

La gestione del fine vita come strumento di progetto: il caso di un involucro a secco in legno

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Elisabetta Palumbo¹, Francesca Camerin², Chiara Panozzo², Massimo Rossetti²,

¹ Institute of Sustainability in Civil Engineering, RWTH Aachen University, Germania

² Dipartimento Culture del progetto, Università Iuav di Venezia, Italia

elisabetta.palumbo@inab.

rwth-aachen.de

fra.camerin@gmail.com

chi16pan@gmail.com

rossetti@iuav.it

Abstract. Il *paper* si inserisce nell'ambito delle strategie progettuali di riassetto e reimpiego di manufatti architettonici nell'ottica della transizione verso la *Circular Economy*. Nello specifico, il *paper* affronta il tema degli involucri architettonici realizzati a secco e della loro progettazione esecutiva secondo un approccio *Life Cycle Thinking* (LCT), basandosi su un caso studio di unità abitativa temporanea in legno per la quale sono previsti diversi scenari d'uso e di fine vita al termine del primo ciclo di utilizzo dei componenti d'involucro. Il *paper*, in particolare, basandosi sulla raccolta dei profili ambientali dei prodotti tramite le *Environmental Product Declaration* (EPD), mira a definire un bilancio tra gli impatti ambientali inglobati nei materiali impiegati e i benefici connessi all'adozione delle tecniche costruttive a secco.

Parole chiave: Involucro a secco; *Life Cycle Thinking*; Fine vita; *Design for Disassembly*; *Circular Economy*.

Introduzione

La sostenibilità delle risorse naturali e l'adozione di azioni urgenti per ridurre in modo sostanziale la produzione di rifiuti attraverso la prevenzione, la riduzione, il riciclo e il riutilizzo entro il 2030 è uno dei 17 obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile (SDGs) proposti dall'Agenda 2030 dell'ONU (2019).

Tale obiettivo SDG (12) è richiamato in due delle otto aree chiave definite nella tabella di marcia Green Deal lanciata dalla Commissione Europea nel 2019: la transizione verso un'economia pulita e circolare e la realizzazione di edifici efficienti dal punto di vista energetico e delle risorse. Entrambe le questioni sono integralmente legate al settore delle costruzioni e all'ambiente costruito in genere.

Come ormai noto, in Europa il settore delle costruzioni è responsabile di un terzo di tutti i rifiuti generati e consuma tra il 30 e il 50% di tutte le risorse (Božiček *et al.*, 2021). Un recente la-

voro pubblicato da Finch *et al.* (2021), trattando la ricognizione di studi sull'integrazione dei principi di circolarità negli edifici, rileva che la tendenza è quella di focalizzare l'attenzione sull'identificazione degli impatti legati al fine vita post-costruzione piuttosto che esaminare pratiche di progettazione e nuovi modi di costruire "circolari" che affrontino il problema già dalle fasi iniziali del progetto. Lo studio mette in luce, inoltre, che tipicamente nella pratica gli edifici non vengono progettati per essere poi recuperati, ma l'approccio seguito è piuttosto quello di gestire la post-fine vita attraverso la selezione dei materiali e il loro trattamento finale.

A conferma di ciò, diversi studi di letteratura evidenziano il ruolo rilevante che la gestione "post-uso" dei materiali demoliti ha rispetto alla totalità degli impatti generati nel ciclo di vita di un edificio (Thormark, 2006; Piccardo *et al.*, 2019; Akhimien *et al.*, 2020). Ciò che emerge da tali indagini è la necessità di una rilettura e di una ridefinizione degli approcci progettuali correnti, sia basandola maggiormente sulla integrazione di strategie connesse ai principi della circolarità in edilizia (quali riuso, smontaggio e ottimizzazione delle materie prime), sia adottando un cambio di paradigma che vede la progettazione degli scenari di fine vita delle soluzioni a secco e la valutazione del loro profilo ambientale su base LCA quali strumenti di progetto a supporto della transizione verso soluzioni tecnologiche circolari.

In questo studio vengono analizzati gli indicatori di impatto di gas serra (GWP) e di uso di risorse energetiche non rinnovabili (MJ) di soluzioni di involucro a secco progettate per essere

End-of-life management
as a design tool: the case
of a dry wood envelope

Abstract. This paper is part of the design strategies of reassembly and reuse of buildings according to the transition to circular economy. Specifically, the paper addresses the issue of architectural envelopes made of drywall and their executive design according to a Life Cycle Thinking (LCT) approach, based on a case study of a temporary wooden housing unit for which there are several scenarios of use and end of life once the first cycle of use of the components of the envelope has come to an end. In particular, the paper, based on the collection of environmental profiles of products through Environmental Product Declarations (EPD), wants to define a balance between the environmental impacts incorporated in the used materials and the benefits related to the adoption of dry construction techniques.

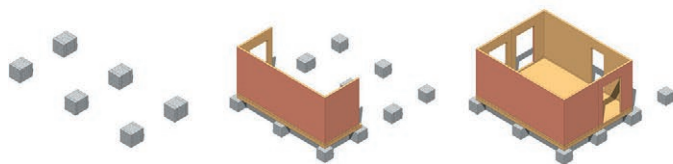
Keywords: Building envelope dry construction; Life cycle thinking; End of life;

Design for Disassembly; Circular economy.

Introduction

The sustainability of natural resources and taking urgent action to substantially reduce waste generation through prevention, reduction, recycling and reuse by 2030 is one of the 17 Sustainable Development Goals (SDGs) proposed by the UN 2030 Agenda (2019). This SDG goal (12) is called out in two of the eight key areas defined in the Green Deal roadmap launched by the European Commission in 2019: the transition to a clean and circular economy and the implementation of energy- and resource-efficient buildings. Both issues are integrally linked to the construction sector and the built environment in general.

As is now well known, the construction sector in Europe is responsible for one-third of all waste generated and consumes between 30 and 50% of all resources (Božiček *et al.*, 2021). A recent paper published by Finch *et al.* (2021), dealing with the survey of studies on the integration of circularity principles in buildings, notes that the trend is to focus on identifying end-of-life post-construction impacts rather than examining design practices and new "circular" ways of building that address the problem early in the project. The study also highlights that typically in practice, buildings are not designed to be reused, but rather the approach taken is to manage their post-life through material selection and final treatment. To confirm this, several literature studies highlight the relevant role that the "post-use" management of demolished



smontate e riutilizzate secondo l'approccio della *Design for Disassembly* (Fig. 1).

A tale scopo, il lavoro focalizza l'attenzione sulla progettazione di un'unità abitativa temporanea con struttura in legno, definendone un bilancio tra gli impatti ambientali inglobati nei materiali impiegati e i benefici connessi all'adozione di tecniche costruttive a secco. L'approccio metodologico perseguito si basa sull'applicazione della metodologia *Life Cycle Assessment* (ISO 14040-14044) adottando come *data source* le Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (EPD) fornite dai produttori.

Approccio metodologico

In linea con gli obiettivi iniziali, il contributo intende definire il

profilo ambientale delle soluzioni costruttive a secco adottate nel prototipo, sia come impatti inglobati nei materiali impiegati (fase di produzione) sia come benefici connessi all'adozione delle tecniche costruttive a secco (fase di fine vita).

Il riferimento metodologico adottato per identificare gli impatti ambientali è la *Life Cycle Assessment* (LCA), considerata uno dei più solidi strumenti attualmente disponibili per valutare il potenziale impatto ambientale dei prodotti (IPPCOM/2003/0302, 2003). La LCA è standardizzata secondo le ISO 14040 (2020) e ISO 14044 (2020), e in ambito edilizio dai due standard EN 15978 (2011) e 15804 (2019).

Le fonti di dati a cui si accede nella conduzione di una LCA, da cui quindi estrarre gli indicatori ambientali per unità di prodotto/processo, sono sostanzialmente di due tipologie:

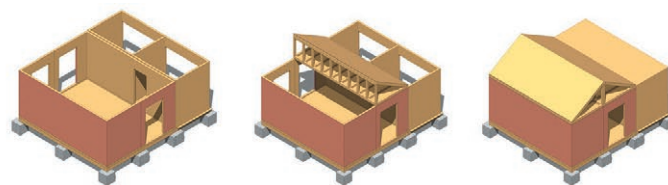
materials has concerning the totality of impacts generated in the life cycle of a building (Thormark, 2006; Piccardo *et al.*, 2019; Akhimien *et al.*, 2020). What results from these investigations is the need for a reinterpretation and redefinition of current design approaches, basing it more on both the integration of strategies related to the principles of circularity in construction (such as reuse, disassembly and optimisation of raw materials), and on the adoption a paradigm shift that sees the design of end-of-life scenarios of dry solutions and the assessment of their environmental profile on an LCA basis as design tools to support the transition to circular technological solutions. This study analyses the greenhouse gas impact (GWP) and non-renewable energy resource use (MJ) indicators of drywall solutions, designed to be disassembled and reused according to

the Design for Disassembly approach (Fig. 1).

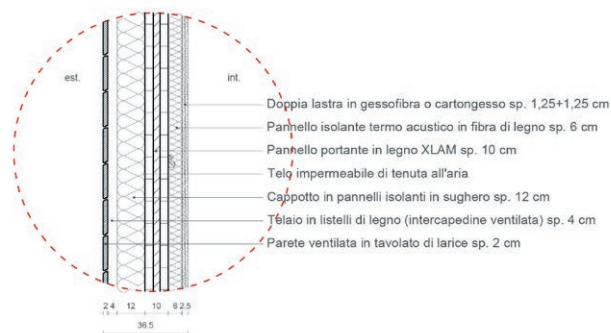
The work focuses on the design of a temporary timber-framed housing unit, defining a balance between the environmental impacts embedded in the materials used and the benefits related to the adoption of dry construction techniques. The methodological approach pursued is based on the application of the Life Cycle Assessment methodology (ISO 14040-14044), adopting the Environmental Product Declarations (EPD) provided by the manufacturers as a data source.

Methodological approach

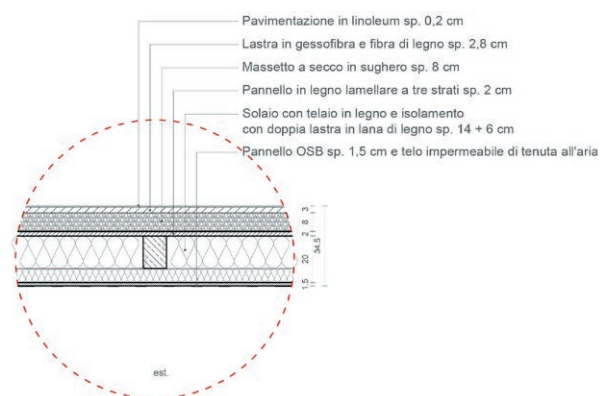
According to the initial objectives, the paper hopes to define the environmental profile of the dry construction solutions adopted in the prototype, both as impacts embedded in the materials used (production phase) and as



Chiusura verticale



Solaio controterra



Copertura a falda



benefits related to the adoption of dry construction techniques (end-of-life-phase).

The methodological reference adopted to identify environmental impacts is the Life Cycle Assessment (LCA), considered one of the most important references currently available to assess the potential environmental impact of products (IPPCOM/2003/0302, 2003). LCA is standardised under ISO 14040

(2020) and ISO 14044 (2020) and in the construction industry by the standards EN 15978 (2011) and 15804 (2019).

The data sources accessed in an LCA, from which the environmental indicators per unit of product/process are obtained, are essentially of two types:

- generic, in the form of databases (for example, Ecoinvent centre, PE International and European Com-

- generiche, sotto forma di banche dati (per esempio, Ecoinvent centre, PE International, and European Commission, Joint Research Centre);
- basate su dati specifici forniti dai produttori e verificate da ente terzo in forma di etichette ambientali EPD (*Environmental Product Declaration*).

Al fine di produrre risultati più affidabili e accurati, la International Reference Life Cycle Data System (ILCD) raccomanda l'uso di dati specifici piuttosto che generici; nella stessa direzione la EN 15978 precisa che andrebbero usati come surrogato quando non sono disponibili dati specifici (Hollberg, 2016).

Le EPD, dette anche etichette ambientali di Tipo III (ISO 14020), comunicano i dati LCA sotto forma di indicatori di impatto ambientale, uso delle risorse e produzione di rifiuti. Per i prodotti da costruzione, una delle regole essenziali affinché sia garantita la comparabilità tra prodotti diversi è la conformità alla ISO 14025 (2010) e in particolare alla EN 15804, che oltre a regolarne requisiti e regole di calcolo, definisce le regole di categorie di prodotto (PCR), che riguardano appunto specifiche famiglie di prodotto. Il ricorso alle EPD negli studi LCA alla scala di edificio di fatto semplifica il complesso lavoro di valutazione, che si traduce in operazioni di moltiplicazione tra la massa dei materiali e prodotti adottati nella costruzione (Bill of Materials-BoM) per i dati ambientali estratti dalle EPD. Con le stesse premesse, tali fonti sono ampiamente richiamate in "Level(s)" – il recente *framework* sviluppato dal Joint Research Center di Siviglia su mandato della Commissione Europea – per la definizione di indicatori chiave di performance della sostenibilità degli edifici (Dodd *et al.*, 2020).

Negli ultimi anni il numero delle EPD è cresciuto molto, aumento in parte legato anche alla loro inclusione nei Green Bu-

ilding Rating Systems (Minkov *et al.*, 2015) e più direttamente nel contesto nazionale all'interno dei Criteri Ambientali Minimi (CAM) Edilizia (Palumbo and Thiebat, 2020) o più recentemente nel Decreto Rilancio (meglio noto come Superbonus).

Nonostante l'importanza che l'uso delle EPD sta assumendo per valutare le prestazioni ambientali degli edifici (Passer *et al.*, 2015), a oggi sono ancora pochi gli studi in questo ambito (Fufa *et al.*, 2018; Petrovic *et al.*, 2019). La motivazione di tale lacuna è da rintracciare soprattutto nella tipologia/formato "from cradle to gate" in cui si presentano allo stato attuale, essendo state definite sulla base della precedente versione normativa EN 15804 (2013), secondo cui le fasi obbligatorie da includere nella analisi LCA erano quelle relative alla fase di produzione. Fattore quest'ultimo che, come appare evidente, non contenendo informazioni sull'impatto connesso alla operatività dell'edificio e a quelle di fine vita, limita il loro uso nella valutazione alla scala di edificio (Fig. 5).

Questo scenario dovrebbe cambiare nei prossimi anni, in considerazione del fatto che la nuova versione dello standard europeo (2019) estende la obbligatorietà anche alle fasi di fine vita e di riciclo e riuso dei materiali post demolizione dell'edificio, la cui coerenza dovrà essere ottemperata nell'arco dei prossimi cinque anni.

Pertanto, alla luce di quanto sinora delineato sull'evidente rilevanza dell'uso delle EPD nell'applicazione di una LCA a un intero edificio, lo studio ha adottato come base dell'analisi gli indicatori di impatto desunti dalle etichette prodotte da fornitori di ambito nazionale.

L'obiettivo principale dello studio è stato quello di valutare gli impatti ambientali associati a un progetto pensato per essere di-

- mission, Joint Research Centre);
- based on specific data provided by producers and verified by a third party in the form of an environmental label EPD (Environmental Product Declaration).

In order to produce more reliable and accurate results, the International Reference Life Cycle Data System (ILCD) recommends the use of specific, rather than generic, data; at the same time, EN 15978 specifies that they should be used as a surrogate when specific data are not available (Hollberg, 2016).

EPDs, also known as Type III environmental labels (ISO 14020), communicate LCA data in the form of indicators of environmental impact, resource use and waste generation. For construction products, one of the essential rules in order to guarantee comparability between different products is compliance with ISO 14025 (2010) and, in particu-

lar, EN 15804, which not only regulates requirements and calculation rules, but also defines product category rules (PCRs), which relate precisely to specific product families. The use of EPDs in LCA studies at the building scale actually simplifies the complex work of assessment, which means operations of multiplication between the mass of materials and products adopted in the construction (Bill of Materials-BoM) for the environmental data extracted from EPDs. Based on the same premises, these sources are widely referred to in "Level(s)" – the recent framework developed by the Centre in Seville on behalf of the European Commission – for the definition of key performance indicators of building sustainability (Dodd *et al.*, 2020).

In recent years, the number of EPDs has grown strongly, an increase partly related to their inclusion in the Green

Building Rating Systems (Minkov *et al.*, 2015) and, more directly in the Italian national context, within the Minimum Environmental Criteria (CAM) Building (Palumbo and Thiebat, 2020), and even more recently in the Decreto Rilancio (better known as Superbonus).

Despite the importance that the use of EPDs is assuming to assess the environmental performance of buildings (Passer *et al.*, 2015), nowadays, there are still few studies in this area (Fufa *et al.*, 2018; Petrovic *et al.*, 2019;). The reason for this gap can be found mainly in the "from cradle to gate" type/format in which they currently present themselves, having been defined on the basis of the previous normative version EN 15804 (2013), according to which the mandatory phases to be included in the LCA analysis were those related to the production phase. This,

as it appears evident, does not include information on the impact related to the operation of the building and those at the end of life, and limits their use in the assessment at the building scale (Fig. 5).

This scenario is expected to change in the coming years, in view of the fact that the new version of the European standard (2019) also extends the mandatory nature to the end-of-life phases and the recycling and reuse of post-demolition materials of the building, which must be complied with over the next five years.

Therefore, in light of what has been outlined so far on the obvious relevance of the use of EPDs in the application of an LCA to an entire building, the study has adopted the impact indicators deduced from the labels produced by national suppliers as the basis of the analysis.

sassemblato e in cui meno del 10% di materiale sia destinato alla discarica. Inoltre, al fine di stabilire un periodo di tempo minimo entro il quale la struttura presa in esame non necessita di manutenzione straordinaria, e quindi avviando al problema del ricorso ad ulteriori quantità di materiali, è stato considerato un tempo di vita nominale pari a 30 anni.

La fase progettuale: Design for Disassembly

La pianificazione delle operazioni di smontaggio è ritenuta uno dei approcci progettuali più efficienti per aumentare il tasso di riutilizzo dei componenti e ridurre l'impatto ambientale (Sanchez *et al.*, 2019). Ma affinché il beneficio derivante da un tale tipo di approccio sia evidente in termini di eco-efficienza, è necessario che sia corredato da valutazioni di impatto quantitative, in modo che possa supportare il progettista sin dalle fasi iniziali di progetto nella scelta dei diversi possibili scenari di fine vita.

La valutazione metodologica proposta è stata applicata a un prototipo abitativo sviluppato in un precedente progetto di ricerca (Camerin *et al.*, 2020). Il progetto ha avuto come scopo l'ideazione di un'unità abitativa temporanea con struttura in legno, progettata con particolare attenzione alle tecniche di assemblaggio a secco dell'involucro in ottica di *circular economy* (Božiček *et al.*, 2021), quali elementi riutilizzabili al termine della fase di vita utile.

In particolare, il progetto strutturale è stato affrontato prevedendo che i materiali possano essere riutilizzati senza trasformazioni in stadi successivi al termine della vita utile, con una quasi totale reversibilità dei collegamenti strutturali adottati.

Nelle connessioni ibride le interfacce di unione tra elementi li-

gnei sono realizzate con l'ausilio di inserti metallici: la trasmissione dei carichi è in tal modo mediata da elementi quali flange metalliche, barre filettate e bulloni, gestibili alla stregua di comuni unioni bullonate in acciaio, che, a differenza delle tradizionali unioni chiodate o avvitate, di fatto rendono il sistema completamente reversibile e permettono di limitare il danneggiamento del materiale durante le fasi di montaggio e smontaggio dei moduli (Fig. 2).

L'analisi valutativa è stata sviluppata seguendo tre fasi principali, come sinteticamente illustrato in figura 3.

Fase 1. Elaborazione del Bill of Materials

La fase iniziale della ricerca è stata la raccolta dei dati per la predisposizione del Bill of Materials (BoM) relativo alle soluzioni presenti nel caso studio e del suo fine vita secondo tre distinti scenari: riuso, trasformazione e riciclo e/o invio a discarica (Tab. 1). Nello specifico, la totalità di materiali utilizzati nel caso studio è di circa 84 m³, di cui l'88% è stato pensato per essere riutilizzato una volta smantellato l'edificio.

Fase 2. Esamina degli indicatori di impatto

La seconda parte del lavoro ha riguardato la ricognizione delle EPD di prodotti utilizzabili per le soluzioni progettuali progettate all'interno di tre delle principali piattaforme europee responsabili della pubblicazione di tali etichette, che sono l'italiana EPD Italy, la svedese Environdec e la tedesca IBU. La selezione è stata fatta considerando prima di tutto la corrispondenza con le proprietà fisico-meccaniche dei materiali, quindi la provenienza geografica e la idoneità d'uso con le scelte di progetto. Dopo questa prima esplorazione si è passati alla individuazione dei pa-

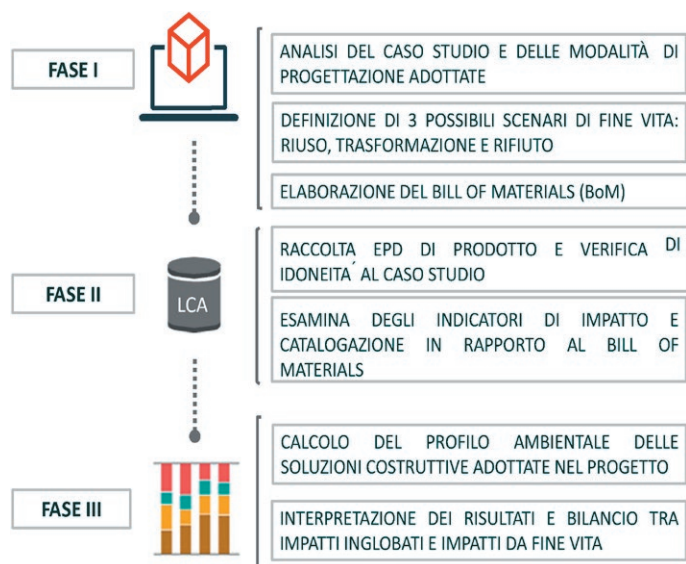
The main objective of the study was to assess the environmental impacts associated with a project designed to be disassembled and where less than 10% of the material is destined for landfill. In addition, in order to establish a minimum period of time within which the structure under consideration does not require extraordinary maintenance, and thus obviating the problem of using additional quantities of materials, a nominal life time of 30 years was considered.

Design phase: Design for Disassembly

Disassembly planning is considered one of the most efficient ways to increase the rate of component reuse and reduce environmental impact (Sanchez *et al.*, 2019). But, in order for the benefit from such an approach to be evident in terms of eco-efficiency, it needs to be accompanied by quantita-

tative impact assessments, so that it can support the designer from the early stages of the project in the selection of different possible end-of-life scenarios. The proposed methodological assessment was applied to a housing prototype developed in a previous research project (Camerin *et al.*, 2020). The aim of the project was to design a temporary housing unit with a wooden structure, designed with particular attention to dry assembly techniques of the envelope in view of a circular economy (Božiček *et al.*, 2021), as reusable elements at the end of the useful life phase. In particular, the structural design was approached in such a way as to ensure that the materials could be reused without transformations in later stages at the end of their useful life, with an almost total reversibility of the adopted structural connections.

In the hybrid connections, the inter-



Tab. 01 | Definizione degli scenari post-demolizione degli elementi tecnici dell'unità abitativa
Definition of the post-demolition scenarios of the technical elements of the housing unit

Tab. 01 |

UNITÀ TECNO-LOGICA	ELEMENTI TECNICI	UDM	VOLUME / AREA	SCENARI DI FINE VITA			
				Riuso [%]	Preparaz. x riciclo/recupero [%]	Riciclo/ Recupero [%]	Discarica [%]
Strutture portanti in legno	Pannelli X-lam (sp. 10 cm)	m ³	14,70	88%	12%	12%	0%
	Travetti lamellari (sez. 14x6 cm)	m ³	9,50	92%	8%	8%	0%
	Travetti massicci (sez. 6x6 cm)	m ³	1,72	80%	0%	0%	20%
	Pannelli OSB (sp. 1,8 cm)	m ³	4,07	80%	0%	0%	20%
	Pannelli tre strati (sp. 2 cm)	m ³	1,46	80%	0%	0%	20%
	Tavolato di copertura (sp. 2,5 cm)	m ³	2,17	80%	0%	0%	20%
Chiusure in legno	Fibra di legno (sp. 6 cm e 14 cm)	m ³	33,24	80	20%	20%	0%
	Sughero (sp. 8 cm e 12 cm)	m ³	8,37	98%	0%		2%
	Fibra di canapa (sp. 6 cm)	m ³	3,29	100%	0%		0%
Sottofondi e rivestimenti	Gessofibra (sp. 1,25 cm)	m ³	3,25	0%	100%		0%
	Facciata ventilata in larice (sp. 2 cm)	m ³	0,64	0%	0%		100%
	Gesso fibra + fibra di legno (sp. 2,8 cm)	m ³	1,49	0%	0%		100%
	Linoleum (sp. 0,2 cm)	m ³	0,11	0%	0%		100%
	Lamiera aggraffata	m ²	79,40	90%	10%		0%
	Freno al vapore	m ²	79,40	0%	0%		100%
	Telo antirombo	m ²	79,40	0%	0%		100%

rametri di impatto dichiarati dai produttori nelle EPD adottate nell'analisi. In linea con la recente letteratura (Del Rosario *et al.*, 2021), tale disamina ha messo in luce uno dei fattori che limitano l'uso delle dichiarazioni ambientali di prodotto come base per la valutazione alla scala di edificio, ovvero la mancanza di dati di impatto nel ciclo di vita oltre la fase di produzione. Studi in tal senso rivelano che ad oggi un numero considerevole di etichette appartiene alla tipologia “cradle-to-gate” (fase di produzione) o “cradle-to-gate con opzioni” (fase di produzione e altre fasi aggiuntive selezionate), il che significa non poter affrontare una analisi completa del ciclo di vita, nonostante sia ampiamente riconosciuta la rilevanza di un loro uso rispetto a cosiddetti dati generici e non verificati da parte terza.

faces between wooden elements are made with metal inserts: the transmission of loads is thus mediated by elements such as metal flanges, threaded rods and bolts, manageable in the same way as common steel bolted connections, which, unlike traditional nailed or screwed connections, make the system completely reversible and allow the damage of the material during the assembling and disassembling of the modules to be limited (Fig. 2). The evaluation analysis has been developed following three main phases, as synthetically illustrated in Figure 3.

Phase 1. Bill of materials development

The initial phase of the research was the collection of data for the preparation of the Bill of Materials (BoM), concerning the solutions adopted in the case study and its end of life according to three distinct scenarios:

reuse, transformation and recycling and/or sending to landfill (Table 1). Specifically, the total amount of materials used in the case study was about 84 m³, of which 88% was designed to be reused once the building was dismantled.

Phase 2. Impact indicators review

The second part of the work concerns the checking of the EPDs of products that can be used for design solutions within three of the main European platforms responsible for the publication of these labels, which are the Italian EPD Italy, the Swedish Environdec and the German IBU. The selection was made considering the correspondence with the physical-mechanical properties of the materials first, then the geographical origin and the suitability of use with the project choices. After this initial checking, we moved

Pertanto, da questa prima analisi sono stati presi in esame solo quei prodotti aventi indicatori di impatto anche sulle fasi di fine vita, o meglio attività preparatorie pre-riciclo, riuso in sostituzione di materia vergine e/o recupero termico.

I materiali in oggetto sono: pannelli portanti X-lam, travetti lamellari e isolante in fibra di legno, il cui peso volumetrico raggiunge circa il 79,5% del volume totale.

Il passo successivo è stato la definizione del profilo ambientale del sistema costruttivo, ottenuto combinando i valori di impatto da EPD (es. GWP) con la distinta delle quantità di materiale/prodotto (BoM) nelle tre fasi del ciclo di vita dell'edificio: produzione (A1-A3), fine vita (C3 e C4) e benefici in termini di riuso e riciclo in altri cicli di produzione (D). La procedura di calcolo

on to the identification of the impact parameters declared by manufacturers in the EPDs adopted in the analysis. In line with recent literature (Del Rosario *et al.*, 2021), this examination highlighted one of the limiting factors in the use of environmental product declarations as a basis for assessment at the building scale, namely the lack of life cycle impact data beyond the production phase. Studies to this effect reveal that to date, a relevant number of labels belong to the “cradle-to-gate” (production phase) or “cradle-to-gate with options” (production phase and other selected additional phases) typology, which means that a full life cycle analysis cannot be addressed, despite the fact that the relevance of their use to so-called generic and unverified third-party data is widely recognised. Therefore, from this first analysis, only those products also having impact in-

dicators on end-of-life phases, or rather pre-recycling preparatory activities, reuse in substitution of virgin material and/or thermal recovery, have been examined. The materials are: X-lam load-bearing panels, laminated beams and wood fibre insulation, whose volumetric weight reaches about 79.5% of the total volume.

The next step was the definition of the environmental profile of the building system, obtained by combining the EPD impact values (e.g. GWP) with the distinction of the material/product quantities (BoM) in the three phases of the building life cycle: production (A1-A3), end of life (C3 and C4) and benefits in terms of reuse and recycling in other production cycles (D). The calculation procedure adopted and the environmental parameters and the life cycle phases considered are shown in Figure 6, while the assumptions

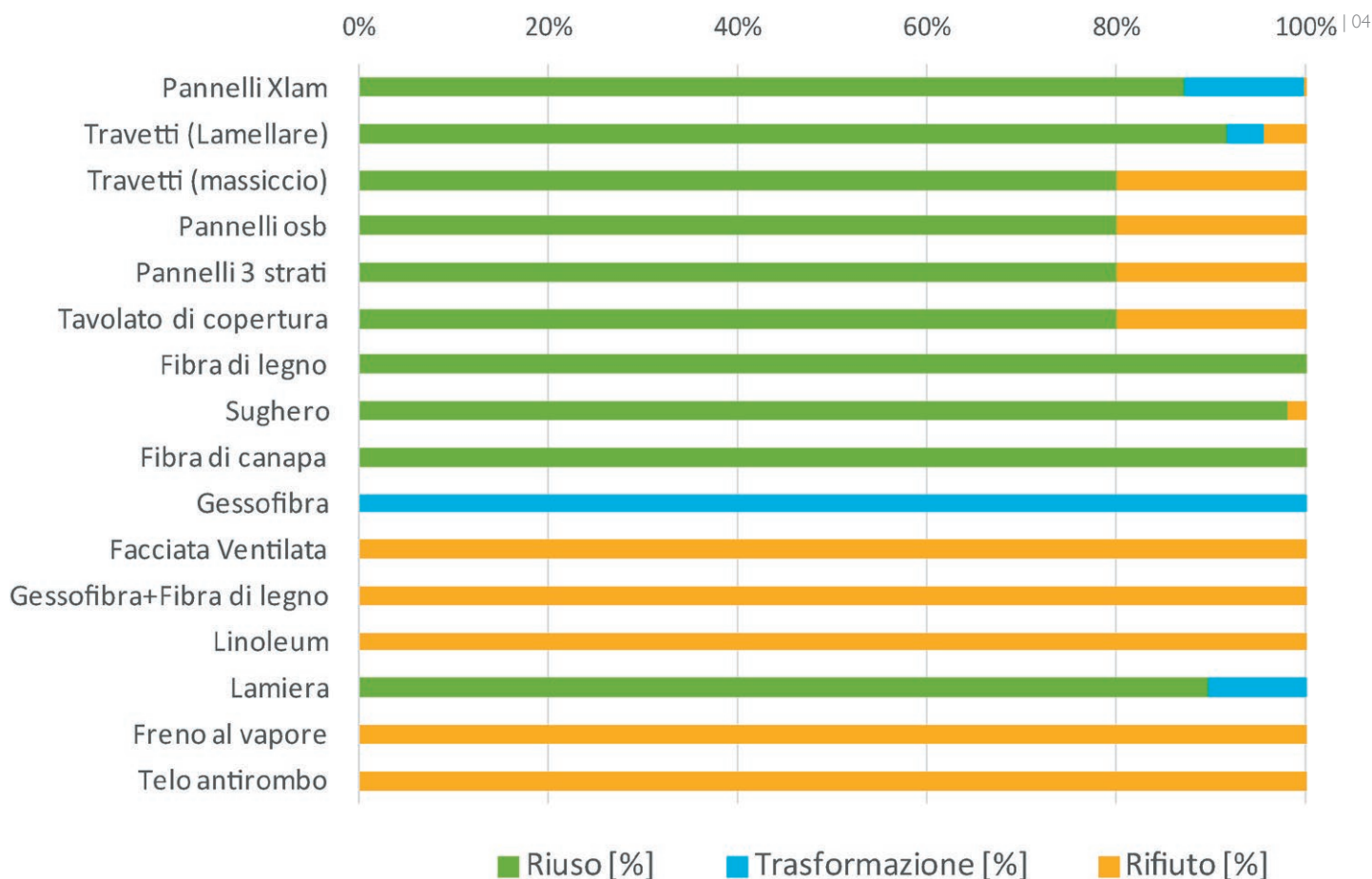
adottata, i parametri ambientali e le fasi del ciclo di vita prese in esame sono schematizzati in figura 6, mentre, le assunzioni adottate nella definizione degli scenari post-demolizione dell'unità abitativa sono mostrate in figura 4 e tabella 1.

Fase 3. Definizione del profilo ambientale delle soluzioni tecniche
Successivamente, al fine di valutare il bilancio tra impatti inglobati e scenari di fine vita post futura demolizione, l'ultima parte del lavoro ha comparato i profili ambientali dei tre scenari post-demolizione con gli impatti connessi alla produzione dei materiali aventi maggior peso volumetrico. Gli indicatori oggetto di indagine sono, rispettivamente, potenziale di riscaldamento globale (kg CO₂ equivalente) e uso totale di risorse energetiche primarie non rinnovabili (MJ).

La prima analisi effettuata ha preso come oggetto l'indicatore di impatto ambientale GWP, espresso con kg CO₂ equivalente. I diagrammi di figura 7 mostrano gli impatti di ciascuno degli elementi tecnici presi ad esame. Gli esiti di questa prima analisi rivelano che lo scenario che prevede il riuso post fine vita dei tre

elementi ha un bilancio più vantaggioso (*embodied carbon* e fine vita) rispetto allo scenario di recupero totale a fini energetici in tutte e tre gli elementi perché il recupero per energia comporta una preparazione pre-recupero che genera un impatto di CO₂. Mentre, rispetto all'indicatore relativo al consumo di risorse energetiche non rinnovabili, in tutti e due gli scenari per tutti e tre gli elementi si ha sempre un bilancio che compensa le energie inglobate in produzione, evidentemente più rilevante nello scenario 2 dove tutto viene usato come energia (Fig. 8). Guardando la valutazione nella sua globalità, entrambi gli scenari sono significativi come bilanci: nel caso del CO₂ lo scenario favorevole risulta essere lo scenario 1, il cui vantaggio è dato dal riutilizzo degli elementi rispetto al recupero a fini energetici; rispetto all'utilizzo di energie non rinnovabili in tutti i casi il bilancio è a favore di un recupero a fini energetici.

Sviluppi futuri del lavoro dovrebbero osservare i vantaggi del riuso rispetto al recupero energetico estendendo l'analisi agli altri indicatori di norma inclusi nelle dichiarazioni ambientali di prodotto, ovvero:



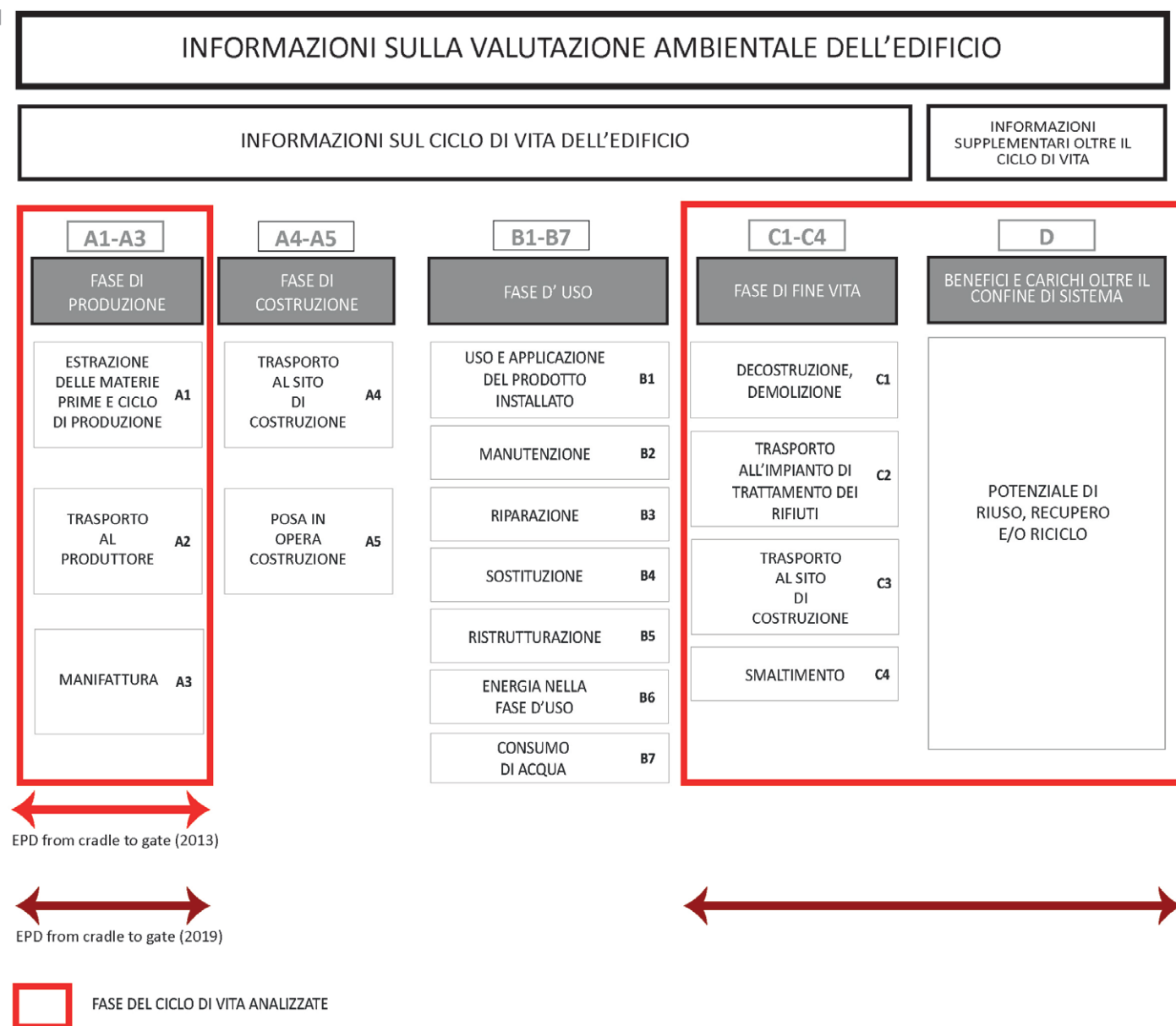
- altri tre dei sette indicatori di impatto ambientale considerati essenziali nella certificazione EPD (acidificazione e risorse abiotiche fossili e non fossili);
- tre dei dieci parametri connessi all'uso delle risorse.

Conclusioni

La LCA è sempre più spesso applicata in ritardo nel processo di progettazione, riducendo pertanto la possibilità di supportare il progettista e quindi influenzare positivamente gli esiti progettuali rispetto al raggiungimento di target di minore impatto am-

bientale e basse emissioni di carbonio (Roberts *et al.*, 2020). L'analisi valutativa condotta nel presente lavoro ha voluto definire quantitativamente i profili ambientali di un sistema costruttivo in legno progettato per essere smontato quasi totalmente post service life, secondo due diversi scenari di fine vita definiti già in fase progettuale: riuso versus recupero energetico. Un simile approccio si rivela di supporto alla decisione finale in quanto permette la valutazione di scenari preventivi rispetto al fine vita rispetto a scenari non preventivi. Tuttavia, l'utilizzo di una fonte di dati LCA quali le EPD mostra diversi limiti appli-

05 |



ESTRAZIONE INDICATORI EPD DEI MATERIALI ADOTTATI NEL CASO STUDIO

06

	Parametri	Unità	Fasi LCA di progetto				
			A1 - A3	A4 - A5	B1 - B6	C1 - C4	D
Impatto ambientale	GWP	[kg CO ₂ - Eq.]	-3,09E+03	4,23E+03	8,47E+02	-2,64E+03	-2,11E+03
	AP	[kg SO ₂ - Eq.]	4,23E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,57E+00	-1,26E+00
	ADPE	[kg Sb. - Eq.]	5,21E-04	0,00E+00	0,00E+00	-3,18E-04	-2,55E-04
	ADPF	[MJ]	1,88E+04	0,00E+00	0,00E+00	-3,42E+04	-2,74E+04
Uso di risorse	PERT	[MJ]	5,21E+04	-4,84E+04	-9,69E+03	4,23E+04	3,39E+04
	PERNT	[MJ]	1,96E+04	-2,19E+03	-4,37E+02	-4,27E+04	-3,42E+04
	SM	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Flusso in uscita e categorie di rifiuti	HWD	[kg]	6,92E-03	0,00E+00	0,00E+00	-1,58E-02	-1,27E-02
	NHWD	[kg]	1,25E+01	0,00E+00	0,00E+00	5,17E+00	4,14E+00
	RWD	[kg]	3,31E-01	0,00E+00	0,00E+00	-4,35E+00	-3,48E+00
	CRD	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	IND	IND
	MFR	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	IND	IND
	MER	[kg]	IND	2,46E+03	4,92E+02	IND	IND
	EEE	[MJ]	IND	0,00E+00	0,00E+00	IND	IND
	EET	[MJ]	IND	0,00E+00	0,00E+00	IND	IND

{ FASE DI PRODUZIONE }

↓

Indicatore di impatto [kgCO₂ eq]

x

Bill of Materials [es. m3 X-LAM]

{ FASE DI FINE VITA }

↓

Indicatore di impatto [kgCO₂ eq]

x

% Riuso [es. 87% X-LAM]

BENEFICI RICICLO/RIUSO

↓

cativi, soprattutto per i meno esperti. Più in generale e come già anticipato, la prima criticità è che allo stato attuale la mancanza di informazioni di impatto oltre la fase di produzione limita il loro uso per valutazioni riferite all'edificio. L'altro elemento riguarda la quasi assenza di scenari alternativi, specie sull'end of life, all'interno delle stesse etichette ambientali, che diversamen-

te potrebbero costituire uno strumento di ausilio per il progettista nell'iter progettuale.

Nonostante la metodologia utilizzata nel presente lavoro mostri dei limiti applicativi, trattandosi di un caso specifico, è però possibile affermare che, in considerazione della robustezza dei dati, forniti dai produttori mediante certificazioni di ente terzo

adopted in the definition of the post-demolition scenarios of the housing unit are shown in Figure 4 and table 1.

Phase 3. Definition of the environmental profile of technical solutions

Subsequently, in order to assess the balance between the impacts incorporated and the post-future demolition end-of-life scenarios, the last part of the work compared the environmental profiles of the three end-of-life scenarios with the impacts related to the production of materials with higher volumetric weight. The indicators investigated are, respectively, global warming potential (kg CO₂ equivalent) and total use of primary non-renewable energy resources (MJ).

The first analysis carried out focused on the GWP environmental impact indicator, expressed as an equivalent to kg CO₂. The diagrams in Figure 7 show

the impact of each of the technical elements examined. The results of this first analysis reveal that the scenario involving post end-of-life reuse of the three elements has a more advantageous balance (embodied carbon and end of life) than the scenario of total recovery for energy purposes in all three elements because recovery for energy involves a pre-recovery preparation that generates a CO₂ impact. On the other hand, with respect to the indicator relating to the consumption of non-renewable energy resources, in both scenarios for all three elements there is always a balance that compensates for the energies incorporated in production, clearly more relevant in scenario 2 where everything is used as energy (Fig. 8). Looking at the evaluation as a whole, both scenarios are significant as balances: in the case of CO₂ the favourable scenario turns out to be

scenario 1, whose advantage is given by the reuse of the elements compared to recovery for energy purposes; concerning the use of non-renewable energy, in all cases the balance is in favour of recovery for energy purposes. Future developments of the work should observe the advantages of reuse over energy recovery by extending the analysis to the other standard indicators included in environmental product declarations, namely:

- three of the seven environmental impact indicators considered essential in EPD certification (acidification and abiotic fossil and non-fossil resources);
- three of the ten parameters related to resource use.

Conclusions

The LCA analysis is increasingly applied too late in the design process,

thus reducing the possibility to support the designer and positively influence the design outcomes in order to achieve targets of lower environmental impact and low carbon emissions (Roberts *et al.*, 2020).

The evaluation analysis carried out in this work aimed to quantitatively define the environmental profiles of a wooden building system designed to be almost totally disassembled after its service life, according to two different end-of-life scenarios already defined in the design phase: reuse vs. energy recovery.

Such an approach proves to be supportive of the final decision as it allows the evaluation of preventive vs. non-preventive end-of-life scenarios. However, the use of an LCA data source such as EPDs shows several application limitations, especially for the less experienced. More generally and as already

(EPDs), i risultati ottenuti possono essere ritenuti altamente realistici. È quindi possibile affermare che la presente ricerca conferma sia in generale le ricadute positive di una progettazione attenta al riutilizzo dei materiali e componenti in ottica *circular economy*, sia i vantaggi di una realizzazione a secco dell'involucro architettonico.

In tale ambito, è quindi auspicabile in futuro una sempre maggiore armonizzazione e omogeneizzazione delle metodologie, anche in riferimento al contesto europeo, allo scopo di ampliare l'applicazione di tali tecniche a un ventaglio sempre più ampio di tipologie costruttive.

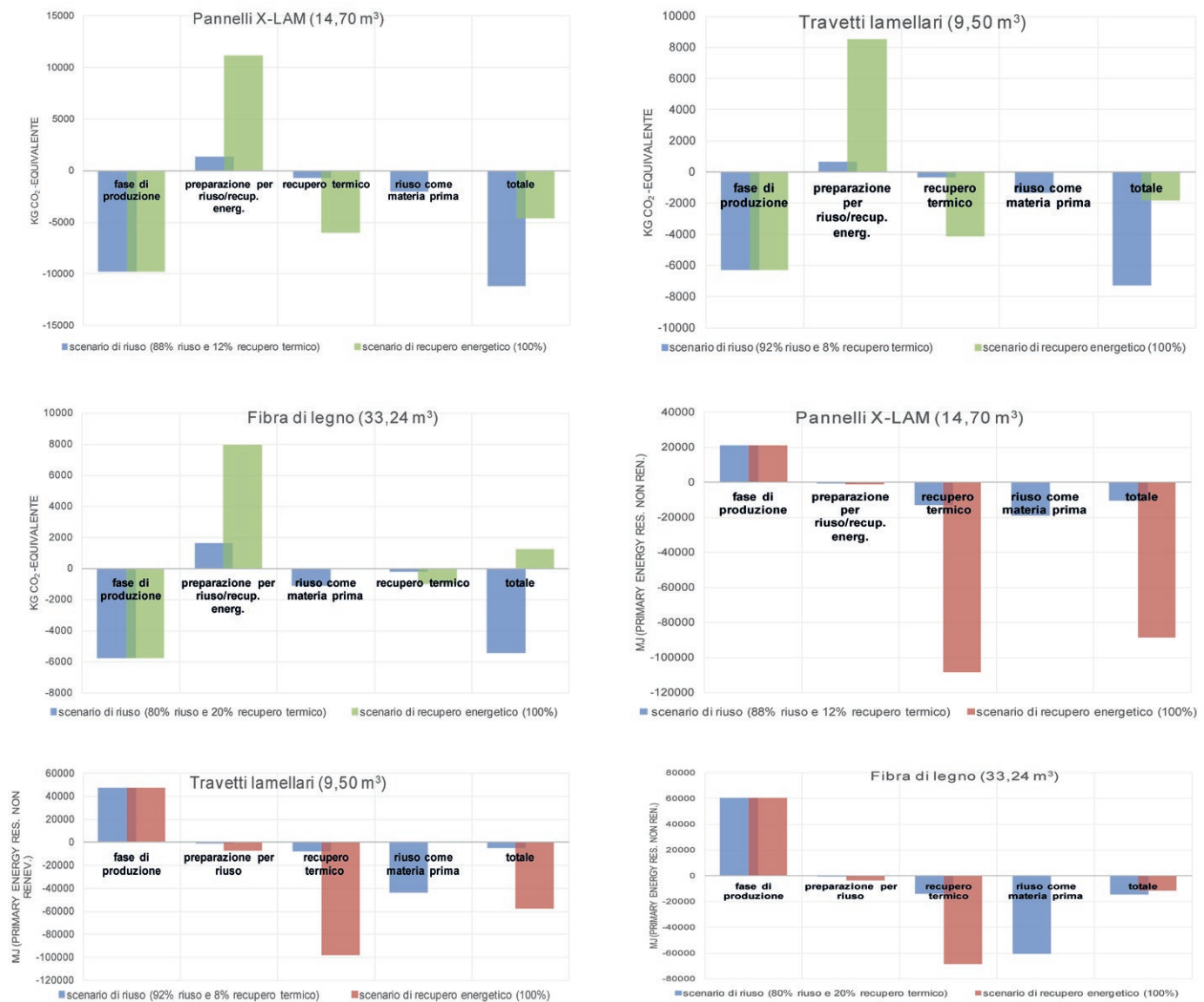
REFERENCES

Akhimien, N.G., Latif, E. and Hou, S.S. (2020), "Application of Circular Economy Principles in Buildings: A Systematic Review", *Journal of Building Engineering*, Vol. 38, 102041.

Arvizu-Piña, V.A. and Burgos, A.C. (2017), "Promoting sustainability in Mexico's building sector via environmental product declarations", *The International Journal for Life Cycle Assessment*, Vol. 22, pp. 1744-1759.

Božiček, D., Kunič, R. and Košir, M. (2021), "Interpreting environmental impacts in building design: Application of a comparative assertion method in the context of the EPD scheme for building products", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 279, 123399.

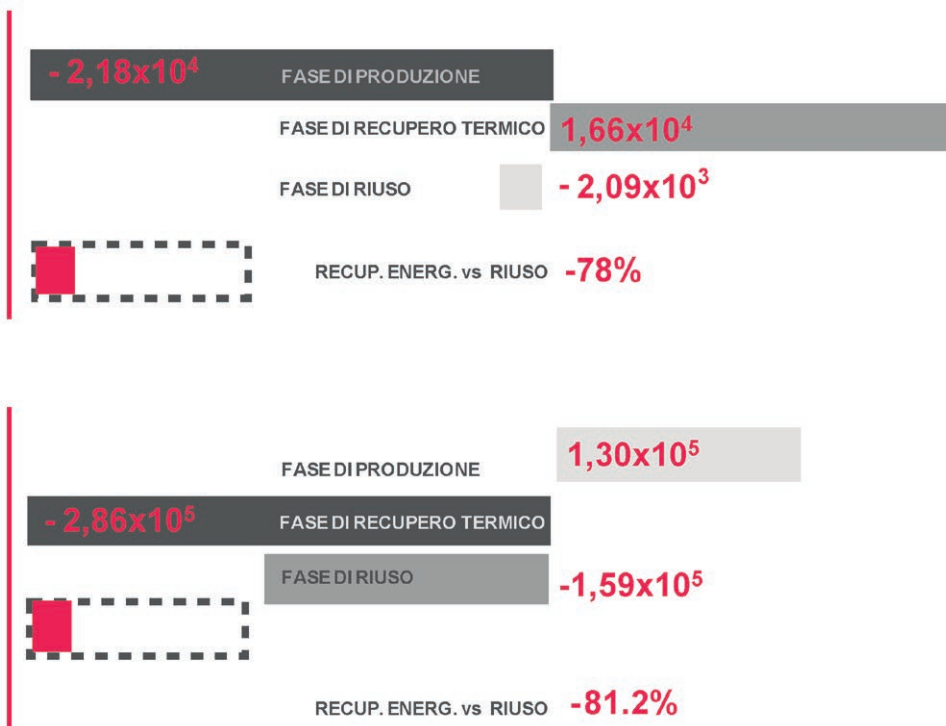
07 |




GLOBAL WARMING POTENTIAL
(kg CO₂ equivalent)


USO RISORSE ENERGETICHE
PRIMARIE NON RINNOVABILI
(MJ fossil fuel)

IMPATTI AMBIENTALI PER CA: 79% VOLUME UNITÀ ABITATIVA



Bozza, E., Cancino, E., Camerin, F., Cardellicchio, L., Incelli, F. and Rossetti, M. (2019), "Studio di unità abitative temporanee innovative in legno per accogliere gli anziani delle case di cura", in Baratta, A.F.L., Conti, C., Tatano V. (Eds.) *Abitare inclusivo. Il progetto per una vita autonoma e indipendente*, Anteferma Edizioni, Conegliano, pp. 226-235.

Camerin, F., Incelli, F. and Rossetti, M. (2020), "Confrontarsi con il tempo. Unità abitative temporanee in legno per anziani non autosufficienti", in *Techne*, Vol. 20, pp. 282-291.

Del Rosario P., Palumbo E. and Traverso M. (2021), "Environmental Product Declarations as Data Source for the Environmental Assessment of Buildings in the Context of Level(s) and DGNB: How Feasible Is Their Adoption?", in *Sustainability*, Vol. 13, n. 11, 6143.

Dodd, N., Cordella, M. and Donatello, S. (2020), "Level(s) - A common EU framework of core Sustainability indicators for office and residential buildings: Part 3: How to Make Performance Assessments Using Level(s)", EU Science Hub, European Commission.

mentioned, the first critical element is that at present, the lack of impact information beyond the production phase limits their use for building-related assessments. The other element concerns the near absence of alternative scenarios, especially on the end of life, within the same environmental labels, which otherwise could be an aid tool for the designer in the design process.

Despite the fact that the methodology used in this work shows some application limits since it is a specific case, it is, however, possible to state that, considering the source of data provided by producers through third-party certifications (EPDs), the results obtained can be considered highly realistic. It is, therefore, possible to affirm that this research, in general, confirms both the positive effects of a design attentive to the reuse of materials and components

in view of a circular economy, and the advantages of a dry construction of the architectural envelope.

In this context, it is, therefore, desirable in the future to have an increasing harmonisation and homogenisation of methodologies, also with reference to the European context, in order to expand the application of these techniques to an increasingly wide range of building types.

- Finch, G., Marriage, G., Pelosi, A. and Gjerde, M. (2021), "Building envelope systems for the circular economy; Evaluation parameters, current performance and key challenges", *Sustainable Cities and Society*, Vol. 64, 102561.
- Fufa, S.M., Skaar, C., Gradeci, K. and Labonnote, N. (2018) "Assessment of greenhouse gas emissions of ventilated timber wall constructions based on parametric LCA", *J. Clean. Prod.*, Vol. 197, pp. 34-46.
- Gantner, J., Lenz, K., Horn, R., Von Both, P. and Ebertshauser, S. (2018), "Ökobau.dat 3.0 – Quo Vadis?", in *Buildings*, Vol. 8, 129.
- Hollberg, A. (2016), "Parametric Life Cycle Assessment: Introducing a time-efficient method for environmental building design optimization", available at: <https://doi.org/10.25643/bauhaus-universitaet.3800> (accessed 7 March 2021).
- Minkov, N., Schneider, L., Lehmann, A. and Finkbeiner, M. (2015), "Type III Environmental Declaration Programmes and harmonization of product category rules: status quo and practical challenges". *J. Clean. Prod.*, Vol. 94, 235-246.
- Palumbo, E. and Thiebat, F. (2020), "Profilo ambientale nel ciclo di vita", in Rossetti, M., and Pepe, D. (Eds.), *Gli isolanti termici in edilizia*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna, Rimini, Italia.
- Passer, A., Lasvaux, S., Allacker, De Lathauwer, D., Spirinckh, C., Wittstock, B., Kellenberger, D., Gschosser, F., Wall, J. and Wallbaum, H. (2015), "Environmental product declarations entering the building sector: critical reflections based on 5 to 10 years experience in different European countries", *Int. J. Life Cycle Assess.*, Vol. 20, n. 9, pp. 1199-1212.
- Piccardo, C., Dodoo, A., Gustavsson, L. and Tettey, U.Y.A. (2019), "Comparative Life-Cycle Analysis of Building Materials for the Thermal Upgrade of an Existing Building", in *Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 225 012044.
- Pomponi, F. and Moncaster, A. (2017), "Circular economy for the built environment: A research framework", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 143, pp. 710-718.
- Roberts M., Allen S. and Coley D. (2020), "Life cycle assessment in the building design process – A systematic literature review", *Building and Environment*, Vol. 185, 107274.
- Sanchez, B., Rausch, C. and Haas, C. (2019), "Deconstruction programming for adaptive reuse of buildings", *Automation in Construction*, Vol. 107, 102921.
- Thormark, C. (2006), "The effect of material choice on the total energy need and re cycling potential of a building", *Building and environment*, Vol. 41, pp. 1019-1026.
- United Nations (2018), "Sustainable Development Goals. Sustainable development knowledge platform", available at: <https://sdgs.un.org/> (accessed 7 March 2021).