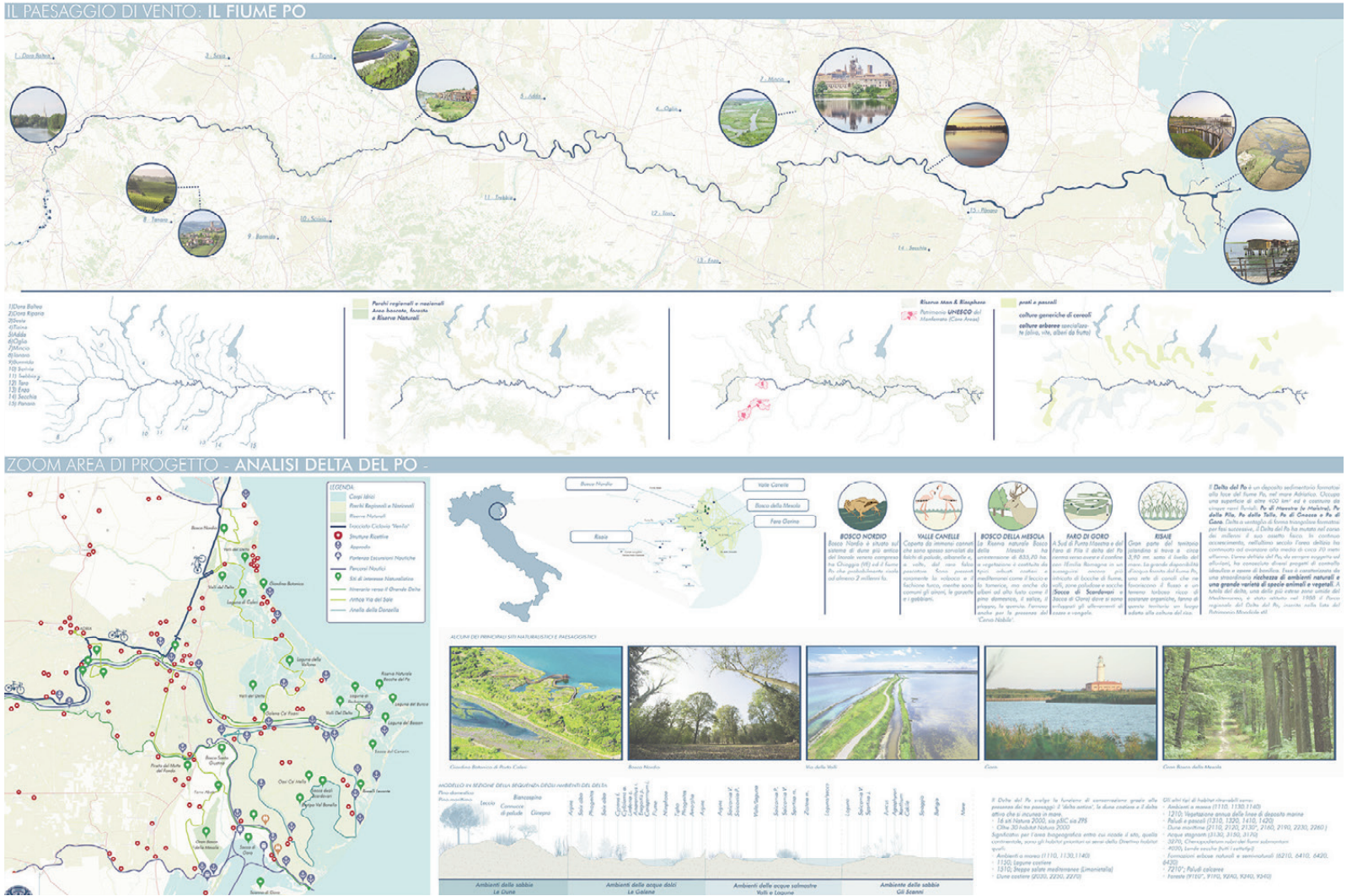


Fig. 10 | Preliminary analysis of natural and landscape features along the Ven-To route to design a new recognisable architectural module; below, a deeper analysis of a specific area (credit: C. Caroli and D. Besana, 2019).

film of other related requirements, such as typological, functional and performance flexibility of use or energy self-sufficiency (Bologna, 2002). As a general rule, all design solutions that can ensure a high potential for reuse of the building, facilities, products and materials and that have a high potential for transformation are defined as reversible. Disassembly, adaptability and reuse form the core of the three dimensions of reversibility and, as such, determine the spatial and structural levels of reversible buildings. A design approach focused specifically on reversibility and flexibility can be traced to the theoretical assumptions of Reversible Building Design (Durmisevic, 2018), which identifies three dimensions as indicators of a building's transformability character: spatial, technical and material reversibility.

Spatial and building transformation moves in the direction of changing the function of the building and is, therefore, related to the choice of structural scheme to be analysed during the feasibility and preliminary design phase. During the design phase, it is possible to assess the spatial and structural capacity to accommodate different functions without causing major building modifications, demolitions and material losses: the lower the effort required to transform a building, the higher its transformation potential; the more possible solutions for reuse and transformation of

use, the greater the transformation potential of the building in question.

In the architectural project, Durmisevic (2018) identifies three main types of transformations: monofunctional transformation, which is the ability to change the type of layout within a function; transfuctional transformation, the ability to change the function of a building; multidimensional transformation (also called transformable), which integrates the previous ones as well as interchangeability and relocation, which is the ability to change a function with added characteristic of dimensional flexibility, i.e., with volumetric increases or decreases, kinematics or relocations to other premises. Durmisevic (2019) again identifies design parameters that affect the potential for transformation, and these include building type, building dimensional data, location and distance of rigid cores, structural system type, construction method, interior height, and window openings.

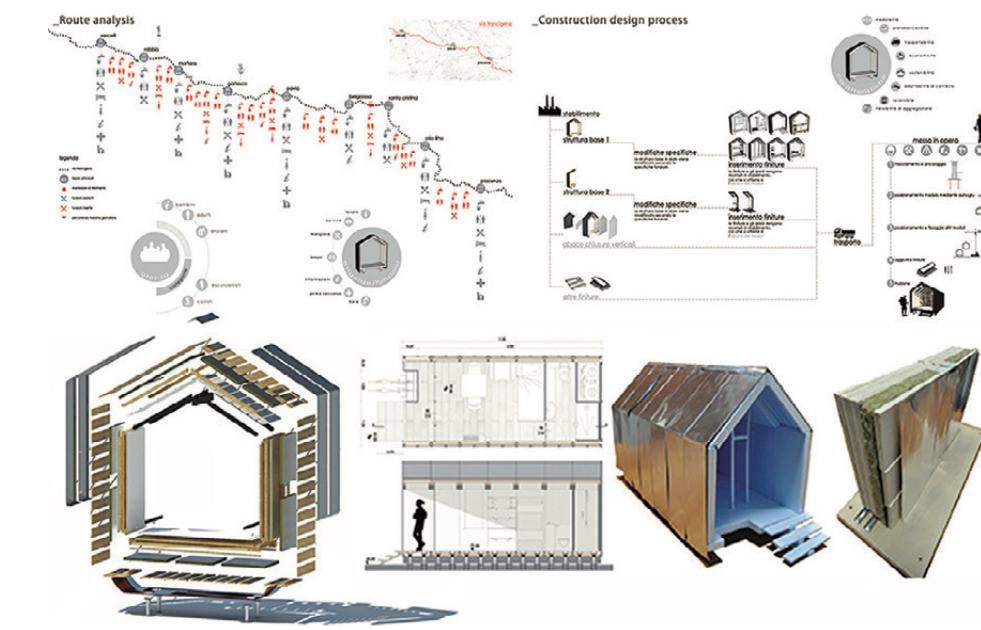
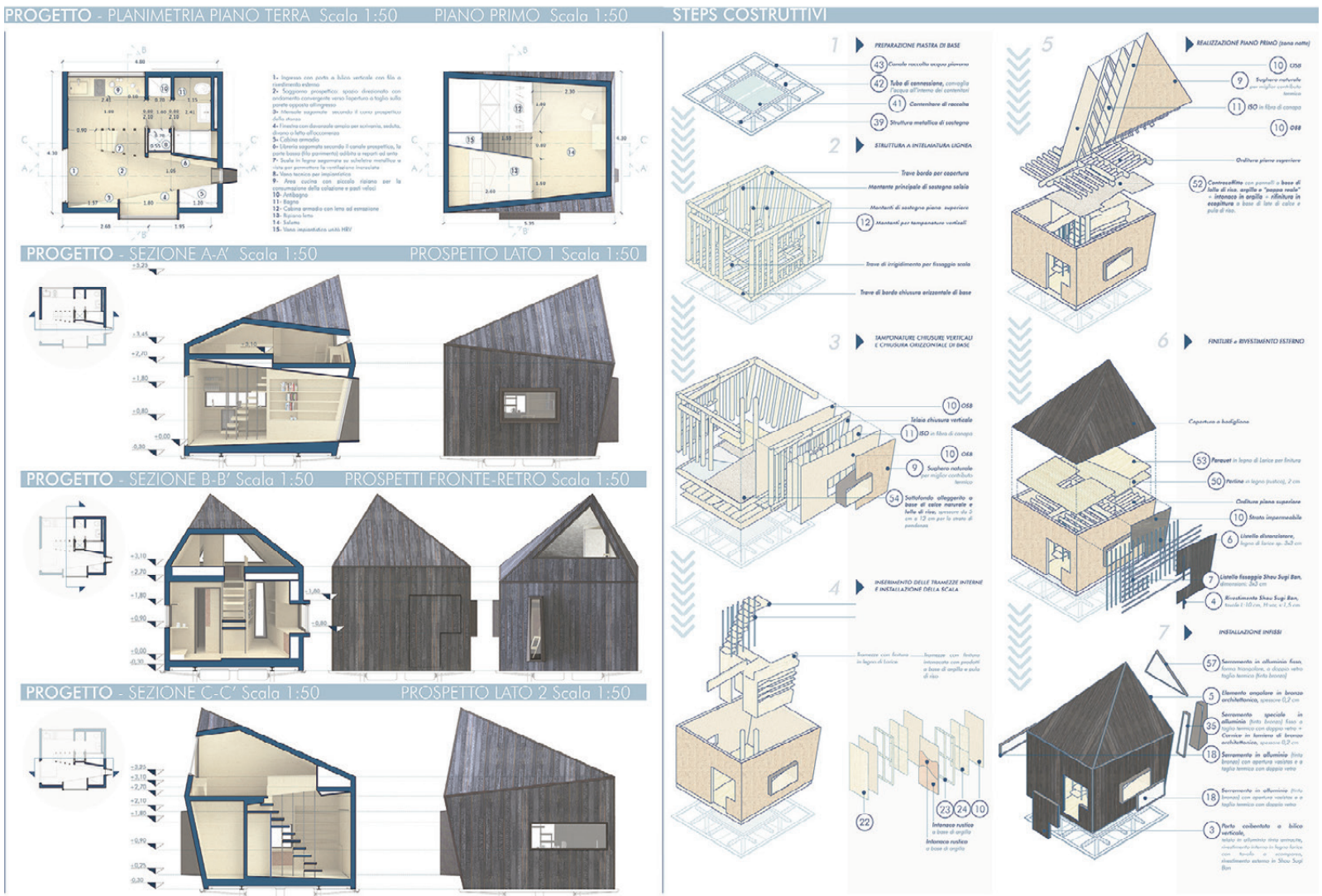
In light of the above, it is possible to assume that the more one designs at the scale of the aggregable and modular building module according to different configurations, the higher the degree of reversibility of the project and thus the building response to circularity and sustainability issues. Delving more specifically within technological design, as a means of controlling effective reversibility, it is possible to identify three levels of technical

composition / decomposition: the arrangement of systems, carriers of the building's main functions (load-bearing construction, finishings, and partitions with a view also to subsequent maintenance), the arrangement of components, carriers of the system's subfunctions, and finally the arrangement of elements and materials, carriers of the components' functions (Durmisevic, 2006).

The structural layout of a building controls reversibility according to three design domains, functional, technical and physical: the first deals with the functional breakdown and allocation, defining functional dependencies; the second with the hierarchical arrangement of building materials and their relationships; and the third with the interfaces that define the physical integrity and dependencies of the structure. In particular, the issue of technical reversibility leads to control at the design stage of two performance requirements: interchangeability and disassemblability (Galle and De Temmerman, 2013).

The first refers to the ability of the building system to enable the replacement of components and elements of the building system with others that are similar in size, characteristics and functions without the need to resort to modification and adaptation of the system elements surrounding the part to be replaced; this property facilitates the maintenance of the building system or its tech-





**Fig. 13** | Design proposal for a repeatable, identifying architectural S/E module with different functions along the old railway route of the Ligurian Riviera now used as a path that can be travelled on foot and by bicycle (credit: D. Besana, 2019).

**Fig. 14** | Design proposal for a repeatable, identifying architectural S/E module located in different places along the old railway route of the Ligurian Riviera (credit: D. Besana, 2019).

nological implementation over time but also enables the spatial transformability of the building to accommodate different functions over its life cycle.

The second refers to whether the construction system allows the separation of its constituent parts without damaging or compromising the integrity of the components to facilitate the recycling of materials or reuse in other constructions where possible. This approach finds its theoretical roots in the principles of 'open building' (Habraken, 1972), namely design that takes into account the possible modifications or transformations of a building during its life cycle due to social, functional and technological changes (Scalisi and Sposito, 2021). Hence, the development of the principles of Design for Disassembly, with implications both on the construction methods, employing dry and prefabricated technologies as opposed to wet technologies to allow for better separation between technical elements, components and materials (Akinade et alii, 2017), and on the design and planning of the relationships between elements through reversible joints and connections (Fig. 6).

According to Durmisevic (2006), preliminary design choices can be based on eight criteria helpful in guiding the design: 1) functional independence of each component, whereby their total separation is seen as the best solution, as in the case of S/E – Structure/Envelope (Imperadori, 2008); 2) systematization of individual sub-systems as a grouping of elements into an independent module based on



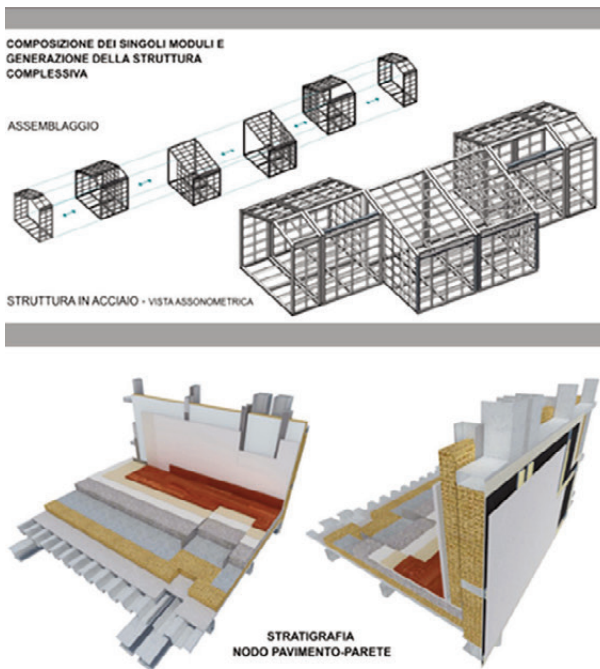
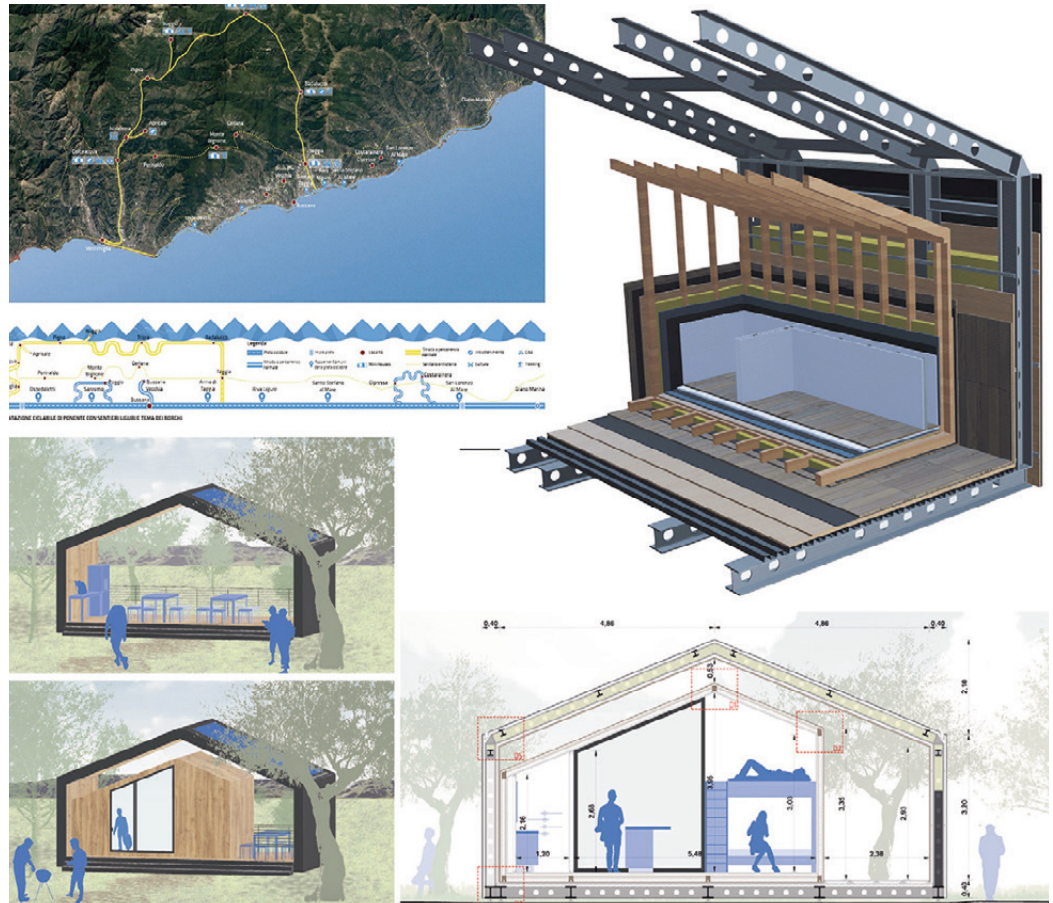
functionality, assembly / disassembly, coordination of element life cycle, and intended use life cycle; 3) minimization of the number of relationships representing functional and technical dependencies between the elements of a building in favour of the principles of assemblability and replaceability of components; 4) definition of the basic configuration module and of the elements for enabling independence and physical separation between the various functional subsystems of the building organism; 5) sequential or parallel mode of assembly / disassembly activities (while sequential assembly makes the replaceability of components less effective because it creates more mutual constraints parallel assembly makes the elements less constrained to each other, facilitates replacement and modification operations, and speeds up the construction process); 6) design of the shape and geometry of components according to assembly and disassembly without damage and thus allowing for reuse; 7) identification of the type of dry, mechanical or chemical connection to facilitate assembly and disassembly; 8) life cycle coordination according to the general principle that materials with shorter life cycles should be assembled last but disassembled first (Fig. 7).

Hence the availability of solutions and strategies of prefabrication and dry layering aimed at the design of component assembly kits, based on the definition of the aforementioned performance principles: the more work is done with the principles of modular design, whether understood as a plan module, module and sub-module of spatial organisation between structure, partitions, furniture, facade module or three-dimensional module, the greater the degree of reversibility and thus the impact of the circularity of the building process (Fig. 8).

**Small-scale architectural module for the landscape** | The approach proposed by Durmisić finds a wide degree of application and exportability at all scales of design starting from the modular minimal architectures that, by combination and aggregation of the same element, can generate

different types of use through different architectural languages, thus preserving their reversibility and recognizability on the territory in which they are designed: minimal modular architecture allows, from a clear definition of performance requirements, a wide application in different places and contexts as well as a multiplicity of design and functional solutions. The module can also be used as a possible tool for implementing environmental sustainability policies and more general international policies to valorise Landscape Heritage,

whether Italian or European. Numerous landscapes can be traversed on foot, by bicycle, or on water – for tourism or pilgrimage purposes – characterised by ever-changing and diverse realities but specific and to be preserved in their identity character. Rural and urbanised landscapes with different soils and colours, different topographical and climatic contexts, and changing paths and views with respect to time and space parameters require the project to respond to a constantly changing demand-performance framework.





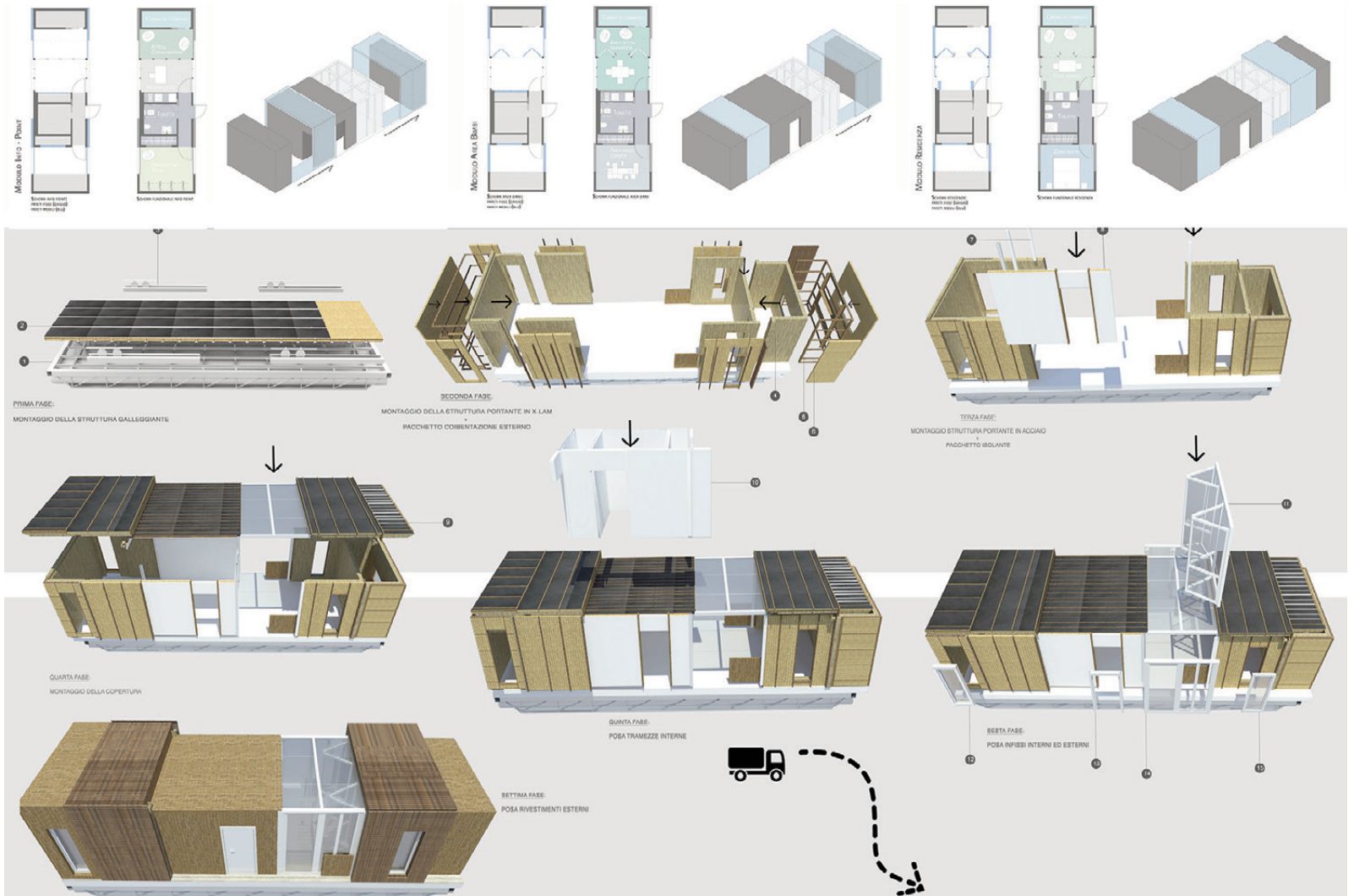


Fig. 15 | Design proposal for S/E module with different functions along the artificial channel that connects Milan to Pavia (credit: D. Besana, 2019).

With this in mind, reference is made, purely by way of example, to the Ven-To cycleway tourist route that connects Venice and Turin and that, along a unified route, crosses different landscape contexts intersecting with enogastronomic, architectural-touristic or landscape thematic routes, served by modular structures at a small scale conceived according to techniques and principles of reversibility, strongly identifiable and recognisable along the entire route but flexible for use requirements in respect of the territory (Fig. 9-11).

Similarly, it is possible to recall the tourist-religious route of the Via Francigena linking Rome to Canterbury along which, even with the inherent variations in the landscapes it traverses, building modules all conceived with a dry-construction system successfully generate in their composition a wide typological variation and an adequate response to different demanding frameworks: in the heterogeneity of the route, small-scale modular architectures respond to specific needs of use (refreshment, service, overnight, informational and religious spaces) by supporting control of the building process with a view to disassembly by parts and components and ensuring the reversibility of the place of settlement (Fig. 12).

As evidence of the number of case histories on which the same design methodology can be employed, lastly, it is possible to mention the routes and bicycle networks that can be created from

disused railway tracks, as in the case of the Ligurian Riviera (Fig. 13, 14) or from waterways, along rivers or canals. Despite their specificity, each route or network possesses similar characteristics in terms of design requirements, able to respond with small-scale architecture, a recognisable local element, to the specific functional needs of different places (Fig. 15). Minimal modular architecture thus offers a possible response to the enhancement of an area through an element of identity, albeit specific to different use destinations, with a view to sustainability and awareness toward the place in which it settles.

**Conclusions** | This paper has argued that architecture design, through technique and technology, can provide adequate (validated by research activities and experiments conducted in different fields) and innovative answers in terms of control and environmental impact by way of a small-scale modular approach, thanks to its characteristics of modularity, repeatability and versatility (functional and spatial) that guarantee high levels of performance and quality.

To achieve such a goal requires the implementation of new performance requirements that can be traced back to Reversible Building Design principles and strategies at all stages of the design process, particularly at the preliminary design stage since the late integration of reversibility can severe-

ly affect the environmental, economic and social sustainability of the built environment. The project can, therefore, better respond to the needs of the context, society and territory in which it fits by expressing a quality of construction, language and architecture that is in service to the usability and enhancement of an area while maintaining its recognisable characteristics.

To date, an unresolved issue is the transposition of the module from small-scale design to more complex and extensive architecture in which to develop Reversible Building Design principles and strategies with equal attention. A particular line of research in this direction could precisely stem from the definition of performance requirements and parameters to be codified in general guidelines, testing their applicability to different contexts and at different scales.

## Acknowledgements

The contribution, resulting from a common reflection, is to be assigned in equal parts to both Authors.

## References

- Akinade, O. O., Lukumon, O. O., Ajayi, S. O., Bilal, M., Alaka, H. A., Owolabi, H. A., Bello, S. A., Jaiyeobac, B. E. and Kadiric, K. O. (2017), "Design for Deconstruction (DfD) – Critical success factors for diverting end-of-life waste from landfills", in *Waste Management*, vol. 60, pp. 3-13. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.017 [Accessed 30 October 2023].
- Arup (2016), *The Circular Economy in the Built Environment*. [Online] Available at: arup.com/perspectives/publications/research/section/circular-economy-in-the-built-environment [Accessed 30 October 2023].
- Balzani, M. and Di Giulio, R. (2021), *Architettura e sostenibilità – Innovazione e sperimentazione tra ambiente costruito e paesaggio*, Skira, Milano.
- Bazzana, M. (2009), *[Costruire] la Temporalità – Life Cycle Thinking come strumento di progettazione per habitat transitori*, PhD Thesis in Ingegneria edile / Architettura, XXIII ciclo, tutor Prof. M. Morandotti, co-tutor Prof. M. Lavagna, Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni e del Territorio, Università di Pavia.
- Besana, D. and Tirelli, D. (2022), "Reuse and retrofitting strategies for a Net Zero Carbon Building in Milan – An analytical evaluation", in *Sustainability*, vol. 14, issue 23, article 16115, pp. 1-24. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su142316115 [Accessed 30 October 2023].
- Bologna, R. (2002), *La reversibilità del costruire – L'abitazione transitoria in una prospettiva sostenibile*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna, Rimini.
- Chou, J.-R. (2021), "A Scoping Review of Ontologies Relevant to Design Strategies in Response to the UN Sustainable Development Goals (SDGs)", in *Sustainability*, vol. 13, issue 18, article 10012, pp. 1-27. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su131810012 [Accessed 30 October 2023].
- Cucinella, M. (2022), "The University of tomorrow must arise from the long-last dialogue between the academic buildings, the territory and the community", in suppl. *Domus | Designing and regenerating spaces form knowledge*, vol. 1069, June 2022.
- Cucinella, M. (2019), "Creative Empathy", in D'Ottavi, S., Mangano, G., Procopio and Ulisse, A. (eds), *L'empatia creativa e la città*, Libria, Melzi, pp. 6-65. [Online] Available at: ricerca.unich.it/bitstream/11564/733259/1/EmpatiaCreativa%20-%20stampa%20-%20pagine%20singole-compressed.pdf [Accessed 30 October 2023].
- Durmisevic, E. (2019), *Circular economy in construction design strategies for reversible buildings*, BAMB, Netherlands. [Online] Available at: bamb2020.eu/wp-content/uploads/2019/05/Reversible-Building-Design-Strategies.pdf [Accessed 18 October 2021].
- Durmisevic, E. (2018), *WP3 – Reversible Building Design Guidelines*, BAMB. [Online] Available at: bamb2020.eu/wp-content/uploads/2018/12/Reversible-Building-Design-guidelines-and-protocol.pdf [Accessed 30 October 2023].
- Durmisevic, E. (2006), *Transformable building structures – Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction*, Cedris M&CC, Delft. [Online] Available at: repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A9d2406e5-0cce-4788-8ee0-c19cbf38ea9a [Accessed 30 October 2023].
- Ellen Mac Arthur Foundation (2013), *Towards the Circular Economy Vol. 1 – Economic and business rationale for an accelerated transition*. [Online] Available at: aquafil.com/assets/uploads/ellen-macarthur-foundation.pdf [Accessed 30 October 2023].
- European Commission (2021), *New European Bauhaus – Shaping more beautiful, sustainable and inclusive forms of living together*. [Online] Available at: new-european-bauhaus.europa.eu/index\_en [Accessed 30 October 2023].
- European Commission (2020), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee of the Regions – A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe*, document 52020DC0098, 98 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0098&qid=1699455418536 [Accessed 30 October 2023].
- European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN [Accessed 30 October 2023].
- European Parliament (2021), *Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law')*, document 32021R1119, PE/27/2021/REV/1. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32021R1119 [Accessed 30 October 2023].
- Galle, W. and De Temmerman, N. (2013), "Multiple design approaches to transformable building – Construction typologies", in Bragança, L., Pinheiro, M. and Mateus, R. (eds), *Portugal SB13 – Contribution of Sustainable Building to meet EU 20-20-20 Targets, 30 October-1 November, Guimarães Portugal*, Universidade do Minho, Técnico Lisboa, iSB Portugal, pp. 783-790. [Online] Available at: repositum.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/37340/1/2108-Proceedings%20Portugal%20SB13.pdf [Accessed 30 October 2023].
- Gates, B. (2022), *How to Avoid a Climate Disaster – The Solutions We Have and the Breakthroughs We Need*, Penguin Book, London.
- Habraken, N. J. (1972), *Supports – An alternative to mass housing*, Architectural Press, London.
- IEA – International Energy Agency (2019), *Perspectives for the Clean Energy Transition – The Critical Role of the Buildings*. [Online] Available at: iea.blob.core.windows.net/assets/026bfff1b-821d-48bc-8a0e-7c10280c62bc/Perspectives\_for\_the\_Clean\_Energy\_Transition\_2019.pdf [Accessed 30 October 2023].
- Imperadori, M. (2008), *La progettazione con tecnologia stratificata a secco – Realizzazione innovative, linee guida e prodotti per una meccanica dell'architettura sostenibile*, Il Sole 24 Ore, Milano.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Changes (2021), *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis – Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change – Summary for Policymakers*. [Online] Available at: ipcc.ch/report/ar6/wg1/ [Accessed 30 October 2023].
- Lauria, M. (2018), "La reversibilità del costruire – Esperimenti di progettazione esecutiva | Building reversibility – Executive design examples", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 3, pp. 63-70. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/392018 [Accessed 30 October 2023].
- Mario Cucinella Architects (2020), *Building Green Futures*, Forma Edizioni, Firenze.
- McDonough, W. and Braungart, M. (2003), *Cradle to Cradle – Remaking the Way We Make Things*, North Point Press, New York. [Online] Available at: cushman.host.dartmouth.edu/courses/engs44/Cradle-to-Cradle-Chapter1.pdf [Accessed 30 October 2023].
- Ness, D. (2021), "Dalla nuova edilizia alla rigenerazione – Può il Nuovo Bauhaus ridefinire l'architettura e dare risposte ai cambiamenti globali? | The shift from new build to regeneration – Can the New Bauhaus transform architecture and design to meet global challenges?", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 9, pp. 22-31. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/922021 [Accessed 11 October 2023].
- Nocca, F. (2017), "The Role of Cultural Heritage in Sustainable Development – Multidimensional Indicators as Decision-Making Tool", in *Sustainability*, vol. 9, issue 10, article 1882, pp. 1-28. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su9101882 [Accessed 30 October 2023].
- OECD – Organisation for Economic Cooperation and Development (2019), *Global Material Resources Outlook to 2060 – Economic drivers and environmental consequences*, OECD Publishing Paris. [Online] Available at: doi.org/10.1787/9789264307452-en [Accessed 30 October 2023].
- Park Associati and Bollinger + Grohmann (2021), *IN-LEGNO – Cambiare prospettiva per costruire il futuro*, Letteraventidue, Siracusa.
- Russo Ermolli, S. and Galluccio, G. (2019), "Industrializzazione Edilizia e Prefabbricazione tra Materialità e Immaterialità | Building Industrialization and Prefabrication between Materiality and Immateriality", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 5, pp. 93-100. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/5102019 [Accessed 11 October 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 30 October 2023].
- Scalisi, F. and Sposito, C. (2021), "Strategie e approcci 'green' – Un contributo dall'off-site e dall'upcycling dei container marittimi dismessi | Green strategies and approaches – A contribution from the off-site and upcycling of discarded shipping containers", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 10, pp. 92-119. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1092021 [Accessed 11 October 2023].
- Silpa, K., Yao, L., Bhada-Tata, P. and Van Woerden, F. (2018), *What a Waste 2.0 – A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*, World Bank, Washington (DC). [Online] Available at: openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/92a50475-3878-5984-829e-0a09a6a9badc/content [Accessed 30 October 2023].
- SystemIQ and Club of Rome (2020), *A system change compass – Implementing the EU Green Deal in a time of recovery – Executive Summary – October 2020*. [Online] Available at: lebensraum.tirol/wp-content/uploads/2021/08/System-Change-Compass-executive-summary.pdf [Accessed 30 October 2023].
- Tirelli, D. and Besana, D. (2023), "Moving toward Net Zero Carbon Buildings to Face Global Warming – A Narrative Review", in *Buildings*, vol. 13, issue 3, article 684, pp. 1-21. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings13030684 [Accessed 30 October 2023].
- Tucci, F. (2017), "Paradigmi della Natura per progettare involucri architettonici | Nature's Paradigms for designing architectural envelopes", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 2, pp. 47-54. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/262017 [Accessed 11 October 2023].
- Tweed, C. and Sutherland, M. (2007), "Built cultural heritage and sustainable urban development", in *Landscape and Urban Planning*, vol. 83, issue 1, pp. 62-69. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.05.008 [Accessed 30 October 2023].
- UN – General Assembly (2015), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: sdgs.un.org/2030agenda [Accessed 10 November 2021].
- UNEP – United Nations Environment (2020), *2020 Global Status Report for Buildings and Construction – Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector*. [Online] Available at: globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR\_FULL%20REPORT.pdf [Accessed 30 October 2023].
- Wallance, D. (2021), *The Future of Modular Architecture*, Taylor & Francis.