

Cinzia Talamo, Monica Lavagna, Carol Monticelli, Alessandra Zanelli, Andrea Campioli,  
Dipartimento di Architettura, ambiente costruito e ingegneria delle costruzioni, Politecnico di Milano, Italia

cinzia.talamo@polimi.it  
monica.lavagna@polimi.it  
carol.monticelli@polimi.it  
alessandra.zanelli@polimi.it  
andrea.campioli@polimi.it

**Abstract.** Questo saggio approfondisce il tema del riuso e del *remanufacturing* quali strategie di circolarità e mantenimento del valore, basate sul prolungamento della vita dei manufatti attraverso cicli ripetuti di utilizzo. Si indagano le barriere che ostacolano la diffusione delle logiche del riuso e del *remanufacturing* nel settore delle costruzioni e vengono individuate le leve determinanti per la loro affermazione. L'attenzione è concentrata sui componenti provenienti da interventi di rinnovo di edifici del terziario (uffici, accoglienza, spazi espositivi, negozi), caratterizzati da cicli brevi di uso, ritenuti tra i più adatti a innovative sperimentazioni di *remanufacturing* in quanto spesso caratterizzati da alto valore economico ed elevate prestazioni residue in fase di sostituzione.

**Parole chiave:** Economia circolare rigenerativa; Settore delle costruzioni; *Remanufacturing*; riuso; Gestione del ciclo di vita; Terziario.

## Verso un'economia circolare

La transizione del settore delle costruzioni verso un'economia circolare offre oggi l'opportunità

di ripensare i processi di trasformazione dell'ambiente costruito, con implicazioni di carattere sociale, economico e ambientale, quali la creazione di nuovi e più qualificati posti di lavoro, il contenimento dei costi economici e ambientali correlati all'estrazione di materie prime sempre più rare, ai consumi energetici e alle emissioni nell'ambiente.

Vari studi e ricerche (Ghaffar *et al.*, 2020; Giorgi *et al.*, 2017) evidenziano come la strategia circolare più diffusa nel settore delle costruzioni sia ancora il riciclo applicato a materiali e prodotti secondo le logiche del down-cycling in quanto, a differenza di altri settori industriali, la gran parte dei componenti edilizi posseggono a fine vita prestazioni e valore economico residuali piuttosto contenuti.

Il presente saggio pone l'attenzione sulla necessità di sperimentare percorsi virtuosi di circolarità delle costruzioni attraverso

Remanufacturing:  
strategies to enhance  
the life extension of  
short-cycle building  
products

**Abstract.** This essay explores the issues of reuse and remanufacturing in the construction sector, considered to be key strategies for circularity and value conservation, based on the extension of product life through multiple use cycles. The main levers for boosting the logic of reuse and remanufacturing are investigated, as well as the major barriers that hinder their spread. In particular, the focus is on the components coming from the renovation of tertiary buildings (offices, accommodation, exhibitions, retail), characterised by short use cycles. These components are the most suitable for innovative remanufacturing experiments, since they are distinguished by high economic value and high residual performance after the replacement process.

**Keywords:** Regenerative circular economy; Construction sector; Remanufacturing; Reuse; Life cycle management; Tertiary.

il *remanufacturing* e il riuso, che si configurano come strategie vincenti e a basso impatto ambientale per lo sviluppo di una economia circolare rigenerativa. Tipicamente tali strategie trovano applicazione in settori connotati da cicli di vita brevi, ma appaiono promettenti anche per l'edilizia per il terziario (uffici, strutture per l'accoglienza, spazi espositivi, negozi) e in particolare ogniqualvolta emergano cicli d'uso degli artefatti molto brevi, in cui l'obsolescenza è per la maggior parte estetica o funzionale, rimanendo invece ancora elevati le prestazioni tecniche e il valore economico dei componenti. Nell'edilizia per il terziario, infatti, nonostante l'edificio sia pur sempre connotato dal carattere di "unicità" tipica dei processi edilizi che si confrontano con un contesto geografico, economico e culturale specifico, gli elementi tecnologici presentano un maggior livello di omologazione rispetto ad altri ambiti di impiego, delineando pertanto un campo di sperimentazione privilegiato per l'applicazione delle logiche di sostituzione e riuso.

## Remanufacturing e riuso: dai settori industriali avanzati al settore delle costruzioni

Tra le possibili strategie attuabili in una prospettiva di economia circolare il *remanufacturing*, specie se si considera il settore edilizio, è più di altri l'ambito che necessita ancora di approfondimenti interpretativi e d'indagini tese a comprendere i più promettenti modelli organizzativi e di business e a focalizzare barriere e leve per la diffusione delle sue pratiche.

## Towards circular economy

The transition of the construction sector towards the circular economy currently represents an opportunity to rethink the processes of transformation of the built environment. This entails social, economic and environmental implications, such as the creation of new and more skilled jobs, the reduction of economic and environmental costs related to the extraction of increasingly rare raw materials, energy consumptions and emissions into the environment. Various research (Ghaffar *et al.*, 2020; Giorgi *et al.*, 2017) highlights that the downcycling of materials and products is the most widespread circular strategy within the construction sector. This is largely due to the fact that, unlike other industrial sectors, most of the building elements have relatively low performance levels and residual economic value at the end-of-life stage.

The present essay focuses on the need to experiment virtuous circular paths for building elements through remanufacturing and reuse, considered to be winning and low environmental impact strategies in the perspective of a regenerative circular economy. Typically, these strategies are applied to industrial assets which connote a short life and high residual value. Transferring this logic to the building sector, these strategies appear particularly applicable and promising for tertiary building (offices, reception facilities, exhibition areas, commercial spaces, temporary shops) and, in general, whenever there is the presence of artefacts characterised by rapid obsolescence (basically aesthetic and/or functional) after short periods of use with the permanence of both technical performances and economic value. Tertiary real estate appears to be a privileged field of experimentation for

01 | Ciclo di vita del prodotto (BS 8887:2009) (il livello di garanzia confrontato con il prodotto originario è riportato in parentesi), rielaborazione degli autori  
*Product life cycle (BS 8887 2: 2009) (the warranty level compared with the original product is reported in brackets), reworked by the authors*

02 | Re-azioni e prolungamento del ciclo di vita dei prodotti, rielaborazione degli autori  
*Re-actions and extension of the life cycle of products, picture reworked by the authors*

Rispetto a molteplici contributi di letteratura, che esprimono posizioni diverse rispetto alla relazione tra riuso e *remanufacturing* (Seitz and Wells, 2006; Parkinson and Thompson, 2003; Gharfalkar *et al.*, 2016), la norma ISO 8887-2:2009 fornisce una visione sinottica e una descrizione, valide per tutti gli ambiti produttivi, delle tre “re-azioni” che è possibile adottare: *remanufacturing*, *ricondizionamento*, *riuso* (Fig. 1).

Tali strategie possono interessare prodotti e sistemi più o meno complessi, i quali, grazie a operazioni su alcune o tutte le loro parti componenti, possono vedere il prolungamento della loro vita utile (Fig. 2) attraverso molteplici cicli di utilizzo, a fronte di limitati impieghi di materiale, di energia e minima produzione di rifiuti.

Confrontando le definizioni che la norma propone (Tab. 1), è possibile individuare una gerarchia che vede all’apice il *remanufacturing* e che si articola nella comparazione, in relazione al livello delle prestazioni fornite e al tipo di garanzie offerte, tra il prodotto, sottoposto alle possibili “re-azioni”, e il prodotto originario. Alle tre “re-azioni”, che riguardano l’allungamento del ciclo di vita di un prodotto, che non muta la sua funzione iniziale, si aggiunge la *rifunzionalizzazione*, che vede il cambiamento di funzione dell’intero sistema o di alcune sue componenti.

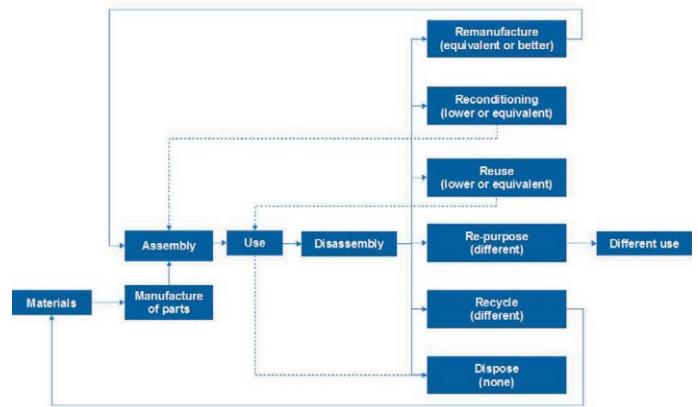
Condizioni diverse (natura del prodotto, campi di utilizzo, mercato, filiere produttive e commerciali, propensioni dei consumatori, ecc.) possono far propendere per una piuttosto che per le altre, tuttavia queste strategie dovrebbero essere considerate unitariamente entro una generale finalità di allungamento della vita e di mantenimento del valore dei prodotti. In questo senso è interessante il concetto olistico di *Resource Conservative Manufacturing* (ResCoM), introdotto da alcuni autori (Asif *et al.*, 2012),

the application of the logic of substitution and reuse. In fact, although the tertiary buildings are characterised by the “uniqueness” typical of the building assets - related to the specificity of the specific geographical, economic and cultural context - the technological elements have a higher level of homologation than other construction sectors.

**Remanufacturing and reuse: from advanced industrial fields to the construction sector**

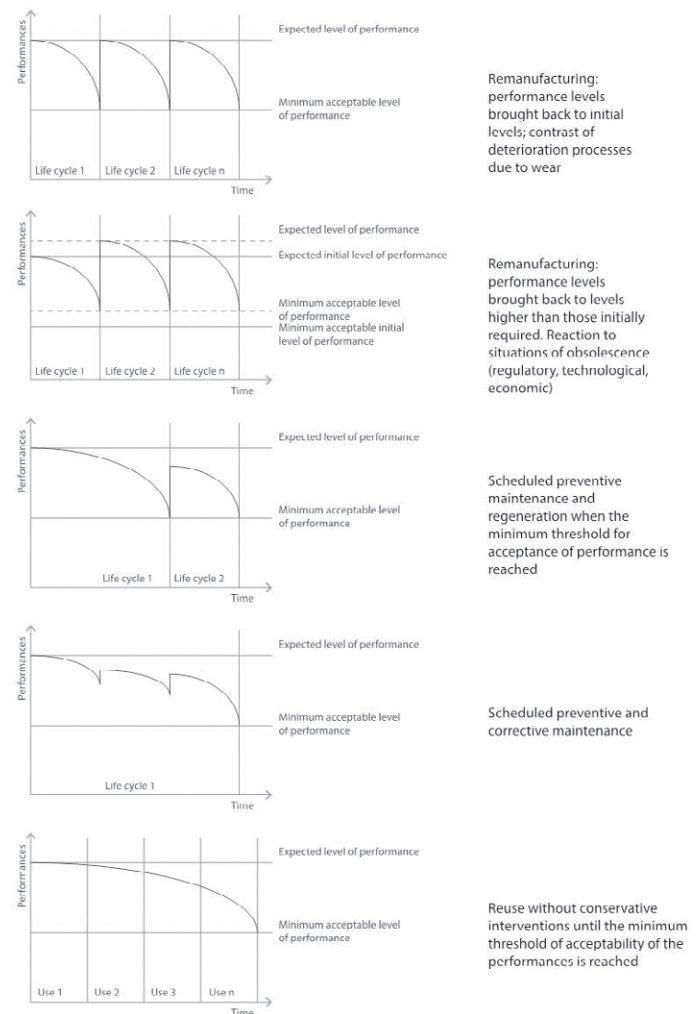
With regard to the construction sector, among the possible strategies that can be implemented in a circular economy perspective, *remanufacturing* is the area that, more than others, still needs interpretative insights and investigations in order to define the most promising organisational solutions and business models and to identify barriers and levers for its spread.

By comparing multiple contributions of literature, it is possible to highlight different points of view about the relationship between reuse and *remanufacturing* (Seitz and Wells, 2006; Parkinson and Thompson, 2003; Gharfalkar *et al.*, 2016). The ISO 8887-2:2009 standard provides a synoptic vision and a description, valid for all productive fields, of the three “re-actions” that it is possible to adopt: *remanufacturing*, *reconditioning*, *reuse* (Fig. 1). Such strategies may be applied to more or less complex products and systems, whose useful life can be extended (Fig. 2) through operations on some or all of their parts. These operations allow multiple cycles of use, with limited consumption of material and energy and minimal waste generation. The standard proposes (Tab. 1) a hierarchy of possible “re-actions”, defined according to the comparison, in relation to the level of the performances



che rimanda alla conservazione delle risorse attraverso molteplici cicli di vita dei prodotti definiti rispetto a diversi possibili modelli di relazioni tra i soggetti della produzione, della manutenzione, del *remanufacturing*, della commercializzazione e dell’uso.

Le pratiche del ResCoM, sono da qualche tempo diffuse in molteplici settori industriali (aerospazio, navale, automobilistico, ferroviario, elettronica, medicale, arredo, attrezzature pesanti e macchinari) (Butzer and Schötz, 2016). L’industria del *remanufacturing* rappresenta oggi circa il 2% of settore



Tab. 01 | Le azioni per l'estensione del ciclo di vita di prodotti secondo la norma BS 88872:2009, rielaborazione degli autori  
 The actions for the extension of the product life cycle according to the BS 8887-2:2009 standard, table reworked by the authors

manifatturiero europeo con un fatturato di circa 30 bilioni di euro (con una preponderanza dei settori aerospaziale al 42% e dell'automobilistico al 25%), con una previsione di crescita del 50% entro il 2030 (Parker *et al.*, 2015). La rete *European Remanufacturing Network* (ERN), finanziata dal programma europeo H2020, e la via via più corposa letteratura scientifica sul tema testimoniano il crescente interesse dei tradizionali settori manifatturieri ed evidenziano come il *remanufacturing* stia sempre di più acquisendo connotati distintivi e autonomi con lo sviluppo di specifici approcci organizzativi e commerciali e la sperimentazione di modelli originali di *Closed-Loop Supply Chain* (CLSC), intesi come processi di progettazione e controllo di un sistema finalizzati a massimizzare la creazione di valore lungo il ciclo di vita di un prodotto, con recupero dinamico di valore, da diverse tipologie e volumi di ritorno (Tonissi Moroni-Cutovoi, 2021).

**Remanufacturing e riuso quali driver di innovazione negli interventi di rinnovo del terziario**

La progressiva maturazione delle esperienze di *remanufacturing*, che si sono innestate con successo in alcuni settori manifatturieri, è sicuramente dovuta

a condizioni insite nella natura di alcuni beni di provenienza industriale, quale l'elevato valore economico dei prodotti, una progettazione condotta secondo principi di modularità e disassemblabilità, processi produttivi standardizzati, profili di utilizzo chiaramente definiti, previsioni attendibili di durabilità e di affidabilità dei sistemi e delle loro componenti, filiere produttive e commerciali identificate, pratiche di manutenzione programmata consolidate e presenza di fornitori di servizi manutentivi nella

provided and the type of guarantees offered, between the original product and the one subjected to operations. Remanufacture (equivalent or better) is at the top of the hierarchy, followed by recondition (lower or equivalent) and reuse (lower or equivalent). These three "re-actions" deal with the extension of the life cycle of a product whose original function does not change. Besides these three "re-actions", the hierarchy also includes repurpose as an action dealing with products whose function may be completely or partially changed. These strategies should be considered jointly in relation to the general purpose of extending the life-span and maintaining the value of products, although different conditions (characteristics of the product, fields of use, market, productive and commercial aspects, consumer propensities, etc.) may lead to one rather than the other.

In this sense, it is interesting to consider the holistic concept of Resource Conservative Manufacturing (ResCoM) introduced by some authors (Asif *et al.*, 2012), which refers to the conservation of resources through multiple life cycles of products, obtained through the application of various models of relationship between manufacturing, maintenance and use operators. ResCoM practices are increasingly widespread in many industrial sectors (aerospace, naval, automotive, railway, electronics, medical, furniture, heavy equipment and machinery) (Butzer and Schötz, 2016). The remanufacturing industry today represents about 2% of the European manufacturing sector with a revenue of about 30 billion euros (with a preponderance of aerospace at 42% and automotive at 25%), with a growth forecast of 50% by 2030 (Parker *et al.*, 2015).

|                        |  |
|------------------------|--|
| <b>Remanufacturing</b> | <p><b>To return a used product to at least its original performance with a warranty equivalent or better than the one of the newly manufactured product.</b></p> <p><i>NOTE</i><br/>                 From a customer viewpoint, the remanufactured product can be considered to be the same as the new product.<br/>                 With respect to remanufacture:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- manufacturing effort involves dismantling the product, the restoration and replacement of components and testing of the individual parts and whole product to ensure that it is within its original design specifications;</li> <li>- performance after remanufacture is expected to be at least to the original performance specification; and any subsequent warranty is generally at least equal to that of new product.</li> </ul>  |
| <b>Recondition</b>     | <p><b>To return a used product to a satisfactory working condition by rebuilding or repairing major components closed to failure, even where there are no reported or apparent faults in those components.</b></p> <p><i>NOTE</i><br/>                 With respect to reconditioning:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- manufacturing effort involves the replacement of worn or broken parts, generally less extensive than required to remanufacture, but more than necessary for repair;</li> <li>- performance after reconditioning is expected to perform its intended role but the overall performance is likely to be inferior to that of the original model; and any subsequent warranty is generally less than new or a remanufactured product but the warranty is likely to cover the whole product (unlike repair);</li> <li>- reconditioned products do not require a warranty equivalent to that of a newly manufactured equivalent.</li> </ul> |
| <b>Reuse</b>           | <p><b>Operation by which a product or its components at the end-of-life are put back into use for the same purpose.</b></p>  |
| <b>Repurpose</b>       | <p><b>To use a product or its components with a role that it was not originally designed to perform.</b></p> <p><i>NOTE</i><br/>                 This action deals specifically with products and assemblies and not materials, which falls under recycling. Augmentation of the product may be required to fulfil its new role.</p>   |

The European Remanufacturing Network (ERN), funded by the European H2020 programme, and the more and more extensive scientific literature on this subject demonstrate the growing interest of traditional manufacturing sectors and highlight that remanufacturing is increasingly acquiring distinctive and autonomous features connected to the development of specific organisational and commercial approaches. In parallel, these approaches are supported by original models of Closed-Loop Supply Chain (CLSC), understood as processes of planning and control of a system finalised to maximise the creation of value along the life cycle of a product, with the dynamic recovery of value from various types and volumes (Tonissi Moroni-Cutovoi, 2021).

**Remanufacturing and reuse as innovation drivers in the renewal of the tertiary sector**  
 The progressive development of remanufacturing experiences, which have been successfully inserted into some manufacturing sectors, is certainly due to conditions inherent in the nature of some industrial goods, such as the high economic value of the products, a design conducted according to modularity principles and disassembly, standardised production processes, clearly defined usage profiles, reliable forecasts of durability and reliability of systems and their components, identified production and commercial chains, consolidated scheduled maintenance practices and presence of maintenance service providers in the

supply chain, consolidata esperienza nella gestione del rapporto prodotto-servizio, ecc.

Tutte le esperienze di *remanufacturing* negli altri settori si applicano a prodotti caratterizzati da cicli di vita brevi, che consentono di organizzare una catena di relazioni tra gli operatori dell'intero processo di produzione-uso-rigenerazione (Atta *et al.*, 2020).

Nel settore edilizio, l'ambito di applicazione che più si avvicina a questo tipo di caratteristiche è il settore terziario (uffici pubblici e privati, strutture per l'accoglienza, strutture commerciali, spazi espositivi, negozi), caratterizzato dalla forte presenza di componenti edilizi di provenienza industriale e di impianti ad alto valore economico e prestazionale, spesso soggetti a sostituzioni dopo cicli di utilizzo brevi (10-15 anni) (Peters *et al.*, 2017), a causa del frequente rinnovo del *fit-out* (per motivi funzionali, di layout spaziale o anche solo di immagine), tipicamente attuato in tali contesti.

I frequenti rinnovi sono anche conseguenza di recenti cambiamenti nei modelli d'uso che portano alla fruizione degli edifici in termini di servizio (*hoteling*, *temporary shops*, *coworking* e diverse declinazioni di *sharing*) determinando un alto grado di temporaneità di utilizzo degli spazi. A questo si affianca l'abbreviazione dei contratti di locazione, la trasformazione del mercato immobiliare e dei modelli di commercio e non da ultima la necessità di trasformazioni per riasseti organizzativi e spaziali all'uscita dall'emergenza pandemica.

Questi interventi di rinnovo comportano nella prassi attuale la demolizione e lo smaltimento in discarica di componenti (finiture, partizioni interne, pavimentazioni, controsoffitti, allestimenti, impianti e arredi) ancora in buono stato, che potrebbero

supply chain, consolidated experience in managing the "product-service" relationship, etc.

All remanufacturing experiences in other sectors apply to products characterised by short life cycles, which make it possible to organise a chain of relationships between the operators of the entire production-use-regeneration process (Atta *et al.*, 2020).

In the construction sector, the field of application that comes closest to this type of characteristic is the tertiary sector (public and private offices, accommodation facilities, commercial structures, exhibition spaces, shops), characterised by the strong presence of building components of industrial origin and of plants with high economic and performance value, often subject to replacements after short cycles of use (10-15 years) (Peters *et al.*, 2017) due to the frequent renewal of the fit-out (for functional reasons, spatial

layout or corporate image) typically implemented in such contexts.

Frequent renewals are also a consequence of recent changes in use models that lead to the use of buildings in terms of service (*hotelling*, *temporary shops*, *co-working* and various forms of *sharing*) resulting in a high degree of temporary use of the spaces. This is accompanied by the abbreviation of leases, the transformation of the real estate market and business models and, last but not least, the need for transformations for organisational and spatial rearrangement upon exiting the pandemic emergency.

In current practice, these renovations involve the demolition and disposal in landfills of components (finishes, internal partitions, flooring, false ceilings, fittings, systems and furnishings) which are still in good condition and which could instead be subject to reuse or remanufacturing. These are compo-

invece essere oggetto di riuso o di *remanufacturing*. Si tratta di componenti caratterizzati da modalità di assemblaggio tra le parti che ne garantiscono l'integrità in fase di smontaggio e da una durabilità superiore al ciclo di uso, con prestazioni residue in genere elevate al momento della dismissione.

Per innescare un'effettiva transizione verso la circolarità dei flussi occorre un cambiamento nei rapporti di filiera e nelle relazioni tra operatori, attivabile non solo tramite la leva costituita dalla sensibilizzazione verso i problemi ambientali, ma, soprattutto in questo momento, tramite la leva economica. È necessario dotare gli operatori di strumenti e riferimenti capaci di dimostrare come i vantaggi ambientali di riduzione dei consumi di risorse si possano trasformare in vantaggi economici in una logica *win-win* per i diversi soggetti coinvolti in possibili filiere e reti di *remanufacturing* (utenti, produttori, rilavoratori, ecc.).

Per poter avviare la creazione di filiere di *remanufacturing* e riuso occorre mettere in rete, creando un filo rosso legato all'intero ciclo di vita del componente, soggetti che attualmente gestiscono in modo separato segmenti di processo (*take-make-dispose*). I modelli organizzativi possono essere diversi: lo stesso produttore può rimanere regista di filiera, creando un business parallelo sui suoi componenti; altri operatori possono attivare una nuova filiera instaurando una relazione stabile con il produttore originario; altri ancora possono gestire una sorta di "affitto" dei componenti edilizi che poi, se correttamente smontati, possono essere riutilizzati in altri edifici. In generale, se i componenti, attraverso azioni di *remanufacturing*, riescono a mantenere una qualità analoga o superiore a quella del prodotto originario, si può ipotizzare un loro uso nello stesso mercato di partenza (con un mantenimento del valore); se, applicando azioni di ricon-

nents characterised by methods of assembly between the parts that guarantee their integrity during disassembly and a durability greater than the cycle of use, with generally high residual performance upon disposal.

To trigger an effective transition towards the circularity of flows, a change in the supply chain relationships and in the relationships between operators is needed, which can be activated not only through the lever constituted by raising awareness of environmental problems, but, especially at this time, through the economic lever. It is necessary to equip operators with tools and references capable of demonstrating how the environmental advantages of reducing the consumption of resources can be transformed into economic advantages in a win-win logic for the various subjects involved in possible supply chains and remanufacturing networks (users, producers, reworkers, etc.).

In order to start the creation of remanufacturing and reuse chains, it is necessary to network, creating a red thread linked to the entire life cycle of the component and to the subjects that currently manage process segments separately (*take-make-dispose*). Organisational models can be of different types: the same producer can remain the director of the supply chain, creating a parallel business for his/her components; other operators can activate a new supply chain by establishing a stable relationship with the original producer; other operators can manage a sort of "renting" of building components which, if properly disassembled, can then be reused in other buildings. In general, if, through remanufacturing actions, the components are managed in order to maintain a quality similar or superior to that of the original product, it can be assumed that they will be used in the same start-

dizionamento (Fig. 1) subiscono un *downgrade* prestazionale e di valore, possono essere avviati a mercati secondari. Al fine di allungare la vita utile dei materiali e dei componenti edilizi sui componenti edilizi è possibile applicare, in relazione alle diverse situazioni di contesto, un mix di re-azioni (Fig. 2).

### Edifici terziari come “banche” di componenti

Molti studi e ricerche sull'applicazione delle logiche della *Circular Economy* al settore delle costruzioni pongono al centro l'insieme delle azioni e delle tecnologie volte al recupero di materiali ed energia da qualsiasi tipo di stock antropogenico immagazzinato negli oggetti, negli edifici e nelle strutture: il cosiddetto *Urban Mining*. Questo tema assume connotati particolari quando l'obiettivo dell'azione non è quello di ricavare dallo stock edilizio esistente materie prime seconde, ma piuttosto componenti, prolungandone la vita attraverso un processo di *remanufacturing* e riuso. In questa prospettiva gli edifici possono essere visti come “banche” di componenti, oltre che di materiali, come proposto dal progetto europeo *Building as Material Bank* (Peters *et al.*, 2017), che identifica nuove strategie e modelli di business per il prolungamento della vita utile dei componenti edilizi, mantenendone il valore nel tempo.

Seguendo tale approccio, emerge con evidenza il vantaggio ambientale del *remanufacturing* inteso come possibilità di estrarre componenti integri dagli edifici in trasformazione, soprattutto in quelle applicazioni di breve vita, alla cui conclusione i componenti edilizi sono caratterizzati da un consistente valore economico e prestazionale residuo.

Per veicolare il valore dei componenti dello stock edilizio sono nate iniziative di “censimento”, come la piattaforma Madaster,

ing market (with the maintenance of value); if by applying remanufacturing actions (Fig. 1) they suffer a performance and value downgrade, they can be sent to secondary markets. In order to extend the useful life of the building materials and components, a mix of reactions can be applied on the building components in relation to the different context situations (Fig. 2).

### Tertiary buildings as component “banks”

Many studies on the application of circular economy principles to the construction sector deal with actions and technologies aimed at recovering materials and energy from any type of anthropogenic stock stored in products, structures and buildings: the so-called urban mining. This topic turns out to be of particular interest when the action aims to obtain from the existing building stock not secondary raw

materials, but building components extending their life through remanufacturing and reuse processes. In this perspective, buildings can be seen as “banks” of components and materials, as proposed by the European project Building as Material Bank (Peters *et al.*, 2017), which identifies new strategies and business models for extending the service life of building components, maintaining their value over time.

The environmental advantage of remanufacturing emerges especially for short-term buildings, in which the components coming from the dismantling activities are characterised by high residual economic and functional value.

Some survey initiatives, such as the Madaster platform conceived by Turntoo (Rau, 2019), have been developed with the aim of creating an inventory of materials and components available within buildings, whose eco-

ideata da Turntoo (Rau, 2019), una sorta di catasto dei materiali e dei componenti presenti negli edifici, il cui valore economico viene aggiornato in relazione al mercato. Azioni simili contribuiscono ad aumentare la consapevolezza nei confronti del valore dei componenti dell'edificio nel tempo e dell'utilità, anche economica, di gestirne il fine vita nel senso di un loro reimpiego.

Nel caso specifico del settore terziario, la gestione degli edifici è in genere in capo a fornitori di servizi integrati (*facility management*). Tali operatori, gestendo grandi patrimoni immobiliari e dunque grandi quantità di componenti che devono essere riparati o dismessi in caso di rinnovo degli edifici, possono costituire un soggetto importante per l'attivazione di reti di *remanufacturing*, per esempio pensando a un potenziale smontaggio-*remanufacturing*-rimontaggio in altro contesto d'uso dei componenti. Per l'attivazione del processo vi sono alcune condizioni necessarie ancorché non sufficienti. Innanzitutto i sistemi costruttivi e i componenti devono poter essere smontati e separati senza essere danneggiati, per cui occorre applicare nella loro progettazione logiche di assemblaggio a secco e reversibilità costruttiva, che ne permettano il recupero delle parti. Secondariamente le informazioni tecniche relative ai componenti devono essere conservate nel tempo in modo da accompagnare il componente con le sue caratteristiche (*material passport*) comprensive anche degli eventuali interventi di manutenzione (per questo strumenti come il BIM possono essere utili quale base di raccolta e gestione delle informazioni nel tempo). Infine deve essere chiara la proprietà del componente, e dunque la responsabilità di chi se ne occupa nel tempo, possibilmente slegandola dall'utente finale e lasciandola in capo agli operatori della filiera produttiva

nomie value is updated in relation to the market. These initiatives contribute to increasing awareness of the value of building components over time and of the benefits (also economic) from the management of their end-of-life towards reuse.

In the case of tertiary sector, generally suppliers of integrated services (facility management) carry out the management of buildings. These operators manage large real estate assets and therefore huge quantities of components that must be repaired or disposed of in the event of building renovation. In this way, they can play a crucial role in activating remanufacturing networks, for example, by accounting potential disassembly-remanufacturing-reassembly of components in other application contexts.

However, it is worth mentioning that there are some necessary but insufficient conditions for activating the pro-

cess. First of all, the set of construction systems and components have to be disassembled and separated without being damaged, by designing them in the logic of dry assembly and constructive reversibility to enable the recovery of parts. Secondly, the technical information of components needs to be sustained over time in order to provide component specifications (material passport) including any maintenance operations (for such purposes, tools like BIM can be exploited for collecting and managing information over time). Finally, the ownership and thus responsibility of components must be clear, if necessary, releasing the property from the end users and leaving it to the operators of the production chain (extended producer responsibility, take-back), triggering new contractual forms between manufacturer, remanufacturer and user (product-service).

(*extended producer responsibility, take-back*), innescando nuove formule di relazione contrattuale tra produttore, remanufacturer e utente (prodotto-servizio).

### Barriere e leve

Nel settore delle costruzioni le esperienze di *remanufacturing* non hanno ancora assunto i connotati di una vera e propria filiera e si presentano come pratiche parziali, spesso concentrate in ambiti molto specifici (arredi e attrezzature per allestimenti), oppure come sperimentazioni o progetti-pilota (come per esempio il *Circl Pavilion* ad Amsterdam, nel quale alcuni componenti sono stati oggetti di tracciamento della provenienza e di riuso/*remanufacturing*).

Nonostante la diffusione delle strategie di economia circolare stia suscitando un crescente interesse degli operatori per il riuso e il *remanufacturing* dei componenti edilizi numerosi sono gli aspetti tecnici e organizzativi che stanno ritardando l'affermazione di queste azioni rispetto alla più semplice pratica del riciclo. Il principale ostacolo al riuso e al *remanufacturing* è la garanzia prestazionale che il "ri-lavoratore" deve ridare a un prodotto di cui non conosce il livello di degrado subito in uso; ri-caratterizzarne le prestazioni è un processo troppo costoso rispetto a produrre un nuovo componente (riciclato) che esce da un processo industriale di produzione controllato. Per superare quest'aspetto è importante, anche se non sempre sufficiente, la tracciabilità (*material passport*) delle caratteristiche del prodotto e delle azioni manutentive operate nel tempo.

Una seconda barriera è costituita dalla quantità non costante dei flussi di componenti da rigenerare, che ostacola l'attivazione di una filiera stabile, soprattutto per i componenti già in uso negli

### Barriers and levers

In the construction sector, remanufacturing experiences have not yet assumed the connotations of a real supply chain and are presented as partial practices, often concentrated in very specific areas (furnishings and equipment for setting up), or as experiments or pilot projects (such as, for example, the *Circl Pavilion* in Amsterdam, where some components have been traced about the origin and the reuse / remanufacturing).

Although the diffusion of circular economy strategies is arousing growing interest among operators for the reuse and remanufacturing of building components, there are many technical and organisational aspects which are delaying the market loyalty strategy of these actions compared to the simpler practice of recycling.

The main obstacle to reuse and remanufacturing is the performance

guarantee that the "reworker" must recertify a product about which he/she does not know the level of degradation suffered during use; re-defining and testing its performance is too expensive as a process compared to producing a new (recycled) component made from a controlled industrial production process. To overcome this aspect, the traceability (*material passport*) of the characteristics of the product and of the maintenance actions, carried out over time, is important, although not always sufficient.

A second barrier consists of a non-constant number of flows of components to be regenerated, which hinders the activation of a stable supply chain, especially for components already in use in buildings (which are not designed for disassembly and reuse). In this case, the flows are too different for the types of products and just as fragmented in relation to the individual re-

edifici (peraltro non progettati per il disassemblaggio e riuso). In questo caso i flussi sono troppo differenti per tipologie di prodotti e altrettanto frammentati in relazione ai singoli interventi di rinnovo. La conseguenza è operare sui componenti caso per caso non riuscendo in questo modo ad attivare vere e proprie filiere. L'attivazione di vere e proprie filiere industriali può trovare utili leve sia nella produzione di componenti progettati per essere smontati e rimanifatturati, sia nello sviluppo di nuovi modelli di business (prodotti-servizio) che prevedano il coinvolgimento del soggetto produttore/distributore del prodotto.

Nella direzione dei modelli innovativi di business il *leasing* di prodotti (rigenerati) si sta affermando in alcuni ambiti come modello vincente poiché capace di sgravare soprattutto i clienti aziendali da investimenti di capitale, soprattutto nel caso di beni a breve durata d'uso.

In ambito edilizio nuovi modelli di business, basati sui prodotti-servizio e sul *leasing* anziché sulla vendita dei prodotti, sono ancora poco applicati a causa di alcuni nodi critici riguardanti sia le relazioni di "responsabilità" tra soggetti produttori-installatori-utilizzatori-manutentori-smontatori, sia dell'apparato normativo che risulta ancora carente rispetto ai temi della certificazione dei prodotti, delle garanzie, della cessione della proprietà tra soggetti della possibile rete di *remanufacturing*.

Una terza barriera è di tipo tecnico, legata all'effettiva reversibilità delle soluzioni costruttive: pur essendo in atto processi di prefabbricazione spinta e di assemblaggio a secco, l'attenzione appare ancora concentrata maggiormente sull'assemblabilità al fine della riduzione dei tempi e dei costi di costruzione, piuttosto che sulla successiva possibilità di facile disassemblaggio dei componenti. Dare responsabilità ai produttori rispetto alla vita

newal interventions. The consequence is to operate the components case by case, thus failing to activate real supply chains. The activation of real industrial supply chains can find useful levers, both in the production of components designed to be disassembled and remade, and in the development of new business models (products-services) that envisage the involvement of the producer / distributor of the product.

In the pursuit of innovative business models, the leasing of (remanufactured) products is establishing itself in some areas as a winning model as it is capable of relieving corporate customers from capital investments, especially in the case of short-term assets.

In the construction sector, new business models, based on product-service and leasing rather than on the sale of products, are still rarely applied due to some critical issues concerning both the relationship of "responsibility"

between producers-installers-users-maintainers- dismantlers and the regulatory system which is still lacking with respect to the issues of product certification, guarantees and the transfer of ownership between subjects of the possible remanufacturing network. A third barrier is of a technical nature, linked to the effective reversibility of the construction solutions: despite the fact that processes of prefabrication and dry assembly are under way, attention still appears to be concentrated more on assembly in order to reduce the time and cost of construction, rather than on the subsequent possibility of easy disassembly of the components. Giving responsibility to producers with respect to the life of the product (*extended producer responsibility*) is certainly a way to induce a greater in-depth study of the issues and practices of design for disassembly. A further barrier to the affirmation of

del prodotto (*extended producer responsibility*) è sicuramente un modo per indurre un maggiore approfondimento delle tematiche e delle pratiche della progettazione per il disassemblaggio. Un'ulteriore barriera all'affermazione del *remanufacturing* in ambito edilizio è costituita dalla difficoltà attuale di individuare figure intermedie capaci di agire da tramite tra gli operatori che si occupano del disassemblaggio di parti dell'edificio e il mercato potenziale di prodotti rimanufatturati: una delle condizioni per la creazione di possibili nuove reti di *remanufacturing* è sicuramente la formazione di nuove figure di interfaccia tra i molti soggetti del processo circolare (operatori della produzione, dell'utilizzo, della dismissione, della rimanifattura, del mercato dei prodotti revisionati).

Esiste infine una barriera culturale: la domanda di mercato del prodotto di seconda mano è molto variabile e sicuramente il potenziale mercato richiede azioni di sensibilizzazione, basati su alcuni punti chiave, come per esempio:

- per l'offerta, la riduzione dei costi di produzione attraverso il riutilizzo o la rigenerazione di materiali e prodotti, le nuove opportunità di business legati al noleggio anziché alla vendita;
- per la domanda, la riduzione di costi legati all'"usa e getta" di componenti edilizi, grazie all'accesso temporaneo (*leasing*) a *fit-out* personalizzabili.

### Progettazione del prodotto: *design for re-manufacturing*

La concezione del prodotto gioca un ruolo estremamente importante nella possibilità di attivare filiere di *remanufacturing*.

Occorre modificare l'approccio al progetto del componente e del relativo sistema edilizio. Mentre il *Design for Manufacturing and*

*remanufacturing* in the building sector is the current difficulty in identifying intermediate figures capable of acting as an intermediary between the operators who deal with the disassembly of parts of the building and the potential market for remanufactured products: one of the conditions for the creation of possible new remanufacturing networks is certainly the formation of new interface figures between the many subjects of the circular process (operators in the production, use, disposal, remanufacturing, market of overhauled products).

Finally, there is a cultural barrier: the market demand for second-hand products is highly variable and the potential market certainly requires awareness-raising actions, based on some key points, such as:

- for the offer: the reduction of production costs through the reuse or regeneration of materials and prod-

ucts, new business opportunities related to rental rather than sale;

- for the demand: the reduction of costs related to the "disposable" building components, thanks to temporary access (*leasing*) to customisable fit-outs.

#### Product design: *design for remanufacturing*

The conception of the product plays an extremely important role in the possible activation of remanufacturing chains. It is necessary to change the approach to the design of the component and the related building system. While *Design for Manufacturing and Assembly* (DfMA) (Wasim *et al.*, 2020), recently adopted by construction companies for off-site prefabrication of building components, focuses on ease of manufacture and efficiency of assembly, the *Design for Remanufacturing* (DfRem) is a multiscalar and multidisciplinary approach to design

*Assembly* (DfMA) (Wasim *et al.*, 2020), recentemente adottato dalle imprese edili per la prefabbricazione off-site di componenti da costruzione, si concentra sulla facilità di produzione e sull'efficienza dell'assemblaggio, il *Design for Re-manufacturing* (DfRem) è un approccio, multiscalar e multidisciplinare alla progettazione che pone questioni nuove relativamente ai metodi e agli strumenti per una corretta configurazione dei prodotti industriali in vista del potenziale disassemblaggio, risistemazione e futuro riutilizzo (Yang *et al.*, 2014).

Per applicare il DfRem nella progettazione edilizia è necessario sviluppare anche approfondite conoscenze delle casistiche e dei tassi di guasto, la previsione delle durate di vita dei componenti edilizi e delle loro parti costitutive, l'assunzione dei requisiti di manutenibilità, isolabilità, reversibilità e intercambiabilità. Le pratiche del riuso e del *remanufacturing* implicano innanzitutto che l'azione di disassemblaggio preservi l'integrità del componente, e più a monte, che la progettazione si ispiri a principi di modularità e mono-materialità per quanto possibile, e infine che la definizione degli agganci tra le parti d'opera sia orientata a privilegiare l'uso di dispositivi meccanici e di sigillatura per pressione e, in generale, tecniche costruttive a secco (Vezzoli and Manzini, 2008). Un avanzamento significativo in questa direzione è costituito dalla emanazione della norma *Sustainability in buildings and civil engineering works - Design for disassembly and adaptability - Principles, requirements and guidance* che inquadra il *Design for Disassembly* come pratica virtuosa per la sostenibilità della filiera delle costruzioni (ISO 20887:2020) aprendo, a monte dei processi realizzativi, a nuove reti di relazioni tra progettisti, produttori, fornitori di servizi di *facility management* integrati, operatori specializzati nel *remanufacturing*.

that poses new questions regarding the methods and tools for the correct configuration of industrial products in view of the potential disassembly, rearrangement and future reuse (Yang *et al.*, 2014).

To apply DfRem in building design, it is also necessary to develop in-depth knowledge of the cases and failure rates, the prediction of the lifespans of building components and their constituent parts, the assumption of maintainability, isolation, reversibility and interchange ability requirements. The practices of reuse and remanufacturing imply first of all that the disassembly action preserves the integrity of the component, and further upstream, that the design is inspired by the principles of modularity and mono-materiality as much as possible, and finally that the definition of the connections between the parts of the work is oriented towards favouring the use of mechanical

and pressure-sealing devices and, in general, dry construction techniques (Vezzoli, Manzini, 2008). A significant advance in this direction is constituted by the issue of the *Sustainability in buildings and civil engineering works - Design for disassembly and adaptability - Principles, requirements and guidance* standard which frames Design for Disassembly as a virtuous practice for the sustainability of the construction supply chain (ISO 20887: 2020) opening up, upstream of the construction processes, to new networks of relationships between designers, manufacturers, suppliers of integrated facility management services and operators specialised in remanufacturing.

#### Conclusions

The articulated requirement framework outlined by the recent building renovation policies (renovation wave) and by the affirmation of the logic of

## Conclusioni

L'articolato quadro esigenziale delineato dalle recenti politiche di riqualificazione del costruito (*renovation wave*) e dall'affermazione delle logiche dell'economia circolare impongono al settore delle costruzioni l'aggiornamento dei propri assetti organizzativi, delle strategie, dei metodi e degli strumenti: il riferimento a soluzioni costruttive industrializzate evolute e la pervasività delle tecnologie di comunicazione e informazione (industria 4.0) finalizzate al controllo dei processi di progettazione e gestione (BIM) e al monitoraggio e automazione degli edifici (IoT) costituiscono uno scenario ineludibile.

All'interno di questo quadro si rende necessario un ripensamento del costruito e del costruire, che prelude a rinnovati modelli di gestione della fase d'uso e di fine vita legati all'aggiornabilità delle parti dell'edificio e ai processi di *remanufacturing* per il riuso dei componenti.

Occorre altresì assicurarsi che i percorsi di circolarità basati sul *remanufacturing* delle parti d'opera a ciclo di vita breve siano realmente sostenibili per l'ambiente e non determinino piuttosto una più rapida obsolescenza funzionale degli edifici, assecondando ancora una volta una logica consumistica che, per quanto garantisca la circolarità dei flussi materici, rischia di accrescere i consumi energetici e le emissioni nell'ambiente. Al fine di una visione completa delle effettive implicazioni dei processi circolari i nuovi approcci orientati al riuso e al *remanufacturing* dovranno quindi essere accompagnati dalla verifica degli effetti ambientali nel ciclo di vita tramite valutazioni *Life Cycle* (LCA, LCC, SLCA).

the circular economy requires the construction sector to update its organisational structures, strategies, methods and tools: reference to advanced industrialised construction solutions and the pervasiveness of communication and information technologies (industry 4.0) aimed at controlling design and management processes (BIM) and the monitoring and automation of buildings (IoT) constitute an unavoidable scenario.

Within this framework, a rethinking of buildings and construction is necessary, which is a prelude to renewed management models of the use and end-of-life phases linked to the upgradeability of the building parts and to the remanufacturing processes for reuse of the components.

It is also necessary to ensure that the circularity paths based on the remanufacturing of short-life work parts are truly sustainable for the environment

and do not rather lead to a more rapid functional obsolescence of buildings, once again supporting a consumerist logic which, for the extent to which the circularity of material flows guarantees, risks increasing energy consumption and emissions into the environment. In order to have a complete view of the effective implications of circular processes, the new approaches oriented to reuse and remanufacturing must, therefore, be accompanied by the verification of the environmental effects in the life cycle through Life Cycle assessments (LCA, LCC, SLCA).

## REFERENCES

- Asif, F.M., Bianchi, C., Rashid, A. and Nicolescu, C. M. (2012), "Performance analysis of the closed loop supply chain", *Journal of Remanufacturing*, Vol. 2, n. 1, pp. 1-21.
- Atta, N., Dalla, Valle A. et al. (2020), "Re-manufacturing best practices and transferable criteria for the construction sector", in *International Conference on Challenges for Remanufacturing ICCR*, Barcelona, Spain, June 11-12, 2020, Vol. 7, pp. 1112-1121.
- Butzer, S., and Schötz, S. (2016). "Map of remanufacturing processes landscape", European Remanufacturing Network, available at [https://www.remanufacturing.eu/assets/pdfs/ERN\\_DeliverableReport\\_WP3\\_Processes\\_final\\_for\\_upload-1.pdf](https://www.remanufacturing.eu/assets/pdfs/ERN_DeliverableReport_WP3_Processes_final_for_upload-1.pdf) (accessed 8 February 2021).
- Circl (2017). Circl Pavilion Amsterdam website, available at: <https://circl.nl/themakingof/en/> (accessed 8 February 2021).
- Ghaffar, S.H., Burman, M. and Braimah, N. (2020), "Pathways to circular construction: An integrated management of construction and demolition waste for resource recovery", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 244, n. 1, pp. 118710.
- Gharfalkar, M., Ali, Z. and Hillier, G. (2016), "Clarifying the disagreements on various reuse options: Repair, recondition, refurbish and remanufacture", *Waste Management & Research*, Vol. 34, n. 10, pp. 995-1005.
- Giorgi, S., Lavagna, M. and Campioli, A. (2017), "Guidelines for effective and sustainable recycling of construction and demolition waste", in Benedetto E., Gericke K. and Guiton M. (Eds.), *Designing Sustainable Technologies, products and Policies - From Science to Innovation*, Springer, pp. 211-221.
- ISO 20887:2020 *Sustainability in buildings and civil engineering works. Design for disassembly and adaptability. Principles, requirements and guidance*.
- ISO 8887-2:2009 *Design for manufacture, assembly, disassembly and end-of-life processing (MADE). Terms and definitions*.
- Parker, D., Riley, K., Robinson, S., Symington, H., Tewson, J., Jansson, K. and Peck, D. (2015), "Remanufacturing market study. European Remanufacturing Network", available at: <https://www.remanufacturing.eu/assets/pdfs/remanufacturing-market-study.pdf> (accessed 8 February 2021).
- Parkinson H.J. and Thompson, G. (2003), "Analysis and taxonomy of remanufacturing industry practice", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, Vol. 217, n. 3, pp. 243-256.
- Peters, M., Ribeiro, A., Oseyran, J. and Wang, K. (2017), *Buildings as material banks and the need for innovative business models, extract is from an internal BAMB report*.
- Rau, T. and Oberhuber, S. (2019), *Material matters. L'importanza della materia*, Edizioni Ambiente, Milano, Italia.
- Seitz M.A. and Wells P.E. (2006), "Challenging the implementation of corporate sustainability: The case of automotive engine remanufacturing", *Business Process Management Journal*, Vol. 12, n. 6, pp. 822-836.
- Tonissi Moroni-Cutovoi, I. (2021), "An examination of competitive strategy in buyer-supplier relationships for remanufacturing", *Journal of Remanufacturing*, Vol. 1, pp. 1-29.
- Vezzoli, C. and Manzini, E. (2008), *Design for Environmental Sustainability*, Springer.
- Wasim, M., Vaz Serra, P. and Duc Ngo, T. (2020), "Design for manufacturing and assembly for sustainable, quick and cost-effective prefabricated construction - a review", *International Journal of Construction Management*, pp. 1837720.