

## DALLE POLITICHE PER LA CIRCOLARITÀ DELLE RISORSE ALLA STRATEGIA ZERO RIFIUTI

### FROM RESOURCE CIRCULARITY POLICIES TO THE ZERO-WASTE STRATEGY

Adolfo F. L. Baratta

#### ABSTRACT

Le politiche di gestione dei rifiuti che negli ultimi venti anni hanno cercato di mitigare l'impatto ambientale si sono tradotte, nella maggiore parte dei casi, in azioni di downcycling. Ecco, quindi, che per rimediare agli impatti dell'andamento lineare dei modelli di produzione e consumo, strategie quali l'upcycling e la transizione verso la circolarità costituiscono una buona soluzione; ma per ridurre la pressione sull'ambiente l'unica strada percorribile non è quella che passa dal riciclaggio quanto, piuttosto, quella del riuso e della non produzione di scarti e rifiuti. In questo senso, anche se ancora sono pochi gli strumenti decisionali specifici a supporto di un'efficace valutazione dei rifiuti in fase progettuale, un ruolo fondamentale è interpretato dai progettisti che, attraverso strategie quali quelle del Design for Longevity e del Design for Deconstruction, possono concorrere alla definizione e all'applicazione di una Zero Waste Strategy.

Over the last twenty years, waste management policies were aimed to mitigate environmental impacts; but in most cases the results of these policies had been the downcycling. The upcycling and the transition to circularity are good solutions to remedy the impacts of linear patterns of production and consumption. However, the only way to reduce environmental pressure is not through recycling but through reusing and avoiding waste production. In this direction, designers could play a significant role thanks to strategies such as those of Design for Longevity and Design for Deconstruction. Even if there are still few decision-making tools to support an effective evaluation of waste in the design phase, the above-mentioned strategies could lead designers towards a Zero Waste Strategy.

#### KEYWORDS

modello circolare, riuso, design per la durabilità, design per la decostruzione, strategia zero rifiuti

circular model, reuse, design for longevity, design for deconstruction, zero-waste strategy

**Adolfo F. L. Baratta**, Architect and PhD, is an Associate Professor in Architectural Technology at the Department of Architecture of Roma Tre University (Italy). Professor at the University of Florence and 'Sapienza' University of Rome, he was Visiting Professor at Universidad de Boyacá in Sogamoso (Colombia) and the HTWG of Konstanz (Germany). He deals with visible and invisible technologies and is the author of more than 200 publications. Since 2020 he has been an Expert in the Technical Mission Structure of the Ministry of Sustainable Infrastructure and Mobility. Mob. +39 338/59.82.598. E-mail: [adolfo.baratta@uniroma3.it](mailto:adolfo.baratta@uniroma3.it)

Lo sfruttamento estensivo di risorse naturali, abbinato a un utilizzo inefficiente dei materiali nella fase fine vita, ha come risultato un quantitativo sempre maggiore di rifiuti. Pertanto, da più di un ventennio, si stanno riorientando quasi tutte le politiche di gestione dei rifiuti in modo da mitigare gli impatti ambientali, con lo scopo di conseguire gli obiettivi di sostenibilità ambientale, sociale ed economica. Tuttavia, nonostante le intenzioni, questo si traduce in azioni di downcycling<sup>1</sup> dei materiali che procurano benefici limitati. Infatti, nonostante le politiche e le azioni messe in atto, a livello globale il volume di rifiuti continua a crescere: per ridurre la pressione antropica sul Pianeta è quindi indispensabile modificare radicalmente l'attuale modello di utilizzo delle risorse, in particolare di quelle non rinnovabili.

Dal punto di vista delle risorse, il settore delle costruzioni è all'origine di circa il 50% delle estrazioni di materiale e, al contempo, del 35% della produzione totale di rifiuti dell'Unione Europea. Le ricadute dei processi produttivi ed edili contribuiscono a generare tra il 5 e il 12% delle emissioni nazionali di GHG (European Commission, 2020). A questo si può aggiungere l'importante quantità di energia consumata nella fase di produzione (dall'estrazione della materia prima al trasporto) e nella fase di dismissione, quasi esclusivamente rivolta al downcycling o alla discarica (Huang et alii, 2018). Dal momento che il trend della crescita demografica mondiale è in costante aumento, è impossibile pensare che si possa perpetrare un modello di sfruttamento delle risorse edulcorato da sporadici sussulti di circolarità.

Le strategie di downcycling non sono perseguibili se si intende negativizzare i carichi ambientali: la transizione verso un modello circolare più efficiente deve porsi l'ambizioso obiettivo di introdurre o migliorare il circolo virtuoso dei materiali, basato sul riuso prima e sul riciclaggio poi degli stessi. Non si tratta di obiettivi irraggiungibili: alcuni Paesi europei, come Belgio, Danimarca, Germania e Olanda hanno instaurato meccanismi che consentono il riuso o il riciclo del 95% dei rifiuti prodotti (López Ruiz, Roca Ramón and Gassó Domingo, 2020). Nonostante tale traguardo, molti dei modelli proposti, anche da tali Paesi, sono improntati al downcycling, addirittura di quei rifiuti provenienti da materiali con un'alta energia incorporata<sup>2</sup>. Solo scardinando tale approccio, forse troppo semplicistico, si potrà attivare una reale transizione verso un modello circolare: il downcycling non consente il raggiungimento dell'equilibrio delle tre dimensioni della sostenibilità e contribuisce al miglioramento degli impatti nel settore delle costruzioni solo in minima parte (Reficco et alii, 2018).

Ridurre, se non annullare, il processo distruttivo legato all'estrazione di risorse naturali a favore di un processo di recupero, riuso e riciclo di scarti e rifiuti appare l'unica strada da percorrere. Ecco, quindi, che per rimediare agli impatti dell'andamento lineare dei modelli di produzione e consumo, strategie quali l'upcycling<sup>3</sup> e la transizione verso la circolarità costituiscono una buona soluzione; tuttavia, per ridurre la pressione sull'ambiente l'unica strada percorribile non è quella che passa dal riciclaggio quan-

to, piuttosto, quella del riuso e della non produzione di scarti e rifiuti.<sup>4</sup>

**Strategie internazionali e politiche comunitarie** | Anche se l'avvio della politica sui rifiuti avviene negli anni Settanta dello scorso secolo, è con l'inizio del nuovo Millennio che l'attenzione del legislatore si concentra sulla promozione di strategie e strumenti utili a prevenire, da un lato, la produzione di scarti e rifiuti e, dall'altro, il consumo di risorse naturali impiegando materiali riciclati. Il nuovo Millennio inizia con l'Unione Europea che decide di promuovere prima lo sviluppo di un mercato di prodotti più ecologici attraverso la Integrated Product Policy (European Commission, 2001) e poi un processo edilizio ambientalmente virtuoso attraverso il Life-Cycle Thinking (European Commission, 2003).

Dopo aver stabilito la necessità di ridurre gli impatti ambientali negativi derivanti dall'uso di risorse naturali (European Commission, 2005), l'Unione Europea ridefinisce alcuni concetti sui rifiuti e individua delle disposizioni utili a favorire il loro recupero, trattamento e riuso (European Commission, 2008). In questo contesto viene introdotto l'Extended Producer Responsibility, strategia che aggiunge al prezzo di mercato di un determinato prodotto anche i costi ambientali a esso associati durante il suo ciclo di vita. La responsabilità estesa del produttore gli attribuisce la gestione finanziaria e organizzativa della fase del ciclo di vita in cui il prodotto diventa un rifiuto: si pensi all'effetto che, in molti Paesi, tale decisione ha avuto per categorie di rifiuti, quali quelli elettronici, in ordine alla quantità e al grado di recupero di prodotti dismessi.

La gestione delle risorse naturali è anche al centro della Europe 2020 Strategy che individua tre priorità ovvero una crescita intelligente, con l'obiettivo di sviluppare un'economia basata sulla conoscenza e sull'innovazione, una crescita inclusiva, con l'obiettivo di promuovere la coesione sociale e territoriale e una crescita sostenibile, finalizzata alla promozione dell'utilizzo delle risorse disponibili. L'impiego efficiente di risorse diventa quindi uno degli obiettivi principali a breve e medio termine per l'Unione Europea con tre strumenti utili alla transizione verso un'economia circolare ovvero la riduzione dei fattori di produzione, la minimizzazione della produzione di rifiuti e la modificazione dei modelli di consumo (European Commission, 2010).

Nel 2011, con la Roadmap per un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse, l'Unione Europea sottolinea che gli scarti devono essere considerati delle risorse da reintrodurre nella filiera, tanto da sostenere l'impiego di materiali sostenibili e favorire il riciclo dei rifiuti da 'demolizione' a 'costruzione' (European Commission, 2011). Nel 2013 entra in vigore l'Environmental Action Program, VII Programma generale di azione in materia di ambiente dal titolo Vivere Bene entro i Limiti del Nostro Pianeta (European Parliament and Council of European Union, 2013). Il presupposto del Programma è che, essendo il maggiore impatto ambientale di un prodotto attribuibile alle prime fasi progettuali, è necessario tener conto, proprio a partire da questa fase, di aspetti quali la sostenibilità, la riparabilità,

la riusabilità, la riciclabilità, la presenza di contenuto riciclato e la durata di vita. Nello stesso Programma si sottolinea l'importanza del progresso verso un'economia circolare basata sull'analisi del ciclo di vita e l'adozione di misure in grado di favorire il riuso e il riciclaggio e di prevenire la produzione di rifiuti. In relazione a quest'ultimi, nel 2014 l'Unione Europea struttura il Catalogo Europeo dei Rifiuti e attribuisce a ciascun rifiuto un codice univoco a sei cifre (European Commission, 2014): tale azione torna a conferire un valore specifico a rifiuti e scarti arrivando, con un'azione indiretta, anche a incentivare le pratiche di riciclo.

Nel 2015 l'Unione Europea è tra i principali promotori del Transforming our World, l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile approvata dalle Nazioni Unite. Il documento riporta 17 Obiettivi 'integrati e indivisibili' di Sviluppo Sostenibile, insieme ai relativi 169 traguardi «[...] volti a equilibrare le tre dimensioni dello sviluppo sostenibile: economico, sociale e ambientale» (UN, 2015, p. 6), formulati come guida per promuovere azioni concrete dalle ricadute positive per l'umanità e il pianeta. Premesso che gli Obiettivi sono strettamente interconnessi tra loro, tanto che i Traguardi producono effetti positivi su più Obiettivi contemporaneamente, l'Obiettivo 11 – Città e Comunità Sostenibili fa riferimento all'ambito urbano, mirando a «[...] rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, resilienti e sostenibili». Tra i dieci Traguardi di questo Obiettivo figurano quelli della riduzione dell'impatto ambientale negativo pro-capite delle città «[...] prestando attenzione alla qualità [...] e alla gestione dei rifiuti» (11.6) e dell'ottimizzazione dell'efficienza e dello sviluppo tecnologico ottenuta attraverso la riduzione del consumo di risorse e l'utilizzo di materiali locali (11.c). Dal punto di vista dei modelli di produzione e consumo, l'Obiettivo 12 – Garantire Modelli Sostenibili di Produzione e di Consumo mira a promuovere la riduzione dell'impiego di risorse attraverso un approccio sistematico e cooperativo tra soggetti attivi nelle filiere, dal produttore fino al consumatore. Ciò è rappresentato, in particolar modo, dai Traguardi in merito alla gestione sostenibile e l'utilizzo efficiente delle risorse naturali (12.2), alla gestione dei rifiuti durante il loro intero ciclo di vita (12.4) e alla riduzione della produzione dei rifiuti attraverso la prevenzione, riduzione, riciclo e riuso (12.5).

Nello stesso anno l'Unione Europea adotta il Piano d'azione dal titolo L'Anello Mancante, ambizioso pacchetto di misure per incentivare la transizione verso un'economia circolare in grado di rafforzare la competitività e la crescita dell'economia sostenibile attraverso il riscontro nel riuso e nel riciclaggio di materiali e nella logica di rifiuto come risorsa (European Commission, 2015). La conclusione di tale processo viene definita nell'EU Construction and Demolition Waste Management Protocol (European Commission, 2016).

Con l'obiettivo di conseguire entro il 2050 la decarbonizzazione per tutti i settori economici, l'Unione Europea introduce una visione volta a coniugare l'efficienza energetica con l'efficienza materica (European Commission, 2018), visione che sarà rafforzata con il Green Deal

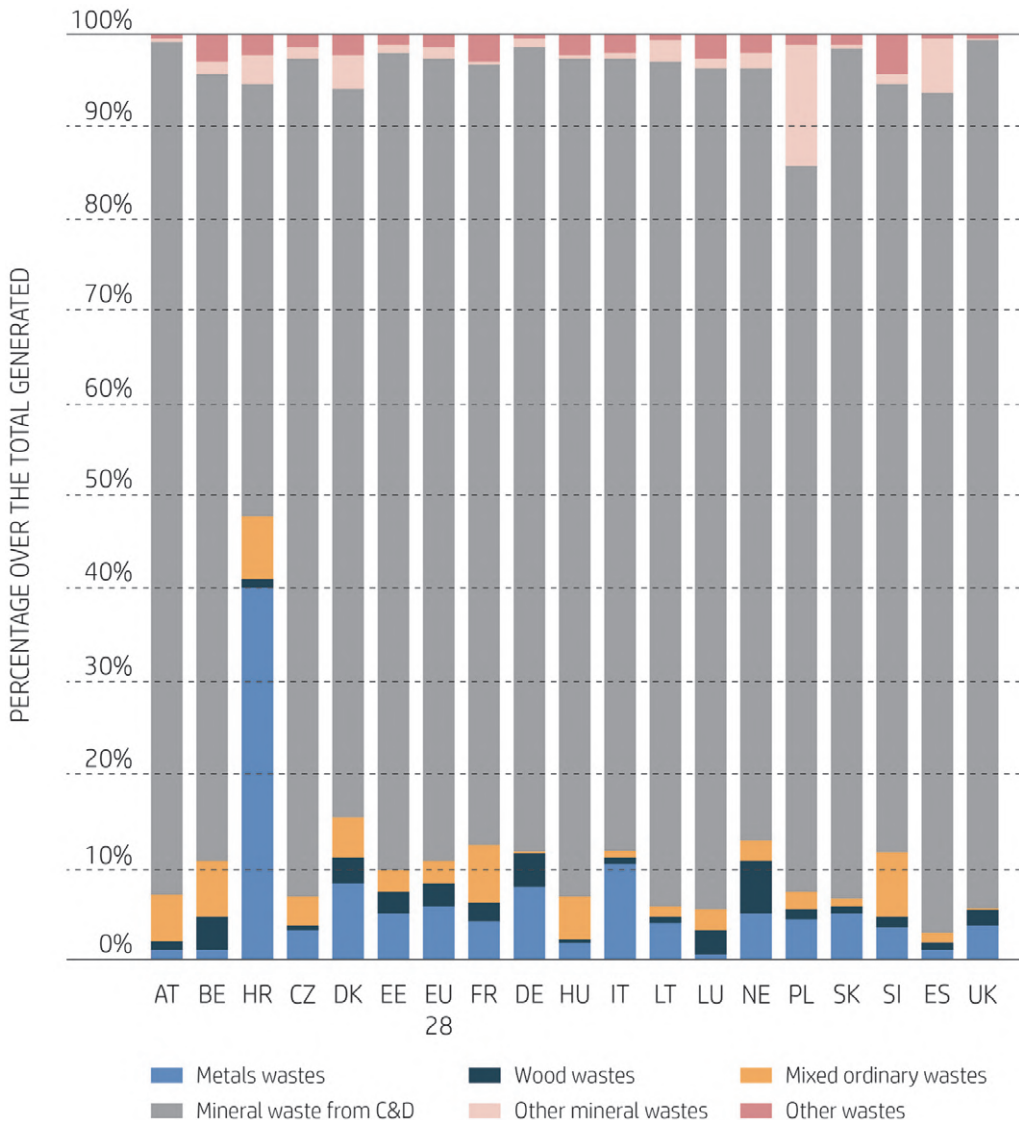


Fig. 1 | Amount of waste generated by each European country in 2014 (source: Eurostat, 2018).

Europeo il quale promuove la conservazione della biodiversità e del capitale naturale dissociando la crescita economica dall'impiego intensivo delle risorse naturali (European Commission, 2019). «[...] Tra il 1970 e il 2017 l'estrazione di materiali a livello mondiale è triplicata ed è in continua crescita, costituendo fonte di gravi rischi a livello globale. Circa la metà delle emissioni totali di gas a effetto serra e più del 90% della perdita di biodiversità e dello stress idrico sono determinati dall'estrazione di risorse e dai processi di trasformazione di materiali, combustibili e alimenti» (European Commission, 2019, p. 7). A questo punto l'obiettivo dell'Unione Europea non può che essere uno: non produrre rifiuti.

**Progettare senza rifiuti: Design for Longevity e Design for Deconstruction** | Per non produrre più rifiuti è imprescindibile il coinvolgimento in processi virtuosi di tutti gli attori coinvolti nella filiera edilizia. Infatti, il processo di produzione è frutto di una successione di fasi strettamente correlate tra loro e richiede la partecipazione di molti operatori che, in un modo o nell'altro, sono chiamati a occuparsi della gestione dei rifiuti: interessi e compiti risultano assai differenti, ma il ruolo di ogni soggetto coin-

volto è fondamentale per la loro contrazione. Il risultato finale è la conseguente qualità di ogni fase ed esso dipende, in larga misura, dalla collaborazione dei suoi protagonisti. In questo senso, «[...] fino all'80% dell'impatto ambientale dei prodotti dipende dalla progettazione» (Di Marco, 2020, p. 122).

Anche se la gestione dei rifiuti da costruzione è stata implementata a diversi livelli, esistono ancora poche ricerche sul ruolo che possono interpretare i progettisti, in particolare sul potenziale di minimizzazione dei rifiuti attraverso la progettazione. Allo stesso modo, sono pochissimi gli strumenti decisionali specifici a supporto di un'efficace valutazione dei rifiuti in fase progettuale (Olanrewaju and Ogunmakinde, 2020). La letteratura più recente suggerisce che l'adozione di strumenti di modellazione delle informazioni potrebbe avere il potenziale per aiutare i progettisti a ridurre gli sprechi nei loro progetti. Analogamente a quanto succede per l'automazione del processo di modellazione energetica dell'edificio attraverso il Building Energy Modeling (BEM), è possibile immaginare uno sviluppo che porti all'ottimizzazione delle risorse materiche dell'edificio attraverso il Building Resource Modeling (BRM) che può integrare algoritmi di intelligenza arti-

ficiale per compiere operazioni complesse e consentire la selezione e il controllo di un'alternativa più efficace in termini di durata e di costo ma, anche, in previsione del consumo di risorse materiche e impatto sull'ambiente.

È proprio la fase progettuale a poter indirizzare la scelta verso sistemi o soluzioni costruttive che facilitino la corretta gestione dei rifiuti in tutte le successive fasi del processo edilizio. Perciò è necessario promuovere una progettazione che dia priorità alla riduzione dell'impiego di risorse, che riusi i prodotti e gli elementi ancora prima di avviarli al riciclo, che adotti prodotti riutilizzabili, durevoli e riparabili. Già in fase di progettazione, l'uso delle risorse va calibrato tenendo in considerazione gli scenari di demolizione selettiva, nonché le possibilità offerte dal riciclato e dal reimpiego di prodotti.

Con lo scopo di semplificare tale fase, il progettista dispone di una gamma di strumenti informatizzati, dai più semplici ai più complessi e personalizzati: essi fanno parte dell'ampia categoria dei Decision Support Systems (DSS) poiché costituiscono supporto al processo decisionale progettuale e si articolano in moduli quali database, algoritmi matematici, modelli di simulazione, ecc. Decision Support Systems adeguati possono fungere sia da strumento sia da processo per risolvere un problema complesso come quello della selezione di strategie progettuali più favorevoli al futuro riuso di manufatti o riciclo dei materiali impiegati. Infatti, tale problema può essere eccessivamente complesso per l'essere umano e, al contempo, troppo qualitativo per l'elaborazione informatica tradizionale. Pertanto, dal punto di vista processuale, i Decision Support Systems guidano il progettista in maniera sistematica nell'analisi delle scelte progettuali alternative fino al risultato che meglio si approssima alla soluzione del problema; dal punto di vista strumentale, i Decision Support Systems integrano una serie di funzionalità di calcolo per la definizione delle alternative e per la loro analisi comparativa.

Che si tratti di un edificio di nuova costruzione o di un intervento sul patrimonio esistente, la conoscenza del ciclo di vita di materiali, prodotti e componenti è fondamentale per perseguire l'uso efficiente delle risorse in edilizia. Per non essere responsabili delle conseguenze di scelte non consapevoli, i progettisti devono pianificare, sin dall'avvio della fase progettuale, la gestione dei rifiuti generati durante e a fine vita, adottando le strategie più efficaci per dirottarli dal conferimento in discarica verso processi di gestione più efficienti. In fase progettuale, per ottenere un'architettura circolare sotto il profilo delle risorse, è necessario adottare delle strategie in grado di annullare la produzione di rifiuti, ovviamente senza ridurre i livelli prestazionali attesi. Tali obiettivi possono essere perseguiti attraverso due differenti classi di azioni: la prima predilige la durabilità e la seconda predilige la reversibilità.

La progettazione di soluzioni durature, il cosiddetto Design for Longevity, ha l'obiettivo di impiegare materiali durevoli e robusti per standard costruttivi che siano in grado di ridurre i costi di manutenzione e favorire la fattibilità economica di una costruzione (ARUP, 2016). In sintesi, progettando soluzioni tecniche facil-

mente riparabili e manutenibili, che non presentino un'obsolescenza prematura ma che anzi favoriscano l'upgrading, oltre a soluzioni spaziali agevolmente riconvertibili e rifunionalizzabili, la vita utile di un fabbricato aumenta e, conseguentemente, si previene la produzione di rifiuti per un ampio arco temporale. Ovviamente sono le tecnologie e i materiali impiegati a condizionare la durabilità degli edifici; ad esempio, l'impiego di componenti prefabbricati secondo elevati standard di controllo della qualità può minimizzare il rischio di difetti propri e costruttivi, riducendo i requisiti di manutenzione a lungo termine e influenzando la quantità di rifiuti prodotti (Wang, Li and Tam, 2015).

In questo senso, un componente edilizio non rappresenta solo l'energia spesa per realizzarlo e gli impatti ambientali che genera perché «[...] possiede una 'cultura incorporata', il suo reimpiego permette di preservarne il composito capitale. Questa prospettiva promuove una sostenibilità intesa non solo come risposta alla sfida ecologica, ma anche come responsabilità di 'far durare' nel tempo le conquiste tecniche e la cultura materiale di una determinata comunità, le stesse che hanno saputo creare, attraverso le trasformazioni dell'ambiente naturale e costruito, luoghi e ambienti di vita dell'uomo» (Condotta and Zatta, 2021, p. 120). La valorizzazione della conservazione della cultura materiale richiede una definizione rigorosa di concetti e modelli che pongono termini quali durata e longevità al centro del progetto.

La progettazione di soluzioni reversibili, il cosiddetto Design for Deconstruction, ha l'obiettivo di garantire la disassemblabilità degli elementi tecnici e il recupero di materiali e componenti in fase di manutenzione e dismissione dell'edificio (Altamura, 2015; Akinade et alii, 2017). Questa soluzione è auspicata anche dalla Commissione Europea che invita a orientare l'industria verso manufatti che facilitino la decostruzione degli edifici per massimizzare il riuso e il recupero di prodotti e materiali (European Commission, 2012). Essa predilige i sistemi di connessione a secco a quelli difficilmente reversibili, come quelli a umido, insieme ai prodotti facilmente riutilizzabili, ovvero soluzioni che rendono meno difficoltosa la destrutturazione e la separazione e componenti che si presentano alla stregua di servizi in grado di mantenere le proprie caratteristiche e prestazioni in configurazioni differenti. Favorire il riuso consente di evitare il prelievo di ulteriori risorse naturali e di conservare l'energia incorporata insieme all'integrità formale di quanto già prodotto. Tale approccio progettuale definisce sin da subito la 'materializzazione' e la 'smaterializzazione' del fabbricato, prefigurando le opportunità di riuso e riconfigurazione dei componenti di cui il fabbricato stesso è composto. Anche se alcuni autori hanno già formulato delle guide che affrontano i principi del Design for Deconstruction, esistono solo pochi edifici che li hanno applicati (Cruz Rios, Chong and Grau, 2015).

In entrambe le strategie si dovranno prediligere soluzioni che utilizzano la minore quantità di materie prime, che adottano un elevato contenuto di riciclato, prive di sostanze chimiche pericolose, con ridotta impronta di carbonio e ambientale, in grado di garantire prestazioni eleva-

te e sicurezza d'uso. Per competere con le materie prime primarie, le materie prime secondarie devono far fronte a una serie di difficoltà connesse non solo alla loro sicurezza ma anche alle prestazioni, alla disponibilità e al costo. Ecco perché è diventato obbligatorio il contenuto riciclato nei prodotti, linea politica che certamente contribuirà a prevenire squilibri tra offerta e domanda di materie prime secondarie e a garantire un'espansione regolare del settore del riciclaggio. Allo stesso tempo, lo scarso appeal che il riuso esercita sui progettisti, nonostante i vantaggi ecologici in termini di energy footprint<sup>5</sup>, material footprint<sup>6</sup> e carbon footprint<sup>7</sup>, dipende da una serie di ostacoli quali la limitata convenienza economica e l'ambiguità del quadro normativo.

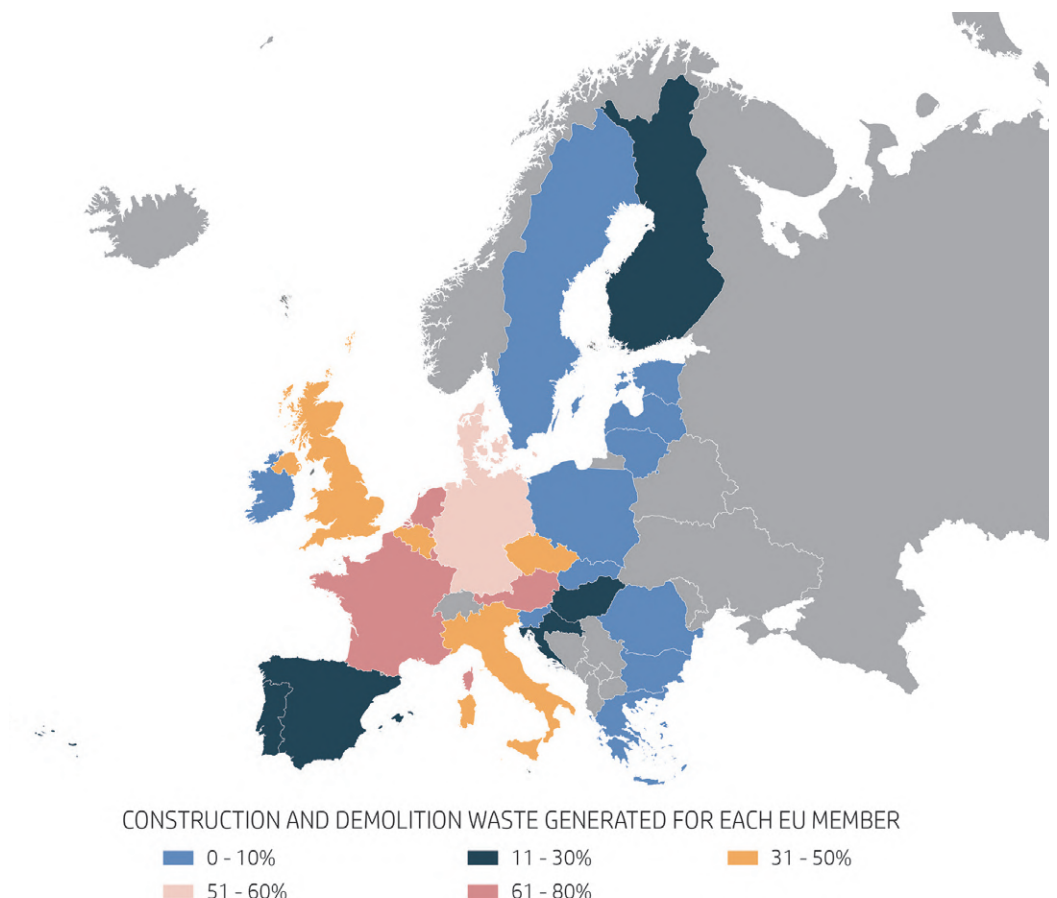
Affinché i materiali riciclati e i prodotti riusati possano avere una maggiore possibilità di penetrazione e diffusione nel mercato è necessario riconoscere loro un valore aggiunto. Tale valore dovrebbe essere ancora maggiore nella pratica del riuso: infatti, quest'ultima valorizza e preserva le caratteristiche di una risorsa riducendo i costi finanziari e ambientali necessari per la gestione dei rifiuti, oltre al consumo di energia necessario per la loro trasformazione.

**Obiettivo finale: non riciclare bensì non produrre scarti e rifiuti** | La gestione dei rifiuti costituisce un problema per la maggior parte dei Paesi nel mondo, in particolare per quelli che si avviano rapidamente verso lo sviluppo. Se la relazione diretta tra l'incremento del consumo di risorse e la produzione di rifiuti è immediata, la

problematica inerente alle conseguenze ambientali e alla salute dell'uomo a lungo termine, determinate dal continuo conferimento in discarica (Crawford, Mathur and Gerritsen, 2017), sono più subdole e, pertanto, più pericolose.

I prodotti riciclati devono essere meglio veicolati perché in termini prestazionali possono essere concorrenziali con i prodotti non riciclati. È necessario formare giovani progettisti alla consapevolezza che, per l'ambiente e la società, l'impiego di materie prime seconde è positivo. Ed è necessario anche fare chiarezza linguistica: riuso, riciclo e riciclabile non hanno lo stesso significato e, anzi, il concetto di riciclo viene, in alcuni casi, impiegato come un'attenuante per soluzioni non propriamente sostenibili. Come spiegare altrimenti i molti prodotti che vengono etichettati come riciclabili senza però specificare se esistono delle reali condizioni tecnologiche, sociali ed economiche per avviarli al riciclo? Senza dimenticare che lo stesso riciclaggio ha un impatto ambientale perché, in taluni casi, è necessaria una grande quantità di energia, oltre al fatto che esso è responsabile di emissioni di CO<sub>2</sub>. Allora è necessario avviare una «[...] diversificazione e integrazione delle strategie circolari, promuovendo il riuso, ove possibile, piuttosto che il riciclo, quest'ultimo da intendersi come upcycling, pratica che consente di conservare e/o accrescere il valore dei materiali nel tempo» (Baiani and Altamura, 2019, p. 123).

È però arrivato il momento di passare a un approccio strategico ancora più ambizioso, quello dello Zero Waste, che presume di trasforma-



**Fig. 2** | Amount of Construction and Demolition waste for each country (source: AMCS Group, 2016; elaborated by A. Magarò).

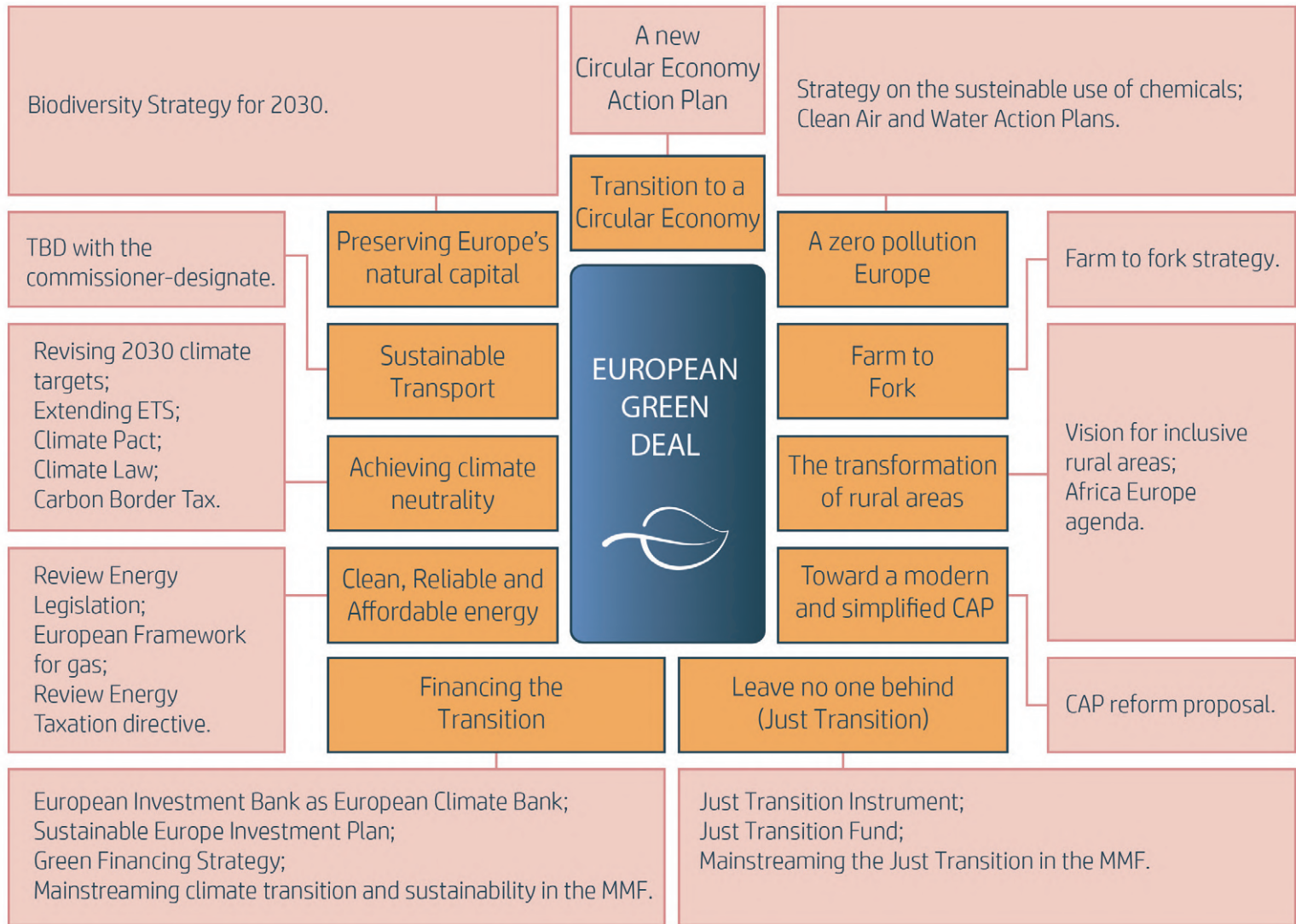


Fig. 3 | Composition of the European Green Deal strategy (source: European Commission, 2019; elaborated by A. Magarò).

re il rifiuto da un problema a una risorsa (Zaman, 2014). Infatti, la necessità di disaccoppiare crescita economica, impatto ambientale e consumo delle risorse, adottando una logica di impact decoupling<sup>8</sup> e di resources decoupling<sup>9</sup>, risulta essere alla base del nuovo modello economico circolare secondo il quale è possibile garantire uno stesso livello di produttività economica riducendo, però, lo sfruttamento delle risorse primarie (Pao and Chen, 2019). La Zero Waste Strategy punta a eliminare dal processo di produzione, in maniera sistematica e in via preventiva, il rifiuto. Qualora si tratti di rifiuto da costruzione e demolizione, tale approccio sembra l'unica strada percorribile, a seguito di tentativi legati al riciclaggio che, a parte alcuni esempi virtuosi, non sono riusciti a trasformare il rifiuto in risorsa di qualità. Viceversa, una gestione dei rifiuti improntata allo Zero Waste considera ogni cosa come risorsa e perciò non demanda alla fase di fine vita la risoluzione dei problemi ma li affronta preventivamente (Fudala-Ksiazek et alii, 2016; Pietzsch, Ribeiro and Medeiros, 2017).

La Zero Waste Strategy è differente anche dal concetto principe del rinnovato 'life cycle thinking approach' ovvero il cradle-to-cradle design (C2C). La valutazione dell'impatto ambientale dei materiali dalla culla alla tomba (cradle-

to-grave) ha lasciato il passo al cradle-to-cradle design che ha integrato la circolarità nella valutazione degli impatti dei processi produttivi. Tuttavia, l'approccio Zero Waste appare ancor più avanzato poiché prevede che non sia la fase fine vita a dover prevedere meccanismi di recupero e riciclo, ma l'annullamento del rifiuto sia esteso all'intero ciclo produttivo. Il passaggio da economia circolare al progetto e allo sviluppo di materiali circolari (Montacchini, Tedesco and Di Prima, 2021) comporta un cambio di paradigma: i settori produttivi devono essere concepiti in modo più permeabile, consentendo che i flussi in entrata di un processo produttivo corrispondano ai flussi in uscita (rifiuti e sottoprodotti) di un altro, anche se si tratta di settori apparentemente poco compatibili.

Allo scopo di diffondere tale strategia, è necessario fare appello al legislatore. Infatti, non vi è dubbio che i catalizzatori di politiche Zero Waste possono provenire da un'adeguata incentivazione finanziaria, che, tuttavia, necessita di essere accompagnata, nell'ambito di una strategia integrata, da normative efficienti e sburocratizzate, elevato tasso di innovazione nelle politiche ambientali, cambiamenti comportamentali e nei consumi, miglioramento dei sistemi infrastrutturali e di logistica (Pietzsch, Ribeiro and Medeiros, 2017). Tale elenco di cataliz-

zatori, non esaustivo, appare tuttavia generico, pertanto dovrebbe essere accompagnato da un altrettanto non esaustivo elenco di criticità che ancora limitano la diffusione di un approccio Zero Waste.

Se si escludono i costi ambientali e indiretti o a lungo termine, il costo del conferimento in discarica del rifiuto è ancora troppo basso (Yean Yng Ling and Song Anh Nguyen, 2013). Questo risparmio percepito porta gli operatori del settore a preferire tale soluzione, evitando di stimolare l'innovazione in tale ambito. Agire su tale leva, ad esempio dal punto di vista fiscale, potrebbe fornire impulso a una progettazione più consapevole. Altro ostacolo è identificabile nella carenza di adeguati standard normativi per il reimpiego del rifiuto nel settore delle costruzioni, all'interno della filiera (Huang et alii, 2018). Ulteriori impedimenti da rimuovere potrebbero essere i sistemi inefficienti di gestione del rifiuto, le tecnologie di riciclaggio obsolete o poco sviluppate, lo scarso mercato del rifiuto caratterizzato da scarsissima innovazione.

È auspicabile che i progettisti non si facciano trovare impreparati al cambiamento. L'alibi a una progettazione poco consapevole che non contempli i principi di Design for Longevity o di Design for Deconstruction decade nel momento in cui interviene l'innovazione nel pro-

cesso progettuale, prima dell'innovazione nel processo produttivo. Gli strumenti per operare delle scelte esistono già e si sviluppano rapidamente: essi danno luogo a ulteriori nuovi specialismi e costringono il progettista a coordinarne la presenza nell'ambito di processi complessi. Mediante algoritmi di Machine Learning, oggi è possibile stimare, in fase progettuale, la quantità di rifiuto da costruzione e demolizione. Uno studio sperimentale molto recente (Nagalli, 2021), addestrando una rete neurale semplice con una casistica relativamente poco estesa (330 casi studio), ha fornito una previsione molto accurata nel 43,3% dei casi, percentuale che può solo migliorare perfezionando la fase di training con una casistica più ampia. Integrare l'intelligenza artificiale nel processo progettuale è la sfida del secolo. Essa deve essere colta: un approccio completamente differente alla progettazione, che consenta ai concetti di sostenibilità in senso olistico di uscire dalla mera questione ambientale, oltre che a migliorare le condizioni di vita dell'uomo e diminuire il suo impatto sugli ecosistemi, può riportare al centro del processo progettuale la figura dell'architetto, quale portatore di valori di equità.

Extensive exploitation of natural resources combined with inefficient use of materials at the end-of-life stage results in ever-increasing amounts of waste. Therefore, for more than two decades, almost all waste management policies have been reoriented to mitigate environmental impacts, with the aim of achieving environmental, social and economic sustainability goals. However, in spite of such intentions, this results in downcycling<sup>1</sup> of materials with limited benefits. Indeed, despite the policies and actions put in place, the volume of waste continues to grow globally: to reduce the anthropogenic pressure on the planet, it is therefore essential to radically change the current pattern of resource use, particularly non-renewable ones.

From the point of view of resources, the construction sector accounts for about 50% of material extraction and, at the same time, 35% of total waste production in the European Union. The impacts of production and construction processes contribute to generating between 5 and 12% of national GHG emissions (European Commission, 2020). To this can be added the significant amount of energy consumed in the production phase (from extraction of the raw material to transport) and in the disposal phase, almost exclusively downcycling or landfilling (Huang et alii, 2018). As the world's population growth trend is steadily increasing, it is impossible to conceive of perpetuating a pattern of resource exploitation sweetened by sporadic jolts of circularity.

Downcycling strategies are not feasible if the intention is to negate environmental burdens: the transition to a more efficient circular model must set the ambitious goal of introducing or improving the virtuous circle of materials, based first on reusing and then recycling them. These targets are not unattainable: some European countries, such as Belgium, Denmark,

Germany and the Netherlands, have established mechanisms that allow for the reuse or recycling of 95% of the waste produced (López Ruiz, Roca Ramón and Gassó Domingo, 2020). Despite this target, many of the models proposed, even by these countries, are characterised by downcycling, even of waste from materials with a high embodied energy<sup>2</sup>. Downcycling does not achieve the balance of the three dimensions of sustainability and contributes to the improvement of impacts in the construction sector only to a small extent (Reficco et alii, 2018).

Reducing, if not cancelling, the destructive process linked to the extraction of natural resources in favour of a process of recovery, reuse and recycling of waste and refuse seems the only way forward. Therefore, strategies such as upcycling<sup>3</sup> and the transition to circularity are a good solution to remedy the impacts of linear production and consumption patterns, but to reduce the pressure on the environment, the only way forward is not through recycling but reuse and the non-production of waste and scrap.<sup>4</sup>

**International Strategies and Community Policies**

Although the start of the waste policy took place in the 1970s, it is with the beginning of the new Millennium that the attention of the legislator is focused on the promotion of strategies and tools to prevent waste production on the one hand and to prevent the consumption of natural resources by using recycled materials on the other hand. The new Millennium begins with the European Union first deciding to promote the development of a market for more ecological products through the Integrated Product Policy (European Commission, 2001) and then deciding to promote an environmentally virtuous building process through Life-Cycle Thinking (European Commission, 2003).

After establishing the need to reduce the negative environmental impacts arising from the use of natural resources (European Commission, 2005), the European Union redefines some concepts about waste and identifies provisions to encourage its recovery, treatment and reuse (European Commission, 2008). In this context, Extended Producer Responsibility is introduced, a strategy that adds the environmen-

tal costs associated with a product during its life cycle to its market price. Extended Producer Responsibility assigns to the producer the financial and organisational management of the phase of the life cycle in which the product becomes waste: think of the effect that, in many countries, this decision has had for categories of waste, such as electronic waste, in terms of the quantity and degree of recovery of discarded products.

The management of natural resources is also at the heart of the Europe 2020 Strategy, which identifies three priorities: smart growth, with the aim of developing an economy based on knowledge and innovation; inclusive growth, with the aim of promoting social and territorial cohesion; and sustainable growth, aimed at promoting the use of available resources. The efficient use of resources thus becomes one of the main short- and medium-term objectives for the European Union with three tools useful for the transition to a circular economy: reducing production factors, minimising waste production and changing consumption patterns (European Commission, 2010).

In 2011, with the Roadmap to a Resource-Efficient Europe, the European Union stresses that waste should be considered as a resource to be reintroduced into the supply chain, to support the use of sustainable materials and to encourage the recycling of demolition and construction waste (European Commission, 2011). In 2013, the 7th Environmental Action Program entitled Living Well within the Limits of our Planet (European Parliament and Council of European Union, 2013) came into force. The assumption of the Programme is that since the greatest environmental impact of a product can be attributed to the early design stages, aspects such as sustainability, reparability, reusability, recyclability, recycled content and lifespan must be taken into account from this very stage. The same Programme stresses the importance of progress towards a circular economy based on life-cycle analysis and the adoption of measures to encourage reuse and recycling and prevent waste production. In relation to the latter, in 2014 the European Union set up the European Waste Catalogue and assigned a unique six-digit code to each waste (European Commission, 2014): this action once again gives a



Fig. 4 | Schematic diagram of Design for Waste, Design for Circularity, Design for Longevity and Design for Deconstruction.

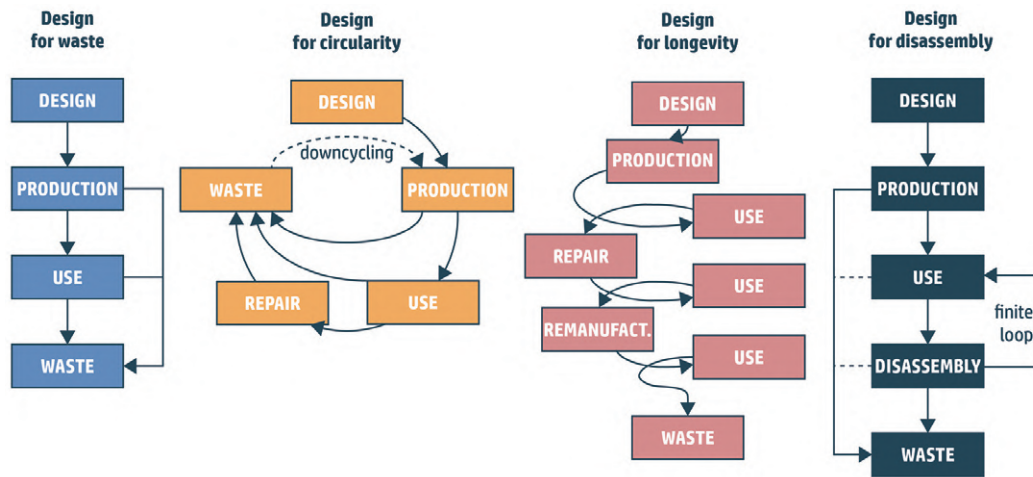


Fig. 5 | Waste hierarchy (credit: A. Magarò).

specific value to waste and scrap, and indirectly encourages recycling practices.

In 2015, the European Union is one of the main promoters of Transforming our world, the 2030 Agenda for Sustainable Development endorsed by the United Nations. The document contains 17 'integrated and indivisible' Sustainable Development Goals (SDGs), together with 169 related targets «[...] aimed at balancing the three dimensions of sustainable development: economic, social and environmental» (UN, 2015, p. 6), formulated as a guide to promote concrete actions with positive impacts on humanity and the planet. Given that the Goals are closely interlinked, so much so that Targets have positive effects on several Goals simultaneously, Goal 11 – Sustainable Cities and Communities, refers to the urban sphere, aiming to «[...] make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable».

Among the ten Targets of this objective are those of reducing the negative environmental impact of cities per capita «[...] paying attention to the quality [...] and management of waste» (11.6) and of reducing the negative environmental impact of cities per capita «[...] paying attention to the quality [...] and management of waste» and optimising efficiency and technological development by reducing resource consumption and using local materials (11.c). From the point of view of production and consumption patterns, Goal 12 – Ensure Sustainable Patterns of Production and Consumption aims to promote the reduction of resource use through a systematic and cooperative approach between actors in the supply chains, from producer to consumer. This is represented, in particular, by the Targets on sustainable management and efficient use of natural resources (12.2), management of waste throughout its life cycle (12.4) and reduction of waste production through prevention, reduction, recycling and reuse (12.5).

In the same year, the European Union adopted the Action Plan entitled The Missing Link, an ambitious package of measures to stimulate the transition to a circular economy able to strengthen the competitiveness and growth of the sustainable economy through the reuse and recycling of materials and the logic of waste as a resource (European Commission, 2015). The conduct of such a process is defined in the EU

Protocol on Construction and Demolition Waste Management (European Commission, 2016).

To achieve decarbonisation for all economic sectors by 2050, the European Union introduces a vision to combine energy efficiency with material efficiency (European Commission, 2018), a vision that will be reinforced with the European Green Deal that promotes the conservation of biodiversity and natural capital by decoupling economic growth from the intensive use of natural resources (European Commission, 2019). «[...] Between 1970 and 2017, global material extraction tripled and continues to grow, constituting a source of serious global risks. About half of total greenhouse gas emissions and more than 90% of biodiversity loss and water stress are driven by resource extraction and processing of materials, fuels and food» (European Commission, 2019, p. 7). At this point, the European Union's goal can only be one: to produce no waste.

**Designing without waste: Design for Longevity and Design for Deconstruction** | In order to stop producing waste, it is essential to involve all the players in the construction industry in virtuous processes. In fact, the production process is the result of a succession of closely interconnected phases and requires the participation of many operators who, in one way or another, are called upon to deal with waste management: interests and tasks are very different, but the role of each party involved is fundamental for their contraction. The final result is the consistent quality of each phase and it depends, to a large extent, on the cooperation of its protagonists. In this sense, «[...] up to 80% of the environmental impact of products depends on their design» (Di Marco, 2020, p. 122).

Although construction waste management has been implemented at different levels, there is still little research on the role that designers can play, particularly on the potential to minimise waste through design. Similarly, there are very few specific decision-making tools to support effective waste assessment at the design stage (Olanrewaju and Ogunmakinde, 2020). More recent literature suggests that the adoption of information modelling tools may have the potential to help designers reduce waste in their designs. Similarly to the automation of the building energy modelling process through Build-

ing Energy Modeling (BEM), it is possible to imagine a development leading to the optimisation of the material resources of the building through Building Resource Modeling (BRM) that can integrate artificial intelligence algorithms to perform complex operations and allow the selection and control of a more effective alternative in terms of duration and cost, but also in terms of the consumption of material resources and impact on the environment.

It is precisely the design phase that can direct the choice towards construction systems or solutions that facilitate proper waste management in all subsequent stages of the building process. Therefore, it is necessary to promote a design that prioritises the reduction of resource use, that re-uses products and elements before they are sent for recycling, and that adopts reusable, durable and repairable products. Already at the design stage, resource use should be calibrated taking into account selective demolition scenarios, as well as the possibilities offered by recycled and reused products.

In order to simplify this phase, a range of computer-based tools, from simple to complex and customised, is available to the designer. These tools fall into the broad category of Decision Support Systems (DSS), as they support the design decision-making process and consist of modules such as databases, mathematical algorithms, simulation models, etc. An adequate Decision Support System can act both as a tool and as a process to solve a complex problem such as the selection of design strategies more favourable to the future reuse of artefacts or recycling of materials used. In fact, such a problem can be too complex for humans and, at the same time, too qualitative for traditional computer processing. Therefore, from the procedural point of view, the Decision Support System guides the designer in a systematic way in the analysis of the alternative design choices until the result that best approximates the solution of the problem; from the instrumental point of view, the Decision Support System integrates a series of calculation functionalities for the definition of the alternatives and their comparative analysis.

Whether it is a new building or an intervention on existing heritage, knowledge of the life

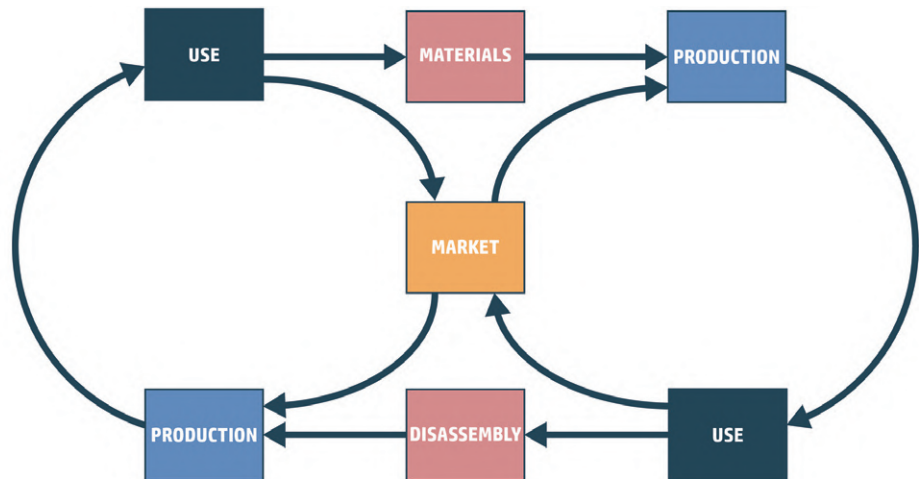


Fig. 6 | Zero Waste Strategy (credit: A. Magarò).

cycle of materials, products and components is fundamental to the efficient use of resources in construction. In order not to be responsible for the consequences of unaware choices, designers need to plan, right from the start of the design phase, the management of waste generated during and at the end of its life, adopting the most effective strategies to divert it from landfill to more efficient management processes. In the design phase, to achieve circular architecture in terms of resources, it is necessary to adopt strategies able to eliminate the production of waste, obviously without reducing the expected performance levels. These objectives can be pursued through two different classes of actions: the first favours durability and the second favours reversibility.

The design of durable solutions, the so-called Design for Longevity, aims to employ durable and robust materials for construction standards that are able to reduce maintenance costs and promote the economic viability of a construction (ARUP, 2016). In short, by designing technical solutions that are easily repairable and maintainable, that do not present premature obsolescence but rather favour upgrading, as well as spatial solutions that can be easily re-converted and re-functionalised, the useful life of a building is increased and, consequently, the production of waste is prevented for a long period. Obviously, it is the technologies and materials used that affect the durability of buildings: for example, the use of prefabricated components according to high-quality control standards can minimise the risk of defects in design and construction, reducing long-term maintenance requirements and influencing the amount of waste produced (Wang, Li and Tam, 2015).

In this sense, a building component represents not only the energy spent to make it and the environmental impacts it generates because it «[...] has a 'built-in culture', its reuse allows its composite capital to be preserved. This perspective promotes sustainability not only as a response to the ecological challenge but also as a responsibility to 'sustain' over time the technical achievements and material culture of a given community, the same that have been able to create, through the transformations of the natural and built environment, places and environments for human life» (Con-

dotta and Zatta, 2021, p. 120). Enhancing the conservation of material culture requires a rigorous definition of concepts and models that place terms such as durability and longevity at the centre of the project.

The design of reversible solutions, the so-called Design for Deconstruction, aims to ensure the disassembly of technical elements and the recovery of materials and components during the maintenance and decommissioning of the building (Altamura, 2015; Akinade et alii, 2017). This solution is also advocated by the European Commission, which calls for the industry to be oriented towards artefacts that facilitate the deconstruction of buildings to maximise the reuse and recovery of products and materials (European Commission, 2012). It favours dry connection systems over those that are difficult to reverse, such as wet connection systems, together with products that are easily reusable, i.e. solutions that make deconstruction and separation less difficult and components that are like services that can maintain their characteristics and performance in different configurations. Favouring reuse avoids taking additional natural resources and conserves the embodied energy and formal integrity of what has already been produced. This design approach immediately defines the 'materialisation' and 'dematerialisation' of the building, foreshadowing the opportunities for reuse and reconfiguration of the components of which the building is composed. Although some authors have already formulated guides that address the principles of Design for Deconstruction, there are only a few buildings that have applied them (Cruz Rios, Chong and Grau, 2015).

In both strategies, preference will have to be given to solutions that use the least amount of raw materials, have a high recycled content, are free of hazardous chemicals, have low carbon and environmental footprint, and are capable of high performance and safe to use. To compete with primary raw materials, secondary raw materials face several challenges related not only to their safety but also to performance, availability and cost. This is why recycled content in products has become mandatory, a policy that will certainly help prevent imbalances between supply and demand for secondary raw materials and ensure a smooth expansion of the recycling sector. At the same

time, the limited appeal of reuse to designers, despite its ecological advantages in terms of energy footprint<sup>5</sup>, material footprint<sup>6</sup> and carbon footprint<sup>7</sup>, is due to many obstacles such as limited economic viability and ambiguous regulatory framework.

In order for recycled materials and reused products to have a greater chance of market penetration and dissemination, they need to be recognised as having added value. This value should be even higher in the practice of reuse, which enhances and preserves the characteristics of a resource by reducing the financial and environmental costs of waste management and the energy consumption required for its transformation.

#### The ultimate goal: not to recycle but to avoid producing waste and scrap |

Waste management is a problem for most countries in the world, particularly those that are rapidly developing. While the direct relationship between increased resource consumption and waste generation is straightforward, the long-term environmental and human health consequences of continued landfilling (Crawford, Mathur and Gerritsen, 2017) are more subtle and therefore more dangerous.

Recycled products need to be better promoted because they can compete with non-recycled products in terms of performance. Young designers need to be trained to understand that the use of secondary raw materials is good for the environment and society. It is also necessary to clarify the language: reuse, recycle and recyclable do not have the same meaning and, indeed, the concept of recycling is, in some cases, used as a mitigating factor for solutions that are not exactly sustainable. How else can we explain the many products that are labelled as recyclable without specifying whether the technological, social and economic conditions for recycling exist? And let's not forget that recycling itself has an environmental impact because, in some cases, it requires a lot of energy, in addition to the fact that it is responsible for CO<sub>2</sub> emissions. Therefore, it is necessary to initiate a diversification and integration of circular strategies, promoting reuse where possible rather than recycling, the latter to be understood as upcycling, a practice that allows the value of



materials to be preserved and/or increased over time (Baiani and Altamura, 2019, p. 123).

However, the time has come to move to an even more ambitious strategic approach, that of Zero Waste, which presumes transforming waste from a problem to a resource (Zaman, 2014). Indeed, the need to decouple economic growth, environmental impact and resource consumption by adopting a logic of impact decoupling<sup>8</sup> and resources decoupling<sup>9</sup> is at the heart of the new circular economic model, according to which it is possible to guarantee the same level of economic productivity while reducing the exploitation of primary resources (Pao and Chen, 2019). The Zero Waste Strategy aims to remove waste from the production process systematically and preventively. In the case of construction and demolition waste, this approach seems to be the only way forward, following attempts at recycling which, apart from a few good examples, have failed to transform waste into a quality resource. In contrast, Zero Waste treats everything as a resource and therefore does not leave the resolution of problems to the end-of-life phase but addresses them in advance (Fudala-Ksiazek et alii, 2016; Pietzsch, Ribeiro and Medeiros, 2017).

The Zero Waste Strategy also differs from the main concept of the renewed life cycle thinking approach: cradle-to-cradle design. The cradle-to-grave assessment of the environmental impact of materials has given way to cradle-to-cradle design, which has integrated circularity into the assessment of the impacts of production processes. However, the Zero Waste approach appears to be even more advanced as it envisages that it is not the end-of-life phase that must provide for recovery and recycling mechanisms, but that the elimination of waste is extended to the entire production cycle. The transition from circular economy to the design and development of circular materials (Montacchini, Tedesco and Di Prima, 2021), implies a paradigm shift: production sectors

must be conceived in a more permeable way, allowing the input flows of one production process to correspond to the output flows (waste and by-products) of another, even if they are apparently not compatible.

In order to spread this strategy, it is necessary to appeal to the legislator. Indeed, there is no doubt that the catalysts for Zero Waste policies can come from adequate financial incentives, which, however, need to be accompanied, as part of an integrated strategy, by efficient and unbureaucratised regulations, a high rate of innovation in environmental policies, changes in behaviour and consumption, and improved infrastructure and logistics systems (Pietzsch, Ribeiro and Medeiros, 2017). However, this non-exhaustive list of catalysts appears generic, so it should be accompanied by an equally non-exhaustive list of criticalities that still limit the diffusion of a Zero Waste approach.

Excluding environmental and indirect or long-term costs, the cost of landfilling waste is still too low (Yean Yng Ling and Song Anh Nguyen, 2013). This perceived saving leads the industry to prefer this solution, avoiding stimulating innovation in this area. Acting on this lever, e.g. from a fiscal point of view, could provide an impetus for more conscious planning. Another obstacle can be identified in the lack of adequate regulatory standards for the reuse of waste in the construction sector, within the supply chain (Huang et alii, 2018). Further impediments to be removed could be inefficient waste management systems, outdated or underdeveloped recycling technologies, poor waste market characterised by very little innovation.

It is desirable that designers are not unprepared for change. The alibi for an ill-conscious design that does not take into account the principles of Design for Longevity or Design for Deconstruction disappears when innovation in the design process takes place, before innovation in the production process. The tools for making choices already exist and are developing rapid-

ly: they give rise to further new specialisations and force the planner to coordinate their presence within complex processes. Using Machine Learning algorithms, it is now possible to estimate the amount of construction and demolition waste at the design stage. A very recent experimental study (Nagalli, 2021), training a simple neural network with a relatively small casuistry (330 case studies), provided a very accurate prediction in 43.3% of cases, a percentage that can only be improved by perfecting the training phase with a larger casuistry. Integrating artificial intelligence into the design process is the challenge of the century. It must be grasped: a completely different approach to design, allowing the concepts of sustainability in a holistic sense to go beyond the mere environmental issue, as well as improving human living conditions and reducing their impact on ecosystems, can bring the figure of the architect back to the centre of the design process, as the bearer of values of equity.

## Notes

1) Downcycling refers to recycling processes that result in a decrease in material quality over time.

2) Embodied energy refers to the energy used to manufacture a product (extraction of raw materials, processing, etc.), install it (transport, etc.), use it (operation, maintenance, etc.) and dispose of it (demolition, decommissioning, reuse, recycling, etc.) or the energy required for it throughout its life cycle.

3) Upcycling refers to practices that preserve and/or increase the value of materials over time.

4) It is worth remembering that this is a return, certainly with new tools and new objectives, to the pre-industrial practice of combating resource scarcity by replenishing goods and discarding waste. This was also true for the construction sector and not only in informal contexts, where the material dynamic expression served and still serves to solve economic and social difficulties, but also in advanced economic contexts.

5) The energy footprint, a concept developed by the US Department of Energy, is the life-cycle assessment of energy consumption of products, organisations or services in certain spatial and temporal contexts: energy

sources are obviously distinguished according to their nature into non-renewable (fossil, nuclear) and renewable sources (solar, wind, geothermal, water).

6) The material footprint, a concept invented by Mathis Wackemagel and William Rees in 1996 with the book *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*, is an indicator used to assess human consumption of natural resources in relation to the planet's capacity to regenerate them and absorb the waste produced.

7) A carbon footprint is a measure that expresses, in CO<sub>2</sub> equivalent, the total greenhouse gas emissions associated directly or indirectly with a product, organisation or service.

8) Impact decoupling refers to economic growth without corresponding increases in pressure on the environment.

9) Resource decoupling is defined as a reduction in the rate of resource use per unit of economic activity.

## References

Akinade, O. O., Lukumon, O. O., Ajayi, S. O., Bilal, M., Alaka, H. A., Owolabi, H. A., Bello, S. A., Jaiyeobac, B. E. and Kadiric, K. O. (2017), "Design for Deconstruc-

tion (DfD) – Critical success factors for diverting end-of-life waste from landfills", in *Waste Management*, n. 60, pp. 3-13. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.017 [Accessed 16 May 2021].

Altamura, P. (2015), *Costruire a zero rifiuti – Strategie e strumenti per la prevenzione e l'upcycling dei materiali di scarto in edilizia*, FrancoAngeli, Milano.

ARUP (2016), *The Circular Economy in the Built Environment*. [Online] Available at: arup.com/perspectives/publications/research/section/circular-economy-in-the-built-environment [Accessed 16 May 2021].

Baiani, S. and Altamura, P. (2019), "La mappatura delle fonti di materiali secondari per le costruzioni: prime esperienze a Roma | Mapping the sources of secondary building materials: first experiences in Rome", in Baratta, A. (ed.), *Il riciclaggio di scarti e rifiuti in edilizia – Dal downcycling all'upcycling verso gli obiettivi di economia circolare – III Convegno Internazionale 'Refuse, Reduce, Repair, Reuse, Recycle'*, Tamia, Roma, pp. 120-131. [Online] Available at: conferencerecycling.com/downloads/proceedings/2019/10.pdf [Accessed 16 May 2021].

Condotta, M. and Zatta, E. (2020), "Riuso del Tempo in architettura – La pratica del reimpiego di prodotti e com-

- ponenti edilizi | Reusing Time in architecture – The practice of reusing building products and components”, in *Techné | Journal of Technology for Architecture and Environment*, n. 20, pp. 113-121. [Online] Available at: doi.org/10.13128/techné-8209 [Accessed 16 May 2021].
- Crawford, R. H., Mathur, D. and Gerritsen, R. (2017), “Barriers to improving the environmental performance of construction waste management in remote communities”, in *Procedia Engineering*, n. 196, pp. 830-837. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.014 [Accessed 16 May 2021].
- Cruz Rios, F., Chong, W. K. and Grau, D. (2015), “Design for Disassembly and Deconstruction – Challenges and Opportunities”, in *Procedia Engineering*, n. 118, pp. 1296-1304. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.4854 [Accessed 16 May 2021].
- Di Marco, L. (2020), *Dal Green Deal al Next Generation EU – Obiettivi di sviluppo sostenibile e politiche europee*, Quaderni dell’ASviS, n. 1, Milano.
- European Commission (2020), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A new Circular Economy Action Plan for a Cleaner and more Competitive Europe*, document 52020DC0098, 98 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN [Accessed 16 May 2021].
- European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0640&qid=1619930051365 [Accessed 16 May 2021].
- European Commission (2018), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee, the Committee of the Regions and the European Investment Bank – A Clean Planet for all – A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*, document 52018DC0773, 773 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0773 [Accessed 16 May 2021].
- European Commission (2016), *EU Construction & Demolition Waste Management Protocol*. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0773 [Accessed 16 May 2021].
- European Commission (2015), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy*, document 52015DC0614, 614 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52015DC0614 [Accessed 16 May 2021].
- European Commission (2014), *2014/955/UE – Commission Decision of 18 December 2014 amending Decision 2000/532/EC on the list of waste pursuant to Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council – Text with EEA relevance*. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52015DC0614 [Accessed 16 May 2021].
- European Commission (2012), *Communication from the Commission to the European Parliament and the Council – Strategy for the sustainable competitiveness of the construction sector and its enterprises*, document 52012DC0433, 433 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A52012DC0433 [Accessed 16 May 2021].
- European Commission (2011), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Roadmap to a Resource Efficient Europe*, document 52011DC0571, 571 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52011DC0571 [Accessed 16 May 2021].
- European Commission (2010), *Europe 2020 – A strategy for smart, sustainable and inclusive growth*, document 52010DC2020, 2020 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A52010DC2020 [Accessed 16 May 2021].
- European Commission (2008), *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA relevance)*, document 32008L0098. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj [Accessed 16 May 2021].
- European Commission (2005), *Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Thematic Strategy on the sustainable use of natural resources*, document 52005DC0670, 670 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52005DC0670 [Accessed 16 May 2021].
- European Commission (2003), *Communication from the Commission to the Council and the European Parliament – Integrated Product Policy – Building on Environmental Life-Cycle Thinking*, document 52003DC0302, 302 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52003DC0302 [Accessed 16 May 2021].
- European Commission (2001), *Green paper on integrated product policy*, document 52001DC0068, 68 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52001DC0068 [Accessed 16 May 2021].
- European Parliament and Council of European Union (2013), *Decision No 1386/2013/EU of the European Parliament and of the Council of 20 November 2013 on a General Union Environment Action Programme to 2020 ‘Living well, within the limits of our planet’ – Text with EEA relevance*, document 32013D1386, L 354/171. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/eli/dec/2013/1386/oj [Accessed 16 May 2021].
- Huang, B., Wang, X., Kua, H., Geng, Y., Bleischwitz, R. and Ren, J. (2018), “Construction and demolition waste management in China through the 3R principle”, in *Resources, Conservation and Recycling*, n. 129, pp. 36-44. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.029 [Accessed 16 May 2021].
- Fudala-Ksiazek, S., Pierpaoli, M., Kulbat, E. and Luczkiewicz, A. (2016), “A modern solid waste management strategy – The generation of new by-products”, in *Waste Management*, n. 49, pp. 516-529. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.022 [Accessed 16 May 2021].
- Montacchini, E., Tedesco, S. and Di Prima, N. (2021), *Progettare e sviluppare l’economia circolare – Un’esperienza didattica sulla trasformazione di rifiuti in nuove risorse per l’architettura e il design*, Anteferma Edizioni, Treviso.
- Nagalli, A. (2021), “Estimation of construction waste generation using machine learning”, in *Waste and Resource Management*, vol. 174, issue 1, pp. 22-31. [Online] Available at: doi.org/10.1680/jwarm.20.00019 [Accessed 16 May 2021].
- Olanrewaju, S. D. and Ogunmakinde, O. E. (2020), “Waste minimisation strategies at the design phase – Architects’ response”, in *Waste Management*, vol. 118, pp. 323-330. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.045 [Accessed 16 May 2021].
- Pao, H.-T. and Chen, C.-C. (2019), “Decoupling strategies – CO<sub>2</sub> emissions, energy resources, and economic growth in the Group of Twenty”, in *Journal of Cleaner Production*, vol. 206, pp. 907-919. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.190 [Accessed 16 May 2021].
- Pietzsch, N., Ribeiro, J. L. D. and Medeiros, J. F. (2017), “Benefits, challenges and critical factors of success for ZW – A systematic literature review”, in *Waste Management*, vol. 67, pp. 324-353. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.004 [Accessed 16 May 2021].
- Reficco, E., Gutiérrez, R., Jaén, M. H. and Auletta, N. (2018), “Collaboration mechanisms for sustainable innovation”, in *Journal of Cleaner Production*, vol. 203, pp. 1170-1186. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.043 [Accessed 16 May 2021].
- 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”, in *Journal of Cleaner Production*, vol. 248, pp. 119-138. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119238 [Accessed 16 May 2021].
- UNI (2020), *Selective deconstruction – Methodology for selective deconstruction and waste recovery from a circular economy perspective – UNI/PdR 75:2020*.
- UN – General Assembly (2015), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: un.org/ga/search/view\_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E [Accessed 14 May 2021].
- Wang, X., Li, Z. and Tam, V. W. Y. (2015), “Identifying best design strategies for construction waste minimization”, in *Journal of Cleaner Production*, vol. 92, pp. 237-247. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.076 [Accessed 16 May 2021].
- Yean Yng Ling, F. and Song Anh Nguyen, D. (2013), “Strategies for construction waste management in Ho Chi Minh City, Vietnam”, in *Built Environment Project and Asset Management*, vol. 3, issue 1, pp. 141-156. [Online] Available at: doi.org/10.1108/BEPAM-08-2012-0045 [Accessed 16 May 2021].
- Zaman, A. U. (2014), “Identification of key assessment indicators of the ZW management systems”, in *Ecological Indicators*, vol. 36, pp. 682-693. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.09.024 [Accessed 16 May 2021].