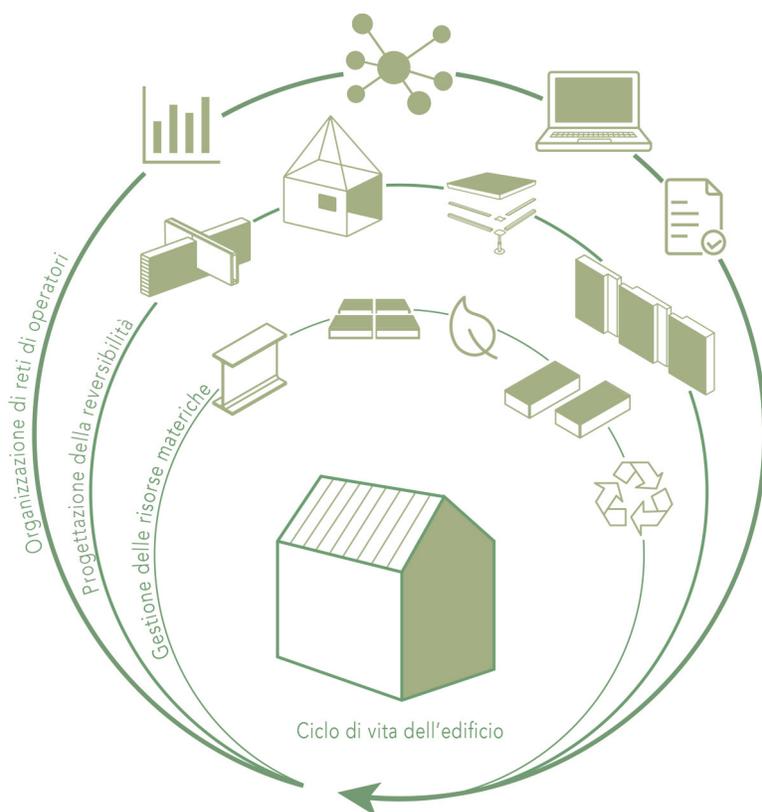


Serena Giorgi

# Progettare la circolarità

Strategie e strumenti  
per l'economia circolare  
nel settore edilizio



Ricerche di tecnologia dell'architettura

**FrancoAngeli** 



## RICERCHE DI TECNOLOGIA DELL'ARCHITETTURA

*diretta da Giovanni Zannoni (Università di Ferrara)*

### *Comitato scientifico:*

Andrea Boeri (Università di Bologna), Andrea Campioli (Politecnico di Milano), Joseph Galea (University of Malta), Maria Luisa Germanà (Università di Palermo), Giorgio Giallocosta (Università di Genova), Nancy Rozo Montaña (Universidad Nacional de Colombia)

La collana *Ricerche di tecnologia dell'architettura* tratta prevalentemente i temi della progettazione tecnologica dell'architettura e del design con particolare attenzione alla costruibilità del progetto. In particolare gli strumenti, i metodi e le tecniche per il progetto di architettura alle scale esecutive e quindi le modalità di realizzazione, trasformazione, manutenzione, gestione e recupero dell'ambiente costruito.

I contenuti scientifici comprendono la storia e la cultura tecnologica della progettazione e della costruzione; lo studio delle tecnologie edilizie e dei sistemi costruttivi; lo studio dei materiali naturali e artificiali; la progettazione e la sperimentazione di materiali, elementi, componenti e sistemi costruttivi.

Nel campo del design i contenuti riguardano le teorie, i metodi, le tecniche e gli strumenti del progetto di artefatti e i caratteri produttivi-costruttivi propri dei sistemi industriali.

I settori nei quali attingere per le pubblicazioni sono quelli dei progetti di ricerca nazionali e internazionali specie di tipo sperimentale, le tesi di dottorato di ricerca, le analisi sul costruito e le possibilità di intervento, la progettazione architettonica cosciente del processo costruttivo.

In questi ambiti la collana pubblica progetti che abbiano finalità di divulgazione scientifica e pratica manualistica e quindi ricchi di spunti operativi per la professione di architetto.

La collana nasce sotto la direzione di Raffaella Crespi e Guido Nardi nel 1974.

I numerosi volumi pubblicati in questi anni delineano un efficace panorama dello stato e dell'evoluzione della ricerca nel settore della Tecnologia dell'architettura con alcuni testi che sono diventati delle basi fondative della disciplina.

A partire dal 2012 la valutazione delle proposte è stata affidata a un Comitato scientifico, diretto da Giovanni Zannoni, con lo scopo di individuare e selezionare i contributi più interessanti nell'ambito della Tecnologia dell'architettura e proseguire l'importante opera di divulgazione iniziata quarant'anni prima.



Il presente volume è pubblicato in open access, ossia il file dell'intero lavoro è liberamente scaricabile dalla piattaforma **FrancoAngeli Open Access** (<http://bit.ly/francoangeli-oa>).

**FrancoAngeli Open Access** è la piattaforma per pubblicare articoli e monografie, rispettando gli standard etici e qualitativi e la messa a disposizione dei contenuti ad accesso aperto. Oltre a garantire il deposito nei maggiori archivi e repository internazionali OA, la sua integrazione con tutto il ricco catalogo di riviste e collane FrancoAngeli massimizza la visibilità, favorisce facilità di ricerca per l'utente e possibilità di impatto per l'autore.

Per saperne di più: [Pubblica con noi](#)

I lettori che desiderano informarsi sui libri e le riviste da noi pubblicati possono consultare il nostro sito Internet: [www.francoangeli.it](http://www.francoangeli.it) e iscriversi nella home page al servizio "[Informatemi](#)" per ricevere via e-mail le segnalazioni delle novità.

Serena Giorgi

# Progettare la circolarità

**Strategie e strumenti  
per l'economia circolare  
nel settore edilizio**

Prefazione di Monica Lavagna e Andrea Campioli

Ricerche di tecnologia dell'architettura

**FrancoAngeli** 

*In copertina: Circolarità lungo il ciclo di vita dell'edificio (fonte: elaborazione dell'autore)*

Isbn 9788835157731

Copyright © 2024 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy.

Pubblicato con licenza *Creative Commons Attribuzione-Non Commerciale-Non opere derivate*  
4.0 Internazionale (CC-BY-NC-ND 4.0)

*L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sul diritto d'autore.  
L'Utente nel momento in cui effettua il download dell'opera accetta tutte le condizioni  
della licenza d'uso dell'opera previste e comunicate sul sito*  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it>

# Indice

<b>Prefazione</b>	
di <i>Monica Lavagna e Andrea Campioli</i>	pag. 9
<b>Introduzione</b>	» 15
<b>1. Fondamenti dell'economia circolare</b>	» 23
1.1. Economia ambientale ed economia ecologica	» 23
1.1.1. Massimizzazione d'uso dei prodotti ed economia a ciclo chiuso	» 26
1.1.2. L'equilibrio con la capacità di carico del pianeta e il cambiamento dei consumi	» 43
1.1.3. Il ruolo della tecnologia e della ri-progettazione	» 57
1.1.4. Le declinazioni dell'economia circolare nel contesto attuale	» 58
1.2. Azioni e strumenti di indirizzo verso l'economia circolare	» 60
1.2.1. Dallo sviluppo sostenibile all' <i>impact decoupling</i>	» 61
1.2.2. Gli attuali obiettivi di economia circolare dell'Europa	» 65
<b>2. Economia circolare nel settore edilizio</b>	» 70
2.1. Il settore edilizio e gli ambiti prioritari della riqualificazione e della temporaneità d'uso	» 70
2.1.1. La sostenibilità ambientale della circolarità e l'approccio <i>Life Cycle</i>	» 73
2.1.2. Sviluppi della ricerca scientifica in Europa e in Italia	» 77
2.2. I tre livelli dell'economia circolare nel settore edilizio	» 80

2.2.1. Il livello <i>macro</i> : metabolismo urbano e <i>urban mining</i>	pag.	81
2.2.2. Il livello <i>meso</i> : edificio come <i>stock</i> di risorse materiche	»	82
2.2.3. Il livello <i>micro</i> : contenuto di riciclato e riciclabilità	»	84
2.3. Economia circolare nel processo e nel progetto edilizio	»	85
2.3.1. L'attuale processo edilizio lineare in Italia	»	86
2.3.2. Verso un approccio circolare e sostenibile: tre aree di sviluppo di strategie e strumenti per la circolarità	»	90
<b>3. Gestione delle risorse materiche e dei rifiuti</b>	»	93
3.1. Da rifiuto a nuova risorsa	»	93
3.1.1. Gestione dei flussi in uscita dal cantiere	»	94
3.1.2. Riuso/riciclo dei prodotti/materiali a fine vita utile	»	96
3.2. Rifiuti da costruzione e demolizione: pratiche attuali e prospettive migliorative	»	99
3.2.1. Dati sulla produzione e composizione dei rifiuti da costruzione e demolizione	»	100
3.2.2. L'attuale gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione	»	102
3.2.3. I documenti di indirizzo europei per migliorare la gestione del fine vita degli edifici e dei relativi rifiuti	»	105
3.3. Leve, ostacoli e punti di vista degli stakeholder	»	108
3.3.1. Riduzione del conferimento in discarica di materiali	»	109
3.3.2. Incentivazione al riuso dei prodotti da costruzione	»	113
3.3.3. Attivazione di sistemi di tracciabilità per materiali/rifiuti	»	114
3.4. Buone pratiche e strumenti di supporto per l'attivazione di dinamiche di circolarità nella gestione dei flussi materici	»	115
3.4.1. Il caso del sistema <i>Tracimat</i> in Belgio	»	116
3.4.2. <i>Pre-demolition audit</i> e piano di gestione dei rifiuti	»	118
3.4.3. Criteri Ambientali Minimi in Italia	»	122
3.4.4. Piattaforme di scambio materiali	»	124

<b>4. Progettazione della reversibilità</b>	pag.	129
4.1. Dall'edificio convenzionale all'edificio reversibile	»	129
4.1.1. Progettare per l'adattabilità, la flessibilità e l'estensione della vita utile degli edifici	»	130
4.1.2. Progettare per il disassemblaggio	»	133
4.1.3. Progettare senza rifiuti	»	133
4.1.4. Progettare per livelli	»	134
4.2. La visione dell'edificio come <i>stock</i> di risorse materiche	»	137
4.2.1. Strategie di reversibilità e scelte progettuali e gestionali	»	139
4.2.2. Tecnologie costruttive per la reversibilità e circolarità nel progetto ( <i>hard technologies</i> )	»	141
4.2.3. Tecnologie digitali per la reversibilità e circolarità nel processo ( <i>soft technologies</i> )	»	143
4.2.4. Valutazione della sostenibilità ambientale per orientare il progetto alla circolarità	»	147
4.3. Leve, ostacoli e punti di vista degli stakeholder	»	150
4.3.1. Introduzione di tecnologie costruttive reversibili	»	150
4.3.2. Uso del BIM e dei <i>material passport</i>	»	153
4.3.3. Applicazione dei sistemi di valutazione di sostenibilità	»	155
4.4. Buone pratiche e strumenti di supporto per l'implementazione di strategie di circolarità lungo il progetto e processo edilizio	»	158
4.4.1. L'esempio di MPG in Olanda e MMG in Belgio	»	158
4.4.2. Il <i>material passport</i> di edificio e la piattaforma <i>Madaster</i>	»	161
<b>5. Modelli gestionali di circolarità e reti di operatori</b>	»	169
5.1. Dalla proprietà all'accesso al servizio e alla condivisione	»	169
5.1.1. Il modello <i>peer-to-peer</i>	»	170
5.1.2. Il modello prodotto-servizio	»	172
5.2. Modelli gestionali per la circolarità nel settore edilizio	»	173
5.2.1. Le potenzialità di applicazione del prodotto-servizio al settore edilizio	»	174
5.2.2. <i>Networks</i> tra operatori per la circolarità di prodotti a fine vita utile	»	177
5.2.3. Fattori abilitanti per l'attivazione di modelli circolari	»	178
5.3. Leve, ostacoli e punti di vista degli stakeholder	»	180

5.3.1. Modelli di circolarità orientati al prodotto-servizio	pag. 180
5.3.2. Reti di operatori per modelli circolari	» 181
5.3.3. Attività di co-creazione per l'attivazione di modelli circolari	» 184
5.4. Buone pratiche e iniziative di supporto per l'attivazione di <i>networking</i> lungo la filiera edilizia	» 185
5.4.1. Esempi di applicazione di modelli prodotto-servizio in edilizia	» 186
5.4.2. <i>Networking</i> tra operatori per filiere di riuso di prodotti	» 190
5.4.3. Esempi di <i>Green Deal</i> e <i>knowledge sharing</i> di filiera	» 197
<b>6. Esempi di applicazione dei principi di circolarità in architettura</b>	» 199
6.1. Alliander Headquarter	» 199
6.2. Circular Retrofit Lab	» 209
6.3. Brummen Town Hall	» 220
6.4. Circl Pavilion	» 225
6.5. Altri esempi applicativi	» 231
<b>7. Raccomandazioni per l'introduzione di strategie circolari sostenibili</b>	» 233
7.1. Verso un processo circolare: azioni in ambito legislativo, operativo e strumentale	» 233
7.2. Miglioramenti in ambito legislativo	» 234
7.3. Attivazione di <i>partnership</i> operative e relazioni strategiche lungo il processo edilizio	» 239
7.4. Applicazione di strumenti di supporto <i>Life Cycle</i>	» 244
<b>Conclusioni</b>	» 250
<b>Bibliografia</b>	» 252

# *Prefazione*

di *Monica Lavagna e Andrea Campioli*

L'uomo è un essere carente (Gehlen, 1940) inadatto a vivere in natura, e per questo da sempre compie atti tecnici per costruire il suo ambiente “artificiale” di vita. Pur vivendo in un ambiente (sempre più) separato dalla natura, l'uomo ha bisogno della natura, e dei suoi servizi ecosistemici, per vivere. Infatti, la tecnosfera, ossia l'insieme di tutti i manufatti e le strutture costruite nel tempo dall'uomo, sono legate all'ecosfera, ossia il sistema composto dalla biosfera (organismi viventi) e dalla geosfera (componenti abiotiche). Le due sfere sono connesse da flussi in entrata e in uscita: le attività antropiche richiedono prelievo di risorse dalla natura e provocano emissione di rifiuti che l'ecosfera riassorbe. La tecnosfera è un sottoinsieme dell'ecosfera, intesa come una comunità ecologica di organismi in simbiosi fra loro, di cui l'uomo fa parte. Nessun vivente è isolato, ma si sviluppa in una rete di relazioni con l'ambiente e con altri viventi, le cui interazioni sono fatte di competizione e cooperazione (Georgescu-Roegen, 2003; Ramellini).

L'umanità però ha agito spesso come se l'ambiente fosse a sua completa disposizione, e la tecnica, espressione dell'uomo, ha prodotto un mondo di oggetti artificiali che ambiscono a sostituire del tutto quelli naturali. La competizione ha cioè soverchiato la cooperazione, rompendo un equilibrio importante (Bonaiuti, 2017).

L'accelerazione dei consumi che caratterizza l'epoca contemporanea, dovuta alla crescita della popolazione mondiale, alla crescita dell'industrializzazione e alla diffusione di stili di vita consumistici, ha creato una frattura nell'equilibrio tra tecnosfera ed ecosfera: la Terra è un sistema limitato, quindi capace di fornirci risorse e riassorbire i rifiuti entro dei limiti (MIT, 1972). Per sostenere nel tempo le attività antropiche, occorre dunque confrontarsi con tali limiti, riducendo il prelievo di risorse e l'emissione di rifiuti, e operando una saggia amministrazione, e sedando l'idea di dominio sostituendolo con il concetto di cura della nostra casa (*oikos-eco*).

Nonostante la consapevolezza della crisi ambientale fosse già emersa dagli anni Settanta, e pur avendo prodotto documenti politici di indirizzo sul tema della sostenibilità ambientale fin dagli anni Ottanta, solo recentemente si è cominciato a parlare di economia circolare, come se si trattasse di un tema nuovo. Inoltre viene trattato in maniera apparentemente slegata dalla sostenibilità. Infatti l'economia circolare pone la sua attenzione sul tema delle risorse materiche e dei rifiuti solidi, quindi su alcuni flussi specifici.

Questo approccio per comparti (energia, rifiuti, acqua, aria, ecc.) è ricorrente, soprattutto all'interno delle politiche: spesso i temi ambientali vengono affrontati separatamente, perché le "direzioni generali" delle Pubbliche Amministrazioni sono organizzate appunto in dipartimenti separati. E così le politiche ambientali riflettono questo approccio tematico, con una carenza di sguardo d'insieme alla questione ambientale e alla sostenibilità. Questo ha fatto sì che l'attenzione ambientale conosca delle "stagioni" in relazione al *focus* di interesse.

Negli ultimi decenni l'attenzione è stata concentrata prevalentemente sul tema energetico e sull'inquinamento atmosferico (cambiamenti climatici). Ancora oggi la decarbonizzazione appare al centro delle attenzioni politiche e principale aspetto ambientale trainato delle normative ambientali. Ma oltre alla preoccupazione per i consumi di risorse energetiche (e per l'inquinamento generato in atmosfera dalla combustione di fonti fossili), emerge oggi l'importanza di gestire un altro flusso essenziale per le attività antropiche, ossia il prelievo di risorse materiche (e il conseguente flusso di rifiuti reimmesso in natura dopo la fase di consumo). Come per le risorse energetiche si è reso necessario individuare cambiamenti e alternative (risparmio energetico e fonti rinnovabili), altrettanto si rende oggi necessario individuare cambiamenti e alternative per le risorse materiche (approccio circolare).

L'economia circolare è diventato dunque un tema di estrema attualità, evocato ricorrentemente nelle normative, nelle politiche, nelle prassi.

La lentezza esistente tra consapevolezza ambientale e azione politica è dovuta al fatto che non sempre la motivazione degli indirizzi politici è strettamente legata a questioni ambientali. Il problema energetico si è posto in Europa per i problemi di dipendenza geopolitica (e delle conseguenti fluttuazioni dei prezzi) determinata dall'approvvigionamento dei combustibili fossili e la possibilità di ridurre tale dipendenza tramite il risparmio energetico e l'uso di fonti rinnovabili. In maniera similare, il problema dell'uso efficiente delle risorse materiche si è posto in Europa (e nel mondo) a seguito dell'innalzarsi dei costi di approvvigionamento di alcune materie prima "critiche", che hanno portato a cercare fonti alternative, ossia gli *stock* di materiali già in uso (*urban mining*). Per continuare a sostenere

i consumi e le attività industriali, l'economia circolare ha trovato una fonte "continua" di risorse nella possibilità di riusare e riciclare le risorse esistenti giù in uso. Questo non necessariamente riducendo gli impatti ambientali complessivi.

L'attenzione al tema ambientale è invece centrale, e presupposto di partenza, nel libro di Serena Giorgi, che analizza le strategie di economia circolare cercando di porre in evidenza quelle che effettivamente possono apportare una riduzione degli impatti complessivi.

Il libro indaga il tema dell'economia circolare nella sua applicazione all'edilizia, ponendo ordine rispetto alle molteplici interpretazioni del tema e declinandone le specificità rispetto al settore.

Viene restituito sia un ampio e completo quadro teorico di riferimento sia una articolata panoramica di indicazioni operative e di esempi concreti di buone pratiche. Purtroppo occorre constatare che ad oggi prevalgono le dichiarazioni di intenti (linee guida e indirizzi politici, strategie e sperimentazioni in letteratura) e ancora poche sono le buone pratiche, spesso applicate o in contesti specifici o in modo sperimentale.

Nel libro emergono delle importanti e originali chiavi di lettura del tema:

1. la necessità di spostare l'attenzione dal riciclo all'estensione della vita utile dei prodotti. L'economia circolare viene interpretata prevalentemente come soluzione al problema dello smaltimento dei rifiuti e come possibile fonte di materie prime seconde grazie al riciclo, al fine di sostenere gli attuali modelli di consumo; in realtà il tema dovrebbe sollecitare un uso oculato delle risorse e favorire strategie volte al riuso e all'estensione della vita utile dei prodotti in uso, evitando che l'obsolescenza funzionale determini la fine della vita utile di prodotti/edifici;
2. la necessità di spostare l'attenzione dai materiali all'edificio nel suo insieme (e nelle sue parti costruttive). Spesso le ricerche inerenti l'economia circolare, occupandosi di riciclo, si concentrano alla scala dei materiali oppure alla scala urbana, considerando la città una miniera di risorse materiche (*urban mining*); questa visione dovrebbe essere superata da un approccio che veda l'edificio come oggetto strategico attorno a cui costruire nuovi modelli di gestione delle risorse (per esempio tramite modelli di prodotto-servizio), finalizzati all'ottimizzazione d'uso ed estensione d'uso. L'economia circolare ha ridato attualità a temi già trattati nel secolo scorso in architettura, quali l'adattabilità e la disassemblabilità, ma che non hanno mai pienamente trovato applicazione diffusa; invece oggi l'attenzione per il ciclo di vita dell'edificio e per la conservazione delle risorse, sta creando maggiore applicazione di principi di adattabilità e disassemblabilità, soprattutto nel settore terziario;

3. la necessità di non dare per scontata la sostenibilità ambientale dell'applicazione delle strategie di circolarità. L'economia circolare viene considerata un approccio che porta alla riduzione degli impatti in termini di consumo di risorse e di generazione di rifiuti, ma questo non è sempre vero se si adotta un approccio al ciclo di vita, considerando anche le "esternalità" e le catene di processi attivati dal processo principali; ne consegue la necessità di verifica che le strategie circolari siano effettivamente sostenibili, in termini di riduzione degli impatti in tutte le fasi del ciclo di vita e rispetto a un ventaglio allargato di indicatori ambientali (e non solo in termini di quantità di materie prime consumate e quantità di rifiuti generati);
4. la necessità di spostare l'attenzione dalla fisicità dei flussi materici agli aspetti di progettazione dell'edificio nel suo insieme e di gestione dei processi (modelli organizzativi) lungo il ciclo di vita. L'economia circolare appare una strategia concentrata sulla gestione dei flussi materici, ma in realtà se si vuole operare un reale cambiamento occorre cambiare radicalmente gli obiettivi di progetto e i modelli di produzione-consumo-gestione, modificando anche le relazioni tra gli operatori lungo il processo edilizio (e anche l'organizzazione delle fasi del processo edilizio stesso, con una maggiore attenzione ai momenti di flusso in uscita dall'edificio);
5. la necessità di definire nuovi profili professionali e nuovi esperti in materia, da collocare in fasi chiave del processo edilizio (in particolare nella fase decisionale e di fine vita). L'economia circolare apre l'opportunità di individuare nuove figure professionali e nuovi operatori lungo la catena del valore, che abbiano competenze specifiche rispetto ai temi della circolarità (in tutte le dimensioni trattate nel libro) e che possano quindi apportare un contributo innovativo nelle varie fasi del processo edilizio e in sinergia con i vari operatori del processo edilizio.

Il libro pone l'attenzione sul ruolo della tecnologia dell'architettura in questi percorsi di cambiamento, come disciplina che si occupa sia della fisicità dell'oggetto edilizio (materiali, tecniche costruttive), sia del processo (aspetti gestionali, organizzativi, strumenti, operatori). Viene più volte sottolineato come, per affrontare il cambiamento, occorra modificare entrambi i livelli, materiale e immateriale. Infatti da un lato la circolarità richiede di modificare i modi di costruire, individuando nuove soluzioni costruttive reversibili, componenti durevoli e rilavorabili, materiali riciclabili, e dunque gli aspetti fisici, tramite nuovi processi di produzione, di decostruzione/disassemblaggio, di rilavorazione e riciclo. Dall'altro la circolarità richiede di modificare il tradizionale processo edilizio, di tipo

lineare, dando maggiore peso alla fase di gestione del fine vita fin dalla progettazione e individuando nuovi modelli organizzativi (come i prodotti-servizio) che creino nuovi rapporti tra operatori e definiscano nuove figure chiave per la gestione della circolarità, ma anche nuovi strumenti (digitali) che supportino le interazioni e gli scambi, e accompagnino i materiali lungo il ciclo di vita (tracciabilità, informazioni), governando dunque gli aspetti immateriali.

Un importante elemento di originalità del volume riguarda l'approccio di ricerca sul campo che ha permesso di definire i risultati riportati: essi, infatti, derivano non solo da una revisione della letteratura ma soprattutto da un dialogo diretto con gli stakeholder del settore edilizio a livello europeo.

Il libro costituisce dunque uno strumento utile a tutti coloro che intendono, a diverse scale, a diversi livelli, confrontarsi con la progettazione della circolarità e il ripensamento del nostro modo di abitare e costruire.

## Riferimenti bibliografici

Bonaiuti M. (2017), *Georgescu-Roegen. La sfida dell'entropia*, Jaca Book, Milano.

Georgescu-Roegen N. (2003), *Bioeconomia. Verso un'altra economia ecologicamente e socialmente sostenibile* (a cura di), Mauro Bonaiuti, Bollati Boringhieri, Torino.

Gehlen A. (1940), *L'uomo. La sua natura e il suo posto nel mondo* (tit. or. *Der Mensch. Seine Natur und seine Stellung in der Welt*), Mimesis Volti, Milano.

MIT, Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J. and Behrens III W.W. (1972), *The Limits to Growth*, A Potomac Associates Book.

Ramellini P., *Le dinamiche dell'ecosfera, la responsabilità ecologica e la cura del pianeta*, testo disponibile al sito:

<https://disf.org/educational/percorso-tematico/ramellini-ecosfera-responsabilita-ecologica>



## Introduzione

«Gli architetti devono avere la responsabilità morale degli impatti ambientali che generano i flussi dei materiali» sottolineava Kevin Lynch nel suo libro postumo *Wasting Away* degli anni Novanta. A distanza di oltre trent'anni, gli architetti, e più ampiamente i progettisti, sono chiamati ad assumersi una rinnovata responsabilità anche dai documenti normativi e di indirizzo politico, emanati in particolare a livello europeo, che hanno posto come prioritario il settore edilizio al fine di raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione e neutralità climatica.

La Commissione europea dichiara che il settore delle costruzioni è responsabile del 40% della domanda di energia primaria nella Unione europea (UE) e del 36% delle emissioni di gas serra (Commissione europea, 2021). L'obiettivo della riduzione delle emissioni pone con urgenza il tema della rigenerazione dell'ambiente costruito, in particolare attraverso la riqualificazione energetica degli edifici esistenti, come sottolinea anche la strategia *Renovation Wave*, recentemente promossa dall'Unione europea.

La rigenerazione edilizia, da un lato rappresenta un'opportunità per nuove sperimentazioni progettuali, dall'altro costituisce una potenziale causa di consumo di risorse naturali e produzione di rifiuti, e quindi importante campo di sperimentazione di strategie di circolarità delle risorse. Le attività di costruzione e demolizione del settore edilizio e i relativi flussi materici costituiscono una delle principali cause di impatto ambientale sul pianeta, come cambiamento climatico, acidificazione delle acque e dei terreni, eutrofizzazione acquatica, perdita delle risorse naturali, consumo di suolo, che congiuntamente distruggono gli equilibrati e fragili ecosistemi naturali.

A livello europeo il settore edilizio è causa di circa il 50% di tutte le estrazioni di materiali ed è responsabile del 37,5% della produzione totale di rifiuti dell'UE (Eurostat, 2020). Detti rifiuti sono costituiti da materiali

da costruzione e demolizione, che a livello italiano costituiscono il 45,1% dei rifiuti totali, i quali, per più del 20% vengono ancora smaltiti in discarica, mentre la restante quota presenta ancora molteplici criticità in termini di qualità di recupero (Ispra, 2022).

Per raggiungere obiettivi di sostenibilità ambientale, i documenti normativi e di indirizzo politico, oltre ad affrontare gli aspetti energetici, puntano ad un cambiamento della nostra economia verso una economia circolare, che mira a eliminare i rifiuti e diminuire il consumo di materie prime, ponendo attenzione ai flussi materici.

Le strategie europee prevedono la transizione dall'attuale economia lineare, detta *take-make-use-dispose*, basata sull'estrazione delle materie prime, sulla trasformazione e produzione, sul consumo e sullo smaltimento dei rifiuti, verso un'economia circolare, che mira ad evitare la generazione dei rifiuti e ridurre il consumo di materie prime, al fine di preservare le risorse limitate del pianeta.

Malgrado il problema sia diffusamente riconosciuto, l'applicazione di modelli di circolarità nel settore edilizio è ancora ostacolata da barriere politiche ed economiche; inoltre non tutti i paesi si trovano allo stesso punto di partenza ed alcuni di essi si stanno muovendo più lentamente di altri. In questo contesto, la comunità scientifica ha il dovere di identificare le azioni più convenienti per consentire una transizione comune ed efficace.

Attualmente le strategie di economia circolare sono raramente applicate a livello di edificio in maniera sistemica e in prospettiva di ciclo di vita, ma vengono prevalentemente applicate a livello di materiali e a fine vita dell'edificio, principalmente attraverso pratiche di riciclo, spesso promosse dalle innovazioni tecnologiche di trattamento dei rifiuti, trascurando in questo contesto la valutazione del reale beneficio ambientale, economico e sociale ottenuto dal riciclo stesso.

L'applicazione di modelli di circolarità non può essere mirata solo ad un singolo aspetto o fase del ciclo di vita dell'edificio, ma deve abbracciare una visione di insieme in prospettiva *Life Cycle*, al fine di promuovere pratiche circolari ma anche sostenibili.

Per garantire una circolarità sostenibile delle risorse, il progetto edilizio deve basarsi su un processo decisionale mirato all'allungamento della vita dell'edificio, dei componenti edilizi e dei materiali, attraverso scelte progettuali che evitino la generazione di rifiuti. L'edificio deve essere quindi ripensato, definendo nuove strategie di gestione delle risorse materiche, di progettazione, di organizzazione del processo e delle relazioni tra gli operatori.

Tale cambiamento, che coinvolge necessariamente diverse attività, operatori e strumenti, riguarda:

- il progetto e il processo edilizio, in particolare i relativi aspetti decisionali, cognitivi, organizzativi ed operativi;
- la visione della fase di fine vita dell'edificio e dei suoi componenti;
- gli strumenti utilizzati per la tracciabilità delle informazioni e dei materiali;
- le valutazioni di supporto alle scelte progettuali, sia spaziali sia tecnologiche;
- le modalità di gestione del processo e delle relazioni tra operatori della catena del valore.

Siamo chiamati, quindi, ad un grande sforzo che non implica solo un'innovazione tecnologica, ma anche un'innovazione culturale che apra ad uno sguardo diverso, un programma educativo che si concretizzi in un nuovo stile di vita e in un diverso modo di operare e di guardare ai bisogni.

La ricerca e l'innovazione nel campo della Tecnologia dell'Architettura hanno oggi, da un lato, l'impegno di rispondere alle necessità di cambiamento verso una maggiore attenzione alla circolarità e alla sostenibilità ambientale e, dall'altro, la responsabilità di supportare le pratiche del progetto e processo edilizio, comprendendo le attitudini del settore al cambiamento e i *driver* necessari. Occorre, infatti, guidare i diversi attori coinvolti verso un cambio di mentalità, supportati da tecnologie che consentano un approccio circolare e sostenibile alla progettazione, costruzione, manutenzione e demolizione degli edifici.

In questo cambiamento, coerentemente con le recenti comunicazioni della Commissione europea relative all'attivazione dell'economia circolare, si pone la trattazione del presente libro, che mira all'obiettivo di definire processi e azioni non solo circolari ma anche sostenibili: in tal senso, non è sufficiente parlare della sola circuitazione dei flussi materici, ma è necessario considerare la valutazione della sostenibilità ambientale delle strategie di circolarità, nell'intero ciclo di vita dei prodotti e degli edifici, al fine di verificare l'effettiva efficacia, in termini di benefici e impatti.

I risultati, mostrati in questo lavoro, sono l'esito di un lungo percorso di indagine che si è avvalso anche del puntuale confronto e dialogo diretto, instaurato dall'autore, con i diversi stakeholder del settore edilizio su scala nazionale e internazionale, avvenuto in diverse occasioni dal 2019 al 2023 (Fig. 1). Le occasioni di dialogo sono avvenute in molteplici ambiti di attività di ricerca: l'attività di ricerca dottorale che ha costituito opportunità di indagine sul campo attivando il dialogo e confronto con numerosi stakeholder del settore edilizio, come *policy maker*, produttori, progettisti, investitori, ricercatori e operatori del processo edilizio non solo in contesto



Fig. 1 – Quadro metodologico per la collezione delle informazioni (fonte: elaborazione dell'autore)

italiano ma anche europeo nei paesi di Belgio, Paesi Bassi e Regno Unito<sup>1</sup>; l'attività di ricerca *Short Term Scientific Mission* finanziata dalla COST Action CA15115 – *Mining the European Anthroposphere* (MINEA), condotta attraverso interviste dirette agli stakeholder della filiera edilizia in Danimarca; la partecipazione ai Gruppi di Lavoro nazionali dell'*Italian Circular Economy Stakeholder Platform* (ICESP), hub che consente il dialogo con Pubblica Amministrazione (PA), produttori, organismi di ricerca e consulenti ambientali, e del *Green Building Council Italia* (GBCI), che permette il confronto tra gli operatori del settore dell'edilizia sostenibile interessati all'applicazione dell'economia circolare; la partecipazione a Gruppi di Lavoro internazionali nell'ambito della COST Action CA15115 – *Mining the European Anthroposphere* (MINEA, 2016-2020) e della COST Action CA21103 – *Implementation of Circular Economy in the Built Environment* (CircularB, 2022-2026), luogo di confronto tra molteplici ricercatori ed esperti provenienti da diversi paesi europei; la partecipazione a gruppi di co-creazione (es. organizzati dal progetto SockETs *Societal Engagement with Key Enabling Technologies*, finanziato da Horizon 2020), con l'obiettivo di discutere le barriere e le opportunità legate all'introduzione delle tecnologie abilitanti chiave per l'economia circolare nel settore

1. Il Regno Unito è stato incluso, in quanto l'attività di ricerca è cominciata nel 2019, prima dell'uscita della nazione dall'Unione europea (*Brexit*).

delle costruzioni, coinvolgendo le rappresentanze dell'industria, operatori di mercato, ricercatori, decisori politici, società civile e cittadini; la partecipazione e organizzazione di tavole rotonde con gli stakeholder, nell'ambito del Progetto Re-NetTA – *Re-manufacturing Networks for tertiary architectures* (finanziato da Fondazione Cariplo e coordinato dal Dipartimento ABC del Politecnico di Milano), con l'obiettivo di definire nuovi modelli organizzativi di *business* legati alle strategie di economia circolare, coinvolgendo principalmente produttori, venditori, *general contractor*, cooperative sociali, operanti nel settore edilizio terziario.

Il libro inizialmente affronta il tema dell'economia circolare in senso ampio, mostrando l'origine del pensiero e dei principi su cui si basano oggi gli obiettivi di circolarità delle risorse, unitamente alla restituzione del quadro di azioni e politiche oggi promosse. Successivamente i temi di economia circolare vertono sul settore edilizio, evidenziando l'importanza di intervenire a livello di edificio attraverso una maggiore responsabilizzazione degli operatori e, in particolare, del progettista, avente un ruolo chiave.

La prospettiva dell'economia circolare è trattata non solo dal punto di vista della gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione (*downstream approach*), ma si concentra anche sull'importanza di considerare i comportamenti e le azioni a monte che implicano la riduzione della produzione di rifiuti (*upstream approach*). Ciò al fine di raggiungere un modello che non consideri solo strategie di circuitazione dei flussi materici a fine vita, ma anche strategie di sostenibilità (in termini di riduzione dei consumi delle risorse e degli impatti ambientali) considerando l'intero ciclo di vita dei prodotti/edifici. Pertanto, vengono incoraggiate le strategie che mirano a prolungare la vita utile di prodotti ed edifici esistenti (restituendo nuova funzione e valore) e a riutilizzare e rigenerare gli elementi di cui gli edifici sono composti.

Il libro propone tre aree prioritarie di sviluppo di strategie, sulle quali occorre puntare per fare leva verso il cambiamento di processo e di intervento sul costruito esistente: I) gestione delle risorse e dei rifiuti lungo l'intero ciclo di vita dell'edificio, II) progettazione circolare degli edifici mirata all'allungamento della vita utile dei componenti edilizi, III) definizione di nuovi modelli di *business* e di nuove relazioni tra gli operatori della filiera, volti a supportare l'uso efficiente delle risorse.

Per ciascuna delle tre principali aree, nei capitoli 3, 4 e 5, oltre alla descrizione delle applicazioni delle strategie di circolarità specifiche, vengono proposte alcune significative *best practices* a livello nazionale ed europeo, delineandone gli strumenti di supporto e le leve di contesto. Inoltre, vengono evidenziati i punti di vista ed esigenze degli operatori di filiera, identificando alcuni necessari miglioramenti in ambito legislativo, relazionale e/o strumentale.

Il capitolo 6 restituisce alcuni esempi emblematici di architetture a cui, durante i processi di riqualificazione, sono state applicate strategie di circolarità. Il capitolo si sofferma sugli obiettivi progettuali di circolarità raggiunti, le tecniche costruttive, gli strumenti di supporto e le reti di operatori coinvolti.

Nel capitolo conclusivo vengono definite le raccomandazioni per l'introduzione di strategie di circolarità, utili per migliorare la situazione attuale in tutti i paesi europei. La definizione delle raccomandazioni parte dall'esperienza delle buone pratiche validate e funzionanti in alcuni paesi europei (siano esse applicate con approcci *top-down* o *bottom-up*) e viene implementata attraverso i miglioramenti individuati dal processo di analisi critica condotto interagendo con gli operatori della filiera edilizia (Fig. 2).



Fig. 2 – Struttura della ricerca condotta e illustrata nel libro (fonte: elaborazione dell'autore)

I risultati riportati nel presente volume non considerano le attuali buone pratiche come “modelli ideali”: sono ancora molti i possibili miglioramenti da applicare anche alle attuali *best practices*, in particolare

rispetto alla verifica della effettiva sostenibilità ambientale lungo il ciclo di vita dell'applicazione delle strategie di circolarità. Si sottolinea in tal senso la necessità di supportare il processo decisionale delle strategie circolari attraverso l'utilizzo di strumenti che permettano la valutazione della sostenibilità ambientale ed economica con approccio al ciclo di vita (*Life Cycle Assessment* e *Life Cycle Costing*).

I contenuti del libro sono rivolti in particolare:

- a decisori politici, che vogliono attuare un cambiamento verso la sostenibilità e la circolarità nell'ambiente costruito, individuando strategie fondamentali da promuovere nei documenti di indirizzo politico o nelle normative per l'attivazione di pratiche sostenibili e circolari a livello nazionale e locale;
- a operatori e stakeholder del settore edilizio che vogliono aprire nuove opportunità sostenibili e di *business*, individuando nuove sinergie per fornire prodotti e servizi in linea con la sostenibilità e la circolarità;
- a istituti di istruzione e formazione che vogliono formare nuove figure professionali ed esperti che svolgano un ruolo chiave all'interno di processi sostenibili e circolari di costruzione e gestione degli edifici;
- ai professionisti, che rivestiranno ruoli chiave in processi sostenibili e circolari di costruzione e gestione degli edifici.



# *1. Fondamenti dell'economia circolare*

## **1.1. Economia ambientale ed economia ecologica**

La parola “economia” deriva dal greco οἶκος (oikos), che significa “casa”, e νόμος (nomos), ovvero “norma” o “legge”, parola, quindi, che esprime il principio base delle regole della “casa”, di gestione delle risorse affinché tutti i bisogni dei membri della collettività possano essere soddisfatti.

L'economia è quindi, di principio, correlata alle attività mirate al miglioramento della qualità della vita dell'essere umano, dalla produzione di piccoli oggetti alla realizzazione di grandi opere, e parallelamente subordinata alla sfera ambientale, rappresentata dalle risorse naturali disponibili e utili alle attività antropiche.

Per molto tempo, l'uomo ha saputo conciliare le proprie esigenze con le possibilità offerte dall'ambiente circostante, ricevendo ciò che la natura offre, ponendosi allo stesso passo dei tempi di rigenerazione delle risorse del pianeta.

Tuttavia, nell'ultimo secolo, grandi aree geografiche del pianeta hanno sbilanciato l'equilibrio del rapporto tra uomo e natura. L'equilibrio tra le due sfere ha iniziato ad essere compromesso, in particolare, a seguito dell'introduzione dei processi produttivi industrializzati, che ha portato all'incremento dei consumi di prodotti industriali per garantire la sopravvivenza delle industrie stesse.

L'attuale sistema economico è basato sulla crescita del consumo quantitativo di beni, basti pensare che l'indicatore utilizzato per esprimere o simboleggiare il benessere di una collettività nazionale è identificato con il PIL (Prodotto Interno Lordo), che misura il valore di tutti i beni e i servizi finali prodotti in una nazione, in un dato periodo temporale.

Ciò, però, ha portato allo sfruttamento, oltre al limite, dei servizi ecosistemici che il pianeta offre per l'esistenza della vita umana sulla Terra.

Per servizi ecosistemici si intendono tutti i benefici forniti gratuitamente dal pianeta al genere umano, come definisce Robert Costanza *et al.* (1997), ad esempio:

- fornitura di cibo, acqua, combustibili e altre materie prime;
- regolazione della qualità dell'aria, delle maree, del clima, delle acque, assimilazione dei rifiuti, rigenerazione del suolo, impollinazione;
- conservazione della biodiversità genetica e identità del territorio.

La mancanza di preoccupazione nel misurare i danni provocati dalle attività umane alla natura è sintomo di un forte antropocentrismo, che pone il soddisfacimento dei bisogni dell'uomo (molti dei quali andrebbero messi in discussione) sopra ai limiti del pianeta. Ciò ha portato a definire il nostro tempo con il termine di "Antropocene", reso popolare dal premio Nobel Paul Crutzen (Crutzen, 2005). Esso identifica l'era geologica nella quale l'uomo, con le proprie attività, ha portato alla modifica di territori, all'alterazione del clima, allo sfruttamento delle risorse naturali, dell'acqua, del suolo e ad altri impatti negativi che hanno portato ad incidere sugli equilibri geologici ed ecosistemici, impedendo la sopravvivenza di molte specie viventi e minacciando la sopravvivenza stessa del genere umano.

I rischi connessi alle esternalità negative sull'ambiente sono sempre più percepiti dall'umanità, partendo dalle evidenze dell'aumento delle temperature, della scarsità d'acqua, dell'esaurimento rapido di materie prime con il conseguente aumento di prezzo, ecc.

È necessario, quindi, prendere atto dei limiti del pianeta, cercando il percorso per tornare ad avere un futuro resiliente e sostenibile, mettendo in discussione e ristrutturando l'intero modello di crescita economica attuale. Ecco perché, sia nell'ambito delle politiche di indirizzo sia all'interno di ricerche scientifiche, si parla sempre più frequentemente di "economia circolare".

L'economia circolare nasce in antitesi alla cosiddetta "economia lineare" basata sull'assunto *take-make-use-dispose* (estrarre-produrre-consumare-dismettere), che caratterizza il nostro attuale modello economico, ma che risulta non resiliente in un pianeta con uno *stock* limitato di risorse naturali. Di fatto, l'economia lineare attuale è fortemente dipendente da fonti energetiche non rinnovabili e materie prime vergini ed è causa di grandi quantità di rifiuti che stanno contaminando oceani e terre.

L'economia circolare si pone l'obiettivo, invece, di preservare il valore dei prodotti il più a lungo possibile, riducendo il consumo delle risorse naturali in *input* e dei rifiuti e degli sprechi in *output*.

A letteratura non esiste una definizione univoca di economia circolare, alcuni articoli scientifici contano e raccolgono centinaia di definizioni che

sono state formulate da scienziati, enti governativi, enti non governativi, fondazioni, associazioni, ecc. (Kirchherr *et al.*, 2017). Tuttavia, per poter capire cosa si intende per “economia circolare” non può bastare una definizione sintetica, ma bisogna analizzarla nella sua complessità, comprendendone i principi, i valori, i modelli organizzativi e gli strumenti di supporto.

L’obiettivo dei paragrafi successivi è quello di individuare alcuni fondamenti dell’economia circolare all’interno del più ampio dibattito sul tema della sostenibilità, dando rilevanza agli autori che mettono al centro dei loro studi l’agire umano in relazione al tema della circolarità delle risorse. Viene, quindi, riportato il pensiero di chi ha posto le basi per la modellazione di una nuova economia circolare e sostenibile. In questa rassegna vengono restituiti i punti di vista di economisti, architetti, fisici, sociologi, in quanto la complessità del tema coinvolge trasversalmente sfere del sapere molto diverse.

I fondamenti dell’economia circolare sono da ricercare in una produzione intellettuale che parte dagli anni Settanta, in cui il lavoro di pochi esponenti ha innescato un grande cambiamento culturale relativo al sistema economico, influenzando l’azione di alcune politiche di indirizzo.

In particolare, sono state sviluppate in letteratura teorizzazioni riguardo la relazione tra economia e ambiente, trattate da due scuole di pensiero identificate come *environmental economics* (economia ambientale) ed *ecological economics* (economia ecologica). Entrambe le scuole di pensiero mirano a studiare la relazione “uomo-economia-ambiente” al fine di raggiungere la sostenibilità (Venkatachalam, 2007). Tuttavia, entrambe le scuole di pensiero tendono ad assumere differenti interpretazioni, in particolare dal punto di vista della necessità di cambiamento dell’approccio economico tradizionale e dell’interdipendenza/interazione tra tecnologia e natura.

L’economia ambientale propone uno scenario *win-win*, mirando all’unione tra crescita economica e uso sostenibile delle risorse (Loiseau *et al.*, 2016), introdotta dall’ipotesi di Porter<sup>1</sup>. L’economia ambientale sostiene che il capitale naturale possa essere sostituito dal capitale tecnico, inteso come l’insieme degli strumenti tecnologici costruiti dall’uomo, e che non sia necessario un effettivo cambiamento del sistema economico. Tali teorie cercano una soluzione al limite delle risorse attraverso lo sviluppo di nuove tecnologie utili a soddisfare i bisogni umani, e vedono le esternalità

1. Formulata dall’economista Michael Porter, l’ipotesi si fonda sulla teoria che una rigorosa regolamentazione ambientale può indurre efficienza e incoraggiare innovazioni che aiutano a migliorare la competitività commerciale, attraverso l’introduzione di tecnologie più pulite che rendono più efficienti i processi di produzione e i prodotti stessi (Porter and van der Linde, 1995).

come fallimenti del mercato. L'economia ambientale tende alla cosiddetta "sostenibilità debole", consentendo la sostituzione delle risorse naturali con tecnologie alternative avanzate e introducendo regimi fiscali e normativi che applicano sanzioni o tasse sulla soglia di inquinamento e autorizzazioni di emissione commerciabili (Stahel, 1976; Benyus, 1997; Hawken, 1999; McDonough e Braungart, 2002; Clift, 2016).

L'economia ecologica, invece, studia l'economia come sottoinsieme dell'ecosistema e si concentra sulla protezione del capitale naturale, negando il concetto che il capitale naturale e il capitale tecnologico possano essere intercambiabili. Argomentazione fondamentale è la ricerca di soluzioni per mantenere l'attività umana all'interno della capacità di carico del pianeta, ovvero all'interno dello *stock* di risorse disponibili e rigenerabili. L'economia ecologica suggerisce anche una chiara distinzione tra crescita (aumento quantitativo della produzione di beni) e sviluppo (miglioramento della qualità della vita) e accusa l'economia neoclassica e l'economia ambientale di confondere queste due questioni. Questa teoria promuove il cambiamento del sistema economico attuale (basato sulla crescita quantitativa) e la modifica dello stile di vita della società. L'economia ecologica, infatti, punta alla cosiddetta "sostenibilità forte", che mira alla conservazione delle risorse del pianeta e alla riduzione dei consumi (Boulding, 1966; Georgescu-Roegen, 1971; Daly, 1997; Costanza, 1997; Latouche, 2007).

Volendo restituire il quadro di riferimento teorico delle origini dell'attuale e tanto discusso tema dell'economia circolare, e volendo costruire un quadro definitorio di temi e concetti di base, di seguito vengono spiegati alcuni concetti fondamentali evidenziando le teorie dei principali autori dell'economia ambientale (cfr. paragrafo 1.1.1) e dell'economia ecologica (cfr. paragrafo 1.1.2).

### ***1.1.1. Massimizzazione d'uso dei prodotti ed economia a ciclo chiuso***

Sebbene diffusa recentemente, l'economia circolare è un concetto con radici molto più profonde, originato dalle iniziali teorie dell'economia ambientale. Nell'ambito di detta corrente di pensiero i teorici, padri fondatori, introducono l'economia circolare senza modificare i meccanismi dell'economia neoclassica, mirando a risparmiare energia e materia attraverso le strategie di riuso e riciclo dei prodotti, l'efficienza e la disincentivazione allo spreco, sottolineando gli obiettivi di riduzione del consumo di risorse. Vengono quindi enfatizzate le strategie che mirano all'estensione dell'uso dei prodotti attraverso l'uso e lo sviluppo di tecnologie che permettano il ri-pensamento dei cicli di consumo dei prodotti. Di seguito vengono trat-

tate le fondamentali visioni di un'economia basata sulle strategie di riuso e riciclo di Walter R. Stahel, di efficienza energetica di Paul Hawken, Amory Lovins e L. Hunter Lovins, di interconnessioni tra processi industriali di Ronald Clift, di ri-progettazione dei prodotti sulla base dell'insegnamento fornito dai cicli biologici di Janine Benyus, di transizione da concetto di "rifiuto" a concetto di "nutriente" di William McDonough e Michael Braungart.

### *Economia in loop attraverso il riuso e il riciclo dei prodotti*

Nell'ambito delle teorie dell'economia ambientale, è di fondamentale importanza il contributo dato da Walter R. Stahel<sup>2</sup> che si basa su quasi cinquant'anni di lavoro scientifico e intellettuale.

A partire infatti dal 1976, in un rapporto presentato alla Commissione europea, dal titolo *The Potential for substituting manpower for energy*, Stahel (in collaborazione con Genevieve Reday-Mulvey) delinea la visione di un'economia in *loop*, ovvero circolare, e il relativo impatto sulla creazione di posti di lavoro, risparmio di risorse e riduzione dei rifiuti, ponendo come centro di interesse la gestione delle risorse e dei rifiuti.

L'autore definisce una teoria economica finalizzata a trovare una soluzione alla saturazione dei mercati a causa di una produzione continua di prodotti industriali, tipica dell'approccio economico moderno conosciuto come "economia lineare". Egli sostiene che la produzione continua di beni non aumenta la ricchezza ma, solamente, sostituisce quella esistente (nuovi prodotti che sostituiscono quelli già utilizzati) ed, inoltre, i volumi sempre maggiori di rifiuti, rappresentati da tutti i prodotti giunti a fine vita utile (e sostituiti con nuovi) comportano aumenti sui costi di gestione e smaltimento (Stahel, 2016).

Stahel vede, quindi, l'applicazione di un'economia in *loop* come una massimizzazione del valore d'uso degli *stock* (chiamati anche "patrimonio" o "capitale") naturali, umani (ovvero il lavoro e le competenze acquisite), culturali (in termini materiali e immateriali), finanziari o industriali.

In contrapposizione all'economia lineare, che sostituisce la forza lavoro con energia (macchine) e gestisce i flussi di produzione, l'economia circolare sostituisce l'energia con la forza lavoro e le risorse con la gestione

2. Walter R. Stahel (1946-), nasce a Zurigo e si laurea alla Swiss Federal Institute of Technology nel 1971. Dopo la formazione come architetto diventa ricercatore di economia applicata. Dagli anni Settanta comincia il suo lavoro di ricerca mirata all'eliminazione degli sprechi attraverso il riutilizzo e l'estensione della vita utile dei prodotti. Attualmente è visiting professor presso la facoltà di Ingegneria e Scienze fisiche dell'Università del Surrey nel Regno Unito.

degli *stock* industriali esistenti. È proprio sottolineando l'importanza del lavoro umano che Stahel sostiene che «il capitale umano è unico perché non solo è una risorsa rinnovabile – come gli alberi – ma è anche l'unica risorsa con un margine qualitativo; la sua qualità può essere migliorata attraverso la formazione e la pratica ma si deteriorerà rapidamente se il capitale umano non viene utilizzato. Le persone, il capitale umano, sono un capitale – spesso dimenticato e non sfruttato – centrale di qualsiasi economia»<sup>3</sup> (Stahel, 1976).

In questa visione, quindi, l'economia circolare promuove la diffusione di laboratori locali in sostituzione delle sole fabbriche centralizzate, favorendo la creazione di occupazione e la reindustrializzazione su scala regionale.

Stahel definisce il fattore “tempo” come la caratteristica che distingue l'economia lineare e l'economia circolare, sia in termini economici sia in termini di proprietà e responsabilità. L'estensione del ciclo di vita utile dei prodotti (tempo di durata dell'uso del prodotto) porta ad una riduzione della velocità dei flussi di risorse, diminuendo parallelamente volumi di produzione e di rifiuti.

L'autore definisce due strategie economiche circolari per estendere il ciclo di vita delle merci: la prima basata sull'allungamento del valore d'uso dei prodotti, ottenibile attraverso l'attivazione di dinamiche di riuso, riparazione, rigenerazione, *reconditioning* e *upgrade* tecnologico e stilistico (strategia denominata “R”); la seconda basata sull'utilizzo di materiali di recupero anziché l'uso di risorse primarie vergini, attraverso dinamiche di riciclo dei materiali (strategia denominata “D”) (Fig. 3).

La strategia “R” mostra la criticità legata al fatto che gli *stock* di prodotti in uso sono dispersi a livello geografico e hanno caratteristiche molto diverse tra loro (Stahel, 2019). Tuttavia, Stahel sostiene che tale svantaggio è compensato dai guadagni economici dovuti a un *input* minimo di risorse.

All'interno della strategia “R” l'aumento del numero di cicli di vita dei prodotti è mirato a mantenere i prodotti (edifici, macchinari, veicoli, altri beni di consumo, ecc.) sempre al massimo della loro utilità e livello di utilizzo, aumentando la remuneratività e la bellezza del prodotto locale, non più solo di quello globalizzato.

Le strategie di riuso, riparazione, rigenerazione, *reconditioning* e *upgrade* tecnologico e stilistico si attivano in contesti circoscritti, per i quali le risorse necessarie non devono essere trasportate per lunghe distan-

3. Traduzione in: Stahel W.R. (2019), *Economia circolare per tutti. Concetti base per cittadini, politici e imprese*, Edizioni Ambiente, Milano.

ze o stoccate a lungo in depositi. Inoltre, la riduzione dei cicli di riutilizzo dei prodotti permette di aumentare l'efficienza nell'impiego delle risorse.

La redditività può aumentare notevolmente con un'innovazione dei sistemi e la messa in rete di utilizzatori e rilavoratori. Diventa, dunque, sempre più importante, lo sviluppo di modalità innovative di *networking* tra operatori locali per attivare le dinamiche della strategia “R” a livello urbano e distrettuale.

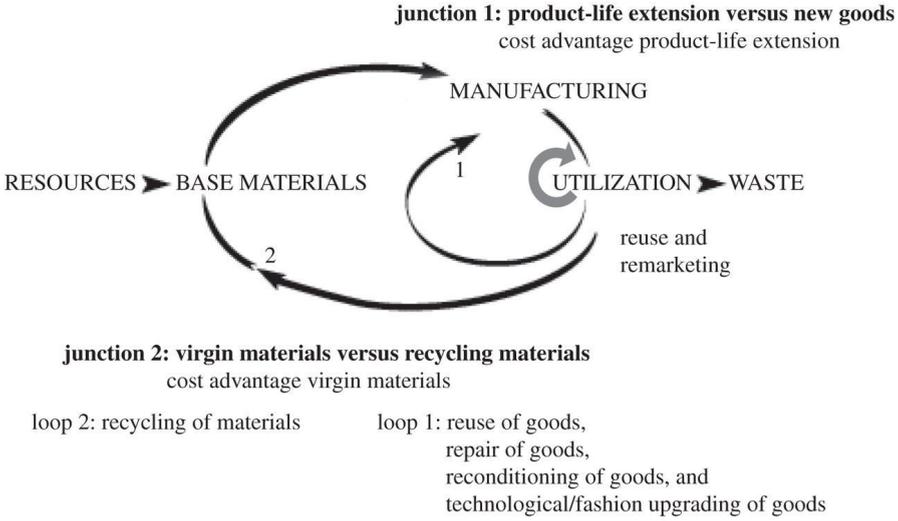


Fig. 3 – Le principali strategie di un'economia in loop, secondo la teoria di Stahel (fonte: Stahel and Reday Mulvey, 1981)

Stahel sottolinea, inoltre, che tutti i processi di recupero contemplati nella strategia “R”, richiedono un giudizio qualitativo e, quindi, la rivalorizzazione del capitale umano è fondamentale. La raccolta deve essere fatta accuratamente per poter preservare il valore dei prodotti usati, l'analisi delle opzioni di riparazione e rigenerazione dei singoli componenti deve essere svolta con attenzione.

Riguardo la strategia “D”, il recupero dei materiali a fine ciclo vita (ormai rifiuti) è mirato alla sostituzione di risorse “vergini” con materia prima seconda, proveniente appunto dallo *stock* di prodotti divenuti rifiuti (Stahel, 2019). Secondo Stahel, in termini economici i materiali recuperati dai rifiuti competono sul prezzo delle risorse vergini. Tuttavia, affinché le attività di riciclo siano efficaci è necessario migliorare: la conoscenza della transizione del prodotto dalla sua fase d'uso al punto di fine vita; la suddi-

visione e raccolta dei materiali; la responsabilità e proprietà continuativa dei prodotti e dei materiali che li compongono. È proprio su questo ultimo aspetto che Stahel sottolinea, in particolare, l'importanza della responsabilità estesa del produttore, evidenziandone anche il vantaggio economico, in quanto ciò porterebbe a costi di transizione e di *compliance* inferiori alle risorse vergini, evitando inoltre tassazioni o dazi di importazione.

Tuttavia, Stahel avverte anche il rischio che tale strategia possa favorire processi globali ad alto volume con trasporti su lunghe distanze tra luogo di scarto e processo di recupero. Di conseguenza sostiene sia necessaria una riduzione della diversità dei materiali nella produzione (attraverso una standardizzazione di prodotti), per poter trattare raggruppamenti di materiali più ampi ed evitare la gestione e trasporto di ridotti volumi di singole parti. Saranno, quindi, necessari ingenti investimenti iniziali sulla ricerca e sviluppo, per nuove tecnologie per il riciclo. La standardizzazione dei componenti e il mantenimento dell'identità materiale degli oggetti assumono un'importanza fondamentale, rappresentando un fattore determinante sul valore preservato dal materiale stesso e, di conseguenza, sui profitti della gestione, recupero, riciclo.

Ulteriori riflessioni hanno condotto più recentemente Stahel a teorizzare il passaggio da una "economia circolare" intesa nella sua dimensione artigianale e locale, ad una "economia circolare industriale" e globale. Più recentemente Stahel parla di *Circular Industrial Economy*, sottolineando che il passaggio da una "economia circolare" locale e artigianale a una "economia circolare industriale" regionale e industriale è avvenuto per la diffusione di società indipendenti e specializzate nel ricondizionamento di apparecchiature prodotte in serie (es. componenti per automobili) e grandi proprietari-utilizzatori di *stock* di macchinari (come le ferrovie e le compagnie aeree) che hanno sviluppato tecnologie, strumenti e metodi per migliorare la manutenzione, riparazione e rigenerazione dei propri prodotti.

La gestione generale o responsabilità estesa per il mantenimento degli *stock* sostituisce quindi l'approccio alle responsabilità limitate tipiche dell'economia lineare, dove estrazione, produzione, vendita, utilizzo, dismissione e scarto vengono gestite separatamente da attori con responsabilità limitata alla singola fase di processo.

Tale visione ha portato, quindi, Stahel ad un ulteriore ragionamento focalizzato sulle potenzialità di una *performance economy*, che considera un cambiamento dei modelli di *business* ponendo al centro la «vendita di beni [...] come servizio o la fornitura di garanzie di funzionamento» (Stahel, 2010), dunque di *performance*. Il produttore mantiene la proprietà del prodotto e delle sue risorse incorporate ed internalizza la responsabilità dei costi di produzione, di riuso, manutenzione e di gestione dei rifiuti, au-

mentando le opportunità di profitto. L'autore nel contesto della teorizzazione della *performance economy* sposta l'attenzione sulla "sufficienza" prima dell'efficienza, e suggerisce di focalizzarsi sulle soluzioni sistemiche prima che sui prodotti.

### *Il capitalismo naturale e l'eco-efficienza*

Pur essendo il concetto di capitale naturale ricorrente a partire dagli anni Settanta, negli anni Novanta nasce la teoria del capitalismo naturale, nella scuola di pensiero dell'economia ambientale. Detta teoria enfatizza l'obiettivo di risparmiare energia e materia attraverso l'efficienza e la riduzione degli sprechi, senza modificare drasticamente i meccanismi dell'economia neoclassica.

Il capitalismo naturale, attraverso la pubblicazione dell'omonimo libro del 1999, è stato posto alla base delle teorizzazioni degli studiosi Paul Hawken<sup>4</sup>, Amory Lovins e L. Hunter Lovins<sup>5</sup>.

Gli autori sostengono che il capitalismo naturale è differente dal capitalismo tradizionale, poiché il primo trascura il valore monetario dei servizi ecosistemici mentre il capitalismo naturale li contabilizza, puntando a far durare più a lungo le risorse naturali grazie ad un cambiamento progettuale e tecnologico mirato all'efficienza energetica e all'eliminazione dei rifiuti e degli sprechi.

Pur accettando la definizione di capitalismo, ovvero l'uso produttivo dei capitali e il loro reinvestimento, gli autori ampliano la visione includendo oltre ai capitali fisici e finanziari (beni, denaro liquido, investimenti e strumenti monetari), che sono le due forme di capitale considerate dal capitalismo tradizionale, anche i capitali naturale e umano. «Il capitale naturale può essere definito come la somma totale dei sistemi ecologici che sostengono la vita e si differenzia dal capitale costruito dall'uomo in quan-

4. Paul Hawken (1946-) nasce a San Mateo, in California, frequenta la UC Berkeley e la San Francisco State University. Imprenditore e giornalista, dall'età di vent'anni dedica la sua vita alla sostenibilità. È co-fondatore e direttore esecutivo di Project Drawdown, un'organizzazione no-profit che sostiene che il riscaldamento globale possa essere invertito.

5. Amory Lovins (1947-) nasce a Washington, e si laurea al Magdalen College (Oxford) in fisica. Ha ricevuto dieci lauree honoris causa e ha vinto numerosi premi. L. Hunter Lovins (1950-) nasce a Middlebury, Vermont e si laurea in sociologia e scienze politiche presso il Pitzer College e ottiene un dottorato in giurisprudenza presso la Loyola Law School. Amory Lovins e L. Hunter Lovins sono co-fondatori del Rocky Mountain Institute, organismo indipendente di ricerca sui temi della politica delle risorse e "incubatore" di iniziative imprenditoriali innovative e tecnologicamente avanzate.

to non può, appunto, essere prodotto dall'attività umana»<sup>6</sup> (Hawken *et al.*, 1999); mentre il capitale umano è costituito dalla forza lavoro, patrimonio intellettuale, cultura e organizzazione.

L'unione di queste quattro forme di capitale (naturale, umano, fisico/tecnologico, finanziario), secondo gli autori, può definire un "capitalismo naturale" capace di raggiungere prosperità economica sulla base di un'economia capace di risanare l'ambiente e la società, risolvendo quindi problemi ambientali ed occupazionali.

Secondo Hawken, Lovins e Lovins, il capitalismo naturale e la possibilità di un nuovo sistema industriale sono basati su numerosi assunti, diversi rispetto a quelli del capitalismo tradizionale, che vedono la disponibilità e il funzionamento del capitale naturale come fattori abilitanti dell'economia futura.

Essi sostengono che per il raggiungimento di un'economia sostenibile è necessario evitare la generazione dei rifiuti riprogettando sistemi produttivi mal concepiti; è necessario un radicale miglioramento nella produttività delle risorse, che determina un migliore utilizzo delle persone, del denaro e dell'ambiente, e un miglioramento del flusso dei servizi forniti anziché di un semplice aumento del flusso totale di denaro. Il futuro progresso e sviluppo produttivo e commerciale sostenibile potrà verificarsi al meglio solo considerando tutte le forme di capitale (ovvero capitale prodotto, umano, finanziario e naturale), basandosi sui bisogni delle persone e riaggiustando iniquità di reddito e di benessere materiale.

Hawken, Lovins e Lovins affermano che il capitalismo naturale si fonda sui seguenti quattro principi fondamentali.

1. Produttività delle risorse radicalmente superiore, attraverso un rallentamento dell'utilizzo delle risorse, che diminuisce la generazione di rifiuti ed emissioni inquinanti e al tempo stesso consente l'aumento dell'occupazione e la sua qualificazione. Nella formulazione più semplice, aumentare la produttività delle risorse significa ottenere lo stesso lavoro utile da un prodotto o da un processo usando meno materiali e meno energia. Ciò è traguardabile attraverso l'utilizzo di nuove tecnologie e la progettazione di nuovi processi che possano cambiare la struttura dell'industria attuale.
2. Bioimitazione, che comporta la riduzione dello spreco nei flussi di materiali attraverso la riformulazione del processo industriale sull'esempio

6. Traduzione in: Paul Hawken, Amory Lovins e L. Hunter Lovins (2001), *Capitalismo Naturale. La prossima rivoluzione industriale*, Edizioni Ambiente, Milano, pp. 121.

dei processi biologici, trasformando i rifiuti in valore. Ciò è possibile attivando un costante riuso dei materiali in cicli chiusi continui e l'eliminazione delle sostanze tossiche.

3. Gestione di flussi e servizi, attraverso il cambio di relazione tra produttore e consumatore, trasformando un'economia di merce e acquisti in un'economia di servizi. Si tratta di innestare una nuova percezione del valore, un cambiamento della mentalità dell'acquisto inteso come acquisizione di un benessere basato su qualità e prestazione. Riprendendo le teorie degli anni Ottanta di Walter R. Stahel e Michael Braungart, si promuovono modelli di *business* basati su forme di noleggio e di *leasing* per portare alla prospettiva che i produttori cessino di vendere prodotti ma diventino fornitori di servizi, utilizzando merci durevoli, migliorabili e riutilizzabili, rilavorabili ed infine riciclabili.
4. Investimenti nel capitale naturale, per far fronte alla continua diminuzione della disponibilità di risorse pro capite, ad esempio di acqua o terra coltivabile, e alla polarizzazione della ricchezza e povertà (causa di conflitti regionali e instabilità di sicurezza globale). Ciò è possibile attraverso la riformulazione di sussidi e di sistemi fiscali che investano negli *stock* del capitale naturale per fare in modo che la biosfera riesca ad incrementare servizi ecosistemici e risorse naturali.

Il primo principio è senza dubbio quello che negli anni ha ricevuto maggiore seguito e più ampia applicazione. L'eco-efficienza è infatti stata alla base dell'approccio scelto dall'Unione europea per la formulazione delle strategie di sviluppo sostenibile e della *green economy*. Lo sviluppo delle tecnologie e dei sistemi produttivi ha infatti ottenuto grandi risultati nell'aumentare la produttività delle risorse e quindi riuscendo a produrre di più, utilizzando meno energia e materia. Ma questo approccio preso singolarmente non è sufficiente per tragaruardare la sostenibilità del modello economico, anzi, potrebbe innescare il cosiddetto "effetto rebound" che spinge e legittima il maggior consumo di un bene data la sua facilità ed economicità di produzione.

Infatti, secondo il concetto del capitalismo naturale di Hawken e dei Lovins, tutti e quattro i principi sono fondamentali ed interconnessi. Essi stessi, infatti, pur condividendo l'idea che adattamenti tecnologici possano compensare perdite di sistemi viventi, sottolineano la difficoltà ad immaginare tecnologie che possano sostituire servizi ecosistemici come la produzione di ossigeno, la purificazione dell'aria e dell'acqua, la distribuzione globale dell'acqua dolce, la fissazione dell'energia solare e la conversione in materie prime, la protezione dalle radiazioni cosmiche pericolose, il mantenimento di habitat riproduttivi per le specie selvatiche, ecc.

Di conseguenza gli autori sottolineano anche l'importanza di conoscere e sintetizzare il valore di tali servizi in termini economici. L'attribuzione di un prezzo annuo ai servizi forniti dagli ecosistemi consentirebbe di porre all'attenzione dell'opinione pubblica il problema ambientale causato da sistemi produttivi insostenibili.

Secondo gli studiosi, l'attribuzione di valore agli *stock* e ai flussi di capitale naturale, per quanto approssimativa, è un primo passo nella direzione dell'incorporazione di tali valori nella pianificazione, nelle politiche e nei comportamenti pubblici.

Si rende necessaria una revisione nell'impostazione economica dei bilanci nazionali e internazionali che valorizzi almeno parzialmente gli *stock* e i flussi di servizi forniti dal capitale naturale. Ciò farebbe cambiare la tendenza del capitalismo tradizionale in cui lo sfruttamento delle risorse naturali non solo è gratis, ma impone alla collettività di pagare il prezzo delle conseguenze dell'impoverimento.

### *L'ecologia industriale e i parchi eco-industriali*

La definizione di ecologia industriale, o *industrial ecology*, ha origine negli anni Sessanta, per poi concretizzarsi negli anni Settanta e diffondersi negli anni Novanta, diventando di interesse per le più grandi aziende americane e tema di studio scientifico e di discussione a conferenze internazionali.

Il caso di Kalundborg (in Danimarca) viene identificato come il primo esempio di ecologia industriale in tutto il mondo. Attivatosi in modo spontaneo negli anni Sessanta grazie all'iniziativa di alcune imprese, Kalundborg ha per prima colto l'opportunità di crescita economica e di sostenibilità ambientale ottenibile da una collaborazione sinergica, di scambio di scarti e sottoprodotti, per minimizzare l'utilizzo di materie prime vergini, le emissioni inquinanti e contenere l'aumento dei costi.

La grande diffusione del concetto di ecologia industriale è avvenuta attraverso il sostegno di persone che hanno rivestito ruoli decisionali nelle più grandi aziende multinazionali del mondo (ad esempio AT&T, General Motors, ecc.), o nelle più grandi società di consulenza industriale (ad esempio la Global Business Network) dove appunto ricorrono figure come Braden R. Allenby, Harding B. Tibbs e William Edwards Deming, tutti noti come ideatori e sostenitori dell'*industrial ecology*.

In letteratura, le origini dell'ecologia industriale sono associate ad un articolo di Robert A. Frosch and Nicholas E. Gallopoulos<sup>7</sup>, pubblicato nel

7. Robert A. Frosch (1928-2020) nasce a New York, ottiene il titolo di dottore di ricerca in fisica teorica alla Columbia University. Nicholas E. Gallopoulos (1936-) nasce ad

1989, in cui essi, prendendo tre esempi di processi industriali (la conversione dei derivati del petrolio in plastica, la conversione del minerale di ferro in acciaio e la raffinazione e l'uso di metalli del gruppo del platino come catalizzatori), delinearono alcuni dei problemi coinvolti nello sviluppo dei sistemi di processo fornendo informazioni su come i sottosistemi potessero essere riutilizzati in modo da sviluppare un ecosistema industriale.

Anche se la natura multidisciplinare dell'ecologia industriale rende difficile fornire una definizione coerente e universalmente accettata, L.W. Jelenski *et al.* (1992) definiscono l'ecologia industriale come: «un nuovo approccio alla progettazione industriale di prodotti e processi e all'attuazione di strategie di produzione sostenibili. È un concetto in cui un sistema industriale è visto non in isolamento dai sistemi circostanti ma in armonia con essi. L'ecologia industriale cerca di ottimizzare il ciclo totale dei materiali, dal materiale vergine al materiale finito, al componente, al prodotto, ai prodotti di scarto e allo smaltimento finale»<sup>8</sup>.

L'ecologia industriale tenta di indurre equilibrio e cooperazione tra i processi industriali e l'ambiente, in modo tale che nessun sistema danneggi l'altro. Questo approccio non mette in discussione i fondamenti dell'economia tradizionale, ma cerca di quantificare i flussi di materiale ed energia per garantire il sostentamento dell'industria stessa, sviluppando processi industriali che minimizzino lo spreco di materiale e la generazione dei rifiuti.

Sulla base dei concetti dell'ecologia industriale, si basano anche i cosiddetti “parchi eco-industriali”, o *eco-industrial park*, che consentono una particolare efficienza raggiungibile in aree circoscritte, nelle quali sono presenti infrastrutture e organizzazioni che permettono l'interscambio e la simbiosi tra le industrie del sito stesso.

Nel 1995 Nelson Nemerow, nel libro *Zero Pollution for Industry: Waste Minimization Through Industrial Complexes*, ha immaginato la creazione di un sistema di molteplici complessi industriali equilibrati dal punto di vista ambientale in cui le aziende del complesso consumano a vicenda i sottoprodotti come mezzo per aumentare l'efficienza produttiva e ridurre gli sprechi.

In un *eco-industrial park* le industrie cooperano per ridurre gli sprechi, le emissioni e i rifiuti, condividendo efficientemente le risorse tra esse

Atene, laureato in ingegneria chimica presso la Pennsylvania State University, conduce tutta la sua carriera negli Stati Uniti. Entrambi hanno lavorato presso le sedi americane di grandi aziende multinazionali.

8. Traduzione dell'autore da: Jelinski L.W., Graedel T.E., Laudise R.A., McCall D.W. and Patel C.K.N. (1992), “Industrial ecology: Concepts and approaches”, *Proceeding National Academy of Sciences*, Washington, DC, vol. 89, pp. 793-797.

stesse (Clift and Druckman, 2016). Avviene una condivisione di materiali, acqua, energia, ma anche di informazioni con la finalità di aumentare i guadagni economici e di migliorare la qualità dell'ambiente. Tale sistematizzazione vede quindi grandi potenzialità attraverso il coinvolgimento di molti e diversi settori di produzione industriale in un'unica area geografica, in quanto un'elevata diversità di *input* e *output* piuttosto che uniformità, porta a numerose nuove opportunità di *business* basate sul riutilizzo dei sottoprodotti (Chertow, 2000).

### *La biomimesi come progettazione ispirata ai processi della natura*

A fianco delle teorizzazioni precedentemente descritte, che si concentrano sulla gestione dei rifiuti, nell'ambito delle teorie di economia ambientale, si diffonde anche la corrente di pensiero basata sulla biomimesi, che pone al centro la progettazione.

La biomimesi (in inglese *Biomimetics* o *Biomimicry*) emula i processi biologici della natura come fonte di ispirazione per il miglioramento delle attività produttive umane e vede la natura come modello per la progettazione di tecnologie e manufatti.

La letteratura riconosce come massima rappresentante della biomimesi la biologa Janine M. Benyus<sup>9</sup>, che sicuramente ha reso tale approccio molto popolare attraverso il suo libro del 1997 *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*.

La rivoluzione della biomimetica introduce «un'era basata non su quello che possiamo estrarre dalla natura, ma su quello che possiamo imparare da essa» (Benyus, 1997); in tale processo di educazione e di comprensione empatica della natura, impariamo anche a imitare le strategie vincenti utilizzate dalle altre specie viventi.

È evidente che «tutte le nostre invenzioni sono già apparse in natura in una forma più elegante e a costi molto inferiori per il pianeta» (Benyus, 1997). Benyus sottolinea che l'uomo cerca di soddisfare quotidianamente le stesse esigenze che hanno tutti gli esseri viventi (come ottenere cibo, acqua, spazio e un riparo per abitare). La tendenza attuale, però, è quella di cercare di trovare una soluzione a tali sfide attraverso la sola intelligenza umana, spesso ignorando i meccanismi già applicati dagli ecosistemi naturali, esito di un'evoluzione di miliardi di anni.

9. Janine Benyus (1958-) nasce nel New Jersey e si laurea alla Rutgers University in gestione delle risorse naturali e letteratura/scrittura inglese. Agisce come "biologist at the design table" per varie aziende e governi sostenibili e tiene lezioni all'Università del Montana.

Attraverso la biomimesi le attività antropiche diventano una forza per ripristinare gli ecosistemi naturali, l'aria, l'acqua, il suolo e creare condizioni favorevoli alla vita anziché danneggiare negativamente tali equilibri. La biomimesi incoraggia la conservazione degli esseri viventi e dei suoi habitat, perché detengono le conoscenze di cui abbiamo bisogno per sopravvivere e prosperare.

Sono tre gli elementi essenziali della biomimesi: *emulation*, *ethos* e *(re)connection*.

Per *emulate* (emulare) si intende la pratica scientifica basata sulla comprensione e riproposizione dei principi, dei modelli, delle strategie e delle funzioni presenti in natura per progettare processi e prodotti rigenerativi e sostenibili.

L'*ethos* rappresenta l'etica, ovvero l'approccio filosofico utile a capire come funzionano i processi naturali e come riuscire a ricavarne esperienza per ideare progetti e processi antropici. L'etica rappresenta il rispetto, la responsabilità e la gratitudine che l'uomo deve dimostrare verso la natura, finalizzando i propri obiettivi alla determinazione di condizioni favorevoli alla vita stessa sul pianeta per tutte le specie viventi.

*(Re)Connection* (riconnettersi) rappresenta la riconnessione tra gli esseri umani e il resto della natura, in quanto l'uomo stesso è parte dei sistemi interconnessi della vita. È un approccio che incoraggia a osservare per capire come funzionano le regole della natura in modo da poter operare attraverso una migliore etica.

Di conseguenza, l'approccio alla biomimesi considera non solo una mera imitazione dei processi naturali, ma riguarda anche l'osservazione e la comprensione dei suoi principi e fondamenti, come sottolinea Benyus in questa affermazione: «abbiamo volato come un uccello per la prima volta nel 1903 e nel 1914 stavamo sganciando bombe dal cielo. Forse alla fine non basterà un cambiamento tecnologico per raggiungere la biomimesi, ma è necessario un cambiamento del sentimento umano, che ci permette di prestare attenzione alle lezioni della natura»<sup>10</sup> (Benyus, 1997).

È proprio l'enfasi sull'apprendimento e la comprensione delle soluzioni rigenerative dei sistemi viventi che distingue l'approccio progettuale alla biomimesi dal solo approccio progettuale bioispirato, o *bio-inspired design*, e dal solo bioutilizzo. Il *bio-inspired design* si riferisce a progetti che assomigliano visivamente e per forma a elementi naturali; il bioutilizzo si riferisce all'uso di materiale biologico o organismi viventi in un progetto o

10. Traduzione dell'autore da: Benyus J.M. (1997), *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, William Morrow Harper Collins Publishers, New York.

tecnologia, ad esempio, utilizzare risorse rinnovabili come il legno per costruire un edificio. Nonostante l'approccio progettuale alla biomimetica consideri spesso anche un *bio-inspired design* e l'uso di materiali biologici, non si deve confondere "la parte per il tutto". Non è sufficiente "assomigliare" alla natura o utilizzare materiale naturale, il vero indicatore dell'approccio progettuale alla biomimesi è la funzione. La caratteristica distintiva è lo studio e l'emulazione di strategie funzionali per creare soluzioni sostenibili che includano anche gli elementi di etica e riconnessione alla natura.

Benyus nel suo libro cerca di rispondere a diverse domande affrontando la risposta attraverso la biomimesi; oltre alle domande inerenti a come ci nutriremo, come sfrutteremo l'energia, come faremo le cose, come ci cureremo, come memorizzeremo ciò che impariamo, l'autrice si domanda come condurremo la nostra economia. A quest'ultima domanda risponde con l'opzione di "chiudere il cerchio del commercio", gestendo le attività come fa una "foresta di sequoie".

Benyus definisce, in particolare, dieci strategie vincenti elaborate nel corso della selezione naturale di miliardi di anni, adottate da tutti gli ecosistemi complessi e maturi. Dette strategie, che vengono di seguito elencate, dovrebbero essere adottate anche dal sistema economico.

1. Utilizzare i rifiuti come risorse: ispirandosi ai concetti definiti nell'ambito dell'*industrial ecology* e quindi creare sinergie tra sistemi per permettere che gli scarti o rifiuti industriali diventino nutrienti.
2. Diversificare e collaborare per utilizzare appieno l'habitat: privilegiando la cooperazione rispetto alla competizione, così come accade in natura tra specie diverse che stabiliscono una convivenza endosimbiotica per ottenere vantaggi in sinergia; anche sistemi industriali diversi devono raggiungere un sostegno di mutuo beneficio.
3. Raccogliere e utilizzare l'energia in modo efficiente: l'energia non può essere riciclata, dopo aver utilizzato energia per compiere un lavoro, essa viene trasformata, generalmente sotto forma di calore, e quindi non può più essere utilizzata per svolgere lo stesso lavoro che ha compiuto in precedenza; è necessario quindi essere efficienti sviluppando metodi più intelligenti per utilizzare meno energia.
4. Ottimizzare anziché massimizzare: spostando l'enfasi dalla massimizzazione della produttività verso l'ottimizzazione; così come gli alberi di una comunità vegetale nei primi anni crescono rapidamente e negli anni successivi rallentano la loro crescita man mano che più alberi vanno a condividere lo stesso spazio, anche i sistemi industriali devono invertire l'andamento di grandi flussi di materiali (che diventano rapidamente rifiuti); ridurre le portate consente di modulare al meglio i

- controlli ed essere quindi in grado di cambiare ed adattarsi alle condizioni esterne.
5. Utilizzare i materiali con parsimonia: gli organismi si costituiscono per durare, si adattano alla forma per funzionare, costruendo esattamente ciò che è necessario con il minimo indispensabile; allo stesso modo è necessario progettare processi e prodotti che siano ad alta durabilità e che abbiano una funzionalità estesa nel tempo.
  6. Non inquinare il proprio habitat: nessun ecosistema naturale avvelena il proprio habitat, non usa temperature elevate, sostanze chimiche o pressioni elevate per produrre qualcosa, non stressa le fonti di approvvigionamento ma anzi, crea le condizioni necessarie alla vita; è necessario rendersi conto che siamo l'unica specie che tende ad ignorare questo fatto, attraverso un sistema produttivo che insiste nell'inquinare l'ambiente in cui vive.
  7. Non abbassare il livello delle risorse naturali: la natura ha capito che è meglio non esaurire completamente le risorse, ma è meglio passare da una fonte all'altra per permettere alla prima di rinnovarsi; quindi, così come il parassita non uccide il suo ospite o la giraffa si nutre contemporaneamente da più alberi senza consumarli mai interamente, anche l'uomo deve attingere solo a risorse rinnovabili, dando il tempo alle stesse di rigenerarsi, e riciclare quelle non rinnovabili già utilizzate, senza consumarne ulteriori.
  8. Rimanere in equilibrio con la biosfera: la biosfera (lo strato di aria, terra e acqua che sostiene la vita) è un ciclo chiuso, il che significa che nessun materiale viene importato o esportato; gli *stock* dei principali elementi biochimici come carbonio, azoto, zolfo e fosfato rimangono praticamente gli stessi anche se vengono attivamente scambiati tra organismi; differentemente, è necessario considerare che le emissioni di CO<sub>2</sub> prodotte dalle attività antropiche non sono bilanciate dai processi naturali in quanto il sistema industriale è attualmente un sistema aperto in cui i nutrienti si trasformano in rifiuti.
  9. Trasmettere informazioni: i processi naturali migliorano un sistema per renderlo più resiliente, consentendo il cambiamento della struttura del sistema stesso attraverso un ricco sistema di *feedback* (anomalie riproduttive, cambiamenti meteorologici, ecc.); sulla base di questo esempio, dobbiamo stabilire collegamenti di *feedback* tra e all'interno delle imprese al fine di consentire un miglioramento dei processi e attivare lo scambio di informazioni e materiali tra industrie, abilitando il riutilizzo di scarti come nutrienti.
  10. Fare acquisti localmente: così come gli animali non possono importare i prodotti ed evolvono in relazione alla disponibilità dei nutrienti/

cibo che l'habitat mette loro a disposizione, anche la nostra economia dovrebbe essere locale, consentendo di risparmiare energia, non essere dipendenti da sistemi che non saranno disponibili per sempre (come il trasporto globale di materiali) e rendersi conto dell'effettivo impatto delle nostre produzioni sull'ambiente.

Molte soluzioni ispirate alla natura sono già state tradotte in applicazioni tecniche e commercialmente disponibili, come il velcro, ispirato al cardo alpino, le superfici autopulenti, ispirate alle foglie di loto, gli adesivi strutturali, ispirati al gecko e alle valve di alcuni molluschi, il sonar ispirato all'apparato di geolocalizzazione dei pipistrelli.

### *Cradle to cradle (dalla culla alla culla)*

Un'altra teoria che tratta il pensiero progettuale a monte dell'ideazione di qualsiasi prodotto è la più recente *cradle to cradle*, riconducibile alla corrente dell'economia ambientale in quanto non mette in discussione i sistemi economici attuali.

La filosofia progettuale *cradle to cradle*, divulgata all'inizio degli anni 2000 attraverso l'omonimo libro di William McDonough<sup>11</sup> e Michael Braungart<sup>12</sup>, teorizza che tutto il materiale coinvolto ed utilizzato nella produzione di beni materiali deve tornare ad essere nutriente per la sfera biologia o tecnica.

*Cradle to cradle*, che significa “dalla culla alla culla”, si contrappone al concetto “dalla culla alla tomba”, che in genere si trova alle basi della progettazione di un qualsiasi prodotto che è di solito progettato e pensato per arrivare fino alle mani del consumatore, senza pensare a quello che succederà dopo e dunque destinando i prodotti per lo più in discarica. Il modello *cradle to cradle* si prefigge l'obiettivo di pensare e di risolvere quello che sarà il fine vita di un prodotto, pensando quindi all'intero ciclo di vita,

11. William McDonough (1951-) nasce nella capitale giapponese, si trasferisce successivamente a Hong Kong, in Canada e negli Stati Uniti d'America. È un architetto statunitense, fondatore dello studio di architettura “William McDonough+Partners” e co-fondatore di “MBDC McDonough Braungart Design Chemistry”, entrambe con sede a Charlottesville, in Virginia. Dal 1994 al 1999 è stato preside della facoltà di architettura dell'Università della Virginia.

12. Michael Braungart (1958-) nasce in Germania, si laurea in Ingegneria dei processi a Darmstadt e completa il suo dottorato di ricerca in chimica presso l'Università di Hannover. Nel 1985 è alla guida di Greenpeace Chemistry. Fondatore di EPEA International Umweltforschung GmbH ad Amburgo, Germania, e co-fondatore di MBDC McDonough Braungart Design Chemistry a Charlottesville, Virginia, Braungart è attualmente professore di Eco-Design presso l'Università Leuphana di Lüneburg.

dall'inizio, in fase di progettazione. Pensando alla fase finale di un prodotto fin dalla sua ideazione, si potrà arrivare a realizzare un prodotto che alla fine non diventerà un rifiuto ma un nutriente di nuovi prodotti.

La teoria di McDonough e Braungart mette, innanzitutto, in discussione il concetto di eco-efficienza. Tale concetto, che comporta il “fare più con meno”, è condiviso e approvato in ambito industriale, considerato il beneficio economico che tale approccio dà ai processi industriali in termini di minori costi di gestione dei rifiuti e minori costi di consumo di materie prime ed energia. Secondo i due teorici la riduzione, ovvero uno dei principi fondamentali dell'eco-efficienza, non impedisce gli impatti negativi sull'ambiente ma li limita soltanto, rallentandoli e rimandandoli nel tempo.

Parallelamente, analizzando sempre il pensiero dei due teorici, anche il riutilizzo dei rifiuti, in molti casi, comporta il mero spostamento degli stessi da un luogo all'altro, non eliminando i residui chimicamente contaminati (come diossine, metalli pesanti, ecc.) contenuti nei rifiuti stessi. Anche il riciclaggio, che è spesso un subciclaggio (o *downcycling*) poiché comporta la perdita di valore dei materiali, può aumentare la contaminazione della biosfera in quanto, spesso, è necessaria l'aggiunta di agenti chimici ai processi di riciclaggio per mantenere le caratteristiche prestazionali del materiale riciclato stesso.

Secondo McDonough e Braungart queste soluzioni *end-of-pipe* di riduzione, riutilizzo e riciclaggio, ovvero strategie che cercano di risolvere il problema dei rifiuti a posteriori, mostrano le suddette criticità in quanto i prodotti stessi non sono stati pensati e creati per essere riutilizzati o riciclati a fine vita. La teoria *cradle to cradle* si allontana quindi dal solo concetto di “eco-efficienza”, inteso come riduzione dei danni, ed incoraggia invece un cambiamento, pensando ad un modello produttivo diverso, che si basa sul concetto di “eco-efficacia”.

Gli autori McDonough e Braungart, attraverso il racconto dell'albero di ciliegio, illustrano come l'obiettivo finale dell'economia non dovrebbe essere la semplice efficienza delle singole parti quanto piuttosto l'efficacia complessiva del sistema: «prendiamo il ciliegio: i suoi fiori danno frutti che sfamano uccelli, uomini e altri animali in modo che i noccioli cadano a terra, mettano radici e crescano. [...] L'albero fa fiori e frutti in abbondanza [...]. Una volta caduti a terra, i fiori si decompongono e si scompongono in sostanze che nutriranno i microrganismi, gli insetti, le piante, gli animali e il suolo» (McDonough e Braungart, 2003). «Se la natura adottasse il modello umano di efficienza, ci sarebbero meno fiori di ciliegio e meno sostanze nutritive. [...] Meno varietà, meno creatività e meno piaceri. L'idea di una natura più efficiente, che smaterializzi, che non produca rifiuti [...] è assurda» (McDonough e Braungart, 2003).

Ne consegue quindi che l'approccio da adottare non deve essere "efficiente", di riduzione massima degli sprechi e dei consumi, ma "efficace", di previsione (già in fase di progettazione) di come gli sprechi (che viene tollerato esistano) possano rientrare nel ciclo di vita.

Attraverso l'immagine del ciliegio, gli autori spiegano che qualsiasi prodotto deve essere pensato come parte di un eco-sistema molto più grande e interdipendente. Gli *output* di un processo (il ciliegio e i suoi fiori) possono diventare *input* per altri processi; quindi, così come i fiori e i frutti del ciliegio, caduti a terra, non solo danno vita a una nuova generazione di ciliegi ma forniscono anche cibo per i microrganismi, che a loro volta nutrono il suolo e supportano la crescita della futura vita vegetale, anche altri prodotti e processi devono essere pensati per essere futuri nutrienti per altri prodotti/processi.

Continuando a prendere esempio e trarre ispirazione dalla complessità e intelligenza delle dinamiche della natura, gli autori esortano a creare processi antropici che possano avere effetti secondari positivi, così come avviene nel caso della perfetta organizzazione di un formicaio e del fondamentale contributo positivo che il suo funzionamento dà all'ecosistema locale.

Il progetto eco-efficace deve quindi guardare oltre lo scopo primario di un prodotto o di un sistema produttivo, domandandosi dall'inizio che tipo di effetti possa avere un determinato prodotto/processo nel tempo e nello spazio, nell'immediato e nel lungo raggio e di quale sistema culturale, commerciale o ecologico quel prodotto/processo sarà parte.

In questa visione gli autori sostengono che, attraverso la tecnologia, l'industria possa diventare più sicura, efficace, produttiva e intelligente al punto di potersi perfettamente integrare con mutuo beneficio nelle aree urbanizzate.

Nella visione *cradle to cradle* i flussi materiali possono essere divisi in due categorie: massa biologica e massa tecnica, cioè industriale (Fig. 4). Questi due flussi distinguono nutrienti biologici e nutrienti tecnici: i primi utili alla biosfera, i secondi utili ai processi industriali. Imitando il sistema del metabolismo della natura "dalla culla alla culla", viene conseguentemente eliminato il concetto di rifiuto: ciò è possibile attraverso una progettazione a monte che non contempla la possibilità di generare rifiuti. I prodotti possono essere composti da materiali biodegradabili che diventano cibo per i cicli biologici (ad esempio progettando imballaggi come nutrienti biologici, che possano essere consumati dai microrganismi del suolo o da altri animali) o da materiali tecnici che rimangano all'interno di cicli tecnici chiusi dell'industria (ad esempio progettando nutrienti tecnici che possano rientrare nel ciclo tecnico industriale, attivando il concetto di prodotto-servizio), evitando che i due metabolismi si contaminino l'un l'altro.

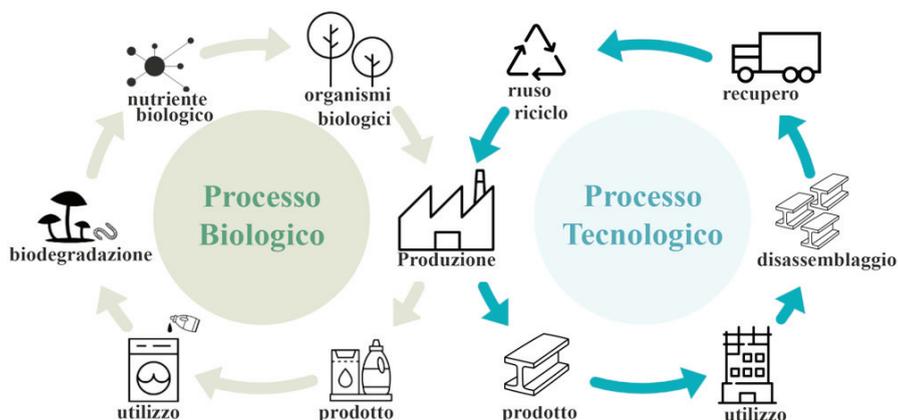


Fig. 4 – Ciclo biologico e ciclo tecnologico nell'approccio cradle to cradle (fonte: elaborazione dell'autore)

Nel 1995 McDonough e Braungart fondano una società per assistere le aziende nell'implementazione di questi principi di progettazione sostenibile, applicando le loro teorie a casi concreti.

### ***1.1.2. L'equilibrio con la capacità di carico del pianeta e il cambiamento dei consumi***

A fianco delle teorie appena trattate nel precedente paragrafo, si pongono quelle associate alla corrente di pensiero dell'economia ecologica che si concentra più esplicitamente sulla sostenibilità ambientale a lungo termine, dichiarando la necessità di un cambio di sistema economico che rispetti i tempi di rigenerazione del pianeta.

I teorici, padri fondatori, denunciano l'economia neoclassica e le strategie volte ad enfatizzare le tecnologie come sostitutive del capitale naturale e a ricercare la massimizzazione di uso dei prodotti, richiamando la necessità di cambiare radicalmente i modi di uso e consumo.

Tali testi teorici sottolineano che il continuo sfruttamento delle risorse (seppur ridotto) non può essere sostenibile in un mondo di risorse limitate e di crescita esponenziale della popolazione, per cui è necessario ripensare e mettere in discussione i processi attuali ed allineare i flussi tecnologici alla circolarità dei flussi presenti in natura.

Si collocano in questo ambito, quindi, i trattati sui limiti delle risorse del pianeta di Kennet Boulding, sull'irreversibile degradazione delle risorse

energetiche e materiche in base al secondo principio della termodinamica di Nicholas Georgescu-Roegen, sulla necessità di ritrovare un equilibrio con la natura come afferma Herman Daly, sull'urgenza di definire modelli sostenibili di sviluppo economico distinti dalla crescita economica di Robert Costanza e sulla riduzione controllata e selettiva della produzione economica e dei consumi di Serge Latouche.

### *Riorganizzazione del modello economico sulla base dei limiti delle risorse*

È possibile identificare il discorso tenuto da Kenneth E. Boulding<sup>13</sup> nel 1966 al *Sixth Resources for the Future Forum on Environmental Quality in a Growing Economy* a Washington come il primo passo verso la necessità di proporre una visione di un modello economico differente da quello tradizionale. Alla base delle sue teorie, egli ha dimostrato che al crescere della popolazione sul pianeta Terra sarebbe stato sempre più necessario riorganizzare il modello planetario di produzione, consumo e gestione dei rifiuti.

In questo contesto, Boulding sottolinea l'importanza di allontanarsi dall'antica immagine della "frontiera", sviluppata nella storia quando il mondo non era ancora completamente esplorato e conosciuto. Su di essa si basa la convinzione umana che oltre i limiti conosciuti del nostro luogo abitato c'è, da qualche parte, un altro posto dove andare quando il posto in cui viviamo non ci offrirà più le risorse di cui abbiamo bisogno. Invece noi viviamo su un pianeta delimitato.

Boulding ha reso chiaro tale condizione attraverso la definizione di due diverse economie: l'"economia del cowboy", detta anche economia a ciclo aperto, contrapposta a quella del "cosmonauta", detta economia a ciclo chiuso. La prima, simboleggiata dalla figura del cowboy abituato a conquistare e saccheggiare estese pianure disabitate, è associata ai comportamenti sconsiderati e sfruttatori delle risorse naturali tipiche di una economia a ciclo aperto, ovvero un'economia che richiede *input* (risorse) e cede *output* (rifiuti) ad altri sistemi non economici, come l'ambiente naturale. La seconda, invece, simboleggiata dalla figura del cosmonauta costretto a sopravvivere in una nave spaziale con riserve limitate di cibo, ossigeno e acqua, è

13. Kenneth Ewart Boulding (1910-1993) nasce a Liverpool e inizia la sua carriera ad Oxford per poi trasferirsi negli Stati Uniti dove trascorre interamente la sua vita professionale. Anche se la sua formazione si basa sulla disciplina scientifica economica, la sua produzione scientifica ha un approccio interdisciplinare ed integrato alle scienze sociali. Illustre professore emerito all'Università del Colorado a Boulder, Kennet E. Boulding ha ricevuto lauree honoris causa da oltre trenta università e premi, non solo per l'economia, ma anche per le scienze politiche, la ricerca per la pace e nelle discipline umanistiche.

associata al comportamento consapevole che la popolazione mondiale deve assumere in relazione alle risorse limitate del pianeta, attraverso un'economia a ciclo chiuso, ovvero un sistema ciclico in grado di produrre beni materiali senza però dipendere da altri sistemi non economici, ad esclusione dell'inevitabile richiesta di energia (in *input*).

Boulding esorta a pensare ad un cambiamento del sistema economico per il benessere delle generazioni future, sottolineando che tale interesse coinvolge anche le generazioni del presente, in quanto il benessere dell'individuo è strettamente dipendente dalla possibilità di misurarsi e identificarsi con gli altri, ovvero con una comunità che si estende nel tempo dal passato al futuro.

Boulding propone per la prima volta una visione della realtà economica come ecosistema, chiamata "econosfera", che è di per sé un sistema aperto che deve riuscire ad esistere in un "sistema chiuso" che è il pianeta Terra. L'econosfera è intesa come lo *stock* di tutti gli oggetti e persone che sono coinvolti nel sistema di scambio economico. Questo *stock* totale di capitale è attualmente un sistema aperto, incapace di esistere senza la possibilità di attingere a *input* ed espellere *output*, da e verso sistemi che però non entrano nel sistema di scambio (come, ad esempio, l'atmosfera e gli oceani). Boulding sostiene, infatti, che l'attuale econosfera è un sistema aperto per tutte e tre le classi fondamentali di flussi, ovvero di materia, di energia e di informazione.

Da un punto di vista della materia, si considerano i flussi di risorse materiali che passano tra l'ambiente non economico e l'econosfera. Tale flusso materiale coinvolge in *input*, l'estrazione di risorse naturali, utilizzate durante il processo di produzione dei beni (quindi il passaggio del flusso materiale dall'ambiente non economico all'econosfera) e, in *output*, l'espulsione di rifiuti, che avviene durante il processo di fine vita dei beni quando essi perdono il loro valore economico (quindi il passaggio del flusso materiale dall'econosfera all'ambiente non economico).

Concependo un sistema chiuso, cioè un sistema in cui non vi sia né aumento né diminuzione dell'entropia materiale, tutti gli *output* dei consumi verrebbero costantemente riciclati per diventare *input* per la produzione.

Dal punto di vista del sistema energetico, l'econosfera implica *input* di energia (ad esempio, energia idrica, combustibili fossili, energia solare), necessaria per spostare i flussi materiali dall'ambiente non economico all'econosfera e viceversa; l'energia stessa, però, è restituita all'ambiente non economico in una forma non più disponibile per generare lavoro, principalmente sotto forma di calore.

In questo caso, non è possibile concepire un sistema chiuso (sulla base della Seconda Legge della Termodinamica). Infatti, se non ci fossero *input*

di energia dalla Terra e dal Sole qualsiasi processo evolutivo o di sviluppo sarebbe impossibile. Siccome i grandi apporti energetici ottenuti dai combustibili fossili sono strettamente temporanei, l'uomo dovrà rivolgersi ancora una volta all'attuale apporto di energia proveniente dalla Terra e dal Sole, ma in una forma molto più efficace ed efficiente.

Dal punto di vista del flusso di informazione si intende l'intera struttura cognitiva e quindi della conoscenza umana, che include anche le capacità di produzione e consumo, chiave dello sviluppo economico (ad esempio, i processi di conoscenza dell'uomo hanno permesso l'uso di macchinari per gestire i flussi materiali). La crescita della conoscenza nel suo insieme è quasi continua, anche se ci sono momenti di crescita lenta, quando avviene un "rilassamento" nella cultura a fronte di modelli di sviluppo consolidati, e di crescita rapida, a fronte della necessità di cambiamento dei modelli stessi.

Boulding è stato anche uno dei primi economisti a sviluppare una critica radicale dei tradizionali strumenti di misurazione economica come il Prodotto Interno Lordo (PIL). Egli sostiene che la misura essenziale del successo dell'economia non dovrebbe essere la produzione e il consumo, ma la natura, l'estensione, la qualità e la complessità dello *stock* di capitale totale. In alternativa, suggerisce che dovrebbe essere possibile scomporre quella parte del PIL che deriva da risorse esauribili e quella che deriva da risorse rinnovabili, nonché quella parte di consumo che rappresenta gli *input* e quella che rappresenta gli *output* del sistema produttivo.

Altro tema enfatizzato nei ragionamenti di Boulding è relativo alla "durabilità" contro gli sprechi legati all'obsolescenza programmata, alla pubblicità competitiva e alla scarsa qualità dei beni di consumo. Questo problema è riscontrato in quasi tutti i settori, in quello degli elettrodomestici e delle automobili in particolare, ma anche nel settore edilizio. Anche se questo declino è conseguenza di un cambiamento nei gusti a causa della moda e di un bisogno di novità, egli sottolinea che è necessario valutare l'impatto delle variazioni di durabilità sull'intera vita economica, cioè del rapporto tra capitale nel senso più ampio possibile e del reddito, e valutare gli eventuali guadagni derivanti da una maggiore durabilità.

### *La legge dell'entropia applicata alla materia*

Il limite delle risorse e l'attenzione alla capacità di carico del pianeta vengono trattati da Nicholas Georgescu-Roegen<sup>14</sup> con particolare accento

14. Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994) nasce a Costanza (Romania) si laurea in statistica all'Università Sorbona di Parigi. Nel 1934, ad Harvard, incontra il professore Joseph Schumpeter, docente di un corso dedicato ai cicli economici, dal quale apprende la

scientifico. Durante il suo lavoro intellettuale mira alla definizione di un nuovo approccio metodologico interdisciplinare che porti ad un ripensamento dei principi base della teoria economica neoclassica e mette in discussione le fondamenta epistemologiche dell'economia politica. Inoltre è ritenuto il fondatore della bioeconomia e della teoria della decrescita. Georgescu-Roegen ha spiegato la sua teoria economica basandosi sulla fisica e sulla biologia e, a partire dagli anni Settanta, le sue riflessioni hanno innescato un intenso dibattito sulla relazione tra economia ed ecologia che ha costituito un riferimento per le successive teorie del concetto di stato stazionario di Herman Daly e della decrescita di Serge Latouche.

Il suo pensiero rivoluzionario è stato espresso nel suo famoso contributo *The Entropy Law and the Economic Process* (Georgescu-Roegen, 1971) in cui si interroga sulla filosofia della scienza economica, basata sui fondamenti delle teorie meccanicistiche, derivate da Copernico, Galilei, Newton, che hanno dato le basi del metodo scientifico di qualsiasi disciplina, compresa quella economica. In questa concezione, è evidente come l'economia moderna abbracci i principi dell'epoca in cui si afferma la scienza moderna: la fede per il progresso illuminato; un antropocentrismo molto forte in cui la natura è considerata a servizio dell'uomo; la capacità di dominare i fenomeni naturali grazie al metodo scientifico che consente di scoprire le leggi naturali e di sviluppare tecnologie da impiegare per l'utilizzo delle risorse.

Georgescu-Roegen enuncia, nel 1966, tre punti fondamentali per descrivere il quadro completo della sua teoria bioeconomica: I) esiste una forte relazione fenomenologica tra dominio biologico e processo economico; II) il processo economico è alla base dell'evoluzione che caratterizza la specie umana; III) la biologia e l'economia si distinguono dagli altri domini della natura in quanto entrambe sono governate specificamente dalla legge di entropia, senza la quale esse non potrebbero essere compiutamente spiegate.

Partendo da questi tre punti, è possibile capire come Georgescu-Roegen innanzitutto sia andato alla ricerca di nuovi fondamenti per definire la giusta relazione tra natura ed economia. Egli trova nella legge dell'entropia un originale punto di riflessione: l'entropia è la legge fisica che tratta lo studio delle trasformazioni di materia ed energia, l'economia è basata proprio su tali trasformazioni per mano dell'uomo. Egli ritiene che «il processo economico, come qualunque altro processo vitale è irreversibile [...] di

disciplina economica. Georgescu-Roegen comincia gli studi di economia negli Stati Uniti d'America dove, poi, ha costruito la sua carriera. Per tutta la sua carriera è professore di economia presso la Vanderbilt University di Nashville.

conseguenza non può essere spiegato in termini esclusivamente meccanici [...] è la termodinamica, tramite la legge dell'entropia, che riconosce la distinzione qualitativa [...] tra *input* di risorse dotate di valore (bassa entropia) e *output* di scarti privi di valore (alta entropia)» (Georgescu-Roegen, 1998).

Basandosi sul secondo principio della termodinamica Georgescu-Roegen, sostiene che la dissipazione dell'energia non riguarda solo il funzionamento delle macchine, ma anche il funzionamento dell'economia. Ciò significa che il processo entropico di dispersione dell'energia vale anche per la materia, quindi, qualsiasi processo economico che produce merci diminuisce la disponibilità di energia e materiali nel futuro e, di conseguenza, la possibilità futura di produrre altri beni. Di conseguenza Georgescu-Roegen sostiene che le risorse naturali possono passare attraverso il processo economico solo una volta; lo scarto rimane irreversibilmente uno scarto.

In altre parole, l'utilizzo delle materie prime causa inevitabilmente una dispersione di esse nell'ambiente in modo irreversibile, poiché per poterle ricorporre per un nuovo utilizzo occorre un ulteriore consumo (entropico) di energia. Dunque, il processo di entropia è irreversibile sia per l'energia sia per la materia e nessuna tecnologia può produrre un'entropia uguale a zero.

Nel pensiero di Georgescu-Roegen, è esclusa la possibilità di risolvere il problema ecologico con gli stessi approcci dell'economia neoclassica, ad esempio attribuendo un valore di scambio alle risorse ambientali, essendo le stesse non sostituibili con le tecnologie, anche se molto efficienti. Secondo Georgescu-Roegen l'attività economica rappresenta un'estensione delle attività biologiche, ovvero, il processo economico rappresenta l'esito del processo evolutivo degli organi esosomatici. Gli organi esosomatici rappresentano i mezzi che hanno permesso l'evoluzione dell'uomo, anche se non appartengono biologicamente al corpo umano. Infatti, a differenza di tutti gli esseri viventi che si evolvono grazie al miglioramento del loro corredo biologico, di cui sono dotati dalla nascita, l'uomo in particolare migliora il suo grado di adattamento all'ambiente attraverso l'utilizzo di strumenti che non appartengono al suo corpo (Giacobello, 2012). In tale senso, l'attività economica sta alla base della generazione dell'estensione della attività biologica. L'evoluzione esosomatica, tuttavia, essendo un processo evolutivo, diversamente da quello meccanico, è irreversibile, quindi, l'economia dovrà sempre soddisfare tale evoluzione.

Georgescu-Roegen è fortemente pessimista sul futuro dell'umanità. La pressione demografica e il progresso tecnologico portano alla fine dell'esistenza della specie umana, a meno di un cambiamento drastico. La teoria della bioeconomia è poi stata tradotta dallo stesso Georgescu-Roegen nel sistema economico della decrescita, che trova uno dei principali fautori in Serge Latouche e molti sostenitori in epoca contemporanea. Invece criticò

il concetto di stato stazionario sviluppato negli anni Settanta da Herman Daly, suo ex studente, perché la ricerca per l'estrazione di risorse minerarie è soggetta a rendimenti decrescenti, per cui nel corso del tempo i costi di estrazione e i prezzi di mercato tenderanno ad aumentare.

### *Lo stato stazionario tra economia ed ambiente*

Ad enunciare che i consumi e le emissioni causati dalle attività umane debbano rimanere entro la capacità di rigenerazione e assorbimento dell'ecosistema, vi è anche lo studioso Herman Daly<sup>15</sup>, la cui formazione è stata profondamente influenzata dagli insegnamenti che Nicholas Georgescu-Roegen gli aveva impartito alla Vanderbilt University. Nel 1977, attraverso il suo libro *Steady State Economics. The Economics of Biophysical and Moral Growth*, Daly afferma la necessità di ottenere un equilibrio con la natura, denominato "stato stazionario" (*steady-state*).

Secondo Daly l'evoluzione dell'industria moderna ha compiuto l'errore di diventare dipendente da fonti energetiche non rinnovabili, allontanandosi dalle tecniche tradizionali che si fondano sullo sfruttamento di fonti inesauribili di energia (vento, sole, forza idrica, ecc.). L'utilizzo di una quantità di energia costante proveniente dallo *stock* terrestre non rinnovabile (petrolio, carbone, ecc.) ha dato modo di superare la disagiata disponibilità variabile delle altre fonti rinnovabili (ad esempio tra giorno e notte o tra diverse stagioni), portando l'uomo moderno ad ottenere una energia costantemente disponibile, ma ad allontanarsi dall'equilibrio ecologico della biosfera.

Daly si allontana dall'idea della tecnologia in grado di sostituire il capitale naturale, dichiarando che perfezionare la tecnologia significa utilizzare più efficientemente il flusso entropico, non rovesciarne la direzione.

Il contributo di Daly parte dalla definizione del concetto di *utility* e di *throughput*. L'*utility* indica l'utilità media pro-capite per le generazioni future che non deve essere decrescente; il futuro dovrebbe essere prospero almeno quanto il presente in termini di utilità o felicità dei membri di una generazione. Il *throughput* è il «flusso fisico entropico di materia-energia che proviene dalle fonti naturali, attraversa l'intera economia umana, e

15. Herman Daly (1938-2022) nasce a Houston, in Texas. Dopo aver intrapreso gli studi economici, consegue il dottorato di ricerca alla Vanderbilt University di Nashville (Tennessee) ed insegna per circa venti anni alla Louisiana State University di Baton Rouge (Louisiana). Nel 1988 assume un impiego da senior economist in Banca Mondiale. Successivamente, nel 1994, diviene docente alla School of Public Policy della University of Maryland – College Park fino al pensionamento, nel 2010. Da quel momento ha continuato da Emeritus la sua molteplice attività di saggista.

ritorna alla natura sotto forma di scarti» disponibile per la comunità in un certo periodo di tempo o generazione (Daly, 2006).

Basandosi sul concetto di *throughput*, Daly definisce la differenza tra il concetto di “crescita” e quello di “sviluppo”. Daly sostiene che il verbo “crescere” sia stato eccessivamente caricato di connotazioni positive, in quanto esso non è sinonimo di “miglioramento” ma significa “emergere e svilupparsi fino alla maturità”: momento in cui la crescita fisica si ferma, cominciando la necessità di manutenzione.

Daly definisce la crescita come l'aumento di *throughput* complessivo, in termini quantitativi (come avviene per l'indicatore del PIL); identifica lo sviluppo, invece, come l'aumento dell'utilità (*utility*) per unità di *throughput*.

L'errata interpretazione del concetto di sviluppo, inteso come crescita globale, non si sta rivelando vincente. Secondo Daly, il mancato riconoscimento del concetto di *throughput* nel campo della macroeconomia attuale (lineare) sta aumentando i costi in misura maggiore rispetto ai benefici, rendendoci più poveri, anziché più ricchi. Inoltre i beni e servizi prodotti nell'ambito della crescita economica attuale mirano a soddisfare bisogni relativi piuttosto che assoluti.

I costi per l'esaurimento o inquinamento delle risorse, causati dalla crescita del *throughput* sono di gran lunga maggiori rispetto ai benefici dell'aumento della produzione che la crescita comporta.

Secondo Daly «il sapersi accontentare è una strategia migliore dell'ottimizzazione: cioè è meglio essere vivi che scontenti. Minimizzare lo scontento futuro è più saggio che massimizzare il beneficio presente»<sup>16</sup> (Daly, 1977), ciò significa che è necessario stabilizzare un livello di consumi ecologicamente sostenibile, che comporta restrizioni al livello di vita attuale dei paesi ricchi, per garantire le risorse per le generazioni future.

L'economia di stato stazionario è definita come un modello caratterizzato da *stock* costanti di ricchezza fisica/materiale e persone, ciascuno mantenuto a un certo livello desiderabile. La definizione del livello ottimale di popolazione e prodotti è difficilmente definibile. Perciò, secondo Daly, è necessario decidere simultaneamente la dimensione della popolazione, gli standard per l'uso pro capite delle risorse, il periodo di tempo rilevante e i tipi di tecnologia.

Daly sostiene che per raggiungere uno stato stazionario siano necessari tre “istituzioni”: I) un'istituzione per stabilizzare la popolazione, attraverso licenze di nascita assegnate a ciascuna donna, ma trasferibili tra esse; II)

16. Traduzione in: Daly H. (2022), *Lo stato stazionario. L'economia dell'equilibrio biofisico e della crescita morale*, Luce edizioni, Massa.

un'istituzione per stabilire lo *stock* di prodotti entro i limiti del pianeta, attraverso il controllo dello sfruttamento delle risorse tendenzialmente tassando il consumo di beni e non vietandone l'uso, in modo tale che gli stessi non siano sostituibili da altri aumentando i consumi; III) un'istituzione distributiva che limiti il grado di disuguaglianza nella ripartizione degli *stock* costanti fra la popolazione.

Secondo Daly (2006) è urgente promuovere politiche a livello nazionale e internazionale basate su una teoria economica che accolga la nozione di *throughput* tra i suoi principi fondamentali. Egli suggerisce la tassazione delle rendite prodotte dall'utilizzo di risorse naturali limitate, al fine del duplice obiettivo di limitare il consumo di risorse e ricavare risorse economiche da destinare a scopi di interesse pubblico. Inoltre, Daly esorta ad una riforma del sistema fiscale che vada a favore della difesa ambientale, che consideri anche sistemi di *cap-and-trade* (ovvero stabilendo un limite massimo di emissioni nocive per ciascun sistema produttivo), mettendo all'asta quote massime di permessi di sfruttamento o inquinamento delle risorse naturali.

### *Il pianeta finito tra crescita e sviluppo*

Anticipando il concetto di “resource and impact decoupling” (cfr. paragrafo 1.2), Robert Costanza<sup>17</sup> (1997) offre un contributo prezioso per la definizione di due temi fondamentali legati alla necessità di definire modelli sostenibili di sviluppo economico: il primo riguarda il valore economico dei servizi ecosistemici ed il costo di compensazione delle esternalità negative sull'ambiente; il secondo riguarda i limiti ecologici del pianeta (*Planetary Boundaries*) entro i quali l'attività dell'uomo può operare, ma da non superare per evitare impatti negativi irreversibili.

Nell'ambito del primo tema, Costanza *et al.* (1997), quantificarono il valore economico di diciassette servizi ecosistemici per sedici biomi del pianeta. Gli autori, sostenendo la possibilità molto alta di aver effettuato una sottostima e sottolineando l'intento di introdurre la valutazione solo come punto di partenza per un ragionamento più ampio, avevano stimato che il valore medio dei servizi ecosistemici fosse pari a circa 33 trilioni

17. Robert Costanza (1950-) nasce negli Stati Uniti di America e si laurea in architettura nel 1979 presso la University of Florida. Nel 1998 riceve il premio commemorativo Kenneth Boulding per il suo contributo scientifico alla teorizzazione dell'economia ecologica. Consegue il dottorato onorario in scienze naturali alla Università di Stoccolma, nel 2000. Direttore dell'Istituto per Economia Ecologica all'Università del Maryland, professore nel Centro per Scienza Ambientale, e direttore dell'Istituto di Economia Ecologica all'Università del Vermont.

di dollari (USA) l'anno, ovvero, 33 mila miliardi, da comparare al PIL globale di quegli stessi anni dello studio, che era pari a circa 19 mila miliardi di dollari. Tale stima aveva innanzitutto dimostrato quanto i servizi ecosistemici naturali abbiano un valore economico più alto rispetto al prodotto dell'economia tradizionale, aspetto non scontato negli anni Novanta e soprattutto mai quantificato precedentemente. Inoltre, la stima ha messo in luce che le risorse del pianeta non sono gratuite e sfruttabili senza conseguenza, ma hanno un valore fondamentale per il funzionamento del sistema economico.

Lo studio evidenzia quindi l'importanza di dare al capitale naturale che fornisce questi fondamentali servizi un peso adeguato nel processo decisionale, altrimenti il benessere umano attuale e futuro potrebbe risentirne drasticamente. Ne consegue, inoltre, il concetto di impossibilità di sostituzione del capitale naturale con il capitale tecnico: infatti, i costi mettono in chiaro che se si tentasse tale sostituzione, sarebbe necessario aumentare il PIL globale di almeno 33 mila miliardi di dollari, in parte per coprire i servizi già intrinsecamente conteggiati nel PIL esistente e, in parte, per coprire i servizi che non sono attualmente contabilizzati. Tale sforzo economico, però, non solo in gran parte risulta impossibile in quanto molti servizi ecosistemici sono letteralmente insostituibili, ma consisterebbe anche in un aumento di costi economici che non aumenterebbero il benessere umano, essendo di fatto una sola "sostituzione" di un servizio di cui usufruiamo già in maniera gratuita in natura.

Conoscere il valore dei servizi ecosistemici può essere importante per effettuare delle valutazioni predittive su quelle "esternalità" ambientali che generalmente sono escluse (esterne) dalle valutazioni economiche di un progetto o di un processo antropico/economico. La valutazione economica potrebbe quindi mettere in luce quanto un'azione possa gravare sugli ecosistemi, quali costi ambientali include e quali costi occorrerebbe sostenere per ricompensare il danno ambientale generato. Ne consegue che la valutazione dei costi dei servizi ecosistemici potrebbe cambiare radicalmente il processo decisionale di qualsiasi attività economica.

Nell'ambito del secondo contributo, un gruppo internazionale di studiosi, incluso Robert Costanza, ha definito il concetto di "confini del pianeta", conosciuti meglio come "Planetary Boundaries" (Rockström *et al.*, 2009a; 2009b; Steffen e Costanza, 2011). Essi rappresentano i limiti che l'economia attuale dovrebbe non superare per rispettare le condizioni (già precarie) degli ecosistemi naturali ed evitare grandi cambiamenti ambientali indotti dall'uomo su scala globale. Con il concetto di *Planetary Boundaries*, vengono identificate nove aree con confini critici stabiliti: I) cambiamento climatico; II) perdita di biodiversità; III) eccesso di produzione di azoto

e fosforo, che inquinano suoli e acque; IV) impoverimento stratosferico dell'ozono; V) acidificazione degli oceani; VI) consumo globale di acqua dolce; VII) cambiamento nell'uso del suolo; VIII) inquinamento atmosferico; e IX) inquinamento chimico.

Il pianeta Terra è visto come un sistema complesso in cui i processi biofisici non agiscono in modo indipendente, ma sono strettamente correlati l'un l'altro, attraverso un sistema integrato di cause ed effetti; quindi, il superamento del limite in una delle nove aree potrebbe innescare il superamento del limite in altre aree. Ne è un esempio la conversione delle foreste in terreni coltivati che parallelamente porta ad un maggiore uso di fertilizzanti e una maggiore estrazione di acqua dolce per l'irrigazione, che causano a loro volta una perdita di biodiversità.

Attraverso lo studio effettuato nel 2009 (Rockström *et al.*, 2009b), viene mostrato che tre confini planetari sono già stati superati e quattro si stanno avvicinando rapidamente al limite. I tre confini planetari già superati riguardano il cambiamento climatico, la perdita di biodiversità, l'impoverimento stratosferico dell'ozono. Le stime del 2009 hanno inoltre indicato che l'umanità si sta avvicinando ad un ritmo rapido verso i confini di consumo globale di acqua dolce e del cambiamento nell'uso del suolo. Anche il confine dell'acidificazione degli oceani è a rischio, sebbene sia stata sottolineata dagli autori la mancanza di dati seriali temporali per effettuare una valutazione precisa.

È incerta la durata di tempo possibile entro cui i confini possano essere superati prima di causare cambiamenti ambientali intollerabili ed eliminare la capacità della terra a tornare entro livelli di sicurezza: esistono lacune di dati, variabilità spaziale, irregolarità sia in termini di impatti sia in termini di meccanismi di *feedback*, difficili da prevedere. Tuttavia, è chiaro che stiamo superando la capacità di carico del pianeta e quindi il quadro dei confini planetari può avere un profondo impatto sulla *governance* ambientale da scala locale a scala globale.

Il framework *Planetary Boundaries* è attualmente considerato, infatti, come una soluzione pratica per importanti opportunità di *governance* e politica (JRC, 2016). Questi limiti potrebbero essere adottati per definire obiettivi a livello globale, regionale e locale al fine di ridurre gli impatti ambientali causati dall'uomo (Sandin *et al.*, 2015; Stockholm Resilience Centre, 2016). Recentemente, i *Planetary Boundaries* sono stati aggiornati (Steffen *et al.*, 2013), confermando l'insieme originale di confini e fornendo una quantificazione aggiornata. Nello specifico: la "perdita di biodiversità" e "l'inquinamento chimico", sono stati rinominati e il loro ambito è stato ridefinito. In particolare, il primo è stato sostituito con "cambiamenti nell'integrità della biosfera" concentrandosi

non solo sulla perdita della biodiversità, ma anche sul funzionamento degli ecosistemi stessi; il secondo è stato aggiornato con “rilascio di nuove entità” considerando tutte le emissioni ambientali di inquinanti chimici potenzialmente tossici, nonché altri interventi fisici e biologici che possono innescare impatti globali.

### *Il modello di decrescita serena*

Nella corrente dell'economia ecologica si pone il pensiero di Serge Latouche<sup>18</sup> (2007) che, con le sue teorie ancora più radicali, esorta alla riduzione controllata e selettiva della produzione economica e dei consumi per ristabilire l'equilibrio tra capitale naturale e carico antropico, attraverso una “decrescita serena”, che si oppone completamente al capitalismo.

Nel suo importante libro *Petit traité de la décroissance sereine* (2007), Latouche denuncia la società consumistica, che si basa sull'obsolescenza programmata, definendola infelice e “tossicodipendente” della crescita.

Il consumismo sta portando al raggiungimento di un “punto di non ritorno” (o *tipping point*<sup>19</sup>), dunque, per comunicare ai lettori l'urgenza di un cambiamento radicale, Latouche si esprime attraverso due metafore emblematiche: quella dell'alga verde e quella della lumaca. La prima (già utilizzata nel report *I limiti dello sviluppo* del MIT di Boston) restituisce il

18. Serge Latouche (1940-) nasce a Vannes, nella regione della Bretagna, è un economista e filosofo. Professore emerito di Scienze economiche all'Università di Parigi XI e all'Institut d'études du développement économique et social (IEDES) di Parigi; presidente dell'associazione «La ligne d'horizon», nonché professore emerito di Scienze economiche. Specialista dell'epistemologia delle scienze sociali, è il principale promotore dell'idea della decrescita.

19. Il punto di non ritorno, o *tipping point*, è definito nell'annex del report dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) del 2018, come la soglia critica del raggiungimento di un livello di modifica delle proprietà del sistema oltre il quale un sistema si riorganizza, spesso bruscamente, e non ritorna allo stato iniziale, anche se i fattori determinanti della modifica vengono ridotti. I “punti di non ritorno” innescano reazioni a catena con conseguenze devastanti per l'ambiente, causando collassi di ecosistemi impossibili da recuperare, provocando l'estinzione di insetti, piante e vertebrati. Ad esempio: lo scioglimento dei ghiacci artici porterà all'innalzamento del livello dei mari e alla dispersione del gas metano trattenuto nel terreno congelato, che a sua volta contribuirà ulteriormente a riscaldare l'atmosfera. IPCC, 2018: Annex I: Glossary [Matthews, J.B.R. (ed.)]. In: *Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)].

seguinte racconto: «Un giorno [...], una piccola alga verde comincia a prosperare in un grandissimo stagno. Anche se la sua diffusione annua è rapida, di una progressione geometrica con fattore 2, nessuno se ne preoccupa. [...] Forse ci si comincerà a preoccupare quando l'alga avrà colonizzato la metà della superficie, facendo sorgere una minaccia di eutrofizzazione, cioè di asfissia della vita subacquea. Anche se per arrivare a quel punto ci sono voluti decenni, basterà un solo anno per provocare la morte irrimediabile della vita lacustre» (Latouche, 2008).

Per non fare la fine della fauna dello stagno infestato dall'alga verde è quindi necessario un cambiamento dei nostri modi di vita e di consumo, adottando la naturale saggezza della lumaca: «la lumaca costruisce la delicata architettura del suo guscio aggiungendo una dopo l'altra spire sempre più larghe, poi smette bruscamente e comincia a creare circonvoluzioni stavolta decrescenti. Una sola spira più larga darebbe al guscio una dimensione sedici volte più grande. Invece di contribuire al benessere dell'animale, lo graverebbe di un peso eccessivo» (Latouche, 2008). La lumaca, evidentemente, dimostra più saggezza degli uomini: l'eccessiva grandezza peggiorerebbe la qualità della sua esistenza e allora abbandona la crescita della sua casa a favore della qualità della sua vita.

Latouche definisce la “decrecita serena” come una “utopia concreta”, in quanto egli definisce le possibilità oggettive della sua realizzazione. La decrecita, dunque, per Latouche è un progetto politico, fondato su un'analisi realistica della situazione attuale. Dunque, egli definisce le otto “R”, ovvero otto cambiamenti interdipendenti che si rafforzano reciprocamente, che costituiscono le tappe fondamentali del processo di trasformazione: rivalutare, riconcettualizzare, ristrutturare, ridistribuire, rilocalizzare, ridurre, riutilizzare, riciclare.

- Rivalutare: rivendicare alcuni valori in cui crediamo e in base ai quali organizziamo la nostra vita. Ad esempio, rivalutare il piacere del tempo libero anziché l'ossessione per il lavoro, l'importanza della vita sociale anziché il consumo illimitato di beni, il locale al posto del globale, il gusto della bella opera anziché l'efficienza produttiva, ecc.
- Riconcettualizzare: ridefinire/ridimensionare alcuni concetti o il nostro punto di vista rispetto ad essi, così da mutarne completamente il senso. Ad esempio, per i concetti di ricchezza e di povertà, e di rarità e abbondanza. Quest'ultimo binomio è particolarmente urgente, in quanto su di esso è fondato l'attuale immaginario economico, che trasforma l'abbondanza naturale in scarsità, creando artificialmente il senso di mancanza e di bisogno per incrementare i consumi, attraverso l'appropriazione della natura e la sua mercificazione.

- **Ristrutturare:** adeguare le strutture produttive, i rapporti sociali e gli stili di vita al cambiamento dei valori. La ristrutturazione sarà tanto radicale quanto saranno rivalutati i valori dominanti verso una società di decrescita e la concreta fuoriuscita del capitalismo.
- **Ridistribuire:** ripartire le ricchezze e l'accesso al patrimonio naturale a livello globale, a livello di una singola società, e tra le generazioni. Si intende anche ridimensionare sia i mezzi di consumo sia lo stimolo al consumo della parte consumatrice del mondo, al fine di diminuire il debito ecologico nei confronti del resto del pianeta.
- **Rilocalizzare:** produrre in massima parte a livello locale i prodotti necessari a soddisfare i bisogni della popolazione. I movimenti di merci e di capitali devono essere limitati solo all'indispensabile. La rilocalizzazione non è soltanto economica, ma anche politica e culturale, a differenza dello scambio di idee che deve ignorare le frontiere. La rilocalizzazione riveste un ruolo fondamentale nell'utopia concreta di Latouche, che riprende la formula degli ecologisti: "pensare globalmente e agire localmente".
- **Ridurre:** diminuire l'impatto sulla biosfera dei nostri modi di produrre e di consumare, limitando il sovraconsumo e lo spreco che generano le nostre abitudini. Inoltre, ridurre il turismo di massa, non intendendo una riduzione dell'arricchimento del viaggio in sé, ma del consumo mercificato dell'ambiente che provoca l'industria del turismo. È necessario abbandonare il "muovismo" sempre più frenetico, frequente e sempre più caro, reimparando ad apprezzare la lentezza e il territorio circostante. Infine, ridurre il tempo di lavoro, ripartendolo in modo che tutti abbiano un'occupazione e, quindi, riacquistare il tempo per svolgere il proprio dovere di cittadino, il piacere della produzione artistica e artigianale, il gioco, la contemplazione, la meditazione, la conversazione e riappropriarsi della gioia di vivere.
- **Riutilizzare e Riciclare:** ridurre lo spreco sfrenato, combattere l'obsolescenza programmata, riciclare i rifiuti non direttamente riutilizzabili, dunque, superare l'ossessione del consumo e dell'obsolescenza degli oggetti. Per spingere le imprese e i consumatori verso meccanismi virtuosi è necessaria, però, una volontà politica.

Il progetto della decrescita richiede innovazione politica e autonomia economica, perciò Latouche definisce, inoltre, una sorta di programma elettorale, dettagliato in azioni attuabili in breve tempo (Latouche, 2008), per risolvere il problema della disoccupazione al fine di concretizzare la "decrescita serena".

### ***1.1.3. Il ruolo della tecnologia e della ri-progettazione***

Analizzando le teorie fondatrici è interessante notare come gli studiosi trattino il rapporto con la tecnologia, strettamente correlata allo sviluppo economico e al benessere sociale. Essa è ormai parte della nostra evoluzione, parte della “evoluzione esosomatica” di cui parla Georgescu-Roegen, e può essere anche unico mezzo per raggiungere comportamenti virtuosi ispirati al modello biologico, come sostiene Benyus. Tuttavia, è importante anche comprendere che tale evoluzione richiede flussi di energia e materia che inevitabilmente vengono consumati e mai più torneranno alla loro prestazione iniziale, in accordo con la seconda legge della termodinamica commentata sempre da Georgescu-Roegen. È, quindi, fondamentale estendere al massimo l’utilizzo dei nostri prodotti tecnologici, attraverso un approccio che allunghi la vita utile e che a fine vita non contempi la dismissione, ma alimenti strategie di riuso o riciclo attraverso un potenziamento del capitale umano, come insegnano gli scritti di Stahel.

Altro aspetto interessante, che emerge dalla trattazione dei fondamenti teorici, è quello relativo all’importanza della fase di progettazione dei prodotti e dei sistemi, così come viene sottolineato sia nelle teorie di Benyus sia in quella *cradle to cradle*. La progettazione è quel momento decisionale, con forte utilizzo di capitale umano, fenomeno predittivo degli avvenimenti futuri, che permette di definire la durata della vita utile dei prodotti. La progettazione è infatti un tassello fondamentale per la chiusura del cerchio, in quanto è necessario ripensare (ri-progettare) tutta la produzione antropica, dagli oggetti agli edifici, prefigurando l’intero ciclo di vita dei prodotti (incluso il fine vita), al fine di ridurre i potenziali consumi delle risorse, i potenziali impatti generabili e, quindi, l’effettiva sostenibilità all’interno dei limiti del pianeta.

Tecnologia e (ri)progettazione sono quindi i due aspetti abilitanti per una transizione verso un’economia circolare, e saranno quindi i due aspetti ricorrenti in questo volume, incentrato sull’attivazione di dinamiche di circolarità nel settore edilizio.

Sempre seguendo gli insegnamenti delle teorie fondatrici, nell’attivazione di questa transizione inescabibile dall’operatività dell’uomo, è necessario, però, non perdere di vista l’obiettivo finale: quello della sostenibilità ambientale e della conservazione delle risorse naturali.

Nonostante gli ampi principi teorici, l’economia circolare attualmente maggiormente diffusa si allinea ad una sostenibilità “debole”: la prospettiva di crescita economica legata all’aumento dei consumi non viene messa in discussione, mentre si ripone fiducia nell’efficientamento dei processi produttivi. Tali tendenze, però, possono comportare il rischio di stimolare

il commercio dei rifiuti e un consumo “usa e getta” che trova nel riciclaggio la giustificazione di un aumento di produzione e consumo. L'economia circolare viene ancora applicata in maniera riduttiva, prevalentemente attraverso lo scambio di sottoprodotti o scarti tra le industrie, con una visione focalizzata sul sistema produttivo e sulla riduzione dei rifiuti.

È necessario quindi ampliare la prospettiva. Rispetto all'interpretazione originale di Stahel, che parlava di estensioni del ciclo di vita, le attuali interpretazioni di economia circolare riguardano il potenziamento della circolarità, rischiando di incentivare la riduzione della vita utile del prodotto a favore del suo riciclo e trasformazione (mantenendo costante le attività dell'industria, semplicemente sotto altre forme). Questo approccio non è pienamente sostenibile, poiché i processi di riciclaggio possono anche avere impatti ambientali ed economici significativi.

Tali azioni sono quindi legate al vantaggio delle singole aziende, tanto che alcune rassegne sulla letteratura scientifica sostengono che non è ancora chiaro il legame tra economia circolare e sostenibilità ambientale. Infatti, senza l'applicazione di alcuna valutazione dell'efficacia ambientale economica e sociale (o delle esternalità), non è possibile avere un controllo dei benefici effettivi che derivano dalle azioni di economia circolare.

Ecco perché risulta di particolare importanza affiancare alla ri-progettazione dei processi e dei prodotti, e alla ri-configurazione delle reti di scambio attuali, un approccio valutativo che permetta di verificare preventivamente l'effettiva sostenibilità (riduzione di consumi ed emissioni), in prospettiva all'intero ciclo di vita del prodotto/processo stesso. Ciò, in modo tale da mirare all'efficacia dei sistemi, anziché alla sola efficienza, e al benessere dell'intera società (non solo delle aziende) traguardando realmente un vantaggio ambientale e non puramente economico.

La valutazione dell'efficacia di azioni di ri-progettazione e ri-configurazione è quindi possibile attraverso l'utilizzo di strumenti, basati sull'approccio metodologico quantitativo *Life Cycle Assessment*, che permettono di mettere a sistema i flussi in entrata e i flussi in uscita di un processo, calcolando i potenziali impatti ambientali causati da un prodotto o un processo, e quindi permettendo di ottimizzare e correggere alcune azioni, per traguardare, quanto più possibile, una sostenibilità ambientale.

#### ***1.1.4. Le declinazioni dell'economia circolare nel contesto attuale***

A fianco delle teorizzazioni presentate nei paragrafi precedenti, è necessario far emergere il recente contributo fornito dalla Ellen MacArthur Foundation, che ha saputo diffondere il concetto di economia circolare nel

mondo aziendale e produttivo come mai avvenuto in passato, forse trovando leva nell'urgenza di cambiare l'orientamento delle strategie di sviluppo in ambito industriale a fronte della crescente preoccupazione riguardo la scarsità, e il conseguente aumento del costo, delle materie prime.

La Ellen MacArthur Foundation, dal 2010, incentiva l'affermazione di pratiche industriali basate sui principi di un'economia circolare con il supporto di molte aziende di livello internazionale, che hanno contribuito alla grande diffusione del concetto di circolarità, applicandolo anche all'interno delle proprie politiche aziendali.

La Ellen MacArthur Foundation (2013) definisce l'economia circolare come «un sistema industriale riparativo o rigenerativo per intenzione e design [...]. Sostituisce il concetto di “fine vita” con il ripristino, si sposta verso l'uso di energia rinnovabile, elimina l'uso di sostanze chimiche tossiche, che compromettono il riutilizzo e mira all'eliminazione dei rifiuti attraverso il design di materiali, prodotti, sistemi e, al suo interno, modelli di *business*». In questa prospettiva vengono prese come riferimento le teorie di Stahel, gli studi della biomimesi di Benyus, i fondamenti di ecologia industriale di Ronald Clift e l'approccio progettuale *cradle to cradle* di McDonough e Braungart.

La Ellen MacArthur Foundation ha sviluppato sei diversi modi in cui le organizzazioni (e i governi) dovrebbero pensare all'applicazione delle azioni circolari (Fig. 5): *Regenerate*, *Share*, *Optimise*, *Loop*, *Virtualise and Exchange* (denominato ReSOLVE framework).

*Regenerate* include il passaggio dai combustibili fossili limitati alle energie rinnovabili; *Share* indica, da un lato, l'economia della condivisione per ottenere il pieno utilizzo dei beni ed eliminare sprechi e duplicazioni (ad esempio, la condivisione di automobili per intensificarne l'uso) e, dall'altro, include un cambiamento della proprietà del bene stesso che porta ad aumentare l'interesse alla durabilità e alla riparazione per aumentarne la vita utile; *Optimise* tratta il tema della riduzione dello spreco di energia e materiali nella produzione di beni e l'utilizzo della tecnologia per massimizzare l'uso delle risorse; *Loop* prende in considerazione la divisione del ciclo organico, dove i materiali organici vengono compostati, e il ciclo tecnico, dove i materiali inorganici vengono riutilizzati e riciclati; *Virtualise* indica la virtualizzazione dell'economia, ad esempio tramite ICT e basati su IoT; *Exchange* descrive i processi di scambio di nuove tecnologie, aggiornamento o sostituzione dei vecchi modi di fare le cose.

Seguendo la strategia ReSOLVE, la Ellen MacArthur Foundation mostra i vantaggi di un'economia più innovativa, resiliente e produttiva, in termini di crescita del PIL, creazione di posti di lavoro, riduzione dell'impronta di carbonio e riduzione del consumo di risorse vergini (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

Al fine di completare l'analisi delle principali declinazioni dell'economia circolare applicate nel contesto attuale, oltre a quelle delineate dalla Ellen MacArthur Foundation, è stata condotta un'indagine degli studi della letteratura scientifica che trattano il tema dell'economia circolare in senso teorico e in senso applicativo (Giorgi *et al.*, 2017). I risultati mostrano la limitatezza degli attuali approcci.

Innanzitutto, la principale strategia trattata a fianco del termine *circular economy* è senz'altro quella che definisce azioni di ecologia industriale: i termini *industrial ecology*, *eco-industrial park* e *industrial symbiosis* e il tema di *resource efficiency* sono quelli più ricorrenti. Si riscontrano abbastanza menzionate anche le strategie *cradle to cradle* e *bio-mimicry*. Si nota, quindi, una grande influenza dei temi recentemente sostenuti dalla Ellen MacArthur Foundation (non a caso il riferimento più frequente è all'*environmental economics* e non all'*ecological economics*).

In parallelo, considerando alcune iniziative aziendali che stanno promuovendo i temi di economia circolare, si nota che le azioni prevalentemente messe in atto mirano al network tra le aziende, ovvero l'attività di scambio di sottoprodotti e flussi, risultando predominante l'attività di riciclaggio. In particolare, vengono trattati gli scarti di produzione (riciclaggio pre-consumo) e prodotti a fine vita (riciclaggio post-consumo).

Abbastanza presente è anche la strategia di riduzione legata principalmente all'obiettivo di efficienza, che mira ad utilizzare in minore quantità le risorse e i materiali necessari nella catena di produzione di beni.

Si nota una preponderanza verso la risoluzione del problema dello smaltimento dei rifiuti, e una maggiore attenzione verso il beneficio economico interno all'azienda derivato dai costi evitati di smaltimento in discarica e dai costi evitati di acquisto della materia prima. La leva della riduzione degli impatti ambientali, anche se meno citata, detiene comunque una certa importanza. Tuttavia tali azioni sono legate al vantaggio delle singole imprese, senza l'applicazione di alcuna valutazione di efficacia (o esternalità) ambientale economica e sociale, in un'ottica di ciclo di vita.

## **1.2. Azioni e strumenti di indirizzo verso l'economia circolare**

Il dibattito relativo all'individuazione di strategie per innescare un modello economico circolare da attivare per raggiungere lo sviluppo sostenibile risulta ancora aperto e non risolto. La società è, infatti, attualmente ancora basata principalmente sul modello economico di tipo lineare, in cui, come è già stato detto, il ciclo di vita dei prodotti parte dall'estrazione del-

le materie prime, prosegue con la trasformazione o produzione, seguito dal consumo, per poi concludersi con lo smaltimento degli scarti e dei prodotti stessi diventati rifiuti.

Le dinamiche della consumistica economia lineare vengono messe in discussione già dal 1972, in occasione della pubblicazione del rapporto sui limiti dello sviluppo, o meglio della crescita, *The Limits to Growth*, commissionato dal Club di Roma<sup>20</sup> al MIT di Boston. Tale rapporto riportava l'esito di una simulazione delle interazioni fra popolazione mondiale, industrializzazione, inquinamento, produzione alimentare e consumo di risorse. La crescita produttiva illimitata avrebbe portato al consumo insostenibile delle risorse energetiche ed ambientali. Il rapporto sosteneva la necessità di modificare il modello economico e produttivo, di fatto ponendo le basi al tema dello sviluppo sostenibile.

Parallelamente, nel 1973 la crisi petrolifera<sup>21</sup> scosse l'economia mondiale e la politica, e si ebbe la prima occasione di riflessione riguardo il tema delle risorse energetiche. La crisi, dunque, portò i paesi occidentali a interrogarsi riguardo i fondamenti della civiltà industriale e riguardo la problematicità del suo rapporto con le risorse limitate del pianeta.

Gli obiettivi di transizione verso un sistema economico sostenibile richiedono quindi un approccio globale. Le azioni devono essere, infatti, definite a livello internazionale ed il ruolo delle politiche ambientali dei vari Stati è determinante nell'individuazione degli obiettivi da raggiungere e nell'indicazione delle strategie d'azione da avviare.

### ***1.2.1. Dallo sviluppo sostenibile all'impact decoupling***

Nel 1987 per la prima volta in un documento politico viene introdotto il concetto di "sostenibilità": il World Commission on Environment and Development (WCED), con il Rapporto *Our Common Future* (conosciuto anche come Rapporto Brundtland), definisce l'obiettivo di uno "sviluppo

20. Associazione non governativa, *no-profit*, di scienziati, umanisti e imprenditori basata sull'obiettivo di individuare possibili scenari di risoluzione dei problemi e impatti ambientali. Deve il suo nome al luogo in cui si è svolto il primo incontro.

21. A seguito della guerra fra Israele e Paesi arabi, questi ultimi decisero di diminuire le esportazioni di petrolio verso l'Occidente e di aumentarne il prezzo per fare pressioni sugli Stati Uniti e l'Europa in favore della causa palestinese. Diversi Stati del mondo si trovarono ad affrontare una grave crisi finanziaria; infatti, quale effetto dell'aumento del costo del petrolio, vi fu l'aumento dei costi dell'energia. La conseguenza della crisi energetica del '73 fu l'applicazione di politiche di austerità da parte di varie nazioni, che presero misure drastiche per limitare il consumo di energia.

sostenibile” in grado di soddisfare «le necessità delle attuali generazioni senza compromettere la capacità delle future generazioni di soddisfare le proprie»; ne deriva quindi un obiettivo di benessere economico della società attuale e prossima, unito alla salvaguardia dell’ambiente.

Esso offre una visione del progresso che integra obiettivi immediati e a lungo termine, azioni locali e globali, e riguarda gli aspetti sociali, economici e ambientali come sistemi interdipendenti, attraverso il mantenimento delle risorse e l’equilibrio ambientale del nostro pianeta.

Successivamente, nel 1992, durante la Conferenza delle Nazioni Unite su Ambiente e Sviluppo, tenutasi a Rio de Janeiro, viene sottoscritto da più di 170 nazioni un documento conosciuto come *Agenda 21*. Esso consiste in una pianificazione completa delle azioni da intraprendere a livello mondiale, nazionale e locale dalle organizzazioni delle Nazioni Unite, dai governi e dalle amministrazioni in ogni area in cui la presenza umana ha impatti sull’ambiente. I temi prioritari di questo programma sono appunto le emergenze climatico-ambientali e socio-economiche del XXI secolo. Tale documento tratta quattro argomenti fondamentali: dimensioni economiche e sociali, conservazione e gestione delle risorse per lo sviluppo, rafforzamento del ruolo delle forze sociali e strumenti di attuazione. Rilevante importanza dell’*Agenda 21* è anche il fatto di riconoscere un ruolo decisivo alle comunità locali nell’attuare le politiche dello sviluppo sostenibile. In questo modo la definizione di un piano di azione locale diventa un processo condiviso da tutti gli attori presenti sul territorio.

Il concetto di economia circolare inizia a comparire esplicitamente in documenti politici solo nel 2006 grazie al lavoro dell’UNEP (United Nations Environment Programme) che la definisce «un’economia che bilancia lo sviluppo economico con la protezione dell’ambiente e delle risorse [...], caratterizzata da bassi consumi di energia, basse emissioni di inquinanti e alta efficienza [...]». L’UNEP (2011a) individua l’uso delle risorse come uno dei più importanti legami tra le attività economiche e l’ambiente e diffonde i concetti di *resource decoupling*, trattato in realtà per la prima volta dall’OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) nel 2001, e di *impact decoupling*.

Tali presupposti evidenziano come l’aumento del PIL e il benessere dell’umanità debbano disaccoppiarsi dal consumo delle risorse primarie e dagli impatti ambientali, sottolineando la necessità di raggiungere un nuovo modello economico che possa soddisfare la crescita economica e il benessere degli uomini, ma che allo stesso tempo riduca il consumo delle risorse e annulli gli impatti negativi sull’ambiente (Fig. 5).

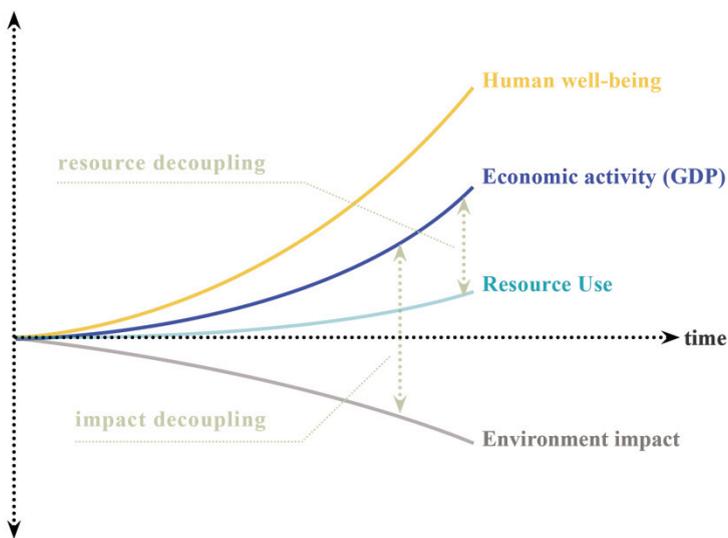


Fig. 5 – Impact decoupling (fonte: rielaborazione dell'autore da UNEP, 2011a)

È da sottolineare, però, che in questa visione viene comunque sostenuta la crescita economica, difficilmente slegabile dall'aumento dei consumi delle risorse, sostenendo quindi l'approccio all'efficienza dei processi produttivi piuttosto che un cambiamento negli stili di vita. Osservando, infatti, gli obiettivi di *decoupling* dell'UNEP, è possibile notare che la crescita economica può essere disaccoppiata dagli impatti ambientali (mostrando una diminuzione degli impatti), ma il consumo di materie prime resta in aumento (anche se ridotto).

Il tema della conversione ad una economia sostenibile viene ripreso, con nuovo vigore, alla conferenza Rio+20 (2012), il cui programma centrale è il modello di sviluppo economico della *green economy*, termine coniato per la prima volta nel 1989 da Pearce *et al.* con il libro *Blueprint for a Green Economy*. L'applicazione di un nuovo modello di *green economy* è definita dall'UNEP come un'economia «a basso contenuto di carbonio, con uso efficiente delle risorse e socialmente inclusiva» (UNEP, 2011b), enfatizzando la crescita del reddito e dell'occupazione attraverso investimenti pubblici e privati, che mirino all'obiettivo di ridurre le emissioni di carbonio e l'inquinamento, di aumentare l'efficienza energetica e delle risorse e di prevenire la perdita di biodiversità e dei servizi ecosistemici

È possibile affermare che l'economia circolare prende parte agli obiettivi della *green economy* e si delinea come una sottocategoria della stessa

(Fig. 6). Se infatti quest'ultima si riferisce a una visione ampia dei temi ambientali considerando nel loro complesso gli impatti dell'azione antropica sull'ambiente e la resilienza dell'ecosistema, l'economia circolare pone come principale centro di interesse l'efficienza nell'uso delle risorse e la riduzione della produzione dei rifiuti (EEA, 2016), quindi solo gli aspetti ambientali correlati ai flussi materici.

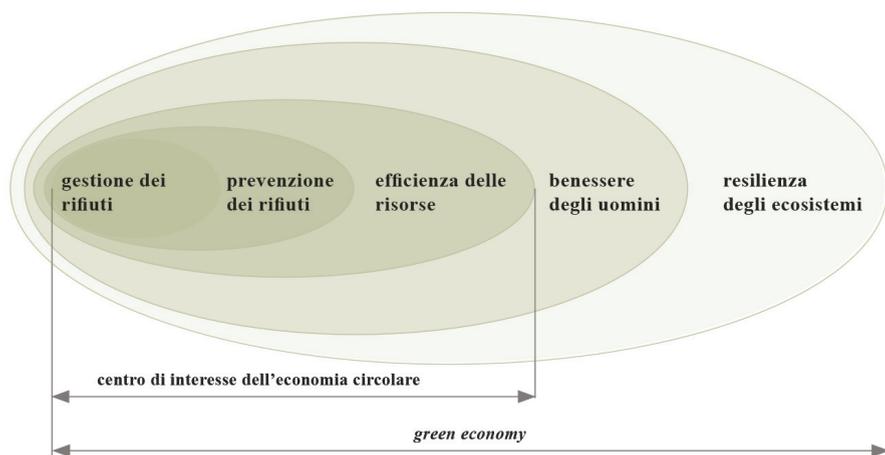


Fig. 6 – Gli obiettivi dell'economia circolare all'interno della green economy (fonte: rielaborazione dell'autore da EEA, 2016)

Ulteriore importante passo è stato compiuto nel 2015, con la redazione dell'Agenda 2030, sottoscritta dai governi di 193 Paesi membri delle Nazioni Unite. L'Agenda 2030 è costituita da diciassette obiettivi per lo sviluppo sostenibile (SDGs) da raggiungere in ambito ambientale, economico, sociale e istituzionale entro il 2030, con il proposito complessivo di porre fine alla povertà, l'ineguaglianza e gli impatti negativi sull'ambiente: tra essi, l'obiettivo n. 12 si intitola *Garantire modelli sostenibili di produzione e di consumo*. Esso si riferisce all'individuazione ed attivazione di modelli economici sostenibili replicabili e adattabili ad ambiti e contesti differenti attraverso un approccio sistemico, ponendosi, quindi, in linea agli obiettivi di economia circolare. Comprendendo “produzione” e “consumo”, si evidenzia il ruolo cruciale che hanno, da un lato, i produttori e le imprese, che devono trasformare il loro *modus operandi* (tecniche produttive, scelte organizzative, vendita dei prodotti, fornitura di servizi, ecc.) e, dall'altro, i consumatori o utilizzatori finali, che devono cambiare

le loro scelte d'acquisto e i loro comportamenti d'uso dei prodotti (scelta di prodotti durevoli, riduzione dei consumi, attenzione alla sostenibilità dei prodotti, ecc.).

### ***1.2.2. Gli attuali obiettivi di economia circolare dell'Europa***

I principi dell'economia circolare trovano applicazione concreta in alcuni documenti di indirizzo emanati dalla Commissione europea che asseriscono: «l'economia circolare preserva il più a lungo possibile il valore aggiunto nei prodotti ed elimina virtualmente gli sprechi. Conserva le risorse all'interno dell'economia quando un prodotto ha raggiunto la fine della sua vita, in modo che rimangano nell'uso produttivo e creino ulteriore valore» (Commissione europea, 2014).

Nel 2014, tramite la COM 398, la Commissione europea dichiara che, in una logica di economia circolare, il cerchio si chiude con la trasformazione dei rifiuti in risorse, attraverso l'innovazione nei settori del riciclaggio e del riutilizzo. Essa, tra le azioni di maggiore rilevanza per l'avvio delle politiche di conversione verso un'economia circolare, identifica l'introduzione di piattaforme europee sull'efficienza nell'impiego delle risorse allo scopo di individuare importanti opportunità commerciali nel reintrodurre le materie di scarto e rifiuto nel processo di produzione.

Nel 2015 la COM 614 adotta un nuovo pacchetto che prende in considerazione l'intero ciclo economico. Analizzando le fasi di produzione, consumo, gestione dei rifiuti e mercato delle materie prime seconde, sottolinea l'importanza di promuovere processi industriali innovativi, ad esempio la simbiosi industriale, grazie alla quale i rifiuti o i sottoprodotti di un'industria diventano materie prime seconde per un'altra. La Commissione vuole agevolare tale prassi e intende intavolare un dialogo con gli Stati membri per garantire un'interpretazione comune delle norme sui sottoprodotti. La COM 614 inoltre sostiene che lo sviluppo dell'economia circolare può essere favorito anche da forme innovative di consumo, ad esempio basate sulla fornitura di servizi anziché di prodotti. Evidenzia, altresì, il ruolo preminente che la gestione dei rifiuti riveste nell'economia circolare, sottolineando la messa in pratica della gerarchia dei rifiuti (prevenzione, riutilizzo, riciclaggio, recupero di energia e, per ultimo, smaltimento), già definita dalla *Waste Framework Directive 2008/98/CE*.

Tuttavia, è evidente che i primi documenti di indirizzo si muovevano in prevalenza verso l'obiettivo dell'incentivazione della diminuzione dei rifiuti, favorendo le attività di riciclaggio e lo scambio di sottoprodotti tra le aziende. Le dinamiche più diffuse attualmente, infatti, si verificano in que-

sto ambito di azione, favorendo però meccanismi che potrebbero comportare il rischio di incentivare il commercio dei rifiuti non ponendo nessun limite di distanza temporale per il loro trattamento, giustificando così politiche volte ad un consumo “usa e getta”, andando a mettere in discussione l’importanza della durabilità dei prodotti.

Successivamente l’economia circolare è stata, invece, individuata come strategia fondamentale per conseguire gli obiettivi dell’*Agenda 2030* e gli obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite.

Nel 2019, attraverso la COM 640, la Commissione europea promuove un *Green Deal* europeo che individua un insieme di iniziative strategiche da mettere in campo, tra cui misure di carattere legislativo e non legislativo, sistemi di comunicazione e certificazione e quadri di monitoraggio. Inoltre, la COM 640, sottolinea l’urgenza di un notevole aumento di dimostrazioni e diffusioni su larga scala di nuove tecnologie a livello inter-settoriale, creando catene del valore nuove e innovative. A tal fine, anche le scuole, gli istituti di formazione e le università sono individuati come soggetti privilegiati e responsabili per la diffusione e divulgazione dei temi relativi ai cambiamenti necessari per il successo della transizione economica circolare e sostenibile.

Più recentemente, l’importanza dell’economia circolare è stata riproposta attraverso il nuovo piano d’azione per l’economia circolare (*New Circular Economy Action Plan* – CEAP), all’interno della COM 98 del 2020, attraverso un nuovo rilancio non più prettamente incentrato sulla gestione dei rifiuti, ma aperto ad un approccio sistemico più ampio, mirato alla definizione di azioni lungo l’intero ciclo di vita dei prodotti. Il nuovo piano di azione, infatti, sottolinea l’importanza di strategie orientate alla ri-progettazione dei prodotti e processi, basati su modelli di consumo sostenibile delle risorse e il mantenimento del loro valore nel tempo. Sulla base di questi documenti di indirizzo si delineano quindi le azioni fondamentali per l’affermazione di una prospettiva di economia circolare: i prodotti devono essere progettati e ottimizzati per facilitarne il disassemblaggio, il riuso e il riciclaggio, deve essere promossa la condivisione, il mantenimento del valore di prodotti, materiali e risorse più a lungo possibile, riducendo al minimo la generazione dei rifiuti.

Ulteriore spinta alla transizione verso un sistema economico circolare e sostenibile è data nell’ambito del quadro finanziario pluriennale 2021-2027 e di *NextGenerationEU*, mirato al conseguimento e al sostegno degli obiettivi di ripresa economica in seguito alla pandemia Covid-19, per cui l’Unione europea mette a disposizione flussi finanziari di sovvenzioni e prestiti sia a enti pubblici sia a enti privati. Per facilitare gli investimenti, l’Unione europea, nella COM 390 del 2021, ha introdotto tre elementi di

base per stabilire un quadro finanziario sostenibile e applicato dal 2023. Tale quadro prevede: I) un sistema di classificazione o “tassonomia” delle attività sostenibili, che consente di condividere una definizione comune di sostenibilità, evitando la pratica del *greenwashing*<sup>22</sup>; II) un quadro in materia di informativa per le imprese finanziarie e non finanziarie, che definisce quali informazioni devono essere divulgate dalle imprese rispetto alla propria prestazione ambientale; III) strumenti di investimento che forniscano agli operatori una maggiore trasparenza, inclusi indici di riferimento e marchi.

Per monitorare i progressi dell’UE verso gli obiettivi ambientali e climatici fino al 2030, e più a lungo termine per il 2050, la Commissione europea ha definito l’8° *Programma di Azione per l’Ambiente* (PAA).

L’8° *Programma di Azione per l’Ambiente* (PAA) è entrato in vigore nel maggio 2022, prevedendo l’obbligo per la Commissione europea di presentare un quadro di monitoraggio, basato su un elenco di indicatori principali statisticamente solidi (COM 357, 2022) che ambiscono a valutare non solo gli aspetti economici e sociali ma anche ambientali. Detti indicatori devono essere quindi applicati come monitoraggio delle politiche europee e nazionali; dunque, si distinguono dagli indicatori definiti dalla tassonomia delle attività sostenibili (COM 390, 2021) che riguardano, invece, le singole attività produttive.

Gli indicatori dell’8 PAA comprendono: mitigazione dei cambiamenti climatici; adattamento ai cambiamenti climatici; economia circolare rigenerativa; inquinamento zero e ambiente privo di sostanze tossiche; biodiversità ed ecosistemi; pressioni ambientali e climatiche connesse alla produzione e al consumo dell’UE; condizioni favorevoli; vivere entro i limiti del nostro pianeta.

Richiamando, quindi, l’indicatore di economia circolare rigenerativa, viene fornito un quadro internazionale comune di valutazione della circolarità per lo sviluppo di processi produttivi e finanziari, articolato in due criteri:

22. Per *greenwashing* si intendono le strategie di *marketing* che descrivono prodotti come ecocompatibili quando non lo sono. La tassonomia rappresenta un sistema di classificazione per definire se un’attività economica rientra nell’ambito della sostenibilità ambientale e climatica. I sei obiettivi climatici e ambientali sono: I) prevenzione del cambiamento climatico; II) adattamento ai cambiamenti climatici; III) tutela dell’acqua o di altre risorse legate al mare; IV) contributo alla transizione verso un’economia circolare; V) prevenzione e controllo dell’inquinamento; VI) tutela e ripristino della biodiversità.

In questo ambito, si richiede per ogni attività economia (incluse, quindi, le attività di costruzione e ristrutturazione) di fornire documentazione dichiarante che l’attività contribuisce al raggiungimento di uno o più obiettivi climatici e che non li danneggia (*Do No Significant Harm*, DNSH). In Italia i principi del DNSH sono stati particolarmente introdotti dalle iniziative del PNRR (Piano nazionale ripresa resilienza).

- consumo di materie prime (tonnellate pro capite), con l'obiettivo di valutare la riduzione dell'impronta dei materiali, mediante la diminuzione della quantità di materie prime necessarie a fabbricare i prodotti consumati nell'UE, attraverso la rilevazione di dati Eurostat;
- produzione complessiva di rifiuti (kg pro capite), con l'obiettivo di monitorare la prevenzione dei rifiuti tramite la riduzione della quantità totale di rifiuti prodotti, attraverso la rilevazione di dati Eurostat.

Tuttavia, sarebbe necessario raffinare i criteri di valutazione di tale indicatore. Sebbene la diminuzione dei consumi di materie prime e di produzione dei rifiuti sia il primo passo verso un sistema sostenibile, la misurazione in termini quantitativi potrebbe non essere esaustiva. Ad esempio, la riduzione quantitativa dei rifiuti potrebbe incentivare solo strategie di riciclaggio senza promuovere forme più sostenibili, come il riuso o il *remanufacturing*; la diminuzione in termini di peso di materie prime utilizzate potrebbe innescare scelte costruttive verso materiali più "leggeri" che, però, a parità di altre soluzioni tecnologiche, possono essere meno durevoli o comportare altre criticità non considerate. È necessario, quindi, affiancare a detti criteri altri strumenti di valutazione che permettano il controllo reale del beneficio ambientale, basati sulla metodologia *Life Cycle Assessment* (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2018; EN 15978, 2011).

Tale questione è attualmente affrontata e discussa all'interno del gruppo di lavoro 3 *Measuring and assessing circularity* della ISO/TC323 *Circular economy*, attraverso la selezione di indicatori di circolarità necessari alla valutazione della sostenibilità, quindi dell'impatto ambientale, di soluzioni circolari. La ISO/FDIS 59020 *Circular economy. Measuring and assessing circularity performance*, in corso di elaborazione, presenta un *framework* per misurare e valutare la circolarità, applicabile a più livelli di un sistema economico, che vanno dal livello regionale, interorganizzativo, organizzativo fino al livello di prodotto. Il *framework* tiene conto degli impatti sociali, ambientali ed economici nel valutare le prestazioni di circolarità, consentendo *input* da una varietà di metodi complementari.

Nell'ambito del percorso di elaborazione della norma ISO 59020, l'Italia si è dotata della norma UNI/TS 11820:2022 *Misurazione della circolarità – Metodi ed indicatori per la misurazione dei processi circolari nelle organizzazioni*, che costituisce uno strumento che anticipa le prospettive internazionali. Detta norma definisce un set di indicatori (definiti dalla commissione tecnica UNI 057) utili a valutare, attraverso un sistema di *rating*, il livello di circolarità di una organizzazione o gruppo di organizza-

zioni, non prevedendo soglie minime di circolarità ma valutando esclusivamente il livello raggiunto<sup>23</sup>.

A marzo 2022, è stata pubblicata la proposta del nuovo regolamento *Ecodesign for Sustainable Products Regulation* (ESPR), basato sulla precedente *Ecodesign Directive 2009/125/CE* che, però, copre solo i prodotti connessi all'energia.

La nuova proposta fissa requisiti di *Ecodesign* per i prodotti, al fine di migliorarne significativamente la circolarità, le prestazioni energetiche e altri aspetti di sostenibilità ambientale, definendo i requisiti di: durabilità; riutilizzabilità, riparabilità del prodotto; presenza di sostanze che ostacolano la circolarità; efficienza energetica e delle risorse; contenuto di riciclato; impronta di carbonio e ambientale; requisiti di informazione, compreso un passaporto dei prodotti digitali.

Nuovi strumenti come il “passaporto digitale dei prodotti” saranno sviluppati con la finalità di promuovere l'attivazione di strategie di *marketing* basate sulla circolarità e la sostenibilità.

23. Inoltre, il rapporto tecnico UNI/TR 11821:2023 *Raccolta ed analisi di buone pratiche di economia circolare*, contiene un'analisi di buone pratiche di economia circolare di organizzazioni italiane (basati sul modello di prodotto-servizio, estensione del ciclo di vita del prodotto, utilizzo dei sottoprodotti) e i miglioramenti quantitativi e qualitativi attesi della replicabilità delle stesse.

## 2. Economia circolare nel settore edilizio

### 2.1. Il settore edilizio e gli ambiti prioritari della riqualificazione e della temporaneità d'uso

Le comunicazioni della Commissione europea (COM 398, 2014; COM 614, 2015, COM 640, 2019), indicano il settore edilizio come uno dei settori chiave per l'applicazione di strategie di economia circolare, essendo esso causa della maggiore produzione di rifiuti e di un rilevante consumo di energia e di materie prime. In particolare, secondo i dati statistici dell'Unione europea (EU-28), il settore edilizio contribuisce al 37,5% della produzione totale di rifiuti dell'UE-28 (Eurostat, 2020), producendo circa 850 milioni di tonnellate di rifiuti da costruzione e demolizione (CDW) all'anno (Osmani e Villoria-Sáez, 2019). Prendendo in considerazione l'Italia i rifiuti da costruzione e demolizione ammontavano a circa 54 milioni di tonnellate, rappresentando il 45,1% del totale dei rifiuti speciali prodotti nell'intera nazione (Ispra, 2022). Inoltre, il settore edilizio è causa di circa il 50% di tutte le materie prime estratte (Commissione europea, 2020), provocando impatti ambientali rilevanti (Lavagna *et al.*, 2018; Onat e Kucukvar, 2020). Il settore delle costruzioni è inoltre prioritario perché fornisce 18 milioni di posti di lavoro diretti e contribuisce a circa il 9% del PIL dell'UE (Commissione europea, 2018).

Il settore edilizio europeo ha vissuto un prolungato periodo di recessione a seguito della crisi economica del 2008, rallentando gli investimenti e le attività di costruzione, con ripercussioni negative su occupazione e redditività. Dal 2014, il settore si trova in una fase di crescita e, ponendosi in linea con le politiche europee di riduzione della cementificazione di suolo<sup>1</sup>

1. Al fine di evitare il fenomeno dello *sprawl* urbano e diminuire la possibilità di costruire su *green-field*, ovvero aree non urbanizzate destinate alla natura o agricoltura.

(COM 232, 2006), il rinnovo degli edifici esistenti viene identificato come principale punto di ripresa (COM 433, 2012).

Il piano d'azione europeo *Construction 2020 Strategy* evidenzia il grande potenziale della ristrutturazione degli edifici esistenti e della manutenzione delle infrastrutture per perseguire l'obiettivo 2050 riguardante la decarbonizzazione e la conservazione delle risorse.

Il parco edilizio europeo, infatti, è piuttosto longevo: a livello europeo circa il 50% del patrimonio è stato costruito prima del 1970, in Italia invece circa il 60% (Lavagna *et al.*, 2016), quindi è necessario un rinnovo dal punto di vista funzionale, tecnologico ed energetico. Inoltre, l'85% del parco immobiliare dell'UE attuale sarà ancora in uso nel 2050 (COM 662, 2020), richiedendo interventi di rinnovo.

All'interno del più recente *European Green Deal* è stata definita l'iniziativa della *Renovation Wave*, presentata nel 2020, che considera la riqualificazione del parco edilizio europeo occasione per rendere più sostenibili gli edifici e per rilanciare economicamente il settore. Il piano *Renovation Wave* pone l'obiettivo di raddoppiare i tassi annuali di rinnovamento entro il 2030, promuovendo il lancio dell'iniziativa *New European Bauhaus* avente lo scopo di costituire una piattaforma europea per condividere idee, esperienze e sperimentazioni riguardo l'architettura sostenibile.

Il piano individua come strategia fondamentale di intervento sull'esistente l'efficientamento energetico e l'integrazione delle rinnovabili ai fini della decarbonizzazione del parco edilizio, ma l'intento è riqualificare complessivamente gli edifici anche dal punto di vista dell'adeguamento sismico, della resilienza, della ecologicità, della salubrità e del comfort. A tale scopo sono stati destinati anche considerevoli fondi del *NextGenerationEU* e dei relativi *Recovery Plan* nazionali.

Con l'avvio dell'"ondata di ristrutturazioni" (*Renovation Wave*) di edifici pubblici e privati, tra le azioni strategiche europee (COM 640, 2019) viene esortata l'urgenza di rendere più efficienti gli interventi di costruzione e ristrutturazione edilizia. Nella COM 98 (2020) viene sottolineata l'importanza di promuovere i principi di circolarità nel settore edilizio, lungo l'intero ciclo di vita degli edifici, attraverso quattro punti fondamentali: I) incentivando il contenuto di riciclato nei prodotti da costruzione; II) migliorando la durabilità e l'adattabilità degli edifici; III) integrando la valutazione del ciclo di vita negli appalti pubblici, utilizzando il progetto pilota di comunicazione volontaria *Level(s)*; IV) riformulando gli obiettivi di recupero dei rifiuti da costruzione e demolizione prefissati dalla *Waste Framework Directive 2008/98/CE*.

In tale contesto, il rinnovo del patrimonio edilizio diventa uno dei principali campi di attuazione delle strategie di economia circolare. Appli-

cando un approccio di circolarità alla rigenerazione del patrimonio edilizio esistente è possibile sostenere che si possano trarre sia vantaggi ambientali sia vantaggi economici, conseguenti la minore estrazione delle materie prime (che stanno subendo elevati rincari a seguito dell'attuale crisi post-pandemica e bellica) e la diminuzione dei conferimenti in discarica, attivando dinamiche di riuso/recupero dei materiali. Di fatto, il patrimonio edilizio costituisce una *stock* di risorse materiche riutilizzabili e recuperabili tale da soddisfare gran parte del fabbisogno di risorse del settore edile.

Di contro, l'applicazione delle strategie di economia circolare alla rigenerazione del patrimonio edilizio rileva ancora punti di debolezza: i principi di circolarità possono essere più facilmente applicati a processi industriali standardizzati, dove la produzione e la generazione di rifiuti è costante; in edilizia invece occorre rapportarsi a processi complessi, eterogenei, non costanti e con una forte impronta artigianale. Ad esempio, bisogna confrontarsi con tecniche costruttive tradizionali (che caratterizzano il patrimonio esistente) difficilmente smontabili e riutilizzabili e, di conseguenza, con rifiuti da costruzione e demolizione caratterizzati da materiali eterogenei difficilmente separabili. Inoltre, la longevità degli edifici non facilita l'applicazione nei nuovi interventi edilizi di strategie circolari tipicamente applicate nei processi industriali di produzione in serie di beni di consumo di vita breve, a causa della notevole difficoltà di previsione sulla gestione delle risorse disponibili a fine vita utile e sulle opportunità del loro recupero. Una gestione circolare dei flussi di materiali infatti richiede la programmazione del fine vita dei prodotti e questa programmazione in ambito edilizio rappresenta una prefigurazione a lungo termine e, quindi, di difficile previsione, dovuta alla longevità dei prodotti edilizi applicati in edifici permanenti, progettati per durare per molti anni.

Si tratta, dunque, di individuare gli spazi di applicazione della circolarità all'interno delle limitazioni dovute al patrimonio edilizio attuale (non progettato per essere circolare), quantomeno progettando gli interventi sull'esistente in una prospettiva di circolarità.

Oltre alla riqualificazione, al fine di contenere gli impatti ambientali del settore edilizio e in particolare i flussi di consumi di risorse e produzione di rifiuti, l'applicazione delle dinamiche di circolarità e riuso risulta estremamente importante nell'ambito degli usi temporanei.

Si osserva infatti che, in particolare nel terziario, esistono cicli brevi di utilizzo, che determinano tempi di rinnovo molto frequenti, come nel caso degli uffici, del *retail*, delle strutture ricettive e *hotel*. Queste architetture subiscono frequenti riconfigurazioni degli spazi interni causati per esempio dai cambi di titolarità degli spazi oppure dalla necessità di *rebranding* o di *restyling* delle immagini aziendali. Accade dunque che vengano spesso

dismessi prodotti ancora in buono stato: non si tratta solo degli arredi, ma anche di prodotti edilizi come le finiture interne. Le principali parti d'opera che vengono rimosse sono pareti mobili, sistemi di controsoffitti e di pavimentazioni, costituiti da materiali quali cartongesso, moquette, pavimentazioni ceramiche, isolanti acustici, rivestimenti plastici, che vengono prevalentemente smaltiti in discarica.

Ulteriore ambito particolarmente critico in termini di flussi materici e impatti, e quindi di particolare interesse per dinamiche di circolarità e riuso, è quello degli eventi temporanei, della durata di pochi mesi o poche settimane o pochi giorni, come per esempio *expo*, olimpiadi, fiere, *design week/fashion week*, concerti e gare sportive. In questi ambiti i cicli di uso dei prodotti sono molto brevi e questo determina che vengano dismessi componenti ancora in ottimo stato dal punto di vista della qualità del componente. Per fare un esempio, FieraMilano produce circa 15.000 tonnellate di rifiuti all'anno. In questi contesti le principali parti d'opera dismesse sono passatoie e pavimenti temporanei, pannelli divisorii e allestimenti; di conseguenza i principali materiali smaltiti in discarica sono moquette, pannelli in legno/compensato, teli e pannelli in PVC.

L'attivazione di strategie di circolarità in tutti gli ambiti descritti richiede un cambiamento nella progettazione dei sistemi costruttivi introducendo tecniche costruttive sperimentali (soprattutto di assemblaggio). Occorrono anche nuove procedure operative ed organizzative e nuove relazioni tra operatori lungo il processo di progettazione, costruzione e demolizione. Per proporre modelli organizzativi e procedurali differenti da quelli esistenti nelle filiere tradizionali è quindi necessario mettere in atto non solo nuove capacità tecniche, ma anche nuove capacità organizzative del lavoro, delle pratiche e delle relazioni tra gli operatori. È necessario individuare nuovi rapporti contrattuali *win-win* tra i differenti stakeholder (che siano produttori, fornitori, clienti e altre maestranze che operano lungo la filiera). Il cambio di modello porta inoltre a opportunità di lavoro, creazione di nuove figure di intermediazione e nuove competenze professionali, che introducono a loro volta verso nuove sfide nell'ambito della formazione.

### ***2.1.1. La sostenibilità ambientale della circolarità e l'approccio Life Cycle***

Operare in un campo di innovazione, in modo particolare se motivata da obiettivi di sostenibilità, richiede anche il controllo e la quantificazione dei reali benefici ambientali che dette nuove tendenze possono trarre. Anche in letteratura viene evidenziata la necessità di valutazioni quantita-

tive che dimostrino i benefici delle strategie di circolarità (es. Buyle *et al.*, 2019; Peña *et al.*, 2021; Lei *et al.*, 2021).

Molte ricerche hanno trattato la riduzione degli impatti nel settore edile attraverso un approccio *end of pipe*, ossia attento solamente al riciclo dei rifiuti dopo la demolizione, attraverso la demolizione selettiva o la decostruzione. Ma ciò non basta, perché per un efficace approccio alla circolarità è importante evitare gli sprechi nell'intero ciclo di vita. Ecco che allora, risalendo a monte nel ciclo di vita, appare più importante evitare la demolizione e puntare alla riqualificazione.

La riqualificazione dell'esistente rappresenta, quasi sempre, la scelta più sostenibile in termini ambientali, economici e sociali (Assefa *et al.* 2017). Si pensi anche solo al fatto che, tra le diverse parti dell'edificio, il 35-45% del contributo totale delle emissioni di CO<sub>2</sub> causate dalla fase di produzione dei materiali edilizi, è rappresentato dalla sola struttura portante (Paleari *et al.*, 2016; Rasmussen and Birgisdottir, 2016), che generalmente viene mantenuta in un intervento di riqualificazione. Questo significa che attraverso una riqualificazione (conservativa) si possono evitare quasi la metà delle emissioni di CO<sub>2</sub> altrimenti generate per la costruzione di nuovi edifici. Questa è una strategia di circolarità delle risorse. Inoltre, la riqualificazione deve essere concepita per ridurre gli impatti ambientali complessivi nell'intero ciclo di vita dell'edificio (produzione dei materiali, costruzione, uso e fine vita), assumendo strategie di progetto che rendano tecnicamente possibile ed economicamente vantaggioso tale intervento, seppur detta prospettiva possa richiedere un radicale cambiamento dei processi di realizzazione e di gestione dell'edificio.

Le sfide sono tante: gli edifici sono sistemi complessi, apparentemente stabili ma in continuo mutamento nel loro uso e costituiti da elementi con durate e funzioni differenti. L'applicazione di metodi e strumenti che consentano di misurare la sostenibilità delle scelte progettuali e gestionali, considerando gli impatti nelle diverse fasi del ciclo di vita in relazione alla variabile temporale, rappresenta un'ulteriore sfida e campo di indagine (Campioli, 2018).

Le prime azioni che hanno portato il settore edilizio a confrontarsi con i temi di sostenibilità ambientale sono riconducibili alle direttive relative al contenimento dei consumi energetici (Direttive 2002/91/CE, 2010/31/UE, 2012/27/UE). Tali direttive hanno consentito un significativo incremento dell'efficienza energetica degli edifici durante la fase d'uso, orientando la ricerca progettuale verso soluzioni costruttive e materiche ad alte prestazioni fino a raggiungere livelli di consumi energetici prossimi allo zero, ad esempio attraverso iper-isolamento termico dell'involucro e impianti tecnologicamente avanzati.

Occorre però sottolineare che le politiche volte alla decarbonizzazione e alla riduzione del consumo energetico hanno portato a concentrare l'attenzione progettuale da un lato solo sulla fase d'uso dell'edificio, trascurando gli impatti correlati alle altre fasi del ciclo di vita (Lavagna, 2006), dall'altro esclusivamente sugli indicatori di impatto relativi al consumo di energia e alle emissioni di CO<sub>2</sub>, trascurando gli altri indicatori sui quali non viene quasi mai posta attenzione progettuale (Lavagna *et al.*, 2020).

Il rischio è che questa tendenza porti alla promozione di soluzioni progettuali efficienti e vantaggiose solo per una certa fase di vita dell'edificio e per poche categorie di impatto, provocando, di conseguenza, uno spostamento degli impatti tra le diverse fasi di vita dell'edificio (ad esempio, dalla fase di utilizzo alla fase di produzione o fine vita) e tra i diversi indicatori ambientali (ad esempio, diminuendo le emissioni di CO<sub>2</sub> ma aumentando l'acidificazione del suolo o dell'acqua).

Inoltre, anche in termini di circolarità, occorre mirare all'efficienza nell'uso delle risorse non solo energetiche ma anche materiche, attraverso strategie di riduzione dei flussi materiali, in ingresso e in uscita dal processo edilizio. Le politiche di economia circolare hanno avuto proprio il ruolo di evidenziare che esiste un problema di sostenibilità nell'uso dei materiali oltre che dell'energia.

Nell'ambito dei documenti di indirizzo sull'economia circolare, la tendenza promossa riguarda il miglioramento dell'efficienza nel consumo di materiali, favorendo l'uso di materiali leggeri, rinnovabili, con contenuto di riciclato e a loro volta riciclabili. Tuttavia, è importante valutare non solo gli impatti generati dalla produzione dei materiali, ma anche quelli causati nell'intero ciclo vita dell'edificio; quindi, come accaduto per il tema energetico, anche nel caso dell'uso efficiente delle risorse il rischio è quello di spostare danni ambientali da una fase all'altra o da un indicatore ambientale all'altro.

Ad esempio, la scelta di riutilizzare componenti giunti alla fine della prima vita utile deve essere subordinata alla valutazione degli impatti provocati dal trasporto e da eventuali pratiche di trasformazione necessarie a permetterne il secondo impiego. Altro esempio, le scelte di soluzioni tecnologiche specifiche devono essere motivate da valutazioni che considerino non solo il profilo ambientale dei componenti ma anche i relativi aspetti di durabilità, valutando anche quante volte essi possano essere riutilizzati attraverso strategie di manutenzione e rilavorazione.

A tal fine, è necessario applicare un approccio progettuale in linea con il *Life Cycle Thinking*, valutando tutti gli effetti sull'intero ciclo di vita dell'edificio, considerando quindi le fasi di estrazione delle materie prime, produzione dei materiali edilizi utilizzati, trasporto, le fasi di co-

struzione, uso, manutenzione e fine vita dell'edificio stesso (Campioli e Lavagna, 2013).

È evidente, quindi, durante il processo decisionale di confronto tra diverse scelte progettuali, l'importanza di conoscere le caratteristiche di circolarità e considerare le previsioni sugli impatti che tali scelte avranno in futuro. L'introduzione della valutazione della sostenibilità ambientale ed economica durante il processo di rigenerazione edilizia è, quindi, oggi più che mai, cruciale: se il processo edilizio deve cambiare per introdurre dinamiche di economia circolare, è importante che tale cambiamento sia compiuto in modo sostenibile (Campioli *et al.*, 2020).

La possibilità di avvalersi di strumenti di supporto che permettono di valutare quantitativamente gli impatti delle scelte progettuali, rende definibili e comparabili diversi scenari di progetto e di gestione delle risorse. Esistono, attualmente, strumenti di supporto basati su metodologie di calcolo standardizzate e condivise, come il *Life Cycle Assessment*, che permette di valutare gli impatti ambientali del ciclo di vita di un prodotto, e quindi dell'edificio, insieme ad altri strumenti basati su metodologie di calcolo che permettono di analizzare il costo economico del ciclo di vita (*Life Cycle Costing*) e gli impatti sociali (*Social-Life Cycle Assessment*), nonché metodi che integrano i tre aspetti di sostenibilità (ambientale, economico e sociale) del ciclo di vita (*Life Cycle Sustainability Assessment*) (Lavagna, 2008).

L'approccio progettuale *Life Cycle* e gli strumenti quantitativi di valutazione degli impatti diventano quindi centrali per promuovere soluzioni non solo circolari ma anche sostenibili lungo il ciclo di vita: soluzioni, quindi, che evitino benefici apparenti che in realtà si limitano invece a spostare gli impatti da una fase del ciclo di vita ad altre fasi.

Esaminando la letteratura sul tema (Giorgi *et al.*, 2019), si nota che l'applicazione degli strumenti del ciclo di vita per la valutazione delle strategie circolari sta diventando sempre più discussa negli ultimi anni, a seguito delle politiche di incentivazione all'economia circolare, e lo strumento di valutazione più applicato nelle pubblicazioni scientifiche è il *Life Cycle Assessment*. Tuttavia, l'applicazione del *Life Cycle Assessment* come strumento per orientare le decisioni operative è ancora scarsa e il più delle volte in relazione alla gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione ("approccio *down-stream*") anziché a supporto delle scelte progettuali ("approccio *up-stream*"). Inoltre, gli studi si concentrano alla scala dei materiali e prodotti, mentre risultano meno esplorate le valutazioni ambientali delle strategie di circolarità applicate alla scala dei sistemi costruttivi, per esempio valutando il ruolo della disassemblabilità (Brambilla *et al.*, 2019), e dell'edificio nel suo insieme, per esempio valutando il ruolo dell'adattabilità nel tempo (Lavagna *et al.*, 2020).

Anche analizzando la pratica attuale, emerge che il progettista, generalmente, esula ad una valutazione degli impatti ambientali delle scelte progettuali dal punto di vista della sostenibilità del ciclo di vita al fine di analizzare strategie di riqualificazione. Questo risultato evidenzia quanto sia necessario incoraggiare l'introduzione degli strumenti LCA a supporto della transizione verso l'economia circolare nel settore edile.

Il pensiero critico e la consapevolezza dei limiti delle scelte apparentemente virtuose devono accompagnare l'operato dei progettisti ai quali è affidata in primis la responsabilità di ideare un ambiente costruito basato sulle logiche di circolarità. A fianco del progettista, i produttori, le imprese e tutte le maestranze coinvolte nel processo edilizio partecipano a ruoli/azioni nodali che dovrebbero ricomporre una rete operativa tale da permettere un'efficace innovazione circolare in edilizia, che sia orientata alla sostenibilità. «Occorre, quindi, sviluppare un'attitudine che ci consenta di delineare una nuova idea di progetto capace di sfruttare tutte le potenzialità tecnologiche per rinnovare il confronto con le emergenti istanze ecologiche, proponendo un'etica della ricerca scientifica e tecnologica, basata sui paradigmi della consapevolezza ambientale, della responsabilità delle scelte e della conoscenza collettiva, e che sappia ritrovare al suo interno una nuova prospettiva di senso estetico» (Perriccioli, 2020).

### ***2.1.2. Sviluppi della ricerca scientifica in Europa e in Italia***

L'applicazione delle strategie di economia circolare al settore edilizio è diventata recentemente campo di ricerca e sperimentazione. Enti di ricerca, pubbliche amministrazioni, realtà imprenditoriali stanno lavorando con l'obiettivo di individuare strumenti di supporto e soluzioni alle barriere legislative, tecnologiche e culturali che permettano di attivare dinamiche di circolarità economicamente ed ambientalmente sostenibili.

I lavori di ricerca e sperimentazione già condotti costituiscono lo stato dell'arte dell'attuale conoscenza del tema e dei necessari sviluppi futuri prioritari. Di seguito si intende quindi delineare gli approcci di ricerca adottati e i temi maggiormente indagati, al fine di mettere a fuoco i principali argomenti di interesse.

A livello europeo, il primo tema indagato nell'ambito della circolarità è relativo al potenziale di recupero e riciclo dei rifiuti da costruzione e demolizione. Progetti di ricerca europei come *HISER Project*, *Resource Efficient Use of Mixed Waste*, *DEMOCLES*, *ENCORT*, hanno esaminato gli aspetti più operativi del processo di recupero dei rifiuti del settore edilizio: le pratiche di decontaminazione e i *test* di qualità al fine di migliorare

la separazione dei rifiuti, le tecniche di demolizione selettiva attraverso la formazione degli operatori, l'identificazione di macchinari e attrezzature utili al recupero e al riciclaggio di rifiuti.

A fianco sono analizzati gli strumenti di gestione delle informazioni, utili a mappare dati riguardanti l'enorme potenziale di risorse materiche stoccate nel parco edilizio esistente. L'obiettivo è quello di ottenere le informazioni sulla disponibilità di materiali, per bilanciare domanda e offerta in un mercato di materie prime seconde. Particolare attenzione viene posta verso gli strumenti di supporto alla gestione della fase del fine vita degli edifici per prevedere e monitorare i flussi materici lungo il processo di demolizione e ricostruzione (es. GIS, *pre-demolition audit*, strumenti BIM).

Un altro versante di ricerca considera invece le strategie e gli strumenti per il progetto, con attenzione specifica data alla progettazione dell'edificio trasformabile e all'introduzione di tecnologie costruttive disassemblabili e reversibili.

L'attività di ricerca più importante in questa area è stata svolta dal progetto *Building as Material Banks* (BAMB) iniziato nel 2015 e terminato a febbraio 2019, che ha coinvolto quindici partner provenienti da sette paesi diversi e una fitta rete di stakeholder. L'obiettivo del progetto è raggiungere sia la circolarità a livello di edificio attraverso il miglioramento delle strategie di progettazione sia il mantenimento del valore dei materiali attraverso l'uso di passaporti dei materiali e modelli di *business* circolari. Il progetto BAMB è molto importante perché, ha fornito una consapevolezza condivisa relativa ai temi di circolarità in edilizia tra diversi paesi europei. Tra i risultati del progetto, sono state sviluppate linee guida e prassi operative per la progettazione e la costruzione di componenti reversibili, che facilitino il disassemblaggio degli elementi senza danneggiarli per garantire più ampie possibilità di riuso. A queste sono stati affiancati strumenti digitali che supportano la conservazione nel tempo delle informazioni relative all'edificio e ai materiali (es. *material passport*, BIM).

Parallelamente al grande lavoro svolto dalle ricerche finanziate, l'innovazione verso un modello circolare nel settore edilizio viene sviluppata anche da gruppi di lavoro internazionali e nazionali, organizzati per mettere in rete il maggior numero di operatori e stakeholder, allo scopo di attivare processi di confronto sulle attuali barriere, leve e *best practices*.

A livello internazionale le iniziative COST *Action* riuniscono ricercatori provenienti dal mondo accademico, imprese, istituzioni pubbliche ed altre organizzazioni per attivare confronti e scambi interdisciplinari e internazionali. All'interno dell'azione CA15115 *Mining the European Anthroposphere* (MINEA) (2016-2020) diversi gruppi di lavoro hanno ana-

lizzato il potenziale delle risorse materiche nei “depositi antropogenici”, includendo l’ambito dei rifiuti da costruzione e demolizione. L’obiettivo è stato quello di mettere a confronto le tecnologie di gestione dei rifiuti e le strategie politiche di diverse nazioni europee per attivare un approccio internazionale e stabilire una base di conoscenza comune per la valutazione del potenziale delle risorse a vari livelli territoriali.

Proposito dell’azione CA21103 *Implementation of Circular Economy in the Built Environment* (CircularB) (2022-2026) è sviluppare un quadro internazionale comune di valutazione della circolarità con indicatori chiave di prestazione (KPI), a supporto sia dei progettisti, per la fase decisionale di progettazione, sia dei governi nazionali/locali per la valutazione e promozione di strategie di economia circolare. Ulteriore obiettivo dell’azione CA21103 è l’identificazione di linee guida per la costruzione, l’assemblaggio, l’adattabilità, la decostruzione di edifici nuovi ed esistenti, e l’identificazione di modelli di *business* tra stakeholder di filiera.

La Commissione europea e il Comitato economico e sociale europeo (CESE) nel 2017 hanno creato l’iniziativa *European Circular Economy Stakeholder Platform* (ECESP), pensata come una piattaforma europea che mettesse in rete stakeholder dell’economia circolare, per condividere le iniziative esistenti a livello locale, regionale e nazionale, per lo scambio di idee e di informazioni. A livello nazionale si è configurata la piattaforma ICESP (*Italian Circular Economy Stakeholder Platform*) come *spin-off* di ECESP per raccogliere le iniziative, le esperienze e le criticità sull’economia circolare in Italia, per poi comunicarle alla rete europea ECESP. I gruppi di lavoro di ICESP favoriscono il dialogo e le sinergie tra istituzioni, pubblica amministrazione centrale e locale (che costituiscono l’8,7% del totale dei partecipanti), cittadini e terzo settore (che rappresentando il 10,4%), mondo della formazione, ricerca e innovazione (18,1%) e imprese e associazioni di categoria, che costituiscono la realtà predominante all’interno della rete ICESP (62,8% del totale partecipanti). Ne derivano documenti di indirizzo potenzialmente utili soprattutto per i *policy maker*.

In Italia, il gruppo di lavoro sull’economia circolare del *Green Building Council Italia*, ulteriore occasione di confronto tra stakeholder del settore edilizio italiani, ha individuato un totale di 13 azioni chiave per la transizione verso l’economia circolare in edilizia (GBCI, 2019).

Oltre alle realtà sopra descritte, esistono ulteriori occasioni e luoghi di dibattito in cui i temi di economia circolare sono oggetto di discussione e di riflessione. In ogni ambito, comunque, è fondamentale la commistione tra discipline e tra diversi operatori, che determina la formazione di una conoscenza plurale e condivisa, necessaria ad attivare il cambiamento verso un modello circolare e sostenibile.

## 2.2. I tre livelli dell'economia circolare nel settore edilizio

Da un punto di vista sistemico, l'economia circolare nell'ambiente costruito può essere trattata su tre livelli: livello *macro*, riguardante la scala della città e degli agglomerati urbani; livello *meso*, concernente la scala dell'edificio; livello *micro*, incentrato sulla dimensione dei materiali (Fig. 7).

Al fine di restituire un quadro conoscitivo dell'economia circolare applicata al settore edilizio, vengono, di seguito, approfonditi detti tre livelli, trattando i principali temi e le aree di indagine attualmente presenti a letteratura.

L'analisi dello stato dell'arte mostra che attualmente l'economia circolare nell'ambiente costruito è trattata in particolar modo a livello *macro*, all'interno del concetto di metabolismo urbano, e a livello *micro*, nella definizione di nuovi materiali con alti contenuti di riciclato. Sia alla scala urbana sia a quella materiale, tuttavia, l'applicazione della circolarità viene interpretata soprattutto come gestione dei rifiuti o scarti provenienti da altri cicli produttivi, piuttosto che dal punto di vista del risparmio e della gestione efficiente delle risorse. È emerso quindi che il livello di applicazione delle strategie di economia circolare meno discusso a letteratura, e forse più complesso, è il livello *meso*, ovvero quello dell'edificio.

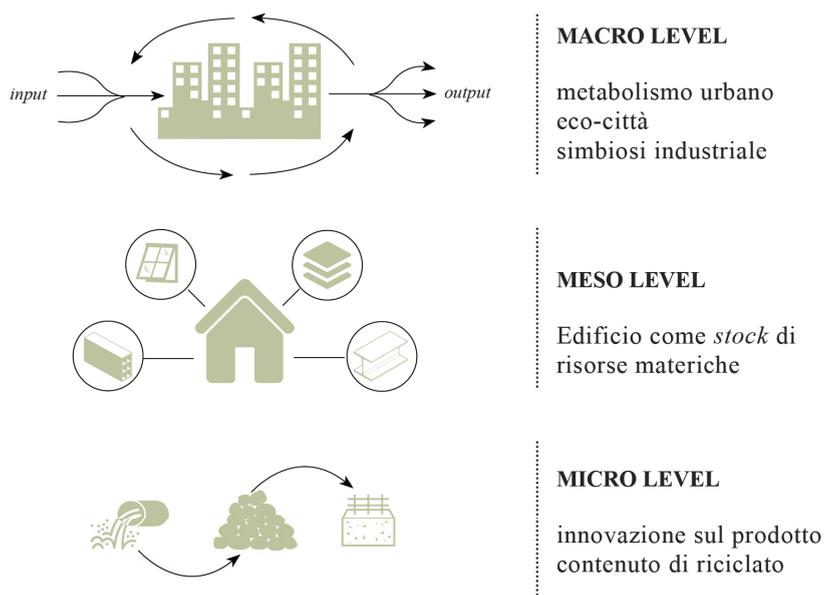


Fig. 7 – I tre livelli di applicazione dell'economia circolare al settore edilizio (fonte: elaborazione dell'autore)

### 2.2.1. Il livello macro: metabolismo urbano e urban mining

Uno dei temi principali riguardante l'applicazione dell'economia circolare a livello *macro* riguarda la simbiosi industriale. Questo concetto è attualmente applicato alle eco-città (o *eco-city*), ponendo attenzione principalmente alle relazioni tra le città e i relativi centri industriali collocati nel territorio limitrofo per l'attivazione di metabolismi industriali basati sulle teorie degli *eco-industrial park* (Lavagna, 2020) e alle strategie e tecnologie per condividere materiali e informazioni tra realtà industriali (Prendeville *et al.*, 2017). Ampliando l'approccio della circolarità dei flussi all'intera realtà urbana, riveste particolare interesse il modello del metabolismo urbano (*urban metabolism*) che pone attenzione alla visione olistica dei processi metabolici che minacciano la sostenibilità delle città (Kennedy *et al.*, 2011). Il modello del metabolismo urbano (comparato al funzionamento di un organismo vivente) consente di comprendere la relazione tra città e ambiente circostante, mettendo in evidenza le risorse naturali di cui la realtà urbana si nutre e le relazioni di flussi in ingresso e in uscita che può interessare con il territorio circostante.

Attraverso questa visione unificata l'ambiente urbano è quindi un sistema complesso composto da persone, sistemi sociali, edifici, infrastrutture, servizi, ecc., che interagiscono tra loro e con il territorio locale. La comprensione di tali relazioni permette un'ottimizzazione e un cambiamento nei processi di stoccaggio e di gestione dei flussi *input* e *output* urbani (idrici, energetici, materici e di rifiuti).

In questo contesto, nuove capacità digitali, come l'ICT<sup>2</sup> e IoT<sup>3</sup>, possono aiutare la gestione delle risorse: attraverso la raccolta e il monitoraggio di dati, è possibile gestire i rifiuti, l'acqua, l'energia e lo scambio di informazioni sui consumi (Neirotti *et al.*, 2014). In caso contrario, l'accesso inefficiente ai dati è visto come un ostacolo alle strategie sostenibili per la creazione di eco-città basate sulla circolarità dei flussi.

Al metabolismo urbano si lega ampiamente l'approccio dell'*urban mining* (estrazione urbana) (Brunner, 2011), secondo il quale nell'ambiente edificato ci sono scorte di preziosi materiali antropogenici che possono essere identificate come una potenziale nuova fonte di risorse in termini di

2. ICT (*Information and Communication Technologies*) fa riferimento a tutte le tecnologie riguardanti i sistemi di telecomunicazione, computer e relativi *software*, che permettono la trasmissione, ricezione ed elaborazioni di dati e lo scambio di informazioni.

3. IoT (*Internet of Things*) fa riferimento all'estensione della connessione Internet alle più svariate tipologie di oggetti, anche di uso quotidiano e domestico al fine di permettere lo scambio di dati e informazioni (rilevati attraverso appositi sensori e apparecchi) tramite internet.

materie prime seconde. L'utilizzo di materiali estratti dalla miniera urbana (e non di ulteriori risorse naturali vergini) favorisce la gestione sistematica degli *stock* di risorse antropiche e dei rifiuti (Baccini e Brunner, 2012; Cossu, 2015), proponendo una conservazione ambientale a lungo termine delle risorse, attraverso strategie di riciclo e riuso, mirando a benefici economici ed ambientali.

Nell'ambito dell'*urban mining* si stanno studiando metodologie per quantificare, localizzare e stimare i futuri flussi di materiali, al fine di mantenere gli *stock* edilizi urbani (Stephan *et al.*, 2018). In questo contesto, la progettazione e la tecnologia degli edifici e di tutto l'ambiente costruito è incentrata sulla massima riduzione, riutilizzo e riciclaggio, attraverso strategie di scambio di energia e materiali tra distretti industriali, città e regioni. La prospettiva del metabolismo urbano viene utilizzata quindi per riconsiderare e riprogettare edifici e infrastrutture per città sostenibili (Kennedy *et al.*, 2011).

Cercando di declinare il *framework* ReSOLVE della Ellen MacArthur Foundation (cfr. paragrafo 1.1.4) a livello *macro*, la strategia *Regenerate* potrebbe essere interpretata come rigenerazione dell'ambiente costruito negli aspetti spaziali, funzionali, organizzativi, tecnologici e ambientali. Particolarmente determinante la strategia *Share*, che potrebbe indicare la condivisione degli edifici (spazi residenziali e uffici), la condivisione delle infrastrutture (condivisione parcheggi, infrastrutture condivise, aree verdi condivise), e la condivisione di energia e acqua (impianti di generazione di energia e di trattamento delle acque condivisi). Inoltre, è di interesse la strategia *Optimize*, che può essere applicata alla progettazione urbana intelligente, ovvero per una crescita urbana compatta, evitando consumo di suolo, con ambienti urbani di alta qualità e inclusivi, ed uno sviluppo urbano sostenibile e partecipativo. *Loop* ed *Exchange* potrebbero indicare l'attivazione di flussi urbani chiusi, in cui gli scarti/rifiuti urbani possono essere collocati strategicamente in aree di raccolta e diventare risorse per alimentare siti industriali produttivi locali. La strategia *Virtualise* potrebbe riferirsi alla sperimentazione digitale basata su tecnologie avanzate di mappatura o sistemi informativi geografici (GIS) che permettono di monitorare il territorio alla scala urbana, governando dati e informazioni alimentati dai cittadini stessi.

### ***2.2.2. Il livello meso: edificio come stock di risorse materiche***

A livello *meso*, ovvero alla scala degli edifici, l'economia circolare interessa in particolare il fronte della gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione, della progettazione circolare di edifici e soluzioni costruttive,

dei modelli di *business* attivabili per allungare il ciclo di vita dei prodotti/edifici (strategie approfondite nei seguenti capitoli).

Anche alla scala dell'edificio, la maggior parte degli attuali studi si concentra sulla gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione (Hossain *et al.*, 2020; Munaro *et al.*, 2020; Norouzi *et al.*, 2021), proponendo il riciclo come strategia più fattibile (Schögl *et al.*, 2020; Pan *et al.*, 2020).

Parallelamente, però, si sta diffondendo il concetto di edificio come *stock* di risorse materiche (stoccaggio temporaneo di materiali negli edifici) che mira al mantenimento del valore dei materiali e dei prodotti da costruzione nel tempo, favorendone la durata (Geldermans, 2016): allungare la vita dell'edificio utilizzando prodotti a lunga durata deve essere il primo obiettivo per traguardare una riduzione di rifiuti e un uso efficiente delle risorse.

Secondo Schouten (2014) è necessario conoscere le quantità di materiali stoccati nell'ambiente costruito, facendo una distinzione tra quelli in “deposito” (*depot*) e in “miniera” (*mine*). I materiali in “deposito” sono quelli stoccati negli edifici di nuova costruzione, in cui (nelle migliori pratiche) i materiali/componenti sono preventivamente conteggiati e monitorati, con tutte le loro caratteristiche; i materiali in “miniera” sono quelli contenuti negli edifici esistenti, dei quali non si conosce l'origine e devono essere mappati e inventariati per valutarne la qualità e l'ubicazione (RAU, 2016).

Le reali potenzialità di riuso e riciclo dei prodotti e componenti stoccati negli edifici dipende però dalla loro separabilità (e integrità nel caso di riuso) a fine vita, quindi dalle tecniche di connessione tra componenti. La ricerca BAMB *Buildings as Material Banks* (cfr. paragrafo 2.1.2) è stata di fondamentale supporto per diffondere un approccio progettuale basato sul principio dell'estensione della vita dell'edificio e delle sue parti attraverso le strategie di reversibilità, smontaggio e uso circolare dei materiali e attraverso l'assunzione di modelli di *business* innovativi.

In letteratura, generalmente, il concetto di economia circolare applicata a livello di edificio è legato ai principi di *design for disassembly* e *design for recycling* (Geldermans, 2016), sottolineando il ruolo chiave della progettazione a monte per abilitare una gestione circolare a valle. Alcuni studi affrontano l'effetto delle pratiche progettuali sulla generazione dei rifiuti, sottolineando il ruolo decisivo del progettista nel contribuire alla riduzione degli sprechi grazie alla progettazione del fine vita (Adams *et al.*, 2017).

Al tempo stesso, a fianco alle strategie di progettazione, devono essere sviluppati nuovi modelli di *business* (per esempio modificando i rapporti contrattuali dalla proprietà al servizio), al fine di promuovere il riuso lungo tutta la catena di fornitura, spostando i costi dallo smaltimento alla rigenerazione dei prodotti.

Cercando di declinare a livello *meso* il *framework* ReSOLVE della Ellen MacArthur Foundation (cfr. paragrafo 1.1.4), la strategia *Regenerate* può essere applicata considerando gli edifici come possibile fonte di rigenerazione della materia, e quindi spostando l'approccio al recupero anziché al nuovo costruito. La strategia *Optimize* può essere applicata pensando sia all'efficientamento energetico degli edifici sia all'ottimizzazione dell'uso delle risorse materiche, quindi, scelte tecnologiche mirate alla leggerezza e con limitati scarti/sprechi/rifiuti. La strategia *Loop* può essere applicata al fine vita utile dei prodotti edilizi, promuovendo strategie che rendano molteplici le occasioni di utilizzo, attraverso la manutenzione, la riparazione, la parziale sostituzione, la rilavorazione e il riutilizzo, conservandone il valore nel tempo. La strategia *Virtualise* può essere associata ai sistemi di progettazione digitali (BIM, gemelli digitali) applicati per la gestione delle risorse nell'intero ciclo di vita; oppure può considerare anche l'uso di domotica IoT intelligente, capace di organizzare in maniera automatizzata la gestione e la manutenzione degli edifici. Le strategie *Share* ed *Exchange* possono essere applicate in termini di passaggio a una logica di mercato basata sulla fornitura dei servizi piuttosto che sulla vendita di prodotti.

### **2.2.3. Il livello micro: contenuto di riciclato e riciclabilità**

Il livello *micro* (livello materiale) è principalmente connesso alla scala dei prodotti, e in particolare alla gestione delle risorse e dei rifiuti durante i processi produttivi. In ambito edilizio, la ricerca attuale si sta concentrando sulla composizione di alcuni prodotti da costruzione, al fine di sostituire i componenti vergini, costituiti da materie prime, con componenti riciclati, costituiti da materie prime seconde (MPS), scarti o rifiuti, provenienti anche da altri settori. Ne sono un esempio, gli studi che indagano l'utilizzo di fanghi di depurazione per la produzione di prodotti da costruzione, come cemento e ceramica, o l'uso di ceneri volanti per la produzione di cemento, mattoni e gesso (es. Smol *et al.*, 2015). I prodotti edilizi hanno il vantaggio di "inertizzare" nel loro impasto anche rifiuti pericolosi, costituendo un vantaggio per gli scarti di difficile gestione di altri settori produttivi, anche se rimane aperta la necessità di controlli sulla tossicità potenziale dei prodotti edilizi così generati (Lavagna, 2017).

Tema di interesse per la ricerca è anche il riciclo dei rifiuti del settore edilizio all'interno del settore stesso, individuando strategie di *upcycling* di rifiuti da costruzione e demolizione (post-consumo) per produrre nuovi prodotti per l'edilizia.

In entrambe le applicazioni (riciclo esterno o interno al settore), il settore dovrebbe essere attento a produrre prodotti non solo costituiti da materie prime riciclate, ma anche potenzialmente riciclabili a fine vita.

In confronto alle altre scale di applicazione, a livello *micro* risultano più frequenti in letteratura le ricerche che studiano l'impatto ambientale generato dalle strategie di circolarità lungo la filiera di produzione, utilizzando lo strumento *Life Cycle Assessment* (es. Chen *et al.*, 2010; Sayagh *et al.*, 2010), generalmente svolgendo anche una verifica delle prestazioni tecniche del materiale, proprio per validare la possibilità di sostituzione dei componenti base provenienti da riciclo, per la produzione di nuovi prodotti.

Per declinare a livello *micro* il *framework* ReSOLVE della Ellen MacArthur Foundation (cfr. paragrafo 1.1.4), è possibile interpretare la strategia *Optimize* nell'ambito dell'efficienza dei processi di produzione dei materiali, in termini di promozione di un alto contenuto di riciclato e della riciclabilità a fine vita dei prodotti, di alta durabilità, di basso consumo energetico e bassi impatti ambientali lungo il ciclo di vita del prodotto stesso. È poi possibile applicare la strategia *Loop* per promuovere non solo il riciclo, ma possibilmente la rigenerazione dei prodotti giunti a fine vita, finalizzando la loro progettazione al futuro riuso e riciclo.

### **2.3. Economia circolare nel processo e nel progetto edilizio**

Nonostante sia meno discussa a letteratura e meno sperimentata, l'applicazione dell'economia circolare alla scala dell'edificio (livello *meso*) è fondamentale poiché l'edificio rappresenta il collegamento tra il livello urbano e il livello materiale: il rispetto di requisiti di circolarità a livello di edificio può richiedere, infatti, l'attivazione di pratiche circolari sia a livello urbano (ad esempio lo scambio e l'ottimizzazione di risorse e materiali tra attività industriali ed edifici, come nel caso dell'area urbana di Hammarby) sia a livello di materiale (ad esempio innescando processi produttivi innovativi per la realizzazione di prodotti con alto contenuto di riciclato, a loro volta riciclabili e riutilizzabili).

Per attivare processi circolari alla scala dell'edificio è quindi importante capire come l'intero processo edilizio (il processo di progettazione, il processo di costruzione, il processo di gestione e il processo di demolizione) debba cambiare. L'individuazione delle prassi operative e gestionali che necessitano una modifica, per innescare virtuosismi di circolarità, è possibile attraverso l'analisi delle pratiche attuali maggiormente diffuse. Per questo motivo, gli stakeholder che rivestono ruoli differenti lungo la *value-chain* del settore edilizio, sono stati coinvolti in un lavoro di ricer-

ca e di analisi che ha permesso di comprendere le relazioni tra operatori chiave, le fasi decisionali chiave e gli strumenti di supporto utilizzati lungo il processo edilizio in Italia, con particolare riferimento agli interventi di riqualificazione (Giorgi, 2020).

### ***2.3.1. L'attuale processo edilizio lineare in Italia***

Attraverso il coinvolgimento e il dialogo con operatori, è stato possibile osservare il processo edilizio attuale in contesto italiano, individuando le principali criticità che ostacolano l'attivazione di dinamiche circolari e sostenibili nella pratica corrente.

Lungo il processo edilizio sono identificabili alcuni operatori che giocano ruoli cruciali sia nel decidere tra le differenti strategie di rigenerazione edilizia sia nel determinare le relazioni reciproche tra gli operatori di filiera. L'osservazione delle dinamiche lungo il processo decisionale, in particolare per gli interventi di riqualificazione, ha permesso di individuare quali cambiamenti attivare (mediante leve legislative o procedurali) e quali operatori chiave educare verso scelte sostenibili e circolari.

Secondo l'analisi compiuta, uno dei ruoli decisionali principali è rappresentato dall'investitore, ovvero chi gestisce il capitale finanziario e decide la tipologia di edificio da realizzare e gli obiettivi/*target* da raggiungere. È importante evidenziare che le scelte dell'investitore sono condizionate, in primis, dalla futura proprietà dell'edificio: ovvero se esso verrà destinato alla locazione, per cui l'investitore rimane anche proprietario dell'immobile, o alla vendita, per cui l'investitore alienerà il bene una volta realizzato. Il mantenimento o meno della proprietà del bene da parte dell'investitore influisce sulla responsabilità di breve o lungo termine legata alla gestione dell'immobile e di conseguenza sulla volontà di investire in soluzioni progettuali mirate alla durabilità delle opere, alla loro facile manutenibilità e alle scelte progettuali di *design for disassembly* per un maggiore controllo del fine vita dell'edificio.

Altro aspetto chiave che influisce sulle decisioni è il costo di realizzazione, che per un investitore risulta, ovviamente, la condizione determinante ai fini della scelta di intervento progettuale. Nella fase decisionale iniziale, si analizza la convenienza economica dell'intervento, attraverso l'identificazione dei rischi di investimento e dei costi/ricavi (*due-diligence*). Una volta individuati i costi per l'adeguamento alla normativa corrente delle varie parti dell'edificio (es. conformità antisismica, prestazione energetica, compatibilità spaziale all'insediamento di nuove funzioni), scaturisce la prima valutazione, in termini economici, circa la convenienza della

riqualificazione di un edificio, oppure la decisione di demolizione totale e ricostruzione ex novo. In Italia, particolare influenza è esercitata dagli oneri di costruzione e dalle tempistiche di approvazione per i titoli abilitativi. Anche se ogni comune italiano ha in merito facoltà decisionali autonome, nel complesso, emerge che la riqualificazione sia l'intervento che maggiormente ottimizza i flussi materici riducendoli a monte del processo, risultando economicamente più vantaggiosa e con tempistiche di autorizzazioni più veloci.

Un ulteriore fattore è la scelta dell'investitore di promuovere un processo di progettazione mirato a particolari certificazioni di sostenibilità (come LEED, BREEAM, ecc.). Tale volontà è spesso incentivata dal fatto che in alcuni contesti urbani la certificazione di sostenibilità aumenta il valore dell'edificio: il canone di affitto può crescere tra +7% e +11%, con un aumento di solo +1% del costo di costruzione (*Il Sole 24 Ore*, 2018). Questo obiettivo che sempre più spesso viene richiesto dall'investitore influenza le scelte di intervento e le pratiche lungo il processo, determinando il rispetto di criteri di sostenibilità e circolarità da traguardare per ottenere la certificazione.

A fianco dell'investitore, altro operatore con ruolo fondamentale per l'adozione di scelte di circolarità è il progettista, o meglio, il *team* di progettazione multidisciplinare. I progettisti, che spesso agiscono lungo il processo attraverso fasi progettuali semi-autonome, che devono essere mediate, processate e coordinate lungo il medesimo e intero processo, hanno infatti la responsabilità di decidere le strategie che possano soddisfare le esigenze definite come obiettivi dello specifico progetto, rispettando l'insieme dei vincoli con i quali il progetto è chiamato a confrontarsi, tra cui potenzialmente (anche per motivi etici) criteri di sostenibilità e circolarità.

La scelta dei caratteri formali e tecnologici dell'edificio è interamente compito dei progettisti. Essi scelgono le tipologie di intervento (demolizione/ricostruzioni), i materiali da utilizzare, le tecniche costruttive e, quindi, i flussi di risorse in entrata e in uscita dal processo di riqualificazione edilizia, nonché la scelta dei diversi possibili scenari di fine vita.

Attualmente sono pochi i casi virtuosi in cui avviene una vera e propria progettazione dell'intero ciclo di vita dell'edificio. La prassi progettuale tende ancora a concentrarsi sul soddisfacimento delle esigenze definite in fase iniziale dal committente, non considerando quelle che avverranno in futuro per un potenziale mutamento del profilo degli utenti dell'edificio, per il naturale degrado e invecchiamento dei prodotti utilizzati e per la futura necessità di dismissione delle parti e dell'intero edificio.

La progettazione del fine vita è ancora poco considerata, sia in relazione al futuro fine vita del nuovo intervento sia in relazione all'attuale fine

vita dell'edificio esistente (anche nel caso di intervento di rinnovo). Fanno eccezione i casi particolari in cui le pratiche di demolizione sono assoggettate al rispetto di protocolli di sostenibilità, che obbligano quantomeno al miglioramento del monitoraggio dei flussi in uscita, dichiarando le quantità dei rifiuti e la loro destinazione e indicando la percentuale destinata a riciclo.

Generalmente, la progettazione e la gestione del fine vita viene affidata alle imprese che compiono la demolizione delle parti d'opera. Essi sono quindi ulteriori soggetti fondamentali nel processo attuale, in quanto decidono le pratiche di demolizione da adottare (es. tradizionale, selettiva o de-costruzione), l'organizzazione del cantiere di demolizione e la destinazione dei rifiuti. L'operatore che effettua la demolizione raccoglie i rifiuti da demolizione, in base al codice CER, in quali vengono trasportati in discarica o presso impianti di recupero per il riciclaggio. Nel processo edilizio attuale viene generalmente scelto il processo di demolizione meno costoso. Nelle migliori pratiche viene eseguita la demolizione selettiva, ma negli altri casi (specialmente nei cantieri di piccole dimensioni) la demolizione viene ancora eseguita con tecnica tradizionale con una limitata separazione dei materiali tra materiali pericolosi e non pericolosi.

Attualmente, tra le figure chiave del progettista e dell'operatore che gestisce il fine vita dell'edificio, non c'è uno scambio di informazioni diretto e, di conseguenza, il progettista nella maggior parte delle occasioni non valuta la potenzialità di riciclare o riutilizzare in sito i rifiuti generati dal processo di demolizione, così come non prende consapevolezza di una potenziale opportunità di seconda vita dei prodotti (riuso) nel proprio progetto o in altri contesti. Infatti, in nessuna fase del processo viene considerato il valore residuo dei materiali stoccati nell'edificio esistente. Tali materiali vengono considerati "rifiuti" e quindi rientrano nella valutazione economica come costi di conferimento a discarica (o luogo di recupero/riciclo), senza influire sulle decisioni progettuali. Non essendoci ancora una domanda di mercato, molti materiali in uscita dal processo di costruzione e demolizione non hanno ancora un proprio valore (es. inerti) rappresentando solo un onere; mentre per i rifiuti che hanno domanda di mercato (es. rottami di metallo) e quindi che hanno una propria quotazione economica, il valore viene considerato dal demolitore, ma non evidenziato come vantaggio nel costo di demolizione, restando quasi ignoto all'investitore e a tutti gli altri operatori del processo di riqualificazione. Infatti, prendendo ad esempio le indicazioni del *Prezziario delle opere edili* della Regione Lombardia 2022, si evince che «i materiali commercializzati per il riciclaggio (ferro e metalli vari, in alcuni casi gli inerti di scavo, di demolizioni, ecc.) non danno luogo a rimborsi per oneri di smaltimento, mentre i relativi compensi restano di proprietà della impresa, salvo diversa pattuizione contrattuale».

Attualmente, esistono strumenti (come i *pre-demolition audit*, che verranno trattati nei capitoli successivi) che richiedono al progettista e agli operatori del processo edilizio, un resoconto dell'attività di demolizione effettuata; tuttavia tali strumenti spesso vengono applicati quando la decisione di demolire un edificio è già stata presa, quindi, generalmente non indirizzano le scelte progettuali verso comportamenti virtuosi, ma vengono applicati come semplice contabilità dei materiali in uscita. Inoltre, in Italia, sono attualmente ancora poco utilizzati.

La circolarità dei materiali, il riutilizzo dei materiali e dei componenti edilizi, la tracciabilità dei flussi materici sono, quindi, tutti temi non ancora considerati nei processi di rigenerazione edilizia in Italia.

Attraverso il confronto con gli stakeholder è emerso, inoltre, che la frequente necessità di riduzione dei tempi di processo porta alla sovrapposizione della fase di cantiere con quella di progettazione, rappresentando un ostacolo all'introduzione di tutte le pratiche di circolarità da attuare. Tale frammentazione del processo, la sovrapposizione delle operazioni e l'incostanza del rapporto tra gli operatori che lavorano in tempi diversi (Fig. 8), ostacolano, dunque, l'applicazione di una strategia chiara e condivisa di circolarità.

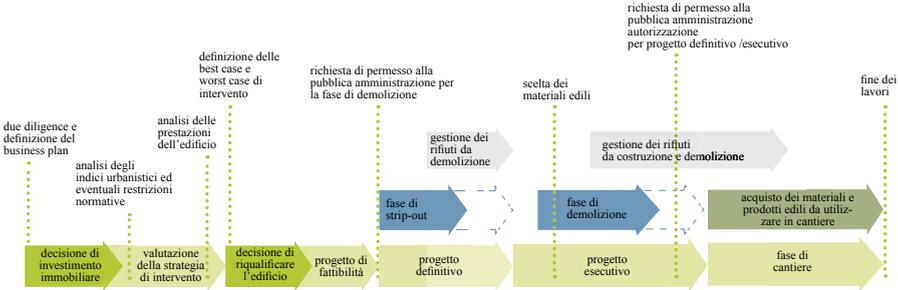


Fig. 8 – La sovrapposizione delle fasi e delle pratiche lungo il processo edilizio (fonte: elaborazione dell'autore)

Può accadere, ad esempio, nella prassi tradizionale, che la fase di demolizione leggera, ovvero lo *strip-out* interno (che interessa tutte le parti d'opera di finitura interna, partizioni, pavimentazioni, controsoffitti, ecc.) e il conseguente smaltimento dei rifiuti inizi al termine del progetto di fattibilità tecnica ed economica ma prima della redazione dei progetti definitivo ed esecutivo, che dovrebbero determinare cosa può essere eventualmente recuperato in loco e quindi deviato dalla discarica attraverso una de-

molizione programmata. Di conseguenza, i materiali in uscita dal processo di demolizione (es. controsoffitti, pavimentazioni, sanitari, ecc. ancora in buone condizioni) non trovano destinazione all'interno dell'intervento di riqualificazione (in quanto già smaltiti prima della redazione del progetto definitivo ed esecutivo), comportando quindi la dismissione di materiali e prodotti ancora con potenzialità di vita utile e riutilizzo.

### ***2.3.2. Verso un approccio circolare e sostenibile: tre aree di sviluppo di strategie e strumenti per la circolarità***

Il cambio di paradigma richiesto dall'introduzione della circolarità in edilizia, per essere efficace, deve andare a coinvolgere in maniera sistemica sia le diverse fasi del ciclo di vita dell'edificio sia le diverse fasi del processo edilizio. Si è osservato infatti dall'analisi dello stato dell'arte una sostanziale frammentazione nell'approccio all'economia circolare, che trova in genere applicazione parziale in alcune fasi e non sistemica in tutte le fasi.

Da un lato, il controllo dei flussi di risorse materiche (ed energetiche) può essere attuato solo considerando tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio, e dunque avendo attenzione alla fase di reperimento delle materie prime (o seconde), ai processi produttivi, alla costruzione, alla gestione e manutenzione, alla dismissione dell'edificio. Ogni fase determina consumi di risorse e produzione di rifiuti e dunque solo dal controllo di tutte le fasi si può effettivamente incidere sui flussi complessivi del settore edilizio, trovando economie e potenziali circolarità tra le varie fasi.

Dall'altro, per attivare tali economie e circolarità occorre consapevolezza e capacità decisionale da parte degli operatori coinvolti lungo tutto il processo edilizio, dalla programmazione (e definizione degli obiettivi), alla progettazione, alla costruzione (e tecniche di assemblaggio), alla gestione, alla dismissione. Ogni operatore ha responsabilità rispetto a una parte di decisione e ha la potenzialità di influire a catena sugli altri operatori, instaurando anche inedite relazioni di filiera.

La finalità di questo libro è individuare quali sono le strategie che possano andare a toccare tutti questi aspetti, agendo dunque sia sui flussi materici, sia sulle relazioni tra gli operatori, e parallelamente quali sono gli strumenti che possano supportare l'applicazione delle strategie e facilitare l'azione degli operatori.

Di sfondo, ma non in secondo piano, l'intento è di identificare percorsi che non siano semplicemente circolari, ma circolari e sostenibili, per non perdere di vista che il fine ultimo è di ridurre gli impatti complessivi sull'ambiente.

Per fare questo, sono state individuate tre aree di sviluppo di strategie e strumenti di circolarità, che vanno ad agire sulla gestione dei flussi di risorse, sulle strategie di progettazione, sull'individuazione di nuovi modelli organizzativi tra operatori. Esse sono le seguenti:

- strategie di gestione delle risorse e dei rifiuti – i rifiuti sono risorse da utilizzare in nuovi prodotti, attraverso processi di riutilizzo e riciclo;
- criteri di progettazione della reversibilità – la progettazione è il *driver* abilitante l'allungamento di vita utile di un prodotto/edificio;
- nuovi modelli gestionali e reti di operatori – i modelli economici si basano sulla durabilità e sul valore esteso dei prodotti, cambiando il concetto di proprietà.

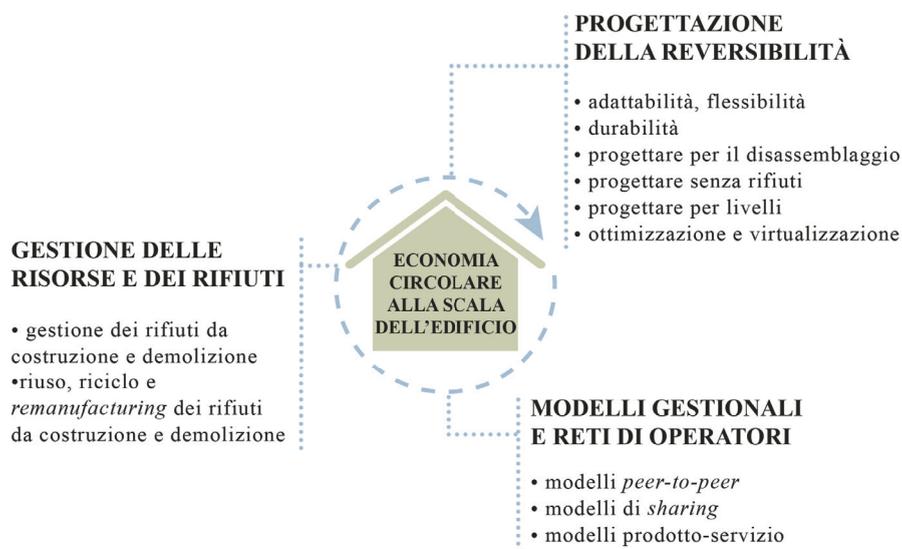


Fig. 9 – Le tre aree di sviluppo di strategie per l'applicazione dell'economia circolare a livello di edificio (fonte: elaborazione dell'autore)

La ricerca e l'innovazione mirata allo sviluppo delle strategie di circolarità devono quindi essere affrontate parallelamente, o meglio sinergicamente, nelle tre aree sopra definite. Considerare non solo la gestione dei rifiuti ma anche i criteri di progettazione e i modelli di *business*, consente di delineare un cambiamento radicale dello scenario attuale, introducendo una logica di previsione e gestione delle risorse nel tempo.

Nei capitoli successivi (cap. 3, 4, 5), viene trattato l'attuale livello di applicazione delle strategie nelle tre aree di sviluppo per l'attivazione dell'economia circolare durante un processo/progetto di rigenerazione edilizia, nel tentativo di restituire un quadro conoscitivo complessivo non ancora disponibile a letteratura.

Per ciascuna area strategica, sono riportati: le strategie e gli strumenti di supporto, le migliori pratiche attuali e potenzialmente replicabili in diversi contesti geografici, le leve e gli ostacoli riscontrate da parte degli stakeholder per l'applicazione delle strategie. La raccolta di tali informazioni, per ciascuna area strategica, è stata ottenuta attraverso un'indagine sul campo. Infatti, al fine di comprendere le relazioni, i bisogni, le esigenze e le fasi decisionali è stato necessario coinvolgere nell'attività di ricerca tutte le parti interessate.

Sono stati quindi analizzati casi studio riguardanti pratiche circolari applicate al processo di rigenerazione degli edifici e sono stati intervistati esperti/stakeholder in diverse parti di Europa, in particolare in Italia e nei paesi europei che stanno maggiormente affrontando il tema dell'economia circolare, ovvero Belgio, Paesi Bassi, Regno Unito, Danimarca.

### 3. Gestione delle risorse materiche e dei rifiuti

#### 3.1. Da rifiuto a nuova risorsa

La maggior parte delle strategie di circolarità presenti a letteratura, nelle *policy* e nella prassi corrente hanno un approccio *downstream* e si concentrano sulla riduzione e relativa gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione, in uscita dall'edificio. In continuità con questo approccio, il presente capitolo si sofferma sul ruolo della gestione dei flussi materici in uscita dalle fasi di cantiere (di costruzione, riqualificazione, demolizione) per determinare la riduzione dei rifiuti e le azioni di circolarità dei flussi di rifiuti a valle.

Saranno, invece, i capitoli successivi a trattare le strategie che possano agire a monte, tramite un approccio *upstream*, sulla progettazione e sui modelli di *business* (cfr. capitoli 4 e 5).

Il presente paragrafo introduce un doppio livello di attenzione, individuando le principali strategie correlate alla gestione dei flussi in uscita dalle attività a livello di edificio che generano i rifiuti (da costruzione, da riqualificazione e da demolizione), mirate a ridurre la produzione di tali rifiuti, e le principali strategie correlate ai processi di lavorazione e trasformazione di tali rifiuti a valle (o meglio, materiali/prodotti giunti a fine vita utile), mirate all'estensione dell'utilizzo delle risorse (riciclo e riuso) e alla diminuzione del loro conferimento in discarica (e quindi alla riduzione dei rifiuti). Il paragrafo restituisce, innanzitutto, le strategie individuate a letteratura (stato dell'arte), più ampiamente argomentate nei paragrafi successivi in base alle richieste normative (par. 3.2), alle conoscenze raccolte sul campo tramite il confronto con gli stakeholder (par. 3.3) e alle *best practices* presenti a livello europeo (par. 3.4).

### ***3.1.1. Gestione dei flussi in uscita dal cantiere***

A livello di edificio, le principali strategie individuabili a letteratura riguardano i miglioramenti nell'identificazione e gestione dei materiali in uscita dall'edificio durante le fasi di cantiere che avvengono lungo l'intero ciclo di vita, attraverso una migliore quantificazione e qualificazione dei rifiuti (da trasformare in potenziali risorse in uscita). Tali strategie mirano alla circolarità delle risorse, ma con una visione limitata, poiché affrontano il tema della gestione dei flussi in uscita considerandoli prioritariamente dei rifiuti, con scenari orientati principalmente al riciclo.

Per esempio, alcune ricerche si concentrano su tecniche per migliorare le potenzialità di recupero dei rifiuti da demolizione, come per esempio le demolizioni selettive o decostruzioni e lo smistamento automatizzato, per risolvere il problema della quantità dei rifiuti e della qualità della destinazione dei rifiuti (Longo, 2007).

È importante sottolineare la differenza tra demolizione tradizionale, demolizione selettiva (o decostruzione) e disassemblaggio (Fig. 10).

La demolizione tradizionale comporta una completa e contemporanea eliminazione di tutte le parti dell'edificio, trasformandole in rifiuto di macerie miste. La demolizione tradizionale richiede la separazione della sola quota parte di prodotti considerati "pericolosi" come ad esempio l'amianto, mentre è possibile demolire unitamente tutto il resto dei materiali (laterizi, vetri, legni ecc.), utilizzando macchinari di grande dimensione che demoliscono velocemente intere parti di edificio. Queste macerie sono generalmente conferite alle discariche, proprio a causa della eterogeneità del materiale stesso. Il processo di demolizione è altresì causa di inquinamento acustico e innalzamento di polveri nell'ambiente circostante il sito di demolizione. Grazie alle politiche ambientali sulla diminuzione dei rifiuti, questo tipo di demolizione è sempre più disincentivato.

La demolizione selettiva, o decostruzione prevede una demolizione diversificata in base alle diverse parti di edificio. Innanzitutto, viene effettuato uno *strip-out* delle parti di finitura interna (come pavimentazioni, controsoffitti, porte, ecc.) e delle parti d'opera interna leggere, a secco (come partizioni verticali in cartongesso, impianti, ecc.). Successivamente la demolizione riguarda le parti d'opera più pesanti e massive, come le facciate in muratura, e infine la struttura portante. La successione degli interventi di demolizione permette quindi una migliore differenziazione dei rifiuti, in modo tale da produrre rifiuti più omogenei in termini di tipologia di materiale e quindi con maggiore potenzialità di riciclo. In questo caso vengono generalmente utilizzati sia piccoli macchinari, in particolare per la demolizione delle parti d'opera interne, sia macchinari più grandi.

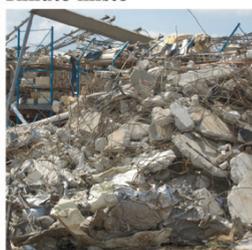
Infine, il disassemblaggio è la tecnica che in modo più virtuoso permette di smontare le parti d'opera dell'edificio, al fine di non danneggiare i componenti e migliorare le potenzialità di riuso (evitando il riciclo). Questa tecnica di fine vita è più facilmente applicabile su edifici che presentano parti d'opera a secco, facilmente disassemblabili.

A differenza della demolizione tradizionale e selettiva, il disassemblaggio predilige il lavoro manuale degli operai e riduce al minimo l'utilizzo di macchine. Grazie a questo, la tecnica del disassemblaggio può generare nuove opportunità di lavoro. Di contro, questo innalza i costi, richiedendo maggiore impiego di manodopera e allungamento dei tempi. Inoltre la presenza di più operatori in cantiere comporta la predisposizione di un attento piano di sicurezza e una maggiore formazione dei lavoratori stessi.

**Demolizione standard**



**Rifiuto misto**



**Stip-out e demolizione selettiva**



**Rifiuto suddiviso per tipo di materiali**



*Fig. 10 – Generazione del rifiuto da demolizione nei casi di demolizione standard e demolizione selettiva (fonte: elaborazione dell'autore)*

Nei casi di demolizione selettiva e di disassemblaggio, è possibile rilevare il ruolo cruciale dei *pre-demolition audit* e dei piani di gestione dei rifiuti (cfr. paragrafo 3.4.2), che sono evidenziati anche da alcuni documenti di indirizzo dell'UE (cfr. paragrafo 3.2.2). I *pre-demolition audit* sono individuati come strumenti utili per determinare le composizioni dei materiali e migliorare l'affidabilità dei calcoli sulla quantità dei materiali da

trattare, oltre a consentire la valutazione di demolizioni alternative/opzioni di recupero (Rašković *et al.*, 2020; Debacker *et al.*, 2017).

In letteratura, alcuni studi sono focalizzati sul miglioramento delle attività di gestione dei rifiuti finalizzate al riciclo in loco o operazioni finalizzate al riciclo in altri luoghi (concentrandosi in particolare sulla raccolta differenziata dei rifiuti e la frantumazione degli inerti), considerando tutti i processi correlati: gestione e pianificazione dei flussi, movimentazione dei materiali all'interno del sito, stoccaggio temporaneo in cantiere, trasporto (Osmani e Villoria-Sáez *et al.*, 2019; Kabirifar *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2019). La ricerca verso una migliore gestione dei flussi è volta anche ad aprire nuove forme di mercato dei rifiuti da costruzione e demolizione quali potenziali nuove risorse (Bocken *et al.*, 2016).

In letteratura, più rari sono invece i contributi volti a cercare di conservare in uso i prodotti, i componenti, i sistemi nella loro integrità, favorendo la strategia del riuso (anziché solo quella del riciclo). Emergono le ricerche che promuovono sistemi di mappatura dei materiali/prodotti in uscita dalle fasi di cantiere (di costruzione, riqualificazione, demolizione), quali strumenti per favorire il riuso. Esiste un numero consistente di casi applicativi di piattaforme digitali per la mappatura dei prodotti secondari, sviluppate allo scopo di facilitare la compravendita dei materiali secondari mettendo in comunicazione diversi operatori del settore (cfr. paragrafo 3.4.5). In questo ambito, il ruolo delle tecnologie digitali riveste particolare rilevanza, al fine di permettere la raccolta delle informazioni relative alle caratteristiche geometriche e meccaniche dei componenti, l'ubicazione, il valore residuo dei materiali, l'età e il ciclo di vita previsto, favorendo la conoscenza delle qualità residue nei componenti a fine vita, e di conseguenza abilitando il loro probabile riutilizzo in un nuovo progetto.

Ulteriori studi si stanno concentrando sulla quantificazione e mappatura dei materiali secondari stoccati in prodotti, edifici e infrastrutture, sviluppando catasti per la geolocalizzazione delle risorse materiali urbane, potenzialmente riutilizzabili (Lanau e Liu, 2020; Mao *et al.*, 2020).

Questi versanti di ricerca possono portare maggiore attenzione alla gestione delle risorse a monte, prima del fine vita dell'edificio, e dunque ad attivare forme di circolarità che favoriscono il riuso anziché il riciclo.

### ***3.1.2. Riuso/riciclo dei prodotti/materiali a fine vita utile***

In relazione ai flussi in uscita dall'edificio, possono essere identificate diverse strategie riguardanti i processi di lavorazione e trasformazione dei materiali/prodotti giunti a fine vita utile: da un lato possiamo individuare

quelle che riescono ad allungare la vita utile dei prodotti attraverso il semplice riutilizzo del prodotto stesso, dall'altro quelle che riescono a mantenere il valore di utilizzo delle risorse (dei rifiuti da costruzione e demolizione) attraverso processi di trasformazione dei materiali, come il riciclaggio.

Da un punto di vista "circolare" è decisivo considerare i materiali in uscita da processi edilizi non più come rifiuti ma come risorse, introducendo il tema, oggi ampiamente discusso anche in termini normativi, dell'*End of Waste*.

Le strategie di riutilizzo e riciclaggio aprono due temi principali. Il primo è il concetto di "fine vita" che si trasforma in "fine vita utile", aprendo alla possibilità di ulteriori vite utili. Il secondo è il concetto di "rifiuto" che si trasforma in "risorsa secondaria". In effetti, le strategie di riutilizzo e riciclaggio enfatizzano il *multiple Life Cycle use* e l'estensione della durata del materiale/prodotto. La fase di fine vita deve essere pensata durante il design del prodotto: elementi, componenti e interi edifici possono essere progettati per essere riutilizzati/riciclati e per adattarsi a diversi usi.

È importante conoscere la differenza delle diverse strategie che avvengono a "fine vita (utile)" del prodotto che talvolta vengono ancora confuse e difficilmente distinte. Dal momento che anche in letteratura si trovano definizioni spesso discordanti, si preferisce fare riferimento alla norma BS 8887-2:2009, che fornisce le definizioni delle diverse strategie per la chiusura del ciclo delle risorse: *reuse*, *repurpose*, *reconditioning*, *remanufacturing* e *recycling* (Fig. 11).

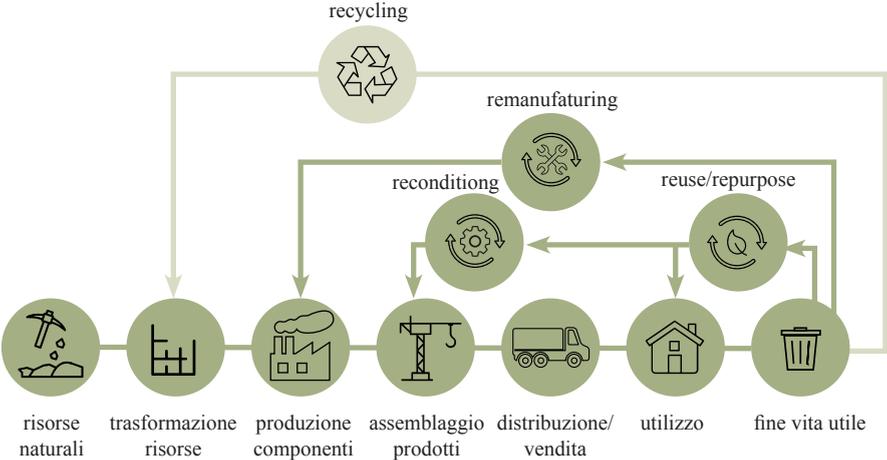


Fig. 11 – Strategie di recupero dei flussi materici lungo il ciclo di vita di un prodotto (fonte: elaborazione dell'autore)

Secondo la suddetta norma, la strategia *reuse*, ovvero riuso o riutilizzo, è «l'operazione mediante la quale un prodotto o i suoi componenti vengono reimmessi in uso per lo stesso scopo al termine del loro ciclo di vita».

Ciò riguarda i prodotti ancora in ottimo/buono stato, che possono soddisfare ancora la funzione per la quale sono stati fabbricati. I prodotti giunti alla loro fine vita utile (ovvero che non sono più utili nel primo contesto di utilizzo) possono, quindi, essere intercettati, collezionati e ricollocati in un altro sito per svolgere la medesima funzione, per un secondo (e molteplici) ciclo di vita utile.

La strategia *repurposing*, ovvero rifunzionalizzazione, concerne «utilizzare un prodotto o i suoi componenti in un ruolo per il quale non era stato originariamente progettato» (BS 8887-2:2009). Di conseguenza, un prodotto, senza subire particolari modifiche o trasformazioni, può essere riutilizzato per una seconda vita utile tal quale, ma eseguendo una funzione diversa da quella soddisfatta precedentemente.

Per *reconditioning*, ovvero ricondizionamento, si intende «riportare un prodotto usato in condizioni di funzionamento soddisfacenti ricostruendo o riparando i componenti principali prossimi al guasto, anche laddove non siano presenti difetti segnalati o evidenti in tali componenti» (BS 8887-2:2009). Generalmente i prodotti ricondizionati vengono rimessi sul mercato, per soddisfare la stessa funzione per la quale erano stati progettati. Il *reconditioning* comporta la sostituzione di parti usurate o rotte, operazioni meno considerevoli di quelle necessarie per il *remanufacturing* (rilavorazione). Tuttavia, qualsiasi garanzia successiva è generalmente inferiore a quella di un prodotto nuovo o rilavorato (*remanufacturing*), in quanto si prevede la possibilità che le prestazioni complessive siano inferiori a quelle del modello originale.

La strategia del *remanufacturing*, ovvero rilavorazione, è l'operazione per «restituire un prodotto usato almeno alle sue prestazioni originali con una garanzia equivalente o migliore di quella del prodotto appena fabbricato» (BS 8887-2:2009). Secondo la norma il *remanufacturing* comporta il ripristino e la sostituzione dei componenti e il *test* delle singole parti e dell'intero prodotto per garantire che rispetti le specifiche di progettazione originali. Dunque, il prodotto torna ad avere le prestazioni pari (o migliori) a quelle di origine. La garanzia successiva è, quindi, generalmente almeno uguale a quella di un prodotto nuovo.

Per *recycling*, o riciclaggio, si intende «trattare i materiali di scarto per lo scopo originario o per altri scopi, escluso il recupero energetico» (BS 8887-2:2009). Il riciclo è, quindi, il processo mediante il quale i prodotti, giunti a fine vita, quindi giunti ad essere considerati rifiuti, vengono trasformati per assolvere alla finalità originaria o ad altre finalità. Questa strategia prevede, quindi, il riprocessamento del prodotto, che viene ridotto

a materia prima seconda (MPS), utile come *input* di una nuova filiera di produzione. La MPS utilizzata per la fabbricazione di nuovi prodotti costituisce, effettivamente, la quota di “contenuto di riciclato”, oggi particolarmente richiesta dal mercato dei prodotti edilizi.

Anche se non è definito dallo standard, è importante inoltre distinguere le declinazioni sempre più utilizzate comunemente del termine *recycling*, ovvero *downcycling* e *upcycling*.

Per *downcycling* si intende il riciclo di un materiale per la realizzazione di nuovo materiale dalla qualità o funzionalità inferiore rispetto all’oggetto di partenza. È un esempio il riciclo di calcestruzzo (strutturale) per la realizzazione di sottofondi stradali.

Per *upcycling* si intende, invece, il riciclo di un materiale per la realizzazione di nuovo materiale dalla qualità o funzionalità pari o superiore rispetto all’oggetto di partenza. È un esempio il riciclo di calcestruzzo (strutturale) per la realizzazione di nuovo calcestruzzo utilizzato per lo stesso impiego.

In letteratura viene sottolineato che una gestione impropria del fine vita dei prodotti, potrebbe comportare notevoli impatti ambientali, in quanto sebbene le suddette strategie siano preferibili al conferimento in discarica, esse possono causare impatti ambientali indiretti (Mousavi *et al.*, 2016; Di Maria *et al.*, 2018).

Alcune ricerche mirano anche ad analizzare le modalità per aumentare il riciclaggio dei rifiuti senza aumentare gli impatti ambientali; altre ricerche effettuano un confronto degli impatti tra le diverse strategie di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione (riutilizzo, riciclo *on site* e *off site*, incenerimento e discarica) attraverso valutazioni *Life Cycle Assessment* (Blengini *et al.*, 2010; Butera *et al.*, 2015; Ghose *et al.*, 2017).

Anche se, a seguito di una demolizione edilizia, la pratica attuale concerne prevalentemente il riciclo dei materiali per usi di qualità inferiore (*downcycling*), diversi studi a letteratura mirano all’identificazione di strategie per favorire il riuso nel progetto architettonico e per promuovere l’introduzione di pratiche di *upcycling* e “*superuse*” in architettura (Baiani e Altamura, 2018; Gorgolewski, 2019; Lopez Ruiz *et al.*, 2020; Condotta e Zatta, 2021).

### **3.2. Rifiuti da costruzione e demolizione: pratiche attuali e prospettive migliorative**

Per comprendere le quantità e le tipologie di rifiuti generati durante i processi di costruzione, riqualificazione e demolizione, è possibile avvalersi di dati statistici disponibili per ogni Stato membro dell’Unione europea,

inerenti ai rifiuti delle attività del settore edilizio, che sono rappresentati dai rifiuti da costruzione e demolizione. La conoscenza di detti rifiuti consente di quantificare la disponibilità futura, la tipologia e la quantità di materiali secondari destinati ad essere trattati e utilizzati come risorse nel settore delle costruzioni.

Le fonti statistiche mostrano la quantità di rifiuti articolati per categoria di pericolosità e per tipologia di materiale. In particolare, le principali categorie sono: rifiuti minerali da costruzione e demolizione; rifiuti metallici ferrosi; rifiuti metallici non ferrosi; rifiuti di vetro; rifiuti di carta e cartone; rifiuti di gomma; rifiuti di plastica; scarti di legno; rifiuti tessili. Nelle statistiche rientrano poi le quantità di terra da scavo e i rifiuti derivati dalle attività di “pulizia” dell’area di costruzione, come la rimozione della vegetazione.

Di seguito vengono restituiti i dati statistici e una visione d’insieme della prassi attuale di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione. Inoltre, vengono individuate le prospettive migliorative presenti nei documenti di indirizzo europei inerenti non solo la gestione dei rifiuti, ma anche la gestione del fine vita degli edifici.

### ***3.2.1. Dati sulla produzione e composizione dei rifiuti da costruzione e demolizione***

I dati più recenti riguardanti la quantità di rifiuti generati nell’UE-28, e in ciascuno Stato membro, sono rappresentati dai dati Eurostat (Costruzione – Codice F – che comprende l’edilizia generale e le attività di costruzione specializzate per edifici e opere di ingegneria civile). Secondo i dati statistici, l’edilizia è la principale attività che genera rifiuti, contribuendo al 37,5% del totale dei rifiuti provenienti da tutte le attività economiche (Eurostat, 2020). Quantitativamente, ai rifiuti generati dal settore delle costruzioni (Fig. 12) seguono quelli del settore di miniere e cave (23,4%) e del settore manifatturiero (10,6%) (Eurostat, 2020).

Osservando i dati statistici di Eurostat aggiornati al 2020 (Fig. 13), si notano grandi differenze nel totale di rifiuti da costruzione e demolizione (*Construction and Demolition Waste* – CDW) prodotti annualmente dagli Stati membri: Germania (circa 226 milioni di ton), Francia (212 milioni di ton), e Regno Unito (137 milioni di ton)<sup>1</sup> sono i principali produttori, seguiti da Olanda (81 milioni di ton) e Italia (66 milioni di ton). Lituania (558 mila ton), Slovenia (473 mila ton) e Lettonia (276 mila ton) sono i produttori minori.

1. I dati del Regno Unito sono aggiornati al 2018, anno antecedente la Brexit.

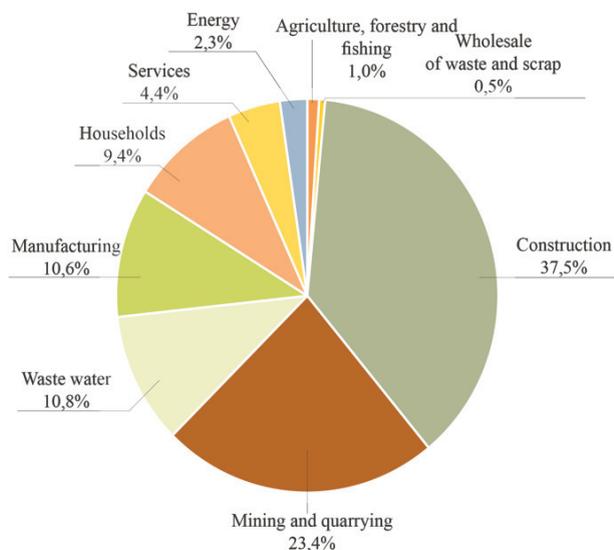


Fig. 12 – Percentuale di rifiuti annualmente generati per attività economica (fonte: rielaborazione da dati Eurostat, 2020)

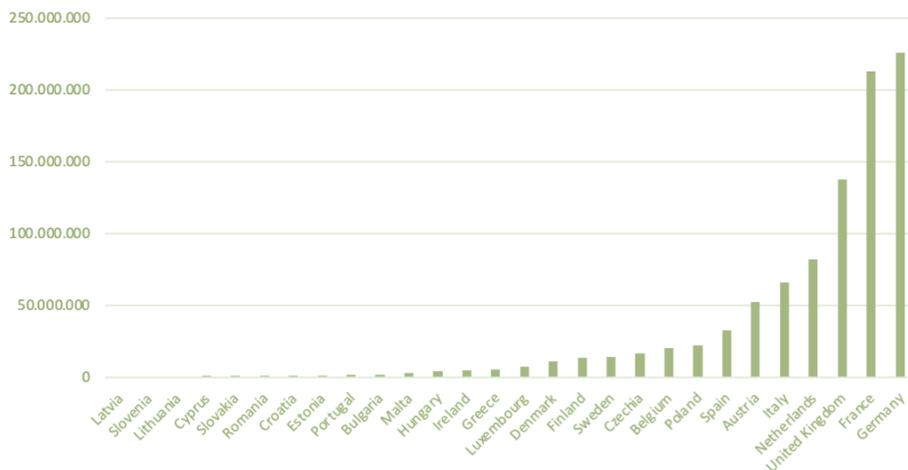


Fig. 13 – Quantità di rifiuti annualmente generati per Stato membro dell'UE (fonte: rielaborazione da dati Eurostat, 2020 – dati UK aggiornati al 2018)

È importante sottolineare che la quantità totale comprende anche i rifiuti di suolo e terreno da scavo, che costituiscono una buona parte del totale (51%). Escludendo dal totale la quota parte di suolo e terreno da scavo, è

possibile rilevare che, sul totale europeo i CDW sono composti da calcestruzzo e laterizio (che rappresenta circa il 90% del totale), seguiti da metalli – ferrosi e non ferrosi (circa il 6,3% del totale), legno (3%), vetro (circa lo 0,2%), cartongessi e cartoni (0,2%), plastiche e gomme (0,3%). Gli aggregati, quindi, sono la quantità maggiore di CDW; l’asfalto costituisce un’altra quota importante del flusso, ma di solito viene trattato separatamente, poiché questa frazione viene in gran parte raccolta non miscelata con altri CDW e spesso viene recuperata immediatamente in loco (Giorgi *et al.*, 2017).

### 3.2.2. *L’attuale gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione*

L’attuale prassi di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione fa ancora riferimento alla direttiva 2008/98/CE, conosciuta anche come *Waste Framework Directive* (WFD). Tale direttiva ha stabilito la “gerarchia dei rifiuti” e ha definito il significato di sottoprodotto, unitamente alla classificazione dei rifiuti. Inoltre, tale direttiva fissava l’obiettivo, entro il 2020, di preparazione per il riutilizzo e il riciclaggio di almeno il 70% (in termini di peso) dei rifiuti non pericolosi da costruzione e demolizione. Tale obiettivo è stato oggi raggiunto dalla maggior parte degli Stati membri, grazie all’introduzione di politiche nazionali, da parte di ciascun Stato membro.

Sebbene gli obiettivi della WFD sembrassero all’epoca rappresentare un primo traguardo da raggiungere verso la circolarità dei flussi materiali, oggi risultano poco sfidanti. In particolar modo perché sono espressi in termini di “quantità” anziché di “qualità”: la percentuale di recupero dei materiali pari al 70%, infatti, va quantificata in termini di peso, senza fare distinzione tra tipi di materiali, potenzialità di riciclo e impatti ambientali associati. Tale percentuale di recupero, inoltre, include varie forme di recupero dei materiali, come le opere di colmatazione, che non rappresentano un effettivo riciclaggio di alta qualità, favorendo di conseguenza il *downcycling*. Infine, la direttiva parla unicamente di “preparazione per” il riutilizzo e il riciclaggio: di conseguenza i rifiuti da demolizione vengono spesso stoccati in attesa di essere riutilizzati e riciclati (Pantini *et al.*, 2016), ma di fatto dando vita a depositi simili a discariche.

Un’interessante panoramica del mercato commerciale dei CDW, e quindi della destinazione dei rifiuti, è contenuta nel rapporto finale della Commissione europea redatto da IDEA Consult (IDEA, 2015). Questo rapporto mostra la situazione generale del commercio di rifiuti nell’UE, in particolare del flusso principale di rifiuti minerali, completati sulla base dei dati raccolti da molteplici fonti. Il 10% dei rifiuti proviene da nuove costruzioni, il 75% da demolizioni e il 15% da costruzioni stradali.

Il rapporto IDEA Consult (IDEA, 2015) mostra che dopo la raccolta, circa l'11% dei CDW viene inviato ad attività di riempimento (es. riempi-menti per rilevati stradali) e il 18% viene portato in discarica. Il restante 71% viene suddiviso in diversi materiali. Da questa quota i rifiuti di metalli, plastiche e legno, che costituiscono una piccola percentuale rispetto al totale, vengono separati come materiale riciclabile o recuperabile energeticamente.

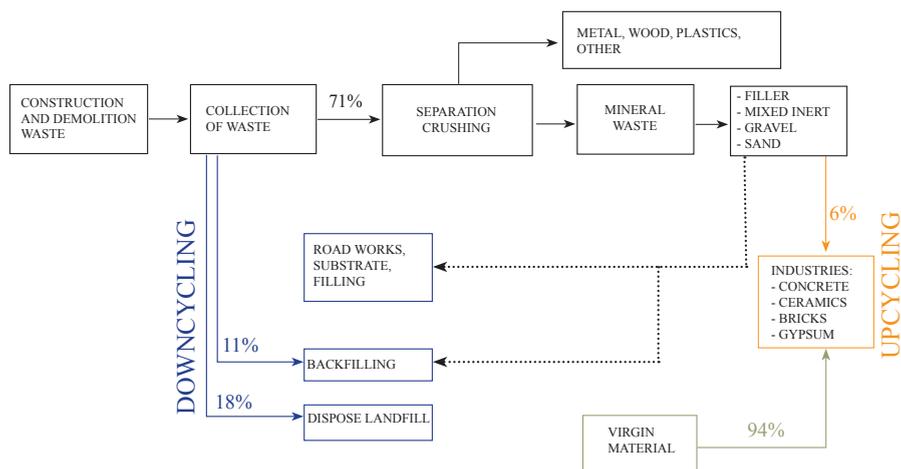


Fig. 14 – Flowchart della gestione dei CDW a livello Europeo (fonte: rielaborazione dell'autore di dati IDEA consult, 2015)

La restante porzione di rifiuto viene frantumata, per la trasformazione in aggregato riciclato, o materia prima seconda (MPS). Calcestruzzo, muratura e detriti misti da demolizione, dopo la frantumazione (e la certificazione della qualità) diventano aggregati riciclati. L'analisi dei dati IDEA consult (2015) dimostra che, di tale quota, solo il 6% alimenta le industrie di produzione di nuovi prodotti edilizi (per la fabbricazione di cemento, ceramica, laterizio e gesso); ne consegue che solo il 6% costituisce un effettivo riciclo di qualità, o *upcycling*, del rifiuto. Emerge che le principali applicazioni degli aggregati da riciclaggio sono negli usi del *downcycling* (es. sottofondi stradali, riempi-menti), problema favorito anche dal fatto che nella maggior parte dei paesi prevale l'estrazione di aggregati naturali (IDEA, 2015), preferiti dall'industria perché di maggiore qualità e con prezzi contenuti.

Facendo riferimento alla sola situazione italiana, i dati statistici basati sulle informazioni contenute nelle banche dati del Modello Unico di Di-

chiarazione ambientale (MUD) e riportati dal Rapporto Rifiuti Speciali (ISPRA, 2020), indicano che nel 2018 i rifiuti da costruzione e demolizione ammontavano a quasi 60 milioni di tonnellate, dimostrando anche un aumento rispetto a quanto rilevato nei due anni precedenti<sup>2</sup>.

In Italia il tasso di recupero, calcolato sulla base dei dati di produzione e gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione, si attesta, nel 2018, al 77,4%, al di sopra dell'obiettivo del 70% fissato dalla Direttiva 2008/98/CE per il 2020 (ICESP, 2020). Facendo riferimento alle dichiarazioni dall'ANPAR (Associazione Nazionale Aggregati Riciclati), anche in Italia quasi il 60% del totale di aggregati riciclati sono ampiamente utilizzati nei lavori stradali per sottofondi e riempimenti, mentre il restante è utilizzato per pavimentazioni e rinterro, quindi in operazioni di *downcycling*. Inoltre, una grande quantità di aggregati secondari rimane a lungo stoccata e invenduta presso l'impianto di frantumazione, diminuendone il valore economico (Pantini *et al.*, 2016).

I dati raccolti sull'attuale gestione dei rifiuti che escono dai processi edilizi, presentano però un limite conoscitivo, in quanto essi conteggiano senza distinzione i rifiuti da costruzione e quelli da demolizione. Infatti, è necessario sottolineare che i rifiuti da costruzione e i rifiuti da demolizione hanno diverse caratteristiche e diverse potenzialità di riuso/riciclo (Giorgi *et al.*, 2019a). I rifiuti da costruzione sono facilmente separabili per tipologia e meno contaminati, hanno un alto potenziale di riuso e sono quantitativamente minori. I rifiuti da demolizione, invece, sono più contaminati (da vernici, parti adesive, ecc.), presentano difficoltà di separazione, hanno maggiore potenzialità di riciclo piuttosto che di riuso e sono quantitativamente maggiori.

Sussiste pertanto la necessità di migliorare le pratiche attuali, per ottenere una gestione efficace dei rifiuti, considerando la potenzialità di riciclo (e riuso) dei materiali in termini di qualità (piuttosto che di quantità) e di sostenibilità, attraverso criteri più restrittivi.

Tale necessità è stata già richiamata all'interno delle dichiarazioni della COM 98 (2020), che riguardano «la possibilità di rivedere gli obiettivi di recupero dei materiali fissati nella legislazione dell'UE per i rifiuti da costruzione e demolizione e le relative frazioni di materiale specifico». L'ottimizzazione della gestione dei flussi può, comunque, essere ottenuta non solo con normative vincolanti, ma anche con l'uso di meccanismi volontari basati sul vantaggio economico, che possano stimolare la competitività tra

2. Si fa riferimento a dati pre-pandemia Covid-19, in quanto riportano una situazione standard ovvero non influenzata dalle relative difficoltà lavorative.

aziende e la scelta di soluzioni attente al riuso, al contenuto di riciclato e alla riciclabilità dei prodotti.

Da un punto di vista della circolarità, è importante sottolineare che i rifiuti da costruzione e demolizione dovrebbero essere evitati in un processo edilizio circolare: i rifiuti da costruzione sono da considerare come la conseguenza di un'inefficienza del processo di progettazione e costruzione; mentre i rifiuti da demolizione sono da considerare come la conseguenza di una mancanza di programmazione e gestione del fine vita.

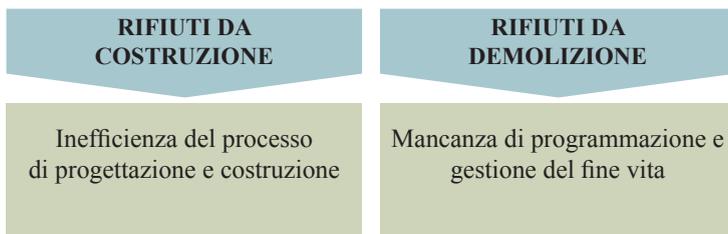


Fig. 15 – Causa di generazione del rifiuto in un processo edilizio non circolare (fonte: elaborazione dell'autore)

### **3.2.3. I documenti di indirizzo europei per migliorare la gestione del fine vita degli edifici e dei relativi rifiuti**

L'attenzione al recupero e al riciclo dei rifiuti da costruzione e demolizione è stata sollevata nuovamente a seguito dell'iniziativa della Commissione europea nell'ambito della *Construction 2020 strategy*, facente parte del più ambizioso *Circular Economy Package*. In questo contesto, nel 2016, la Commissione europea ha pubblicato il *Protocollo UE per la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione* (Commissione europea, 2016), mirato al miglioramento dei processi di gestione dei CDW e ad aumentare la fiducia nella qualità dei materiali riciclati, al fine di ampliare la domanda di mercato.

Tale protocollo in particolare ha posto l'attenzione sui seguenti importanti aspetti migliorativi (che coinvolgono sia il fine vita dell'edificio sia la gestione dei rifiuti), su cui è ancora necessario impegno politico e operativo:

- identificazione dei rifiuti, attraverso una separazione programmata e accurata dei rifiuti, per mezzo di strumenti utili all'inventario degli stessi, come gli audit pre-demolizione e i piani di gestione dei rifiuti, e utilizzando tecniche di demolizione controllata e selettiva;

- logistica dei rifiuti, tramite strumenti di tracciabilità dei flussi di materiali e rifiuti, basati sul monitoraggio della quantità dei rifiuti e del loro trasporto;
- trattamento dei rifiuti, mediante controllo e verifica del processo di conferimento e trasformazione presso il centro di riciclaggio;
- gestione della qualità, attraverso strumenti di etichettatura e di certificazione per la trasparenza delle informazioni relative alla qualità dei rifiuti e della materia prima seconda;
- politiche e condizioni quadro appropriate, per ciascun Stato membro, mediante restrizioni, tasse sulle discariche, criteri per gli appalti pubblici, applicazione della normativa sui rifiuti da costruzione e demolizione.

Il protocollo di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione dell'UE ha rappresentato un passo importante in quanto ha promosso le attività di riciclaggio e migliorato la logistica dei CDW, al fine di evitare il conferimento in discarica. Il limite rimane ancora quello di promuovere strategie che agiscono a valle, una volta decisa la demolizione, e determinare così come scenario di fine vita il solo riciclo e non il riuso (se non dell'intero edificio, almeno di alcune parti componenti).

A favore della potenziale identificazione di prodotti meritevoli di riuso o rilavorazione, il protocollo dell'UE ha promosso altresì, nella fase di fine vita dell'edificio, il ricorso ai *pre-demolition audit*, i quali sono finalizzati a raccogliere informazioni sulla quantità di rifiuti generati durante la demolizione e identificare quali materiali devono (obbligatoriamente) essere separati alla fonte (come i rifiuti pericolosi), quali materiali possono/non possono essere riutilizzati o riciclati, come i rifiuti (non pericolosi e pericolosi) devono essere gestiti e con quali potenzialità di riciclaggio.

Il *pre-demolition audit* ha destato grande interesse da parte delle politiche di indirizzo, che lo hanno individuato sin da subito come uno strumento fondamentale per il miglioramento del monitoraggio e della gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione, e utile al superamento degli ostacoli al riutilizzo di materiali e riciclo di rifiuti in uscita dal cantiere di costruzione e demolizione. Per tale motivo, nel 2018 la Commissione europea ha pubblicato gli *Orientamenti per le verifiche dei rifiuti prima dei lavori di demolizione e di ristrutturazione degli edifici Gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione nell'UE* (Commissione europea, 2018a). Il documento è mirato a fornire una linea guida sulla gestione e valutazione dei flussi di rifiuti da costruzione e demolizione, prima della demolizione o ristrutturazione di edifici, e sulla classificazione dei materiali in uscita dai siti di demolizione, attraverso il supporto di *pre-demolition audit*.

I *pre-demolition audit*, definiti nel documento europeo (Commissione europea, 2018a), devono essere eseguiti prima di qualsiasi progetto di ristrutturazione o demolizione per individuare i flussi di materiali in uscita dal cantiere di demolizione/riqualificazione, inclusi eventuali rifiuti pericolosi (es. amianto). All'interno del *pre-demolition audit* emerge quindi la destinazione di ogni tipologia di materiale/rifiuto in uscita: ad esempio la quantità di rottame di ferro destinato agli impianti di riciclaggio, la quantità di rifiuti in PVC destinato alla discarica, la quantità di rifiuti inerti destinati agli impianti di trattamento rifiuti per il riciclaggio, ecc. Oppure, anche se raramente accade, la quantità di prodotti destinati al riuso: ad esempio la quantità di mattoni in laterizio destinati alle aziende di recupero/pulizia per il riuso. Un *pre-demolition audit* può dunque facilitare sia i processi di riciclo sia i processi di riuso, anche se attualmente sono utilizzati maggiormente per tracciare i rifiuti conferiti ai centri di riciclaggio e in discarica in quanto manca una effettiva leva alla strategia del riuso ed esistono ancora molteplici barriere (cfr. paragrafo 3.3.2). Le autorità pubbliche, inoltre, dovrebbero imporre una soglia di obbligo di applicazione per i *pre-demolition audit* (che è attualmente molto variabile ed eterogenea nei diversi Paesi dell'UE).

Altro tema, introdotto sempre dal *Protocollo UE per la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione* (Commissione europea, 2016), che ha suscitato interesse sia nell'ambito di alcune *policy* sia nell'ambito della ricerca, è quello relativo alla tracciabilità dei rifiuti in uscita dai cantieri (di costruzione/riqualificazione/demolizione) destinati al riciclaggio, tramite piattaforme digitali. Secondo il protocollo, le autorità locali, promuovendo sistemi di tracciabilità, possono contribuire attivamente alla cooperazione tra gli operatori che agiscono lungo la catena del valore dei rifiuti del settore edilizio. Alcuni governi, quindi, hanno attivato sistemi di tracciabilità istituendo enti preposti al controllo e al monitoraggio dei flussi (cfr. paragrafo 3.4.1).

Per incentivare il riuso, oltre al riciclo, in alcuni Stati membri sono state sviluppate delle piattaforme digitali mirate alla rimessa in circolo dei prodotti ancora in buono stato in uscita dai cantieri (di costruzione/riqualificazione/demolizione). Queste piattaforme digitali sono in grado di mappare i prodotti in uscita, includendo tutte le relative caratteristiche qualitative e quantitative, mettendo in comunicazione domanda e offerta (cfr. paragrafo 3.4.4).

Nell'ambito delle "politiche e condizioni quadro appropriate" definite dal protocollo (Commissione europea, 2016), negli ultimi anni si è constatato, all'interno delle *policy* nazionali, un particolare impegno volto alla definizione dei decreti *End of Waste*. Ogni Stato membro si è mosso

in autonomia e, ancora discussa, è la necessità di coordinamento e armonizzazione di tali politiche. L'Italia, negli ultimi anni, ha lavorato alla definizione dei criteri *End of Waste* per i rifiuti inerti da costruzione e demolizione, entrati in vigore con il Decreto n. 152 del 27 settembre 2022. Il decreto *End of Waste* definisce il processo di recupero al termine del quale un rifiuto da costruzione e demolizione cessa di essere classificato come tale, acquisendo il ruolo di prodotto. All'interno dell'allegato 2, vengono definite le norme tecniche per l'utilizzo dell'aggregato recuperato: oltre all'utilizzo per la realizzazione del corpo dei rilevati di opere in terra di ingegneria civile, sottofondi stradali, ferroviari, aeroportuali, recuperi ambientali, riempimenti e colmate, viene definito l'impiego per la produzione di calcestruzzi (armonizzata alla UNI EN 12620).

In Italia, altra politica rilevante nell'ambito dell'efficientamento della gestione delle risorse e dei rifiuti è attualmente rappresentata dai Criteri Ambientali Minimi (CAM) nell'ambito del *Green Public Procurement* in edilizia, definiti dal D.M. 23/06/2022. I CAM richiedono una percentuale minima di contenuti di riciclato, e la possibilità di riciclo e riutilizzo a fine vita (utile), nonché la progettazione di un piano di disassemblaggio finalizzato al recupero e riutilizzo dei prodotti e parti d'opera dell'edificio (cfr. paragrafo 3.4.3).

Nonostante siano molteplici i documenti di indirizzo prodotti dalla Commissione europea e le normative emanate dai singoli Stati membri, occorre evidenziare come il tema dell'economia circolare venga prevalentemente associato alla soluzione del problema a fine vita, correlato alla gestione dei rifiuti. Tale approccio risulta ancora parziale rispetto a una visione di circolarità sistemica, che dovrebbe considerare il ruolo delle scelte a monte (addirittura già in fase di progettazione degli edifici) e preoccuparsi della circolarità nell'intero ciclo di vita dell'edificio.

### **3.3. Leve, ostacoli e punti di vista degli stakeholder**

Nel presente paragrafo sono messe in luce le più importanti leve e barriere correlate al miglioramento della gestione delle risorse/rifiuti, al fine di restituire un quadro conoscitivo utile alla prefigurazione di azioni e politiche da mettere in campo.

Attraverso il dialogo e il confronto con i principali stakeholder coinvolti nella transizione del settore edilizio verso l'economia circolare (progettisti, maestranze che agiscono lungo il processo edilizio, *policy maker*, investitori immobiliari, ecc.), provenienti da diversi paesi europei – in particolare Italia, Belgio, Olanda, Regno Unito e Danimarca – è emerso che esistono

ancora evidenti barriere nell'attuazione del modello circolare di utilizzo di materiali di recupero, tra cui barriere di tipo tecnico-operativo, giuridico e informativo (Giorgi *et al.*, 2022).

A livello europeo, per creare delle leve al riciclo/riuso, il quadro legislativo si sta muovendo principalmente verso la disincentivazione delle discariche (attraverso l'aumento dei costi di conferimento dei rifiuti), mentre sono ancora poco promossi e affermati i sistemi organizzati di tracciabilità di risorse e rifiuti e l'uso di strumenti di supporto per il controllo dei flussi materici in entrata e in uscita dalle attività edilizie. Questa mancanza di riferimenti politici ha ripercussioni anche nella pratica, per cui in molti casi mancano attività virtuose.

Di seguito vengono trattate le leve e le barriere per la circolarità di gestione delle risorse e dei rifiuti, facendo riferimento a tre principali ambiti di azione: riduzione del conferimento in discarica di materiali; incentivazione al riuso dei materiali da costruzione; attivazione di sistema di tracciabilità per materiali/rifiuti.

### ***3.3.1. Riduzione del conferimento in discarica di materiali***

Le strategie di prevenzione e recupero dei rifiuti si realizzano attraverso un quadro legislativo definito, finalizzato a privilegiare le condizioni per una gestione sostenibile dei rifiuti da costruzione e demolizione e una migliore interazione tra operatori (progettisti, responsabili della pianificazione, pubblica amministrazione, imprese di costruzione).

Le politiche generali che incentivano la crescita del tasso di riciclaggio e recupero sono legate a due principali azioni: il controllo dello smaltimento dei rifiuti (tasse sulle discariche) e la riduzione dello sfruttamento delle risorse naturali (tasse sulle attività estrattive). Ognuna di queste azioni può aumentare le differenze di prezzo tra materiali riciclati e materiali vergini, aumentando la convenienza economica dei materiali secondari. Infatti, la maggiore causa di disincentivazione al recupero e riciclo dei rifiuti del settore edilizio è il basso costo del conferimento in discarica associato alla possibilità di disporre di materie prime a basso costo. Dunque, una soluzione potrebbe essere quella di agire sul costo delle materie prime e sui costi di smaltimento in discarica. Tale operazione deve essere fatta in maniera mirata e controllata, facendo attenzione alle possibili conseguenze: per esempio, il solo aumento delle tasse di discarica potrebbe implicare rischi di smaltimento illegale, senza portare alcun beneficio sull'efficientamento dell'uso delle risorse.

Esplorando alcuni esempi di incentivazione al recupero delle risorse/rifiuti in Europa, si nota che le nazioni che, statisticamente, mostrano una maggiore quota di recupero dei rifiuti (inteso come l'evitare il conferimento

in discarica) sono dotate di regolamentazione sui rifiuti ancora prima del recepimento della *Waste Framework Directive* 2008/98/CE (WFD). Ad esempio, la Germania ha introdotto già dal 1995 l'iniziativa *Kreislaufwirtschaft Bau* (Economia circolare nell'edilizia), ovvero un impegno volontario per ridurre le quantità di rifiuti da costruzione e demolizione conferite in discarica, che ha portato ad elevati tassi di recupero dei rifiuti (il 96% dei rifiuti non viene conferito in discarica). Anche i Paesi Bassi hanno agito dal 1994, attraverso la legislazione sui rifiuti *Wet Milieubeheer (Environmental Management Act)* che già stabiliva la gerarchia dei rifiuti (prima della WFD).

In Belgio, Paesi Bassi, Regno Unito e Danimarca la normativa stabilisce divieti o tasse specifiche per aumentare i costi di conferimento dei rifiuti in discarica. L'alto costo della tassa sulle discariche incoraggia gli operatori a preferire altri tipi di destinazione dei rifiuti, come verso centri di riciclaggio che hanno tariffe di accesso inferiori rispetto alle discariche, in particolare per la porzione di rifiuti inerti, che rappresentano la frazione di rifiuto più pesante (e quindi con costi di conferimento più elevati). La tassazione delle discariche trova particolare successo in Belgio e nei Paesi Bassi, in quanto il riciclo (soprattutto dei rifiuti inerti) è ritenuto economicamente vantaggioso, considerando che le caratteristiche del contesto geografico e la scarsità di materie prime (ghiaia, sabbia, ecc.) sul territorio portano ad elevati costi di estrazione o di importazione, incrementando quindi il costo delle risorse naturali in particolare degli inerti.

Nel Regno Unito, invece, siccome il territorio dispone di grandi quantità di materie prime inerti, il riciclo dei materiali è incentivato non solo dall'aumento dei costi di discarica ma anche attraverso una tassa sulle estrazioni (*Aggregates Levy*) che determina un maggiore costo delle materie prime, in particolare inerti e incoraggia economicamente l'uso di materiali secondari.

In Italia le materie prime inerti sono ancora abbastanza economicamente convenienti per l'elevata quantità disponibile e l'assenza di tasse su di esse, per cui l'utilizzo delle materie prime è talvolta più vantaggioso rispetto all'utilizzo di quelle secondarie. Inoltre, non esistono particolari misure di restrizione per il conferimento in discarica dei rifiuti. Tuttavia, un'importante iniziativa per favorire la riduzione dei consumi di materie prime e il conferimento in discarica in Italia è rappresentata dai *Criteri Ambientali Minimi (CAM)* nell'ambito delle gare d'appalto pubbliche (*Green Public Procurement*), che richiedono una percentuale minima di riciclaggio per molti prodotti edilizi (cfr. paragrafo 3.4.3).

La normativa è quindi fondamentale per influenzare i *trade-off* tra materie prime e secondarie, incoraggiando la domanda del mercato verso pratiche circolari.

Analizzando i prezzi degli inerti, raccolti grazie alla collaborazione di alcuni operatori delle nazioni europee e riportati in tabella (Tab. 1), è possibile notare che le principali leve economiche per favorire la preferenza delle materie prime secondarie rispetto a quelle vergini, non è relazionata solo al costo della discarica, ma anche alla differenza di prezzo tra le materie prime e i materiali riciclati.

*Tab. 1 – Confronto dei costi dei materiali e delle discariche tra i cinque paesi analizzati (fonti: Belgio: stima di esperti intervistati; Regno Unito: stima di esperti intervistati e rapporto WRAP Gate fee 2018 Comparing the cost of alternative waste treatment options; Italia: stima di esperti intervistati e listini aziendali; Paesi Bassi: Resource Efficient Use of Mixed Wastes. National Fact Sheet; Danimarca: stima di esperti intervistati)*

<b>Paesi</b>	<b>Prezzo degli inerti vergini</b>	<b>Prezzo dell'aggregato riciclato</b>	<b>Differenze tra inerti vergini e riciclati</b>	<b>Costi di conferimento agli impianti di recupero materiali</b>	<b>Costi di conferimento in discarica</b>
BE	25 €/ton <sup>3</sup>	<10 €/ton	>15 €/ton	0 €/ton <sup>4</sup>	100 €/ton
UK	35 €/ton	23 €/ton	12 €/ton	26 €/ton	125 €/ton <sup>5</sup>
IT	10 €/ton	7 €/ton	3 €/ton	7 €/ton-9 €/ton <sup>6</sup>	1 €/ton-10 €/ton
NL	--	--	--	--	186 €/ton
DK	--	--	--	10-18 €/ton	64-110 €/ton

Il confronto evidenzia che la differenza minima tra aggregati vergini e riciclati dovrebbe essere superiore a 12 € per tonnellata, come in Belgio e nel Regno Unito dove c'è domanda di aggregato riciclato e il prezzo della discarica è superiore a 100 € per tonnellata. Quando è attiva la domanda del mercato, si riducono anche i problemi logistici perché i rifiuti vengono stoccati per un breve periodo. Inoltre, Belgio, Paesi Bassi e Danimarca non hanno costi di trasporto elevati perché non sono paesi vasti e le strutture di recupero dei materiali sono molto diffuse su tutto il territorio. Nel Regno Unito, una nazione più grande, è comune utilizzare impianti mobili per frantumare l'aggregato in loco e risparmiare sui costi.

3. Prezzo a seconda della distribuzione granulometrica e della qualità.

4. Il canone d'ingresso può variare in base alla qualità dei materiali, con la certificazione Tracimat un materiale di alta qualità può andare gratuitamente ad un impianto di frantumazione.

5. 25 €/ton è il costo della discarica e 100 €/ton è la tassa sulle discariche.

6. Se il mix di materiali presenta altri materiali (es. legno, plastica) il prezzo aumenta di oltre 14 €/ton.

Il quadro legislativo di Belgio, Paesi Bassi, Regno Unito e Danimarca ha incoraggiato gli operatori a evitare le pratiche di conferimento in discarica. Tuttavia, anche se la maggior parte dei rifiuti viene recuperata, solo una piccola parte di questi rifiuti viene riutilizzata o riciclata con mantenimento del valore residuo (*upcycling*). In effetti, anche in questi stati virtuosi, la maggior parte dei rifiuti viene riciclata per usi di basso valore (*downcycling*), come opere di colmatazione o sottofondi stradali. Quindi anche se la percentuale minima del 70% di conferimento al recupero dei CDW prevista dalla Direttiva WFD 2008/98/CE è attualmente soddisfatta dalla maggior parte delle nazioni europee, attraverso il trattamento dei rifiuti inerti, si tratta di una forma di riciclaggio che non riduce le richieste di materie prime della filiera produttiva. Inoltre, occorre evidenziare che le altre porzioni di rifiuto più leggere, come materie plastiche (es. isolanti e tubi per impianti), non vengono considerate, anche se possono avere un maggiore potenziale di recupero e ottenere una riduzione degli impatti ambientali.

Secondo gli stakeholder intervistati, provenienti dalle diverse nazioni europee, occorre un coordinamento europeo delle politiche per la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione, volta anche a colmare alcune legislazioni specifiche (in Italia la normativa *End of Waste* è stata emanata solo a metà del 2022). Questa situazione genera incertezze sul tipo di procedure a cui i rifiuti devono essere sottoposti per diventare nuovi materiali. È necessaria una definizione comune a livello europeo sia dei criteri di *End of Waste* del settore edilizio, sia della documentazione utile a certificare la qualità dei materiali riciclati e riutilizzati.

Inoltre, è stata sottolineata dagli stakeholder la necessità di un elenco più dettagliato dei codici di classificazione dei rifiuti (*Codice Europeo dei Rifiuti*, Direttiva CER 75/442/CEE), che attualmente sono articolati in modo tale da permettere agli operatori la raccolta collettiva di materiali diversi con il medesimo codice: ad esempio il codice CER relativo ai metalli include sia acciaio sia alluminio; il codice CER relativo ai materiali isolanti include isolanti a base di legno e plastica, impedendo la raccolta differenziata di materiali con elevata riciclabilità e richiedendo poi ulteriori processi di separazione. Il lavoro è stato iniziato dalla regione delle Fiandre, che ha fornito un quadro più dettagliato dei rifiuti per la compilazione dei *pre-demolition audit* richiesti dal sistema di tracciabilità dei rifiuti *Tracimat* (cfr. paragrafo 3.4.1).

### ***3.3.2. Incentivazione al riuso dei prodotti da costruzione***

Anche se la strategia di riuso/rilavorazione dei prodotti è prioritaria rispetto alle altre strategie secondo la gerarchia dei rifiuti (definita dalla WFD), essa è ancora poco promossa dalle politiche nazionali di economia circolare nel settore edile.

Infatti, permangono numerosi ostacoli per l'applicazione nella pratica del riuso/rilavorazione. L'interazione diretta con i principali stakeholder del settore edilizio di diverse nazioni europee ha messo in evidenza, tra gli ostacoli principali, la mancanza di sistemi di certificazione che stabiliscano la qualità, le prestazioni e le caratteristiche tecniche dei prodotti riutilizzati, con un problema legato dunque alle responsabilità che ricadono sul fornitore e sull'acquirente (progettista o costruttore). Gli operatori non sono disposti ad assumersi la responsabilità di immettere sul mercato prodotti rifabbricati, a partire da prodotti di cui non conoscono le caratteristiche. Inoltre, la procedura di *test* per misurare e verificare le prestazioni residue del prodotto (caratterizzazione) e la certificazione del prodotto da riuso è spesso molto costosa e richiede molto tempo rispetto alle procedure di *test* eseguite per certificare i nuovi prodotti, provenienti da stabilimenti produttivi che sono standardizzati (certificando un solo prodotto, si certifica l'intera produzione). Ciò, quindi, spesso rende il riutilizzo economicamente insostenibile. Inoltre, la perdita di informazioni sulle caratteristiche prestazionali del prodotto comporta difficoltà a stimare il valore del prodotto e il suo potenziale di mercato.

Gli stakeholder hanno anche evidenziato alcune barriere relative agli aspetti tecnologici, in quanto molti sistemi costruttivi (in particolare quelli più convenzionali e diffusi) non sono progettati per lo smontaggio; pertanto, per non danneggiare gli elementi, occorre una demolizione selettiva molto accurata e che richiede maestranze specializzate, innalzando i costi. Altre barriere includono lo spazio necessario per lo stoccaggio dei materiali smontati prima del loro successivo riutilizzo, in particolare nei centri urbani, e la mancanza di un sistema logistico strutturato per il recupero e la messa sul mercato di materiali riutilizzabili.

Da questi ostacoli deriva quindi la barriera molto importante rappresentata dall'aspetto economico, in particolare legata al costo di disassemblaggio. L'accurata rimozione di componenti e parti, basata sulla manodopera, è molto più costosa della demolizione, che avviene con mezzi meccanici, e quindi troppo onerosa rispetto ai potenziali risparmi ottenuti riutilizzando gli stessi prodotti, o ai potenziali guadagni che si possono ottenere vendendo il prodotto riutilizzabile, soprattutto quando è difficile individuare una sicura richiesta di mercato (anche per i modesti e frammentari quantitativi da gestire).

Attualmente, il riutilizzo dei prodotti è principalmente un mercato informale limitato ad alcuni componenti edilizi di alto valore (es. elementi antichi o decorativi), senza precise caratteristiche prestazionali, talvolta supportato da piattaforme di scambio che collegano domanda e offerta di materiali da costruzione secondari.

Esistono tuttavia alcune buone pratiche. Ad esempio, in Danimarca è ben strutturata la rete di riutilizzo di laterizi di rivestimento di facciata. Questa pratica è possibile grazie ad uno specifico iter di certificazione definito a livello governativo per consentire il ritorno sul mercato dei mattoni di seconda vita dotati di certificazione. Altre buone pratiche si possono trovare nelle più grandi società di costruzioni in Danimarca e nel Regno Unito, che stanno attivando modalità di riutilizzo interno dei prodotti edili, tramite uno scambio tra i loro cantieri aperti. In questo caso, si tratta di pratiche di recupero di prodotti residui o scarti di lavorazione della fase di costruzione per il riutilizzo in un altro sito o per restituirli alle aziende di produzione che li reintroducono nel processo produttivo.

Per incentivare il riuso e le altre strategie, gerarchicamente più virtuose del riciclo, come il *remanufacturing* e il *repurposing* non basta agire su leve economiche e giuridiche ma è necessaria l'introduzione di nuovi modelli organizzativi, gestionali e di *business* tra gli operatori della filiera, in grado di cambiare la logica di produzione e consumo (cfr. capitolo 5).

### **3.3.3. Attivazione di sistemi di tracciabilità per materiali/rifiuti**

Attraverso il dialogo con gli stakeholder del settore, è emersa dunque, come principale criticità all'attivazione di dinamiche di circolarità, la scarsa conoscenza delle caratteristiche prestazionali dei prodotti provenienti dal fine vita degli edifici. Di conseguenza, il confronto con gli stakeholder ha messo in luce come gli strumenti di tracciabilità dei materiali/prodotti in uscita dai cantieri di costruzione, riqualificazione e demolizione siano necessari per l'attivazione di riuso, *remanufacturing* e riciclo: strategie di grande interesse per gli stakeholder per aprire nuove opportunità commerciali e di *business*.

La tracciabilità dei flussi materici in uscita riguarda la raccolta delle informazioni *downstream* del processo edilizio, e accompagna la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione.

L'accesso alle informazioni, riguardanti i materiali in uscita dallo *stock* edilizio, serve ad incoraggiare il *networking* tra operatori, innescando azioni di riuso, *remanufacturing* e riciclo di materiali/prodotti derivati dai processi di rigenerazione del patrimonio.

Esistono alcune *best practices* nei paesi del nord Europa, i quali, proprio al fine di attivare processi di circolarità, hanno sviluppato sistemi di

tracciabilità del rifiuto da costruzione e demolizione, coinvolgendo operatori specifici e strumenti operativi come i *pre-demolition audit* e i piani di gestione dei rifiuti (cfr. paragrafi 3.4.1; 3.4.2), e quindi influenzando, in particolare, sulla fase di fine vita degli edifici. Tuttavia, le attuali *best practices* si riferiscono in particolare all'attività di riciclo dei flussi materici.

L'attivazione di sistemi condivisi e accessibili di tracciabilità di materiali/rifiuti, secondo gli stakeholder è utile anche per superare una delle principali barriere riguardante l'incertezza sui flussi di materie seconde.

Infatti, attraverso il dialogo con gli operatori, è emerso che un'ulteriore barriera all'attivazione delle strategie di circolarità è rappresentata dal volume variabile dei flussi di materia in uscita dai cantieri di costruzione, riqualificazione e demolizione di edifici, nonché dalla eterogeneità dei prodotti in termini di quantità e tipologia. Per superare questa barriera, la messa a punto di sistemi di tracciabilità che riescano anche ad attivare *networking* tra operatori, potrebbe essere, dunque, una possibile soluzione per prevedere i flussi materici e attivare con anticipo dinamiche di riuso e *remanufacturing*, oltre a quelle di riciclo.

Inoltre, dal confronto con gli stakeholder è emersa la difficoltà di scambio di informazione relativa ai materiali/prodotti in uscita da processi di demolizione, che porta alla mancata presa di coscienza sulla disponibilità delle risorse secondarie da parte di tutti gli operatori (progettisti, demolitori, gestori del rifiuto, ecc.). Per superare questa criticità, l'introduzione di piattaforme digitali di scambio di prodotti permette, dunque, di mettere in comunicazione la domanda e l'offerta incentivando lo scambio di prodotti, allungandone la vita utile, riducendo l'attuale generazione di rifiuti e l'estrazione di ulteriori risorse. Esistono alcune *best practice* di piattaforme di scambio di materiali, in particolare nei paesi nordeuropei, che sorgono "dal basso" grazie all'iniziativa di alcuni soggetti della filiera: queste piattaforme, però, sono utilizzate prevalentemente tra privati per interventi edilizi di piccola consistenza (cfr. paragrafo 3.4.4). Tuttavia, il dialogo con gli stakeholder, in particolare progettisti, ha evidenziato che l'utilizzo di dette piattaforme durante la fase progettuale per la scelta di materiali è ancora limitata, in quanto esse sono ancora poco strutturate e poco diffuse sul territorio.

### **3.4. Buone pratiche e strumenti di supporto per l'attivazione di dinamiche di circolarità nella gestione dei flussi materici**

Al fine di restituire strategie di circolarità nell'ambito della gestione delle risorse e dei rifiuti presenti a livello europeo, vengono di seguito mostrate alcune buone pratiche rilevate nell'ambito di varie attività di ricerca,

compiute dal 2019 ad oggi, che hanno visto il coinvolgimento di stakeholder provenienti da diverse nazioni europee.

### **3.4.1. Il caso del sistema Tracimat in Belgio**

Per incentivare la riduzione dei rifiuti da costruzione e demolizione, esistono, in Europa, iniziative mirate ad una gestione e tracciabilità più sistematizzata dei flussi materici in uscita dai cantieri di costruzione, riqualificazione e demolizione, di tipo *top-down*. Queste iniziative sono l'esito di un'azione "dall'alto", ovvero da un quadro governativo, che ne prevede l'applicazione e predispone le basi legislative, economiche e gestionali per il buon funzionamento.

In questo contesto una delle migliori pratiche è rappresentata dal sistema di tracciabilità dei flussi in uscita dalle attività edilizie utilizzato nella regione della Fiandre (Belgio), sistema che prende il nome di *Tracimat*.

*Tracimat*, acronimo di "TRACIng MATerials", è un sistema di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione, senza scopo di lucro, che certifica il processo di demolizione selettiva e i flussi di rifiuti prodotti, fornendo una garanzia di qualità per le aziende di riciclaggio che trattano i rifiuti provenienti appunto dalla demolizione selettiva. Il sistema si è concentrato inizialmente sulla sola quota parte di rifiuti inerti, che rappresenta la porzione più grande dei rifiuti da costruzione e demolizione e che in Belgio risulta essere un materiale da riciclo di grande interesse, considerando la scarsità territoriale adatta all'estrazione di materiale inerte vergine, quali ghiaia e sabbia.

L'obiettivo di *Tracimat* è quello di favorire l'*upcycling* dei materiali edilizi migliorando la tracciabilità dei flussi di materiali e le relative informazioni, al fine di garantire una buona qualità dei rifiuti inerti e, di conseguenza, degli aggregati riciclati.

In Belgio, questo sistema di tracciabilità trova una buona applicazione in quanto supportato da un quadro legislativo ed economico ideato per il funzionamento del sistema di tracciabilità stesso, che stabilisce la distinzione tra "materiali a basso rischio ambientale" (L-ERM) e "materiali ad alto rischio ambientale" (H-ERM). Tale distinzione è stabilita in modo tale da diversificare i costi di conferimento al centro di raccolta del rifiuto. Un L-ERM presenta, infatti, un potenziale di riciclo maggiore rispetto a un H-ERM, e quindi presenta costi di conferimento inferiori. Tutto il materiale che proviene da una demolizione di un edificio, all'inizio, viene classificato H-ERM. Attraverso una bonifica certificata degli edifici, è possibile dichiarare che durante il processo di demolizione selettiva sono stati rimossi in anticipo i materiali che ostacolano il riciclo della frazione inerte (sia mate-

riali pericolosi sia materiali non pericolosi, come plastica, calcestruzzo cellulare, gesso, legno) e quindi il resto del materiale in uscita diventa L-ERM.

Solo attraverso l'applicazione del sistema *Tracimat* è possibile ottenere la certificazione del processo di demolizione selettiva e della categoria di rifiuto L-ERM.

La certificazione *Tracimat* permette al centro di riciclaggio di evitare gli alti costi di analisi e i lunghi periodi di stoccaggio che interessano i rifiuti H-ERM non dotati di certificazione *Tracimat*. Ciò costituisce quindi un incentivo economico, sia per chi genera il rifiuto sia per chi lo riceve. Va sottolineato che i costi del sistema *Tracimat* non superano il beneficio economico ottenuto.

Tuttavia, le pratiche di demolizione selettiva costituiscono un costo più elevato rispetto ai costi di demolizione tradizionale; di conseguenza il sistema *Tracimat* è stato inizialmente applicato solo agli edifici pubblici, per non gravare sull'edilizia privata. Il Belgio, in particolare nell'ambito del quadro politico e finanziario delle Fiandre, ha lavorato sulle relazioni tra i costi L-ERM e H-ERM per rendere *Tracimat* economicamente vantaggioso per tutti i tipi di interventi, anche per quelli privati e per le piccole quantità di materiali.

Dal luglio 2022 è obbligatoria la procedura *Tracimat* completa per demolizioni e ristrutturazioni di: edifici non residenziali con volume di costruzione superiore a 1000 m<sup>3</sup>; edifici residenziali con volume edificabile superiore a 5000 m<sup>3</sup> (escluse le case unifamiliari); infrastrutture con volume superiore a 250 m<sup>3</sup>.

Da agosto 2022 *Tracimat* ha favorito le attività di riutilizzo e riciclaggio attraverso uno strumento di supporto utile alla definizione di un inventario dei rifiuti dettagliato. Tale strumento contiene una classificazione dei rifiuti accurata, che specifica il tipo di materiale; di conseguenza, la denominazione generica del materiale (es. isolante; tegole), non può più essere usata, ma occorre precisarne anche il tipo (es. isolante in lana di roccia, tegole in laterizio, ecc.).

È importante evidenziare come il sistema di tracciabilità richieda, lungo il processo di demolizione, il coinvolgimento di nuove figure professionali, con specifica competenza nella quantificazione e monitoraggio dei flussi materiali (soggetti di parte terza rispetto all'impresa di demolizione) (Fig. 16). Il sistema *Tracimat* prevede, infatti, consulenti esperti formati appositamente per svolgere i *pre-demolition audit* e altri compiti procedurali previsti, i quali a loro volta vengono supervisionati da verificatori esperti del sistema *Tracimat*, che svolgono il ruolo di controllo e verifica, attraverso il rilascio di attestazioni di conformità.

Il processo di tracciabilità, infatti, inizia con la preparazione di un *pre-demolition audit* dei rifiuti da demolizione e un piano di gestione dei

rifiuti preparato da un consulente prima dei lavori di smantellamento e demolizione selettiva. Il *pre-demolition audit* preparato dal consulente viene inviato a *Tracimat*, che verifica la correttezza dei documenti, talvolta attraverso controlli dell'edificio e sopralluoghi.

I verificatori *Tracimat* hanno inoltre il compito di controllare che tutte le demolizioni e le raccolte di materiale previste dal *pre-demolition audit* siano accuratamente svolte. Al termine del processo è quindi possibile certificare che il materiale in uscita (già identificato nell'*audit* pre-demolizione) sia effettivamente a basso rischio ambientale L-ERM.

Questo esempio dimostra l'importanza di attivare figure esperte in punti chiave del processo, la cui funzione abilita processi di circolarità.

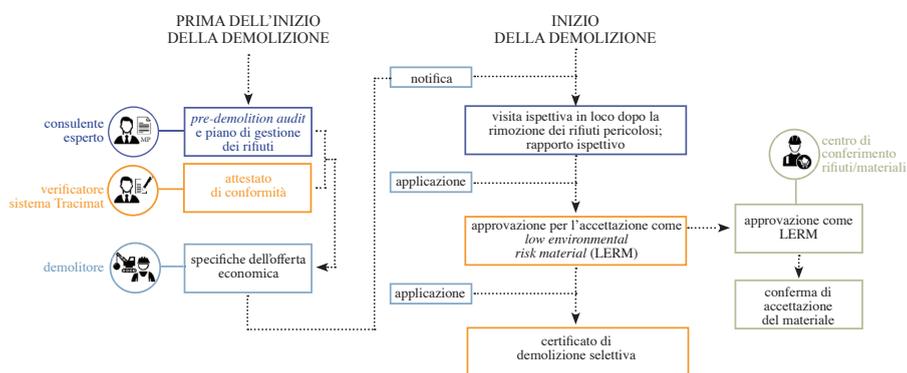


Fig. 16 – Il processo di gestione del sistema Tracimat e gli attori chiave coinvolti, fonte: rielaborazione autore su dati Tracimat

### 3.4.2. Pre-demolition audit e piano di gestione dei rifiuti

I *pre-demolition audit* e i piani di gestione dei rifiuti (*waste management plan*), promossi dal *Protocollo UE per la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione* (Commissione europea, 2016), rappresentano attualmente i migliori strumenti di supporto per il miglioramento della gestione del fine vita degli edifici.

Gli *Orientamenti per le verifiche dei rifiuti prima dei lavori di demolizione e di ristrutturazione degli edifici Gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione nell'UE* (Commissione europea, 2018), forniscono una definizione di questi strumenti, spiegando che i *pre-demolition audit* aiutano ad identificare i rifiuti da costruzione e demolizione generati, attuando una

corretta decostruzione dell'edificio e gestione delle pratiche di demolizione. Detto *audit* deve contenere una raccolta di informazioni sulla quantità di tutti i materiali di scarto che saranno generati durante la demolizione, quali materiali devono (obbligatoriamente) essere separati alla fonte (come rifiuti pericolosi), quali materiali possono/non possono essere riutilizzati o riciclati, come verranno gestiti i rifiuti (non pericolosi e pericolosi) e le relative possibilità di riciclaggio. Il *pre-demolition audit* viene effettuato, da parte di un esperto qualificato, prima di qualsiasi progetto di ristrutturazione o demolizione, con lo scopo di individuare eventuali materiali da riutilizzare o riciclare.

I piani di gestione dei rifiuti, invece, contengono una panoramica di ciò che è stato effettivamente separato durante la fase di demolizione, monitorando come tali rifiuti siano quindi stati conferiti ai centri di riciclaggio o discariche, o come sono stati riutilizzati o riciclati in loco. I piani di gestione dei rifiuti vengono elaborati dagli appaltatori dopo la demolizione.

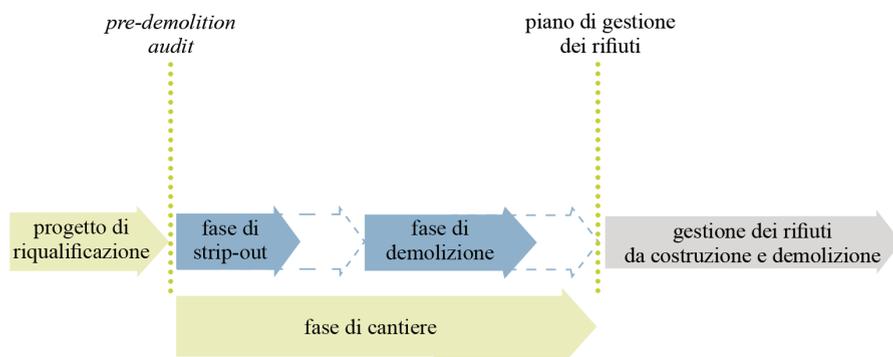


Fig. 17 – Collocazione del *pre-demolition audit* e del piano di gestione dei rifiuti lungo il processo edilizio (fonte: elaborazione dell'autore)

Il documento della Commissione europea (Commissione europea, 2018a) fornisce un chiaro quadro schematico di ruoli e responsabilità durante tutto il processo.

Il proprietario dell'edificio è responsabile della nomina di un *auditor*, ovvero l'esperto che prepara il *pre-demolition audit*. L'appaltatore è responsabile delle operazioni di demolizione, decostruzione e ristrutturazione. La Pubblica Amministrazione, che concede le autorizzazioni a demolire o ristrutturare gli edifici, dovrebbe istituire meccanismi per garantire (direttamente o attraverso l'intervento di terzi) che l'intera procedura sia corretta-

mente compiuta. L'*auditor* ha il compito di redigere il *pre-demolition audit*, nonché quello di controllare la corretta separazione dei rifiuti. Lo stesso deve essere neutrale e indipendente (dunque soggetto terzo rispetto all'impresa che esegue i lavori di demolizione). L'*auditor* deve avere conoscenze specifiche delle tecniche costruttive e dei materiali edilizi attuali e storici, nonché competenze sulle tecniche di demolizione, di trattamento e di lavorazione dei rifiuti. Il gestore dei rifiuti è responsabile del trasporto e del conferimento dei rifiuti al centro di riciclaggio. Anche il produttore è indicato come soggetto che può contribuire alla verifica dei rifiuti, fornendo soluzioni o richiedendo specifici requisiti per materiali e componenti riutilizzati/riciclati.

Oltre al caso applicativo all'interno del sistema di tracciabilità previsto della regione delle Fiandre, descritto nel paragrafo precedente, esistono altri casi virtuosi in cui il processo di demolizione prevede l'applicazione di questi strumenti di supporto. Ad esempio, nel Regno Unito, all'interno dei requisiti del piano di gestione dei rifiuti in situ (*Site Waste Management Plans*), attualmente non più obbligatorio, veniva richiesto l'uso di *pre-demolition audit* per dimostrare la quantità di rifiuti generati dalle attività di demolizione degli edifici e la loro destinazione di fine vita. Lo strumento, anche se non è più obbligatorio, è ancora ampiamente utilizzato dagli operatori che ne hanno compreso i vantaggi di tipo economico, poiché riduce il conferimento in discarica dei rifiuti e i relativi i costi di smaltimento.

In Spagna, in particolare nei Paesi Baschi, esistono norme severe che prevedono *pre-demolition audit* obbligatori per tutti i lavori di costruzione, demolizione e ristrutturazione. L'*audit* è sviluppato da un professionista autorizzato, mentre il piano di gestione del CDW viene sviluppato dall'appaltatore che esegue i lavori di demolizione. Nella Repubblica Ceca il permesso di demolizione/ristrutturazione richiede un *pre-demolition audit* con identificazione del materiale di scarto, in particolare per i rifiuti pericolosi. Anche in Francia e in Italia, il regolamento edilizio specifica l'obbligo di dichiarare la presenza di rifiuti da demolizione pericolosi (es. amianto), per richiedere il permesso di demolizione.

Da tutti questi casi applicativi, è possibile notare, tuttavia, che non esiste un tipo di modello comune di *pre-demolition audit* e di piano di gestione dei rifiuti. Gli strumenti di nazioni diverse sono costituiti da *checklist* di analisi diverse e metodi diversi di quantificazione dei materiali. Inoltre, per redigere tale *audit*, ogni Stato dispone di linee guida e strumenti di supporto differenti.

Analizzando i suddetti *audit* (Tab. 2), è importante notare che esistono ancora molteplici aspetti migliorabili. Tuttavia, queste carenze potrebbero essere risolte attraverso linee guida meglio definite, comuni a tutti gli Stati. Ad esempio, non sempre gli elementi costruttivi riutilizzabili sono identifi-

cati. Inoltre, non sempre la gestione dei rifiuti e il monitoraggio del flusso dei rifiuti vengono effettuati, perché permangono ancora mancanza di controllo e difficoltà di gestione. Conseguentemente, anche gli strumenti esistenti non sono utilizzati dai progettisti nel processo di progettazione come supporto decisionale per le strategie di intervento, in quanto non rappresentano un supporto per analizzare il fine vita dell'edificio o per identificare eventuali scenari di riutilizzo e riqualificazione. Inoltre, tali strumenti non tengono conto dell'efficacia e della sostenibilità delle scelte di demolizione ma si concentrano solo sulla quantificazione e sul monitoraggio dei rifiuti generati in termini di flussi materici. I limiti dei *pre-demolition audit* e dei piani di gestione dei rifiuti sono dunque sia quello di concentrarsi sui rifiuti generati dall'attività di demolizione solo in termini di quantità e volume, sia quello di partire dal presupposto della demolizione dell'edificio (dunque a valle di questa scelta, senza influire su tale decisione).

In particolare, si sottolinea che non vengono effettuate valutazioni in termini di benefici ambientali ed economici con un approccio al ciclo di vita; di conseguenza, esiste il rischio di incentivare processi di riciclo che potrebbero non essere effettivamente sostenibili (dal punto di vista del ciclo di vita). Solo in pochi casi è richiesto di valutare il beneficio ambientale attraverso la valutazione dell'impatto ambientale evitato e dei costi evitati per discarica e trasporto.

Tab. 2 – Analisi degli attuali *pre-demolition audit* (fonte: Giorgi et al., 2018)

<b>Criteria inclusi nei <i>pre-demolition audit</i></b>	<b>Regno Unito</b>	<b>Spagna</b>	<b>Belgio (Fiandre)</b>	<b>Francia</b>	<b>Repubblica Ceca</b>
Rifiuti pericolosi	×	×	×	×	×
Rifiuti non pericolosi	×	×	×	×	×
Rifiuti riciclabili	×	×	×	×	×
Stima della quantità di rifiuti	×	×	×	×	×
Identificazione degli elementi riutilizzabili		×		×	
Gestione dei rifiuti	×	×	×		×
Monitoraggio dei rifiuti	×	×	×		
Stima dei costi e del valore dei materiali		×			
Valutazione degli impatti ambientali con approccio <i>Life Cycle</i>	solo CO <sub>2</sub> fine vita				

Occorrerebbe quindi migliorare gli strumenti di fine vita esistenti, promossi dalle politiche di economia circolare, al fine di valutare la sostenibilità ambientale ed economica dell'intervento, all'interno di un approccio del ciclo di vita (LCA e LCC). Si ribadisce, dunque, l'importanza determinante di associare alle informazioni sulla consistenza e la qualità dei rifiuti da demolizione la valutazione dell'impatto ambientale ed economico, nonché le opportunità di mercato; tali informazioni potrebbe supportare le scelte sull'opportunità di demolire l'edificio, durante il processo decisionale.

### **3.4.3. Criteri Ambientali Minimi in Italia**

Su sollecitazione delle direttive europee sul *Green Public Procurement*, l'Italia nel 2008 ha approvato il *Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi della Pubblica Amministrazione*, noto come PAN GPP, che costituisce un importante strumento legislativo utile alla diffusione dell'approccio al ciclo di vita degli edifici e dei criteri di sostenibilità economica e ambientale. Parte integrante del PAN GPP sono i *Criteri Ambientali Minimi* in edilizia, definiti dal D.M. 23 giugno 2022 (GU 6-8-2022 n. 183), che identificano una serie di requisiti di carattere ambientale da prevedere durante la progettazione e realizzazione di edifici nell'ambito, appunto, degli appalti pubblici. I requisiti definiti dai CAM si pongono in linea con i più recenti documenti di indirizzo contenuti nel *Circular Economy Package* della Commissione Europea.

I *Criteri Ambientali Minimi* previsti nelle opere pubbliche costituiscono una grande opportunità per un'estesa affermazione dei principi della sostenibilità ambientale, agendo sulla riduzione degli impatti e sulla tutela del territorio, e della sostenibilità economica, promuovendo una riduzione dei costi di gestione (grazie ai criteri di efficientamento energetico), dei costi di manutenzione, nonché dei costi di demolizione, grazie alla disassemblabilità dei componenti edilizi e alla programmazione del fine vita dell'edificio. Le Pubbliche Amministrazioni attraverso l'applicazione dei CAM divengono, a loro volta, promotrici di strumenti e tecniche innovative, favorendo di conseguenza lo sviluppo e la diffusione di materiali a basso impatto ambientale e di tecnologie disassemblabili, aumentandone la competitività economica. Ciò può innescare un incremento della richiesta di mercato, una maggiore sensibilizzazione degli operatori del settore e una più facile diffusione nei processi di trasformazione dell'ambiente costruito. I CAM, infatti, costituiscono requisiti di sostenibilità che devono essere inclusi obbligatoriamente nella realizzazione di un edificio pubblico, fin dalle prime fasi di progettazione, ovvero a partire dal progetto di fattibilità tecnica ed economica.

Rispetto ai criteri inerenti la circolarità, l'Italia presenta alcune prassi di riferimento (UNI/PdR 88:2020 e UNI/PdR 75:2020), utili per verificare il contenuto di riciclato/recuperato/sottoprodotto, e per adempiere una decostruzione selettiva che favorisca il recupero (riciclaggio e riutilizzo) di rifiuti da costruzione e demolizione. Tali documenti vengono richiamati all'interno dei CAM come strumenti di riferimento per la verifica dei criteri.

Particolarmente in linea con le strategie di economia circolare è il punto "2.4.14 Disassemblaggio e fine vita" dei CAM, che prevede la redazione di un piano per il disassemblaggio e la demolizione selettiva, sulla base della norma ISO 20887 o della UNI/PdR 75. In particolare, il criterio richiede che almeno il 70% del peso dei componenti edilizi e degli elementi prefabbricati utilizzati nel progetto, esclusi gli impianti, sia sottoponibile, a fine vita, a disassemblaggio o demolizione selettiva (decostruzione) per essere poi sottoposto a preparazione per il riutilizzo, riciclaggio o altre operazioni di recupero.

A livello dei componenti edilizi, i CAM stabiliscono per ciascun materiale, identificato nei sotto punti del paragrafo "2.5 specifiche tecniche per i prodotti da costruzione", il contenuto di materia recuperata o riciclata che i materiali utilizzati nell'edificio devono avere. Ad esempio, per i calcestrucci confezionati in cantiere e preconfezionati si richiede un contenuto minimo di materie riciclate pari al 5% sul peso totale del prodotto, per i laterizi almeno del 15%, per prodotti isolanti termici e acustici si indica un differente contenuto di materiale recuperato per ciascun tipo di materiale, ovvero, per la lana di vetro il contenuto minimo deve essere almeno pari al 60% del peso totale, per la lana di roccia almeno del 15%, per il polistirene espanso estruso del 10%, ecc.

I CAM introducono inoltre criteri premianti che promuovono azioni più ambiziose rispetto alle richieste dei criteri ambientali minimi obbligatori, ad esempio l'utilizzo di una maggior quota di materiali con contenuto di riciclato e di materiali rinnovabili, l'applicazione di metodologie di ottimizzazione delle soluzioni progettuali sostenibili valutate attraverso strumenti LCA e LCC, la progettazione in BIM, ecc.

Particolarmente innovativi sono i criteri di verifica definiti al fine di provare il rispetto delle specifiche tecniche. In particolare, la verifica del criterio relativo alla gestione del fine vita (livello di edificio), prevede un "Piano di fine vita" dell'edificio in cui sia presente il peso di tutti i materiali, componenti edilizi ed elementi prefabbricati che possano essere riutilizzati o riciclati. Per permettere la verifica del criterio di disassemblabilità, è richiesto un piano di disassemblaggio che riporti un elenco dei materiali, con il relativo peso, che si possono disassemblare, recuperare, riutilizzare (compresi eventualmente gli impianti). Le suddette verifiche comportano

necessariamente una visione del ciclo di vita dell'edificio durante la fase di progettazione, nella quale si evidenzia l'influenza delle scelte tecnologiche e materiche sulle fasi di disassemblaggio, di manutenzione e di gestione di fine vita dell'edificio. Infine, per dimostrare la percentuale di materia riciclata è richiesta la presentazione di certificazioni che rendano trasparente il profilo ambientale del ciclo di vita di un prodotto e che riportino la percentuale di contenuto di riciclato del materiale, ad esempio: I) certificazioni di prodotto rilasciate da un organismo di valutazione della conformità che attesti il contenuto di riciclato attraverso l'esplicitazione del bilancio di massa, come ReMade in Italy, Plastica Seconda Vita o equivalenti; II) una certificazione di prodotto, basata sulla tracciabilità dei materiali e sul bilancio di massa, rilasciata da un organismo di valutazione della conformità, con l'indicazione della percentuale di materiale riciclato ovvero recuperato, ovvero di sottoprodotti; una certificazione di prodotto, rilasciata da un Organismo di valutazione della conformità, in conformità alla prassi UNI/PdR 88; III) etichette ambientali di tipo III, conformi alla norma UNI EN 15804 e alla norma ISO 14025<sup>7</sup>. Queste etichette ambientali o certificazioni dei processi di produzione portano l'attenzione verso la sostenibilità ambientale e la circolarità dei flussi materici a monte del processo progettuale, ovvero nella fase di produzione dei materiali. Detti strumenti, quindi implicano un impegno da parte del produttore che, in maniera volontaria, può decidere di certificare i propri materiali e processi produttivi.

Importante è anche la promozione del conseguimento di certificazioni di sostenibilità ambientale degli edifici (*Green Building Rating System*), attraverso protocolli di sostenibilità come LEED, Itaca, BREEAM, Casaclima, in quanto vengono considerati strumenti di verifica alternativi rispetto ai singoli criteri di verifica previsti per il rispetto di numerose specifiche tecniche dei CAM.

#### **3.4.4. Piattaforme di scambio materiali**

Le prime iniziative volte a quantificare e qualificare il riuso e recupero delle risorse/rifiuti e delle materie prime seconde nel settore edilizio sono state di carattere *bottom-up*, messe in campo dagli stakeholder di settore senza una specifica richiesta normativa o alcun tipo di obbligo. In particolare, alcuni soggetti della filiera hanno sviluppato *digital web-based*

7. Nella ISO 14025 rientrano le EPD (*Environmental Product Declaration*) che dichiarano le prestazioni ambientali di un prodotto, calcolate mediante uno studio LCA (*Life Cycle Assessment*), in conformità alla UNI EN 15804:2021.

*platform* per lo scambio di materiali, al fine di promuovere il riciclo, il riuso e l'estensione della vita utile dei prodotti.

Esiste un numero consistente di casi applicativi di piattaforme digitali per la mappatura di prodotti secondari, sviluppate allo scopo di facilitare la compravendita di materiali secondari mettendo in comunicazione diverse istanze del settore. Tra i casi italiani, si ricorda il progetto precursore *VAMP* (Antonini *et al.*, 2001) che ha sviluppato un sistema informatico IT per incoraggiare il riciclaggio dei rifiuti da costruzione e demolizione e il più recente progetto *Atlante Inerti* che riporta una mappa georeferenziata degli impianti di produzione di aggregati riciclati (Baiani *et al.*, 2018).

Inoltre, al fine di dare la possibilità a progettisti e utilizzatori finali di scegliere prodotti da riuso presenti sul mercato secondario, in particolare, nel nord Europa, si sono sviluppate piattaforme di scambio che stanno diventando veri e propri spazi di mercato virtuale, mettendo in circolo prodotti secondari. Un esempio è *Harvest Map* nei Paesi Bassi, che raccoglie su una piattaforma la disponibilità di materiali/prodotti secondari sul territorio; tale piattaforma è stata recentemente sperimentata anche in Italia, coinvolgendo però solo una quindicina di aziende. Esistono, poi, nel Regno Unito *Globe Chain*, *Recipro*, *Enviromate* per lo scambio di materiali secondari e *Builders-surplus* per rimettere sul mercato gli scarti di cantiere edile.

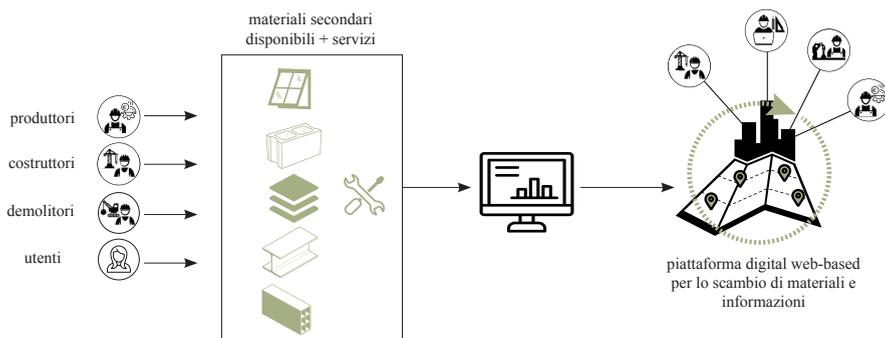


Fig. 18 – Schematizzazione del funzionamento di piattaforme di scambio materiali (fonte: elaborazione dell'autore)

Tra le piattaforme, un esempio sviluppato in Belgio è *Opalis*. Questo progetto è stato sviluppato in diverse fasi grazie al supporto di Brussels Environment, del Sustainable Materials and Energy Management Fund e

della Regione di Bruxelles-Capitale nell'ambito del Programma Regionale di Economia Circolare (PREC, misura RD15) e OVAM nella regione delle Fiandre. La piattaforma *Opalis* è stata fondata da Rotor, associazione attiva dal 2005 nel campo del riuso degli elementi edilizi, attraverso ricerche, progetti di interni con materiali di riuso, e varie collaborazioni con architetti, appaltatori e proprietari di edifici. Da gennaio 2019 la piattaforma è stata ulteriormente sviluppata nell'ambito del progetto FCRBE, grazie al supporto del programma Interreg NWE. L'obiettivo della piattaforma *Opalis* è facilitare il riutilizzo dei materiali nei progetti di costruzione e ristrutturazione; per tale scopo oltre ad identificare sul territorio i materiali secondari riutilizzabili, individua anche gli operatori che offrono vari servizi. La piattaforma mostra, infatti, una panoramica degli operatori professionali che vendono materiali da costruzione provenienti dallo smantellamento di vecchi stabilimenti o edifici, e che, oltre ai prodotti di riutilizzo, spesso offrono anche altri servizi, come smontaggio, pulizia, rigenerazione dei prodotti, personalizzazione dei componenti, consulenza specializzata. I servizi offerti da ciascun operatore sono riportati in dettaglio nelle schede descrittive.

Alcuni operatori sono specializzati nel riutilizzo di materiali specifici, mentre altri vendono diversi tipi di materiali o elementi. Gli operatori sono posizionati su una mappa interattiva e sono presentati con una pagina personalizzata con una breve descrizione e una serie di informazioni sui prodotti in vendita.

*Opalis* offre anche documentazione tecnica sui prodotti edili più diffusi sul mercato del riuso: le loro caratteristiche principali, la frequenza con cui vengono rilasciati, la disponibilità, i prezzi indicativi, ecc. La piattaforma è utile per chi ha la necessità di acquistare materiali per una nuova costruzione e vuole scegliere il riutilizzo piuttosto che il consumo di nuovi materiali. La piattaforma mostra anche alcuni esempi di recenti realizzazioni in cui i materiali di riutilizzo sono stati applicati con successo.

Questo tipo di servizio digitale, che traccia i materiali con approccio *downstream*, mette in comunicazione diversi operatori, in particolare il demolitore, che estrae i materiali stoccati nell'edificio esistente, il *re-manufacturer*, che rigenera e mette sul mercato il prodotto secondario, ed infine il progettista che ha il compito di decidere come riutilizzare tali prodotti secondari. Infatti, durante la fase di progettazione, soprattutto nei processi decisionali relativi alla scelta dei materiali, può attivarsi una nuova fase di ricerca iniziale (tramite le piattaforme digitali) per conoscere quali sono i materiali secondari disponibili nelle aree circostanti l'intervento edilizio. Per aumentare il livello di circolarità dei flussi di

materiale, il progettista può, quindi, assumere delle scelte in funzione del “campionario” di materiali che ha a disposizione, risolvendo tutte le criticità intrinseche alla possibilità di riutilizzo (numero di pezzi a disposizione, dimensione, ecc.). A titolo esemplificativo, attualmente disponibili sulla piattaforma *Opalis* sono: elementi per edilizia esterna e viabilità (es. ciottoli, cordoli, pavimenti in pietra, tegole, ardesie e rivestimenti murali); elementi per opere strutturali e involucro edilizio (es. legno strutturale, davanzali in pietra, gradini e pietrisco, componenti in acciaio, laterizi, materiali isolanti, rivestimenti e pannellature in legno); elementi di falegnameria (es. infissi e serramenti; portelloni); elementi per finiture interne (es. pavimenti in pietra, pavimenti in legno e parquet, pareti divisorie e controsoffitti, rivestimenti e pannellature in legno, piastrelle per pavimenti); attrezzature (es. sanitari, impianti tecnici, radiatori, corpi illuminanti); elementi decorativi (es. componenti architettonici d’antiquariato, lavori di carpenteria artigianale).

Indagini statistiche sul settore del riuso condotte nell’area nord europea dal progetto Interreg NWE 739 Facilitating the Circulation of Reclaimed Building Elements (che coinvolge Regno Unito, Irlanda, Paesi Bassi, Belgio, Lussemburgo e Francia) hanno mostrato che tali mercati digitali coprono attualmente un volume economico di oltre 500 milioni di euro di fatturato all’anno relativo alle vendite di materiali di recupero, contano circa 7.000 dipendenti a tempo pieno e 615.000 tonnellate di materiali stoccati. Queste tipologie di piattaforma tracciano e georeferenziano i materiali secondari disponibili, mettendo in comunicazione diversi operatori, attivando dinamiche di *remanufacturing* e recupero che estendono la vita utile delle risorse materiali già usate nel settore edilizio.

È evidente come le tecnologie digitali possano essere un mezzo di attivazione di nuovi mercati e nuovi modelli di business. In ottemperanza a queste aspettative future risulta fondamentale considerare una maggiore applicazione di procedure di valutazione che evidenzino i carichi e i benefici ambientali prodotti dai nuovi scambi di risorse. Ciò è già attuabile mediante l’utilizzo di valutazioni LCA che permettono di individuare strategie efficaci in un bilancio dell’intero ciclo di vita del prodotto. Occorre quindi cercare di ampliare il campo di applicazione delle valutazioni LCA per l’individuazione di mercati sostenibili basati sul riuso.

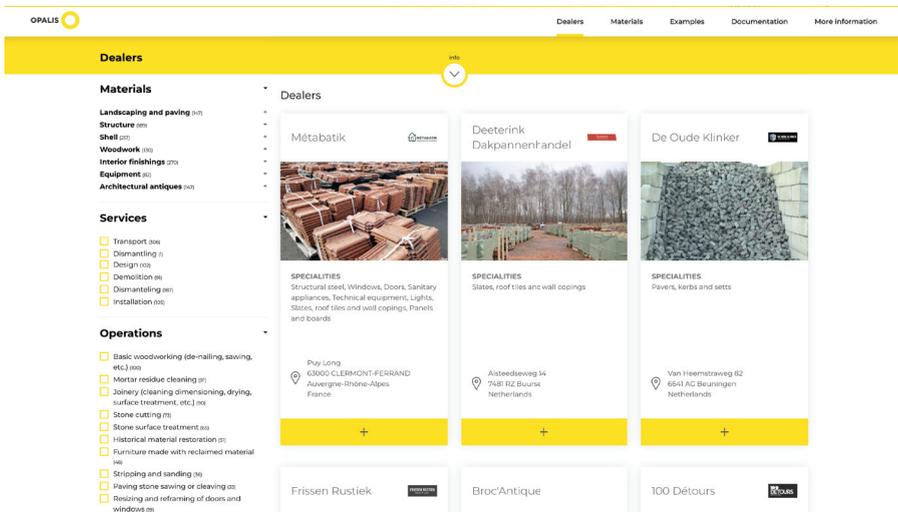
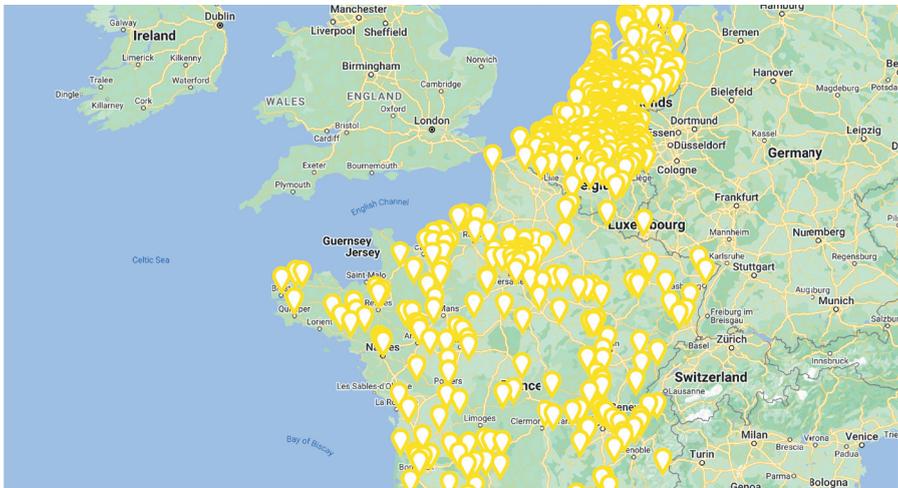


Fig. 19 – Esempi di piattaforme per lo scambio di materiali (fonte: www.opalis.eu)

## 4. Progettazione della reversibilità

### 4.1. Dall'edificio convenzionale all'edificio reversibile

Il momento fondamentale per garantire una gestione delle risorse in prospettiva di sostenibilità e circolarità è quello della fase progettuale, in cui è possibile definire le risorse impiegate non solo nella fase di costruzione, ma in tutto il ciclo di vita, inclusa la fase di fine vita.

Una progettazione attenta all'intero ciclo di vita del prodotto/edificio potrebbe prevenire e risolvere problemi tecnico-economici legati alla manutenzione e alla gestione dei rifiuti.

In questa prospettiva, le strategie progettuali mirano ad ottenere edifici flessibili, adattabili, disassemblabili, ovvero reversibili, concepiti come un insieme (temporaneo) di materiali e componenti che torneranno ad essere disponibili e riutilizzabili a fine vita utile (De los Rios e Charnley, 2017; Eberhardt *et al.*, 2019; Durmisevic, 2019; Lavagna *et al.*, 2020).

Gli edifici reversibili sono caratterizzati da scelte costruttive orientate all'utilizzo di elementi prefabbricati e modulari, tecnologie a secco e prodotti ad alta durabilità, per consentire una facile reversibilità costruttiva e consentire il riutilizzo di spazi e componenti.

Recentemente, vari studi scientifici e società di progettazione stanno cercando di definire i criteri progettuali per perseguire gli obiettivi di economia circolare in fase di costruzione, uso e fine vita dell'edificio. Analizzando la letteratura, si vuole, quindi, di seguito illustrare e sintetizzare alcuni dei fondamentali e più ricorrenti criteri di progettazione orientati all'affermazione delle strategie di reversibilità applicata alla scala di edificio.

### ***4.1.1. Progettare per l'adattabilità, la flessibilità e l'estensione della vita utile degli edifici***

In letteratura sono ricorrenti i principi di “edificio adattabile”, “edificio multispazio” ed “edificio aperto”, temi introdotti da John Habraken a partire dagli anni Sessanta che introducono approcci progettuali volti a rispondere facilmente alle eventuali necessità di modificare o adattare gli edifici, nel corso della loro vita, per soddisfare molteplici esigenze. L'obiettivo progettuale è far sì che un edificio (inteso come un intero oggetto o un insieme di elementi e materiali) abbia la possibilità di cambiare la funzione, la distribuzione interna e l'assetto volumetrico durante la sua vita. In questa visione, un ruolo importante è giocato dai concetti di modularità e semplicità di struttura e forma (Habraken, 2003; Fuster *et al.*, 2009; Schmidt, 2016; Habraken, 2017).

In termini di gestione delle risorse materiche, l'obiettivo è quello di favorire l'allungamento della vita dell'edificio e delle sue parti (e dunque dei materiali), grazie alla capacità dell'edificio di adattarsi ai cambiamenti ed evitare l'obsolescenza. Al fine di ridurre i consumi di materiali (e gli impatti connessi alla loro estrazione e smaltimento), l'obiettivo è prolungare la durata dei materiali e dei prodotti in uso, grazie a un utilizzo a lungo termine degli edifici e a una progettazione che punti alla durabilità. Materiali durevoli e standard di costruzione robusti (resilienti) possono ridurre i costi e gli impatti di manutenzione e conservare nel tempo il valore dei prodotti.

Di recente, Durmisevic (2019), nell'ambito della ricerca BAMB, ha definito in un documento le “strategie progettuali per edifici reversibili”. Durmisevic sostituisce il concetto di adattabilità con quello di “reversibilità”, poiché enfatizza l'elevata capacità di trasformazione dell'edificio associata alla capacità delle sue parti di essere modificabili, e addirittura smontabili. Secondo Durmisevic, i quattro aspetti importanti da controllare nel progetto, a livello di edificio, sono (Fig. 20):

- la dimensione dell'edificio, per ampliare le potenzialità di conformazione spaziale interna delle diverse tipologie edilizie;
- la posizione reciproca degli elementi costruttivi, ossia la posizione delle parti più durevoli della struttura rispetto alle parti più soggette a modifiche come le finiture, al fine di progettare edifici flessibili e adattabili con elevata possibilità di modificare le parti meno durevoli;
- le modalità di smontaggio degli elementi costruttivi, tramite la scomposizione funzionale a livello edilizio, e il livello di libertà nello smontaggio di parti d'opera (come facciate, solai, coperture, tramezzature e servizi), durante il processo di trasformazione, senza intaccare gli

elementi stessi e le altre parti dell'edificio, al fine di garantirne la potenziale riutilizzabilità;

- la portata strutturale e l'organizzazione del sistema distributivo, progettati per consentire un processo di trasformazione che possa ospitare altre funzioni d'uso che richiedono portate strutturali e schemi connettivi differenti.

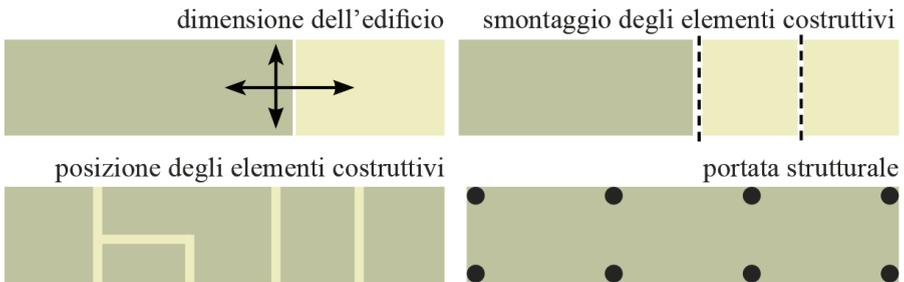


Fig. 20 – Aspetti progettuali da considerare per la realizzazione di un edificio reversibile (fonte: rielaborazione dell'autore da Durmisevic, 2019)

Ulteriori parametri progettuali che incidono sul grado di adattabilità di un edificio sono l'altezza d'interpiano e la modularità planimetrica e di facciata.

Alcuni famosi studi di progettazione, che hanno già sperimentato la costruzione di edifici che rispettino i criteri di adattabilità, hanno cercato di stabilire delle regole progettuali utili a garantire la trasformabilità degli edifici.

Ad esempio, ARUP ha sviluppato il “Concept of Adaptable Building” ovvero un edificio che possa evolvere e trasformarsi nel tempo, con possibilità di aggiunte o sottrazioni volumetriche, grazie alla progettazione delle diverse parti con approccio modulare. ARUP ha definito dei criteri, come la struttura portante a maglia regolare ed elementi centrali di distribuzione, entrambi pensati per poter essere raddoppiati nel caso in cui l'edificio debba aumentare di volumetria. A questi criteri si affianca l'attenzione alla scelta di componenti prefabbricati e soluzioni modulari ripetibili e tra esse intercambiabili. Il progetto mira all'ottimizzazione dei servizi e alla disposizione di una grande libertà in pianta per ottenere la maggiore adattabilità dello spazio.

3DRaid, studio di progettazione inglese, ha definito il “concept of multispace”, fissando le linee guida per progettare edifici facilmente adattabili

a diverse funzioni d'uso. In particolare, anche in questo caso viene sottolineata l'importanza della progettazione modulare sia in pianta sia in facciata, in modo da permettere anche una facile riconfigurazione dei pieni e dei vuoti di facciata al cambio di destinazione d'uso. Viene inoltre sottolineata l'importanza di progettare un'altezza di interpiano utile a tutte le funzioni che potenzialmente possono essere insediate nell'edificio, aggiustando quindi le altezze di volta in volta con sistemi reversibili di pavimentazione e controsoffitto (Fig. 21, 22).

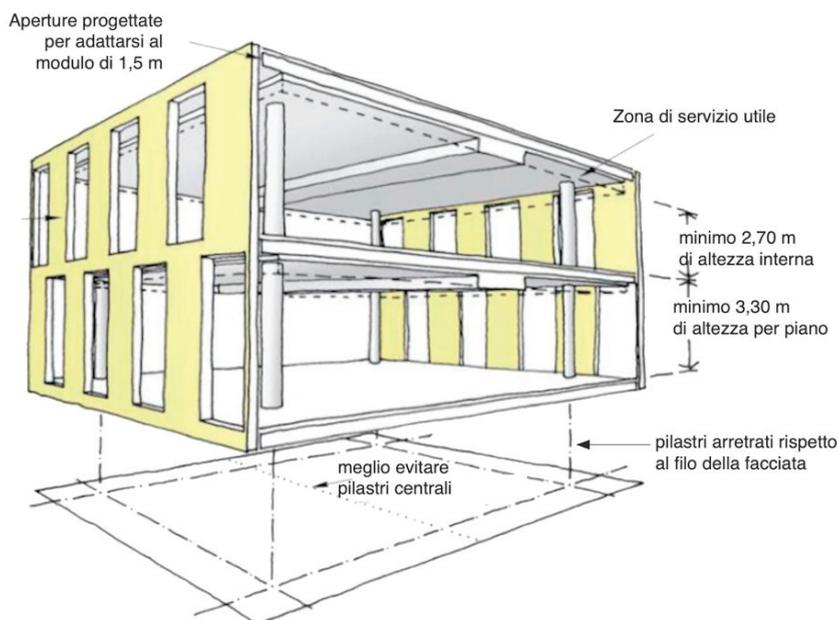


Fig. 21 – Il concept of multispace (fonte: rielaborazione dell'autore da 3DRaid)

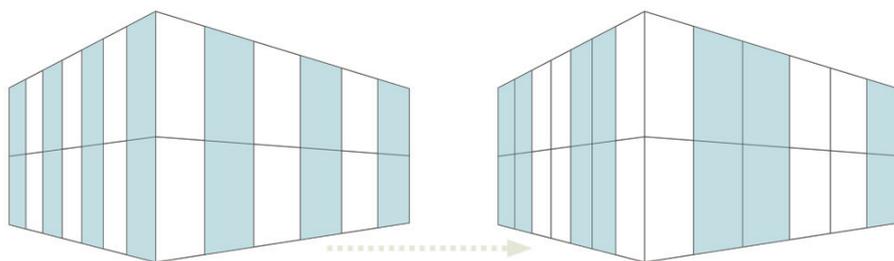


Fig. 22 – Adattabilità di facciata modulare (fonte: elaborazione dell'autore)

### **4.1.2. Progettare per il disassemblaggio**

L'applicazione di criteri progettuali per il disassemblaggio (*design for disassembly*) permette di aumentare la probabilità di mantenere integri gli elementi/componenti/materiali stoccati nell'edificio al momento di attività di trasformazione dell'edificio. Il *design for disassembly* rappresenta un processo progettuale volto ad aumentare il riutilizzo dei materiali a fine vita (Cheshire, 2016) o durante le modifiche di assetto dell'edificio, e comprende la pianificazione della fase sia di assemblaggio sia di disassemblaggio dei componenti, tenendo conto delle tecniche di costruzione e prevedendo la destinazione degli elementi e dei materiali a fine vita utile.

Secondo Rios *et al.* (2015) sebbene siano state pubblicate alcune guide che affrontano i principi del *design for disassembly* (es. ISO 20887:2020), ci sono solo pochi edifici che rispettano a pieno tale criterio.

In coerenza con tal obiettivo, il processo di progettazione deve assumere necessariamente un approccio all'intero ciclo di vita dei componenti e dei materiali, al fine di riuscire a prefigurare le tecniche e le fasi che determineranno l'effettivo smontaggio e riutilizzabilità dei singoli componenti edilizi. In questo contesto, l'utilizzo di elementi modulari, prefabbricati e assemblati a secco risulta essere maggiormente idoneo alla finalità della progettazione.

Al fine di garantire l'estensione della vita utile e la continuità di utilizzo, l'edificio dovrebbe poter essere smontato e rimontato in una nuova combinazione per molteplici volte, permettendo tre livelli di disassemblaggio: I) disassemblaggio spaziale, intesa come riconfigurazione e adattabilità dello spazio; II) disassemblaggio strutturale, intesa come sostituibilità e riutilizzo di componenti edilizi e parti d'opera; III) disassemblaggio di elementi e materiali, intesa come scomponibilità fra loro dei materiali nelle parti d'opera per favorirne il riciclo (Durmisevic e Brouwer, 2002; Durmisevic e Yeang, 2009).

### **4.1.3. Progettare senza rifiuti**

Facendo riferimento all'approccio *cradle to cradle*, obiettivo importante è eliminare il concetto di rifiuto, considerando tutti i materiali a fine vita come potenziali nutrienti per cicli tecnici o biologici (McDonough e Braungart, 2002). Questo criterio di progettazione senza rifiuti, ossia di "designing out waste", si riferisce a strategie e tecnologie che in tutte le fasi di costruzione e gestione lungo il ciclo di vita di un edificio, riescano a limitare o ad eliminare la quantità di scarti e rifiuti con lo scopo di minimizzare la quantità di risorse utilizzate, come attività preventiva, e a

reimmettere in nuovi cicli di uso, attraverso il riuso o il riciclo, gli eventuali scarti prodotti.

È possibile asserire che i rifiuti generati lungo il processo edilizio, di fatto, derivano essenzialmente da “errori” di progettazione: i rifiuti da costruzione rappresentano un’inefficienza del processo di progettazione e costruzione, i rifiuti da demolizione derivano da una mancanza di programmazione e gestione del fine vita volta a valorizzare le risorse in uscita. Pertanto, è necessario progettare e prevedere il modo di costruire senza sprechi e il modo di recuperare i materiali quando arriveranno a fine vita utile.

Nell’ambito di un processo di riqualificazione, la progettazione senza rifiuti ha diversi livelli di complessità: risulta necessario prevedere le tecniche di demolizione che permettano il maggior livello di recupero dei rifiuti da demolizione degli edifici esistenti e, al contempo, applicare i criteri progettuali che permettano la riduzione dei rifiuti da costruzione (della fase di riqualificazione) e prevedere il destino che avranno a fine vita utile i materiali utilizzati.

Tecniche specifiche, come la costruzione *off-site* di componenti modulari e assemblabili, possono aiutare a ridurre gli sfridi di lavorazione durante la fase di costruzione, riducendo altresì gli errori di costruzione in cantiere che causano rifiuti per effettuare i necessari aggiustamenti e modifiche.

#### **4.1.4. Progettare per livelli**

Per facilitare il riutilizzo, la rigenerazione e il riciclaggio di elementi/componenti/materiali, e per rispettare i criteri già descritti di disassemblaggio e riduzione dei rifiuti, è importante avere elementi concepiti per l’indipendenza tecnologica in relazione alla diversa durata di vita utile dei componenti stessi.

Attraverso il criterio di progettazione per livelli o strati, definito “building in layers”, la progettazione dell’edificio può raggiungere alti gradi di flessibilità e adattabilità (Cheshire, 2016). Separando i diversi livelli (*layer*) è possibile modificare o sostituire una parte dell’edificio senza modificare le altre parti. In questo modo, ogni elemento risulta più accessibile e tecnologicamente indipendente dalle altre parti, facilitando quindi le attività di manutenzione e trasformazione dell’edificio, allungandone di conseguenza la vita utile.

L’approccio, alla progettazione per livelli è stata originariamente introdotta a metà degli anni Novanta da Frank Duffy e Steward Brand, i quali sostenevano che la classificazione delle parti dell’edificio dovrebbe essere basata sulla previsione del ciclo di vita utile dei diversi componenti dell’edificio.

Analizzando la natura dei cambiamenti che tipicamente avviene negli edifici per uffici, Duffy ha definito le parti dell'edificio attraverso quattro livelli, le cosiddette quattro S: *Shell*, *Services*, *Scenery* e *Set* (Fig. 23). *Shell* è la struttura principale dell'edificio e ha una durata media di 50-75 anni; *Services* sono gli impianti, per esempio di cablaggio, idraulico, di climatizzazione e di comunicazione verticale (ascensori), la durata si attesta attorno ai 15-20 anni. *Scenery* è la disposizione degli spazi interni, definita dalle partizioni verticali, orizzontali e dalle relative finiture di controsoffitti e pavimentazioni, che subiscono trasformazioni ogni 5-7 anni. *Set*, è il mobilio, che viene posizionato e spostato dagli occupanti molto frequentemente.

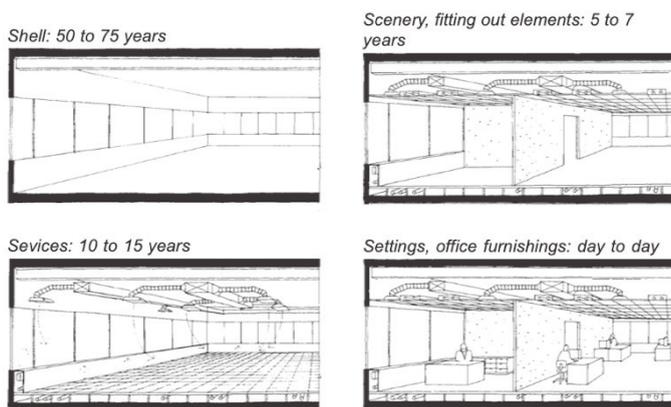


Fig. 23 – Raffigurazione dei layers dell'edificio (fonte: Duffy and Myerson, 1998)

Sulla stessa base di pensiero, sono note anche le 6S della teoria di Brand, il quale identifica gli strati di: *Site* (sito), che ha una durata eterna; *Structure* (struttura portante dell'edificio), la cui durata si può estendere a 300 anni; *Skin/Shell* (involucro edilizio, facciate), con durata di circa 20 anni; *Services* (impianti idrici, riscaldamento e ascensori), con una durata di circa 7-15 anni; *Space Plan* (divisione dello spazio, partizioni interne), con durata di circa 3 anni; *Stuff* (mobili, elettrodomestici, oggetti) di durata molto breve, misurabile in termini di giorni o mesi (Fig. 24).

Basandosi sul sistema di costruzione delle 6S di Brand, uno studio di Peters *et al.* (2017) ha indicato con quale frequenza i diversi livelli vengono modificati, in relazione alle diverse tipologie di intervento: *Stuff*, *Space* e *Services* sono i livelli che vengono modificati più frequentemente, in occasione di rinnovo degli interni, cambi di proprietà dell'edificio e processi di manutenzione; l'involucro (*Skin*) viene modificato solo nei casi di riquali-

ficazione e decostruzione; la struttura (*Structure*) viene invece modificata con bassa frequenza e solo in caso di lavori di riqualificazione e demolizione (Fig. 25).

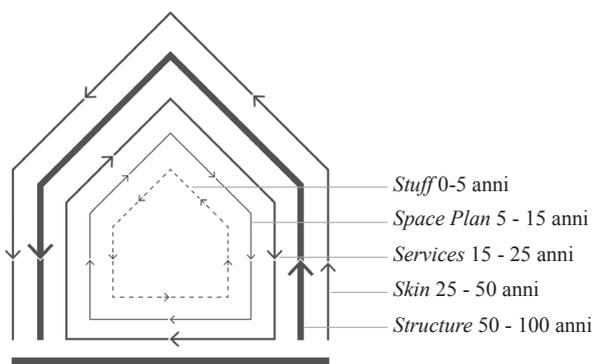


Fig. 24 – Raffigurazione delle 6S dell'edificio (fonte: rielaborazione dell'autore da Brand, 1995)

Tipo di intervento	Structure	Skin	Services	Space plan	Stuff
Rinnovo e manutenzione			×	×	×
Ristrutturazione interna		×	×	×	×
Riqualificazione totale	×	×	×	×	×
Decostruzione/ demolizione	×	×	×	×	×

Fig. 25 – Sostituzione dei diversi layer dell'edificio in base al tipo di intervento edilizio (fonte: rielaborazione dell'autore da Peters et al., 2017)

Compito dei progettisti è quello di pensare al futuro degli edifici e dei loro utilizzi, pensando alla loro potenziale trasformazione funzionale. Questo porta ad una progettazione basata su una “gerarchia delle parti”: alcune di lunga durata e altre facilmente sostituibili. Seguendo questo approccio, il progetto prefigura i cambiamenti e le manutenzioni dell'edificio già in fase di progettazione, decidendo strategie di indipendenza tecnologica tra le parti.

Inoltre, è importante tenere conto del fatto che i diversi livelli possono appartenere, altresì, a diversi fornitori e dunque potenziali proprietari (in

una logica di prodotto-servizio). Pertanto, l'indipendenza dei livelli, associata a un facile smontaggio, consente che le parti che hanno una vita utile ridotta possano essere rimosse e riutilizzate, rigenerate o riciclate.

## **4.2. La visione dell'edificio come *stock* di risorse materiche**

Il patrimonio costruito è soggetto a frequenti fenomeni di rigenerazione, dovendo soddisfare, costantemente, nuove esigenze di alloggio, di lavoro e nuove dinamiche di uso. Tuttavia, gli edifici sono generalmente progettati per la sola funzione per la quale vengono realizzati. Quando le esigenze della società o le preferenze degli utenti cambiano, questi edifici, monofunzionali, diventano obsoleti, determinando un alto tasso di edifici sfitti oppure la necessità di opere di demolizione e costruzione, che generano sprechi di materiali ancora in buono stato e il consumo di nuovi prodotti.

Come visto nei precedenti paragrafi, l'attenzione dovrebbe essere orientata a individuare soluzioni progettuali e costruttive capaci di garantire un'adattabilità nel tempo, evitando processi trasformativi demolitivi grazie a soluzioni tecniche smontabili e riconfigurabili, che riutilizzano le parti d'opera e i componenti costruttivi nel nuovo assetto.

Questo approccio porta a considerare gli edifici non solo come “banche materiali”, ma come “banche” di componenti edilizi, progettati e realizzati come elementi di alta qualità che possono essere facilmente smontati e riutilizzati per soddisfare le continue esigenze degli utenti (Fig. 26).

Eventuali parti d'opera non più utili per la riconfigurazione di un edificio, che vengono quindi rimosse tramite smontaggio, se mantenute integre e dotate di qualità prestazionali residue, possono essere riutilizzate per la costruzione o la ristrutturazione di altri edifici, riducendo così la necessità di estrarre risorse primarie, creando un ambiente costruito sinergico in continuo scambio di materiali, risorse ed informazioni.

Occorre pensare, quindi, a edifici come strutture dinamiche e trasformabili, costruite con moduli intercambiabili e componenti utilizzabili per molteplici usi. Questo approccio vede l'edificio non come un prodotto finito e statico, ma come una struttura in continua evoluzione, che riesce a soddisfare le mutevoli esigenze degli utenti e l'introduzione di nuove tecnologie (aggiornamenti tecnologici-prestazionali) nel tempo.

Questo approccio si basa su tre principali cambiamenti sistemici: cambiamento nella cultura del progetto, cambiamento nella definizione del valore, cambiamento nella collaborazione tra tutti gli attori.

I progettisti di edifici e di componenti edilizi, quindi, dovranno tenere conto di diversi scenari futuri utilizzando principi di progettazione che

supportano la trasformazione, il multiuso e lo smontaggio. Ciò permette di ottenere un patrimonio edilizio che può essere facilmente mantenuto e adattato ai cambiamenti futuri, con attività di costruzione e demolizione a rifiuti zero. A tal fine, gli elementi costruttivi e i componenti dell'edificio devono essere progettati in modo tale da poter essere smontati e riutilizzati, mantenendo al massimo livello possibile la qualità e il valore dei materiali. Ciò richiede attenzione e specifiche valutazioni per la selezione dei materiali durante la fase di progettazione e di costruzione.

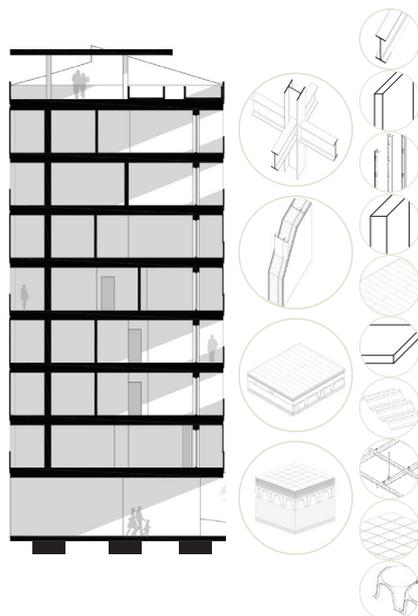


Fig. 26 – Edificio considerato come banca di materiali e di componenti (fonte: elaborazione dell'autore)

La progettazione reversibile consente di disassemblare le varie parti d'opera e i componenti edilizi per permettere il recupero e il riuso o rigenerazione di ciascun componente “stoccato” nell'edificio.

Le tecnologie costruttive (*hard technologies*) e le tecnologie digitali (*soft technologies*) applicate al progetto, rivestono un ruolo abilitante alla progettazione reversibile. Le prime riguardano le tecnologie tangibili (*hard technologies*), costituite dall'insieme delle tecniche, dei materiali, dei componenti, delle connessioni necessarie per la realizzazione dei sistemi costruttivi che compongono l'intero edificio. Esse devono essere attentamente

progettate per essere facilmente assemblabili, disassemblabili, riusabili, rilavorabili e infine riciclabili. Le seconde riguardano le tecnologie non tangibili (*soft technologies*), costituite dagli strumenti digitali di supporto alla progettazione, alla gestione delle informazioni e alla comunicazione tra operatori lungo il processo edilizio, e che consentono il monitoraggio delle informazioni nell'intero ciclo di vita e la messa in rete tra operatori delle informazioni nel tempo. Esse garantiscono l'attivazione di strategie di circolarità, grazie allo scambio di informazioni, necessario a costituire un importante tassello conoscitivo sia a supporto di analisi predittive e progettuali per il riuso, sia a supporto dell'individuazione di domanda di mercato e strategie circolari *win-win*, in termini economico, ambientale e sociale, per gli operatori della filiera edile.

#### ***4.2.1. Strategie di reversibilità e scelte progettuali e gestionali***

La fase di progettazione rappresenta la fase più importante, nella quale vengono definiti tutti gli aspetti (spaziali, tipologici e tecnologici) che permettono la capacità di trasformazione dell'edificio e i suoi potenziali riutilizzi.

Per concepire un progetto edilizio che si colloca all'interno degli obiettivi dell'economia circolare, è necessario affrontare all'unisono tutti i criteri progettuali di *design for adaptability/flexibility*, *design for disassembly*, *design the out-waste*, *building in layers* (cfr. paragrafo 4.1): ciò significa progettare per la reversibilità (*design for reversibility*).

È necessario applicare tutti i suddetti criteri progettuali, in quanto la scelta di un solo criterio non necessariamente porterebbe all'attivazione di strategie di economia circolare. Ad esempio, progettare per l'adattabilità/flessibilità spaziale (*design for adaptability/flexibility*), senza progettare per il disassemblaggio tecnologico (*design for disassembly*), eluderebbe la potenzialità di trasformazione a zero rifiuti. Inoltre, solo se costituiti da stratigrafie indipendenti, i diversi strati (*layer*) dell'edificio, possono essere cambiati autonomamente, implementando opportunamente rilavorazioni in funzione alla loro vita utile (*building in layers*).

Secondo Durmisevic (2018), disassemblabilità, adattabilità e riusabilità sono strettamente correlate attraverso un approccio gerarchico che vede la disassemblabilità come "fattore abilitante" per adattabilità e riusabilità: maggiore è la possibilità di disassemblare gli elementi con facilità, maggiore è l'adattabilità dell'edificio e la riusabilità dei singoli componenti (Fig. 27).

Durmisevic (2018) identifica tre tipi principali di reversibilità di un edificio: reversibilità monofunzionale, reversibilità transfunzionale e reversibilità multidimensionale;

- reversibilità monofunzionale: che indica la capacità di trasformare un edificio all'interno di una stessa funzione d'uso (ad esempio un edificio per uffici che può essere trasformato nel suo layout interno), intesa quindi come distribuzione spaziale;
- reversibilità transfunzionale: che indica la capacità di trasformare un edificio da una funzione d'uso ad un'altra (ad esempio un edificio per uffici che può essere trasformato in appartamento e in una scuola);
- reversibilità multidimensionale: che indica la capacità di completa trasformazione dal punto di vista sia spaziale sia funzionale (ad esempio un edificio che può essere trasformato da una funzione all'altra e allo stesso tempo può essere ridimensionato o trasferito in un'altra posizione).

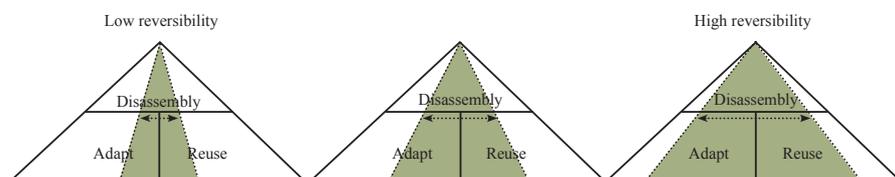


Fig. 27 – Relazione tra disassemblabilità, adattabilità e riusabilità (fonte: rielaborazione dell'autore da Durmisevic, 2018)

Si sottolinea che in un edificio concepito per la circolarità le suddette trasformazioni devono essere tragguate utilizzando e riutilizzando le stesse parti d'opera, componenti e materiali stoccati all'interno dell'edificio stesso o stoccati nell'ambiente costruito circostante.

Il progetto di un edificio reversibile interessa tutti i livelli di applicazione:

- livello spaziale, rispetto al quale il progetto prevede future configurazioni e soluzioni di adattabilità, sulla base di continui e futuri mutamenti nelle esigenze degli utenti;
- livello tecnologico dei sistemi, rispetto al quale vengono progettate parti d'opera disassemblabili, in relazione agli scenari di trasformazione previsti e ai processi di manutenzione dell'edificio;
- livello dei materiali, rispetto al quale vengono scelti materiali che garantiscono un'elevata durabilità delle prestazioni specifiche (es. meccaniche, termiche, di sicurezza) in modo tale che durante i cicli di trasformazione possono essere facilmente riutilizzabili, rilavorabili e infine riciclabili.

#### ***4.2.2. Tecnologie costruttive per la reversibilità e circolarità nel progetto (hard technologies)***

La scala della soluzione tecnologica costruttiva è determinante per permettere la reversibilità dell'intero sistema edificio.

Rispetto ai sistemi costruttivi convenzionali, che generalmente sono costituiti da soluzioni realizzate in opera, con connessioni irreversibili (come elementi annegati nel getto di calcestruzzo o elementi incollati tramite malta cementizia), i sistemi costruttivi prefabbricati e assemblati a secco, spesso, offrono un maggiore livello di disassemblaggio a fine vita, semplificando e ottimizzando il processo di costruzione e decostruzione.

Tuttavia, non è sufficiente scegliere tecnologie prefabbricate e assemblate a secco per ottenere un edificio che sia effettivamente un sistema reversibile, i cui prodotti possano essere facilmente removibili senza danneggiare altri elementi e dunque facilmente riutilizzabili. L'attività progettuale deve attentamente sviluppare in dettaglio le soluzioni costruttive, incluse le connessioni tra i vari materiali/elementi, concentrandosi sulla interdipendenza e sulla intercambiabilità che sussiste tra le varie parti dell'edificio e tra i relativi componenti.

L'interdipendenza riguarda la relazione funzionale, tecnica e fisica tra due sistemi (es. tra struttura portante e involucro) e tra le parti componenti costituenti il subsistema (nel sistema involucro, ad esempio, tra rivestimento superficiale ed elemento resistente), e significa garantire indipendenza a ciascun elemento in connessione reciproca. Alla scala del dettaglio costruttivo, occorre quindi progettare come ciascun elemento con una specifica funzione possa avere una interdipendenza tecnica e fisica. Un buon livello di interdipendenza deve permettere le modifiche di adattabilità e flessibilità (previste in fase progettuale), attraverso il riposizionamento, il ridimensionamento di alcuni componenti, senza compromettere l'integrità di altri componenti. Ad esempio, l'interdipendenza è raggiunta quando è possibile cambiare la configurazione interna o la posizione dei pieni e dei vuoti dell'involucro, evitando opere di demolizione e costruzione, ma attraverso opere di disassemblaggio e ri-assemblaggio del sistema stesso.

L'intercambiabilità consiste nella possibilità di eventuali sostituzioni degli elementi con altri uguali o analoghi per dimensione. Ciò permette sia una facile manutenzione degli elementi, e quindi l'allungamento di vita delle parti d'opera e complessivamente degli edifici, sia la possibilità di rimuovere parti e spostarle reciprocamente, grazie all'uniformità dimensionale, in modo per esempio di modificare una parte opaca con una trasparente e viceversa. Alla scala del dettaglio costruttivo, vanno quindi progettate non solo le connessioni tra elementi, ma anche l'ordine "gerarchico"

degli stessi, ovvero l'entità delle operazioni necessarie per raggiungere uno strato/elemento al fine di facilitarne la manutenzione/sostituzione. Dunque, l'indipendenza è ottenuta quando è possibile sostituire un elemento senza dover distruggere gli altri elementi, ad esso collegati, ancora in buono stato, quindi, ad esempio quando è possibile sostituire una porzione di rivestimento di facciata senza dover demolire porzioni del resto del sistema o di altri sistemi.

Interdipendenza e intercambiabilità sono entrambi fattori che abilitano il disassemblaggio dei componenti e la loro potenziale riutilizzabilità. In particolare, la facilità di montaggio e smontaggio, intesa come numero di operazioni da effettuare in cantiere, diventa fondamentale per incoraggiare la scelta al disassemblaggio rispetto alla demolizione convenzionale.

Al fine di progettare per la reversibilità occorre quindi considerare le sequenze di montaggio e smontaggio: se gli elementi possono essere smontati in una sola direzione, oppure se possono essere smontati solo a seguito della rimozione di elementi collegati, ecc. Ciò è, chiaramente, strettamente correlato alla progettazione delle specifiche connessioni tra elementi.

La figura 28 mostra, in maniera molto chiara, come la facilità di disassemblaggio sia strettamente dipendente alla geometria della connessione tra componenti, che determina le sequenze di smontaggio e il numero di operazioni che vanno effettuate per rimuovere una porzione del sistema. Ad esempio, uno stesso giunto posizionato in modo simmetrico (Fig. 28 –

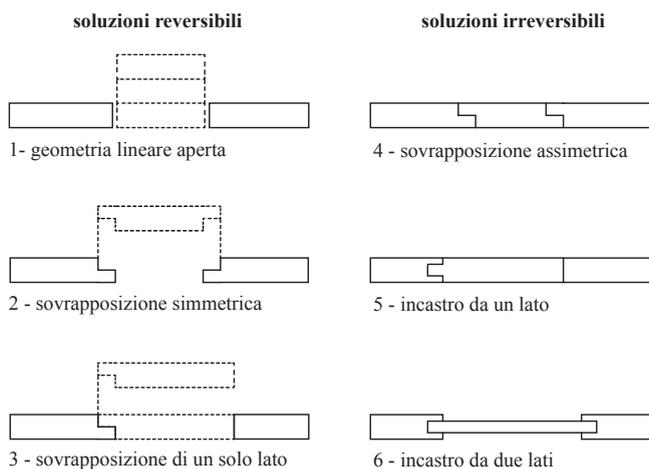


Fig. 28 – Progettazione delle connessioni a diversa geometria: aperta; simmetrica o sovrapposta (fonte: rielaborazione da Durmisevic, 2018)

connessione 2) sarà maggiormente reversibile di uno asimmetrico (Fig. 28 – connessione 4), in quanto, nonostante la geometria del giunto sia la stessa, la sequenza di smontaggio è completamente diversa: nel caso simmetrico ogni componente è liberamente reversibile, mentre nel caso asimmetrico per rimuovere un componente è necessario rimuoverne altri. Sebbene quindi, entrambi i giunti (Fig. 28 – connessione 2 e 4) siano prefabbricati ed assemblati a secco, quello asimmetrico, rispetto a quello simmetrico, determina maggiore difficoltà di smontaggio, maggiori operazioni e quindi maggiore tempo di smontaggio impiegato, e maggiore rischio di compromettere l'integrità di altri componenti.

Risulta, quindi, interessante focalizzare l'attenzione sul giunto di connessione tra due elementi, la cui geometria, come si è visto, determina l'interdipendenza (e interscambiabilità) dei componenti facenti parte l'edificio.

Al fine di ottenere sistemi reversibili, è possibile asserire che elementi modulari e standard facilitano il recupero e i processi di riuso e di rilavorazione. La modularità degli elementi dovrebbe, quindi, interessare tutti i livelli di un edificio, in modo che tutti i sistemi costruttivi diventino smontabili, ogni componente ed elemento sostituibile, riutilizzabile, rilavorabile e infine riciclabile.

### ***4.2.3. Tecnologie digitali per la reversibilità e circolarità nel processo (soft technologies)***

Le innovazioni tecnologiche che permettono la progettazione e la costruzione di edifici reversibili, efficienti dal punto di vista delle risorse e in linea con gli obiettivi dell'economia circolare, non si limitano alle tecnologie tangibili, intese come soluzioni costruttive (cfr. paragrafo 4.2.2), ma riguardano anche le tecnologie non tangibili a supporto delle fasi progettuali, della gestione dei flussi di informazioni lungo l'intero ciclo di vita dell'edificio (costruzione, utilizzo e fine vita) e della logistica circolare/inversa delle risorse.

Le tecnologie digitali sono, quindi, mezzo utile a migliorare la conoscenza e la tracciabilità dei materiali, aiutando l'attivazione di strategie di circolarità. Tecnologie digitali in grado di tracciare le caratteristiche geometriche e meccaniche dei componenti, la loro ubicazione all'interno dell'edificio (e del patrimonio edilizio complessivo), il loro valore residuo e il ciclo di vita previsto, consentono di innescare potenziali meccanismi di riutilizzo, rigenerazione o riciclaggio, prevedibili attraverso scenari di fattibilità economica (Lavagna *et al.*, 2023).

Particolarmente determinante durante la fase progettuale è l'uso dei sistemi *Building Information Modeling* (BIM), riconosciuti come una tecnologia abilitante per il monitoraggio dell'utilizzo delle risorse durante l'intero ciclo di vita, la condivisione delle informazioni tra gli operatori e la simulazione delle potenzialità di riuso dei materiali in diverse tipologie di progettazione all'inizio del progetto (Akanbi *et al.*, 2018; Akanbi *et al.*, 2019; Charef *et al.*, 2021). Infatti, come già asserito precedentemente, lo scambio e l'aggiornamento delle informazioni costituiscono elementi indispensabili per consentire l'attivazione di azioni di circolarità dei flussi di risorse e materiali.

Con l'introduzione del BIM, gli attori chiave del processo edilizio (es. architetti, ingegneri, imprese edili, *facility manager*) possono utilizzare congiuntamente e simultaneamente il modello digitale dell'edificio, noto anche come *digital twin*, per tutte le fasi di processo, ovvero durante la progettazione, la costruzione, la gestione e il fine vita. Tutte le caratteristiche dei prodotti stoccati nell'edificio, le informazioni sull'interdipendenza e intercambiabilità degli elementi e del sistema costruttivo complessivo possono essere memorizzate nel modello BIM (*digital twin*) dalla prime fasi di progettazione e costruzione e possono essere aggiornate con informazioni durante l'uso, ad esempio, per ogni attività di manutenzione o modifica drante attività di riqualificazione.

Queste informazioni possono aiutare a creare una catena di "gestione" del ciclo di vita del prodotto di grande interesse non solo per gli utenti o eventuali gestori del fine vita dell'edificio, che riescono a dare un nuovo mercato ai prodotti stoccati nell'edificio e dei quali devono trovare ricollocazione (possibilmente evitando il conferimento in discarica), ma anche per il produttore di origine dei vari componenti che, estendendo il controllo sull'intero ciclo di vita del proprio prodotto e monitorando le azioni al di fuori dello stabilimento produttivo, può innescare e ottimizzare processi di riuso/riproduzione degli stessi, responsabilizzandosi sulla gestione del fine vita del proprio prodotto. Per abilitare ulteriormente percorsi circolari e la logistica inversa dei prodotti, sono in fase di sviluppo strumenti interoperabili con il BIM e concepiti come piattaforme digitali interattive (Bertin *et al.*, 2020; Atta *et al.*, 2021; Abruzzini e Abrishami, 2022; Charef, 2022) utili a mantenere la conoscenza di tutti i materiali da costruzione a lungo termine e preservarne il valore (economico): tali strumenti sono conosciuti come *material passport* (Luscuere, 2017; Munaro *et al.*, 2019).

Un "passaporto dei materiali" è un documento digitale che elenca tutti i materiali inclusi in un prodotto, in un sistema costruttivo o in un edificio, conservando le informazioni durante l'intero ciclo di vita, al fine di facilitare

tare l'accesso a tali informazioni ai diversi operatori nella catena del valore e supportare le decisioni strategiche verso la circolarità.

A scala di edificio, l'obiettivo dei *material passport* è quello di creare una piattaforma digitale comune di conoscenza sulla quantità e l'ubicazione dei materiali stoccati in un edificio (esistente o di nuova costruzione). Di conseguenza, queste informazioni consentono di conoscere la quantità di materiali che si rendono disponibili dopo il primo ciclo di utilizzo, per un eventuale riutilizzo, rilavorazione o riciclo.

L'obiettivo di redigere un *material passport* influisce sulla fase di progettazione, in particolare sul processo operativo. L'utilizzo del BIM per la fase di progettazione definitiva ed esecutiva rende utile la preparazione di passaporti dei materiali, in quanto è necessaria un'efficace catalogazione e mappatura delle informazioni e dei materiali stoccati all'interno dell'edificio. L'uso di *material passport* attiva un processo dinamico e consapevole di co-creazione tra il progettista e i diversi operatori lungo la catena di valore, alimentato dallo scambio di informazioni. In particolare, il progettista, che ha il compito di tracciare le informazioni durante la fase di progettazione, attiva una fondamentale collaborazione con i produttori, che conoscono in modo approfondito le caratteristiche dei prodotti utilizzati, e con i costruttori che, compiendo la fase di assemblaggio, possono aiutare a fornire indicazioni opportune sulle operazioni di manutenzione e disassemblaggio.

Inoltre, i *material passport* sono stati pensati anche per attivare l'uso a catena di altre tecnologie: partendo dalle informazioni registrate attraverso l'ambiente BIM, è possibile aggiornare e implementare dati GIS (*Geographic Information System*) che a loro volta possono alimentare dati CIM (*City Information Modeling*). Ciò consente di visualizzare e monitorare le risorse stoccate all'interno dell'ambiente costruito, fornendo una base conoscitiva tale da potere analizzare e gestire con maggiore consapevolezza i flussi di risorse in entrata (nuovi materiali) e in uscita (prodotti riutilizzabili o rifiuti riciclabili) dal patrimonio costruito.

L'uso di *material passport* può consentire un'ottimizzazione logistica per l'estrazione di prodotti eterogenei da cantieri di disassemblaggio, intervenendo in maniera mirata e selezionando solo i materiali o i prodotti di interesse. Inoltre, nel caso di *reverse logistic*, è possibile ottimizzare la gestione dei prodotti, mappandone in tempo reale la distribuzione sul territorio. Infatti, tali informazioni permettono di sviluppare in modo più preciso ed efficace *digital web-based platform* per lo scambio di materiali, abilitando il riuso e l'estensione della vita utile dei prodotti, dando la possibilità a progettisti e utilizzatori finali di scegliere prodotti presenti sul mercato secondario (cfr. paragrafo 3.4.4) (Fig. 29).

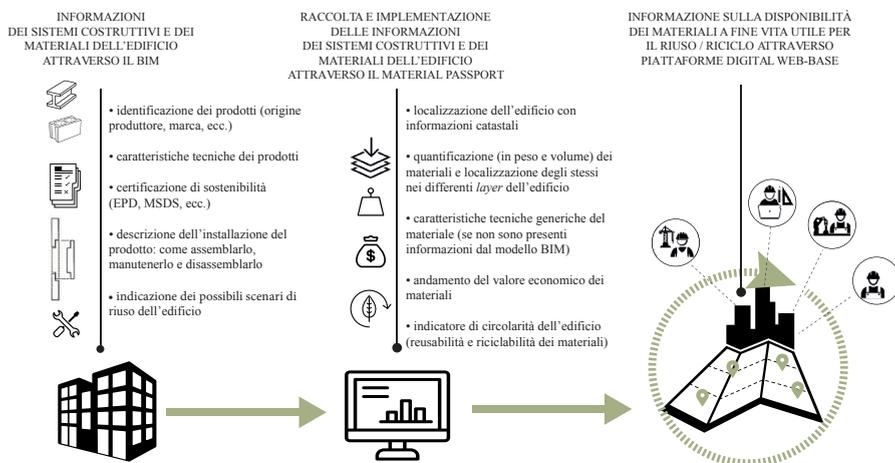


Fig. 29 – Utilizzo di material passport e digital web-based platform per facilitare il riuso dei prodotti (fonte: elaborazione dell'autore)

L'utilizzo di *material passport* e *digital web-based platform* influisce sulla fase di progettazione, soprattutto nei processi decisionali in quanto la progettazione include una nuova fase di ricerca iniziale: ad esempio, conoscendo, attraverso il *material passport*, i materiali stoccati in un edificio da riqualificare, il progettista potrà decidere più facilmente se poter riutilizzare parte di elementi già in uso; attraverso le *digital web-based platform*, il progettista potrà valutare quali sono i materiali secondari disponibili nelle aree circostanti da poter utilizzare all'interno del progetto. Per aumentare il livello di circolarità dei flussi di materiale, il progettista deve, quindi, assumere delle scelte in funzione del "campionario" di materiali secondari che ha a disposizione, risolvendo tutte le criticità intrinseche alla possibilità di riutilizzo (numero di pezzi a disposizione, dimensione, ecc.).

Attualmente trovano ancora ridotta applicazione, ma un grande interesse a letteratura, altri sistemi che possono interagire durante la fase di progettazione e poi lungo il ciclo di vita dell'edificio: essi riguardano la tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*) e i sistemi *Blockchain*.

La tecnologia RFID, attraverso l'utilizzo di *microchip* applicati su prodotti, attribuisce un'identità elettronica univoca al prodotto stesso, autenticandolo, tracciandone il ciclo di vita, seguendolo nelle fasi di produzione, distribuzione e utilizzo, mappando anche i percorsi (trasporto). La raccolta di tutte queste informazioni (*Big Data*), avviene attraverso il coinvolgimento dei molteplici attori che agiscono sulla modifica/gestione del prodotto. Le informazioni contenute nella memoria del *microchip* possono essere

modificate e aggiornate nel tempo, al fine di tenere traccia di trasformazioni o passaggi di proprietà a cui è sottoposto il prodotto durante il suo ciclo di vita. Nonostante questi sistemi tecnologici digitali, applicati in fase di progettazione e lungo il ciclo di vita dell'edificio, dimostrino grandi potenzialità, il continuo aggiornamento dell'inventario nel tempo, e quindi il mantenimento di corrette informazioni sul ciclo di vita, non è un processo facile, sia a causa del coinvolgimento di molteplici parti interessate, sia a causa del periodo temporale a lungo termine che comporta.

Per questo motivo, recentemente, tema discusso in letteratura è l'integrazione della tecnologia *Blockchain*. Essa può archiviare in modo sicuro dati sensibili per la *privacy* e aiutare a scambiare informazioni efficaci e veritiere (Turk e Klinc, 2017; Liu *et al.*, 2019), consentendo il coinvolgimento degli utenti/attori fondamentali per la gestione di edifici/prodotti. *Blockchain* è una nuova modalità applicativa della tecnologia informatica (una struttura dati distribuita, cioè replicata e condivisa tra i membri di una rete) che consente ai suoi partecipanti di trasferire direttamente risorse internet (IoT) senza terze parti centralizzate (Liu *et al.*, 2019). Ad esempio, per abilitare il processo di riutilizzo/rilavorazione, la tecnologia *blockchain* consente di comunicare direttamente prescrizioni (es. modularità, connessioni, decisioni prese in fase di progettazione) o indicazioni di montaggio, uso, manutenzione, smontaggio agli altri operatori della filiera. In questo modo l'informazione va oltre la memoria del singolo operatore e si trasmette nel tempo, anche attraverso i vari cicli di utilizzo. La condivisione delle informazioni consente un aggiornamento continuo delle conoscenze e la possibilità di prendere coscienza delle azioni svolte lungo il ciclo di vita del prodotto/edificio, in un processo di miglioramento continuo.

#### ***4.2.4. Valutazione della sostenibilità ambientale per orientare il progetto alla circolarità***

Allo scopo di orientare la fase progettuale verso strategie di economia circolare, a fianco dell'introduzione di *hard e soft technologies* emerge l'uso di metodi e strumenti a supporto delle decisioni, nella scelta tra diverse soluzioni di progetto, riguardanti la valutazione della sostenibilità.

In primo luogo, i sistemi di certificazione dell'edilizia sostenibile (GBRS – *Green Building Rating Systems*), già richiamati in precedenza, sono individuati come strumenti di supporto al progetto che possono indirizzare verso la circolarità e la sostenibilità sia le scelte di intervento progettuale sia le dinamiche organizzative lungo il processo di costruzione e demolizione (Giorgi *et al.*, 2019). Tali sistemi di valutazione della

sostenibilità (es. LEED, BREEAM, DGNB, ecc.), infatti, attraverso meccanismi premianti, favorisco lo sviluppo e la diffusione di pratiche circolari. Attualmente, il conseguimento della certificazione di sostenibilità degli edifici è una pratica volontaria, realizzata prevalentemente per le costruzioni che vogliono essere icona di sostenibilità ambientale; tuttavia, in alcune occasioni è un requisito obbligatorio per la progettazione di opere pubbliche.

Nel Regno Unito, gli appalti pubblici degli enti locali richiedono spesso un certo livello di certificazione BREEAM. Il BREEAM individua criteri specifici per l'economia circolare, non solo riguardo l'uso di materiali riutilizzati/riciclati e il riutilizzo/riciclo dei rifiuti da costruzione e demolizione ma anche relativamente al *design for disassembly*, al *design for adaptability* e all'utilizzo di *pre-demolition audit*. Allo stesso modo, in Danimarca molti appalti per edifici pubblici richiedono la certificazione di sostenibilità (generalmente DGNB), come “manifesto” di sostenibilità del patrimonio edilizio.

Nei Paesi Bassi, è importante evidenziare il lavoro svolto dal DGBC (*Dutch Green Building Council*) relativamente alla proposta di aggiunta di alcuni indicatori di circolarità al protocollo BREEAM-NL (Kubbinga *et al.*, 2018):

- progettazione per il rimontaggio, che richiede connessioni smontabili per i prodotti;
- sviluppo delle conoscenze e condivisione, che richiede l'utilizzo di *material passport*;
- linee guida per lo smontaggio dell'edificio a fine vita;
- massimizzazione della quantità di materiali riutilizzati e materiali rinnovabili.

L'uso della certificazione di sostenibilità risulta quindi una leva per le strategie di gestione delle risorse/rifiuti e per le strategie di progettazione che promuovono la circolarità. Tuttavia, è importante controllare le iniziative di circolarità applicate al progetto, che non devono prescindere da una attenta valutazione e quantificazione degli impatti derivati dall'attivazione delle iniziative di circolarità stesse.

Proprio perché non sempre i criteri ambientali sono garanzia di una effettiva sostenibilità complessiva a livello di edificio, è molto importante sottolineare che talvolta i GBRS pongono attenzione anche all'effettiva sostenibilità ambientale delle scelte progettuali/gestionali applicate, incentivando la valutazione di impatto dell'intervento tramite strumenti basati sulle metodologie *Life Cycle*.

In questa prospettiva, le metodologie e gli strumenti *Life Cycle* costituiscono un riferimento imprescindibile nella valutazione dell'effettiva sostenibilità dell'applicazione di strategie per la transizione al modello economico circolare. Sicuramente, per il settore edilizio, il *Life Cycle Assessment* (LCA, EN15978) fornisce utili indirizzi di supporto alle decisioni per la (ri)progettazione delle tecnologie costruttive e la (ri)organizzazione del processo edilizio (Lavagna, 2008)<sup>1</sup>.

La valutazione LCA può, quindi, aiutare il processo decisionale verso una progettazione circolare, identificando la potenziale riduzione dell'impatto ambientale all'interno del ciclo di vita degli edifici (Pomponi, 2017) e dimostrando gli effettivi impatti ambientali evitati dai materiali e dalle soluzioni costruttive reversibili.

La necessità di promuovere e sviluppare uno strumento decisionale in grado di prevedere e valutare diverse strategie circolari è considerata anche all'interno del lavoro svolto dalla ricerca europea BAMB (*Building as Material Banks*). La ricerca BAMB ha infatti definito il *Circular Building Assessment tool* (CBA), quale strumento decisionale per confrontare e quantificare l'efficacia delle alternative circolari rispetto alle opzioni convenzionali (*business-as-usual*). Detto strumento può valutare il riutilizzo di prodotti nell'elaborazione di un progetto e il potenziale riutilizzo dei prodotti che costituiscono l'edificio a fine vita, evidenziando i relativi benefici netti ambientali ed economici.

Lo strumento CBA supporta la fase di progettazione con una valutazione ambientale ed economica, utilizzando metodologie di valutazione LCA e LCC. In questo modo, un progettista può sapere qual è la scelta più sostenibile tra diverse opzioni volte ad aumentare il potenziale di riutilizzo e la capacità di trasformazione in tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio (assemblaggio/costruzione, manutenzione, ristrutturazione, disassemblaggio/demolizione).

Il CBA è altresì interoperabile in ambiente BIM, ha accesso diretto a dati BIM rilevanti per la valutazione, permettendo di implementare le in-

1. La Commissione europea, già dalla "Tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse" ha definito la propria intenzione ad «istituire un approccio metodologico comune per consentire agli Stati membri e al settore privato di valutare, rendere note e confrontare le prestazioni ambientali dei prodotti, dei servizi e delle aziende sulla base di una valutazione globale del loro impatto ambientale nel corso del loro ciclo di vita» (European Commission, 2011). Il *Life Cycle Assessment* (LCA) e gli strumenti correlati (*Life Cycle Cost* – LCC, *Social Life Cycle Assessment* – SLCA) sono stati riconosciuti come quelli più idonei per misurare l'impatto ambientale (economico e sociale), i danni alla salute umana e agli ecosistemi, causati da un prodotto-servizio per l'intero ciclo vita (Sala *et al.*, 2015).

formazioni all'interno del modello, ad esempio relativamente al grado di reversibilità delle connessioni. Il lavoro svolto dal progetto BAMB evidenzia, dunque, di nuovo la potenzialità nel combinare il *Building Information Modeling* con strumenti di valutazione del ciclo di vita, dimostrando l'importanza di considerare la scelta di maggiore efficacia tra molteplici opzioni progettuali.

### **4.3. Leve, ostacoli e punti di vista degli stakeholder**

Rispetto ai temi riguardanti le varie strategie per la reversibilità (*hard e soft technologies, material passports*, e strumenti di supporto *Life Cycle*), utili a convertire la progettazione edilizia tradizionale verso una progettazione edilizia circolare, è interessante capire quali sono le attuali leve e ostacoli percepiti dagli stakeholder del processo edilizio.

Anche per le strategie di progettazione (come per l'analisi delle strategie per la gestione delle risorse e dei rifiuti – cfr. paragrafo 3.2) il dialogo e il confronto con i principali stakeholder (progettisti, maestranze che agiscono lungo il processo edilizio, *policy maker*, investitori immobiliari, ecc.), provenienti da diversi Stati europei – Italia, Belgio, Olanda, Regno Unito e Danimarca – ha permesso l'individuazione di aspetti interessanti.

L'indagine mostra che gli incentivi pubblici sono maggiormente volti alla diffusione di tecnologie digitali (*soft*) piuttosto che alla promozione di nuove tecnologie costruttive (*hard*). Inoltre le innovazioni vengono sviluppate grazie ad iniziative private, guidate dalla sperimentazione e da un approccio aziendale competitivo alla sostenibilità e alla circolarità.

A livello normativo, invece, è ancora carente un quadro definitorio e regolatore relativo alla progettazione reversibile e all'uso dei *material passport*.

Di seguito vengono trattate le leve e le barriere per la progettazione reversibile, facendo riferimento a tre principali strategie: introduzione di tecnologie costruttive reversibili, introduzione di tecnologie digitali in particolare relative all'uso del BIM e dei *material passport* e applicazione dei sistemi di valutazione di sostenibilità (GBRS e LCA).

#### **4.3.1. Introduzione di tecnologie costruttive reversibili**

Attualmente lo sviluppo di tecnologie costruttive reversibili è ancora ridotto. Ad eccezione di qualche esemplare sperimentazione nell'ambito della ricerca, poche sono le aziende che stanno mettendo sul mercato soluzio-

ni che si discostano da quelle convenzionali, che trovano diffusione nella prassi costruttiva attuale. La principale motivazione che spinge i produttori a non cambiare radicalmente le soluzioni costruttive deriva dalla ridotta domanda di mercato di tecnologie che siano reversibili, e quindi adattabili, disassemblabili e riutilizzabili.

Tale mancanza trova origine nella limitata promozione e incentivazione *top-down* delle strategie reversibili. Si evince, infatti, che nel quadro legislativo delle nazioni europee analizzate manca uno specifico incoraggiamento verso la costruzione reversibile. I decisori politici mostrano difficoltà nello sviluppo di un quadro legislativo per migliorare il processo di costruzione reversibile e introdurre nuove regole di progettazione e gestione, in quanto non esiste una definizione condivisa del significato di *reversibile building*, ma solo di edificio disassemblabile, grazie al lavoro di standardizzazione che ha portato alla formulazione dei principi del *design for disassembly* (ISO 20887:2020).

Considerando le prospettive emerse dal dialogo con gli stakeholder, a fianco della mancata promozione da parte delle pubbliche amministrazioni esiste anche una barriera legata all'aspetto economico.

Attualmente, per costruire un edificio reversibile e circolare è necessario un investimento economico maggiore rispetto a un edificio tradizionale, a causa della necessità di coinvolgimento di un numero maggiore di operatori esperti durante il processo di progettazione (allungamento dei tempi di progettazione) e la necessità di utilizzare tecnologie non convenzionali in fase di costruzione (quindi talvolta più costose) (Wang *et al.*, 2018). Tuttavia, considerando il valore di mercato dell'edificio, che è determinato dal reddito che l'edificio può generare durante la sua vita utile, Wang *et al.* (2018) mostrano il vantaggio economico dell'edificio dal *design* reversibile. La flessibilità e l'adattabilità che caratterizzano un edificio reversibile possono consentire maggiori opportunità di affitto dell'edificio, aumentandone quindi il valore di mercato: ciò potrebbe essere di incentivo a breve termine per investire in un progetto reversibile. Inoltre, un altro fattore chiave della progettazione reversibile è la riduzione del rischio di investimento: l'adattabilità riduce il rischio di un basso ritorno sull'investimento o addirittura di perdite dovute alla demolizione anticipata.

Analizzando la fattibilità di una progettazione circolare e reversibile emergono alcune contraddizioni. Ad esempio dal punto di vista del progettista, un ostacolo riguarda la difficoltà a reperire sul mercato prodotti edilizi facilmente smontabili/disassemblabili e riutilizzabili; nello stesso tempo, dal punto di vista dei produttori, la scarsità di richieste del mercato di prodotti smontabili, dovuta al fatto che i progettisti prediligono le soluzioni convenzionali, limita lo sviluppo di queste soluzioni.

In questo contesto, la promozione di requisiti orientati alla realizzazione di edifici reversibili, attraverso politiche mirate, potrebbe attivare la domanda e di conseguenza l'offerta di soluzioni costruttive reversibili. Inoltre, la leva legislativa potrebbe dirimere un altro ostacolo evidenziato dagli intervistati: la difficoltà di ottenimento di autorizzazioni edilizie per edifici reversibili. Infatti, gli attuali documenti obbligatori, necessari per ottenere le concessioni edilizie dalla pubblica amministrazione, si basano su strutture statiche, senza prevedere libere e flessibili modifiche edilizie in corso d'uso. Non è quindi possibile dimostrare in un'unica concessione edilizia la possibilità di trasformazioni spaziali interne e, ancora meno, trasformazioni funzionali.

Non solo le norme devono cambiare, ma anche le modalità di gestione del processo. Gli stakeholder coinvolti nella costruzione di edifici sperimentali reversibili (ad esempio, il Circle House Project in Danimarca, il Circular Retrofit LAB in Belgio e il Circl Pavilion nei Paesi Bassi), in particolare progettisti e costruttori, evidenziano come per realizzare un edificio reversibile occorra modificare la struttura dei modelli operativi e organizzativi.

In un processo di costruzione tradizionale, la maggior parte degli operatori è abituata a prendere molte decisioni lungo il processo di costruzione, passo dopo passo, sulla base di una serie di fasi svolte da diversi operatori, che collaborano in modo 'verticale'. In un processo di costruzione reversibile, sin dalla fase iniziale sono necessarie molteplici interazioni tra i soggetti coinvolti. Il processo decisionale si basa su una co-creazione tra proprietari, progettisti, costruttori e produttori, che collaborano in modo "orizzontale". In questo caso, la fase di progettazione gioca un ruolo importante e i tempi di progettazione generalmente si allungano, per poter definire in anticipo tutti i dettagli (tecnologie costruttive reversibili e strategie per ottimizzare i flussi di materiale). Il tempo necessario per la fase di costruzione, però, è più breve perché meglio pianificato. Dalle esperienze di costruzione di edifici reversibili è emersa quindi l'utilità dell'introduzione di un *key-expert-operator* (ruolo rivestito da una persona esperta o da un'azienda di consulenza) che possa gestire e seguire l'intero processo circolare, dall'inizio della progettazione alla realizzazione finale, al fine di garantire il rispetto di tutti gli obiettivi circolari programmati dall'origine del progetto.

Il dialogo con gli stakeholder ha fatto affiorare una preoccupazione generale per gli impegni che il cambiamento tecnologico comporta nella pratica, oltre che alla mancanza di consapevolezza sui vantaggi offerti dalle nuove tecnologie e a una generale difficoltà nell'individuare il beneficio. Inoltre, è emersa la necessità di accrescere le competenze degli operatori coinvolti, attraverso specifici corsi di formazione. A ciò si affianca la difficoltà delle medie e piccole imprese (PMI), sia nell'ambito di studi di

progettazione, sia delle imprese di costruzione, di sostenere la richiesta di risorse economiche e di tempo necessario per acquisire tecnologie e operatori specializzati.

Per ottenere un processo di costruzione reversibile, è necessario rafforzare diversi aspetti. In primo luogo, è necessario incentivare (economicamente) gli investitori a preferire un edificio reversibile, incoraggiando una riflessione sul ciclo di vita dell'edificio. È necessario aumentare la consapevolezza degli stakeholder sulle opportunità economiche e ambientali dell'allungamento della vita dell'edificio e dei prodotti che lo costituiscono. In secondo luogo, è necessario incentivare (economicamente) le aziende/industrie verso la produzione di prodotti edili disassemblabili e diffondere la conoscenza relativa alle pratiche di montaggio e smontaggio. In terzo luogo, è necessario incoraggiare un processo di costruzione che crei relazioni tra le parti interessate (in particolare progettisti, costruttori, produttori e demolitori) al fine di condividere conoscenze e informazioni sulle strategie reversibili, dall'inizio del progetto e lungo l'intero processo edilizio.

#### ***4.3.2. Uso del BIM e dei material passport***

L'uso del BIM durante la fase di progettazione consente un'efficiente condivisione delle informazioni lungo tutta la catena di approvvigionamento, riducendo il rischio di errori di progettazione dell'edificio e sprechi durante la fase di costruzione.

Ci sono alcune misure politiche che hanno imposto l'uso del BIM durante la fase di progettazione, in particolare per quanto riguarda l'edilizia pubblica.

Ad esempio, la Danimarca, attraverso il "Regolamento ICT" n. 118 del 06-02-2013 e n. 119 del 07-02-2013, stabilisce l'obbligo di presentare modelli edilizi digitali per gli appalti pubblici che superano un limite di spesa. Le aziende che vogliono fare offerte per appalti edili statali, regionali o municipali devono soddisfare i requisiti richiesti relativi ai modelli digitali. In base ai requisiti da soddisfare, le informazioni digitali relative al progetto devono essere elaborate durante la fase di costruzione e organizzate come documentazione del progetto di costruzione e come base diretta per la futura gestione dell'edificio.

Anche l'Italia, a seguito del Decreto Ministeriale 560/2017, nell'edilizia pubblica, considera obbligatorio l'uso degli strumenti digitali BIM, al fine di permettere l'interoperabilità e l'utilizzabilità delle informazioni del progetto edilizio, da parte di ogni operatore, durante il processo di progettazione, costruzione e gestione. L'uso obbligatorio del BIM riguarda i progetti che superano un certo limite di costo. Questo limite di costo dimi-

nuisce ogni anno ed entro il 2025 interesserà la maggior parte dei progetti pubblici.

Un altro esempio riguarda il Regno Unito che, dal 2016, attraverso la *Government Construction Strategy 2016-20*, ha stabilito l'obbligo di incorporare e incrementare l'uso di modelli BIM negli appalti di edilizia pubblica, chiedendo un 3D BIM Level 2, per facilitare la riduzione dei rifiuti da costruzione.

A seguito della spinta legislativa, l'uso del BIM è abbastanza diffuso nella pratica attuale, ma le reali potenzialità della progettazione BIM, finalizzata a mappare le informazioni lungo il ciclo di vita dell'edificio e aumentare il coordinamento tra gli operatori, non sono sfruttate appieno.

Identificati come strumenti interoperabili con il BIM, i *material passport* destano interesse da parte degli operatori, ma anche molteplici dubbi. In generale progettisti e *facility managers* comprendono le potenzialità dei *material passport*, ma non risulta chiara la procedura di applicazione concreta e gli impegni dei soggetti responsabili alla redazione e aggiornamento degli stessi.

Nessuno Stato europeo, infatti, ha già introdotto una legislazione sull'uso obbligatorio dei *material passport*, poiché mancano sia una definizione comune sia strumenti/sistemi armonizzati.

L'uso di *material passport* è stato promosso invece da iniziative private come *Madaster* in Olanda e nell'ambito del progetto BAMB (Horizon 2020) in Belgio. Conoscere e preservare il valore (economico) potrebbe essere un ulteriore guadagno per la vendita dei materiali stoccati nell'edificio al termine della sua vita utile: questo concetto è molto interessante per investitori e proprietari di immobili. La consapevolezza del valore di fine vita di un edificio può condizionare la fase decisionale di investimento e la fase progettuale verso soluzioni che aumentino il mantenimento del valore e la durabilità delle risorse, consentendo al mercato di cogliere opportunità per nuovi modelli di *business* circolari.

Il dialogo aperto con gli stakeholder della filiera edilizia ha permesso di evidenziare che, accanto a un primo interesse per l'innovazione del settore delle costruzioni, soprattutto da parte dei giovani imprenditori, vi è una generale preoccupazione per gli impegni che il cambiamento tecnologico comporta nella pratica.

La principale preoccupazione di studi di progettazione, associazioni di imprese edili e ordini degli architetti riguarda la diversa capacità di introdurre nuove tecnologie, in base alla dimensione aziendale. Infatti, l'introduzione dell'uso del BIM e dei *material passport* implica la necessità di aumentare la capacità tecnologica digitale di tutti gli operatori coinvolti, talvolta attraverso specifici corsi di formazione a pagamento. È chiaro che

le medie e piccole imprese (PMI), molto diffuse sul territorio nazionale (e che fanno parte determinante dell'economia nazionale) si sentono minacciate e, senza alcun sussidio nazionale, incapaci di sostenere la richiesta di risorse economiche e di tempo necessario ad acquisire le tecnologie e il personale specializzato. Di conseguenza, le PMI temono di non poter rimanere competitive sul mercato delle costruzioni e di essere destinate a scomparire.

Inoltre, le parti interessate sottolineano che la capacità di apprendere l'uso delle nuove tecnologie è generazionale; quindi, l'innovazione digitale crea spesso un divario tra le generazioni, causando una perdita di trasmissione delle conoscenze e delle competenze.

Inoltre, gli stakeholder sottolineano che prima di attivare strategie di circolarità necessitano di comprendere in anticipo il vantaggio economico delle scelte circolari ed avere la certezza di una rete chiara di operatori con cui poter collaborare, nonché una domanda di mercato definita. Di conseguenza, è necessario introdurre modelli formativi accessibili e inclusivi per consentire alle imprese di tutte le dimensioni di stare al passo con l'innovazione tecnologica digitale e alla PA di essere in grado di svolgere il fondamentale ruolo di valutazione e controllo delle pratiche circolari e sostenibili.

In particolare, quando l'introduzione della tecnologia digitale è richiesta a livello normativo (come nel caso del BIM, o l'uso della valutazione LCA – cfr. paragrafo 4.3.3), il successo dell'innovazione di processo dipende anche dalla capacità di verificarne la corretta applicazione da parte delle autorità governative. Tuttavia, sovente le stesse Pubbliche Amministrazioni (PA) non sono formate per avere le competenze per controllare il corretto svolgimento dell'innovazione di processo. Per affrontare la transizione digitale, spesso le stesse PA evidenziano le limitate capacità informatiche, la necessità di semplificazione della normativa, la scarsità di risorse finanziarie e la carenza di informazioni sulla scelta di azioni prioritarie nel contesto attuativo.

### ***4.3.3. Applicazione dei sistemi di valutazione di sostenibilità***

Molti stakeholder, in particolare progettisti, costruttori e demolitori hanno evidenziato che l'utilizzo delle certificazioni di sostenibilità GBRS e l'applicazione di valutazioni LCA in fase di progetto, costituiscono una leva importante per attivare un processo di costruzione più attento alle strategie di circolarità e di sostenibilità, in particolare: influenzando la scelta verso soluzioni costruttive che utilizzano meno materiale e con minori

impatti ambientali; influenzando la scelta delle diverse tipologie di demolizione e la destinazione finale dei materiali edilizi (es. riutilizzo o riciclo) per promuovere l'efficienza delle risorse; promuovendo la tracciabilità dei materiali in ingresso e in uscita dal cantiere e incentivando una gestione circolare dei flussi.

L'indagine nei diversi contesti europei mostra che sebbene le metodologie di valutazione della sostenibilità siano riconosciute a livello internazionale e richiamate dalla Commissione europea, la loro integrazione appare limitata nel processo di progettazione. Gli ostacoli che limitano l'applicazione delle valutazioni di sostenibilità sono in particolare legate alla mancanza di conoscenza tecnica e comprensione degli strumenti e dei protocolli stessi da parte degli operatori.

La diffusione della valutazione della sostenibilità attraverso l'utilizzo di strumenti volontari (certificazione di sostenibilità LEED, BREEAM, ecc.) e valutazione LCA, trova una leva nella competitività tra le aziende (approccio *bottom-up*).

Negli ultimi anni, le iniziative *bottom-up* sono state facilitate attraverso lo sviluppo di strumenti di valutazione della sostenibilità *Life Cycle* (es. diffusione di strumenti *open-source* LCA) messi a disposizione di progettisti o stakeholder, di facile utilizzo, compatibili con le tecnologie digitali impiegate lungo il processo di progettazione come il *Building Information Model* (BIM) e altri *software* di modellazione termica (Röck *et al.*, 2018; Cavalliere *et al.*, 2019; Tam *et al.*, 2022).

Ad esempio, diverse nazioni europee hanno già sviluppato e diffuso *software* LCA, conformi agli standard EN 15804 ed EN 15978 utili ai progettisti, come *Legep* per la Germania, *Ecosoft* per l'Austria ed *Elodie* per la Francia, o stanno sviluppando *software* LCA per la valutazione in specifico di strategie circolari in edilizia, come *Totem* in Belgio.

Questi strumenti di valutazione della sostenibilità *Life Cycle*, già sul mercato o in fase di diffusione, generalmente sono destinati al progettista, che svolge un ruolo chiave nelle scelte, e sono utili durante la fase decisionale della progettazione per confrontare e quantificare la sostenibilità economica e ambientale di diverse alternative progettuali e di diverse strategie per la circolarità, come il riuso di componenti e l'uso di tecnologie reversibili. Tali strumenti semplificano il processo di valutazione ed analisi dei risultati, avendo un database interno e aspetti metodologici prestabiliti, come i metodi di allocazione, di normalizzazione e di calcolo degli indicatori ambientali.

Tuttavia, è da sottolineare che questi *software* si presentano agli utilizzatori come modelli *black box*, in quanto l'utente non conosce effettivamente come i risultati siano stati generati e spesso vengono utilizzati in

modo “compilativo”, non in fase decisionale ma a valle delle scelte progettuali.

Interviste dirette agli operatori del settore edilizio, hanno sottolineato che la sola strategia di promozione *bottom-up* degli strumenti *Life Cycle*, attraverso lo sviluppo e la diffusione di *tools user-friendly*, è ancora poco efficace. Risultano, infatti, pochi i progettisti che introducono nel processo edilizio una valutazione *Life Cycle* in quanto, se non vi è una specifica richiesta da parte del committente, è rara la decisione da parte del progettista di investire tempo e denaro per compiere questo genere di valutazione nelle scelte progettuali.

Le iniziative politiche che impongono l'utilizzo di tale valutazione, con un approccio di incentivazione *top-down*, hanno una efficacia maggiore.

Le PA possono avere un ruolo fondamentale, fornendo incentivi finanziari o richiedendo lo svolgimento di una valutazione della sostenibilità durante il processo di progettazione, ad esempio, per assegnare sussidi per la ristrutturazione di edifici, per giustificare la motivazione della scelta tra diversi interventi edilizi, per accedere ai permessi di costruzione in base al livello degli impatti ambientali calcolati.

Nell'ambito della transizione all'economia circolare, alcuni Stati membri, a livello legislativo, hanno promosso la diffusione dell'applicazione dei sistemi di valutazione di sostenibilità durante la fase progettuale, attraverso la richiesta di soddisfare requisiti obbligatori o stimolando processi volontari premianti. Ad esempio, nei Paesi Bassi, attraverso il decreto legislativo *Milieuprestatieberekening van gebouwen* (art. 5.8 e 5.9), denominato MPG, è richiesto come requisito obbligatorio il calcolo dell'impatto ambientale dell'edificio (cfr. paragrafo 4.4.1). In Italia, l'incentivo alla certificazione tramite GBRS e all'applicazione di valutazioni LCA è stato introdotto nel processo edilizio dal Green Public Procurement (D.Lgs. 50/2016) e dai relativi Criteri Ambientali Minimi – CAM. Nella prima versione CAM si faceva riferimento alla LCA attraverso la richiesta di EPD (Dichiarazioni Ambientali di Prodotto) che si basano sulla valutazione LCA, per dimostrare il rispetto di alcuni criteri CAM obbligatori relativi ai prodotti edilizi. L'aggiornamento del CAM, definito dal D.M. 23/06/2022 (GU n. 183 del 6/8/2022), ha incentivato l'utilizzo della LCA con una logica premiante, attribuendo crediti aggiuntivi alle imprese di progettazione e alle imprese di costruzione che utilizzano la valutazione LCA come strumento di supporto alle decisioni, per dimostrare la scelta di soluzioni maggiormente sostenibili rispetto al progetto di fattibilità tecnico economica, nelle gare pubbliche.

#### **4.4. Buone pratiche e strumenti di supporto per l'implementazione di strategie di circolarità lungo il progetto e processo edilizio**

Nell'ambito delle strategie di circolarità lungo il progetto e processo edilizio le varie attività di ricerca compiute dal 2019 ad oggi, e che hanno visto il coinvolgimento di stakeholder provenienti da diverse nazioni europee, hanno messo in luce alcune buone pratiche. Si nota che le pratiche maggiormente diffuse riguardano, però, la sola sfera delle tecnologie non tangibili (*soft technologies*) volte a promuovere la valutazione della sostenibilità ambientale (LCA) nell'ambito delle politiche di economia circolare e a migliorare la circolarità dei flussi materici (*material passport*).

La limitata diffusione di tecnologie costruttive reversibili (*hard technologies*) deriva dal fatto che esse sono ancora poco incentivate (se non ostacolate) in ambito legislativo e, quindi, restano ancora limitate a iniziative progettuali private o finanziate a scopi sperimentali e di ricerca, senza grande diffusione sul mercato e nella pratica.

##### **4.4.1. L'esempio di MPG in Olanda e MMG in Belgio**

In Olanda costituisce una buona pratica, potenzialmente replicabile e trasferibile in altri contesti geografici, la *policy* che mira alla riduzione del 50% del consumo delle risorse naturali vergini entro il 2030 e del 100% entro il 2050, attraverso il raggiungimento di un'economia basata su un modello circolare a ciclo chiuso (Ministry of Infrastructure and the Environment and the Ministry of Economic Affairs, 2016).

Nell'ambito di questa *policy* è stata rafforzata la normativa riguardante il calcolo della prestazione ambientale degli edifici. L'utilizzo dello strumento LCA, in questa nazione infatti, è richiesto dal 2012 per decreto legislativo (*Milieuprestatieberekening van gebouwen*, art. 5.8 e 5.9), che impone l'obbligatorietà di dichiarazione delle prestazioni ambientali degli edifici (MPG – *Milieuprestatie Gebouwen*) per nuove abitazioni e edifici per uffici con superficie maggiore di 100 m<sup>2</sup>, appunto tramite l'analisi del ciclo di vita LCA.

Tale obbligo costituisce una risposta agli effetti perversi innescati dall'applicazione della legge sul raggiungimento di un'alta prestazione energetica degli edifici (EPG), che ha portato ad un uso diffuso di materiali ad alte prestazioni aventi, in genere, elevati impatti ambientali. Le azioni promosse dal governo olandese mirano pertanto a sollecitare una valutazione di sostenibilità ambientale basata sull'intero ciclo di vita dell'edificio, richiedendo contemporaneamente un'ottimizzazione delle prestazioni am-

bientali relative alle fasi di uso dell'edificio (con le misure previste nell'ambito di EPG) e delle prestazioni ambientali relative alle fasi di reperimento delle materie prime, costruzione, manutenzione, fine vita e trasporti (con le misure previste nell'ambito di MPG). Dopo una prima fase di applicazione sperimentale, dal primo gennaio 2018, è stato applicato per legge un valore limite massimo di impatto ambientale che gli edifici in questione devono rispettare. In prospettiva di economia circolare, il calcolo MPG considera la frequenza di sostituzione dei materiali e la manutenzione durante la vita di un edificio. Inoltre, il governo sta studiando la possibilità di ampliare la portata del requisito a tutti gli edifici di nuova costruzione e in ristrutturazione/trasformazione e di completare il metodo di valutazione con ulteriori indicatori di costruzione circolare come lo smontaggio e la riparabilità.

La dichiarazione delle prestazioni ambientali degli edifici (MPG) deve essere effettuata tramite l'analisi del ciclo di vita LCA, utilizzando i dati ambientali del National Environmental Database (NMD), che è costituito da un database di EPD nazionali e da un database Ecoinvent armonizzato al contesto olandese per i prodotti privi di EPD. Stichting Bouwkwaliiteit (SBK) (Institution for Construction Quality) ha sviluppato l'infrastruttura tecnica del database e ha il compito di ispezionare i dati immessi nel NMD.

Anche il programma politico sull'economia circolare nel settore edilizio delle Fiandre prevede, tra i principali punti di azione, la riduzione degli impatti ambientali degli edifici partendo da una valutazione a monte delle potenzialità di riuso/riciclo dei materiali stoccati nell'ambiente costruito. Detto obiettivo ha come finalità l'introduzione obbligatoria della valutazione ambientale degli edifici (nuovi o riqualificati) attraverso l'analisi LCA, anche al più ampio fine di controllare e quantificare gli impatti ambientali dell'attività totale di *urban mining*, intesa come recupero e rimpiego dei materiali stoccati nel patrimonio edilizio esistente per sostenere le nuove attività edilizie.

Pertanto, al fine di ottenere una uniforme e coerente analisi del ciclo di vita, il programma ha promosso lo sviluppo del sistema nazionale MMG – *Milieugerelateerde Materiaalprestatie Gebouwelementen* (De Nocker *et al.*, 2018), ovvero un metodo di calcolo condiviso e semplificato per ottenere l'impatto ambientale degli edifici conforme al metodo LCA (EN 15978:2011), stabilendo le formule per quantificare le attività di riuso e riciclo. Al fine di misurare le prestazioni ambientali degli edifici, dal 2014 è stato quindi promosso lo sviluppo di una metodologia condivisa di calcolo degli impatti (MMG) e, dal 2018, è stato messo a disposizione uno strumento semplificato specifico, chiamato TOTEM, acronimo di *Tool to Optimise the Total Environmental impact of Materials*, basato sulla metodologia LCA (OVAM, 2018).

Questo strumento è finalizzato a supportare progettisti, investitori e responsabili politici nel confrontare soluzioni tradizionali con soluzioni “circolari”, paragonando, ad esempio, l’utilizzo di materiali nuovi con quelli riusati/riciclati attraverso la valutazione dell’impatto ambientale sulla base di un metodo scientifico e neutro (metodo LCA).

Per facilitare la comprensione dei risultati LCA, è interessante sottolineare che sia la legislazione olandese sia la legislazione belga hanno adottato un metodo di monetizzazione, per la trasformazione degli indicatori di impatto in un unico valore economico chiamato *shadow cost*, espresso in €/m<sup>2</sup> anno (Van Gemert, 2019).

La metodologia della monetizzazione degli impatti (ISO 14008) viene spesso adottata per pesare e semplificare i valori di impatto in un unico valore, al fine di facilitare la comunicazione a portatori di interesse e decisori.

Ciò significa che il valore di ogni categoria di impatto ambientale viene moltiplicato per il relativo valore economico, detto *shadow cost*: i valori di ogni categoria di impatto possono quindi essere sommati tra loro in un unico risultato pesato. Il *shadow cost* viene infine diviso per la vita utile dell’edificio e per la superficie lorda pavimentata dell’edificio, ottenendo un valore *shadow cost* espresso in €/m<sup>2</sup> anno (Van Gemert, 2019).

La monetizzazione degli impatti ambientali è ancora molto discussa sia per gli aspetti metodologici, sia per le potenzialità di applicazione. Secondo alcuni studiosi (Isacs *et al.*, 2016; Pizzol *et al.*, 2015) la valutazione monetaria presenta molti vantaggi poiché la restituzione dei costi delle esternalità del consumo di risorse, materiali e prodotti potrebbe innescare una leva economica per l’attuazione di strategie di sostenibilità. Inoltre, la monetizzazione permette di leggere e comprendere gli impatti ambientali attraverso un indicatore unico, comprensibile a tutti gli stakeholder, di estremo interesse, soprattutto nell’ambito dell’economia circolare dove la questione economica è al centro, e potrebbe costituire il punto di raccordo tra aspetti economici e aspetti ambientali.

Di contro, è necessario sottolineare come la monetizzazione degli impatti ambientali rischia di veicolare il falso messaggio che possa sempre e comunque essere attribuito un valore monetario al capitale naturale e agli impatti su di esso. Occorre evitare il rischio che nell’immaginario collettivo si generi l’idea che compensazioni economiche pari al valore monetario degli impatti ambientali possano adeguatamente far fronte e porre rimedio alle esternalità negative ambientali generate.

Richiamando le teorie di Robert Costanza (2014) riguardanti il valore economico dei servizi ecosistemici, occorre sempre tener presente che il denaro deve essere usato solo come denominatore comune per comunicare

dei risultati alle persone, facendo attenzione a non trasmettere l'idea che i servizi ecosistemici abbiano un valore economico e quindi possano rientrare nelle dinamiche di mercato.

#### 4.4.2. *Il material passport di edificio e la piattaforma Madaster*

Il progetto *Buildings as Material Banks* (BAMB) è stato pioniere nella sperimentazione dei *material passport*, ovvero strumenti digitali, interoperabili con ambiente BIM, in grado di raccogliere l'insieme di dati che descrivono le caratteristiche dei materiali e dei componenti che costituiscono un edificio (Mulhall *et al.*, 2017). In particolare, secondo quanto definito da BAMB, i produttori dovrebbero alimentare una piattaforma condivisa e accessibile (*material passport platform*) per mettere a disposizione di progettisti, gestori del patrimonio edilizio e utenti finali, tutte le informazioni utili per la gestione dei materiali stoccati nell'edificio.

Un *material passport* di edificio deve raccogliere molteplici informazioni utili all'identificazione nel tempo dei prodotti presenti nell'edificio (es. nome dell'azienda di produzione, marca/modello di prodotto, ecc.); inoltre costituisce una sorta di archivio di tutte le schede tecniche dei prodotti, le informazioni sull'uso e manutenzione, e le informazioni su assemblaggio e disassemblaggio. Un *material passport* deve collezionare inoltre, se presenti, le informazioni ambientali dei prodotti, reperite da EPD (*Environmental Product Declaration*) e quelle di tutela della salute e sicurezza delle persone, reperite da MSDS (*Material Safety Data Sheet*) dei prodotti. Infine, un *material passport* contiene le indicazioni per i futuri usi dei prodotti, ad esempio se sono stati progettati per essere riutilizzabili e per quanti cicli, se sono rilavorabili o riciclabili.

Pur essendo l'applicazione dei *material passport* nel settore edilizio ancora scarsa e in fase iniziale (Munaro e Tavares, 2021), costituisce però una buona pratica l'innovazione introdotta dalla Fondazione *Madaster*, in Olanda, che ha sviluppato una piattaforma interattiva con file sorgente BIM, per l'archiviazione e lo scambio di dati relativi a materiali, componenti e prodotti stoccati negli edifici. Gli utenti primari sono i progettisti, i proprietari degli edifici e i *facility manager* che grazie alla piattaforma possono generare dei passaporti (intesi come libretti informativi) di un edificio.

Esempi concreti di edifici dotati di *material passport* sono i progetti dello studio di architettura RAU Architects, come *Alliander Headquarters*, tra i primi edifici censiti nella piattaforma, e la nuova sede di *Triodos Bank*, recente esempio per il quale la generazione del *material passport*

in *Madaster* è stata eseguita in maniera il più possibile accurata attraverso una collaborazione integrata tra tutti gli operatori nel processo di sviluppo e costruzione.

Lo scopo dell'iniziativa *Madaster* è quello di dare un'identità a tutti i materiali, poiché «i rifiuti sono materie prime senza identità» (Rau e Oberhuber, 2019). *Madaster*, infatti, si dichiara come il catasto (in inglese *cadaster*) dei materiali. Rau e Oberhuber (2019) paragonano *Madaster* ad un archivio bibliotecario: in una biblioteca, sebbene allo stesso tempo molti libri si trovino in diversi luoghi della città (nelle case, negli uffici, nelle scuole), la quantità di libri totale è conosciuta e viene monitorata la loro ubicazione e il loro utilizzatore. In questo modo la collezione di libri può rimanere intatta e condivisa per generazioni.

La piattaforma *Madaster* mira, quindi, a mappare l'intero patrimonio immobiliare olandese, in modo da conoscere la disponibilità per il riuso e riciclo dei materiali stoccati nell'ambiente costruito. In questo contesto, questa tecnologia digitale diventa un mezzo abilitante per supportare reti circolari in cui gli stakeholder possono operare in un "ambiente" in cui la condivisione e la comunicazione delle informazioni facilitano l'intera catena di fornitura, lungo l'intero ciclo di vita dei prodotti.

Parallelamente, è ancora necessario migliorare l'integrazione delle diverse tipologie di informazioni e attivare una formazione specifica per gli operatori di filiera per consentire una raccolta dati sistemica.

### *Contenuti e struttura del Madaster material passport*

La piattaforma restituisce diverse informazioni relative sia all'edificio sia ai materiali stoccati in esso, elaborando i file di origine (modellizzazione dell'edificio) ed integrando le informazioni con dati provenienti da database interni alla piattaforma stessa. Quanto più ampi sono i dati disponibili (*input*) tanto più dettagliato è il report (*output*) della piattaforma *Madaster*, ovvero il *material passport* dell'edificio.

I file di origine della piattaforma *Madaster* possono essere di due tipi: un file IFC (basato su un modello 3D/BIM) e un modello Excel (se non è disponibile alcun modello 3D/BIM dell'edificio). Una volta importati in *Madaster*, questi file sorgente (IFC ed Excel) vengono automaticamente convalidati per completezza in termini di: descrizione del materiale, codice di classificazione e dati geometrici.

L'accuratezza delle informazioni collezionate nella piattaforma *Madaster* si basa innanzitutto sulla completezza delle informazioni imputate o archiviate nei *digital twin* (gemelli digitali) del file di origine BIM. Nell'ambito BIM, un edificio può essere modellato in diversi livelli di det-

tagli (LOD – *Level of detail*); per ottenere un *material passport* di *Madaster* i modelli di progettazione dovrebbero idealmente essere sviluppati a un livello minimo di LOD 300.

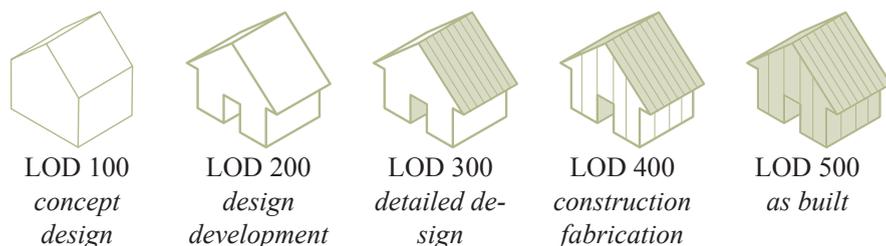


Fig. 30 – Livello di dettaglio del modello BIM (LOD) (fonte: elaborazione dell'autore)

La piattaforma *Madaster* assicura la riservatezza e la disponibilità dei dati e gestisce l'accessibilità di terze parti.

Prima della raccolta dati dell'edificio e dei materiali che lo compongono è importante determinare il dettaglio desiderato del *material passport* (quali componenti edilizi devono essere elaborati e con quale livello di dettaglio).

*Madaster* classifica tre livelli di dettaglio di un *material passport*, ampliabili ed aggiornabili anche in differenti momenti (Tab. 3).

Al livello 1, il *material passport* restituisce le informazioni riguardanti i materiali stoccati nell'edificio, specificando: il tipo di materiale (es. calcestruzzo, laterizio, acciaio, ecc.), la relativa quantità totale, l'ubicazione all'interno delle diverse parti di edificio (es. struttura portante; involucro, ecc.) e il valore economico residuo. Al livello 1 non sono raccolte le informazioni relative alle caratteristiche di circolarità dei materiali, ovvero il loro contenuto di riciclato, il grado di riutilizzo, riciclaggio, e il livello di disassemblabilità. Di conseguenza, questo livello è insufficiente per poter quantificare il punteggio di circolarità dell'edificio, indentificato attraverso il *Madaster Circularity Index* (MCI).

Al livello 2, il *material passport*, oltre a fornire informazioni sui materiali utilizzati e la loro quantità complessiva, fornisce informazioni più dettagliate sui prodotti specifici: la loro composizione materiale, la loro posizione specifica all'interno dell'edificio (es. all'interno dell'involucro) unitamente al numero complessivo di prodotti simili (es. numero totale di travi di acciaio). Al livello 2, quindi, si conoscono le dimensioni e il numero di pezzi disponibili. Con questo livello di dettaglio diventa maggiormente chiara ed esplicita la potenzialità di riutilizzo dei prodotti. Anche a questo

livello viene mostrato il valore economico residuo dei materiali e dei prodotti, ma le informazioni raccolte sono ancora insufficienti per calcolare il grado di circolarità MCI dell'edificio.

Il livello 3 è quello più dettagliato, per cui, oltre alla raccolta delle informazioni relative al livello 2, il *material passport* restituisce informazioni sull'indicatore di circolarità MCI. A tal fine vengono raccolte tutte le informazioni di circolarità (riutilizzo, riciclaggio, disassemblabilità) dei materiali e prodotti da fornitori e produttori.

Tab. 3 – Informazioni del *Madaster material passport* in relazione al livello di informazioni in input (fonte: elaborazione dell'autore)

Livello	Tipo di materiale	Caratteristiche del prodotto	Valore finanziario (residuo)	Circularity Index
1	×		×	
2	×	×	×	
3	×	×	×	×

Il passaporto *Madaster* fornisce la quantità di materiali stoccati all'interno dell'edificio suddividendoli in sei sotto-sistemi relativamente alla loro durata prevista, sulla base dei sei *layer* di Brand: *Site, Structure, Shell, Services, Space, Stuff*. La tabella è organizzata anche in sette famiglie di materiali. La quantità dei materiali espressa in kg, calcolati conoscendo la densità dei singoli materiali ( $\text{kg/m}^3$ ) viene quindi articolata per tipologia di materiale e posizione del materiale stesso all'interno di ciascuno strato in cui si trova (Fig. 31). Nel caso in cui non vi sia alcuna classificazione associata a un materiale nel file sorgente IFC o Excel, l'elemento viene visualizzato nella colonna "sconosciuto".

Al livello 2, è possibile cliccare su ogni strato dell'edificio e trovare informazioni più dettagliate, come la composizione specifica dei materiali e il numero di elementi (Fig. 32).

Inoltre, la piattaforma può fornire una suddivisione nelle diverse fasi del processo di costruzione. Ad esempio *Madaster* mostra il caso di riqualificazione di un edificio, in cui le informazioni vengono suddivise in cinque fasi: la fase attuale (*current*), che presenta lo stato dei materiali dell'edificio esistente prima della riqualificazione; la fase di demolizione (*demolition*), che specifica esattamente la quantità e il volume dei materiali rimossi dall'edificio in fase di riqualificazione; la terza fase (*casco*), che mostra i materiali rimasti nell'edificio dopo la demolizione, ovvero

la quantità di materiale riutilizzato; la fase di nuova costruzione (*virgin materials*), che indica i nuovi materiali che vengono introdotti nell'edificio riqualificato, quindi aggiunti durante il processo di riqualificazione. Infine, viene indicata la somma tra i materiali rimasti nell'edificio (*casco*) e quelli nuovi (*virgin material*) che costituiscono la quantità e il volume totale di materiali all'interno dell'edificio dopo la fase di riqualificazione (*final*).

Attraverso i singoli *layer* è inoltre possibile conoscere maggiori informazioni sui materiali in termini di numero di elementi, quantità e volume totale.

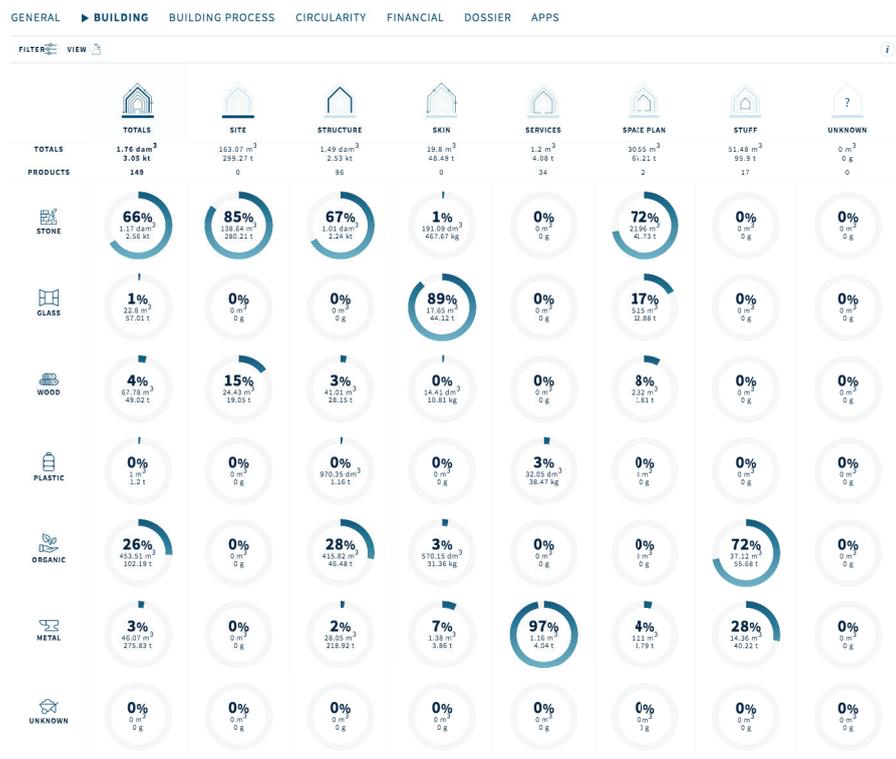


Fig. 31 – Esempio della visualizzazione della quantità di materiali (fonte: Madaster – caso demo)



## MATERIALS

<b>Lime sandstone</b>	102 pieces	106.19 m <sup>3</sup>	201.76 t
<b>Plasterboard</b>	53 pieces	15.33 m <sup>3</sup>	16.86 t
<b>Beton C45/55</b>	1 pieces	1.27 m <sup>3</sup>	3.05 t
<b>Plaster</b>	43 pieces	20.43 m <sup>3</sup>	36.78 t
<b>Concrete (C30/37)</b>	1 pieces	32.02 m <sup>3</sup>	76.84 t
<b>Cement</b>	4 pieces	70.78 m <sup>3</sup>	141.57 t
<b>Naturale stone</b>	4 pieces	145.54 dm <sup>3</sup>	385.67 kg
<b>Concrete</b>	2 pieces	35.26 m <sup>3</sup>	81.1 t
<b>Ceramics</b>	9 pieces	0 m <sup>3</sup>	0 g
<b>Tiles</b>	6 pieces	277.13 dm <sup>3</sup>	554.26 kg
<b>Soil</b>	1 pieces	123.99 m <sup>3</sup>	247.98 t
<b>Gravel</b>	2 pieces	23.3 m <sup>3</sup>	51.26 t

## PRODUCTS

<b>Brick</b>			20 pieces
Baksteen		29.92 m <sup>3</sup>	43.38 t
<b>Reinforced concrete (75kg steel/m3)</b>			36 pieces
Concrete		364.84 m <sup>3</sup>	839.14 t

Fig. 32 – Esempio del dettaglio informativo della composizione specifica dei materiali e numero di elementi (fonte: Madaster – caso demo)

### Valutazione economica dei materiali nella piattaforma Madaster

Il valore economico residuo dei materiali e dei prodotti stoccati nell'edificio a fine vita utile, fornisce una conoscenza del costo di demolizione, del costo del trasporto e del valore residuo della materia prima, utili a prevedere la spesa complessiva che investitori devono affrontare e il guadagno che possono ottenere attraverso il riuso e il riciclo dei prodotti.

La valutazione economica dei materiali all'interno dei *material passport* è utile per ideare proposte di mercato e di business circolari ambientalmente ed economicamente vantaggiosi e per stimolare l'utilizzo di materiali ad

alta durabilità e facilmente disassemblabili (che mantengono il più a lungo possibile il proprio valore).

Per determinare il valore futuro dei materiali, e quindi conoscere se un materiale sta aumentando o diminuendo di valore e con quale velocità e probabilità, *madaster* si affida all'esame dei valori di mercato del passato ed attuali nel modo più obiettivo possibile. I dati dei prezzi delle materie prime vengono corretti con l'inflazione, tracciando una linea di tendenza verso il futuro (utilizzando l'analisi di regressione conosciuta come "metodo dei minimi quadrati").

*Madaster* attinge le informazioni relative al valore economico netto di ciascun materiale da database interni alla piattaforma, alimentati da differenti fonti come Federal Reserve Economic data, London Metal Exchange, ecc.; invece, per i prezzi dei materiali che hanno un mercato locale piuttosto che globale (es. inerti) il prezzo è determinato in base alla domanda e all'offerta locale, a seguito di interviste.

### *Indicatore di Circolarità Madaster*

Al livello di elaborazione più dettagliato di *Madaster* (Livello 3), il *material passport* mostra anche il *Madaster Circularity Indicator* (MCI) che fornisce informazioni sul grado di circolarità dell'edificio. Questo valore è espresso in termini percentuali, compreso tra 0% (non circolare) e 100% (completamente circolare).

Il MCI misura il livello di circolarità degli edifici durante 3 diverse fasi:

- fase di costruzione, nella quale viene calcolato il rapporto tra il volume dei materiali "vergini" e il volume dei materiali "riciclati, riutilizzati o rinnovabili" utilizzati;
- fase d'uso, nella quale viene comparato il ciclo di vita funzionale previsto dei prodotti utilizzati, rispetto al ciclo di vita funzionale medio di prodotti simili;
- fase di fine vita, nella quale, sul totale dei materiali in uscita dai processi di demolizione, viene calcolato il rapporto tra il volume dei "rifiuti" e il volume dei materiali e prodotti "riutilizzabili e/o riciclabili".

L'indicazione del livello di circolarità ha l'obiettivo di innescare una leva dal basso per gli stakeholder (investitori, proprietari, ecc.) che intendono dotarsi di *material passport*, al fine di raggiungere il 100% di materiali non vergini nella fase costruttiva, la massima estensione della vita utile del prodotto nella fase d'uso e il 100% del riutilizzo/riciclo dei materiali/rifiuti nella fase di fine vita (Fig. 33).

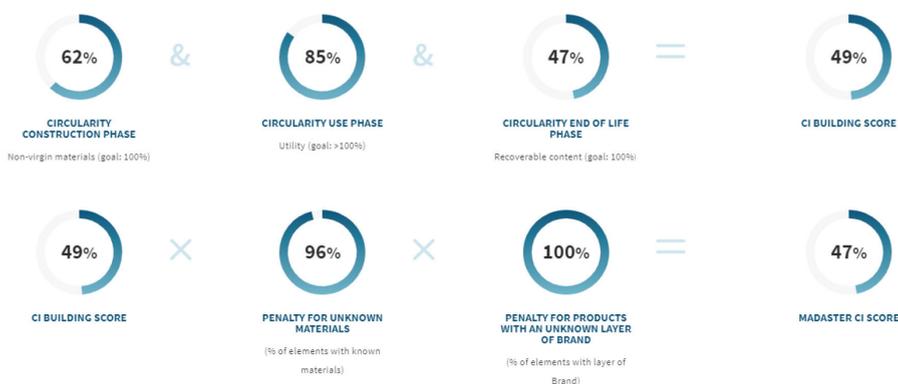


Fig. 33 – Madaster Circularity Indicator (fonte: Madaster – caso demo)

La piattaforma è in continua evoluzione, infatti dal 2022, restituisce anche la quantità di CO<sub>2</sub> che questi materiali contengono, adottando un approccio LCA, considerando l'intero ciclo di vita dell'edificio (fasi di produzione, costruzione, uso, manutenzione, fine vita e benefici per riuso/riciclo) al fine di dimostrare la potenziale riduzione delle emissioni relativa alla circolarità dei materiali.

Un ulteriore aggiornamento necessario dovrebbe essere l'inclusione, nella valutazione ambientale, di altri indicatori di impatto (non solo quantità di CO<sub>2</sub>) al fine di evitare traslazioni dei carichi ambientali tra i diversi impatti e restituire dunque una visione completa della sostenibilità.

## 5. Modelli gestionali di circolarità e reti di operatori

### 5.1. Dalla proprietà all'accesso al servizio e alla condivisione

Nei tradizionali modelli economici lineari le aziende produttrici terminano le proprie responsabilità con la vendita del prodotto, delegando agli utenti finali la gestione della manutenzione e della dismissione. Pertanto, l'interesse delle aziende verso la sostenibilità ambientale ed economica si ferma quasi sempre alle sole fasi di approvvigionamento delle risorse e di realizzazione del prodotto.

Per innescare nuove pratiche circolari è necessario un cambiamento nelle relazioni tra produttore e utilizzatore che, al contempo, può diventare un'opportunità di apertura verso logiche *win-win* di nuovi *business*, ottenendo vantaggi nell'ambito della sostenibilità sia di tipo ambientale sia di tipo economico, con benefici sia per il produttore sia per l'utilizzatore.

Nella terza area di sviluppo di strategie si collocano, quindi, nuovi modelli gestionali ed economici, basati sul concetto di *sharing economy*, orientati a intensificare ed ottimizzare l'utilizzo dei beni attraverso pratiche di condivisione d'uso, e sistemi di prodotto-servizio (*product-service systems*), volti a trasformare la logica della proprietà del prodotto e della responsabilità del fine vita dello stesso, incentivando pratiche di manutenzione e riutilizzo (Bocken *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2019). L'attivazione di questi modelli di *business* è correlata alla formazione di nuovi assetti organizzativi e gestionali che innescano reti sinergiche di stakeholder e accordi dinamici lungo la catena del valore del settore edilizio (Osterwalder *et al.*, 2010). Ne consegue la creazione di nuove filiere spesso organizzate in consorzi, finalizzate, ad esempio, alla raccolta e al recupero dei prodotti,

alla logistica inversa<sup>1</sup>, alle attività di rilavorazione, riuso e riciclo. A livello sociale (ed economico) la complessità di tale trasformazione richiede la collaborazione tra professionalità diverse, favorendo sia il rafforzamento delle competenze esistenti sia lo sviluppo di nuove abilità.

L'applicazione di contratti basati sulla *performance*, di piattaforme per la condivisione, di sistemi *pay-per-use* e di prodotto-servizio, oltre ad allinearsi alle esigenze degli utenti finali, che richiedono prodotti sempre più performanti e di qualità, favorisce anche l'ottimizzazione dell'uso e la circolarità delle risorse, riducendo l'usa e getta legato all'obsolescenza dei prodotti.

Questi modelli incoraggiano le aziende verso l'allungamento della vita dei manufatti e verso una gestione sostenibile del fine vita: rimanendo proprietarie del loro prodotto, esse hanno benefici economici nel progettare un bene facilmente rigenerabile dopo ogni fase di utilizzo attraverso meno rilavorazioni possibili, per reimmetterlo poi nuovamente sul mercato.

La tendenza è in linea con il principio di *Extended Producer Responsibility*, che definisce l'obiettivo di responsabilizzare i produttori di beni nel farsi carico della gestione del fine vita dei loro stessi prodotti. Un modello di *business* circolare, però, va oltre alla sola responsabilizzazione del produttore verso il fine vita, ma tende anche ad incentivare l'interesse ad estendere la vita utile del prodotto stesso aumentandone la durabilità, garantendo quindi molteplici cicli di utilizzo, e posticipando conseguentemente il più a lungo possibile il fine vita inteso come rifiuto.

### **5.1.1. Il modello peer-to-peer**

Secondo Bocken *et al.* (2016), la transizione verso un settore edilizio circolare necessita di un cambiamento nella logica di "proprietà" di materiali e prodotti.

Nel sistema di mercato delineato da Rifkin (2000), «il fornitore mantiene la proprietà di un bene, che noleggia o affitta o è disposto a cedere in uso temporaneo a fronte del pagamento di una tariffa, di un abbonamento, di una tassa di iscrizione. Lo scambio di proprietà fra compratori e venditori [...] cede il passo a un accesso temporaneo che viene negoziato fra *client* e *server* operanti in una relazione di rete».

In questo contesto, Ritala *et al.* (2018) delineano il modello *Peer-to-peer*, ovvero una rete (*network*) costituita da diversi e molteplici soggetti, in cui

1. Per logistica inversa, o *reverse logistics*, si intende l'insieme di pratiche e processi finalizzati al recupero dei prodotti a fine vita e al loro ritorno nelle filiere produttive di partenza, con l'obiettivo della reimmissione sul mercato.

i “nodi”, ovvero le relazioni tra i diversi membri, non sono organizzati gerarchicamente seguendo la logica del fornitore/cliente (*server/client*), ma sono costituiti da nodi equivalenti o paritetici (*peer*), in cui i soggetti sono in grado di avere un ruolo di *server* e/o di *client* contemporaneamente.

Esistono meccanismi di mercato che, attraverso la definizione di termini contrattuali che stabiliscono in maniera innovativa il rapporto *server* e *client* costituiscono una leva per il prolungamento della vita utile dei prodotti. Questo avviene, ad esempio, nei contratti di *deposit-based*, quando il cliente acquistando un prodotto è obbligato a restituirne uno usato simile, assolvendo quindi non solo al ruolo di utilizzatore ma anche di fornitore; oppure nei contratti di *buy-back-based*, quando il produttore concorda con l’utente finale il riacquisto del prodotto giunto a fine vita utile, diventando a sua volta acquirente (Östlin *et al.*, 2008; Jalapathy e Unnissa, 2023).

All’interno del cambiamento dei modelli di *business* esistenti, gli attori convenzionali e i nuovi attori devono essere più flessibili, con relazioni multidirezionali, e con un’intensa collaborazione e scambio di informazioni (Peters *et al.*, 2017).

Rientra nell’ambito *peer-to-peer* il crescente modello dello *sharing* (condivisione) dei prodotti (Belk, 2007; Daunoriene, 2015; Hossain, 2020). Il modello si basa sulla condivisione d’uso di un bene tra due o più persone, che accedono allo stesso temporaneamente (generalmente pagando il tempo di utilizzo o l’abbonamento al servizio erogato).

La recente diffusione del modello di *sharing* è stata supportata dallo sviluppo di *digital-web platform* che facilitano gli scambi di prodotti in modo semplice e veloce.

Lo *sharing* coinvolge principalmente tre tipi di soggetti: il fornitore della piattaforma, il fornitore del servizio e il cliente (Benoit *et al.*, 2017); il rapporto e il livello di autonomia tra fornitore della piattaforma e il fornitore del servizio può cambiare a seconda del modello di contratto specifico (Constantiou *et al.*, 2017).

Nei modelli di *sharing* è determinante l’enfaticizzazione della qualità del servizio, della fiducia e dell’utilità della piattaforma e la condivisione del livello di soddisfazione del cliente. Attualmente il modello di *sharing* è maggiormente diffuso nell’ambito dei prodotti smaterializzabili (es. musica; video; ecc.), ma trova applicazione anche nell’utilizzo dei mezzi di trasporto (es. Uber) e dello spazio, sia nel settore terziario degli uffici (es. condivisione della postazione di lavoro su prenotazione: *office hoteling*; *desk sharing*; ecc.) sia nel settore residenziale (es. condivisione della propria abitazione per permanenze temporanee, come nel caso di Airbnb).

Questo modello aumenta, dunque, l’utilizzo di prodotti da parte di molteplici clienti, aumentando di conseguenza l’efficienza nell’uso delle

risorse impiegate per fornire il servizio derivato dall'uso del prodotto (Arena *et al.*, 2017).

La massimizzazione d'uso dei prodotti del modello di *sharing*, innescata, dunque, una leva per il prolungamento della vita dei prodotti stessi, in quanto maggiore è la durabilità del prodotto, maggiore è l'uso (e quindi il numero di volte che viene "condiviso").

### **5.1.2. Il modello prodotto-servizio**

Particolarmente interessante e promettente è il modello di prodotto-servizio (*Product Service System*). Tale modello si basa su innovazioni radicali nel rapporto tra *server* e *client* e nuove interazioni tra gli stakeholder della filiera produttiva.

Il prodotto-servizio è «un modello di offerta/*business* che fornisce un mix integrato di prodotti e servizi che sono insieme in grado di soddisfare una particolare domanda del cliente ("unità di soddisfazione"), basato su interazioni innovative tra gli stakeholder del sistema di produzione del valore (sistema di soddisfazione), dove la proprietà del prodotto e/o le responsabilità nel ciclo di vita dello stesso restano nelle mani del fornitore» (Vezzoli *et al.*, 2017).

Il modello mira a fornire servizi piuttosto che vendere prodotti: ciò significa che il produttore invece di vendere il prodotto in modo convenzionale, lo commercializza sotto forma di servizio.

Dunque, il produttore, oltre al prodotto, corrisponde all'utilizzatore una serie di servizi di supporto, mirati al mantenimento della *performace* offerta, ad esempio, attraverso contratti di *service contract-based*, in cui il contratto tra produttore e cliente può includere servizi di assistenza, riparazione e manutenzione del prodotto.

Il cliente non è più quindi solo "consumatore" di un prodotto, ma è un "utente" che utilizza il servizio pagandolo con formule *pay-per-use* o *pay-per-period*. In questo modo la proprietà del prodotto non viene trasferita al cliente/utilizzatore ma resta al fornitore/produttore, secondo una logica di "disown ownership" (Bocken *et al.*, 2018; Sousa-Zomer *et al.*, 2018).

Attraverso questo modello, i prodotti vengono utilizzati come servizio, quindi il cliente paga solo il servizio desiderato (come l'illuminazione di uno spazio o l'arredamento di un ufficio) senza acquistare la proprietà del prodotto che eroga tale servizio.

Nell'ambito di un modello prodotto-servizio, i contratti tra produttori/fornitori e clienti possono essere di diversa natura e durata. I contratti di *performance* e *leasing* a lungo termine garantiscono alle aziende fornitrici

introiti economici costanti, e agli utenti spese programmabili e prodotti in ottimo stato e costantemente aggiornati. Il sistema *pay-per-use*, generalmente a breve termine, consente di ottimizzare l'utilizzo del prodotto-servizio alla sola necessità occasionale del prodotto, e di attivare eventualmente anche meccanismi di condivisione dei beni/prodotti.

Tale prospettiva modifica la durata del tempo di relazione tra produttore e utente finale, in quanto essa non si adempie in maniera istantanea attraverso il passaggio diretto della proprietà del bene al momento della vendita, ma si instaura un "rapporto durevole" che mette in costante connessione il gestore e il fruitore del bene. Il fornitore dei servizi (spesso il produttore stesso), infatti, si assume la responsabilità e il compito di mantenere il prodotto sempre in ottimo stato per erogare un servizio con lo stesso livello di prestazione richiesta dal contratto, durante l'intero ciclo di vita del prodotto.

La proprietà dei prodotti rimane ai produttori/fornitori che, ritirano il prodotto al termine di ogni ciclo di utilizzo e ne gestiscono il fine vita. Ne consegue chiaramente il vantaggio che il produttore/fornitore può avere nel progettare e produrre beni che possano durare nel tempo per poter essere riutilizzati il più a lungo possibile, al fine di incrementare i guadagni dell'investimento iniziale di produzione. Il modello prodotto-servizio può incentivare, quindi, a realizzare prodotti progettati per la reversibilità (*design for disassembly, building in layers, design for adaptability*, ecc.) per i quali il riuso, la manutenzione, la riparazione, la rigenerazione e, infine, il riciclo sono più facili da compiere, e quindi meno costosi.

Il modello prodotto-servizio è vantaggioso per il cliente in quanto riduce il tasso di investimento iniziale necessario per accedere al servizio desiderato e garantisce prestazioni di servizio a lungo termine, evitando il rischio di obsolescenza del prodotto.

È necessario, però, anche in questo caso, non perdere di vista l'obiettivo della circolarità e della sostenibilità: l'introduzione di nuovi modelli di *business* non deve essere pretesto per promuovere l'aumento di consumi (e di accesso a beni) legati a un maggior numero di servizi offerti, andando a moltiplicare gli investimenti dei consumatori, ma deve essere finalizzata a una diminuzione dei consumi, grazie al riutilizzo delle risorse per soddisfare gli stessi bisogni.

## **5.2. Modelli gestionali per la circolarità nel settore edilizio**

Il modello gestionale del prodotto-servizio appare particolarmente promettente per potenziali applicazioni nel settore edilizio volte alla circolarità delle risorse e all'estensione della vita utile dei prodotti.

Per rendere applicabile tale modello si rende necessaria la creazione di una filiera basata su forme aggregative di collaborazione in grado di superare l'attuale frammentazione delle strutture tradizionali, innescando una stretta e virtuosa collaborazione tra produttore/fornitore, utente e i diversi attori coinvolti nella logistica inversa. Inoltre, l'attivazione di modelli di prodotto-servizio innesca una necessaria innovazione di prodotto in termini di circolarità, promuovendo la progettazione e la realizzazione di beni durevoli, a bassa manutenzione, facilmente disassemblabili, riusabili, rimanufatturabili e, infine, riciclabili, richiedendo dunque il coinvolgimento dei soggetti che si occupano di tali attività. Pertanto occorrono nuove strategie organizzative lungo l'intero ciclo di vita dell'edificio, per gestire le relazioni tra tutti i soggetti coinvolti nel modello prodotto-servizio.

### ***5.2.1. Le potenzialità di applicazione del prodotto-servizio al settore edilizio***

I sistemi di prodotto-servizio (*product as a service*) hanno trovato origine in settori diversi da quello edilizio, i cui prodotti sono connotati da cicli di vita brevi: ad esempio, per prodotti industriali (elettrodomestici; stampanti; ecc.) dati in uso per soddisfare il servizio attraverso contratti di *leasing* (*pay-per-use*) o per prodotti facilmente dematerializzabili (musica; video; ecc.) il cui servizio è dato in abbonamento (*pay-per-view*). L'applicazione al settore edilizio si confronta con beni (l'edificio nel suo complesso e le parti d'opera dell'edificio) che hanno cicli di vita più lunghi rispetto ai prodotti industriali, per cui l'attivazione di rapporti durevoli tra gli operatori della filiera e di contratti stabili nel tempo con il cliente diventa elemento di criticità. Tuttavia, esistono ambiti di potenziale applicazione interessanti da esplorare. Per ipotizzare l'applicazione di modelli di prodotto-servizio alle parti d'opera dell'edificio, è necessario considerare l'edificio non più come un oggetto unico, ma suddiviso per parti che lo compongono. Di particolare interesse è il riferimento ai *layer* di Stewart Brand (struttura portante, involucro, impianti, suddivisioni interne e arredamento), potenzialmente associabili a diverse durate di uso e dunque cicli di manutenzione e sostituzione. Ciascun *layer* può essere pensato come autonomo rispetto agli altri, in una logica di disassemblabilità e scomponibilità, facilitata oggi dall'uso sempre più diffuso di componenti edilizi prefabbricati e standardizzati. Tale visione permette di concepire l'edificio come un insieme di componenti a cui è possibile applicare la logica di prodotto-servizio, a seconda della complessità (es. sistema di facciata fornito come prodotto-servizio per la quale il fornitore gestisce anche la manutenzione, così come accade già attualmente per gli impianti).

Tuttavia, esiste ancora particolare difficoltà di applicazione alla scala dell'edificio, in quanto l'attuale mercato immobiliare è ancora fortemente basato sulla vendita a privati di parti di edificio (singole unità immobiliari all'interno di un edificio); ne consegue che la gestione e l'adesione alla stessa fornitura di servizio diventa più difficile se l'edificio in questione è suddiviso in molteplici proprietà.

Il modello prodotto-servizio può, però, interessare edifici pubblici, grandi complessi gestiti da *real estate companies* oppure le molteplici sedi (edifici per uffici, magazzini di logistica, ecc.) di una unica azienda, per le implicazioni che può avere in termini di economicità di gestione: il fornitore mantiene la gestione a fronte di un contratto forfettario e dunque è interesse del fornitore usare prodotti a basso consumo energetico, durevoli e a bassa manutenzione, facilmente sostituibili in caso di obsolescenza, ecc.

Tuttavia, anche in questi casi, subentra una ulteriore criticità. Il "tempo" di uso del prodotto-servizio all'interno dell'edificio è molto lungo, richiedendo di stabilire tipologie di contratto pluridecennali con il fornitore. Infatti, a differenza di altri oggetti industriali (lavatrice, cellulare, ecc.) i tempi di rinnovo delle parti d'opera degli edifici sono molto estesi: un sistema impiantistico ha un tempo di rinnovo di circa 15 anni, ma le parti di facciata possono durare dai 30 ai 50 anni. Dunque, il potenziale contratto di affitto della parte d'opera dovrebbe legare fornitore e utente per un tempo prolungato, con il rischio che l'azienda fornitrice non riesca a rimanere effettivamente operativa fino alla fine del contratto.

Formule di prodotto-servizio possono, invece, essere più facilmente applicate alle parti dell'edificio che generalmente hanno una durata più breve in quanto soggetti a frequenti rinnovi, come le suddivisioni interne, le finiture interne e l'arredamento. Su questi tipi di componenti risulta più facile definire rapporti contrattuali legati a tempi di 10-15 anni.

In particolare, nell'edilizia destinata al terziario, come uffici, negozi, ed alberghi, emergono cicli d'uso molto brevi dei *layer* interni (*fit-out*), che vengono sostituiti frequentemente per la necessità di *rebranding* o di *restyling* delle immagini aziendali, per la volontà di rinnovare l'immagine spaziale (materiali e colori) per stare al passo con la moda, ossia per "obsolescenza estetica". I frequenti rinnovi del *fit-out* sono spesso dovuti anche alla necessità di riconfigurare il *layout* spaziale in conseguenza alla trasformazione del mercato immobiliare e dei modelli di commercio che portano all'abbreviazione dei contratti di locazione e quindi al frequente cambiamento dell'utilizzatore/affittuario, che modifica gli spazi interni a seconda delle proprie esigenze. Inoltre, i cambiamenti di modelli d'uso, che portano alla fruizione degli edifici in termini di servizio, come le forme di *hoteling* e *coworking* degli spazi per uffici e i *temporary shops* per gli

spazi commerciali, determinando un alto grado di temporaneità di utilizzo degli spazi che porta alla necessità di cicliche riconfigurazioni.

In tutti questi casi i rinnovi possono avvenire anche ogni due anni, provocando una quantità di rifiuti composti da materiali e prodotti ancora in ottimo/buono stato, con elevate prestazioni tecniche e alto valore economico. Essi sono costituiti non solo dagli arredi, ma anche da finiture interne, partizioni interne, pareti mobili, controsoffitti e pavimenti, porte. I principali materiali che divengono rifiuti prima del tempo sono, quindi, cartongessi, moquette, isolanti acustici, sottostrutture metalliche, rivestimenti plastici, legno o compensato, vetro.

Nel settore edilizio terziario, esistono anche situazioni di “usa e getta” particolarmente gravi, ovvero quando la costruzione o riqualificazione di edifici, destinati alla vendita o all’affitto, avviene prima dell’individuazione del futuro acquirente o locatario. La realizzazione di tutte le finiture interne (pavimentazioni, partizioni, controsoffitti, ecc.) deve obbligatoriamente essere compiuta prima della fine cantiere per permettere il collaudo dell’opera; tuttavia dette finiture, la maggior parte delle volte, vengono totalmente sostituite all’insediamento del nuovo proprietario o affittuario. Il nuovo utente, infatti, effettua generalmente un *branding* degli spazi, sostituendo i pavimenti, i controsoffitti e le pareti, e generando elevate quantità di rifiuti di materiali praticamente mai utilizzati.

Oltre ai casi di edifici terziari, è possibile applicare il concetto di prodotto-servizio anche all’intero sistema edilizio (struttura portante inclusa) in tutte quelle situazioni di temporaneità d’uso legata a eventi temporanei come olimpiadi ed esposizioni universali e agli oggetti edilizi che costituiscono allestimenti fieristici. Nell’ambito della fornitura degli stand per eventi fieristici, dove la contrazione dei tempi di uso risulta ancora più spinta, esistono già formule di prodotto-servizio. Spesso i fornitori di stand o allestimenti mantengono la proprietà dei componenti che costituiscono detti spazi espositivi, adottando soluzioni di noleggio per i propri clienti, che restano fidelizzati al servizio anche per molteplici eventi espositivi.

Tuttavia, anche in questi casi “virtuosi” il sistema prodotto-servizio è finalizzato a massimizzare il profitto sul bene di utilizzo, ma non è ancora applicata una visione delle sostenibilità sui prodotti. Molto spesso il contratto di prodotto-servizio mira semplicemente a responsabilizzare il fornitore rispetto allo smontaggio e smaltimento a fine uso, ma non necessariamente questo porta il fornitore a operare nella direzione del riuso. Molti prodotti utilizzati in ambito fieristico non vengono ancora progettati per essere facilmente disassemblabili o facilmente ri-personalizzabili (a seconda del cliente) e quindi più facilmente riutilizzabili. Questo determina che vengano dismessi componenti ancora in ottimo stato, dal punto di vista

della qualità del componente. A fine evento, i principali materiali smaltiti in discarica sono moquette, soluzioni di partizioni in cartongesso, teli e pannelli in PVC stampati e personalizzati. Anche nei grandi eventi (es. Olimpiadi, Expo), pur applicando formule contrattuali di prodotto-servizio, a fine evento vengono smaltite in discarica molte parti d'opera, come passatoie e pavimenti temporanei, e raramente si è potuto constatare situazioni virtuose di riuso dei padiglioni espositivi delle Expo (costruiti ad hoc per l'evento e delle dimensioni di veri e propri edifici).

A valle di queste riflessioni è chiaro che il settore edilizio, specialmente il terziario, sia un campo promettente per la sperimentazione di modelli di prodotto-servizio al fine di evitare sprechi materici, allungando la vita di tutti i prodotti che attualmente hanno cicli di utilizzo troppo brevi rispetto alle loro prestazioni residue.

Gli attuali attori chiave che possono attivare modelli di prodotto-servizio e che possono trovare vantaggio economico nella creazione di filiere di *reverse logistic* mirate al recupero e al riuso/rilavorazione dei prodotti dati come servizio sono: gli allestitori all'interno del settore fieristico; i *general contractor* o i *facility manager* degli spazi per uffici; i *general contractor* per negozi in *franchising* e negozi affiliati a grandi marchi, oppure per logistiche della *e-commerce*. Questi attori rivestono particolare importanza perché gestiscono l'uso temporaneo degli spazi e i frequenti processi di rinnovamento e riqualificazione che caratterizzano detti ambiti.

Ne è stato un recente esempio la ricerca Re-NetTA (*Re-manufacturing Networks for Tertiary Architecture*), che proprio per questi ambiti ha definito nuovi modelli organizzativi, mirati all'allungamento della vita dei prodotti utilizzati in eventi fieristici e nelle configurazioni degli spazi interni di uffici e negozi (Talamo, 2022).

### **5.2.2. Networks tra operatori per la circolarità di prodotti a fine vita utile**

Il patrimonio edilizio costituisce una fonte continua di materiali e prodotti scartati ancora in buono stato che, però, non essendo ancora gestiti da sistemi organizzativi basati sulla logica di prodotto-servizio, o non essendo stato contrattualizzato con l'azienda fornitrice un sistema di recupero *take back*, sono destinati ad essere dismessi in discarica, o nella migliore delle ipotesi, in centri di riciclaggio.

Tali materiali e prodotti in uscita dalle frequenti riqualificazioni e demolizioni possono costituire occasioni di nuove opportunità di *business* per il recupero, il riutilizzo, la rilavorazione e l'apertura di mercati

alternativi e secondari, che si pongono a fianco del commercio primario dei nuovi prodotti.

Questi prodotti recuperati possono essere riutilizzati e destinati alla stessa funzione d'uso oppure rilavorati per soddisfare altre funzioni. Possono essere rivolti a un settore diverso da quello di origine, ad esempio un prodotto uscente dal settore terziario ad uso ufficio può essere destinato a quello residenziale (mercato alternativo), o in un settore secondario, a basso reddito, ad esempio quello residenziale popolare (mercato secondario).

L'interesse all'acquisto del prodotto sul mercato secondario può essere influenzato da alcune condizioni quali: il minor costo del prodotto riutilizzato/rifabbricato/riadattato rispetto a un prodotto nuovo simile, seppur con le stesse caratteristiche e performance; la sensibilità del cliente verso le tematiche ambientali, ovvero la scelta del cliente verso prodotti di seconda vita, quindi, più sostenibili rispetto ad uno stesso oggetto di nuova produzione; l'unicità del prodotto, magari industriale, ma riprogettato e rilavorato artigianalmente.

Forme innovative di cooperazione tra operatori all'interno della filiera edilizia, possono intercettare questi flussi materici in uscita, prima che essi diventino "rifiuti", innescando attività di recupero e rilavorazione dei prodotti destinati a mercati alternativi e secondari. Questo scenario può diventare una nuova opportunità di *business* per operatori che vogliono dedicarsi alla rilavorazione di prodotti in uscita dal settore edilizio (*urban mining*), creando una rete proattiva di relazioni con potenziali "fornitori" di prodotti di scarto da rigenerare (in un'ottica *win-win*).

La rete *win-win*, quindi, intercetta i prodotti destinati a diventare rifiuti prima del loro smaltimento, dispone delle capacità logistiche di raccolta e stoccaggio dei materiali in uscita dal settore edilizio giunti a fine vita utile, le capacità tecniche per eseguire i processi di pulizia per il riuso, o rilavorazione (*remanufacturing*) dei prodotti e infine, le capacità di mettere su mercati alternativi/secondari i prodotti sistemati o rilavorati.

### ***5.2.3. Fattori abilitanti per l'attivazione di modelli circolari***

L'attivazione di modelli di circolarità e reti di operatori orientati al prolungamento della vita dei prodotti richiede un cambiamento, rispetto ai modelli tradizionali, facendo leva su alcune innovazioni di prodotto e di processo.

I principi di progettazione per la circolarità, esaminati nel capitolo precedente, vanno a costituire fattori abilitanti all'innescamento di modelli di circolarità.

La modularità e la standardizzazione degli elementi tecnici facilitano assemblaggi e disassemblaggi in tempi brevi, senza alterare l'integrità del bene, facilitando le operazioni di sostituzione e il reperimento del prodotto sul mercato. Inoltre, l'utilizzo di prodotti standardizzati favorisce la ricollocazione degli stessi in molteplici contesti, aumentando il numero di cicli di utilizzo al servizio di un maggior numero di clienti.

A fianco di un cambiamento nella progettazione e realizzazione dei prodotti messi sul mercato, va stimolato anche lo scambio di informazioni tra gli operatori già attivi lungo la filiera edilizia. I temi della tracciabilità delle informazioni e dei prodotti, analizzati nei capitoli precedenti (cfr. capitoli 3 e 4) risultano quindi altrettanto fondamentali per l'attivazione di una rete sinergica *win-win* basata su recupero e riuso.

I sistemi di tracciabilità permettono il monitoraggio e la conoscenza dei flussi di prodotti in uscita dal settore edilizio utili ad alimentare una filiera di beni destinati al mercato alternativo/secondario. Infatti, gli operatori, per attivare un modello di *business* circolare, basato sul riuso/*re-manufacturing*, ha bisogno di conoscere la quantità e la disponibilità dei flussi al fine di prevedere il potenziale mercato di riferimento e identificare la domanda di materiali secondari, necessari per avviare il modello organizzativo.

Le piattaforme digitali per lo scambio di informazioni (*web-based platform*), materiali e servizi (cfr. paragrafo 3.3.3) sono, in questo contesto, strumenti abilitanti per la messa a sistema della rete di fornitori di prodotti in uscita da interventi di riqualificazione e demolizione, utilizzatori di materiali secondari da riuso o rilavorati e operatori che possano compiere i processi di recupero, stoccaggio, pulizia o *remanufacturing*.

Inoltre, i *material passport* (cfr. paragrafo 4.3.2), sono in questo contesto strumenti fondamentali per i soggetti che vogliono aprire aree di mercato basate sul prodotto-servizio, in quanto permettono di mantenere tracciata non solo l'ubicazione dei loro beni nell'ambiente costruito, ma anche di conservarne la conoscenza delle caratteristiche originarie, del tipo di rilavorazione/manutenzione subita nel ciclo di uso, il valore residuo, ecc. Ne consegue l'importanza di progettare interventi sul patrimonio edilizio in ambiente BIM (*Building Information Modeling*) (cfr. paragrafo 4.2.3), al fine di migliorare e facilitare la fase di inventario e monitoraggio delle consistenze materiche dell'edificio, necessarie a redigere *material passport* ed alimentare *web-based platform*.

### 5.3. Leve, ostacoli e punti di vista degli stakeholder

Il dialogo e il confronto con i principali stakeholder ha permesso l'individuazione di interessanti leve e ostacoli anche nell'ambito dell'attivazione di *network* tra operatori e modelli di *business* circolari nel settore edilizio.

L'analisi mostra che l'applicazione di modelli di circolarità e di reti di operatori sono poco richiamati a livello legislativo e poco presenti nella prassi. Ciò evidenzia che il potenziale vantaggio economico e ambientale derivante dall'introduzione di nuovi modelli di rete di imprese e operatori orientati ai servizi è ancora poco conosciuto. Tuttavia, anche attraverso l'indagine di buone pratiche, è emerso che l'applicazione di nuove strategie circolari porta alla necessità di identificare operatori con competenze specifiche, da collocare in punti chiave del processo edilizio, il che significa nuove opportunità di lavoro.

#### 5.3.1. Modelli di circolarità orientati al prodotto-servizio

L'applicazione di modelli di circolarità orientati al prodotto-servizio a livello di edificio è ancora scarsamente presente sia nell'ambito legislativo sia nella pratica, in tutti gli Stati europei oggetto di indagine.

Nonostante l'interesse degli stakeholder della filiera edilizia relativamente alla possibilità di cambiare ed allargare la propria attività commerciale, l'applicazione di nuovi modelli di *business* mostra alcune complicazioni a livello di edificio.

Come già evidenziato nel paragrafo precedente, le complicazioni principali sono legate alla peculiare lunga vita degli edifici: gli interventi di manutenzione e il fine vita dei prodotti/elementi facenti parte dell'edificio avvengono con tempi dilatati, non prevedibili dalle aziende produttrici/fornitrici. Di conseguenza, le formule per il mantenimento della proprietà del prodotto da parte del produttore (con la fornitura di servizi di gestione) e la pianificazione del ritiro a fine vita, sono di difficile applicazione.

Per quanto riguarda le opinioni degli stakeholder intervistati, gli investitori del mercato immobiliare, come le società del mondo *real estate* e le SGR (Società di Gestione del Risparmio) che acquistano edifici, li riqualificano e li propongono sul mercato con contratti di affitto, percepiscono come una grande opportunità formule basate su prodotto-servizio. Essi, ponendosi nel ruolo di utilizzatore/cliente di prodotti forniti da altre aziende, considerano vantaggioso e meno rischioso un investimento programmato e dilazionato nel tempo (ad esempio sotto forma di contratti di *leasing*/noleggio) al posto di un investimento cospicuo iniziale, per molti compo-

nenti dell'edificio come possono essere i sistemi impiantistici o i sistemi di *fit-out* interni. Inoltre usufruire del vantaggio della garanzia di durata della prestazione, grazie ai servizi di manutenzione compresi nel modello prodotto-servizio, è considerato dagli investitori un ulteriore punto a favore non avendo da sostenere gli oneri della manutenzione, che rimangono a carico del fornitore.

Tuttavia, alcuni svantaggi sono evidenziati dalle banche ed istituti di credito che sovvenzionano imprese e privati sulla base di garanzie spesso costituite dall'immobile stesso. Dal loro punto di vista, un edificio con parti non di proprietà di un unico soggetto, ma basato su modelli di prodotto-servizio, non può essere utilizzato come garanzia per prestiti o mutui, in quanto il valore del bene potrebbe cambiare in breve tempo in base ai tipi di servizi e in base alla stabilità delle società che forniscono i diversi servizi.

I produttori/fornitori intervistati, sostengono di vedere un allargamento del loro potenziale *business* nella fornitura di servizi al cliente, con un potenziale aumento dei guadagni complessivi, unitamente ad una maggiore stabilità economica grazie a flussi di entrate continue nel tempo (con formule contrattuali simili al noleggio) e alla continuità di relazione con il cliente.

Tuttavia, la necessità di innovazione dei prodotti attuali, per convertire il commercio verso la logica di prodotto-servizio, è ancora percepita dai produttori come una sfida tecnologica e di design (*hard technologies*) da trarre in molti ambiti produttivi, che richiede importanti investimenti economici iniziali. La maggior parte dei prodotti edilizi, infatti, non è facilmente smontabile, rilavorabile e riutilizzabile, a causa delle tecniche di connessione e di finitura che non seguono alcuna regola di interdipendenza e intercambiabilità (cfr. paragrafo 4.2.2) e quindi gli ostacoli di natura tecnica sono ancora una sfida ardua da superare.

### **5.3.2. Reti di operatori per modelli circolari**

Le interviste mostrano che gli stakeholder del settore edilizio, in particolare demolitori, gestori di rifiuti, produttori, investitori dei paesi del nord Europa (Olanda, Belgio, Regno Unito) sono interessati a mettersi in rete con altri operatori di filiera per aprire nuove attività basate sul riutilizzo/rilavorazione di prodotti. Tuttavia, dalle interviste è emerso che, attualmente, la comunicazione relativa alla disponibilità di materiale estratto dall'*urban mining* e alla domanda del mercato, avviene solo in modo informale tra operatori, che non sono costantemente collegati tra loro, rendendo quindi difficili gli scambi.

Il settore edile è caratterizzato da interventi di volta in volta molto diversi, da processi instabili (a differenza del settore industriale), per cui ogni processo edilizio attiva diversi operatori che collaborano temporaneamente. Per questo motivo è improbabile che gli operatori della filiera instaurino relazioni stabili nel tempo. Ciò rende anche difficile attivare sinergie tra soggetti che hanno ruoli in fasi diverse del ciclo di vita.

Le piattaforme digitali (cfr. paragrafo 3.4.4) possono essere importanti strumenti per la creazione di nuovo *business*, tuttavia, alcuni stakeholder, come progettisti e gestori di rifiuti in Danimarca, in Belgio e nel Regno Unito (dove queste piattaforme sono maggiormente disponibili) affermano che le stesse sono utilizzate principalmente dagli operatori per scopi privati di compra-vendita occasionale; manca quindi una leva che faccia in modo che questa iniziativa *bottom-up* diventi un *business* sistematizzato e maggiormente normato.

Secondo gli stakeholder intervistati, una leva per la creazione di una rete di operatori per l'attivazione di modelli circolari basati sul riuso e *remanufacturing* dei prodotti provenienti dagli interventi di demolizione e riqualificazione dell'ambiente costruito è quella di inserire, all'interno delle procedure di gara, non solo nell'ambito dell'edilizia pubblica, ma anche nell'ambito degli appalti di eventi fieristici o grandi esposizioni, requisiti che richiedono l'attivazione di una *reverse logistic* sia per la fornitura di prodotti da riuso, sia per il recupero dei prodotti e materiali in uscita dal processo di disassemblaggio e sgombero degli spazi. È quindi espresso chiaramente il punto di vista condiviso sul ruolo strategico del *green procurement* per aumentare la consapevolezza sulle pratiche circolari.

Inoltre, secondo gli stakeholder, un modo per ricevere premialità in gara di appalto potrebbe essere quello di essere dotati di marchi o riconoscimenti di filiera per il recupero, il riutilizzo o la rilavorazione dei prodotti, unitamente all'impegno della messa sul mercato di prodotti secondari.

La creazione di filiere stabili nel tempo, finalizzate a un processo di rilavorazione e rigenerazione dei prodotti secondari, resta tuttavia vincolata alle barriere normative già espresse nel capitolo 3, relative alla certificazione dei prodotti secondari ovvero provenienti da una vita utile precedente. Questo aspetto assume particolare rilevanza in un modello circolare, in quanto l'immissione sul mercato di prodotti (secondari) necessita di una certificazione di prodotto, richiesta dalla normativa e generalmente dai clienti, unitamente ad una garanzia di prestazione (che può durare dai 2 ai 10 anni, a seconda dell'oggetto edilizio).

Il contributo degli stakeholder alla ricerca ha permesso di individuare ulteriori attuali barriere all'attivazione di modelli circolari, che pongono le basi per futuri campi di ricerca e sperimentazione.

Un primo ostacolo da superare è legato alla personalizzazione non reversibile di prodotti edilizi generalmente utilizzati per le finiture interne, i componenti e gli arredi degli spazi per uffici, per *retail* o per spazi espositivi. I materiali in uscita, infatti, frequentemente sono molto personalizzati e non standardizzati nella loro dimensione. In questi casi la rilavorazione dei componenti richiede la modifica sostanziale dell'immagine dei prodotti, rendendo più difficoltosa e onerosa la destinazione a mercati alternativi/secondari.

Un altro ostacolo è rappresentato dal volume variabile dei flussi di materiale provenienti dai processi di rinnovo o demolizione degli edifici. In molti casi, flussi discontinui ed eterogenei di prodotti secondari ostacolano la programmazione dell'offerta del prodotto sul mercato. Inoltre, anche la domanda di mercato di prodotti secondari è ancora instabile e difficilmente prevedibile in termini di quantità e tipologia di prodotto.

Alla luce delle rilevate barriere sulla circolarità dei flussi materici in uscita dagli interventi sul patrimonio edilizio, in mancanza di accordi precedenti con il produttore con logiche di prodotto-servizio o *take back agreement*, è possibile asserire che nell'ambito del settore edilizio è poco praticabile un "riassorbimento" da parte delle aziende manifatturiere dei prodotti secondari da rilavorare, per cui è necessario spostarsi dalla visione di *Circular Industrial Economy*, di cui parla Stahel (cfr. paragrafo 1.1.1), più applicabile nel caso di riciclo e più difficile nel caso di riuso, rivalutando invece la visione di una economia circolare locale e artigianale, capace di gestire flussi meno costanti e più diversificati di materiali e capace di inventare e progettare di volta in volta il modo di riutilizzare o rilavorare i prodotti in base alle loro specifiche caratteristiche non standardizzate.

Per attivare dinamiche di circolarità a valle di demolizioni e riqualificazioni edilizie, è necessaria quindi la creazione di reti di artigiani flessibili e che possano agire in sinergia all'interno di un sistema dinamico.

Accordi flessibili tra diversi soggetti possono incoraggiare collaborazioni lungo la catena del valore, che possono modificarsi in base alle esigenze del processo di circolarità, ad esempio definendo in maniera comune la modalità di intercettazione della massa critica minima di materiali secondari per attivare la logistica del recupero, o le modalità di individuazione della potenziale rete di acquisto, condividendo gli strumenti e le competenze necessarie per rilavorare il prodotto. La messa in rete è importante, per tutte le attività di *reverse logistic*, rilavorazione, e commercializzazione dei prodotti secondari, per consentire il miglioramento delle pratiche e innescare investimenti comuni, ad esempio attivando consorzi per l'acquisto di determinati macchinari o strumenti necessari.

### 5.3.3. Attività di co-creazione per l'attivazione di modelli circolari

L'innescarsi di sinergie tra operatori per attivare modelli di circolarità può attuarsi non solo con scopi di tipo imprenditoriale, ma anche come opportunità di collaborazione per la definizione dei modelli stessi e delle condizioni (es. normative) per la loro realizzazione.

Infatti, dalle ricerche svolte, nell'ambito del settore edilizio, in tutti i paesi europei analizzati, e in modo ancora più evidente in Italia, emerge una realtà ancora molto tradizionale, con interesse al tema della circolarità, ma con ancora limitate esperienze, legate a rare applicazioni sperimentali. Per innescare un cambiamento, emerge la necessità di creare momenti di condivisione e di messa in rete di operatori, utili per attivare sinergie capaci di avviare i processi di innovazione.

Importanti iniziative, che fungono da leva, sottolineate dagli stakeholder dei paesi nordeuropei analizzati (in particolare decisori politici, investitori, progettisti, produttori, imprese di costruzione di Belgio e Olanda) sono le attività di co-creazione, basate sulla formazione innovativa e il *knowledge sharing* per l'attivazione di modelli circolari e sostenibili nel settore edilizio.

Divengono, quindi, sempre più discusse le recenti pratiche di collaborazione e co-creazione in contesti conosciuti come *Living Lab*, ovvero ambienti dinamici, basati sulla condivisione di informazioni con approccio *bottom-up*, in cui reti *multi-stakeholder* interagiscono sinergicamente per sviluppare e valutare processi, prodotti e/o servizi. Le attività di co-creazione riguardano sia il *co-design* di soluzioni tecnologiche e procedurali da parte di stakeholder eterogenei sia le attività di co-sperimentazione di prodotti, prototipi e casi applicativi, che diventano occasione di innovazione multidisciplinare.

Tali iniziative costituiscono un impulso alla collaborazione tra governo, imprese e istituzioni per incentivare l'economia circolare, rimuovendo gli ostacoli alla circolarità nell'ambito legislativo e nella pratica.

Committenti, progettisti, produttori, reti di artigiani e terzo settore, imprese di costruzione e demolizione, logistica, università e centri tecnologici, settore pubblico, investitori, associazioni no profit e cooperative sociali sono importanti categorie di stakeholder, che attualmente non sono ancora effettivamente coinvolti e spinti a collaborare tra loro in processi di cooperazione e sperimentazione di pratiche circolari, per creare relazioni di lungo periodo e nuove catene del valore. Essi devono, quindi, essere stimolati per innescare dinamiche di mercato per elementi edilizi recuperati, nell'attivazione di nuovi *business* circolari virtuosi.

Diversi possono essere i soggetti promotori, tra cui le pubbliche amministrazioni di livello locale e nazionale, che attivano pratiche di *knowledge*

*sharing* e sperimentazione sul campo, con il coinvolgimento diretto di tutti gli stakeholder della filiera (Ventura *et al.*, 2019).

Le occasioni di co-creazione, di *Living Lab*, tra i soggetti chiave, sono quindi mirate, più ampiamente, al cambiamento del sapere progettuale, produttivo e gestionale, permettendo l'attivazione di filiere dinamiche capaci di supportare nuovi mercati basati sulla circolarità e sostenibilità.

Un esempio applicativo è il progetto SockETs (Social Engagement with Key Enabling Technologies), che ha realizzato percorsi partecipativi in Italia e parallelamente in altri paesi europei (Bulgaria, Estonia, Olanda, Serbia e Spagna) con l'obiettivo di testare metodologie di "co-creation" nell'allineare lo sviluppo tecnologico ai valori e alle sfide della società. In particolare, il percorso partecipativo realizzato in Italia si è focalizzato sulle tecnologie per la transizione verso l'economia circolare del settore edilizio e delle costruzioni (Lavagna *et al.*, 2023), vedendo la partecipazione di centri di ricerca e università, imprese direttamente coinvolte nello sviluppo e nell'innovazione tecnologica (*hard* e *soft*), associazioni di categoria (come quelle di ingegneri o architetti, ma anche di produttori), *utilities* che gestiscono servizi direttamente collegati alla realizzazione e funzionamento degli edifici, utilizzatori degli edifici (residenti, ecc.) e associazioni/enti che si occupano della loro gestione, investitori e proprietari degli immobili.

#### **5.4. Buone pratiche e iniziative di supporto per l'attivazione di *networking* lungo la filiera edilizia**

Le indagini sul campo, compiute trasversalmente attraverso il dialogo con stakeholder di diversi paesi europei, finalizzate a fare emergere particolari casi esemplari di applicazione di modelli di circolarità e reti di operatori allo scopo di estendere la vita utile dei prodotti, hanno portato alla constatazione che sono ancora poche le iniziative nel settore edilizio.

Di seguito vengono mostrati: buone pratiche fondate sulla logica di prodotto-servizio nel settore edilizio applicate a sistemi impiantistici, ad arredi e, in via sperimentale, a chiusure verticali di edificio; esempi che applicano la logica del *take-back* di prodotti, evidenziando i relativi limiti e necessità di miglioramento; esempi di *networking* tra operatori nati nel nord Europa per incentivare il riuso e il riciclo dei prodotti in uscita dalle attività di rinnovo del patrimonio edilizio.

Al fine di incentivare la diffusione di modelli di circolarità, vengono evidenziate come buone pratiche le iniziative di condivisione della conoscenza e co-creazione per sviluppare e sostenere vantaggi competitivi tra stakeholder della filiera.

### 5.4.1. Esempi di applicazione di modelli prodotto-servizio in edilizia

I sistemi di prodotto-servizio trovano ancora poche applicazioni nell'ambito della fornitura di servizi legate a parti d'opera, componenti o prodotti utilizzati in edilizia. Le uniche applicazioni già in uso sono correlate alle attività che costituiscono per gli utenti consumi e costi economici rilevanti e costanti durante la fase d'uso dell'edificio e che sono connesse a prodotti che richiedono frequenti interventi di manutenzione e sostituzione, ovvero la climatizzazione e l'illuminazione.

A livello di edificio, quindi, esistono esempi di prodotto-servizio destinati agli impianti di riscaldamento e raffrescamento (generatori, sistemi di distribuzione e unità interne) che, particolarmente nei casi di grandi complessi immobiliari, vengono gestiti da *Energy Service Company* (ESCO) come servizio. In questi casi, gli utenti, anziché comprare i macchinari per la generazione della climatizzazione, stipulano un contratto di fornitura di calore e raffrescamento, sollevandosi dunque dalle spese ordinarie, come manutenzioni annuali, e straordinarie, come eventuali riparazioni di guasti imprevisti, e demandando al fornitore gli interventi utili alla riduzione dei consumi. L'utente generalmente paga una quota fissa, rapportata al consumo energetico tipico dell'edificio (con in genere una percentuale di riduzione vantaggiosa legata alla stima della riduzione dei consumi). Le *Energy Service Company* trovano vantaggio economico attraverso l'efficientamento energetico del sistema impiantistico, a copertura anche degli interventi di manutenzione, mantenendo altresì la proprietà dell'impianto a fine vita.

Si tratta di un esempio di logica *win-win*, in cui sia l'utente sia il fornitore traggono vantaggio economico; inoltre vi è un vantaggio ambientale determinato dal fatto che il fornitore è incentivato, per aumentare i suoi profitti, a identificare soluzioni a basso consumo (il contratto è basato sulla prestazione finale di condizioni di comfort, per cui il come viene erogato il calore è responsabilità del fornitore) e a bassa manutenzione (durevoli, riutilizzabili/rilavorabili a fine uso) di fatto attuando obiettivi in linea con la sostenibilità ambientale.

Le *Energy Service Company*, a livello organizzativo, sono costituite da una rete strutturata di professionisti in grado di soddisfare tutti i servizi erogati previsti dal contratto, includendo quindi competenze tecniche e competenze legali, unitamente alle capacità finanziarie di investimento per il rinnovamento del sistema impiantistico e la continua manutenzione. Altro esempio è quello relativo alla fornitura del servizio di illuminazione (*Lighting as a service*). In questo caso, l'azienda produttrice di sistemi di illuminazione (es. Philips) sostituisce la vendita di corpi illuminanti (lampadine) con la fornitura del servizio di illuminazione. Il cambiamento di

*business* nell'ambito del settore dell'illuminazione è avvenuto in particolare a seguito dell'innovazione di prodotto, da lampadina ad incandescenza a lampadina a LED, molto più durevole del prodotto precedente. Ciò ha portato le aziende a dover introdurre nuovi modelli di *business*, per mantenere costanti i propri guadagni. Attraverso un modello prodotto-servizio, l'azienda produttrice di sistemi di illuminazione resta proprietaria dei prodotti, stipulando un contratto di servizio con il cliente che riceve il servizio di illuminazione unitamente ai servizi di riparazione e sostituzione delle lampadine. Anche in questo caso, il contratto si basa sulla prestazione e restano in capo al fornitore le scelte relative ai corpi illuminanti, che avrà interesse a produrre a basso consumo e durevoli.

Ulteriore esempio riguarda la pratica molto diffusa nell'ambito del settore edilizio terziario di prodotti-servizio sotto forma di contratti di noleggio o *leasing* tra produttore/fornitore e utilizzatori di prodotti che hanno un impiego di breve durata, ad esempio in occasione di eventi temporanei fieristici ed espositivi. In questo ambito, infatti, proprio a causa della temporaneità di uso, per il cliente non è vantaggioso l'acquisto dei prodotti che costituiscono l'allestimento (pavimentazioni, partizioni verticali, arredi, pannelli di supporto, ecc.). Inoltre, il cliente non può neanche riutilizzare gli stessi prodotti in altre occasioni in quanto sovente non è in grado di gestire in autonomia la logistica dei prodotti (assemblaggio, disassemblaggio) o non ha neanche eventuali spazi di stoccaggio dedicati. Il noleggio o *leasing* dei prodotti, quindi, risulta la soluzione maggiormente vantaggiosa per lo stesso, costituendo altresì per il produttore/fornitore un'opportunità di fidelizzazione del cliente. Il fornitore, infatti, generalmente offre, oltre ai servizi di montaggio e smontaggio, anche servizi di manutenzione nel corso della fase d'uso (temporanea) del prodotto, di stoccaggio e talvolta di progettazione degli spazi espositivi e ri-progettazione degli spazi, con gli stessi componenti, per differenti eventi. Il fornitore ha quindi il vantaggio di un maggior guadagno complessivo, poiché oltre al guadagno sul noleggio del prodotto ottiene anche guadagno sulla gestione (che il cliente è disposto a pagare come servizio), mantenendo inoltre la proprietà del bene con la possibilità di recuperare parte del materiale a fine uso. Esistono molteplici esempi di modelli di prodotto-servizio applicati alla fornitura di prodotti per il settore fieristico ed espositivo, come la fornitura di moquette, di strutture in legno o in acciaio per le partizioni verticali e, in modo ancora più diffuso, per le componenti di arredo (poltrone, sedie, tavoli, ecc.). Nelle migliori pratiche attuali, però, il produttore si impegna a riutilizzare il più possibile i prodotti destinati sempre allo stesso cliente e, a fine vita utile, si impegna a conferire il prodotto in centri di riciclaggio. Esiste, quindi, ancora margine di miglioramento nell'ambito del settore fie-

ristico ed espositivo. In questa prospettiva costituiscono importanti sperimentazioni quelle avvenute all'interno della ricerca Re-NetTA (Atta *et al.*, 2023) che hanno individuato modelli di *business* nel settore terziario degli allestimenti fieristici che possono incentivare pratiche di riuso, *remanufacturing* e *repurposing*.

Particolarmente usuale nel nord Europa, è l'attuazione di modelli di prodotto-servizio per tutto l'arredo di spazi per uffici (es. scrivanie, sedie, cabine/box per video call in ambienti di lavoro *open-space*). Aziende di produzione di arredo per ufficio hanno puntato sul sistema di prodotto-servizio (*Furniture as a Service*), sotto forma di locazione operativa.

Una interessante *best practice* è stata individuata nel nord Europa (azienda Ahrend), ed è basata sull'attivazione di modelli di prodotto-servizio tramite soluzioni digitali integrate che permettono la circolarità dei prodotti. In questo caso, ciascun prodotto è fornito di codice QR, che permette un efficace scambio di informazioni con il cliente, il quale può inviare facilmente all'azienda una richiesta di assistenza, inclusa nel contratto; inoltre il codice digitale QR permette all'azienda di produzione degli arredi per uffici di alimentare una piattaforma di condivisione (mercato digitale) per lo scambio di mobili tra le diverse organizzazioni o uffici, in base alla domanda e all'offerta, proponendo mobili nuovi o rinnovati a diversi prezzi. Inoltre, la progettazione degli arredi è interamente basata sui criteri *design for disassembly*, certificata altresì con marchio ambientale *cradle to cradle*, in modo da permettere riparazioni e sostituzioni che comportino meno costi per l'azienda proprietaria dei prodotti.

Rappresenta infine un buon esempio di trasferimento della logica di prodotto-servizio a parti di edificio con una longevità maggiore la sperimentazione della ricerca *Façade Leasing*, condotta dall'Università di Delft (Azcárate-Aguerre *et al.*, 2018) in collaborazione con numerosi partner industriali di settore e stakeholder differenti. Questa sperimentazione costituisce un primo caso applicativo della fornitura di componenti edilizi di facciata, attraverso l'uso di contratti di servizio a lungo termine.

Il fattore abilitante di attivazione del modello di *business* per l'involucro di facciata, è stato quello di progettare la facciata come una parte di edificio che potesse svolgere molteplici servizi, quindi, un sistema attivo e complesso con un'alta integrazione digitale. In questo modo la facciata dell'edificio diventa un sistema altamente tecnologico e performante costituito da moduli multifunzionali.

I moduli di facciata sviluppati dalla ricerca *Façade Leasing* sono costituiti oltre che da sistemi di tamponamento opaco e trasparente e da aperture vetrate anche da elementi tecnologici/elettronici che svolgono particolari servizi per l'utente, mirano ad alte prestazioni energetiche, unitamente ad

alto comfort indoor. I moduli di facciata possono infatti integrare impianti per la produzione energetica (pannelli solari e fotovoltaici), impianti per il trattamento dell'aria, cablaggio della corrente elettrica e della rete internet, sistemi di schermature, schermi multimediali per la pubblicità, elementi vegetali per giardini verticali (Fig. 34). I moduli sono quindi costituiti da elementi impiantistici multifunzionali e customizzabili, che richiedono una maggiore frequenza di manutenzione e innescano un legame contrattuale tra cliente e fornitore all'interno della logica di prodotto-servizio.



Fig. 34 – Funzionalità integrate all'elemento di facciata fornita con la logica di prodotto-servizio (fonte: rielaborazione dell'autore da Azcarate-Aguerre et al., 2018)

I moduli di facciata sono progettati con i criteri del *design for disassembly*, con lo scopo di permettere trasformazioni o sostituzioni, anche parziali, con estrema facilità, per massimizzare il valore dei componenti nel tempo.

Alla base della possibilità di realizzare e diffondere questi sistemi di involucro altamente performanti, il progetto ipotizza un modello di prodotto-servizio, proponendo quindi la fornitura dei moduli di facciata sotto forma di servizio, attraverso un contratto di prestazione.

Il modello permette ai clienti (privati o pubblici) di ridurre significativamente l'investimento iniziale richiesto per la realizzazione dell'involucro edilizio, costituito appunto da moduli di facciata e sistemi integrati (come il fotovoltaico, il solare o l'unità di trattamento dell'aria), attraverso un contratto di noleggio o *leasing* a lungo termine. L'azienda di produzione delle facciate non è quindi un'unica azienda ma una rete stabile di aziende che

possono fornire diversi prodotti e servizi relativamente alla componente tecnologica della facciata (fotovoltaico, serramento, sistema di trattamento dell'aria, ecc.). I moduli di facciata *Façade Leasing* sono stati sperimentati sul campo nella parziale riqualificazione dell'involucro di un edificio all'interno del Campus universitario della TU Delft. Il progetto pilota ha riguardato la sostituzione di quattro pannelli di facciata con innovativi moduli multifunzionali sviluppati nel progetto di ricerca (Fig. 35).

Il modello economico e industriale riveste una notevole importanza in quanto non deve essere considerato un campione a sé stante ma un esempio di fattibile promozione e incentivazione per lo sviluppo di nuove relazioni e responsabilità tra molteplici soggetti, in diversi ambiti produttivi e dei servizi.



Fig. 35 – Fotografia della facciata completata del Progetto pilota *Façade Leasing* alla TU Delft (fonte: Azcarate-Aguerre et al., 2018; credits: Marcel Bilow)

#### ***5.4.2. Networking tra operatori per filiere di riuso di prodotti***

L'analisi di *best practice* condotta nei paesi del nord Europa ha mostrato una propensione alla creazione di filiere per il riuso dei prodotti edili che risulta ancora molto limitata in Italia.

Esistono infatti alcuni interessanti esempi di relazioni stabili tra stakeholder che mirano ad incentivare il riutilizzo di componenti edilizi prelevati dalla cosiddetta miniera urbana (*urban mine*), ovvero provenienti da edifici in demolizione o soggetti a interventi di riqualificazione edilizia.

In Olanda, gli obiettivi di economia circolare previsti per il 2050 (cfr. paragrafo 4.4.1), hanno dato un'importante spinta a dinamiche di circolarità ai materiali da costruzione, in quanto, secondo tale *policy*, dal 2050 tutti i prodotti utilizzati dovranno essere riutilizzati o riciclati.

A tal fine esistono già esempi imprenditoriali che mirano a raggiungere un livello di circolarità tale che possa garantire una competitività sul mercato anche futuro. Ad esempio, l'*Urban Mining Collective* è un partenariato stabilito tra diversi soggetti (demolitore, gestore di rifiuti/materiali, logistica e produttori di materiali da costruzione) per aprire un'attività basata sull'estrazione urbana attraverso il riutilizzo e il riciclaggio di materiali. Questa *partnership* garantisce uno scambio immediato di informazioni e facilita un processo di riutilizzo (e riciclo) con prezzi e costi concordati. Il partenariato ha capacità tecniche per effettuare schemi di ritiro dei prodotti, stoccaggio, eventuali processi di *test* sui materiali, e capacità di rilavorazione e rimessa sul mercato dei prodotti.

All'interno della *partnership*, i rifiuti/risorse provenienti dalle attività di demolizione vengono destinati a riuso oppure al riciclo, in base al tipo di materiale/prodotto. Il partner che effettua le demolizioni e la raccolta separata dei materiali (New Horizon) consegna a ciascun partner aziendale i rifiuti da riciclare, oppure consegna i materiali da rilavorare all'azienda che compie le attività di rilavorazione. I prodotti estratti, rilavorati o riciclati dalla miniera urbana vengono messi sul mercato grazie alla rete di aziende di produzione che collaborano al partenariato stesso. In questo modo se la quantità di prodotti da riuso non fosse sufficiente per soddisfare la richiesta, il partenariato può integrare la fornitura con prodotti di nuova produzione. Tra i prodotti disponibili e raccolti sul catalogo di prodotti in vendita, disponibile online<sup>2</sup>, è possibile individuare interessanti casi di riciclo, rilavorazione e riuso.

Tra le attività di riciclo effettuate dall'*Urban Mining Collective* emergono: il riciclo dei rifiuti in calcestruzzo, che vengono collezionati e conferiti ai centri di riciclaggio per la produzione di nuovo calcestruzzo; il riciclo dei laterizi, i quali vengono raccolti separatamente, frantumati e macinati in modo da reimmetterli come materia prima per la produzione di nuovi laterizi (azienda partner Wienerberger); il riciclo dei materiali bituminosi per le impermeabilizzazioni, che vengono raccolti e restituiti al produttore partner di membrane impermeabilizzanti (azienda partner ZND NEDICOM) e utilizzati come materia prima seconda per la produzione di membrane bituminose.

2. Catalogo di prodotti e servizi del partenariato *Urban Mining Collective*, disponibile a [https://newhorizon.nl/wp-content/uploads/Producten\\_-\\_diensten-catalogus-New-Horizon-Material-Balance.pdf](https://newhorizon.nl/wp-content/uploads/Producten_-_diensten-catalogus-New-Horizon-Material-Balance.pdf) (accesso 11.05.2023).

Particolarmente interessanti sono poi le attività di rilavorazione e *re-manufacturing* effettuate dall'*Urban Mining Collective* in cooperazione con le aziende di produzione. Tra i casi più virtuosi, vi è il recupero e rilavorazione dei sistemi di parete in cartongesso (azienda partner Knauf). Le lastre di cartongesso vengono rimosse dagli edifici esistenti attraverso tagli di dimensione pari a  $500 \times 2400$  mm, al fine di destinarle al riutilizzo per nuove pareti (composte da dette lastre recuperate e lastre di nuova produzione). Prima di essere accettate per il riutilizzo, le lastre vengono sottoposte a una serie di prove e *test*, effettuate dal partenariato stesso. Poiché sulle lastre usate può essere presente uno strato di finitura esistente, nel secondo ciclo di vita esse vengono posizionate in modo tale che il lato con finitura esistente venga montato all'interno della nuova parete. Il rivestimento esterno della nuova parete viene invece costituito da nuove lastre (Knauf Board) che conferiscono alla parete le prestazioni tecniche ed estetiche richieste (Fig. 36).



Fig. 36 – Processo operativo per il recupero e riuso delle lastre in cartongesso (fonte: *Urban Mining Collective*, <https://newhorizon.nl/material-balance/productoverzicht/productdetail?id=3066>)

Un ulteriore esempio riguarda i materiali in legno, come legnami piallati: anziché conferirli all'inceneritore possono essere recuperati e riutilizzati per diversi tipi di rilavorazione, in particolare per le riparazioni di porte e infissi in legno (azienda partner Stihl).

I materiali provenienti dalla demolizione di travi di abete rosso e pino sono invece rilavorati per comporre rivestimenti di pareti interne, pavimen-

tazioni oppure per la produzione di piani e tavoli (azienda partner Herso circulaire Houtbewerkers); i fori o fessure del legno dovuti all'uso durante la prima vita (es. presenza di canaline, eventuali crepe di usura, ecc.) vengono riempiti con residui di legno e resina e le superfici vengono rese pulibili attraverso il trattamento con oli (Fig. 37).

Esempi di riuso effettuati dall'*Urban Mining Collective* in cooperazione con le aziende di produzione riguardano ad esempio prodotti elettrotecnici provenienti dallo smantellamento degli edifici (canaline; tubi in plastica; apparecchi di illuminazione; chiusure magnetiche; sensori e rivelatori, ecc.) che vengono recuperati, selezionati, puliti, stoccati nel centro di distribuzione nazionale del partner di distribuzione elettronica (azienda partner Rexel) e riutilizzati, offerti sul mercato come prodotti di seconda vita.



Fig. 37 – Recupero di travi di abete rosso e pino per la produzione della pavimentazione

In Belgio, un'altra realtà che sta innescando *business* fondati sul recupero dei prodotti provenienti da attività di demolizione edilizia è rappresentata da Rotor DC Deconstruction and Consulting, una cooperativa sociale che mira a mettere in rete un ecosistema regionale per il riutilizzo su larga scala dei materiali da costruzione al fine di operare per la riduzione dei rifiuti e del consumo di risorse nel settore edilizio. La principale e originale attività della cooperativa è quella della demolizione. Inizialmente (dal 2014) la cooperativa rimetteva sul mercato i prodotti che recuperava dalle proprie attività di demolizione; attualmente, invece, commercia anche materiali provenienti da altri fornitori, ovvero imprese di demolizione e società immobiliari. Il mercato di Rotor è costituito da una piattaforma digitale, Opalis (cfr. paragrafo 3.4.4) in grado di mettere

in rete diversi operatori della filiera del recupero e innescare un mercato basato sulla domanda e offerta non solo di prodotti da recupero ma anche di servizi per il recupero (dalle attività di demolizioni selettive alle attività di pulizia, rilavorazione e riciclo dei prodotti). I materiali presenti sulla piattaforma (*market* digitale) possono intercettare differenti ambiti di mercato alternativi e secondari: alcuni prodotti, infatti, sono più economici dei nuovi anche a parità di qualità; alcuni materiali sono più costosi dei nuovi in quanto sono oggetti che hanno valore storico per la loro unicità e manifattura.

Rotor nel tempo ha sviluppato tecniche di decostruzione, sistemi logistici e impianti di rigenerazione per materiali da costruzione, integrando competenze specializzate per la riparazione e trasformazione di apparecchi di illuminazione, la rimozione della malta dalle piastrelle di ceramica, la rilavorazione del legno “urbano” di alta qualità e la pulizia e preparazione al riutilizzo di mobili e ferramenta, e attrezzature igienico-sanitarie.

A fianco di queste realtà organizzate esiste anche il contributo di realtà singole che però stanno costruendo una rete di partner chiave per espandere il loro *business*. In Danimarca l'azienda Gamle Mursten è un esempio. L'azienda si occupa della pulizia per il riuso e il *remanufacturing* di mattoni pieni (materiale ampiamente diffuso nel contesto danese sia come materiale da costruzione per murature portanti sia come materiale di rivestimento di facciate e pavimentazioni) (Fig. 38). L'azienda ha attivato una serie di competenze verticali al suo interno, per le quali è



Fig. 38 – Stoccaggio dei mattoni recuperati e processo di rilavorazione

in grado, autonomamente, di: pulire/rilavorare i mattoni provenienti da fornitori partner rappresentati da aziende di demolizione; effettuare *test* e verifiche finalizzati alla marcatura CE (che garantisce la qualità dei mattoni di recupero come nuovi prodotti); rivendita dei mattoni ad imprese di costruzione (Fig. 39).



Fig. 39 – Marcatura CE dei mattoni rilavorati e destinati al riuso

Il lavoro di pulizia dei mattoni richiede un particolare impegno di competenze umane, in quanto i mattoni vengono puliti per la maggior parte manualmente e con piccoli macchinari. Questo processo estremamente artigianale, risulta non solo a basso impatto ambientale, ma anche vantaggioso dal punto di vista degli impatti sociali, in quanto è occasione di inserimento lavorativo di persone fragili che rappresentano un capitale umano ancora poco valorizzato.

Per consentire un'ulteriore vita utile dei mattoni, l'azienda consiglia l'utilizzo di malta di calce per muratura, che risulta un prodotto facilmente removibile con la stessa tecnica di pulizia da loro effettuata.

I mattoni che non risultano adatti al riutilizzo alla pari di nuovi prodotti, in quanto parzialmente scheggiati o non completi, vengono recuperati per la produzione di sistemi di rivestimento costituiti da pannelli prefabbricati modulari su cui vengono applicati i pochi centimetri di laterizio riutilizzato. I pannelli misurano 40 × 60 cm e possono essere utilizzati per rivestimenti sia esterni che interni.

Nel settore edilizio, esempi un po' meno virtuosi ma che comunque stimolano la circolarità dei flussi di prodotti giunti a fine vita, sono le aziende che attivano accordi di *take-back* dei prodotti con i propri clienti.

Il cliente/utilizzatore, che diventa il proprietario del prodotto, nel momento dell'acquisto stipula un accordo di ri-vendita all'azienda produttrice. Tali schemi di ritiro possono costituire un guadagno per l'utilizzatore (a seconda del tipo di prodotto e del tempo di utilizzo prima del ritiro), come nel caso di strutture in acciaio. Alcuni fornitori (es. PROgroup) hanno stipulato accordi di *take back* con i propri clienti per il riacquisto dei loro elementi in acciaio al momento della demolizione, al fine di riutilizzarli (quindi rivenderli) in altri progetti. L'azienda generalmente concorda un prezzo vantaggioso per il cliente, in quanto superiore alla media del mercato dell'usato, poiché per il produttore il riacquisto dei propri prodotti riduce significativamente i rischi rispetto all'acquisto di travi usate di altri produttori. Tali schemi di *take back* possono ulteriormente incentivare i fornitori a standardizzare i loro prodotti e a progettare i componenti e prodotti per garantire una decostruzione semplice e il facile reimpiego (Wang *et al.*, 2017).

Anche aziende di controsoffitti (es. Armstrong) effettuano il ritiro dei loro prodotti e materiali. In questo caso non è previsto il pagamento di una quota al cliente, il quale ha comunque il vantaggio di non dover pagare costi di conferimento in discarica. Le aziende ritirano principalmente i propri vecchi prodotti e gli sfridi dei propri nuovi prodotti in uscita dalla fase di costruzione. Ritirano inoltre prodotti di altre marche se matericamente compatibili al loro prodotto. In questo caso i materiali ritornano allo stabilimento di produzione e vengono immessi nel processo produttivo (riciclo).

### 5.4.3. Esempi di Green Deal e knowledge sharing di filiera

Importanti iniziative che si sono attivate, con il supporto del governo, in alcuni paesi europei, come Belgio e Olanda, sono le *National Green Deal*, nate come stimolo alla collaborazione tra pubbliche amministrazioni, imprese e istituzioni per incentivare l'economia circolare.

In Belgio, nel 2019 è stato istituito un *Green Deal Circular Building* (GDCB), su iniziativa del governo belga (Flanders Circular, OVAM) e della confederazione fiamminga delle costruzioni, nell'ambito del programma circolare fiammingo, firmato da 300 aziende e istituzioni, coinvolgendo governi, costruttori edili, produttori di materiali da costruzione, architetti, banche, promotori immobiliari, istituti di ricerca e università.

Un'importante iniziativa del GDCB è stato il *Circular Building Living Lab*, guidato da VITO, BBRI, Hasselt University e Vrije Universiteit Brussel e OVAM. L'obiettivo di questo *Living Lab* è stato quello di elaborare raccomandazioni per *policy* e pratiche finalizzate ad accelerare la transizione verso un'economia circolare nel settore edilizio. Nella prima fase (2019-2020), le attività all'interno del *Living Lab* hanno riguardato il tema dell'*urban mining* orientato al riutilizzo e al riciclaggio di alta qualità. Il *Living Lab* si è concentrato sulla disponibilità di soluzioni tecnologiche e non tecnologiche per differenziare meglio gli attuali rifiuti da costruzione e demolizione in loco, riciclarli e/o riutilizzarli in applicazioni utili. In una seconda fase (2020-2022), il *Living Lab* ha affrontato il tema della (ri)costruzione orientata al cambiamento, focalizzandosi sulle strategie di progettazione, costruzione, collaborazione e creazione di valore orientate a edifici come banche di materiali.

Anche in Olanda, il governo sostiene iniziative per accelerare la transizione verso un'economia circolare. I *Green Deal Circular Buildings* (GDCB) sono iniziati nel 2015 con durata di circa quattro anni. Il GDCB olandese, che includeva soggetti della filiera edilizia e le pubbliche amministrazioni, si è interessato principalmente agli interventi sugli edifici esistenti. In particolare, il GDCB ha lavorato su edifici per uffici esistenti, in fase di ristrutturazione (edificio interno o esterno), con l'obiettivo di fornire strumenti adeguati a valutare la circolarità dell'edificio. A tal fine, il GDCB ha sviluppato un *material passport*, che descrive la circolarità degli edifici, e un manuale che supporta e spiega come gli edifici possono essere applicazione di modelli di circolarità.

In Danimarca, un'importante iniziativa è il VCØB (*Videncenter for Cirkulær Økonomi i Byggeriet* – tradotto, Centro di Conoscenza per l'Economia Circolare in edilizia), sviluppato da un consorzio di parti interessate volontarie, come luogo virtuale per condividere le conoscenze ed

esperienze sull'economia circolare nel settore delle costruzioni. L'obiettivo è quello di raccogliere, sviluppare e diffondere procedure di circolarità nel settore delle costruzioni, fornendo informazioni sugli standard attuali e sulle migliori pratiche. VCØB è rivolto agli stakeholder del settore edilizio, al fine di diffondere conoscenza sulle responsabilità e gli aspetti normativi da rispettare per l'attivazione di strategie di circolarità: i proprietari di un edificio, gli appaltatori, i consulenti, i progettisti, i produttori e le pubbliche amministrazioni possono ottenere, dunque, indicazioni gratuite sull'economia circolare in edilizia. In particolare, i temi della circolarità sono affrontati: nell'ambito della fase di costruzione, in cui vengono dati consigli sulla progettazione edilizia, sulla fornitura dei materiali, sul processo di costruzione, sulla tracciabilità dei materiali, e sulla tassonomia; nell'ambito della fase di demolizione degli edifici, in cui vengono approfonditi i temi della classificazione di rifiuto, della prevenzione al rifiuto, della mappatura delle risorse, della demolizione selettiva, riuso e riciclo dei materiali edilizi.

Le buone pratiche emerse nei paesi nordeuropei, relative sia allo scambio proattivo tra gli operatori per accelerare la transizione verso un'economia circolare, sia di nuovi modelli organizzativi che danno origine ad attività economiche redditizie, devono essere prese da esempio e spunto per l'Italia.

Le leve che spingono alla replicabilità di queste buone iniziative dovrebbero essere i benefici che le stesse stanno apportando nell'ambito della sostenibilità ambientale, economica e sociale, quali: la riduzione del consumo di nuove risorse, l'apertura di nuovi mercati e lo sviluppo di nuovi modelli di business e l'aumentano di posti di lavoro (anche per persone fragili).

## 6. Esempi di applicazione dei principi di circolarità in architettura

Dopo la definizione di strategie e strumenti per la circolarità appartenenti alle tre aree di sviluppo (cap. 3, 4, 5), nel presente capitolo vengono descritti alcuni esempi riguardanti interessanti progetti che hanno messo in pratica dette strategie e strumenti.

L'analisi dei casi studio dimostra la fattibilità di applicazione delle strategie e degli strumenti di economia circolare in edilizia, attraverso scelte progettuali mirate e attente all'intero ciclo di vita dell'edificio. Le pratiche, gli strumenti utilizzati e i nuovi operatori introdotti lungo il processo edilizio circolare vengono illustrati nei paragrafi successivi.

Gli esempi riguardano due casi di riqualificazione edilizia (gli interventi di Alliander Headquarter e del Circular Retrofit Lab), un caso di espansione temporanea di un edificio esistente, progettata per essere utilizzata per un periodo di tempo definito (l'edificio Brummen Town Hall) e un caso di nuova costruzione di un edificio con una durata d'uso non definita ma pensato per essere completamente smontato a fine vita e riutilizzato nei suoi elementi (l'edificio Circl Pavilion).

La raccolta delle informazioni è stata effettuata sia analizzando i documenti di progetto sia intervistando gli operatori direttamente coinvolti nel processo edilizio dei casi studio, tra cui *project manager*, progettisti, investitori e fornitori di materiali di seconda vita.

### 6.1. Alliander Headquarter

L'intervento riguarda la riqualificazione della sede centrale di Alliander (società energetica olandese) situata a Duiven, nei Paesi Bassi<sup>1</sup> (Fig. 40).

1. Ubicazione: Duiven, Paesi Bassi; progettista: RAU Architects; committente: Alliander; superficie utile: 21852 m<sup>2</sup>; anno di costruzione: 2015.

Il complesso edilizio esistente, da riqualificare, consisteva in una superficie di 17.877 m<sup>2</sup> adibiti ad ufficio, per 600 dipendenti. L'esigenza della società energetica era quella di aumentare la superficie utile della sede centrale per ospitare 1550 lavoratori sul posto. Oltre agli uffici e agli spazi comuni, il nuovo complesso edilizio è destinato ad ospitare altre funzioni come un centro di formazione e innovazione, aree di stoccaggio e spazi di ristorazione.

Il progetto ha previsto il riuso della maggior parte degli edifici esistenti, demolendo solo alcune parti e aggiungendo pochi volumi nuovi (Fig. 41).

Un grande atrio coperto da una struttura iconica collega, visivamente e logisticamente, i diversi edifici e crea uno spazio di atrio comune e di aggregazione che unifica e connette l'intero complesso edilizio.



Fig. 40 – Vista esterna dell'edificio riqualificato di Aliander Headquarter (credits Ben Vulkers, Thomas Heye, Marcel van der Burg, RAU)

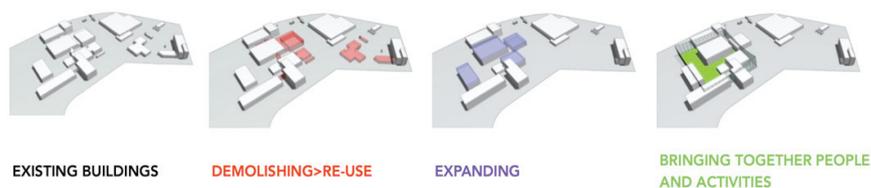


Fig. 41 – Strategia progettuale di riqualificazione dell'edificio Aliander Headquarter (credits Ben Vulkers, Thomas Heye, Marcel van der Burg, RAU)

La nuova sede di Alliander è stata pensata come un “deposito di risorse”, che può essere facilmente adattato alle mutevoli richieste future, interamente smontabile e riciclabile alla fine della sua vita utile. Gli spazi interni sono stati realizzati in modo che possano cambiare dinamicamente per soddisfare diverse esigenze di utilizzo dell’edificio nel tempo.

Questo caso studio è particolarmente interessante sia per le strategie introdotte nell’ambito della gestione circolare delle risorse/rifiuti, sia per le strategie di progettazione applicate nell’addizione architettonica.

Nell’ambito del progetto uno degli obiettivi principali è stato quello di massimizzare il riuso degli edifici esistenti e dei prodotti stoccati in essi, prevedendo, altresì, un futuro riutilizzo di alta qualità. Al fine di valutare la massima possibilità di riutilizzo è stato compiuto un bilancio preventivo dei materiali in ingresso e in uscita dal processo di rigenerazione dell’edificio.

È stato, innanzitutto, effettuato un inventario delle parti dell’edificio da demolire (*pre-demolition audit* applicato in fase di progetto) per capire quali materiali, uscenti dalle demolizioni di cantiere, avessero potenzialità di riuso o rilavorazione. Inoltre, è stato effettuato un inventario dei flussi di prodotti secondari, sottoprodotti e rifiuti disponibili nei dintorni dell’area di progetto, valutandone la possibilità di riutilizzo all’interno dell’intervento di riqualificazione (Fig. 42).

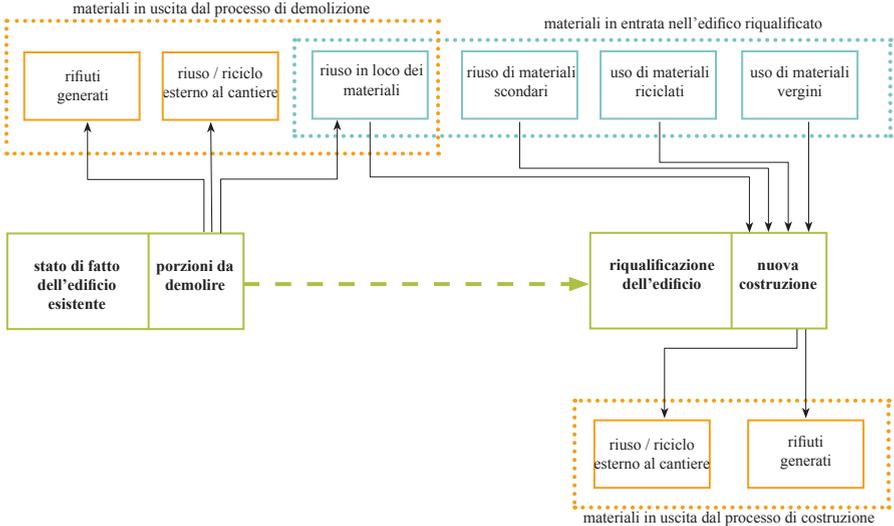


Fig. 42 – Schema dei flussi materici quantificati in fase di progetto per aumentare la circolarità delle risorse materiche (fonte: rielaborazione dell’autore da Ben Vulkers, Thomas Heye and Marcel van der Burg, and RAU)

Grazie a questo studio preliminare, il progetto è riuscito a riutilizzare il 90% di tutti gli edifici esistenti e ad attivare una serie di strategie di riuso, *remanufacturing* e riciclo che ha permesso di gestire in modo efficiente i flussi di risorse materiche del processo di riqualificazione.

Gli scarti di inerti generati dalla demolizione selettiva degli edifici esistenti sono stati riciclati in loco come aggregati nei calcestruzzi utilizzati per le porzioni di nuova costruzione.

Il progetto ha previsto il disassemblaggio di alcune strutture in acciaio della sede originaria di Alliander, che sono state poi riutilizzate per configurare altri spazi, come l'aggiunta di un piano ad un edificio esistente e l'addizione di un nuovo volume (Fig. 43 a, b, c).

I componenti di *fit-out* interno, che sono stati rimossi con una pratica di *strip-out*, sono stati in gran parte recuperati. L'intervento edilizio ha infatti previsto uno smontaggio accurato degli elementi, la selezione di quelli ancora in buono stato, la loro pulizia, lo stoccaggio temporaneo e il loro riutilizzo all'interno del processo di riqualificazione stesso.

Questo processo di riuso ha interessato, ad esempio, i pannelli del controsoffitto dei piani degli uffici esistenti, i sanitari esistenti (che sono stati smontati, ripuliti e riutilizzati), le porte esistenti degli uffici (che sono state trasformate in sedute) (Fig. 44).

Particolarmente interessante è stata, inoltre, l'intercettazione e il *remanufacturing* di un flusso di materiali secondari disponibili rilevati nei dintorni dell'area di progetto: si è trattato di legno di scarto (bancali dismessi), recuperato da un inceneritore; ciò ha permesso di dare un nuovo ciclo di utilizzo ad un materiale destinato al fine vita (Fig. 45).



a)



b)



c)

*Fig. 43 a,b,c – Riutilizzo di elementi strutturali in acciaio nel progetto di riqualificazione Alexander Headquarter (credits Ben Vulkers, Thomas Heye and Marcel van der Burg, and RAU)*



*Fig. 44 – Stoccaggio per il riuso di componenti in uscita (controsoffitti) dal processo di demolizione di alcune parti della sede di Alliander Headquarter (credits Ben Vulkers, Thomas Heye and Marcel van der Burg, and RAU)*



*Fig. 45 – Remanufacturing dei componenti recuperati da un inceneritore, successivamente utilizzati come finitura interna dell'edificio (credits Ben Vulkers, Thomas Heye and Marcel van der Burg, and RAU)*

Attraverso il coinvolgimento di cooperative sociali, che offrono opportunità di lavoro a persone fragili, è stato possibile disassemblare i bancali, presso l'impianto di incenerimento, nonché controllare, tagliare su misura e

ripulire ogni singola asse di legno. Esse sono state, quindi, utilizzate per il rivestimento delle facciate dei cinque edifici (che risultano interne al grande atrio di ingresso) e per la finitura di soffitto del ristorante.

Le addizioni volumetriche, i sistemi di facciata applicati alla chiusura verticale esistente, con lo scopo di migliorarne le prestazioni termiche ed acustiche, e la nuova copertura sono stati progettati per un facile disassemblaggio futuro e realizzati con tecnologie costruttive a secco (Fig. 46, 47).

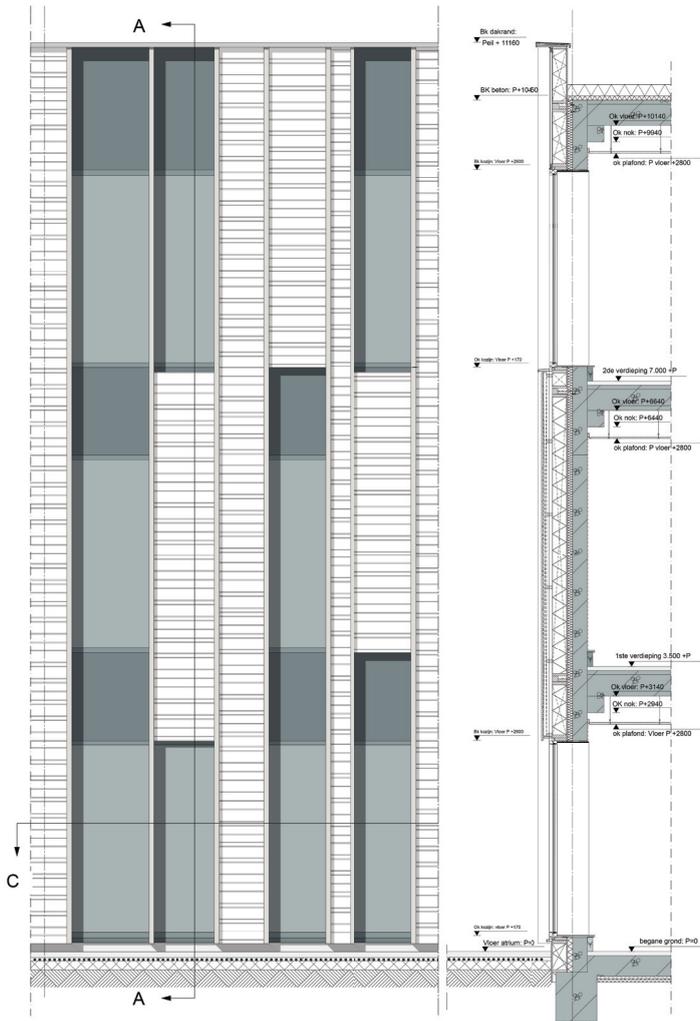


Fig. 46 – Dettaglio costruttivo del sistema di facciata applicato alla chiusura verticale esistente (credits Ben Vulkers, Thomas Heye and Marcel van der Burg, and RAU)

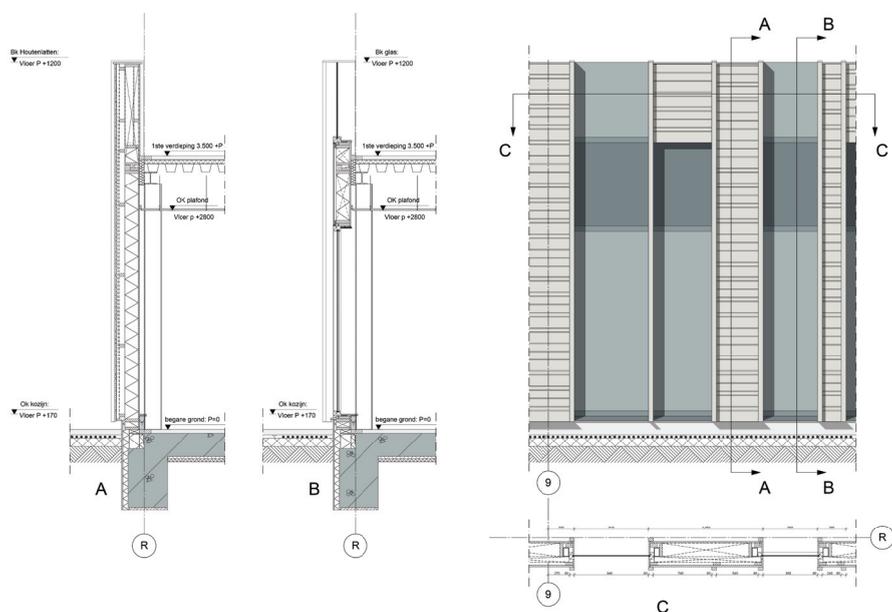


Fig. 47 – Dettaglio costruttivo del sistema di chiusura verticale delle nuove parti di edificio con struttura portante in acciaio (credits Ben Vulkers, Thomas Heye and Marcel van der Burg, and RAU)

La facciata presenta un alto contenuto di risorse secondarie. La finitura è costituita dalle assi in legno recuperate; tuttavia, è da sottolineare che è stato possibile utilizzare il legno recuperato solo nelle parti di facciata interne all'atrio di ingresso dell'edificio riqualificato, in quanto sulle facciate esterne sussisteva un problema di mancanza di certificazione per garantire l'effettiva durabilità e resistenza agli agenti atmosferici (Fig. 48; 49).

I pannelli isolanti sono completamente ottenuti dal riciclo di rifiuti tessili. In questo contesto è stata attivata una campagna di sensibilizzazione al tema del riciclo tra i dipendenti della società Alliander, attraverso la raccolta degli indumenti da lavoro non più utilizzati, che altrimenti sarebbero stati destinati alla discarica.

È importante, tuttavia, sottolineare che, nel caso studio analizzato, molte pratiche di riuso e riciclo dei flussi materici in uscita dal processo di demolizione sono state possibili grazie alla grande disponibilità di spazio per il loro stoccaggio: il grande parcheggio esistente di Alliander è stato utilizzato a tal fine. Non è facile riscontrare questa condizione in tutti i casi di riqualificazione edilizia, in particolare nei centri urbani ad alta den-

sità. La mancanza di spazio di stoccaggio, infatti, rappresenta ancora un importante ostacolo al riutilizzo.

Il progetto, oltre alla gestione efficiente dei flussi materici, ha prestato particolare attenzione anche alla diminuzione dei consumi energetici e idrici della fase di utilizzo. L'intervento ha infatti massimizzato l'uso delle risorse rinnovabili, mediante l'installazione di pannelli fotovoltaici e sistemi geotermici, azzerando le proprie emissioni di CO<sub>2</sub> dirette. L'energia rinnovabile prodotta dall'edificio soddisfa il fabbisogno energetico della fase d'uso e produce energia in eccesso che viene ceduta al sistema di produzione energetica nazionale. Inoltre, l'edificio è dotato di un sistema di raccolta di acqua piovana utilizzata per lo scarico dei servizi igienici e per l'innaffiatura della verde.

Oltre al risparmio di risorse e all'efficienza energetica, il progetto ha previsto un piano di trasporto sostenibile per i dipendenti, predisponendo punti di ricarica per auto elettriche.

Tutte le scelte rivolte alla circolarità e alla sostenibilità hanno portato il progetto a ottenere il più alto livello di valutazione nella certificazione BREEAM-NL.



*Fig. 48 – Fase di costruzione del sistema di facciata a secco, con rivestimento in legno di riuso, applicata alla chiusura verticale esistente esposta verso l'interno del nuovo complesso edilizio (credits Ben Vulkers, Thomas Heye and Marcel van der Burg, and RAU)*

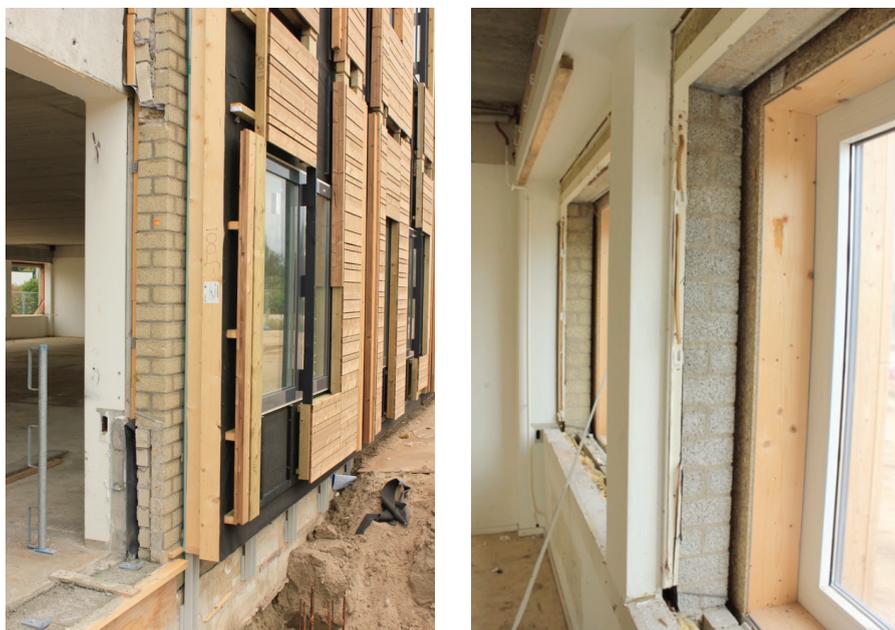


Fig. 49 – Fase di costruzione del sistema di facciata a secco, con rivestimento in legno vergine, applicata alla chiusura verticale esposta verso l'esterno del nuovo complesso edilizio (credits Ben Vulkers, Thomas Heye and Marcel van der Burg, and RAU)

Al fine di preservare i materiali massimizzando le possibilità di riutilizzo futuro, l'edificio è stato dotato di *material passport*, nel quale viene registrata tutta la documentazione relativa all'uso e al riutilizzo dei materiali e componenti che costituiscono l'edificio.

Il processo di progettazione BIM, compiuto per la riqualificazione della sede di Alliander, ha fornito la base di conoscenza di tutto il complesso edilizio, consentendo anche l'aggiornamento dinamico delle informazioni riguardanti l'edificio, registrando esattamente le risorse materiche presenti nello stesso.

Riguardo le relazioni che intercorrono tra gli operatori, il caso studio dimostra nuovi accordi per attivare soluzioni sostenibili e circolari. Alliander, già dalla gara di appalto, aveva richiesto la costituzione di un consorzio responsabile non solo della progettazione e della costruzione ma anche della manutenzione e gestione dell'edificio per almeno quindici anni. Per questo incarico è stato selezionato un consorzio formato da progettisti, consulenti di sostenibilità, costruttori, installatori e fornitori di energia. Questa scelta ha contribuito allo sviluppo di un edificio efficiente nella gestione dei materiali e dell'energia lungo il ciclo di vita.

Alliander ha inoltre stipulato con diversi fornitori contratti *take back*, ad esempio per arredi, apparecchi di illuminazione e pavimenti. La società Alliander, quindi, risulta proprietaria dei prodotti, ma i fornitori rimangono responsabili di recuperarli a fine vita, prevedendo le possibilità di riutilizzo o riciclo.

## 6.2. Circular Retrofit Lab

Il Circular Retrofit Lab è un progetto pilota della ricerca BAMB – *Buildings as Material Banks* (Horizon 2020)<sup>2</sup>. L'intervento riguarda la riqualificazione di un edificio (*student house*) del campus della Vrije Universiteit Brussel (VUB), situato a Etterbeek, vicino a Bruxelles. L'edificio originario è un esempio del modernismo belga, realizzato con soluzioni prefabbricate in calcestruzzo armato, e presenta piccole dimensioni: la superficie utile è pari a 200 m<sup>2</sup> disposta su due piani fuori terra (Fig. 50).



Fig. 50 – Circular Retrofit Lab, riqualificazione dell'edificio del complesso studentesco del campus della Vrije Universiteit Brussel (© VUB Architectural Engineering | Photo: KADERSTUDIO)

2. Ubicazione: Bruxelles, Belgio; progettista: Vrije Universiteit Brussel (VUB); committente: Pilot Project BAMB – *Buildings as Materials Banks* (Horizon 2020); superficie utile: 200 m<sup>2</sup>; anno di costruzione: 2019.

L'intervento di riqualificazione edilizia è stato completamente finalizzato alla sperimentazione di soluzioni reversibili. Il progetto è stato coordinato dalla VUB e realizzato sulla base di una collaborazione tra università, centri di ricerca, costruttori e aziende di prodotti per l'edilizia, che hanno messo a disposizione materiali e *know-how* per la realizzazione di soluzioni costruttive circolari e reversibili.

Il progetto di riqualificazione dell'edificio mette in pratica i criteri di adattabilità e flessibilità spaziale e tecnologica per ottenere un edificio multifunzionale, che possa trasformarsi con facilità da spazio espositivo a spazio per ufficio/co-working ad alloggio per studenti. I progettisti hanno ipotizzato i diversi scenari di utilizzo e trasformazioni d'uso, cercando di ridurre al minimo lo spreco di materiale nelle diverse riconfigurazioni spaziali (Fig. 51).

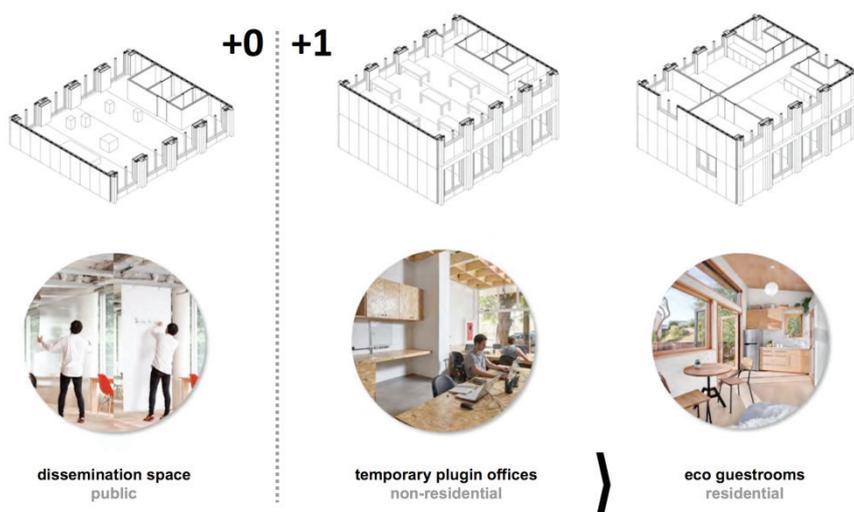


Fig. 51 – Trasformabilità dell'edificio prevista dal progetto (credit VUB Architectural Engineering)

L'intervento di riqualificazione ha mantenuto la struttura portante dell'edificio, prevedendo invece la demolizione dell'involucro edilizio che presentava basse prestazioni termiche ed acustiche.

Le fasi di demolizione sono state svolte seguendo tecniche di demolizione selettiva e *strip-out* delle finiture interne, permettendo una raccolta differenziata dei rifiuti da demolizione al fine di garantire la massimizzazione del livello di recupero e riciclo.

Il caso studio ha privilegiato l'utilizzo di soluzioni prefabbricate, a secco e assemblate in cantiere in tempi brevi. Soluzioni che possano essere anche facilmente smontabili e riasssemblabili nelle fasi di trasformazione funzionale. Le nuove facciate dell'edificio sono realizzate *off-site* e vengono installate sulla struttura portante esistente attraverso un sistema di collegamento a secco, costituito da piastre in acciaio vincolate tramite connessioni meccaniche (Fig. 52, 53, 54 a, b). Le facciate sono costituite da pannelli modulari, alcuni totalmente opachi e altri contenenti l'elemento finestra. La modularità dei pannelli di facciata permette il loro eventuale riposizionamento o modifica, al cambiare della funzione d'uso.

Tuttavia, i progettisti ed i costruttori hanno individuato un limite costruttivo alla totale reversibilità di facciata al fine di rispettare le prestazioni di tenuta all'aria dell'involucro. È stato necessario sviluppare dettagli su misura per la nastratura interna di alcuni nodi e per l'installazione di una membrana di tenuta all'aria (a secco ma unita con nastro adesivo) che ricoprì esternamente l'involucro (prima del montaggio delle finiture interne ed esterne) (Fig. 55, 56).



Fig. 52 – Pannello di facciata modulare e prefabbricato, installato a secco sulla struttura portante esistente (© VUB Architectural Engineering | Photo: KADERSTUDIO)



*Fig. 53 – Pannello modulare e prefabbricato, contenente l'elemento finestra, e installato a secco sulla struttura portante esistente (© VUB Architectural Engineering | Photo: KADERSTUDIO)*



a)



b)

*Fig. 54 a – Aggancio a secco dei moduli di facciata prefabbricati alla struttura portante esistente; b – completamento del nodo costruttivo con isolante termico (© VUB Architectural Engineering | Photo: KADERSTUDIO)*



*Fig. 55 – Membrana di tenuta all'aria di rivestimento ai pannelli modulari a secco (© VUB Architectural Engineering | Photo: KADERSTUDIO)*



*Fig. 56 – Nastratura interna di tenuta all'aria dei moduli di facciata (© VUB Architectural Engineering | Photo: KADERSTUDIO)*

Per traggardare alti livelli di adattabilità e reversibilità, il progetto ha rispettato i criteri della progettazione per *layer*. Ogni componente, in base alla sua potenziale durabilità o durata utile, è stato quindi progettato per essere smontabile indipendentemente dalle altre parti dell'edificio. Ad esempio, l'accesso al sistema di distribuzione impiantistico non richiede la demolizione di alcuna parte dell'edificio: esso è stato integrato dietro lo

zoccolo removibile delle pareti verticali oppure, posto sotto il pavimento flottante (Fig. 57 a, b).



Fig. 57 a – Sistema impiantistico posizionato dietro allo zoccolo removibile delle pareti verticali; b – Sistema impiantistico posizionato a secco sotto il pavimento flottante (© VUB Architectural Engineering | Photo: KADERSTUDIO)

Partendo dalla considerazione che lo spazio interno di un edificio ha necessità di riconfigurazioni più frequenti, il progetto ha raggiunto la massima flessibilità e adattabilità degli spazi interni attraverso la sperimentazione di elementi di partizione verticale reversibili (facilmente smontabili e rimontabili).

Grazie alla cooperazione delle aziende produttrici di alcuni sistemi a secco per partizioni verticali, all'interno del Circular Retrofit Lab sono state sviluppate e installate soluzioni di partizioni interne verticali reversibili, adattabili a diverse esigenze degli utenti nel rispetto di tutti i requisiti normativi europei e locali in termini di isolamento acustico, resistenza al fuoco, durabilità, normativa sulla sicurezza, ecc. I sistemi di pareti testati all'interno del Circular Retrofit Lab sono descritti di seguito (Goes *et al.*, 2018).

Il primo sistema (sistema GIS, prodotto da Geberit) (Fig. 58) presenta una sottostruttura metallica e una finitura in tavolati in legno (che sostituiscono la

tradizionale finitura di cartongesso) al fine di garantire una totale disassemblabilità (non è necessaria la rasatura) e una maggiore resistenza del pannello nella fase di disassemblaggio. La sottostruttura presenta una tecnica di connessione tra profili ad incastro. Essi non sono uniti tramite avvitaggio ma tramite un sistema a “clip”, che permette il facile disassemblaggio degli elementi. Il sistema ha sperimentato altresì molteplici connettori e bulloni reversibili che permettono l’installazione impiantistica necessaria per bagni e cucine.



*Fig. 58 – Sistema di partizione interna con sottostruttura metallica con giunti reversibili, e finitura in tavolati di legno (© VUB Architectural Engineering | Photo: KADERSTUDIO)*

Il secondo sistema è costituito da telaio in legno e rivestimento in lastre di cartongesso (prodotto da Saint Gobain) (Fig. 59), agganciate attraverso l’utilizzo di viti. Questa soluzione comporta la necessità di diverse operazioni per il disassemblaggio. Infatti, il pannello in cartongesso richiede uno strato di rasatura superficiale che nasconda la presenza dei giunti e quindi delle viti di assemblaggio. In questa soluzione è quindi necessario l’ausilio di uno strumento elettronico che permetta la rilevazione delle viti, in modo tale da poter individuare l’esatto punto in cui rimuovere manualmente la porzione di rasatura per svitare i pannelli e rimuoverli.



*Fig. 59 – Sistema di partizione interna con sottostruttura in legno e finitura in cartongesso, con zoccolo removibile per passaggio impiantistico (© VUB Architectural Engineering | Photo: KADERSTUDIO)*

Interessante, in questo sistema, è la sagomatura alla base del montante in legno che permette il passaggio degli impianti dietro ad uno zoccolo di finitura facilmente removibile, garantendo l'indipendenza tra i componenti e quindi il facile accesso per la manutenzione impiantistica.

Il terzo sistema è costituito da profili metallici e due strati di cartongesso (prodotto da Saint-Gobain). Il sistema non richiede la rasatura, in quanto il pannello superficiale è prefinito (Fig. 60). Lo sviluppo di questo sistema si è focalizzato sul giunto di connessione tra montanti e pannelli, al fine di garantire un facile disassemblaggio che eviti il rischio di danneggiamento dei componenti. Il giunto di connessione rimane accessibile, coperto dall'incastro di due profili plastici sagomati a omega, reversibili.

Il primo profilo viene avvitato al primo strato di cartongesso (anch'esso avvitato alla sottostruttura metallica), permettendo il fissaggio dei pannelli di finitura che restano intatti. Il secondo profilo si incastra sul precedente, garantendo una finitura superficiale del giunto, raggiungendo un buon livello estetico della soluzione.

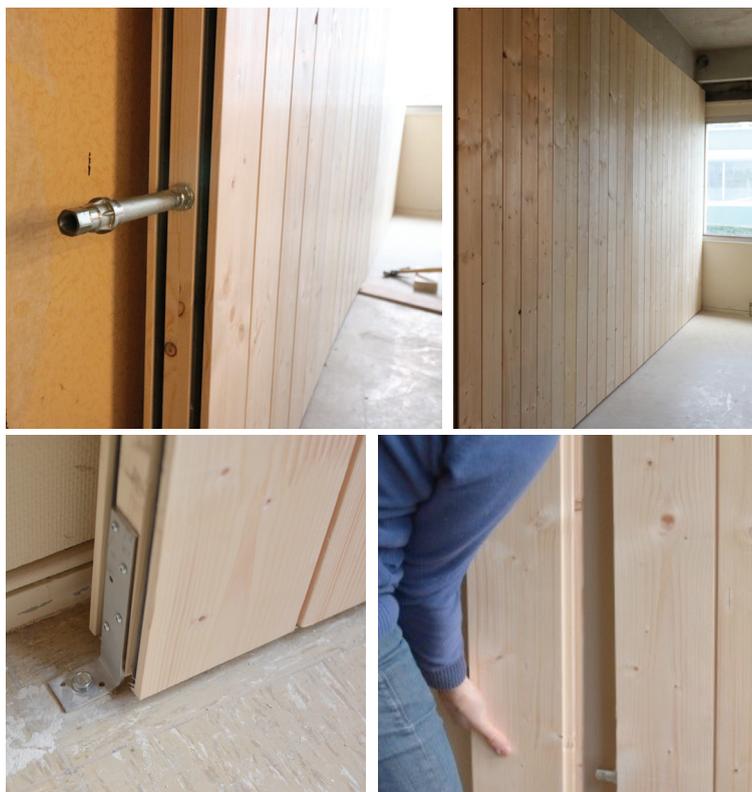


*Fig. 60 – Sistema di partizione interna con sottostruttura metallica con giunto di connessione tra montante e pannello accessibile e rivestito con profilo ad omega reversibile (© VUB Architectural Engineering | Photo: KADERSTUDIO)*

In questo modo le viti di fissaggio non sono visibili, ma facilmente accessibili. Il sistema ha sviluppato inoltre un piede sagomato, in PVC, da montare alla base dei profili metallici verticali, al fine di garantire l'integrazione degli impianti indipendenti dalla sottostruttura di parete, e facilmente accessibili attraverso uno zoccolo removibile.

Il quarto sistema è costituito da una partizione costituita da pannelli in legno lamellare (di larghezza circa 20 cm) collegati tra loro attraverso connettori metallici (prodotto da Systimber) (Fig. 61). Il sistema è stato sperimentato come parete divisoria ma può essere utilizzato anche come pavimentazione o controsoffitto. La partizione verticale viene agganciata con profili a L metalli-

ci al pavimento, posizionati circa ogni 6 moduli. Una volta agganciato a terra il primo modulo, ad esso vengono agganciati in serie gli altri pannelli.



*Fig. 61 – Sistema costituito da pannelli modulari prefabbricati in legno lamellare collegati tra loro da sistemi metallici già inseriti all'interno del pannello (© VUB Architectural Engineering | Photo: KADERSTUDIO)*

Il sistema è totalmente a secco e non necessita di finiture superficiali in quanto presenta un buon profilo estetico; tuttavia, lo smontaggio del sistema è monodirezionale.

Nell'analisi del caso Circular Retrofit Lab, è emersa l'importanza di un rapporto consolidato e continuativo tra produttori, progettisti e costruttori. Essi hanno avuto un ruolo attivo durante l'intero processo di progettazione e di realizzazione dell'edificio, co-creando le soluzioni reversibili in vista delle trasformazioni future. Al loro fianco, è stato fondamentale il ruolo chiave di un coordinatore/supervisore continuo, che ha seguito fin dall'inizio i lavori di progettazione e costruzione.



a)



b)



c)

*Fig. 62 – Interni del Circular Retrofit Lab, interamente riqualificato con soluzioni costruttive reversibili (© VUB Architectural Engineering | Photo: KADERSTUDIO)*

### 6.3. Brummen Town Hall

Il terzo caso studio presentato riguarda l'applicazione di strategie di circolarità a edifici temporanei di nuova costruzione<sup>3</sup>. In questo ambito è rilevante l'intervento per l'edificio municipale progettato e costruito nel comune di Brummen, nei Paesi Bassi (Fig. 63). Il progetto risponde all'esigenza di ampliamento della sede municipale per ospitare un numero maggiore di uffici. L'ampliamento è temporaneo in quanto si prevede che non sarà più necessario nel prossimo futuro a causa di una pianificazione urbana che considera lo spostamento dei confini comunali. Il comune di Brummen ha quindi deciso di commissionare un edificio con una durata di servizio fissata a 20 anni.



*Fig. 63 – Brummen Town Hall, espansione temporanea dell'edificio esistente (credit Petra Appelhof and RAU)*

L'edificio comunale originario è costituito da una villa monumentale del 1890, adibita ad uffici di pubblica amministrazione. Il progetto ha previsto il restauro della villa, non alterandone l'immagine. L'intervento non ha modificato la preesistenza storica con ampliamenti irreversibili, ma ha agito con rispetto, attraverso l'addizione di un corpo di fabbrica, strutturalmente indipendente e con un linguaggio contemporaneo. Il nuovo edificio abbraccia la villa monumentale mantenendo l'autonomia tra i due corpi: si

3. Ubicazione: Brummer, Paesi Bassi; progettista: RAU Architects; committente: Brummen municipality; superficie lorda: 3000 m<sup>2</sup>; anno di costruzione: 2013.

sviluppa con una pianta a U su due piani fuori terra, presentando una superficie lorda pari a 3.000 m<sup>2</sup>.

La soluzione che i progettisti hanno trovato per andare incontro alle esigenze espresse dal committente è stata la realizzazione di un edificio pensato per lo smontaggio, costituito da materiali da costruzione riutilizzabili di alta qualità e durabilità. L'edificio è stato progettato in modo tale che il 90% dei materiali potrà essere smontato e riutilizzato dopo 20 anni. È stato previsto l'intero recupero e riutilizzo della struttura portante, degli elementi di facciata in vetro e della copertura dell'atrio.

La struttura portante è puntiforme, in legno lamellare. Essa presenta soluzioni progettuali pensate, in accordo tra progettista e fornitore, per consentire il massimo riutilizzo futuro degli elementi strutturali. Il pilastro è costituito da tre elementi: uno centrale a sezione più grande, non sagomato sulle teste, ed altri due laterali, di minore sezione, che si agganciano direttamente alla trave. I tre elementi che costituiscono il pilastro sono stati così progettati per permettere, al momento dello smontaggio, di avere una maggiore potenzialità di riuso. Infatti, il pilastro centrale, a sezione più grande, non presentando sagomature sulle teste, potrà essere riutilizzato nella sua interezza. Gli altri due elementi di pilastro, a sezione di più piccola, invece, dovranno essere risagomati per permetterne il riutilizzo, in quanto la testa di connessione alla trave dovrà essere tagliata. Tuttavia, con questa soluzione, la quantità di legno non riutilizzabile è inferiore a quella che si sarebbe generata se il pilastro fosse stato unico con connessione convenzionale.



*Fig. 64 – Dettaglio della struttura portante disassemblabile, in legno lamellare nel nodo tra pilastro e trave (credit Petra Appelhof and RAU)*

Il sistema portante è stato progettato in questo modo anche per garantire la massima lunghezza di trave possibile, in quanto essa non viene interrotta all'incontro con ogni pilastro (Fig. 65 a, b). Ciò permette di aumentare la potenzialità di riuso degli elementi (è più difficoltoso il riuso di porzioni di trave di ridotta lunghezza). Ad esempio, è più probabile riuscire a garantire il riuso di una trave da 8 metri che può essere eventualmente risagomata, anziché il riuso di due pezzi di 4 metri di lunghezza.



a)



b)

Fig. 65 a, b – Struttura portante reversibile in legno lamellare, del volume aggiuntivo temporaneo di Brummen Town Hall (credit Petra Appelhof and RAU)

La scelta di una struttura portante in legno è stata dettata principalmente da questioni compositive ed estetiche, in correlazione con il territorio circostante. I progettisti ritengono che le soluzioni progettuali di reversibilità si sarebbero potute ottenere anche con una struttura portante in acciaio.

Gran parte dei prodotti utilizzati presenta contenuto di materiali riciclati, che potranno essere recuperati ulteriormente in futuro. Inoltre, siccome l'intervento di riqualificazione ed espansione dell'edificio municipale di Brummen ha comportato la demolizione di piccole preesistenze di ridotta importanza sul sedime di progetto, i rifiuti da demolizione generati sono stati utilizzati per realizzare il basamento del nuovo edificio temporaneo, costituito da gabbioni metallici riempiti di inerti (Fig. 66, 67).

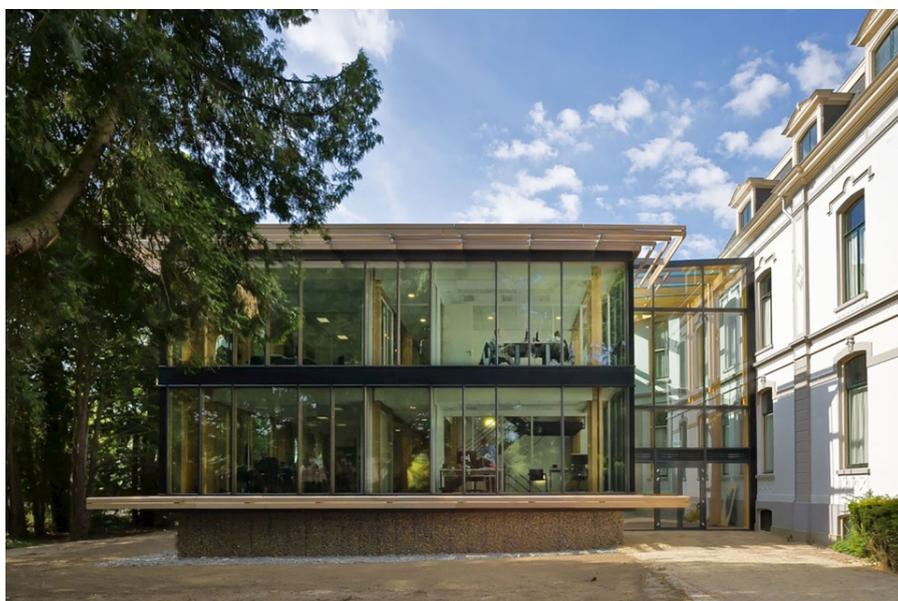


Fig. 66 – Basamento del nuovo edificio temporaneo costituito da gabbioni metallici riempiti di inerti provenienti dal riciclo dei rifiuti da demolizione generati nel cantiere di riqualificazione della villa preesistente (credit Petra Appelhof and RAU)

Come già sottolineato, l'edificio è stato pensato come un deposito temporaneo di risorse materiche, delle quali si conoscono tutti i dettagli, incluso la loro destinazione futura o “seconda vita”. Per conservare tutte le informazioni dei materiali e componenti, l'edificio è stato dotato di *material passport*.

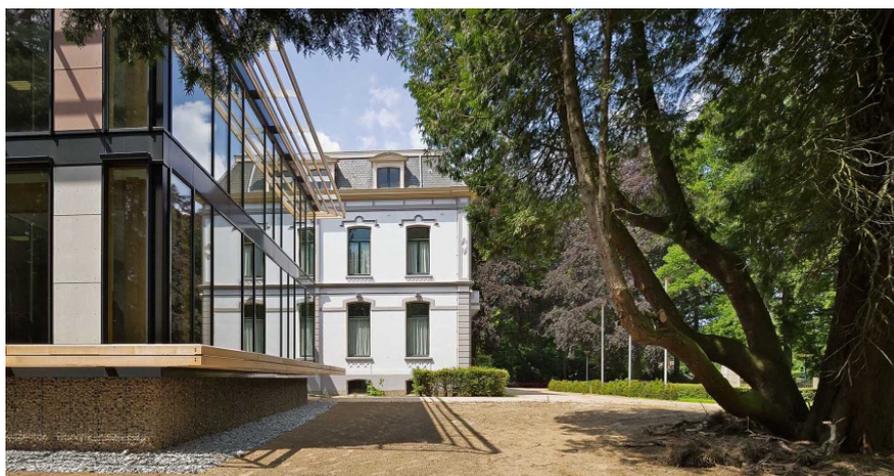
La seconda vita dei prodotti è prevista e garantita attraverso la scelta di contratti di fornitura di servizi (anziché di acquisto di prodotti). I prodotti

utilizzati vengono forniti come servizio, in base alle prestazioni, e rimangono di proprietà del produttore.

Progettazione, costruzione, manutenzione e gestione del fine vita sono state incluse in un unico processo di gara di appalto che richiedeva, infatti, un unico contratto integrato per tutte le quattro fasi suddette. Perciò, è stato attivato un partenariato pubblico-privato con approccio collaborativo basato su sistemi di prodotto-servizio che prevedono lo smontaggio dell'edificio dopo 20 anni e il ritorno dei materiali e componenti ai rispettivi fornitori.

Attraverso i contratti di prodotto-servizio, la proprietà dei materiali e dei componenti è rimasta ai fornitori, responsabili del materiale durante il suo ciclo di vita e dunque incentivati a mantenerne il valore economico nel lungo periodo.

Ciò ha richiesto la collaborazione tra i diversi stakeholder del processo edilizio e ha portato alla progettazione di diversi sistemi adattabili alle esigenze di progetto e che potessero successivamente essere disassemblati senza entrare in conflitto con altri sistemi. Ad esempio, il progetto della struttura portante precedentemente descritta è stato co-creato da fornitore e progettista in modo tale che si adattasse alle esigenze di progetto e che garantisse il massimo riuso, e quindi il massimo guadagno economico, una volta smontata.



*Fig. 67 – Basamento del nuovo edificio temporaneo costituito da gabbioni metallici riempiti di inerti provenienti dal riciclo dei rifiuti da demolizione generati nel cantiere di riqualificazione della villa preesistente, e elementi modulari di chiusura verticale opaca e trasparente (credit Petra Appelhof and RAU)*

## 6.4. Circl Pavilion

Il Circl Pavilion è situato nella zona commerciale Zuidas a sud di Amsterdam, di fronte al quartier generale della banca ABN AMRO<sup>4</sup>.



*Fig. 68 – Circl Pavilion, edificio di nuova costruzione, pensato per essere completamente smontato a fine vita e riutilizzato nei suoi elementi*

L'edificio, di proprietà della banca ABN AMRO, sorge come luogo di incontro non solo per i lavoratori della zona commerciale ma per l'intero quartiere, ospitando una serie di servizi come bar, ristorante, co-working, sale conferenze, esposizioni ed eventi di diverso tipo.

Il Circl Pavilion è stato realizzato con lo scopo di essere un esempio pratico di edificio circolare, una vetrina dell'impegno della banca ABN AMRO verso il raggiungimento di un'economia circolare in linea con gli obiettivi del governo olandese, che mira a realizzare un'economia completamente circolare entro il 2050.

4. Ubicazione: Amsterdam, Paesi Bassi; progettista: da Architekten Cie; committente: Vermaat Groep/ABN AMRO; superficie utile: 600.00 m<sup>2</sup>; anno di costruzione: 2016.

Sulla base di questa politica, la banca ha previsto che i materiali di seconda mano aumenteranno di prezzo, quindi progettare un edificio circolare permette di avere un valore residuo più elevato rispetto a uno convenzionale.

Il percorso progettuale per arrivare a realizzare il Circl Pavilion è stato tortuoso. Il padiglione inizialmente era stato progettato come un edificio tradizionale, che rappresentasse l'immagine professionale di una banca. Tuttavia questo progetto non era in linea con gli obiettivi di sostenibilità e di circolarità che la banca promuoveva; è stato quindi deciso di riprogettare una seconda volta l'edificio utilizzando criteri di circolarità ancora poco sperimentati.



*Fig. 69 – Spazi interni del Circl Pavilion, configurati attraverso il riuso di componenti edilizi*

Il Circl Pavilion, sviluppato su tre livelli, uno seminterrato e due fuori terra, è stato progettato con l'obiettivo del minimo utilizzo delle risorse, sia materiche sia energetiche in fase d'uso, e interamente disassemblabile e riutilizzabile. Il processo di progettazione è stato innovativo, in quanto la progettazione è avvenuta in concomitanza alla ricerca di materiali a basso impatto di CO<sub>2</sub>, in termini di produzione e trasporto, e all'individuazione di prodotti secondari riutilizzabili disponibili nel contesto circostante l'area di intervento (Fig. 69).

I progettisti del Circl Pavilion, infatti, sono entrati da subito in contatto con l'impresa New Horizon, facente parte dell'*Urban Mining Collective* (cfr. paragrafo 5.4.2), per individuare prodotti riutilizzabili da inserire all'interno del nuovo edificio. In questo caso l'attivazione della collaborazione con la società di *urban mining* non è stata effettuata attraverso l'utilizzo di una piattaforma di scambio materiali, ma per conoscenza e vicinanza geografica. ABN AMRO è essa stessa una società di *real estate* già in contatto con New Horizon per cedere materiali in uscita dai processi di ristrutturazione degli edifici facenti parte il proprio portfolio.

New Horizon ha fornito diversi prodotti che hanno trovato una seconda vita nell'edificio Circl Pavilion, come le cassette usate per manichette antincendio, le canaline per i cavi elettrici e lastre da pavimentazione riutilizzate come zavorra per i pannelli solari.

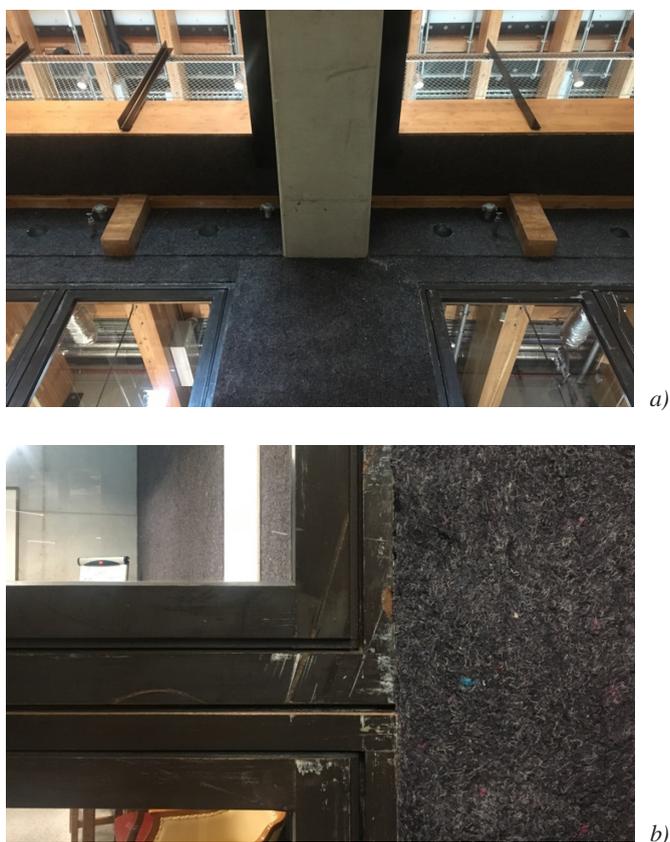
Il Circl Pavilion utilizza, inoltre, serramenti di riuso come pareti divisorie per le sale conferenze del seminterrato (Fig. 69). Detti serramenti provenivano da un edificio a circa 30 km di distanza.

Il riuso di elementi necessita, a volte, di aggiustamenti in opera in quanto non sono prodotti fatti su misura. Anche nel caso del Circl Pavilion i serramenti non si adattavano perfettamente alla configurazione necessaria, quindi sono stati utilizzati alcuni adattamenti con porzioni di pareti per completare gli spazi mancanti. È molto interessante notare, però, come in questo progetto, il riutilizzo ha avuto più importanza della ricerca estetica convenzionale che richiede finiture perfette e giunti nascosti (Fig. 70 a, b).

Inoltre, i progettisti hanno scelto di ridurre al massimo i flussi materici e installare solo i prodotti che svolgono funzionalità realmente necessarie: di conseguenza, ad esempio, non sono stati utilizzati rivestimenti come il controsoffitto o la finitura di pavimento del solaio del seminterrato in calcestruzzo. Con lo stesso approccio progettuale, i progettisti hanno scelto di lasciare visibili tutti i giunti meccanici utilizzati, come sistemi avvitati, imbullonati, o tassellati.

Il risultato dell'insieme di questi accorgimenti progettuali è stato comunque di alto livello estetico e molto apprezzato dalla comunità. Il progetto comunica ai visitatori il valore della circolarità dei materiali che costituiscono l'edificio, rendendo evidente il riuso e la riusabilità dei componenti.

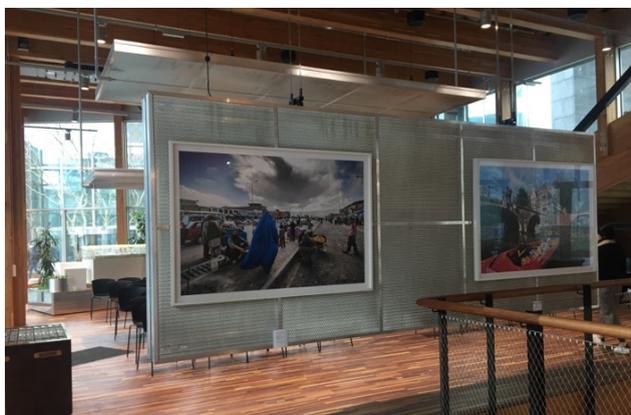
Nel suo insieme il progetto presenta anche arredamenti da riuso, porte in legno di seconda mano, ecc. Sempre nell'ottica della circolarità, i pavimenti provengono dalla rilavorazione di travi di abete rosso e pino in uscita da processi di demolizione.



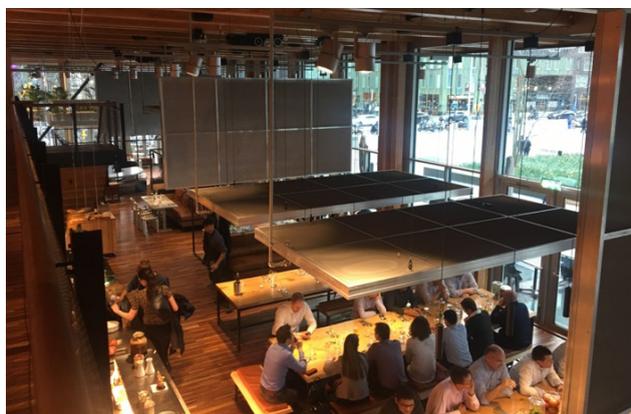
*Fig. 70 a, b – Dettagli delle finiture irregolari dovute al riuso di serramenti e l'utilizzo dei soli materiali essenziali di finitura*

Nell'edificio, oltre alla notevole quantità di prodotti riusati, sono presenti anche materiali con alto contenuto di riciclato: il calcestruzzo del piano seminterrato presenta alto contenuto di aggregati riciclati; inoltre l'isolamento è costituito da fibre tessili riciclate. Per coinvolgere e sensibilizzare i dipendenti dell'azienda ABN AMRO all'etica del progetto, è stato chiesto loro di donare vecchi indumenti da recuperare nella produzione di isolante.

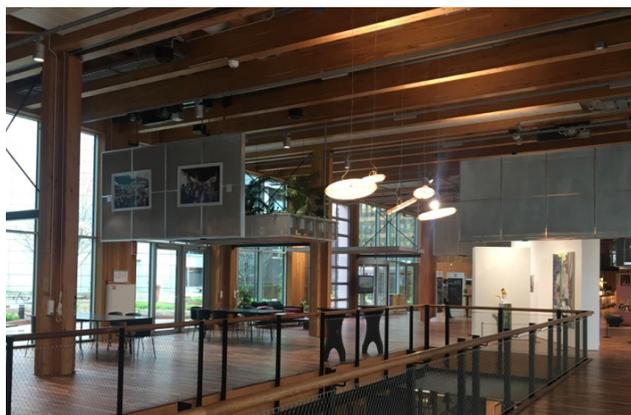
Per garantire la flessibilità dello spazio interno dei piani fuori terra, e consentire molteplici configurazioni d'uso, sono state installate delle partizioni mobili. Le partizioni sono dotate di un sistema che permette il loro sollevamento e scorrimento, in modo da consentire un rapido cambio di funzione degli spazi, che avviene anche quotidianamente (Fig. 71 a, b).



a)



b)



c)

*Fig. 71 a, b, c – Sistemi di partizione verticale, mobili, traslabili e ruotabili, che fungono da separazione spaziale per consentire una multifunzionalità degli ambienti interni*

I modelli di prodotto-servizio, nel Circl Pavilion sono stati attivati solo per i dispositivi audiovisivi e per i sistemi ascensore.

Il Circl Pavilion è stato progettato con modello BIM ed è dotato di *material passport*. Per i progettisti è importante conservare tutte le informazioni dell'edificio in quanto, quando in futuro sarà disassemblato, attraverso detti strumenti sarà notevolmente facilitata l'identificazione dei prodotti da rimettere sul mercato e l'individuazione di strategie per il loro riutilizzo.

Secondo gli investitori, la progettazione e la realizzazione di questo edificio ha comportato un tempo leggermente più lungo rispetto all'edilizia tradizionale. Questo perché per la progettazione è stato necessario il supporto di molteplici consulenti di sostenibilità e circolarità al fine di poter introdurre soluzioni innovative restando in linea con tutti i requisiti normativi (resistenza al fuoco, sicurezza, ecc.). Inoltre la fase di costruzione ha richiesto alcune lavorazioni di carattere artigianale, in particolare nella risoluzione dei dettagli di finitura per permettere l'utilizzo di prodotti da riuso.

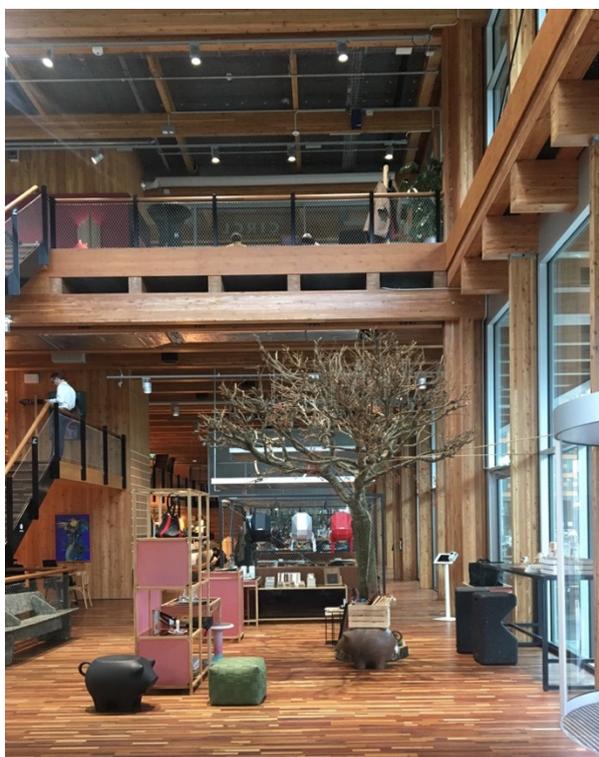


Fig. 72 – Vista interna del Circl Pavillion: pavimento di legno riutilizzato e mancanza del controsoffitto con impianti a vista

## 6.5. Altri esempi applicativi

I paragrafi precedenti hanno voluto approfondire alcuni casi studio emblematici nell'ambito della reversibilità, della gestione sostenibile delle risorse/rifiuti e dell'applicazione di modelli gestionali di circolarità. Esistono, tuttavia, altri casi da citare e che possono essere studiati per la loro attenzione alla progettazione circolare come i seguenti esempi.

L'edificio GTB Lab, progettato dallo studio 4DArchitects e situato a Heerlen, nei Paesi Bassi. L'edificio è stato realizzato in modo da permettere ai singoli componenti di poter essere riconfigurati e, a fine vita, disassemblati e riutilizzati mantenendo il proprio valore. La struttura dei moduli in acciaio presenta connettori reversibili sviluppati appositamente per il progetto (co-creazione tra progettista e azienda produttrice). Il sistema può essere smontato fino al più piccolo componente. Tutti gli elementi sono stati prefabbricati e trasportati in cantiere. Dalla sua costruzione, avvenuta nel dicembre 2018, la struttura è in evoluzione ed è stata trasformata nel 2024. In futuro, l'edificio sarà ingrandito attraverso l'aggiunta di più moduli reversibili. Tutti i componenti dell'edificio sono dotati di QR code che contiene la descrizione dei prodotti (es. il produttore originale, la dimensione degli elementi, ecc.), nonché informazioni relative ai dati di circolarità (CO<sub>2</sub> incorporata, massa riutilizzata, durabilità, ecc.).

L'edificio della Banca Triodos, progettato dallo studio RAU Architecten e realizzato nel 2019 in Belgio. La struttura portante dell'edificio è realizzata interamente in legno, seguendo i principi del *design for disassembly*, ad esclusione delle fondazioni realizzate in calcestruzzo armato. Tutti gli elementi che fanno parte dell'edificio sono dotati di *material passport* che fornisce la completa tracciabilità dei componenti.

Building D(emountable), progettato e realizzato dal gruppo Architectenbureau cepezed nel 2019, in Olanda. Il progetto è stato ideato per raggiungere l'obiettivo della *policy* sull'economia circolare dei Paesi Bassi riguardante il raggiungimento, entro il 2050, della completa riduzione del consumo delle risorse naturali. L'edificio è pensato per poter essere smontato e riutilizzato nella maggior parte delle parti d'opera, dunque, ad esclusione del piano terra, tutti i componenti dell'edificio sono modulari e montati a secco.

Il complesso Circle House progettato dagli studi di progettazione 3XN Architects, Lendager Group e Vandkunsten e realizzato a Lisbjerg, in Danimarca, nel 2020. È composto da 60 unità abitative, suddivise in tre tipologie differenti: case a schiera a due piani, case a schiera a tre piani e palazzine a torre di cinque piani.

Il progetto è stato realizzato con l'obiettivo di raggiungere il 90% di componenti riutilizzabili a fine vita utile, senza perdita di valore. Le fondazioni degli edifici in questo caso sono completamente reversibili in quanto composte da elementi cilindrici prefabbricati in calcestruzzo armato collegati alla struttura portante tramite connessioni a secco. Anche la struttura portante è formata da pannelli prefabbricati in calcestruzzo armato connessi tra loro da elementi metallici che permettono la reversibilità delle singole parti.

Metamorphose House, progettata da XX Architects e realizzata per la prima volta nel 2012, a Londra. L'edificio è trasformabile grazie all'utilizzo di moduli prefabbricati, che possono essere assemblati in diverse combinazioni per poter cambiare forma e funzione nel tempo. Il progetto è un insieme di elementi da riutilizzare. Con la stessa struttura smontabile e modulare, l'edificio è stato riassembleto in luoghi e tempi diversi: dapprima un museo per bambini (Villa Zebra), poi una scuola temporanea (Villa Notenkraaker) ed infine un mini-complesso di tre edifici (Villa Camera).

Tutti questi esempi offrono una panoramica di architetture di differente tipologia e tecnologia costruttiva, ma tutte concepite e costruite nella prospettiva di raggiungere gli obiettivi di economia circolare.

La diffusione di questi casi studio si presenta prevalentemente nel nord Europa. In Italia non si trovano casi pienamente progettati in un'ottica di circolarità: l'innovazione è lenta e il pensiero comune è ancora legato e radicato a pratiche e tecniche tradizionali.

## 7. Raccomandazioni per l'introduzione di strategie circolari sostenibili

### 7.1. Verso un processo circolare: azioni in ambito legislativo, operativo e strumentale

Nel presente capitolo vengono definite alcune raccomandazioni per l'introduzione di strategie di circolarità, agendo parallelamente negli ambiti di gestione delle risorse/rifiuti, progettazione per l'edilizia reversibile, modelli di circolarità e reti di operatori, delineando miglioramenti utili in ambito legislativo, operativo e strumentale.

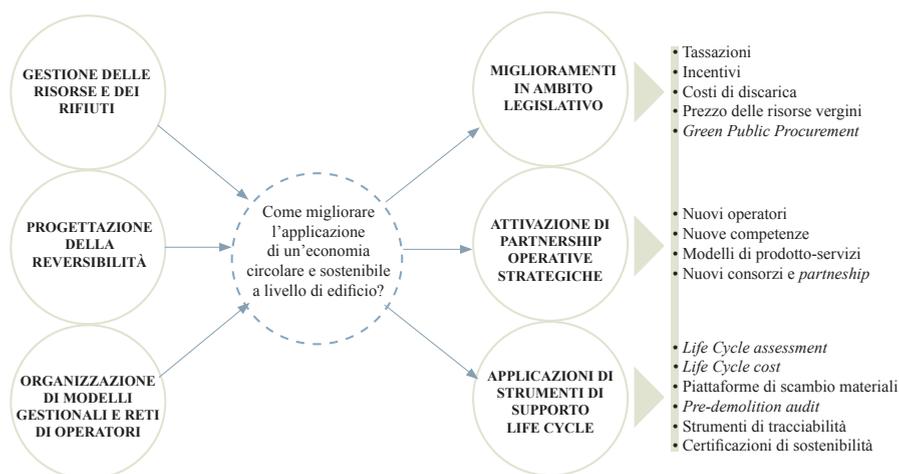


Fig. 73 – Definizione delle raccomandazioni per le tre aree di sviluppo di strategie, nell'ambito legislativo, operativo e strumentale

Nei paragrafi successivi, vengono individuati i possibili miglioramenti legislativi necessari per l'introduzione e l'incentivazione di strategie circolari, le possibili modalità di costituzione di partenariati strategici tra diversi operatori e gli strumenti da introdurre lungo il processo per abilitare una transizione circolare e sostenibile con approccio al ciclo di vita.

La definizione delle raccomandazioni parte dall'esperienza delle buone pratiche validate e funzionanti in altri paesi europei, mostrate nei capitoli precedenti (siano esse applicate con approcci *top-down* o *bottom-up*), implementate attraverso i miglioramenti individuati dal processo di analisi critica condotto interagendo con gli operatori della filiera edilizia. In particolare, vengono messi in luce i possibili miglioramenti da applicare tenendo conto che l'obiettivo finale è quello di orientarsi verso la sostenibilità ambientale con approccio al ciclo di vita, anziché verso la sola circolarità intesa come circuitazione dei flussi materici.

Le raccomandazioni sono utili, in particolare a:

- decisori politici, che vogliono attuare un cambiamento verso la sostenibilità e la circolarità dell'ambiente costruito, individuando strategie fondamentali da promuovere nelle *policy* per l'attivazione di pratiche sostenibili e circolari a livello nazionale e locale;
- operatori e stakeholder del settore edilizio che vogliono aprire nuove opportunità di *business*, individuando nuove sinergie per fornire prodotti e servizi in linea con la sostenibilità e la circolarità;
- progettisti, che vogliono individuare strategie per attivare un processo di costruzione sostenibile e circolare;
- istituti di istruzione che vogliono formare nuove figure professionali ed esperti che svolgano un ruolo chiave in un processo di costruzione sostenibile e circolare.

## 7.2. Miglioramenti in ambito legislativo

Attraverso il dialogo con gli stakeholder della filiera edilizia sono emersi ostacoli in ambito legislativo e normativo per l'attivazione dell'economia circolare. A partire dai risultati individuati dall'indagine sul campo sono, quindi, definibili alcuni cambiamenti necessari all'interno del quadro legislativo, al fine di promuovere tutte le tre aree di sviluppo delle strategie (capitoli 3, 4, 5) e raggiungere un'economia circolare a livello di edificio.

Il cambiamento nel quadro legislativo richiede un processo graduale che si basi, in una prima fase, su incentivi che spingano il mercato verso

la sperimentazione e l'applicazione di pratiche circolari e, in una seconda fase, su requisiti obbligatori e relative sanzioni in caso di inosservanza di dette pratiche.

Le direttive relative alla gestione dei rifiuti dovrebbero fissare a livello europeo degli “obiettivi comuni” (sulla base del modello attuato per traguardare l'efficienza energetica degli edifici – EPBD 2002/91/CE; EPBD 2010/31/CE) al fine di raggiungere alte soglie di recupero e conservazione dei materiali, attraverso la limitazione allo smaltimento in discarica e l'incentivazione al riuso e al riciclo, con impatti ambientali controllati.

È innanzitutto prioritario un aggiornamento della Direttiva 2008/98/CE (e successiva modifica 2018/851), che pone obiettivi ormai poco virtuosi rispetto alla gerarchia dei rifiuti. Considerando il fatto che molti Stati rispettano la normativa anche solo attraverso processi di *downcycling*, è necessario porre le basi per un ulteriore passo avanti, passando dal riciclo al riuso e a strategie volte a evitare la generazione di rifiuti, prolungando la vita dell'edificio e dei prodotti.

Un altro aspetto importante, che la normativa europea dovrebbe tenere in considerazione, riguarda la differenza di qualità e potenzialità di riuso/riciclo tra rifiuti da costruzione e rifiuti da demolizione, attualmente considerati insieme. Come già sottolineato, i rifiuti da costruzione non dovrebbero essere generati in un processo edilizio sostenibile e circolare: essi sono prevalentemente composti da materiali nuovi, quali avanzi o sfridi causati da errori di progettazione e da errori di quantificazione dei materiali (evitabili attraverso una attenta progettazione, soluzioni prefabbricate e utilizzo di strumenti BIM). Tuttavia, è importante attivare processi virtuosi per i rifiuti da costruzione, considerandoli come sottoprodotti dell'attività di cantiere e consentendo la possibilità di riutilizzarli direttamente anche in altri siti di costruzione o di tornare al centro produttivo per alimentare processi di riciclo.

A tal fine, è importante promuovere sistemi di tracciabilità dei materiali in entrata e in uscita dai cantieri edili, per poter controllare i flussi materici e fissare delle soglie massime sia per gli scarti del processo di costruzione sia per i rifiuti del processo di demolizione.

In diversi paesi europei manca ancora una normativa relativa alla definizione dei criteri *End of Waste* (EoW), necessari per consentire l'effettivo passaggio dallo stato di “rifiuto” allo stato di “materia prima seconda”. Inoltre, accade che i criteri EoW, anche se presenti a livello legislativo, non siano esaustivi per tutti i materiali in uscita da un cantiere edile: ad esempio, in Italia esistono i criteri *End of Waste* per la sola porzione dei rifiuti inerti da costruzione e demolizione (Decreto n. 152/2022).

Lo studio di ECN (2017) mostra, altresì, differenze nei criteri EoW tra gli Stati membri: diversi requisiti relativi ai materiali, diversi criteri di qualità e metodi di valutazione per considerare un rifiuto come materia prima seconda, diverse percentuali di materia prima seconda ammissibili in un prodotto riciclato.

Ne consegue la necessità di definire un regolamento comune e armonizzato a livello europeo relativo ai criteri EoW, che possa sbloccare alcune barriere per il riutilizzo/riciclaggio dei materiali ed evitare insensate dinamiche di commercio di rifiuti riciclabili tra diverse nazioni europee.

A livello capillare, prima di stabilire obblighi di legge relativi a pratiche circolari non ancora comunemente diffuse, è importante ed efficace promuovere lo sviluppo, il perfezionamento e l'ottimizzazione di dette pratiche attraverso meccanismi premianti e volontari che ne stimolino la messa a punto e l'accessibilità in termini di costi e di competenza.

In questo contesto, le certificazioni ambientali di edificio (come LEED e BREEAM), attraverso l'introduzione di specifici criteri, e le politiche di *Green Public Procurement* rappresentano strumenti utili per muovere il mercato. Altre strategie sono incentivi e premi per gli investitori, come mutui agevolati o imposte amministrative ridotte, rilasciati in base al soddisfacimento di specifici requisiti.

Dall'indagine trasversale nei diversi paesi europei, emergono tre fattori che influenzano particolarmente i flussi circolari dei materiali a livello nazionale. Essi sono: il prezzo delle materie prime, il prezzo della discarica e il prezzo dei materiali riciclati. Su tali fattori può influire il legislatore con meccanismi di tassazione. Agire su un solo fattore, però, potrebbe portare a dinamiche controproducenti, come lo smaltimento illegale dei rifiuti, se si alzasse la sola tassa di discarica. Pertanto il prezzo delle materie prime, della discarica e dei materiali riciclati dovrebbe essere "governato" al fine di incoraggiare il riutilizzo e il riciclaggio.

Una possibile strategia di azione legislativa potrebbe essere prevedere contemporaneamente un'applicazione di tasse sulle materie prime e sulle discariche. Ciò può essere efficace (e accettabile per il mercato) solo se parallelamente le medesime quote vengono utilizzate per finanziare incentivi a tecnologie e pratiche (sistemi di tracciabilità) finalizzate ad ottenere materiali riciclati di migliore qualità e a basso costo (quindi ancora più vantaggiosi economicamente rispetto alle materie prime).

Inoltre, è importante differenziare la tassa di conferimento agli impianti di recupero tra materiali di bassa qualità e materiali di alta qualità, al fine di incentivare la scelta di avere rifiuti di alta qualità, attraverso una migliore fase di demolizione, raccolta e certificazione del sistema di tracciabilità (come avviene nel sistema belga *Tracimat*).

Come evidenziato dai risultati delle interviste sul campo e dal dialogo con gli operatori, sussistono ancora diverse aree di miglioramento in ambito legislativo anche per incoraggiare la progettazione e la costruzione di edifici reversibili.

Le strategie progettuali, potenzialmente applicabili per realizzare edifici reversibili costituiti da componenti riutilizzabili, sono ostacolate da un apparato normativo rigido che considera l'edificio come un oggetto immutabile nel tempo e adibito ad un'unica funzione d'uso.

In primo luogo, è necessaria la formazione di una consapevolezza condivisa sul significato di progettazione reversibile al fine di definire una legislazione comune. In questo ambito, l'introduzione del concetto di edificio reversibile nel quadro legislativo può basarsi sullo standard ISO 20887:2020 che definisce i principi e i requisiti per una progettazione per il disassemblaggio e l'adattabilità.

Inoltre, è fondamentale definire normative edilizie nazionali e regionali relative ad un edificio reversibile, considerando la possibilità di variazione della funzione d'uso durante la vita utile, e le procedure di dettaglio per il disassemblaggio dell'edificio a fine vita.

Infine, dalle interviste è emerso che sussistono ancora molte difficoltà a livello legislativo anche per l'attivazione di modelli di prodotto-servizio che promuovano la circolarità e il riutilizzo dei prodotti.

Attualmente, i modelli di prodotto-servizio sono applicati solo alle componenti mobili dell'edificio, come gli arredi o gli impianti, come l'illuminazione o il riscaldamento. Un vantaggioso campo di applicazione e sviluppo di modelli di prodotto-servizio applicati al settore edilizio, possono essere tutti i componenti che durano pochi anni, a causa del programmato cambio di funzioni o proprietà (es. facciata; *fit-out* interno come partizioni e rivestimenti, ecc.). Questo accade in particolare nel terziario dove la modifica degli spazi avviene più frequentemente rispetto ad un edificio residenziale. Tuttavia, è risultato che non esiste ancora un quadro legislativo e giuridico chiaro in relazione all'applicazione di tali modelli a componenti di edificio, considerati elementi fissi. Restano, inoltre, da definire le modalità contrattuali che regolano i rapporti, le garanzie tra le varie parti e gli aspetti fiscali degli stakeholder che usufruiscono di sistemi e componenti edilizi in *leasing* e non in proprietà.

Ancora più ambiziosa a livello legislativo è la richiesta di applicazione delle valutazioni ambientali che supportino da un lato la scelta dei materiali e prodotti in fase di progettazione e dall'altro la gestione del rifiuto e del suo processo di recupero/riuso/riciclo. Ciò rappresenta una spinta all'utilizzo di prodotti sostenibili e circolari, evitando di separare erroneamente gli obiettivi di circolarità e sostenibilità. Un approccio basato sul ciclo di vita

è importante per muoversi verso un mercato e un'economia effettivamente sostenibili.

Prendendo spunto dalle esperienze di successo dei sistemi applicati nei paesi nordeuropei (come MPG e MMG), sarebbe importante richiedere, al fine di ottenere il permesso di costruire, valutazioni LCA che dimostrino che le prestazioni ambientali dell'edificio rispettano i valori di riferimento (soglia) degli impatti ammissibili (stabiliti dal legislatore).

Come avvenuto però in Olanda e in Belgio, il processo di introduzione dovrebbe essere graduale (impiegando circa una decina di anni): inizialmente è possibile richiedere la valutazione per mezzo di sistemi premianti e volontari, ad esempio, all'interno degli appalti pubblici; successivamente è possibile richiedere l'obbligo della valutazione per una sola porzione di edifici (es. quelli pubblici con ampia metratura); sarà successivamente importante fissare un valore di riferimento degli impatti da rispettare unitamente alla richiesta di obbligo su tutto il patrimonio pubblico; in seguito, quando la conoscenza in materia e gli strumenti necessari saranno ampiamente diffusi, sarà possibile estendere la normativa cogente a tutte le tipologie e dimensioni di edifici (anche privati).

A conclusione, vengono di seguito sintetizzate alcune raccomandazioni in ambito legislativo per promuovere un processo edilizio circolare, trasferibili e replicabili a livello europeo e nazionale nei diversi Stati membri:

1. definire a livello europeo obiettivi di recupero dei rifiuti legati alla qualità piuttosto che alla quantità, promuovendo, quindi, processi di riuso e riciclo, non in base al peso del materiale, ma in base all'efficacia e sostenibilità ambientale ed economica;
2. rispettare la gerarchia dei rifiuti, promuovendo la "prevenzione" e il "riuso" come strategie prioritarie, sostenendo solo parzialmente il riciclo, e solo se si tratta di *upcycling*;
3. migliorare la tracciabilità dei materiali/rifiuti, attraverso lo sviluppo di sistemi di tracciabilità in ogni Stato membro (come il sistema *Tracimat*), che agisca sul territorio nazionale ma che possa essere standardizzato e armonizzato a livello europeo;
4. richiedere la gestione separata e prevedere diversità di regole tra i rifiuti da costruzione e i rifiuti da demolizione, in relazione al loro diverso potenziale di riutilizzo/riciclaggio;
5. stabilire la percentuale massima di rifiuti da costruzione consentita in loco (considerando che i rifiuti da costruzione dovrebbero essere evitati), abilitando la filiera di raccolta e riutilizzo degli avanzi e degli sfridi di cantiere;

6. definire criteri comuni di *End of Waste* a livello europeo al fine di allineare i criteri EoW di ciascun Stato membro;
7. stabilire una tassazione graduale sulle materie prime e sul conferimento in discarica dei rifiuti: ciò al fine di ridurre o vietare l'estrazione di materie prime (ad esempio vietando l'apertura di nuove cave) e incentivare il riuso e riciclo dei prodotti;
8. attivare misure di incentivazione e sostegno per gli impianti di recupero, *remanufacturing* e riciclo, per lo sviluppo di tecnologie e ottimizzazioni di processo che possano diminuire il prezzo dei materiali secondari;
9. nell'ambito del GPP, definire criteri premianti relativi a una percentuale ambiziosa del tasso del contenuto di riciclato e riciclabilità a fine vita dei materiali facenti parte l'edificio;
10. nell'ambito del GPP, definire criteri premianti relativi a una percentuale ambiziosa del tasso di riutilizzo e riutilizzabilità dei prodotti facenti parte l'edificio;
11. nell'ambito dei GPP, definire criteri premianti relativi all'utilizzo del *Life Cycle Assessment* per la scelta di materiali/prodotti in fase di progettazione e costruzione dell'edificio, rispettando, in entrambi i casi, valori di riferimento di impatto (*benchmarks*);
12. introdurre il concetto di edificio reversibile (sulla base dello standard ISO 20887:2020) all'interno delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia, considerando la possibilità di variazione della funzione d'uso durante la vita utile;
13. definire modalità contrattuali e aspetti fiscali che regolano i rapporti e le responsabilità (anche fiscali) degli stakeholder che attivano modelli di prodotto-servizio.

### **7.3. Attivazione di *partnership* operative e relazioni strategiche lungo il processo edilizio**

Per realizzare un processo edilizio circolare sostenibile, parallelamente ad un miglioramento del quadro legislativo (proposto nel paragrafo precedente), è fondamentale anche l'incoraggiamento di partenariati strategici tra operatori della filiera edilizia. L'indagine di casi virtuosi in diverse nazioni europee ha mostrato alcune esperienze di successo, nate spontaneamente tra gli operatori, avvenute nell'ambito della gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione, della progettazione e realizzazione di edifici reversibili e nell'ambito dei nuovi modelli di prodotto-servizio. Ogni dinamica circolare considera diverse relazioni tra gli stakeholder

e crea nuove opportunità di lavoro per nuovi operatori con competenze specifiche.

Il paragrafo vuole dare alcune raccomandazioni per la costruzione di un sistema strutturato di relazioni, organizzato come rete, che agisca da attivatore di processi circolari virtuosi. In particolare, si evidenziano quali operatori dovrebbero avere una comunicazione diretta, strutturata e duratura lungo il processo edilizio e quali nuovi operatori dovrebbero entrare a fare parte di tale processo.

La seguente figura 74 mostra alcune fondamentali relazioni e *partnership* del processo edilizio circolare (ciascuna indicata con una lettera alfabetica).

Per relazione si intende uno scambio diretto di flussi informativi o materiali tra gli operatori direttamente coinvolti nel processo edilizio. Per *partnership* strategica si intende una cooperazione organizzata come consorzio tra operatori che collaborano tra loro con specifici accordi di mercato, attivando proficue dinamiche circolari all'interno del processo edilizio.

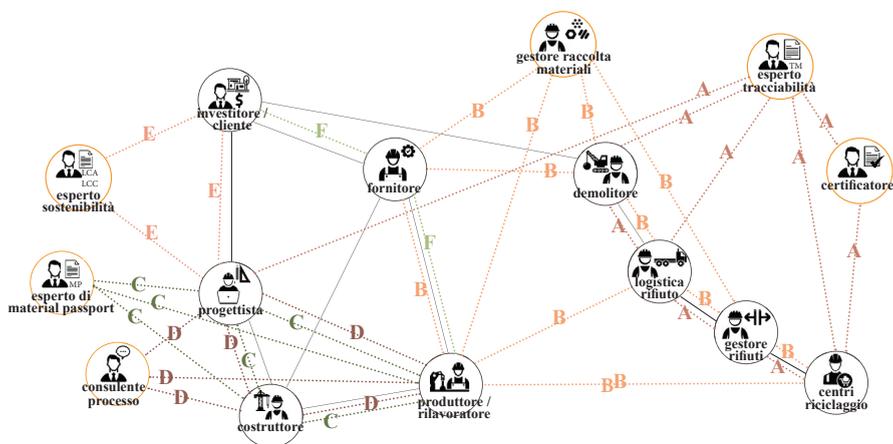


Fig. 74 – Relazioni e Partnership da attivare lungo il processo edilizio circolare e sostenibile

Le *best practice* analizzate nei diversi paesi europei hanno mostrato esempi di *network* strutturati già in atto per la gestione circolare delle risorse, come nel caso del sistema *Tracimat* in Belgio e nel caso della piattaforma *Madaster* nei Paesi Bassi, nonché per l'attivazione di *business* che consenta il riuso di componenti e il riciclo di materiali, come nel caso del *network Urban Mining Collective* nei Paesi Bassi.

In tutti i casi, i risultati delle indagini hanno mostrato la necessità di coinvolgere nuove competenze e nuovi operatori all'interno del *network*,

richiedendo *partnership* strutturate e relazioni continuative per lo scambio di informazioni.

In particolare, è possibile evidenziare *partnership* strategiche e relazioni tra diversi operatori che consentano una gestione circolare delle risorse, basata su uno scambio di informazioni/conoscenze/materiali lungo il processo edilizio, nonché lo sviluppo di tecnologie costruttive reversibili, con il relativo incremento della domanda di mercato, e l'attivazione di modelli di *business* basati su sistemi di prodotto-servizio.

### *Relazione A*

La relazione A riguarda la cooperazione tra diversi operatori coinvolti in sistemi di tracciabilità dei materiali. La relazione si attiva introducendo due nuovi operatori lungo il processo edilizio: l'esperto di tracciabilità dei materiali/rifiuti e l'ente di certificazione di prodotti secondari. Essi agiscono attraverso uno scambio di informazioni diretto e sincrono con progettista, demolitore, gestore dei rifiuti, nonché impianti di recupero dei materiali.

Il ruolo chiave del nuovo operatore esperto della tracciabilità dei materiali è molto importante in quanto completa e segue l'intera procedura di tracciabilità delle risorse in uscita dal cantiere con conoscenze e competenze specialistiche, apprese attraverso specifici corsi preparatori. È necessaria, quindi, la formazione di questi nuovi operatori, in quanto gli stessi devono apprendere le procedure per la mappatura dei flussi di materiale, attraverso la redazione di inventari pre-demolizione (*pre-demolition audit*), per il monitoraggio in cantiere e per il controllo della corretta separazione dei materiali. Dette procedure migliorano la classificazione e la raccolta dei rifiuti verso dinamiche di recupero orientate al *remanufacturing* e al riuso o processi di riciclo di qualità.

L'ente di certificazione dei prodotti secondari permette quindi di classificare la qualità dei prodotti al fine di decidere il destino degli stessi (es. riuso, riciclo). La certificazione dei prodotti secondari, in base alle qualità residue, definisce di conseguenza il valore economico che il prodotto ha sul mercato.

La tracciabilità (e quindi la conoscenza più approfondita) dei prodotti secondari generati da alcune lavorazioni potrebbe spingere il progettista a valutare anticipatamente l'introduzione degli stessi nel progetto, incentivando le pratiche di riuso o *upcycling*.

### *Partnership B*

La *partnership* B mostra l'introduzione di un nuovo soggetto chiave che gestisce la raccolta dei materiali in uscita dalle attività di costruzione/demoli-

zione grazie alla cooperazione strutturata e continuativa di una rete di operatori costituita da demolitori, operatori della logistica per il trasporto dei materiali/rifiuti, produttori o rilavoratori, fornitori di prodotti, centri di recupero/riciclaggio dei materiali/rifiuti, gestori dei rifiuti (*partnership* ad esempio già attiva nel caso dell'*Urban Mining Collective*). La *partnership* si basa infatti su operazioni di *urban mining*, ovvero operazioni di raccolta di materiali/componenti per il riutilizzo o il riciclaggio. Il rapporto strutturato tra diversi operatori permette di avere un immediato scambio di informazioni per l'apertura di mercati secondari/alternativi inerenti il riuso/recupero dei materiali. La *partnership* B, agevolata da accordi commerciali stabiliti tra le parti, ha competenze e risorse utili alla costruzione di una filiera stabile e continuativa di recupero, scambio e reimmissione sul mercato di materiali e prodotti secondari. I componenti estratti dall'ambiente costruito possono essere rilavorati e venduti/forniti come prodotti secondari/servizi; oppure, gestiti come rifiuti e trasformati in materia prima seconda attraverso processi di riciclaggio.

Alla *partnership* partecipano anche imprese di logistica, che offrono siti di deposito temporaneo per i materiali destinati al riuso. La *partnership* è in grado di innescare reciproca domanda e offerta di servizi e materiali, al fine di aprire costanti opportunità di mercato.

Investitori e progettisti possono rivolgersi direttamente alla *partnership* B per la richiesta di prodotti da riuso o materiali secondari disponibili o per offrire materiali/rifiuti in uscita da processi di demolizione.

Siccome per il riuso dei prodotti è difficile superare la barriera relativa alla mancanza di certificazione e alla conoscenza dell'effettiva durabilità del componente (come è emerso dalle interviste condotte a operatori esperti), la "*partnership* B" potrebbe prevedere una sorta di sistema di "garanzia" (o assicurazione) per i prodotti che reimmette sul mercato, svolgendo appositi servizi di manutenzione.

### *Relazione C*

La relazione C riguarda il legame innescato attraverso l'introduzione di un esperto per la redazione del *material passport*. È importante che ci sia una figura professionale preparata a mappare e raccogliere tutte le informazioni relative ai componenti e materiali, da conservare all'interno di *material passport*, che possa definirne il valore residuo e il grado di riuso/riciclo a fine vita dei componenti dell'edificio. L'operatore esperto è direttamente correlato al progettista che conosce il grado di intercambiabilità e interdipendenza dei componenti, ma anche al produttore che conosce tutti i requisiti prestazionali e la durabilità dei prodotti, e al costruttore che assembla i materiali e conosce in modo approfondito la procedura di smon-

taggio. Lo scambio di informazioni tra gli operatori permette di ricavare e mappare tutte le possibili informazioni utili alla futura manutenzione, riuso e riciclo dei componenti costituenti l'intero edificio. Lo sviluppo di piattaforme armonizzate per la redazione di *material passport*, e i relativi corsi di formazione per un'attenta implementazione e uso degli stessi, possono, a loro volta, creare nuove opportunità di lavoro.

### *Relazione D*

Per realizzare un edificio reversibile, risulta proficua la relazione tra progettista, produttore e costruttore, al fine di co-creare soluzioni costruttive disassemblabili e riutilizzabili/riciclabili, attraverso una progettazione in ambiente BIM.

In questo caso è fondamentale l'introduzione di nuova figura di consulente ovvero un operatore che prende parte all'intero processo, dalla fase di co-creazione alla fase di coordinamento e direzione dei lavori in cantiere. Il consulente è centrale nella realizzazione di edifici che rispettano particolari requisiti di circolarità. Questo ruolo può essere rivestito da persone fisiche o società. La relazione che si instaura tra consulente, progettista, produttore e costruttore è importante per superare la barriera relativa alla frammentazione del processo e la conseguente perdita di informazioni (barriera emersa dalle interviste condotte a operatori esperti).

### *Relazione E*

La relazione E viene attivata attraverso l'introduzione di un esperto di sostenibilità ambientale ed economica per la scelta dei prodotti e la gestione sostenibile dei rifiuti, attraverso valutazioni LCA e LCC. L'esperto di sostenibilità instaura un legame diretto lungo il processo edilizio in particolare con investitori e progettisti. Le valutazioni LCA e LCC sono utilizzate come supporto decisionale alle scelte costruttive e materiche in fase di progetto e alle scelte di gestione del fine vita dell'edificio e i risultati di dette valutazioni possono richiedere modifiche a dette scelte.

La conduzione di valutazioni LCA e LCC (anche semplificate) richiede operatori esperti, in grado di gestire i calcoli in ottemperanza agli standard e dotati di preparazione e conoscenza per comprendere e interpretare i risultati della valutazione d'impatto.

La competenza dell'esperto di sostenibilità ambientale ed economica dovrebbe essere certificata dalla frequenza di un corso di formazione; la figura professionale esperta e il percorso formativo possono, dunque, aprire nuove opportunità di lavoro.

## Partnership F

Per favorire la diffusione di modelli di prodotto-servizio o di accordi *take-back* di prodotti o sistemi che costituiscono l'edificio è necessaria una *partnership* strutturata tra produttore (o rilavoratore nel caso di materiali secondari), fornitore e utilizzatore. Nella *partnership* basata sul modello prodotto-servizio, il produttore rimane proprietario del prodotto e lo fornisce in servizio all'utente, attraverso un fornitore, con un accordo sul pagamento e sui servizi inclusi (quali la manutenzione ordinaria e straordinaria). Questo modello attiva un nuovo processo di riutilizzo e rigenerazione dei prodotti (forniti come servizi) con l'obiettivo di estendere il ciclo di vita dei prodotti stessi e promuovere la circuitazione delle risorse.

### 7.4. Applicazione di strumenti di supporto *Life Cycle*

L'attivazione delle relazioni e dei partenariati strategici appena descritti per il raggiungimento di un processo edilizio circolare sostenibile, richiede l'ausilio di strumenti che abilitino l'interazione tra gli operatori e che supportino le decisioni progettuali/gestionali e lo svolgimento di attività di monitoraggio lungo il ciclo di vita dell'edificio.

Di seguito vengono messi a punto i principali strumenti da introdurre lungo il processo edilizio, emersi dalla ricerca effettuata nei diversi paesi europei, talvolta da implementare con valutazioni ambientali *Life Cycle*, al fine di rafforzare non solo dinamiche circolari ma anche sostenibili.

A supporto della gestione delle risorse/rifiuti, è importante innanzitutto l'utilizzo di *pre-demolition audit* (strumento già introdotto nei paesi in cui è maggiore l'attenzione alla gestione dei rifiuti). I *pre-demolition audit*, generalmente, si basano sulla quantificazione dei rifiuti e la relativa gestione (stabilendo se il rifiuto viene conferito al sito di riciclaggio oppure in discarica). Attualmente i *pre-demolition audit* hanno un approccio *downstream*, ovvero si concentrano sulla gestione di rifiuti, senza trattare potenziali strategie per evitarne la generazione (es. conservazione dei prodotti; riutilizzo in loco; ecc.). Inoltre, non sono considerati gli aspetti di sostenibilità, come la quantificazione degli impatti evitati grazie ad una gestione circolare delle risorse (cfr. paragrafo 3.4.2).

Tuttavia, detti strumenti sono considerati molto importanti per l'applicazione di strategie di economia circolare a livello di edificio perché, supportando la gestione e il controllo dei flussi materici lungo i processi di demolizione, portano agli operatori coinvolti (come progettisti e demolitori) maggiore consapevolezza sulla consistenza dei flussi di rifiuti generati.

Un suggerimento per l'utilizzo di questo strumento riguarda l'ampliamento delle fasi di applicazione: ancora più efficace sarebbe l'utilizzo non solo durante la fase di gestione del rifiuto, ma soprattutto durante la fase decisionale che precede la demolizione (*pre-demolition*). Ad esempio, nell'ambito del processo di rigenerazione edilizia sostenibile e circolare, la quantificazione anticipata del flusso di rifiuti che il progetto prevede di generare, permette molteplici valutazioni in fase di progetto: la possibilità di riduzione della quantità dei rifiuti attraverso soluzioni progettuali alternative, il riutilizzo in loco dei rifiuti generati, la valutazione della migliore strategia di recupero/riciclo in base al contesto e alla distanza di trasporto del rifiuto, ecc. Se tali considerazioni fossero affiancate da valutazioni LCA e LCC potrebbero effettivamente quantificare i benefici ambientali ed economici traguadabili dalle differenti scelte di gestione del rifiuto.

Ulteriore strumento rilevante in un processo edilizio circolare sostenibile è il *material passport* (o passaporto dei materiali); esso non è ancora comunemente utilizzato ma è in fase di sviluppo essendo importante per la conservazione della conoscenza dei flussi materici stoccati all'interno dell'edificio, al fine di consentire un maggiore mantenimento del valore dei componenti e il loro futuro riutilizzo. L'importanza di mappare i materiali all'interno degli edifici può altresì fornire informazioni importanti sulla quantità totale dei materiali immagazzinati nell'ambiente costruito, utile ad individuare ed attivare sinergie commerciali circolari locali. Il *material passport* deve contenere tutte le informazioni del prodotto, come schede tecniche, certificazioni ambientali (es. EPD), certificazioni a rispetto di requisiti previsti e definiti da norme specifiche, il valore economico attuale e futuro dei materiali/componenti; ecc. (cfr. paragrafo 4.3.2). È necessaria la definizione di una struttura comune e standardizzata di *material passport* unitamente allo sviluppo di una piattaforma (o database) che possa contenere tutte le informazioni degli edifici censiti. Le informazioni sono catalogate ed inserite nella piattaforma/database dall'esperto durante la fase di progettazione e costruzione e durante tutte le modifiche che l'edificio subisce nel tempo lungo il suo ciclo di vita.

Strumento utile ad ottenere un controllato coordinamento del progetto di costruzione reversibile e una approfondita conoscenza dei flussi materici confluenti nell'edificio è altresì il *Building Information Modeling* (BIM).

L'uso del BIM risulta fondamentale per collegare nel tempo tutte le parti operanti lungo il processo di progettazione e costruzione che, prolungandosi per diversi anni, coinvolge molti operatori, alcuni dei quali operano per più tempo, mentre altri svolgono attività di breve durata. L'utilizzo di strumenti BIM rende così molto più agile ed efficace non solo la progettazione e la gestione del processo edilizio ma anche la redazione di

*material passport* e *pre-demolition audit*. Inoltre, il BIM semplifica la fase di inventario per completare una valutazione di sostenibilità ambientale ed economica (LCA e LCC). Nel quadro del processo di rigenerazione edilizia sostenibile e circolare, l'uso del BIM, combinato a strumenti del ciclo di vita, è fondamentale per prefigurare diversi scenari di riutilizzo dei materiali esistenti e governare soluzioni tecnologiche reversibili e adattabili.

Ulteriori strumenti abilitanti l'applicazione dell'economia circolare a livello di edificio sono le piattaforme digitali utili a mappare materiali secondari riutilizzabili disponibili nel contesto locale e a mettere in comunicazione diversi stakeholder all'interno della catena di valore dell'edilizia, al fine di incentivare domanda e offerta di detti materiali (cfr. paragrafo 3.4.4). Trattasi di piattaforme aperte, tipo *database* on-line, che geolocalizzano e mostrano informazioni relative a materiali/prodotti di seconda vita, disponibili per il riuso, *remanufacturing* o riciclo, indicando anche i fornitori di prodotti da costruzione riutilizzati e rigenerati, attivando nuove opportunità di mercato. Queste piattaforme devono essere gestite da enti competenti e qualificati, che possano favorire una rete di operatori che rappresenti la domanda (produttori, costruttori, progettisti e investitori) e una rete che rappresenti l'offerta (demolitori, utilizzatori). Le piattaforme attualmente in uso non considerano gli impatti ambientali ed economici della messa in circolo dei materiali secondari; dunque, è necessaria un'implementazione con prospettiva sostenibile dal punto di vista ambientale ed economico. Una possibile implementazione di dette piattaforme è la possibilità di mostrare anche gli impatti evitati per il riutilizzo dei materiali offerti, rispetto all'utilizzo della stessa quantità di nuovi materiali derivati da materie prime. In questo modo va tenuto in considerazione il monitoraggio del materiale secondario e del processo che il materiale subisce, calcolando anche la distanza percorribile dal materiale per il suo riutilizzo (evitando così uno spostamento degli impatti tra fasi del ciclo di vita).

Fondamentale suggerimento per supportare un processo circolare sostenibile è l'introduzione di strumenti per la quantificazione della sostenibilità ambientale ed economica, basati sulla metodologia *Life Cycle Assessment* (LCA) e *Life Cycle Costing* (LCC), standardizzati secondo le norme tecniche UNI EN 15643 e UNI EN 15978 (per la valutazione LCA), e le norme tecniche UNI EN 15643 e UNI EN 16627 (per la valutazione LCC). Le due fasi decisionali cruciali di utilizzo degli strumenti di valutazione *Life Cycle Assessment* e *Life Cycle Costing* per la verifica della sostenibilità sono:

- la fase progettuale, al fine di valutare gli impatti ambientali ed economici con approccio *Life Cycle* (es. riqualificazione piuttosto che demolizione e scelta di soluzioni costruttive reversibili o tradizionali),

evitando sprechi/rifiuti e massimizzando il valore d'uso dei materiali, estendendo la loro vita utile. In questa fase, gli strumenti *Life Cycle* dovrebbero quindi essere interoperabili e interagire in particolare con BIM e *material passport*;

- la fase di gestione dei rifiuti, al fine di valutare gli impatti ambientali ed economici con approccio *Life Cycle* durante la scelta della destinazione di fine vita utile del materiale/prodotto (ad esempio per capire la soluzione più sostenibile tra riutilizzo, riciclaggio o smaltimento in discarica), per promuovere l'efficienza delle risorse e il trattamento sostenibile dei rifiuti. In questa fase, gli strumenti *Life Cycle* dovrebbero quindi essere interoperabili e interagire in particolare con i *pre-demolition audit* e le piattaforme di tracciabilità dei materiali.

Come accennato nei paragrafi precedenti, tuttavia, per introdurre l'utilizzo degli strumenti *Life Cycle* sono necessarie a monte iniziative di promozione a livello legislativo, che diano impulso al loro utilizzo ma, ancor prima, la diffusione della consapevolezza, della conoscenza delle metodologie e della capacità di interpretazione dei risultati rispetto ai quali definire strategie di ottimizzazione e sostenibilità.

Di seguito vengono puntualizzate le raccomandazioni relative agli strumenti abilitanti il processo edilizio circolare e sostenibile, e la loro potenziale integrazione con strumenti LCA-LCC:

1. *pre-demolition audit* per gestire i materiali in uscita dai lavori di demolizione. Lo strumento può quantificare i materiali e valutare la relativa destinazione più sostenibile con il supporto di valutazioni LCA e LCC. Il *pre-demolition audit* può essere utile per monitorare i materiali dalla condizione di "rifiuto" alla condizione di "materiali secondari". Sulla base degli strumenti esistenti e dei miglioramenti proposti, l'audit pre-demolizione dovrebbe includere:
  - la quantificazione del materiale edilizio (ante demolizione, allo stato esistente);
  - la quantificazione dei materiali pericolosi da rimuovere prima della demolizione;
  - la documentazione allegata per comprovare la corretta rimozione e gestione dei rifiuti pericolosi;
  - la quantificazione dei rifiuti non pericolosi generati da demolizione, suddivisi con una classificazione più dettagliata rispetto al codice europeo dei rifiuti;
  - la valutazione del ciclo di vita dei diversi scenari di fine vita di ciascuna tipologia di rifiuto non pericoloso;

- la dichiarazione della destinazione più sostenibile di ciascuna tipologia di rifiuto;
- la documentazione allegata per comprovare la corretta destinazione dei rifiuti.

Operatori chiave: progettisti, demolitori, esperti di LCA e LCC, esperti di tracciabilità dei materiali.

2. *Material passport* per conservare le informazioni sui prodotti costituenti l'edificio lungo il ciclo di vita. Sulla base degli strumenti esistenti e dei miglioramenti proposti, il *material passport* dovrebbe includere:

- quantità di materiali e prodotti da costruzione stoccati all'interno dell'edificio, o organizzati per sistema edilizio e durata di vita utile;
- informazioni tecniche sui materiali (composizione, requisiti prestazionali, ecc.) stoccati all'interno dell'edificio;
- informazioni sulle tecniche di montaggio e smontaggio delle parti di edificio (es. montaggio e smontaggio della partizione interna);
- valore economico attuale e futuro dei materiali/prodotti stoccati all'interno dell'edificio;
- informazioni ambientali di materiali/componenti (eventualmente incluse in certificazioni EPD) stoccati all'interno dell'edificio;
- previsione dell'impatto ambientale di diversi scenari di fine vita dell'edificio (es. demolizione e conferimento in discarica; disassemblaggio e riutilizzo parziale dei componenti; disassemblaggio e riutilizzo totale dei componenti; ecc.).

Operatori chiave: progettisti, produttori, esperti di LCA e LCC, esperti di *material passport*.

3. *Building Information Modeling* organizzato in modo da facilitare la conservazione e l'aggiornamento delle informazioni sul ciclo di vita dell'edificio. Le informazioni devono essere dettagliate e organizzate in modo tale da agevolare la redazione degli altri strumenti utili al processo edilizio circolare e sostenibile (come *pre-demolition audit*, *material passport*, valutazioni LCA e LCC).

Operatori chiave: progettisti, costruttori, esperti di BIM, utenti dell'edificio.

4. Piattaforma di scambio materiali (*digital web-based platform*) in grado di collegare l'offerta e la domanda di materiali e mettere in comunicazione diversi attori della filiera edilizia. Gli strumenti forniscono le informazioni relative a:

- quantità e geolocalizzazione di materiali/prodotti disponibili;
- geolocalizzazione degli operatori in grado di effettuare rilavorazioni necessarie;

- caratteristiche dei materiali/prodotti;
- prezzo del materiale e delle eventuali rilavorazioni;
- impatto ambientale ed economico del trasporto;
- impatto ambientale ed economico della fase di rilavorazione del prodotto, se necessaria;
- distanza massima percorribile dai materiali/componenti da riutilizzare per non vanificare la soglia di impatto evitato.

Operatori chiave: produttore, costruttore, demolitore, logistica, esperto di LCA e LCC.

## *Conclusioni*

Il presente volume restituisce un'analisi critica e una discussione approfondita relativa all'applicazione dell'economia circolare nel settore edilizio, con particolare attenzione al progetto (uso di materiali, scelta di tecniche costruttive, programmazione anticipata dal fine vita dell'edificio) e al processo (aspetti gestionali, organizzativi, strumenti di supporto, relazioni tra gli operatori di filiera).

L'analisi delle buone pratiche e il dialogo con gli stakeholder della filiera edilizia in un panorama europeo, fornisce un quadro prezioso e utile a delineare future azioni da mettere in atto per prefigurare possibili miglioramenti in ambito legislativo, operativo e strumentale.

Il libro evidenzia l'importanza di applicare la valutazione della sostenibilità alle azioni circolari, ancora carente nella pratica attuale ma decisamente prioritaria per evitare di innescare nuovi modelli economici circolari che non considerano l'effettiva sostenibilità ambientale in una prospettiva di ciclo di vita.

L'ambito legislativo svolge un ruolo chiave per favorire la circolarità dei flussi delle risorse materiche, innescando leve economiche (ad esempio attraverso il corretto bilanciamento tra i prezzi delle materie prime, delle materie prime seconde e i costi di conferimento alle discariche), nonché definendo normative che chiariscano il quadro delle responsabilità lungo la filiera di recupero e riuso di prodotti (ad esempio attraverso l'introduzione di certificazioni o dinamiche contrattuali specifiche). Inoltre, anche l'introduzione di incentivi (ad esempio richiesta di requisiti in bandi di gara) può promuovere l'impiego di prodotti riusati/riciclati, l'introduzione di sistemi di tracciabilità delle risorse e delle informazioni, nonché la scelta di tecnologie costruttive reversibili che possano facilitare la riutilizzabilità dei prodotti a fine vita.

In ambito operativo, è di basilare importanza creare momenti di condivisione e di messa in rete di stakeholder, utili per attivare sinergie capaci di avviare i processi di innovazione. Questo richiede la cooperazione tra gli operatori dell'intera filiera del processo edilizio e la messa in campo di sinergie trasversali, che possano innescare nuovi modelli di business (basati sulla logica del prodotto-servizio) e co-creare innovazione nell'ambito di tecnologie costruttive e digitali (*hard technologies* e *soft technologies*).

Infine, è molto importante dotare gli operatori di strumenti di supporto facilmente utilizzabili, e formare figure professionali preparate all'uso di strumenti più complessi (ancora prima di definire obblighi a livello legislativo). Strumenti che possano aiutare e innescare nuove interazioni e scambi di risorse e informazioni (BIM, piattaforme di scambio di materiali, ecc.) lungo la filiera e che permettano di mappare l'"identità" dei prodotti lungo il loro intero ciclo di vita (*material passport*, *predemolition audit*, ecc.). Fondamentale è, inoltre, promuovere l'utilizzo di strumenti di valutazione *Life Cycle* che evidenzino i carichi e i benefici ambientali (LCA) ed economici (LCC) ottenibili attraverso strategie di circolarità. Ciò risulta essenziale per scegliere le strategie realmente efficaci in un bilancio dell'intero ciclo di vita ed evidenziare anche gli aspetti di criticità che una spinta eccessiva verso logiche circolari senza un controllo di tutti i fattori di contorno potrebbe comportare: ad esempio, la promozione del riuso a prescindere degli impatti di trasporto, il riciclo considerando solo i benefici in un indicatore ambientale senza valutarne altri (beneficio di riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> ma aumento degli impatti di eutrofizzazione).

Rivolgendo l'attenzione al contesto italiano, dall'indagine effettuata si evince che il nostro paese, anche se mostra interesse al tema e propone buone pratiche nell'ambito dei *Green Public Procurement*, è ancora molto tradizionale e, rispetto a paesi del nord Europa, presenta ancora logiche progettuali e tecniche convenzionali non reversibili, quindi con bassa potenzialità di riuso, un processo edilizio caratterizzato da relazioni frammentate e discontinue tra gli operatori, nonché barriere legislative ma soprattutto economiche che non facilitano l'innescarsi di una gestione delle risorse materiche mirata all'estensione della vita utile dei prodotti.

La transizione verso l'economia circolare nel settore edilizio sarà dunque traguardabile solamente attraverso strategie comuni a livello internazionale, sinergiche sui fronti della gestione delle risorse materiche, della progettazione della reversibilità e dell'organizzazione di reti di operatori, e sostenibili lungo il ciclo di vita.

## Bibliografia

- Abruzzini A. and Abrishami S. (2022), “Integration of BIM and advanced digital technologies to the end of life decision-making process: a paradigm of future opportunities”, *Journal of Engineering, Design and Technology*, 20, 2.
- Adams K.T., Osmani M., Thorpe T. and Thornback J. (2017), “Circular economy in construction: Current awareness, challenges and enablers”, *Proceedings of Institution of Civil Engineers: Waste and Resource Management*, 170, 1: 15-24.
- Aguerre A., Klein J., den Heijer T., Vrijhoef A., Ploeger R. and Prins H. (2018), “Façade Leasing: Drivers and barriers to the delivery of integrated Façades-as-a-Service”, *Real Estate Research Quarterly*, 17, 3: 11-22.
- Akanbi L.A., Oyedele L.O., Akinade O.O., Ajayi A.O., Davila Delgado M., Bilal M. and Bello S.A. (2018), “Salvaging building materials in a circular economy: A BIM-based whole-life performance estimator”, *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 175-186.
- Akanbi L.A., Oyedele L.O., Omoteso K., Bilal M., Akinade O.O., Ajayi A.O., Davila Delgado J.M. and Owolabi H.A. (2019), “Disassembly and deconstruction analytics system (D-DAS) for construction in a circular economy”, *Journal of Cleaner Production*, 223, 386-396.
- Antonini E. (2001), *Residui da costruzione e demolizione: una risorsa ambientalmente sostenibile: il progetto VAMP e altre esperienze di valorizzazione dei residui*. Franco Angeli, Milano.
- Arena M., Azzone G. and Bengo I. (2017), *Traditional and Innovative Vehicle-Sharing Models*, in Bignami D., Colorni Vitale A., Lué A., Nocerino R., Rossi M. and Savaresi S., eds., *Electric Vehicle Sharing Services for Smarter Cities. Research for Development*. Springer, Cham.
- Assefa G. and Ambler C. (2017), “To demolish or not to demolish: Life Cycle consideration of repurposing buildings”, *Sustainable Cities and Society*, 28, 146-153.
- Atta I., Bakhroum E.S. and Marzouk M.M. (2021), “Digitizing material passport for sustainable construction projects using BIM”, *Journal of Building Engineering*, 43, 103233.

- Atta N., Dalla Valle A., Giorgi S. and Viscuso S. (2023), “Re-manufacturing and re-use practices for extending the value of short-life building components”, *Recycling. 5th International Conference*, Roma.
- Baccini P. and Brunner P.H. (2012), *Metabolism of the Anthroposphere: Analysis, Evaluation, Design*, The MIT Press, Cambridge.
- Baiani S. and Altamura P. (2018), “Waste materials superuse and upcycling in architecture: Design and experimentation”, *Techne. Journal of Technology for Architecture and Environment*, 16, 142-151.
- Belk R. (2007), “Why not share rather than own?”. *Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 611, 1: 126-140.
- Benoit S., Baker T.L., Bolton R.N., Gruber T. and Kandampully J. (2017), “A triadic framework for collaborative consumption (CC): Motives, activities and resources & capabilities of actors”, *Journal of Business Research*, 79, 219-227.
- Benyus J.M. (1997), *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, William Morrow Harper Collins Publishers, New York.
- Bertin I., Mesnil R., Jaeger J.M., Feraille A. and le Roy R. (2020), “A BIM-based framework and databank for reusing load-bearing structural elements”, *Sustainability*, 12(8), 3147.
- Blengini G.A. and di Carlo T. (2010), “Energy-saving policies and low-energy residential buildings: An LCA case study to support decision makers in Piedmont (Italy)”, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 15, 7: 652-665.
- Bocken N.M.P., de Pauw I., Bakker C. and van der Grinten B. (2016), “Product design and business model strategies for a circular economy”. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33, 5: 308-320.
- Bocken, N.M.P., Mugge, R., Bom, C.A., & Lemstra, H.J. (2018). “Pay-per-use business models as a driver for sustainable consumption: Evidence from the case of HOMIE”, *Journal of Cleaner Production*, 198: 498-510.
- Boulding, K.E. (1966), *The Economics of the Coming Spaceship Earth*, in Jarrett H., ed., *Environmental Quality in a Growing Economy*, Resources for the Future/Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Brambilla G., Lavagna M., Vasdravellis G. and Castiglioni C.A. (2019), “Environmental benefits arising from demountable steel-concrete composite floor systems in buildings”, *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 133-142.
- Brand S. (1995), *How buildings learn: What happens after they're built*, Viking Press, New York.
- Brunner P.H. (2011), “Urban mining a contribution to reindustrializing the city”, *Journal of Industrial Ecology*, 15, 3: 339.
- Butera S., Christensen T.H. and Astrup T.F. (2015), “Life Cycle Assessment of construction and demolition waste management”, *Waste Management*, 44, 196-205.
- Buyle M., Galle W., Debacker W. and Audenaert A. (2019), “Sustainability Assessment of circular building alternatives: Consequential LCA and LCC for internal wall assemblies as a case study in a Belgian context”, *Journal of Cleaner Production*, 218, 141-156.

- Campioli A., Mussinelli E., Lavagna M. and Tartaglia A. (2020), *Design strategies and LCA of alternative solutions for resilient, circular, and zero-carbon urban regeneration: a case study*, in Della Torre S., Cattaneo S., Lenzi C., Zanelli A., eds., *Regeneration of the Built Environment from a Circular Economy Perspective*, Springer Research for Development, 205-215.
- Campioli A., Ganassali S., Dalla Valle A. and Giorgi S. (2018), “Progettare il ciclo di vita della materia: nuove tendenze in prospettiva ambientale”, *Techne. Journal of Technology for Architecture and Environment*, 16, 86-95.
- Campioli A. and Lavagna M. (2013), “Innovazione ambientale dei processi di trasformazione del costruito e ciclo di vita”, *Techne. Journal of Technology for Architecture and Environment*, 5, 66-73.
- Cavalliere C., Habert G., Dell’Osso G.R. and Hollberg A. (2019), “Continuous BIM-based Assessment of embodied environmental impacts throughout the design process”, *Journal of Cleaner Production*, 211, 941-952.
- Charef R. (2022), “The use of Building Information Modelling in the circular economy context: Several models and a new dimension of BIM (8D)”, *Cleaner Engineering and Technology*, 7, 100414.
- Charef R. and Emmitt S. (2021), “Uses of building information modelling for overcoming barriers to a circular economy”, *Journal of Cleaner Production*, 285, 124854.
- Chen C., Habert G., Bouzidi Y., Jullien A. and Ventura A. (2010), “LCA allocation procedure used as an incitative method for waste recycling: An application to mineral additions in concrete”, *Resources, Conservation and Recycling*, 54, 12: 1231-1240.
- Chertow M.R. (2000), “Industrial symbiosis: Literature and taxonomy”, *Annual Review of Energy and the Environment*, 25, 313-337.
- Cheshire D. (2016), *Building revolutions. Applying the circular economy to the built environment*, RIBA Publishing, New Castel.
- Clift R. and Druckman A., eds. (2015), *Taking stock of industrial ecology*, Springer.
- Commissione europea (2022), *COM 357 – Quadro di monitoraggio per l’8° programma di azione per l’ambiente: misurare i progressi compiuti verso la realizzazione degli obiettivi prioritari del programma per il 2030 e il 2050*, Brussels.
- Commissione europea (2021), *COM 390 – Strategia per finanziare la transizione verso un’economia sostenibile*, Brussels.
- Commissione europea (2021), *European Construction Sector Observatory Renovating the building envelope – Quo vadis?*, testo disponibile al sito: [https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/construction/observatory/trend-papers\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/construction/observatory/trend-papers_en)
- Commissione europea (2020), *COM 662 – Un’ondata di ristrutturazioni per l’Europa: invertire gli edifici, creare posti di lavoro e migliorare la vita*, Brussels.
- Commissione europea (2020), *COM 98 – Un nuovo piano d’azione per l’economia circolare Per un’Europa più pulita e più competitiva*, Brussels.
- Commissione europea (2019), *COM 640 – The European Green Deal*, Brussels.

- Commissione europea (2018), *Guidelines for the waste audit before demolition and renovation works of building*, testo disponibile al sito: <http://ec.europa.eu>
- Commissione europea (2018), *European Construction Sector Observatory Stimulating favourable investment conditions*, testo disponibile al sito: [https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/construction/observatory/analytical-reports\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/construction/observatory/analytical-reports_en)
- Commissione europea (2016), *EU Construction and Demolition Waste Protocol*, testo disponibile al sito: <http://ec.europa.eu>
- Commissione europea (2015), *COM 614 – L'anello mancante-piano d'azione dell'Unione europea per l'economia circolare*, Bruxelles.
- Commissione europea (2014), *COM 398 – Verso un'economia circolare: programma per un'Europa a zero rifiuti*, Bruxelles.
- Commissione europea (2012), *COM 433 – Strategia per la competitività sostenibile del settore delle costruzioni e delle sue imprese*, Brussels.
- Commissione europea (2011), *COM 571 – Tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse*, Brussels.
- Commissione europea (2006), *COM 232 – Quadro per la protezione del suolo e modifica la direttiva 2004/35/CE*, Brussels.
- Condotta M. and Zatta E. (2021), “Reuse of building elements in the architectural practice and the European regulatory context: Inconsistencies and possible improvements”, *Journal of Cleaner Production*, 318, 128413.
- Constantiou I., Marton A. and Tuunainen V.K. (2017), “Four models of sharing economy platforms”, *MIS Quarterly Executive*, 16, 4: 231-251.
- Cossu R. and Williams I.D. (2015), “Urban mining: Concepts, terminology, challenges”, *Waste Management*, 45, 1-3.
- Costanza R., de Groot R., Sutton P., van der Ploeg S., Anderson S.J., Kubiszewski I., Farber S. and Turner R.K. (2014), “Changes in the global value of ecosystem services”. *Global Environmental Change*, 26, 1: 152-158.
- Costanza R., Cumberland J.H., Daly H. et al. (1997), *An Introduction to Ecological Economics*, Boca Raton: CRC Press.
- Costanza R., Arge R., Groot R. de Farber S., Hannon B., Limburg K., Naeem S. and Neill R.V.O. (1997), “The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital”, *Nature*, 387, 253-260.
- Crutzen P. (2005), *Benvenuti nell'Antropocene. L'uomo ha cambiato il clima, la Terra entra in una nuova era*, Mondadori, Milano.
- Daly H. (2022), *Lo stato stazionario. L'economia dell'equilibrio biofisico e della crescita morale*, Luce edizioni, Massa.
- Daly H. (2006), *Sustainable Development – Definitions, Principles, Policies*, in Keiner M., eds., *The Future of Sustainability*, Springer.
- Daly H. (1977), *Steady-State Economics: the Economics of biophysical equilibrium and moral growth*, W.H. Freeman and Company, United States.
- Daurorienè A., Drakšaitė A., Snieška V. and Valodkienė G. (2015), “Evaluating Sustainability of Sharing Economy Business Models”, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 213.
- De los Rios I.C. and Charnley F.J.S. (2017), “Skills and capabilities for a sustainable and circular economy: The changing role of design”, *Journal of Cleaner Production*, 160, 109-122.

- De Nocker L. and Debacker W. (2018), *Annex: Monetisation of the MMG method* (update 2017), testo disponibile al sito: [www.totem-building.be](http://www.totem-building.be)
- Debacker W., De Regel S. and Amara O. *et al.* (2017), “Assessing potential financial and environmental benefits of a newly developed waste traceability system in Flanders”, *Conference Proceeding of HISER International Conference 2017*.
- Di Maria A., Eyckmans J. and Van Acker K. (2018), “Combining social, environmental and economic analysis to stimulate high-grade recycling of construction & demolition waste”, *Waste management*, 75, 3-21.
- Duffy F. and Myerson J. (1998), *Design for change: the architecture of DEGW*, Birkhauser.
- Durmisevic E. and Brouwer J. (2002), “Dynamic versus static building structures”, *Conference Proceedings of 2nd International Postgraduate Research Conference in the Built and Human Environment*, Salford, England.
- Durmisevic E. (2019), *Circular economy in construction design strategies for reversible buildings*, testo disponibile al sito: [www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2019/05/Reversible-Building-Design-Strategies.pdf](http://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2019/05/Reversible-Building-Design-Strategies.pdf)
- Durmisevic E. (2018), *WP3 Reversible Building Design. Reversible Building design guidelines*, testo disponibile al sito: [www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2018/12/Reversible-Building-Design-guidelines-and-protocol.pdf](http://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2018/12/Reversible-Building-Design-guidelines-and-protocol.pdf)
- Durmisevic E. and Yeang K. (2009), “Designing for disassembly (DfD)”, *Architectural Design*, 79, 6.
- Eberhardt L.C.M., Birgisdóttir H. and Birkved M. (2019), “Life Cycle Assessment of a Danish office building designed for disassembly”, *Building Research and Information*, 47, 6.
- ECN (2017), *End of waste criteria for inert aggregates in member states*, testo disponibile al sito: <https://publicaties.ecn.nl/PdfFetch.aspx?nr=ECN-E--17-010>
- EEA (2016), *Circular economy in Europe Developing the knowledge base. Report No 2/2016*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Ellen MacArthur Foundation (2015), *Delivering the circular economy – A toolkit for policymakers*, testo disponibile al sito: [www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation\\_PolicymakerToolkit.pdf](http://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_PolicymakerToolkit.pdf)
- Ellen MacArthur Foundation (2013), *Towards the circular economy. Economic and business rationale for an accelerated transition*, testo disponibile al sito: [www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf](http://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf)
- Eurostat (2020), *Waste statistics – Total waste generation*, testo disponibile al sito: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics#Total\\_waste\\_generation](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics#Total_waste_generation)
- Frosch R.A. and Gallopoulos N.E. (1989), *Strategies for Manufacturing*, Scientific American, 261, 3.
- Fuster A., Gibb A. and Austin S. (2009), *Adaptable buildings: Three non-residential case studies*, in Wamelink H.M. *et al.*, eds., TU Delft, Netherlands.
- GBCI (2019), *Economia circolare in edilizia*, testo disponibile al sito: [https://gbcitalia.org/wp-content/uploads/2023/01/2019\\_GBC-PP-Ec.-Circ.-Rev2.pdf](https://gbcitalia.org/wp-content/uploads/2023/01/2019_GBC-PP-Ec.-Circ.-Rev2.pdf)
- Geldermans R.J. (2016), “Design for Change and Circularity – Accommodating Circular Material & Product Flows in Construction”, *Energy Procedia*, 96, 301-311.

- Georgescu-Roegen N. (1998), *Energia e miti economici*, Bollati Boringhieri.
- Georgescu-Roegen N. (1971), *The Entropy Law and the Economic Process*, Harvard University Press.
- Ghose A., Pizzol M. and McLaren S.J. (2017), “Consequential LCA modelling of building refurbishment in New Zealand – an evaluation of resource and waste management scenarios”, *Journal of Cleaner Production*, 165, 119-133.
- Giacobello M.L. (2012), *Leconomia della complessità di Nicholas Georgescu-Roegen*, Le Lettere, Firenze.
- Giorgi S., Lavagna M., Ke W., Osmani M., Liu G. and Campioli A. (2022), “Drivers and barriers towards circular economy in the building sector: Stakeholder interviews and analysis of five European countries policies and practices”, *Journal of Cleaner Production*, 336, 130395.
- Giorgi S. (2020), PhD Thesis “Circular Economy and regeneration of the building stock. Policies improvement, strategic partnership and life cycle decision-making tools”, Supervisors: Lavagna M., Campioli A. Politecnico di Milano, XXXII Cycle ABC-PhD.
- Giorgi S., Lavagna M. and Campioli A. (2019), “Circular economy and regeneration of building stock in the Italian context: Policies, partnership and tools”. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 225(1).
- Giorgi S., Lavagna M. and Campioli A. (2019a), “Circolare e sostenibile: verso l’ottimizzazione dei flussi materici nei processi di riqualificazione edilizia in italia”, *Ingegneria dell’Ambiente*, 6, 2: 151-163.
- Giorgi S., Lavagna M. and Campioli A. (2019b), “LCA and LCC as decision-making tools for a sustainable circular building process”, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 296, 1.
- Giorgi S., Lavagna M. and Campioli A. (2018), “Circular economy and regeneration of building stock. Assessment tools for sustainable end-of-life scenario”, *Conference proceeding SUM 2018 Fourth Symposium on urban mining and circular economy*, Bergamo.
- Giorgi S., Lavagna M. and Campioli, A. (2018a), *Guidelines for Effective and Sustainable Recycling of Construction and Demolition Waste*, in Benetto E., Gericke K., Guiton M., eds., *Designing Sustainable Technologies, Products and Policies*, Springer.
- Giorgi S., Lavagna M. and Campioli A. (2017), “Economia Circolare, Gestione dei rifiuti e Life Cycle Thinking. Fondamenti, interpretazioni e analisi dello stato dell’arte”, *Ingegneria dell’Ambiente*, 4, 3: 263-276.
- Gorgolewski M. (2017), *Resource Salvation: The Architecture of Reuse*, Wiley-Blackwell Publication, United States.
- Hawken P., Lovins A. and Lovins L.H. (1999), *Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution*, Little, Brown, Boston.
- Habraken N.J. (2017), “Back to the future: The everyday built environment in a phase of transition”, *Architectural Design*, 87, 5.
- Habraken N.J. (2003), “Open Building as a Condition for Industrial Construction”, *Proceedings of the 20th International Symposium on Automation and Robotics in Construction ISARC 2003*.

- Hossain M. (2020), “Sharing economy: A comprehensive literature review”. *International Journal of Hospitality Management*, 87, 102470.
- Hossain M.U., Ng S.T., Antwi-Afari P. and Amor B. (2020), *Circular economy and the construction industry: Existing trends, challenges and prospective framework for sustainable construction*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 130.
- ICESP (2020), *La transizione verso le città circolari Approfondimenti tematici: rifiuto umido, rifiuti da costruzione e demolizione, plastiche e simili – Rassegna Volume 3*, testo disponibile al sito: [www.icesp.it/GdL/5](http://www.icesp.it/GdL/5)
- IDEA (2015), *Analysis of certain waste streams and the potential of Industrial Symbiosis to promote waste as a resource for EU Industry*, Final Report, Brussels.
- Isacs L., Finnveden G., Dahllöf L., Håkansson C., Petersson L., Steen B., Swanström L. and Wikström A. (2016), “Choosing a monetary value of greenhouse gases in Assessment tools: A comprehensive review”, *Journal of Cleaner Production*, 127, 37-48.
- Ispra (2022), *Rapporto Rifiuti Speciali Edizione 2022*, testo disponibile al sito: [www.isprambiente.gov.it/files/2023/pubblicazioni/rapporti/rapportorifiutispeciali\\_ed-2022\\_n-367\\_versioneintegrale\\_agg-29\\_03\\_2023.pdf](http://www.isprambiente.gov.it/files/2023/pubblicazioni/rapporti/rapportorifiutispeciali_ed-2022_n-367_versioneintegrale_agg-29_03_2023.pdf)
- Jalapathy P. and Unnissa M.M. (2023), “A study of manufacturing and inventory strategies in close-loop supply chain: a two-phase news-vendor model with an extended warranty”. *Journal of Remanufacturing*, 13, 305-332.
- Jelinski L.W., Graedel T.E., Laudise R.A., McCall D.W. and Patel C.K.N. (1992), “Industrial ecology: Concepts and approaches”. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 89, 3.
- JRC (2016), *Global environmental impacts and planetary boundaries in LCA. Data sources and methodological choices for the calculation of global and consumption-based normalisation factors*, Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Kabirifar K., Mojtahedi M., Wang C. and Tam V.W.Y. (2020), “Construction and demolition waste management contributing factors coupled with reduce, reuse, and recycle strategies for effective waste management: A review”, *Journal of Cleaner Production*, 263, 121265.
- Kennedy C., Pincetl S. and Bunje P. (2011), “The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design”, *Environmental Pollution*, 159.
- Kirchherr J., Reike D. and Hekkert M. (2017), “Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions”, *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221-232.
- Kubbinga B., Bamberger M., van Noort E. et al. (2018), *A framework for circular buildings indicators for possible inclusion in BREEAM*, testo disponibile al sito: [https://assets-global.website-files.com/5d26d80e8836af2d12ed1269/5dea6b3713854714c4a8b755\\_A-Framework-For-Circular-Buildings-BREEAM-report-20181007-1.pdf](https://assets-global.website-files.com/5d26d80e8836af2d12ed1269/5dea6b3713854714c4a8b755_A-Framework-For-Circular-Buildings-BREEAM-report-20181007-1.pdf)
- Lanau M. and Liu G. (2020), “Developing an Urban Resource Cadaster for Circular Economy: A Case of Odense, Denmark”, *Environmental Science and Technology*, 54, 7: 4675-4685.

- Latouche S. (2007), *Petit traité de la décroissance sereine*, Mille et une nuits, Paris.
- Latouche S. (2008), *Breve trattato sulla decrescita serena*, Bollati Boringhieri, Torino.
- Lavagna M., Giorgi S., Pimponi D. and Porcari A. (2023), “Tecnologie abilitanti per l’economia circolare nel settore edilizio”, *Techne. Journal of Technology for Architecture and Environment*, 25, 214-224.
- Lavagna M., Dalla Valle A., Giorgi S., Caroli T. and Campioli A. (2021), *Circular processes and Life Cycle design for sustainable buildings*, in Bevilacqua C., Calabrò F., Della Spina L., eds, *New Metropolitan Perspective Smart Innovation, Systems and Technologies*, Springer.
- Lavagna M. (2020), *Circular Approach in Green Planning Towards Sustainable Cities*, in Dall’O’ G., ed., *Green Planning for Cities and Communities*, Springer Nature.
- Lavagna M., Campioli A., Dalla Valle A., Giorgi S. and Caroli T. (2020), “Strategie costruttive e valutazioni ambientali per la temporaneità, circolarità e reversibilità”, *Techne. Journal of Technology for Architecture and Environment*, 20, 157-166.
- Lavagna M., Baldassarri C., Campioli A., Giorgi S., Dalla Valle A., Castellani V. and Sala S. (2018), “Benchmarks for environmental impact of housing in Europe: Definition of archetypes and LCA of the residential building stock”. *Building and Environment*, 145, 260-275.
- Lavagna M. (2017), *Qualità ed efficacia ambientale del riciclo: il ruolo delle valutazioni LCA*, in Migliore M. e Talamo C., eds., *Le utilità dell’inutile. Economia circolare e strategie di riciclo dei rifiuti pre-consumo per il settore edilizio*. Maggioli, Santarcangelo di Romagna.
- Lavagna M., Giorgi S. and Dalla Valle A. (2016), *Abitare in Europa. Analisi dei dati statistici, definizione di modelli rappresentativi e valutazione ambientale LCA del patrimonio residenziale europeo*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna.
- Lavagna M. (2008), *Life Cycle Assessment in edilizia Progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*, Hoepli, Milano.
- Lavagna M. (2006), *Sostenibilità e risparmio energetico. Soluzioni tecniche per involucri eco-efficienti*, Libreria Clup, Milano.
- Lei H., Li L., Yang W., Bian Y. and Li C.Q. (2021), “An analytical review on application of Life Cycle Assessment in circular economy for built environment”, *Journal of Building Engineering*, 44, 103374.
- Liu Z., Jiang L., Osmani M. and Demian P. (2019), “Building information management (BIM) and blockchain (BC) for sustainable building design information management framework”, *Electronics*, 8, 7: 724.
- Loiseau E., Saikku L., Antikainen R., Droste N., Hansjürgens B., Pitkänen K., Leskinen P., Kuikman P. and Thomsen M. (2016), “Green economy and related concepts: An overview”, *Journal of Cleaner Production*, 139, 361-371.
- Longo D. (2007), *Decostruzione e riuso: procedure e tecniche di valorizzazione dei residui edilizi in Italia*. Alinea, Firenze.
- López Ruiz L.A., Roca Ramón X. and Gassó Domingo S. (2020), “The circular economy in the construction and demolition waste sector – A review and an integrative model approach”, *Journal of Cleaner Production*, 248, 119238.

- Luscuere L.M. (2017), “Materials Passports: Optimising value recovery from materials”, *Proceedings of Institution of Civil Engineers: Waste and Resource Management*, 170, 1.
- Mao R., Bao Y., Huang Z., Liu Q. and Liu G. (2020), “High-Resolution Mapping of the Urban Built Environment Stocks in Beijing”, *Environmental Science and Technology*, 54, 9: 5345-5355.
- McDonough W. and Braungart M. (2002), *Cradle to Cradle: re-making the way we make things*, North Point Press, United States.
- McDonough W. and Braungart M. (2003), traduzione di E. Banfi. *Dalla culla alla culla. Come conciliare tutela dell'ambiente, equità sociale e sviluppo*, Blu Edizioni.
- Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J. and Behrens III W.W. (1972), *The Limits to Growth*, A Potomac Associates Book.
- Mousavi M. et al. (2016), *LCA modelling of cement concrete waste management*, in: Arena U., Astrup T. and Lettieri P., eds., *Life Cycle Assessment and Other Assessment Tools for Waste Management and Resource Optimization*, ECI Symposium Series.
- Mulhall D., Hansen K., Luscuere L., Zanatta R. and Raymond W. (2017), “Framework For Material Passports”, *Internal BAMB Report*, 642384.
- Munaro M.R., Fischer A.C., Azevedo N.C. and Tavares S.F. (2019), “Proposal of a building material passport and its application feasibility to the wood frame constructive system in Brazil”, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 225, 1.
- Munaro M.R., Tavares S.F. and Bragança L. (2020), “Towards circular and more sustainable buildings: A systematic literature review on the circular economy in the built environment”, *Journal of Cleaner Production*, 260, 121134.
- Munaro M.R. and Tavares S.F. (2021), *Materials passport's review: challenges and opportunities toward a circular economy building sector*, Built Environment Project and Asset Management, 11, 4.
- Neirotti P., de Marco A., Cagliano A.C., Mangano G. and Scorrano F. (2014), “Current trends in smart city initiatives: Some stylised facts”, *Cities*, 38, 25-36.
- Nemerow N. (1995), *Zero Pollution for Industry: Waste Minimization Through Industrial Complexes*, John Wiley & Sons Inc.
- Norouzi M., Chàfer M., Cabeza L.F., Jiménez L. and Boer D. (2021), “Circular economy in the building and construction sector: A scientific evolution analysis”, *Journal of Building Engineering*, 44, 102704.
- OECD Green Growth Studies (2015), *Material Resources, Productivity and the Environment*, OECD Green Growth Studies, Paris.
- Onat N.C. and Kucukvar M. (2020), “Carbon footprint of construction industry: A global review and supply chain analysis”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 124, 109783.
- Osmani M. and Villoria-Sáez P. (2019), “Current and Emerging Construction Waste Management Status, Trends and Approaches”, in Letcher T.M., Vallero D.A., eds., *Waste: A Handbook for Management*, Academic Press, Amsterdam.

- Osterwalder A. and Pigneur Y. (2010), *Business Model Generation A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*, Wiley, New Jersey.
- Östlin J., Sundin, E. and Björkman M. (2008), “Importance of closed-loop supply chain relationships for product re-manufacturing”, *International Journal of Production Economics*, 115, 2: 336-348.
- OVAM (2018), *Environmental profile of building elements*, testo disponibile al sito: [www.totem-building.be](http://www.totem-building.be).
- Paleari M., Lavagna M. and Campioli A. (2016), “The Assessment of the relevance of building components and life phases for the environmental profile of nearly zero-energy buildings: Life Cycle Assessment of a multifamily building in Italy”, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21, 12: 1667-1690.
- Pan X., Xie Q. and Feng Y. (2020), “Designing recycling networks for construction and demolition waste based on reserve logistics research field”, *Journal of Cleaner Production*, 260, 120841.
- Pantini S. and Rigamonti L. (2016), “Evaluation of the mass balance of the construction and demolition waste management system in Lombardy Region (Italy)”, *CRETE 2016 Conference Proceedings*.
- Peña C., Civit B., Gallego-Schmid A., Druckman A., Caldeira-Pires A., Weidema B., Mieras E., Wang F., Fava J., Canals L.M., Cordella M., Arbuckle P., Valdivia S., Fallaha S. and Motta W. (2021), “Using Life Cycle Assessment to achieve a circular economy”, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 26, 2: 215-220.
- Perriccioli M. (2020), *La dimensione ecologica del progetto nell'era digitale*, in Perriccioli M., Rigillo M., Russo Ermolli S., Tucci F., eds., *Il progetto nell'era digitale*, Tecnologia, Cultura, Natura.
- Peters M., Ribeiro A., Oseyran J. and Wang K. (2017), *Buildings as material banks and the need for innovative Business Models*, testo disponibile al sito: [www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2017/11/BAMB\\_Business-Models\\_20171114\\_extract.pdf](http://www.bamb2020.eu/wp-content/uploads/2017/11/BAMB_Business-Models_20171114_extract.pdf)
- Pizzol M., Weidema B., Brandão M. and Osset P. (2015), “Monetary valuation in Life Cycle Assessment: A review”, *Journal of Cleaner Production*, 86, 170-179.
- Pomponi F. and Moncaster A. (2017), “Circular economy for the built environment: A research framework”, *Journal of Cleaner Production*, 143, 710-718.
- Porter M.E. and van der Linde C. (2017), “Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship”, *Corporate Environmental Responsibility*.
- Prendeville S., Cherim E. and Bocken N. (2018), “Circular Cities: Mapping Six Cities in Transition”, *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 26.
- Rašković M., Ragossnig A.M., Kondracki K. and Ragossnig-Angst M. (2020), “Clean construction and demolition waste material cycles through optimised pre-demolition waste audit documentation: A review on building material Assessment tools”, *Waste Management and Research*, 38, 9.
- Rasmussen F.N. and Birgisdóttir H. (2016), “Life Cycle environmental impacts from refurbishment projects – A case study”, *CESB 2016 – Central Europe Towards Sustainable Building 2016: Innovations for Sustainable Future*.

- Rau T. and Oberhuber S. (2016), *Material Matters L'importanza della materia – Un'alternativa al sovrasfruttamento*, Edizioni Ambiente, Milano.
- Rau T. and Oberhuber S. (2019), *Material Matters L'importanza della materia*, Edizioni Ambiente, Milano.
- Rifkin J. (2000), *The age of access. The new culture of hypercapitalism, where all of life is a paid-for experience*, Tarcher, New York.
- Rios F.C., Chong W.K. and Grau D. (2015), “Design for Disassembly and Deconstruction – Challenges and Opportunities”, *Procedia Engineering*, 118.
- Ritala P., Huotari P., Bocken N., Albareda L. and Puumalainen K. (2018), “Sustainable business model adoption among S&P 500 firms: A longitudinal content analysis study”, *Journal of Cleaner Production*, 170, 216-226.
- Röck M., Hollberg A., Habert G. and Passer A. (2018), “LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building construction at early design stages”, *Building and Environment*, 140, 153-161.
- Rockström J., Steffen W. and Noone K. *et al.* (2009a), “Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity”, *Ecology and Society*, 14, 2: 32.
- Rockström J., Steffen W., Noone K. *et al.* (2009b), “A safe operating space for humanity”, *Nature*, 461, 472-475.
- Sala S., Reale F., Cristóbal-García J., Marelli L. and Rana P. (2016), *Life Cycle Assessment for the impact Assessment of policies. Life thinking and Assessment in the European policies and for evaluating policy options*, EUR 28380 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Sandin G., Peters G.M. and Svanström M. (2015), “Using the planetary boundaries framework for setting impact-reduction targets in LCA contexts”, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20, 12: 1684-1700.
- Sayagh S., Ventura A., Hoang T., François D. and Jullien A. (2010), “Sensitivity of the LCA allocation procedure for BFS recycled into pavement structures”, *Resources, Conservation and Recycling*, 54, 6: 348-358.
- Schmidt R. and Austin S. (2016), *Adaptable architecture theory and practice*, Routledge, Taylor & Francis Group.
- Schögl J.P., Stumpf L. and Baumgartner R.J. (2020), “The narrative of sustainability and circular economy – A longitudinal review of two decades of research”, *Resources, Conservation and Recycling*, 163, 105073.
- Schouten S. (2014), *De Circulaire Economie – Waarom Productie, Consumptie En Groei Fundamenteel Anders Moeten*, Bureau de Helling, Utrecht.
- Silva R.V., de Brito J. and Dhir R.K. (2019), “Use of recycled aggregates arising from construction and demolition waste in new construction applications”. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117629.
- Smol M., Kulczycka J., Henclik A., Gorazda K. and Wzorek Z. (2015), “The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy”, *Journal of Cleaner Production*, 95, 45-54.
- Sousa-Zomer T.T., Magalhães L., Zancul E. and Cauchick-Miguel P.A. (2018), “Exploring the challenges for circular *business* implementation in manufacturing companies: An empirical investigation of a pay-per-use service provider”, *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 3-13.

- Stahel W.R. and Reday-Mulvey G. (1976), *The potential for substituting manpower for energy*, Report to the Commission of the European Communities, April.
- Stahel W.R. and Reday-Mulvey G. (1981), *Jobs for tomorrow: the potential for substituting manpower for energy*, Report to the Commission of the EC, April.
- Stahel W.R. (2010), *The performance economy*, Palgrave Macmillan, Londra.
- Stahel W.R. (2016), *Circular economy – A new relationship with our goods and materials would save resources and energy and create local jobs*, *Nature*, 531.
- Stahel W.R. (2019), *Economia circolare per tutti. Concetti base per cittadini, politici e imprese*, Edizioni Ambiente, Milano.
- Steffen W., Rockström J. and Costanza R. (2011), “How Defining Planetary Boundaries Can Transform Our Approach to Growth”, *Solutions*, 2, 3.
- Steffen W., Rockström J., Kubiszewski I. and Costanza R. (2013), *Planetary boundaries: Using early warning signals for sustainable global governance*, in Lawn P., ed., *Globalisation, Economic Transition and the Environment: Forging a Path to Sustainable Development*, Edward Elgar Publishing.
- Stephan A. and Athanassiadis A. (2018), “Towards a more circular construction sector: Estimating and spatialising current and future non-structural material replacement flows to maintain urban building stocks”, *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 248-262.
- Stockholm Resilience Centre (2016), *Planetary boundaries are valuable for policy*, testo disponibile al sito: [www.stockholmresilience.org/research/research-news/2012-07-02-planetary-boundaries-are-valuable-for-policy.html](http://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2012-07-02-planetary-boundaries-are-valuable-for-policy.html) (data di consultazione: novembre 2020).
- Talamo C.M.L. (ed.) (2022), *Re-manufacturing networks for tertiary architectures. Innovative organizational models towards circularity*, FrancoAngeli, Milano.
- Tam V.W., Zhou Y., Illankoon C. and Le, K.N. (2022), “A critical review on BIM and LCA integration using the ISO 14040 framework”, *Building and Environment*, 213, 108865.
- Tiezzi E. and Marchettini N. (1999), *Che cos'è lo sviluppo sostenibile? Le basi scientifiche della sostenibilità e i guasti del pensiero unico*, Donzelli, Roma.
- Turk Ž. and Klinc R. (2017), “Potentials of Blockchain Technology for Construction Management”, *Procedia Engineering*, 196, 638-645.
- UNEP (2006), *Circular Economy: An alternative model of economic development*, UNEP DTIE, Paris.
- UNEP (2011a), *Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impact from Economic Growth*, UNEP DTIE, Paris.
- UNEP (2011b), *Toward a green economy Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*, UNEP DTIE, Paris.
- UNEP (2016), *Global material flows and resource productivity* UNEP DTIE, Paris.
- Van Gemert S.M.J. (2019), “MPG-ENVIE a BIM-based LCA application for embodied impact Assessment during the early design stages”, Master thesis of Eindhoven University of Technology.
- Venkatachalam L. (2007), “Environmental economics and ecological economics: Where they can converge?”, *Ecological Economics*, 61, 550-558.
- Ventura R., Quero M.J. and Díaz-Méndez M. (2020), “The role of institutions in achieving radical innovation”, *Marketing Intelligence and Planning*, 38, 3.

- Vezzoli C., Kohtala C., Srinivasan A., Diehl J.C., Fusakul S.M. and Xin L. (2017), *Product-service system design for sustainability*, Greenleaf Publishing Limited, Sheffield, UK.
- Villoria Sáez P. and Osmani M. (2019), “A diagnosis of construction and demolition waste generation and recovery practice in the European Union”, *Journal of Cleaner Production*, 241, 118400.
- Wang K., de Regel S., Debacker W., Michiels J. and Vanderheyden J. (2019), “Why invest in a reversible building design?”, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 225, 1.

Le politiche ambientali europee stanno promuovendo una transizione dall'attuale economia lineare verso un'economia circolare, che mira a ridurre i rifiuti e l'estrazione di materie prime, al fine di preservare le risorse limitate del pianeta.

Per realizzare questa transizione, il settore edilizio risulta prioritario, in quanto a livello europeo, è responsabile di circa il 50% dell'estrazione totale di materie prime e del 37,5% della produzione totale di rifiuti. In tale contesto, il rinnovo del patrimonio edilizio diventa uno dei principali campi di attuazione delle strategie di economia circolare.

Occorre porsi come obiettivo un modello di circolarità sostenibile, in prospettiva *Life Cycle* e, dunque, trattare l'economia circolare non solo attraverso la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione ma, concentrandosi innanzitutto sull'importanza di evitare detti rifiuti, attraverso strategie di progettazione, che possano prolungare la vita utile degli edifici esistenti e dei materiali di cui essi sono costituiti, e strategie di organizzazione tra gli operatori, che possano innescare network di filiera e modelli di business per la circolarità delle risorse.

Il libro restituisce i fondamenti dell'economia circolare e definisce tre principali aree di azione strategiche: 1) gestione delle risorse materiche e dei rifiuti; 2) progettazione per la reversibilità; 3) organizzazione di modelli gestionali di circolarità e relazioni tra gli operatori della filiera.

Grazie al dialogo e al confronto diretto con gli stakeholder del settore edilizio, nel contesto italiano e nel contesto nordeuropeo, il libro individua, altresì, leve e barriere per l'introduzione

di pratiche circolari, mettendo in luce i punti di vista degli operatori di filiera e restituendo alcune *best practice* europee. Il libro descrive, inoltre, alcuni casi studio di architetture che hanno dimostrato la fattibilità di applicazione delle strategie di economia circolare in edilizia.

Infine, vengono definite le raccomandazioni in ambito legislativo, operativo e strumentale utili a individuare possibili miglioramenti verso un'economia circolare sostenibile.

*Serena Giorgi*, PhD, è assegnista di ricerca presso il Dipartimento ABC del Politecnico di Milano. La sua attività di ricerca riguarda i temi di sostenibilità ambientale ed economia circolare nel settore edilizio, con attenzione a tecnologie costruttive reversibili, strategie di riuso, metodi e strumenti *Life Cycle Assessment*, sistemi di tracciabilità delle informazioni a scala di edificio e di prodotto. Ha svolto attività di ricerca presso *Loughborough University*, *University of Southern Denmark* e *Flemish Institute for Technological Research*. È socio della Società Italiana della Tecnologia dell'Architettura (SITdA) e dell'Associazione Rete Italiana LCA, per la quale coordina il GdL "LCA in edilizia". È membro attivo della Cost-Action CircularB, del gruppo IEA EBC Annex 89, della Italian Circular Economy Stakeholder Platform (ICESP), e partecipa, inoltre, ai gruppi di lavoro per la definizione dei CAM edilizia. Ha presentato i suoi lavori di ricerca a convegni nazionali e internazionali ed è autrice di numerose pubblicazioni scientifiche.



**FrancoAngeli**

La passione per le conoscenze