

Monica Lavagna, Andrea Campioli, Anna Dalla Valle, Serena Giorgi, Tecla Caroli,
Dipartimento di Architettura Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, Italia

monica.lavagna@polimi.it
andrea.campioli@polimi.it
anna.dalla@polimi.it
serena.giorgi@polimi.it
tecla.caroli@polimi.it

Abstract. Il progetto di architettura è chiamato oggi ad affrontare la complessa relazione che lega il tempo alla sostenibilità. In questa prospettiva, l'articolo restituisce gli esiti di un'articolata attività di ricerca dove si evidenzia come l'esigenza di temporaneità di localizzazione o d'uso degli spazi possa essere soddisfatta garantendo al contempo un adeguato livello di sostenibilità ambientale, soltanto facendo riferimento a un impiego durevole delle risorse nell'intero ciclo di vita. Si delinea il concetto di "temporaneità durevole", basato sul prolungamento della vita degli artefatti e sul riutilizzo/riciclo delle risorse a fine vita, all'interno del quale la reversibilità dei sistemi costruttivi, la circolarità dei materiali e la considerazione life cycle dei flussi di materia ed energia assumono un ruolo paradigmatico.

Parole chiave: Life Cycle Assessment; Ambiente; Durata; Riuso; Disassemblaggio.

Progettare con il tempo

Il rapporto tra tempo e architettura, tradizionalmente affrontato

perseguendo soluzioni caratterizzate dalla permanenza e dalla lunga durata, è oggetto oggi di nuove interpretazioni che mirano a individuare risposte efficaci alla sempre più diffusa esigenza di disporre di spazi con durata funzionale o tempo di localizzazione limitati nel tempo, delineando soluzioni connotate dalla temporaneità.

In questa prospettiva si scorge una duplice tendenza, talvolta ambigua e contraddittoria: da una parte la crescente presenza di istanze e requisiti connessi alla breve durata, dall'altra la necessità sempre più stringente di orientare le scelte progettuali nella direzione della riduzione dei consumi di energia e risorse e degli impatti ambientali.

Le attuali esigenze d'uso temporanee rischiano di introdurre nel settore edilizio le logiche consumistiche di breve termine tipiche

Constructive strategies
and environmental
assessments towards
temporariness, circularity
and reversibility

Abstract. Today architectural design is faced with the complex relationship between time and sustainability. In this perspective, the article reports the results of an articulated research activity, which highlights how the need for a temporary location or use of spaces can be achieved with an appropriate level of environmental sustainability, and only through long-term use of resources during the entire life cycle. The concept of "long-lasting temporariness" is outlined, based on the extension of the life of artefacts and on the reuse/recycling of resources at the end of their life, when the reversibility of construction systems, the circularity of materials, and the life cycle management of material and energy flows assume a paradigmatic role.

Keywords: Life Cycle Assessment; Environment; Duration; Reuse; Disassembly.

dei prodotti industriali, impiegati per periodi di tempo tipicamente inferiori a 5 anni, implicando una riduzione della vita utile dei manufatti edilizi, da sempre molto estesa, a causa dell'accelerata obsolescenza funzionale di spazi e componenti edilizi. Per contrastare questa deriva occorrono attenzioni progettuali volte a collocare il tema della temporaneità in una prospettiva di uso efficiente delle risorse, verificandone le ricadute ambientali tramite la valutazione dell'intero ciclo di vita.

L'approccio al ciclo di vita e, più in particolare, la valutazione LCA (Life Cycle Assessment) considerano in modo integrato e olistico i processi produttivi, la provenienza dei materiali da costruzione, le tecniche realizzative e di messa in opera, le operazioni di mantenimento e sostituzione, le modalità di smaltimento e riciclo dei rifiuti da demolizione associati al sistema edificio e ai suoi componenti/materiali. Nonostante l'elevato livello di incertezza che in tali valutazioni assume la definizione della durata e del fine vita dei materiali, in relazione al ridotto tempo di osservazione delle soluzioni costruttive innovative e alla rapida evoluzione delle modalità di smaltimento e rigenerazione circolare delle risorse, la metodologia LCA è ormai riconosciuta a livello internazionale come strumento fondamentale per l'analisi della sostenibilità ambientale anche nel settore delle costruzioni (EC JRC, 2017).

Il paper restituisce un'articolata attività di ricerca volta ad approfondire le implicazioni che sussistono tra l'esigenza di temporaneità di localizzazione e d'uso richiesta dalla società contemporanea e l'altrettanto urgente esigenza di sostenibilità ambientale,

Time-based design

Relations between time and architecture, traditionally addressed with solutions characterised by permanence and long duration, are now subjected to new interpretations aimed at identifying effective answers to the widespread need to have spaces with limited functional duration or location time, thus underscoring solutions characterised by temporality.

A two-fold tendency, which is at times ambiguous and contradictory, can be observed in this perspective. On the one hand there is an increase in requests and requirements related to the short duration, and on the other hand there is a growing need to direct design towards reducing energy consumption and resources, and environmental impact.

The current needs about temporary use risk introducing the short-term

consumer logics typical of industrial products used for periods of time typically less than 5 years into the construction sector. It implies a shortening of the useful lifespan of building parts, which are typically used for long periods of time, due to the accelerated functional obsolescence of spaces and building components. In order to solve this problem, project attention should ensure temporariness within a perspective of efficient use of resources, verifying the environmental effects through the entire life cycle.

The life cycle approach and, specifically, LCA studies (Life Cycle Assessment) adopt an integrated and holistic view of the production processes, the origin of the building materials, the construction and implementation techniques, the maintenance operations and replacement, the methods of disposal and recycling of demoli-

in una prospettiva di analisi che considera l'intero ciclo di vita del manufatto e dei suoi componenti come orizzonte temporale di riferimento e la valutazione LCA come metodologia di valutazione.

Temporaneità, circolarità, reversibilità e approccio life cycle

A partire dall'osservazione che la temporaneità è una tendenza sempre più pervasiva legata ai modi d'uso mutevoli che con-

notano la contemporaneità, l'articolo si concentra su alcuni esempi (quello delle strutture temporanee destinate a ospitare grandi eventi e quello degli edifici soggetti a cicli d'uso di breve durata o a conversione funzionale), nel tentativo di dimostrare che tutti gli spazi possono potenzialmente diventare temporanei, non solo quelli concepiti come tali.

In questo contesto, la reversibilità costruttiva da un lato e la circolarità dei materiali dall'altro sembrano fornire una risposta orientata alla sostenibilità ambientale, permettendo il riuso e il riciclo pur in una logica di temporaneità d'uso.

Vengono pertanto presentati i risultati di valutazioni LCA condotte all'interno di attività di ricerca volte ad analizzare l'effettiva sostenibilità delle scelte progettuali e costruttive correlate a tali

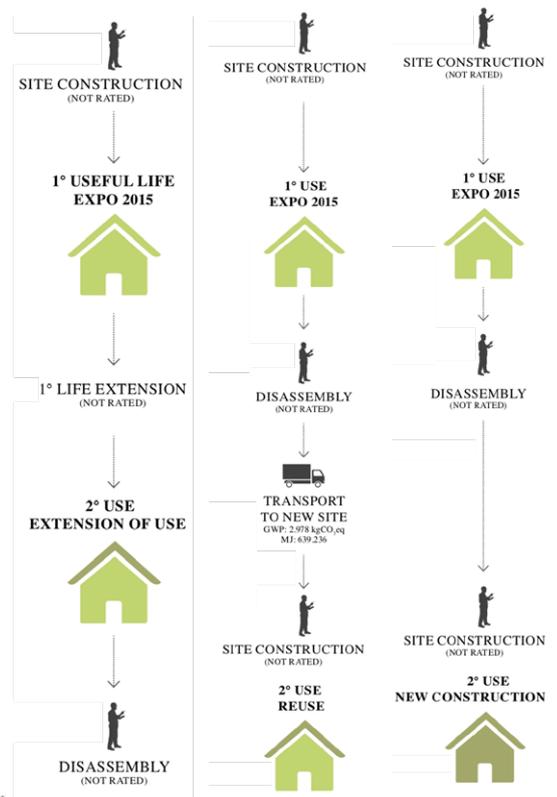
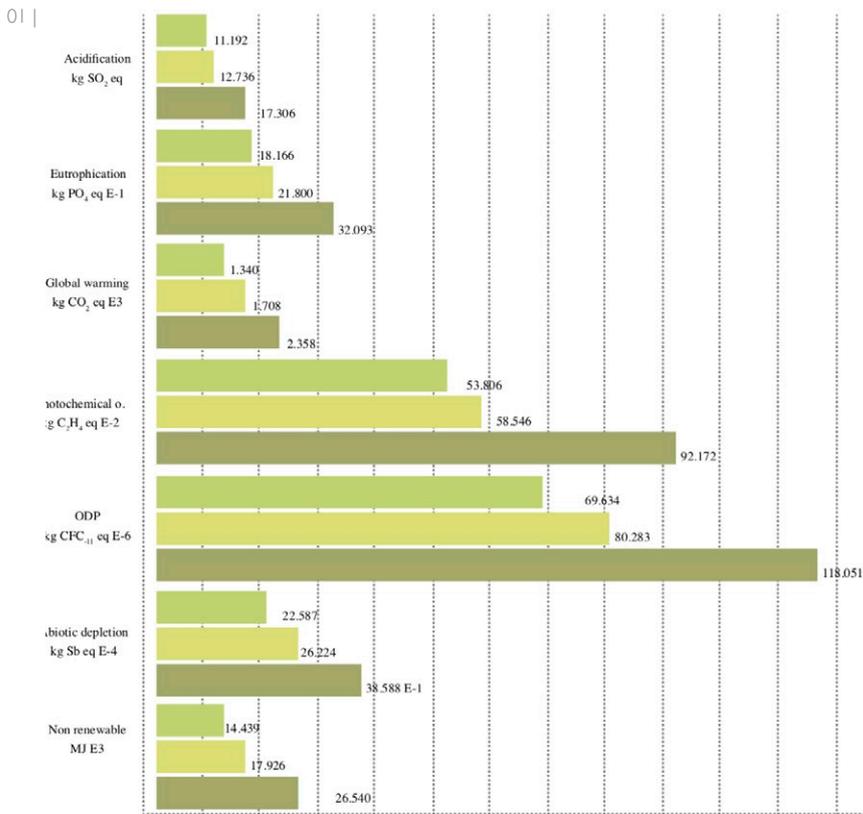
scenari, evidenziando criticità, barriere e livelli di effettiva praticabilità dei processi.

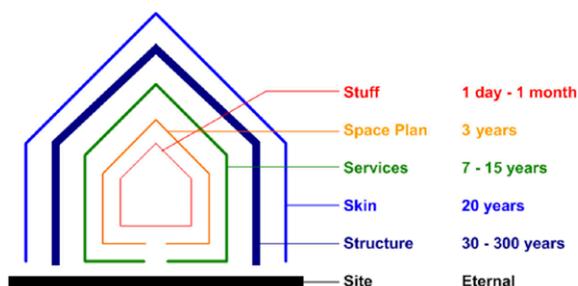
Ne emerge come l'obiettivo della sostenibilità ambientale richieda nell'elaborazione delle soluzioni progettuali un cambiamento di prospettiva temporale, passando dal breve al lungo termine, puntando sul prolungamento della vita delle risorse e sul concetto di "temporaneità durevole" e dimostrando come l'approccio al ciclo di vita possa essere un fondamentale supporto alle decisioni.

Strategie di circolarità e reversibilità per la temporaneità

Nel caso di strutture temporanee per grandi eventi si pone il problema di come gestire in maniera sostenibile le risorse investite in edifici caratterizzati da una durata molto breve, per il tipo di attività che ospitano. Per tali edifici, sono stati dunque valutati diversi scenari di fine vita (Fig. 1): il riuso in loco con diversa funzione; lo smontaggio e ricollocazione dell'edificio sempre con riuso per diversa funzione; lo smontaggio e riuso delle singole parti¹.

Nonostante il riuso in loco rappresenti lo scenario vincente dal punto di vista ambientale, a causa di svariati fattori non sempre tale strategia è perseguibile, come nel caso di Expo 2015, dove lo smontaggio per il riuso dei padiglioni a fine evento era stato





Event Type	Site	Structure	Skin	Service	Space	Stuff
Small upgrades/ replacements/ repair/ maintenance				X	X	X
Refurbish (interior)			X	X	X	X
Renovation (all)		X	X	X	X	X
Deconstruction/ demolition	X	X	X	X	X	X

Supply of used products and materials

← increasing building and product regulations adds to the complexity of reuse potential

un preciso requisito preliminare. Dall'esperienza è emerso come le barriere nell'applicazione di tale processo non siano tanto di natura tecnica, quanto di organizzazione delle procedure, poiché il riuso è realisticamente praticabile solo laddove è stata prevista a monte la nuova funzione e la seconda destinazione d'uso (emblematici sono il Christ Pavilion per Expo 2000, ricollocato come parte del monastero a Volkenroda, e il padiglione della CocaCola per Expo 2015, ripositionato come campo da basket a Famagosta). In caso contrario, l'adattamento risulta troppo oneroso e non sostenibile: i costi di smontaggio e rimontaggio della struttura spesso superano i costi di costruzione ex-novo; il trasporto dell'edificio nella nazione di origine generalmente implica notevoli impatti ambientali ed economici e incontra ostacoli relativi ai contesti normativi di riferimento (nel caso di Expo 2015 rappresentati dall'imposizione dell'IVA dovuta non per le operazioni iniziali di costruzione ma per l'alienazione dei padiglioni a fine evento).

tion waste associated with the building system and its components/materials. Despite the high level of assessments, assumptions and uncertainty about the duration and the end of life of materials, in relation to the reduced observation time of innovative construction solutions and the rapid evolution of the methods of disposal and circular regeneration of resources, the LCA methodology is now recognised internationally as a fundamental tool for the analysis of environmental sustainability also in the construction sector (EC JRC, 2017). The paper presents articulated research aimed at deepening the implications that exist between the need for temporary location and use required by contemporary society, and the urgent need for environmental sustainability. The analysis considers the entire life cycle of the building and its com-

ponents as reference lifetime horizon, and the LCA studies as assessment methodology.

Temporariness, circularity, reversibility and life cycle approach

Starting from the observation that 'temporary' is an increasingly pervasive trend linked to the changing contemporary way of use, the article focuses on some examples (temporary structures, which host big events and buildings subject to short-term use cycles or functional conversion) to demonstrate that all spaces can potentially become temporary, not only those conceived as such. In this context, construction reversibility on the one hand and the circularity of the materials on the other provide a response oriented towards environmental sustainability, allowing reuse and recycling even in a temporary use perspective.

Nel caso della temporaneità d'uso, invece, si pone il problema di come gestire in maniera sostenibile le risorse investite in edifici caratterizzati da una breve durata d'uso degli spazi. Per esempio, nel terziario (uffici, strutture ricettive, espositive e commerciali) il layout interno viene spesso modificato per il subentro di un nuovo affittuario, per il *restyling* dell'immagine aziendale o per la riorganizzazione funzionale degli spazi. La situazione più estrema si ha nella realizzazione di finiture interne per le attività di collaudo dei lavori di costruzione dell'edificio e nel successivo *fit-out*, all'ingresso della società affittuaria. In questo caso si generano rifiuti costituiti da materiali e componenti "nuovi" che, se invece fossero adeguatamente progettati e gestiti, potrebbero essere riutilizzati. Inoltre, dato che, per la temporaneità d'uso, diverse parti d'opera degli edifici terziari sono caratterizzate da cicli di vita inferiori ai 15 anni, come pareti divisorie, finiture, controsoffitti, impianti, arredi (Fig. 2), si pone il problema del prolungamento della vita utile di tali elementi costruttivi, atti-

Therefore, the results of LCA studies developed in research activities are presented with the aim to analyse the current sustainability of design and construction choices related to scenarios described, highlighting critical issues, barriers and levels of effective process practicability. It highlights that the goal of environmental sustainability requires a change in time perspective - from short to long term - in the development of design solutions, focusing on extending the life of resources and on "long-lasting temporariness", and demonstrating how the life cycle approach is crucial to underpin decisions.

Circularity and reversibility strategies for temporariness

In case of temporary structures for mega events, the problem is how to sustainably manage the resources in-

vested in buildings characterised by an extremely short lifetime, determined by the type of hosted activities. Several end-of-life scenarios were assessed for these facilities (Fig. 1): on-site reuse with different functions; disassembly and relocation of the building, always with reuse for different functions; disassembly and reuse of individual parts¹.

Although on-site reuse is the "win-win" scenario from an environmental point of view, this strategy is not always actionable due to various factors, as in the case of Expo 2015, where dismantling to reuse pavilions at the end of event was a prior requirement. Experience has shown that barriers to the application of this process are more organisational than technical, since reuse is realistically achievable only where the new function and the second intended use have been

vando pratiche di riuso e rigenerazione tramite lo sviluppo di reti di stakeholder e l'implementazione di nuovi modelli organizzativi e di business (es. *Sustainable-Product Service Systems, Pay-per-Use, Buy-back-based e Lease or Rent/Ownership-based*)². Infine, la conversione funzionale nell'arco della vita utile dell'edificio, per esempio da residenza a uffici o viceversa, presenta cicli di sostituzione più lunghi rispetto a quelli delineati in precedenza, ma non meno impattanti. Dal momento che l'obsolescenza funzionale si manifesta con cicli di circa 30-50 anni rispetto alla vita utile dell'edificio di oltre 100 anni, vengono generalmente richiesti interventi drastici di riconversione che determinano sostituzioni di intere parti di edificio, spesso con il mantenimento della sola struttura portante. Tale spreco di risorse può essere evitato solo mediante una progettazione attenta alle necessità di adattamento nel tempo, concependo gli edifici secondo modelli tipologici e spaziali modulari, adattabili a diversi usi e costruiti con soluzioni tecnologiche flessibili e reversibili. In questo modo è possibile consentire il riuso di materiali e componenti, riducendo sostituzioni/aggiunte e favorendo il reimpiego tramite lo spostamento dei componenti già impiegati. Le numerose valutazioni LCA sviluppate confermano come progettare con il tempo generi importanti benefici ambientali nell'intero ciclo di vita, come dimostrato dal ridotto impatto ambientale della fase di trasformazione (Fig. 3) tenendo conto degli impatti evitati legati allo spostamento e riuso dei componenti, anziché alla loro sostituzione³.

Soluzioni costruttive per la circolarità e reversibilità

A differenza del passato dove lo spreco di risorse era considerato economicamente vantaggioso, oggi è importante definire obiet-

planned upstream (notable examples are the Christ Pavilion for Expo 2000, relocated as part of the monastery in Volkenroda, and the CocaCola pavilion for Expo 2015, repositioned as a basketball court in Famagosta). Otherwise, the adjustment is too expensive and unsustainable. The costs of dismantling and reassembling the structure often exceed new construction costs. Transporting the building to the country of origin generally implies a significant environmental and economic impact, and encounters obstacles related to the reference legislative framework (at Expo 2015, this was the imposition of VAT, not for the initial construction operations but for the pavilions' alienation at the end of event).

Conversely, in case of temporary use, the question arises of how to sustainably manage the resources

invested in buildings characterised by short-term use of spaces. For instance, in tertiary sector buildings (offices, accommodation, exhibition and commercial facilities), the internal layout is often changed due to the takeover of new tenant, the restyling of corporate image or the functional reorganisation of spaces. The most extreme situation occurs when arranging internal finishes for testing activities related to the construction works of the building, and during the subsequent fit-out when the tenant company steps in, thus generating waste of "new" materials and components that could be reused, if properly designed and managed. Moreover, in order to meet the demands of temporary use, different construction elements of tertiary sector buildings are characterised by life cycles of less than 15 years, such as internal parti-

tivi progettuali e costruttivi differenti che supportino la visione di edifici in continua evoluzione e quindi tecnologicamente predisposti ad accogliere cambiamenti nel tempo. Edifici concepiti in modo dinamico, flessibile e disassemblabile possono facilitare l'attivazione di strategie circolari, permettendo differenti usi e trasformazioni, conservando a lungo termine il proprio valore (Durmisevic, 2019).

Dall'attività di ricerca condotta sul tema, emerge come soluzioni costruttive realmente reversibili stentino ancora ad essere effettivamente reperibili sul mercato, malgrado la pratica del progetto reversibile (Design for Disassembly) sia argomento molto discusso negli ultimi vent'anni. L'indagine sul campo e le interviste⁴ alle aziende che si occupano di produzione e costruzione di prodotti assemblabili a secco ha confermato l'esistenza di barriere e limiti nell'ambito pratico. Un esempio è la mancata programmazione e progettazione dell'edificio e dei suoi componenti secondo un approccio al ciclo di vita, offrendo soluzioni costruttive che non permettono la reversibilità e il recupero a fine vita.

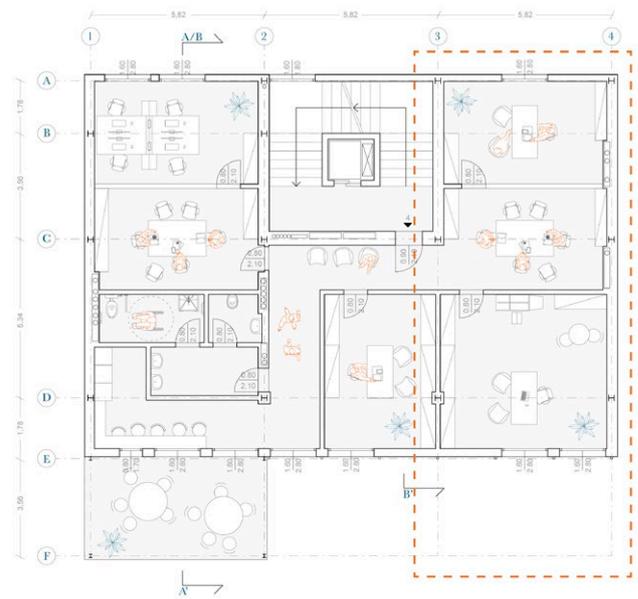
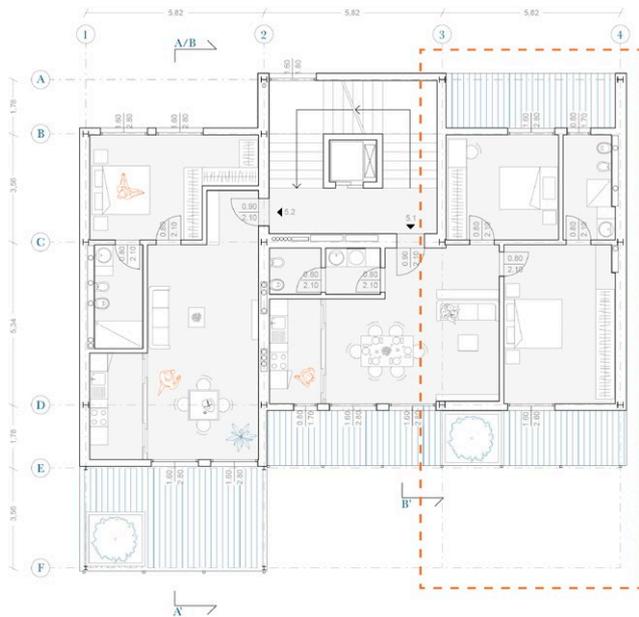
Alcune interviste hanno evidenziato come la formazione tecnica degli operatori coinvolti nel processo edilizio non sia a volte sufficiente per poter prolungare la vita delle risorse, costruendo componenti reversibili per l'attivazione di strategie circolari. Sono poche le figure professionali a conoscenza delle caratteristiche che distinguono le differenti strategie circolari e quali sono le condizioni necessarie a livello tecnico e gestionale per applicarle. Questa mancanza può essere anche ricondotta alla scarsa richiesta da parte del mercato e alla ridotta presenza di criteri incentivanti (es. CAM).

Inoltre, non è ancora diffuso tra gli operatori l'utilizzo di uno

load-bearing structure. This waste of resources can only be prevented by careful design to meet the need to adapt over time, conceiving buildings according to modular typological and spatial models that are adaptable to different uses and built by flexible and reversible technological solutions. It is thus possible to allow the reuse of materials and components, reducing replacements/additions and encouraging reuse by moving the set of components already employed. This was demonstrated by developing extensive LCA studies, which confirm how time-based design generates significant environmental benefits throughout the life cycle. This was further validated by the reduced environmental impact of the changeover (Fig. 3), considering the avoided impact associated with component movements and reuse, rather than with their replacement³.

tions, finishes, false ceilings, systems, furnishings (Fig. 2). Hence the need to extend their lifetime by activating reuse and regeneration practices, by creating stakeholder networks and by implementing new organisational and business models (e.g., *Sustainable-Product Service Systems, Pay-per-Use, Buy-back-based and Lease or Rent/Ownership-based*)². Lastly, functional conversion during the useful life of the building, for instance from residence to offices or vice-versa, has longer but no less impactful replacement cycles than those previously outlined. Since functional obsolescence occurs with cycles of about 30-50 years, compared to the building's lifetime of over 100 years, radical reconversion operations are generally required, leading to the replacement of entire parts of the building, often preserving only the

load-bearing structure. This waste of resources can only be prevented by careful design to meet the need to adapt over time, conceiving buildings according to modular typological and spatial models that are adaptable to different uses and built by flexible and reversible technological solutions. It is thus possible to allow the reuse of materials and components, reducing replacements/additions and encouraging reuse by moving the set of components already employed. This was demonstrated by developing extensive LCA studies, which confirm how time-based design generates significant environmental benefits throughout the life cycle. This was further validated by the reduced environmental impact of the changeover (Fig. 3), considering the avoided impact associated with component movements and reuse, rather than with their replacement³.



strumento comune per la raccolta e gestione dei dati (es. composizione di materiali e componenti, caratteristiche tecniche, aziende ed operatori coinvolti) inerenti all'intero processo edilizio. Una migliore gestione delle informazioni permetterebbe di sfruttare la potenziale durabilità di componenti progettati per essere disassemblati e recuperati, che al contrario oggi vengono demoliti e portati in discarica.

Valutazioni ambientali per la circolarità e sostenibilità dei materiali

Molteplici sono gli strumenti che si stanno diffondendo nel settore edilizio per promuovere una visione durevole e circolare

Constructive solutions for circularity and reversibility

Unlike in the past, when wasting resources was considered economically advantageous, today it is important to define different design and construction objectives that support the vision of continuously evolving buildings and, therefore, constructions technologically predisposed to accommodate changes over time. Buildings conceived in a dynamic and flexible way with disassembly in mind can facilitate the activation of circular economy strategies, allowing different uses and transformations and maintaining their value in the course of time (Durmisevic, 2019).

Research carried out on the subject underlines how truly reversible construction solutions are still struggling to be actually available on the market, despite the practice of Design for Dis-

assembly being a much discussed topic in the last twenty years. The field survey and interviews⁴ to companies that deal with the production and the construction of dry-assembled products confirmed the existence of practical barriers and limits. Such an example can be found in the failure to plan and design buildings and their components according to a life cycle approach, offering construction solutions that do not allow reversibility and recovery at the end of their life.

Some interviews have highlighted that the technical training of operators involved in the construction process at times does not suffice to extend the life of the resource and to build reversible components that activate circular strategies. Few experts know the characteristics that distinguish the different circular economy strategies, and the technical and managerial conditions

delle risorse, tra cui l'audit predemolizione (UNI/PdR 75:2020) e il passaporto dei materiali (Rau, Oberhuber, 2019). Tuttavia, le pratiche di uso di materiali riusati/riciclati e riusabili/riciclabili dovrebbero essere supportate anche da strumenti utili alla quantificazione del livello di sostenibilità ambientale ottenuto.

Nella ricerca finalizzata all'ottimizzazione ambientale delle soluzioni costruttive di un padiglione per Expo Dubai 2020⁵, lo strumento LCA è stato utilizzato per la comparazione di soluzioni costruttive alternative, come la muratura a sacco a elevata inerzia termica con riempimento in sabbia, reperibile in sito e riutilizzabile a fine evento, al fine di individuare la soluzione a minor impatto ambientale (Fig. 4).

required to apply them. These deficiencies could be attributed to the low market demand and to the few incentive criteria present (e.g., CAM). Furthermore, the use of a common tool for data collection and management (e.g., composition of materials and components, technical characteristics, companies and operators involved) related to the whole construction process is not yet widespread among operators. Better information management would allow to exploit the potential long life of components designed to be disassembled and recovered, and which are, instead, currently demolished and landfilled.

Environmental assessments for the circularity and sustainability of materials

Today many tools are spreading in the construction sector to promote a long-lasting and circular vision of re-

sources, including the pre-demolition audit (UNI/PdR 75: 2020) and the materials passport (Rau, Oberhuber, 2019). However, the practices of using reused/recycled and reusable/recyclable materials should also be supported by tools that are useful to quantify the level of environmental sustainability obtained.

Research aimed at achieving environmental optimisation of the constructive solutions of a pavilion for Expo Dubai 2020⁵ made use of LCA methodology to compare alternative construction solutions (e.g., sack masonry with high thermal inertia and with sand filling, available on-site and reusable at the end of the event) in order to identify the solution with the lowest environmental impact (Fig. 4).

In the choice of construction solutions, LCA studies allow to assess the environmental impact of reuse and recy-

Nella scelta delle soluzioni costruttive, gli studi LCA consentono di valutare l'impatto ambientale del riuso e del riciclo nell'intero ciclo di vita, misurando il beneficio ambientale determinato dal contenuto di riciclato, che risulta più o meno significativo a seconda dei processi di riciclo/riuso e del confronto con il materiale vergine (Fig. 5).

Inoltre, le valutazioni LCA considerano gli impatti dovuti al trasporto (Fig. 6), i quali dimostrano ad esempio come la scelta di un materiale con elevato contenuto di riciclato, seppur non locale, si riveli meno impattante di un materiale locale⁶.

Pervasività degli strumenti life cycle nel progetto e nel processo contemporaneo

In ottica di sostenibilità ambientale, la variabile tempo deve essere integrata lungo tutto il processo edilizio: dalla fase di progettazione, fino alla gestione del fine vita. All'interno di un'attività di ricerca che ha indagato, a scala nazionale e internazionale, come le società di progettazione e costruzione forniscano oggi progetti/servizi nella prospettiva del ciclo di vita e, in particolare, come quest'ultimo influisca sul processo di progettazione⁷, è emerso come l'approccio al ciclo di vita sia ancora oggi applicato in modo disomogeneo e frammentato, essendo generalmente circoscritto a una gamma limitata di componenti tecnologici e riferito a fasi specifiche del processo (Fig. 7). A partire dalla constatazione che spesso le valutazioni LCA vengono applicate nella fase esecutiva (Röck *et al.*, 2018), è stato sviluppato un framework per supportare l'integrazione dell'approccio *life cycle* a partire dalle primissime fasi di progettazione, in quanto cruciali sotto il profilo decisionale, sfruttando le potenzialità offerte dall'ambiente lavorativo BIM (Building Information Modelling).

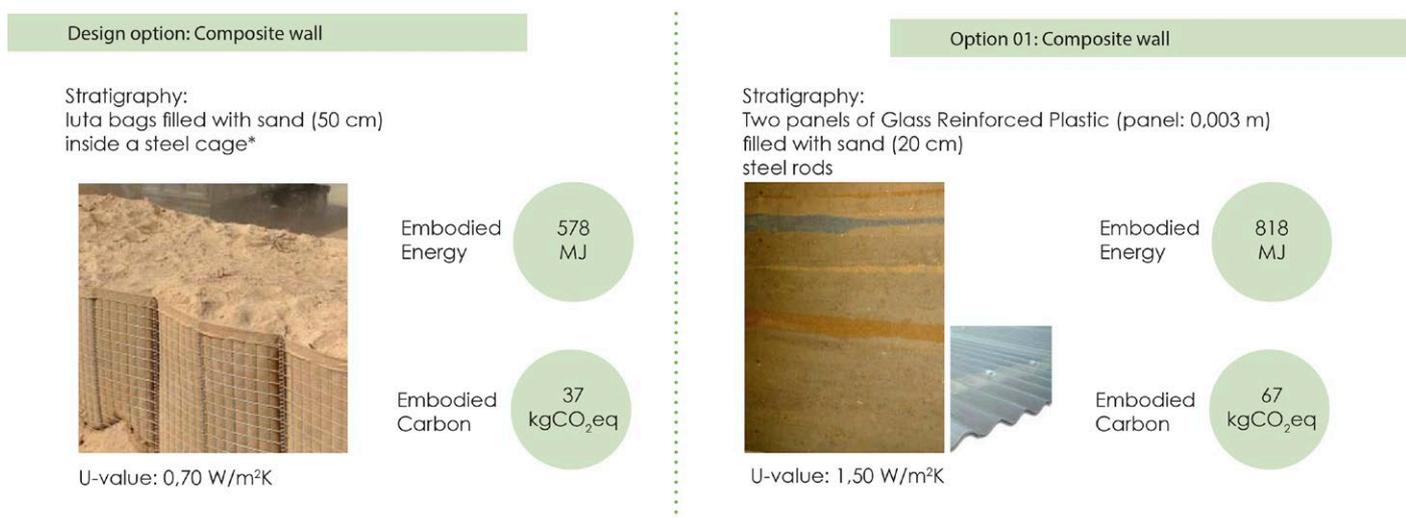
Una corretta costruzione e gestione dell'informazione ambientale relativa ai materiali e ai componenti nel loro ciclo di vita costituisce pertanto un nodo cruciale che implica cambiamenti non solo nella fase progettuale, ma lungo l'intero processo edilizio.

Per attuare strategie di circolarità sostenibili occorre agire infatti complessivamente sui modelli organizzativi e gestionali, individuando nuovi modelli di business e modificando le relazioni tra gli operatori che interagiscono lungo il processo e la gestione dei flussi di materiali (Fig. 8). L'attività di ricerca⁸ e il confronto con gli operatori⁹ ha consentito di delineare le leve e le barriere per l'applicazione di strategie orientate alla circolarità e alla reversibilità lungo il processo edilizio. Oltre alle barriere tecniche, il maggiore ostacolo riguarda il rigido apparato normativo che vede l'edificio come un oggetto immutabile nel tempo, non prendendo in considerazione possibili strategie di flessibilità e intercambiabilità delle parti a seconda dell'uso. Tali percorsi possono essere quindi attivati solo grazie alla definizione di politiche di incentivo e di obbligatorietà, che promuovano una visione del ciclo di vita per garantire la sostenibilità di eventuali trasformazioni nel tempo.

Temporaneità durevole

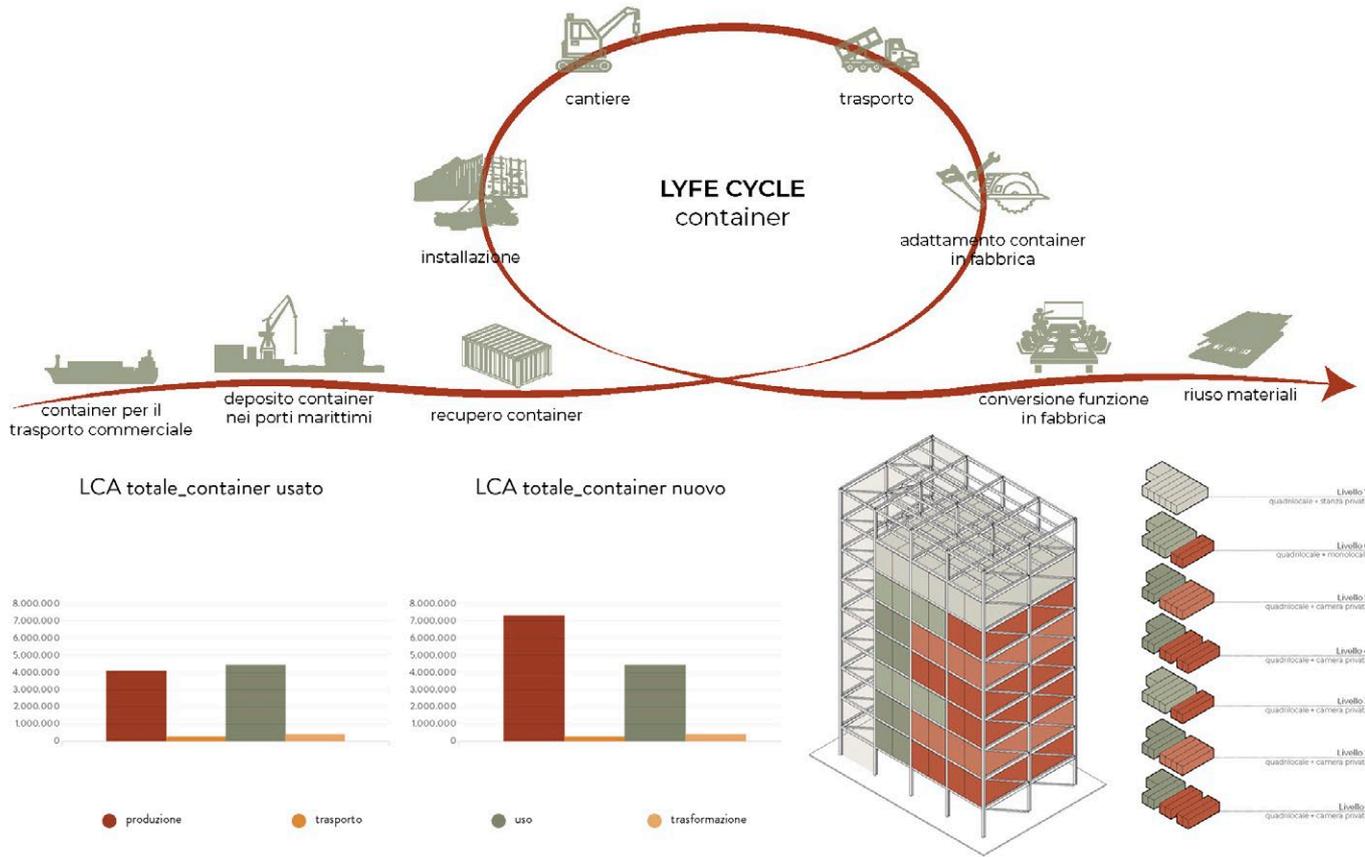
La variabile tempo in architettura, legata oggi ai temi della temporaneità, circolarità e reversibilità, richiede un approccio al ciclo di vita che permetta di verificare la sostenibilità di tali percorsi. Dalle ricerche svolte è infatti emerso che il riferimento a processi di intervento basati sul riuso e riciclo per risolvere il conflitto tra temporaneità e sostenibilità deve essere valutato nei suoi effetti ambientali. Infatti, processi di riuso e riciclo possono costituire una soluzione poco efficace se fondati su una logica

04 |



05 | Progetto di riuso di container e confronto tra gli impatti legati all'adattamento del container usato e gli impatti di produzione di un container nuovo (fonte: esperienze didattiche³; studenti: Gutty, Pellerano, Sanogo, Secondin)
Container reuse project and comparison between the impacts related to the adaptation of the used container and the production impact of a new container (source: didactic experiences³; students: Gutty, Pellerano, Sanogo, Secondin)

06 | Dal confronto emerge che il cemento e l'acciaio a basse emissioni (elevato contenuto di riciclato), proveniente da 800 km di distanza, hanno un impatto complessivo (A1-A4) più che dimezzato rispetto a un cemento e un acciaio locale ma ad alte emissioni (basso contenuto di riciclato) (fonte: ricerca C40⁶)
From the comparison, it emerges that cement and low-emission steel (high recycled content), coming from 800 km away, have an overall impact (A1-A4) of less than half, compared to a local but high-cement and steel emissions (low recycled content) (source: C-40 research⁶)

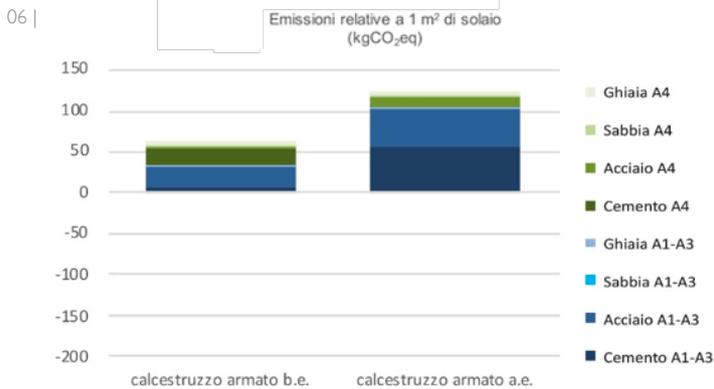


ding during the whole life cycle, measuring the environmental benefit obtained by the recycled content, which

is more or less significant considering the recycling/reuse processes and the comparison with raw materials (Fig. 5).

Furthermore, LCA studies consider the impact due to transport (Fig. 6), which shows, for example, how choosing a material with a non-local recycled content proves to be less impactful than a local material⁶.

range of technological components and referring to specific process phases (Fig. 7). Furthermore, given that LCA studies are often developed at the executive phase (Röck *et al.*, 2018), a framework was proposed to support the integration of Life Cycle Thinking, starting from the early design phases, as pivotal in terms of decision-making, exploiting the opportunities offered by the BIM (Building Information Modelling) working environment. Hence, careful construction and management of environmental information relating to materials and components in their life cycle constitute a crucial node that involves changes not only in the design phase, but throughout the whole construction process. To achieve sustainable and circular strategies, it is necessary to target the organisational and management models of the building process, identifying



Pervasiveness of life cycle tools in building project and contemporary process
 Towards environmental sustainability, the time variable should be integrated throughout the building process, from the design phase to the end of life management. The research activity aimed at investigating, at a national and an international scale, how design and construction companies now provide projects/services in a life cycle perspective and, in particular, how the latter affects the design process⁷, shows that the life cycle approach is still applied in a non-homogeneous and fragmented way, being generally narrowed to a limited



new business models and modifying relationships between operators who interact along the process and the management of material flows (Fig. 8). Consequently, research activity⁸ and stakeholder meetings⁹ have outlined the current levers and barriers for the application of strategies oriented toward circularity and reversibility along the construction process. In addition to the technical barriers, the main obstacle concerns the rigid legislative framework, which considers the building as an immutable object over time, not taking into consideration possible strategies of flexibility and interchangeability of the parts, depending on the use. Hence, it is necessary to define incentive and mandatory policies, which promote a vision of the life cycle to ensure the sustainability of any changes over time.

Long-lasting temporariness

The time variable in architecture, linked today to the issues of temporariness, circularity and reversibility, requires an approach to the life cycle that allows to verify the sustainability of these paths. Research shows that intervention processes based on reuse and recycling to resolve the conflict between temporality and sustainability must be assessed by taking their environmental effects into account. In fact, the reuse and recycling process can be an ineffective solution, if they are founded on a consumerist rationale of production-use-reprocessing, which determines an acceleration of the cycles and, consequently, an increase in resource consumption and environment impact.

The challenge is, therefore, to think of “long-lasting temporariness”, that is a temporary location or use that allows,

at the same time, an extended use of resources over time through reuse and recycling.

The recent discussions of the International Olympic Committee¹⁰, held during the launch of a “think tank”, move in this direction. In these discussions, the need to improve the sustainability of events is highlighted by the design of removable, transferable, reusable temporary structures for other pavilions, and by the temporary adaptation of permanent structures.

The integration of “long-lasting temporariness” is still an important challenge in the context of buildings subject to either short-term use cycles or functional conversion, for which the design practices are mainly motivated by external drivers (e.g., certifications, specific customer requests), and not yet from a vision of life cycle aimed at increasing the elements’ durability in

order to increase the competitiveness and the building’s added value.

In this scenario that is changing towards the concept of “long-lasting temporariness”, it is necessary to define design orientation tools, as the process is happening within the technical regulations (BS 8887-2:2009; ISO/FDIS 20887) and life cycle support tools for the sustainability evaluation of reversible solutions.

As demonstrated, LCA studies are an essential tool to support decisions towards sustainable solutions, but there is the need to implement environmental data relating to on-site assembly/disassembly phases and end-of-life phases for the evaluation of future scenarios of reuse/recycling.

NOTES

¹ Research “Guidelines for the reduction of the environmental impact of

Thinking the building as a materials bank, it is necessary to modify the resource/waste management, the design strategies, the relationships between operators and the business models (source: doctoral research⁹)

consumistica di produzione-uso-riprocessamento che determina un'accelerazione dei cicli e di conseguenza un aumento dei consumi delle risorse e degli impatti sull'ambiente.

La sfida è quindi quella di pensare a una "temporaneità durevole", ossia ad una temporaneità di localizzazione o d'uso che consenta al contempo un impiego delle risorse prolungato nel tempo, tramite il riuso e il riciclo.

Vanno in tale direzione anche le recenti discussioni aperte con l'avvio di un "think thank" del Comitato Olimpico Internazionale¹⁰, nelle quali viene sottolineata l'esigenza di migliorare la sostenibilità degli eventi, tramite la progettazione di strutture temporanee smontabili, trasferibili, riutilizzabili per altri padiglioni e l'adattamento temporaneo di strutture permanenti.

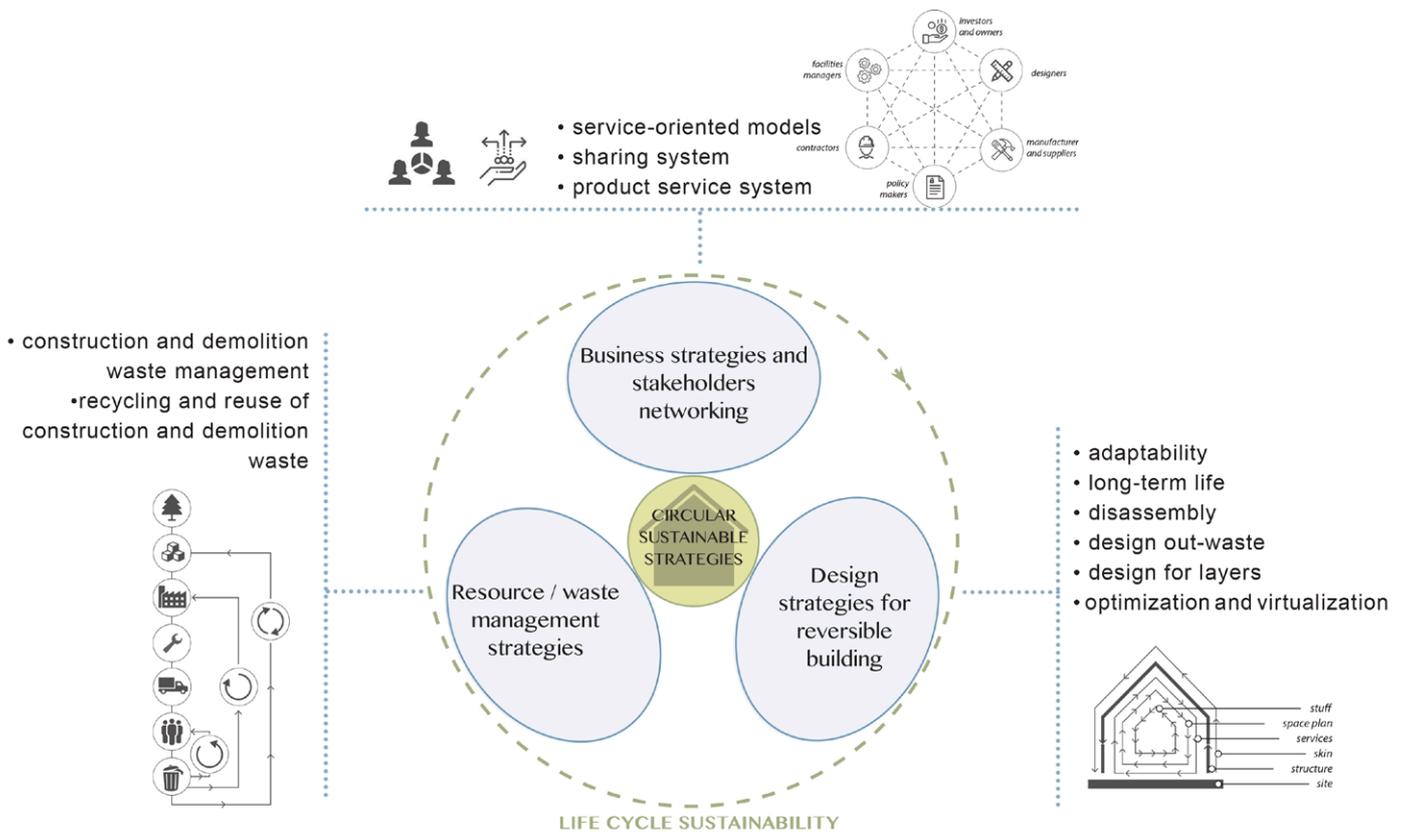
L'integrazione della "temporaneità durevole" costituisce ancora un'importante sfida nell'ambito di edifici soggetti a cicli d'uso di breve durata o a conversione funzionale, per i quali le pratiche di progettazione sono motivate principalmente da *driver* esterni (es. certificazioni, specifiche richieste dei clienti) e non ancora da una visione al ciclo di vita volta ad aumentare la durabilità degli elementi, al fine di incrementare la competitività e il valore aggiunto dell'edificio.

In questo scenario di cambiamento verso il concetto di "temporaneità durevole" è ancora necessaria la definizione di strumenti di orientamento progettuale, come sta avvenendo nella normativa tecnica (BS 8887-2:2009; ISO/FDIS 20887), e di supporto alla valutazione del livello di sostenibilità delle soluzioni reversibili. Come dimostrato, la valutazione LCA risulta un fondamentale strumento di supporto alle decisioni verso soluzioni sostenibili ma con la necessità di implementare ancora i dati ambientali relativi alle fasi di assemblaggio/disassemblaggio in cantiere e alle fasi di fine-vita per la valutazione di scenari futuri di riuso/riciclo.

NOTE

¹ Ricerca "Guidelines for the reduction of the environmental impact of temporary building and structures in mega events", <https://www.minambiente.it/pagina/sostenibilita-dei-grandi-eventi-il-caso-expo-2015>.

² Ricerca "Re-manufacturing Networks for Tertiary Architectures (Re-Net-TA). New organisational models and tools for re-manufacturing and re-using short life components coming from tertiary buildings renewal", finanziata da Fondazione Cariplo. La ricerca mira a definire le condizioni per il riuso e la rigenerazione di componenti edilizi "di uso breve" tramite la creazione di una rete di collaborazione tra chi si occupa di: progettazione, gestione e trasformazione dello spazio, disassemblaggio di componenti, rilavorazione di



componenti, commercializzazione di componenti rifabbricati e utenti finali.

³ Le valutazioni LCA sono anche oggetto di sperimentazione didattica all'interno dei moduli di Progettazione tecnologica e ambientale nei laboratori dei corsi di laurea magistrale in Architettura del Politecnico di Milano.

⁴ Tesi di dottorato, Caroli T., "Reversible Technologies towards reusing, re-manufacturing and recycling", Supervisors: Campioli A., Lavagna M., PhD XXXIV Ciclo, Politecnico di Milano, ABC-PhD.

⁵ Ricerca "Measure the environmental impact of temporary pavilions and exhibitions structures. Environmental assessment and LCA criteria for the design processes", finanziata da Museum & Expos International (MUSE), come consulenza ambientale per il progetto del padiglione dell'Angola per Expo Dubai 2020.

⁶ Partecipazione al bando internazionale *C-40 Reinventing Cities*, organizzato dal Comune di Milano, come consulenti ambientali LCA (progetto selezionato tra i finalisti, per l'area di via Serio). Campioli A., Mussinelli E., Lavagna M., Tartaglia A. (2019), "Design strategies and LCA of alternative solutions for resilient, circular, and zero-carbon urban regeneration: a case study", in Della Torre S., Cattaneo S., Lenzi C., Zanelli A. (editors), *Regeneration of the Built Environment from a Circular Economy Perspective*, Springer, pp. 205-215.

⁷ Tesi di dottorato, Dalla Valle A., "Environment - Driven Change Management in AEC firms. Life Cycle Perspective in Practice" (2019), Supervisors: Campioli, A., Lavagna, M.: PhD XXXI Ciclo, Politecnico di Milano, ABC-PhD.

⁸ Tesi di dottorato, Giorgi S., "Circular Economy and regeneration of the building stock. Policies improvement, strategic partnership and life cycle decision-making tools" (2020), Supervisors: Lavagna M., Campioli A.: PhD XXXII Ciclo, Politecnico di Milano, ABC-PhD.

⁹ Partecipazione a gruppi di lavoro sull'economia circolare (CAM Edilizia, GdL Economia Circolare GBC Italia, ISO/TC 323 "Circular Economy", UNI/CT 057 "Economia circolare", Italian Circular Economy Stakeholder Platform ICESP).

temporary building and structures in mega events", <https://www.minambiente.it/pagina/sostenibilita-dei-grandi-eventi-il-caso-expo-2015>

² Research "Re-manufacturing Networks for Tertiary Architectures (Re-NetTA). New organisational models and tools for re-manufacturing and re-using short life components coming from tertiary buildings renewal", funded by Cariplo Foundation. The research aims to define the conditions for reusing and re-manufacturing "short-time use" building components through the creation of a collaborative network among those who deal with: design, management and transformation of space, component disassembly, component re-manufacturing, marketing of remanufactured components and end-users.

³ LCA studies are also subject of didactic experimentation in Technologi-

cal and Environmental Design Studio modules of Master's Degree courses in Architecture at Politecnico di Milano.

⁴ PhD Thesis, Caroli, T., "Reversible Technologies towards reusing, re-manufacturing and recycling", Supervisors: Campioli, A., Lavagna, M., PhD XXXIV Cycle, Politecnico di Milano, ABC-PhD.

⁵ Research "Measure the environmental impact of temporary pavilions and exhibitions structures. Environmental assessment and LCA criteria for the design processes", funded by Museum & Expos International (MUSE), as environmental consultancy on Angola Pavilion project for Expo Dubai 2020.

⁶ Participation in the International C-40 Reinventing Cities call, organised by Comune di Milano, as LCA environmental consultants (project selected among the finalists, for via Serio area). Campioli A., Mussinelli,

¹⁰ Partecipazione al Workshop Comitato Olimpico *Sustainable innovation in sport infrastructure workshop*, nov. 2019, presso l'IOC headquarters di Losanna. Il "think tank" è costituito da operatori e proprietari di impianti sportivi, architetti, urbanisti, ingegneri edili, consulenti in sostenibilità, sviluppatori di infrastrutture sostenibili, produttori di infrastrutture temporanee, affiancati dai comitati organizzativi dei giochi olimpici, dalle federazioni sportive e dai partner commerciali IOC.

REFERENCES

BAMB (2017), *Buildings as material banks and the need for innovative business models*.

Brand, S. (1994), *How buildings learn: What happens after they're built*, Penquin, USA.

BS 8887-2:2009 (2009), "Design for manufacture, assembly, disassembly and end-of-life processing. Terms and definitions".

Durmisevic, E. (2019), "Circular economy in construction design strategies for reversible buildings", available at: <https://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2019/05/Reversible-Building-Design-Strategies.pdf>

EC JRC, European Commission, Joint Research Center (2017), *Level(s) - A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

ISO/FDIS 20887 (draft), "Sustainability in buildings and civil engineering works. Design for disassembly and adaptability. Principles, requirements and guidance".

Rau, T. and Oberhuber, S. (2019), *Material Matters. L'importanza della materia - Un'alternativa al sovrasfruttamento*, Edizioni Ambiente.

Röck, M., Hollberg, A., Habert, G. and Passer, A. (2018), "LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building construction at early design stages", *Building and Environment*, Vol. 140, pp. 153-161.

UNI/PdR 75:2020 (2020), "Decostruzione selettiva - Linea guida per la decostruzione selettiva e il recupero dei rifiuti in un'ottica di economia circolare".

E., Lavagna, M., Tartaglia, A. (2019), "Design strategies and LCA of alternative solutions for resilient, circular, and zero-carbon urban regeneration: a case study", in Della Torre S., Cattaneo S., Lenzi C., Zanelli A. (editors), *Regeneration of the Built Environment from a Circular Economy Perspective*, Springer, pp. 205-215.

⁷ PhD Thesis, Dalla Valle A., "Environment - Driven Change Management in AEC firms. Life Cycle Perspective in Practice" (2019), Supervisors: Campioli, A., Lavagna, M. PhD XXXI Cycle, Politecnico di Milano, ABC-PhD.

⁸ PhD Thesis, Giorgi S., "Circular Economy and regeneration of the building stock. Policies improvement, strategic partnership and life cycle decision-making tools" (2020), Supervisors: Lavagna, M., Campioli, A.: PhD XXXII Cycle, Politecnico di Milano, ABC-PhD.

⁹ Participation in working groups on circular economy (CAM Edilizia, GdL Economia Circolare GBC Italia, ISO/TC 323 "Circular Economy", UNI/CT 057 "Economia circolare", Italian Circular Economy Stakeholder Platform ICESP).

¹⁰ Participation in the Workshop Olympic Committee *Sustainable innovation in sport infrastructure workshop*, Nov. 2019, at the IOC headquarters in Lausanne. The "think tank" includes operators and owners of sports facilities, architects, urban planners, construction engineers, sustainability consultants, developers of sustainable infrastructures and manufacturers of temporary infrastructures, supported by the Olympic Games organising committees, sports federations and partners commercial IOC.