

Francesco Paolo Rosario Marino¹, Paola Marrone²,

¹ Scuola di Ingegneria, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia

² Dipartimento di Architettura, Università degli Studi Roma Tre, Roma, Italia

francesco.marino@uniibas.it

paola.marrone@uniroma3.it

Abstract. Guardare alla sostenibilità ambientale di un edificio, e al contempo alla sua “durata di vita” (complessiva o di una parte o di un componente) e all’“affidabilità alla durata”, è prendere coscienza di come sia avvenuta l’evoluzione stessa del concetto di *service life* verso un “nuovo paradigma di durabilità”. Non più il solo riferimento qualitativo alla conservazione della prestazione attesa nel tempo di un materiale o prodotto, ma una valutazione della durata che tenga conto dei rapporti dell’edificio con il contesto, dei carichi climatici, perseguendo i principi dell’approccio circolare alla progettazione. Una nuova concezione di durabilità che, attraverso la definizione di requisiti “trasversali”, permette di mettere a sistema tra loro tre fattori: prestazioni, uso di risorse, tempo.

Parole chiave: Durabilità; Vita di servizio; Sostenibilità; Life Cycle Assessment; Economia circolare.

Introduzione

Nell’attuale dibattito culturale, tanto in ambito sociale che scientifico, è sempre più evidente il legame tra sostenibilità ambientale e “durata”, riferito a scelte strategiche, capacità previsionali e programmatiche di equità di tipo intergenerazionale, quale risposta alla necessità di ridurre impatti ed emissioni per poter sostenere nel tempo l’uso del capitale naturale.

Intendere l’intero processo ideativo e realizzativo di un prodotto edilizio (dal materiale, al componente, all’edificio) stabilendone e garantendone la “durata di vita” al livello di prestazione attesa, con la finalità di evitare o mitigare gli effetti sull’ambiente, è una strategia fondamentale per ridurre consumi, inquinanti e rifiuti. Perciò appare perlomeno inattuale che i principali protocolli di valutazione ambientale, soprattutto in ambito edilizio, trascurino la durata e gli effetti su di essa delle scelte tecnico-costruttive, mirando piuttosto a minimizzare gli impatti di produzione, massimizzare l’efficienza in uso e a promuovere il riciclo e riutiliz-

From lifespan to useful life, towards a new paradigm of durability for sustainable construction

Abstract. Evaluating the environmental sustainability of a building, its “lifespan” (total or part or component) and “durability reliability” raises awareness of how the concept of service life itself has evolved towards a “new paradigm of durability”. It is no longer just a qualitative reference to the expected performance over time of a material or product’s conservation, but an assessment of the duration that examines the building’s interactions with the environmental context and climatic loads, pursuing the principles of the circular approach to design. It is a new concept of durability that, through the definition of “transversal” requirements, makes it possible to put together three factors: performance, use of resources, and time.

Keywords: Durability; Service life; Sustainability; Life Cycle Assessment; Circular economy.

zo a fine vita e, così facendo, a favorire implicitamente ancora il “consumo” (seppure di materie prime locali e a km zero, con premialità crescente se a bassa energia incorporata, riciclabili e/o riutilizzabili) e persino, perlopiù, cicli di vita brevi.

Ma la sostenibilità ambientale in edilizia è imprescindibile dalla “durabilità” e lo stesso sviluppo sostenibile è intrinsecamente legato alla durata di vita utile: dallo “sviluppo sostenibile e durevole” della Carta di Aalborg del 1994 fino ai principi dell’economia circolare, anche l’uso responsabile delle risorse naturali e la riduzione degli impatti possono essere garantiti solo attraverso l’estensione della “durata prevista” del manufatto edilizio o delle sue parti, con l’obiettivo di raggiungere una condizione di complessiva efficienza dell’edificio per il suo intero ciclo di vita.

A partire da queste osservazioni, il saggio ripercorre l’evoluzione del concetto di durata per delineare un possibile “nuovo paradigma di durabilità” che inglobi requisiti trasversali ai principi di sostenibilità e circolarità.

Da durata e durabilità tecnica a pianificazione della vita utile (*service life*)

Il concetto di durata è ampiamente discusso da decenni in ambito nazionale e internazionale dall’ISO (International Standardization Organization), dal CEN (Comité Européen de Normalisation) e dal CIB (International Council for Research and Innovation in Building and Construction). In particolare, il comitato tecnico CIB W80/RILEM 175SLM (Service Life Methodologies) si è concentrato sullo sviluppo di conoscenze a supporto di standard di prodotto per la vita utile, e metodi di pianificazione e progettazione della vita di servizio degli edifici, for-

Introduction

The link between environmental sustainability and “duration” is increasingly evident in the current cultural debate, both in the social and scientific fields. It refers to strategic choices, forecasting and planning capabilities of an intergenerational equity type, in response to the need to reduce impact and emissions in order to support the use of “natural capital” over time.

Understanding the entire process of conceiving and creating a building product (from the material, to the component, to the building), of establishing and guaranteeing its “lifespan” at the expected performance level, with the aim of either avoiding or mitigating the effects on the environment, is an essential strategy to reduce consumption, pollutants and waste. Hence, it seems outdated, to say the least, that the main environmen-

tal assessment protocols, especially in the construction sector, neglect both duration and effects of technical-construction choices, aiming to, instead, minimise production impact, maximise efficient use and promote end of life recycling and reuse. Subsequently, “consumption” (albeit of local and 0km raw materials, with increasing rewards in case of low incorporated energy, recyclable and/or reusable) and even, for the most part, short life cycles are implicitly still favoured. However, environmental sustainability in the construction scene is essential to “durability”, and sustainable development itself is intrinsically linked to the useful lifespan. From the «sustainable and durable development» of the Aalborg Charter in 1994, to the principles of circular economy, even responsible use of natural resources and the reduction of impact can only be guaranteed by

nendo informazioni fondamentali sulla previsione del ciclo di vita di materiali da costruzione e componenti (Hovde and Moser, 2004; Jernberg *et al.*, 2004). E ha evidenziato, in collaborazione con il TC59 SC14¹ dell'ISO, l'improrogabile necessità di correlare durata e sostenibilità, con quest'ultima che «impone requisiti intrinseci per livelli specifici di durabilità, ottenibili attraverso la standardizzazione» dei processi e dei prodotti (Lacasse and Sjöström, 2004).

In ambito scientifico, il tema della durabilità, introdotto a partire dagli studi di Blachère (1969), è dibattuto dal 1978 nelle conferenze DBMC (Durability of Buildings Materials&Components) che hanno posto l'attenzione sulle condizioni per garantire nel tempo la "durata di vita utile" dei materiali e componenti, la pianificazione della durata nel tempo e l'uso sostenibile delle risorse utilizzate.

Negli anni, un corpus disposto normativo ha definito terminologie, requisiti, prestazioni, facendo evolvere il concetto di "durata" o "vita utile" da semplice perseguimento della qualità in edilizia (ISO 8402:1986-1994 poi UNI EN ISO 9000:2000, UNI 10838:1999), ad affidabilità alla durata (UNI 10838:1999), a metodologia generale per la valutazione della durabilità (ISO 15686,1-10:2002-2017, UNI 11156-1,2,3:2006), distinguendo tra *Reference* e *Estimated Service Life* (RSL e ESL). Numerose direttive e regolamenti europei² hanno messo in relazione la "vita utile" o *service life* (SL), caratteristiche ambientali dei materiali³ e sostenibilità del processo costruttivo basato sui principi dell'economia circolare⁴.

Nel quadro generale della valutazione e del controllo della "qualità tecnologica" (ISO 8402, UNI 10838) dei prodotti per l'edilizia, il "requisito di durabilità" diventa allora «la capacità di un

prodotto di mantenere i livelli delle prestazioni e delle caratteristiche funzionali richieste nel tempo, sotto l'influenza di azioni prevedibili» (UNI 11156), e tali da essere garantiti a valori accettabili per le esigenze di servizio, senza interventi manutentivi, in determinate condizioni ambientali e d'uso. È il mantenimento nel tempo delle prestazioni richieste al momento della entrata in esercizio e la valutazione delle modalità secondo cui esse decadono nel tempo: "tempo" che risulta così essere, in uno, "fattore" e "variabile" di prestazione.

La "qualità tecnologica (utile)" (Maggi, 1994) è tuttavia una questione complessa da trattare e per certi versi ambigua: da una parte, gli edifici sono progettati per garantire una "durata tecnica"; dall'altra, esiste una "longevità" operativa o reale, che dipende dal contesto ambientale in cui è inserito l'oggetto edilizio, dalle modalità e intensità di utilizzo, e dagli interventi (preventivi o attuati) volti alla "conservazione della durata". Ovvero, una "longevità tecnica e funzionale" degli edifici non più legata solo a caratteristiche dei materiali, prestazioni dei componenti e loro condizioni di depauperamento funzionale o di naturale obsolescenza fisiologica, ma sempre più spesso alle condizioni d'uso e di gestione, alle tecniche e procedure di costruzione, a scelte e azioni manutentive, agli interventi necessari per adeguare gli edifici a nuovi requisiti funzionali e regolamenti legislativi, o per soddisfare specifiche condizioni sociali (emergenza abitativa e/o sanitaria), usanze territoriali locali⁵ e/o promosse dal mercato⁶. Ciò porta alla necessità di affrontare la valutazione della durabilità secondo un approccio non prettamente tecnico ma olistico: l'edificio deve essere visto come un sistema logico di connessioni tra componenti ed elementi tecnici, e una moltitudine di altri fattori che ne determinano la longevità.

extending the "expected life" of either the building or its parts in order to achieve a condition of overall building efficiency for its entire life cycle.

Starting from these observations, the essay retraces the evolution of the concept of service life to define a possible "new paradigm of durability", which includes requirements that are transversal to the principles of sustainability and circularity.

From duration and technical durability to service life planning

The concept of duration has been widely discussed both nationally and internationally for decades by the ISO (International Standardization Organization), the CEN (Comité Européen de Normalization) and the CIB (International Council for Research and Innovation in Building and Construction).

In particular, the technical committee CIB W80/RILEM 175 SLM (Service Life Methodologies) focused on the development of knowledge supporting product standards for useful life, and on methods to plan and design the service life of buildings, providing key information of the life cycle prediction of building materials and components (Hovde and Moser, 2004; Jernberg *et al.*, 2004). In collaboration with ISO TC59 SC14¹, it also highlighted the undeniable need to correlate duration and sustainability, with the latter that «imposes intrinsic requirements for specific levels of durability, obtainable through the standardization» of processes and products (Lacasse and Sjöström, 2004).

In the scientific field, the theme of durability, introduced starting from Blachère's studies (1969), has been debated since 1978 at DBMC (Durability

of Buildings Materials&Components) Conferences, which focused on the conditions required to guarantee the "useful life" of materials and components, the planning of duration over time (lifespan) and the sustainable use of resources.

Over the years, a substantial regulatory provision has defined terminology, requirements and performance, contributing to the evolution of the concept of "duration" or "useful life" from a mere pursuit of construction quality (ISO 8402:1986-1994 then UNI EN ISO 9000:2000, UNI 10838:1999), to duration reliability (UNI 10838:1999), and to the definition of a general methodology studied to assess durability (ISO 15686,1-10:2002-2017, UNI 11156-1,2,3:2006), distinguishing between Reference and Estimated Service Life (RSL and ESL). Several European directives and regulations² have linked

"useful life" or service life (SL), environmental characteristics of materials³ and sustainability of the construction process based on the principles of circular economy⁴.

In the general framework of the evaluation and control of construction products' "technological quality" (ISO 8402, UNI 10838), the "durability requirement" then becomes «the ability of a product to maintain the performance levels and functional characteristics required over time, under the influence of foreseeable actions» (UNI 11156), and such as to be guaranteed at acceptable values for service needs, without requiring maintenance interventions, under certain environmental and usage conditions. It is a matter of long-term maintenance of the initially requested performance, and the evaluation of how they change and decay over time. Consequently, "time" turns

Significa progettare un edificio in cui il controllo della durabilità degli elementi tecnici parta dall'adozione di materiali e prodotti edilizi a degrado noto⁷, agendo in coerenza con l'obiettivo prefissato del tempo di durata (Fig. 1). È sostenere che, durante la fase d'uso e di gestione, sia possibile misurare la conservazione della qualità attesa, per un tempo stabilito e per date classi di requisiti⁸, facendo riferimento non solo a una durata misurabile in termini quantitativi (con il metodo fattoriale⁹ o altri) ma al "controllo temporale" qualitativo complessivo dell'oggetto e del processo edilizio, rispettando i principi della sostenibilità ambientale.

È questa, oggi, la pianificazione della "vita utile" (SL, ma anche RSL e ESL)¹⁰ di materiali, componenti e sistemi da costruzione: parametro essenziale per una corretta progettazione che si basi sui principi dell'economia circolare e utilizzi la valutazione di sostenibilità (*Life Cycle Costs, Life Cycle Assessment, e Life Cycle Impact Assessment*) come elemento guida nelle scelte di materiali e componenti.

Evoluzione del concetto di 'service life' nella progettazione sostenibile

Se sviluppo sostenibile e durabilità sono tra loro complementari, conoscere la "durabilità" (come "durata" e "affidabilità", insieme) dei componenti edilizi, e prevederne e programmarne la "vita utile" (anche pianificando, attraverso la manutenzione, la conservazione nel tempo del livello di prestazione richiesto) è fondamentale per una scelta di materiali compatibili con la sostenibilità del loro impiego. Ridurre gli impatti passa necessariamente attraverso un'aspettativa di vita "lunga" dell'edificio che: diluisca nel tempo le energie incorporate e le alterazioni ambien-

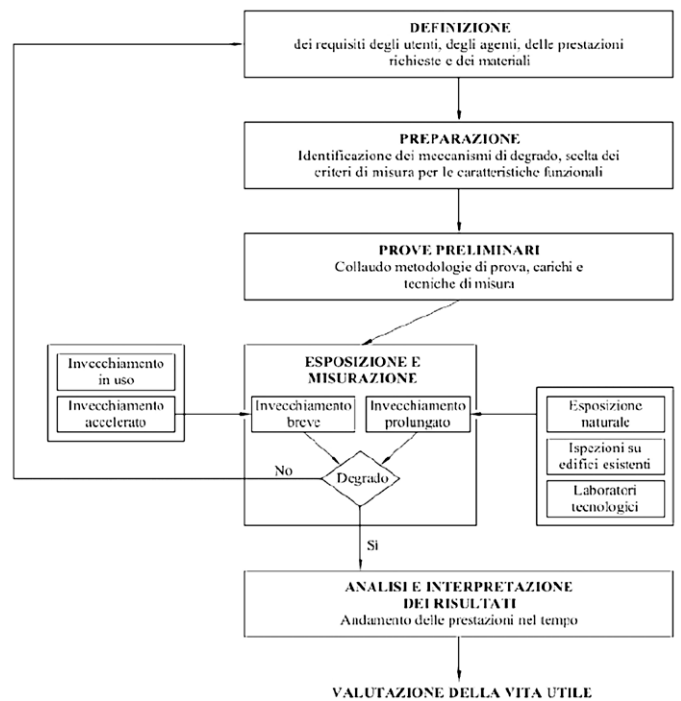
out to be, in one, "factor" and performance "variable".

"Technological (useful) quality" (Maggi, 1994) is, however, a somewhat ambiguous and complex issue to be dealt with. Indeed, on the one hand, buildings are designed to guarantee "technical durability" and, on the other, there is operational or real "longevity", which depends on the environmental context where the building object is, on the methods and intensity of use, and on the interventions (planned or implemented) aimed at "preserving the duration".

In other words, a "technical and functional longevity" of buildings no longer linked only to material characteristics, component performance, and their conditions of functional decay or natural physiological obsolescence. Instead, such longevity is increasingly related to conditions of use and man-

agement, construction techniques and procedures, maintenance choices and actions, the interventions needed to either adapt buildings to meet new functional requirements and legislative regulations, or to comply with specific social conditions (housing and/or health emergency), local territorial customs⁵ and/or promoted by the market⁶. This leads to the need to face durability assessment according to a holistic approach and not a purely technical one: the building must be seen as a logical system of connections between components and technical elements, and a multitude of other factors that determine its longevity.

It means designing a building in which the durability check of technical elements starts by adopting building materials and products with known degradation⁷, acting consistently with the set objective of the duration time (Fig.



tali causate dalla sua costruzione; sia (nella fase d'uso e gestione) a "energia positiva" e non solo a bassi consumi energetici, ed abbia ridotte necessità di manutenzione e sostituzione dei componenti (magari, leggeri e reversibili); fornisca (nella fase di *fine vita* e *dismissione*) materiali riciclabili e riutilizzabili.

È necessario operare scelte che massimizzino il ciclo di vita in termini di durabilità (100 anni per gli edifici residenziali¹¹, Fig. 2), utilizzando soluzioni tecnico-costruttive durevoli, sia radicali (nuove funzioni per i componenti di costruzione; Eppinger and Hopkins, 2010) che incrementali (innovazione tecnologica per il controllo dei carichi energetici; Crul and Diehl, 2007).

È un concetto di "vita utile" evoluto, non più solo "funzione del tempo" ma ora intrinsecamente collegato al "controllo e gestione nel tempo delle risorse". Ed ecco, da una parte azioni e

1). It is argued that, during the use and management phase, the conservation of the expected quality can be measured for a set time and for given classes of requirements⁸, referring not only to a duration that is measurable in quantitative terms (by the factorial method⁹ or others) but to the overall qualitative "time control" of the object and of the building process, complying with the principles of environmental sustainability.

Today, this corresponds to planning the "useful life" (SL, but also RSL and ESL)¹⁰ of materials, components and construction systems, an essential parameter for correct design based on the principles of circular economy, using the evaluation of sustainability (*Life Cycle Costs, Life Cycle Assessment, and Life Cycle Impact Assessment*) as a guiding element in the choice of materials and components.

Evolution of the concept of "service life" in sustainable design

If sustainable development and durability complement each other, knowing the "durability" (as "lifespan" and "reliability", combined) of building components, and forecasting and planning their "service life" (also by planning, through maintenance, conservation over time of the required level of performance) is crucial for a choice of materials compatible with their sustainable use.

Reducing impact necessarily passes through a "long" life expectancy of the building in which the incorporated energies and the environmental alterations caused by its construction are diluted over time. A building featuring "positive energy" (during use and management) and not only low energy consumption, with a reduced need for maintenance and replacement of com-

strategie volte a prolungare la durata in uso dei materiali: recuperare piuttosto che demolire e ricostruire, per “conservare materia” e l’energia grigia incorporata nei materiali¹² e ridurre emissioni inquinanti; prolungare la vita utile dell’intero edificio o di sue parti, attraverso l’impiego di materiali di maggiore durata che possono essere scambiati con minore frequenza, per un consumo ridotto di materie prime ed energia (Allwood *et al.*, 2011). Dall’altra, logiche economiche del mercato spingono per la progettazione di prodotti ottimizzati dal punto di vista dei costi, con ridotta quantità di materia¹³, ma comunque capaci di assicurare le funzioni attese al livello di *performance* richiesto: materiali con confrontabili prestazioni per unità di energia impiegata (Beukers and Van Hinte, 2001) rispetto ai materiali tradizionali; materiali da *low-carbon* a *carbon-negative* (Kibert and Fard, 2012).

Se “dematerializzare” è un’azione coerente con le esigenze di un ambiente sostenibile rispetto al consumo delle risorse, al degrado del territorio e alle conseguenze del mutare delle condizioni climatiche, ridurre non è esattamente l’unica strategia possibile, perché (citando David Cheshire, Dir. AECOM) «il valore dipende sempre meno dalla materia impiegata e sempre più dall’intelligenza contenuta nei processi». Così, accanto allo sviluppo di materiali innovativi (Celento, 2007), risultato di processi di produzione energeticamente efficienti, con basse emissioni inquinanti e di lunga durata (primo principio dell’approccio ‘circolare’ alla progettazione), diventa ineludibile considerare la durabilità del prodotto, la facilità nella manutenzione e il governo della fase di gestione nel fine vita.

ponents (perhaps light and reversible), and that provides (at the end of life and disposal phase) recyclable and reusable materials.

It is necessary to make choices that maximise the life cycle in terms of durability (100 years for residential buildings¹¹, Fig. 2), using durable technical-constructive solutions, both radical (new functions for construction components; Eppinger and Hopkins, 2010) and incremental (technological innovation for the control of energy loads; Crul and Diehl, 2007).

This is an evolved concept of “service life”, no longer just a “function of time” but now intrinsically linked to “control and management of resources over time”. In fact, on the one hand, we have actions and strategies aimed at prolonging the lifespan ‘in use’ of materials by recovering rather than demolishing and rebuilding, to

“conserve matter” and grey energy embedded in materials¹², and to reduce polluting emissions; and by extending the service life of either the entire building or its parts, through the use of more durable materials that can be exchanged with less frequency to reduce consumption of raw materials and energy (Allwood *et al.*, 2011). On the other hand, the economic logic of the market pushes for the design of cost-optimised products with reduced quantity of matter¹³, items that are still capable of ensuring the expected functions with the required performance standards: materials with comparable performance per unit of energy used (Beukers and Van Hinte, 2001), compared to traditional materials, shifting from low-carbon to carbon-negative status (Kibert and Fard, 2012). If “dematerialising” is an action consistent with the needs of a sustainable

Dalla durata alla sostenibilità: verso un nuovo paradigma di durabilità

quanto i materiali adoperati condizionano la durabilità tecnica degli edifici, determinando modifiche sostanziali al processo di progettazione ed esecuzione. Così come per le fasi di uso e gestione diventa importante governare gli aspetti relativi alla programmazione gestionale, la definizione di durata e affidabilità dei componenti edilizi è importante per una previsione di tempi e modi relativi all’intervento manutentivo, e quindi per una valutazione precisa del ciclo di vita dal punto di vista della sostenibilità ambientale ed economica dell’intervento.

In una strategia di progettazione, che non sia più residuale rispetto alle prevalenti analisi energetiche, i principi della sostenibilità applicati alla durabilità dei materiali e al loro uso, possono essere visti come la messa a sistema di tre aspetti: le prestazioni, l’uso di risorse, il tempo; in cui il progetto temporale dell’edificio, di un suo componente o di un sistema, è però condizione necessaria ma non sufficiente per la sostenibilità. *Service life*, durabilità, sostenibilità ambientale indicano come gestire le risorse in modo più efficiente, ovvero: aumentando la produttività nei processi di produzione e consumo; riducendo gli sprechi; mantenendo il più possibile il valore dei prodotti e dei materiali; evitando di dismetterli prima della fine d’uso; recuperandoli e reintroducendoli nel sistema economico. Questi aspetti costituiscono l’essenza dell’economia circolare (Fig. 3) che mira, attraverso l’innovazione tecnologica e una migliore gestione, a rendere le attività economiche più efficienti e meno impattanti per l’ambiente.

Da quanto fin qui ripercorso è evidente come la sostenibilità in edilizia abbia portato a un diverso approccio alla valutazione della durata: tanto le tecnologie

Livelli di *Working Life* stabiliti sulla base del grado di riparabilità o sostituibilità del prodotto e della durata prevista per le opere facendo riferimento alla tabella 1 contenuta al paragrafo 12 della Guidance Paper F (concerning the Construction Products Directive - 89/106/EEC) - Durability and the Construction Products Directive (Revision December 2004)

Table 1: Illustrative assumed working lives of works and products (from EOTA)

Category	Years	Assumed working life of construction products (years)		
		Repairable or easily replaceable	Less easily repairable or replaceable	Lifetime of works #
Short	10	10 *	10	10
Medium	25	10 *	25	25
Normal	50	10 *	25	50
Long	100	10 *	25	100

* In exceptional and justified cases, e.g. certain repair products, a working life of 3 or 6 years may be envisaged.
 # Inaccessible or structural elements, or products where replacement is expensive or difficult or where failure would compromise the durability of inaccessible or structural elements.

A livello europeo, l’assunzione iniziale di *Working Life* è concordata secondo la tabella 2, contenuta nello stesso paragrafo 12 citato, e sulle conoscenze consolidate riguardanti la famiglia di prodotti considerati, riferiti alla destinazione d’uso e alla situazione normale di mercato.

Table 2: Illustrative assumed working lives of works and products (from ISO 15689-1)

Design life of building	Inaccessible or structural component or components where replacement is expensive or difficult (including below ground drainage)	Major replaceable components	Building services
100	100	40	25
60	60	40	25
25	25	25	25
15	15	15	15
10	10	10	10

È necessario perciò introdurre criteri di scelta dei materiali (tutti marchiati CE e dotati di EPD¹⁴) e delle tecniche costruttive, basati sulla prospettiva di efficienza. Occorre rispondere alle esigenze degli utenti utilizzando la minore quantità possibile di materie prime, moltiplicando più volte il loro utilizzo, parametrando le scelte in funzione dell'intero ciclo di vita, tentando di ridurne le quantità che entrano ed escono dal ciclo produttivo, attraverso differenti strategie operative¹⁵.

Nell'ottica di un nuovo paradigma di durabilità, per garantire una *service life* specifica e programmata, occorre ricercare un equilibrio complesso tra azioni trasversali (Fig. 4) che riguardano:

- il processo edilizio, la correttezza dello svolgimento delle varie fasi e il loro controllo, a garanzia della qualità del prodotto: è ciò che si interpone tra durabilità e durata;

- la disponibilità e l'utilizzo di "dati di vita utile", informazioni sul comportamento nel tempo di materiali, elementi tecnici e sistemi edilizi, specifiche di qualità e parametri di riferimento: complementari al valore numerico di durata, questi dati legittimano la validità e l'affidabilità di utilizzo di un materiale o componente (Daniotti *et al.*, 2010);
- la valutazione della vita utile stimata (*ESL*) in funzione del progetto, dell'aumentata richiesta di resilienza degli edifici agli effetti dei cambiamenti climatici e agli eventi estremi, delle condizioni d'uso e manutenzione: è aggiungere un valore stimato di affidabilità alla durata per orientarsi sul rischio di guasti durante la vita utile del componente;
- l'analisi della sostenibilità *Life Cycle Assessment* (che contempla anche gli impatti *LCIA* e i costi *LCC*) in rapporto

03 | OUTLINE OF A CIRCULAR ECONOMY

PRINCIPLE

1

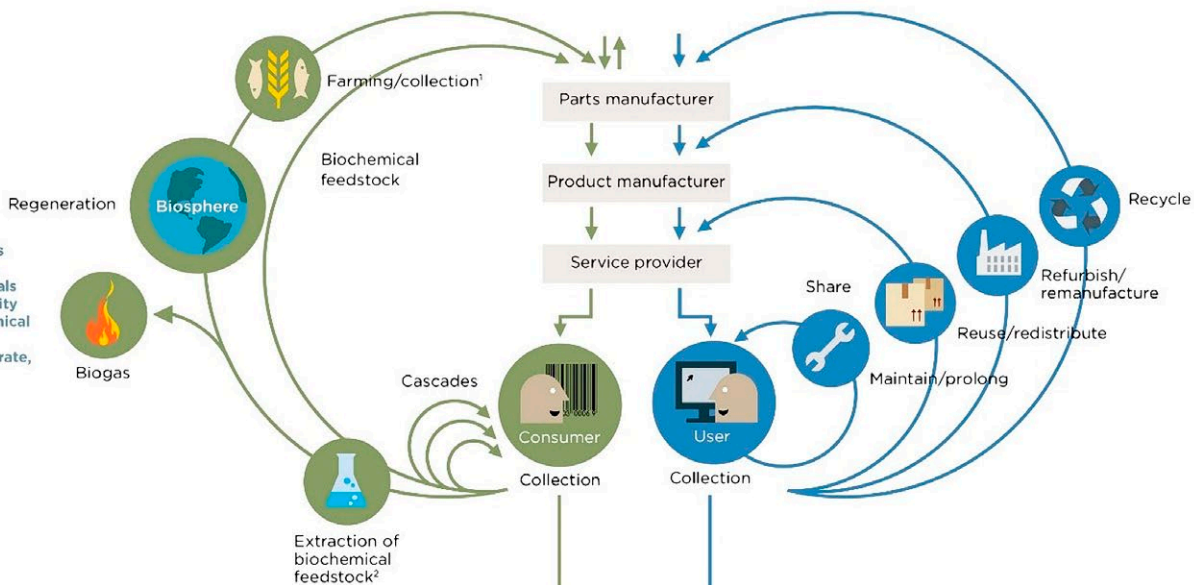
Preserve and enhance natural capital by controlling finite stocks and balancing renewable resource flows
 ReSOLVE levers: regenerate, virtualise, exchange



PRINCIPLE

2

Optimise resource yields by circulating products, components and materials in use at the highest utility at all times in both technical and biological cycles
 ReSOLVE levers: regenerate, share, optimise, loop



PRINCIPLE

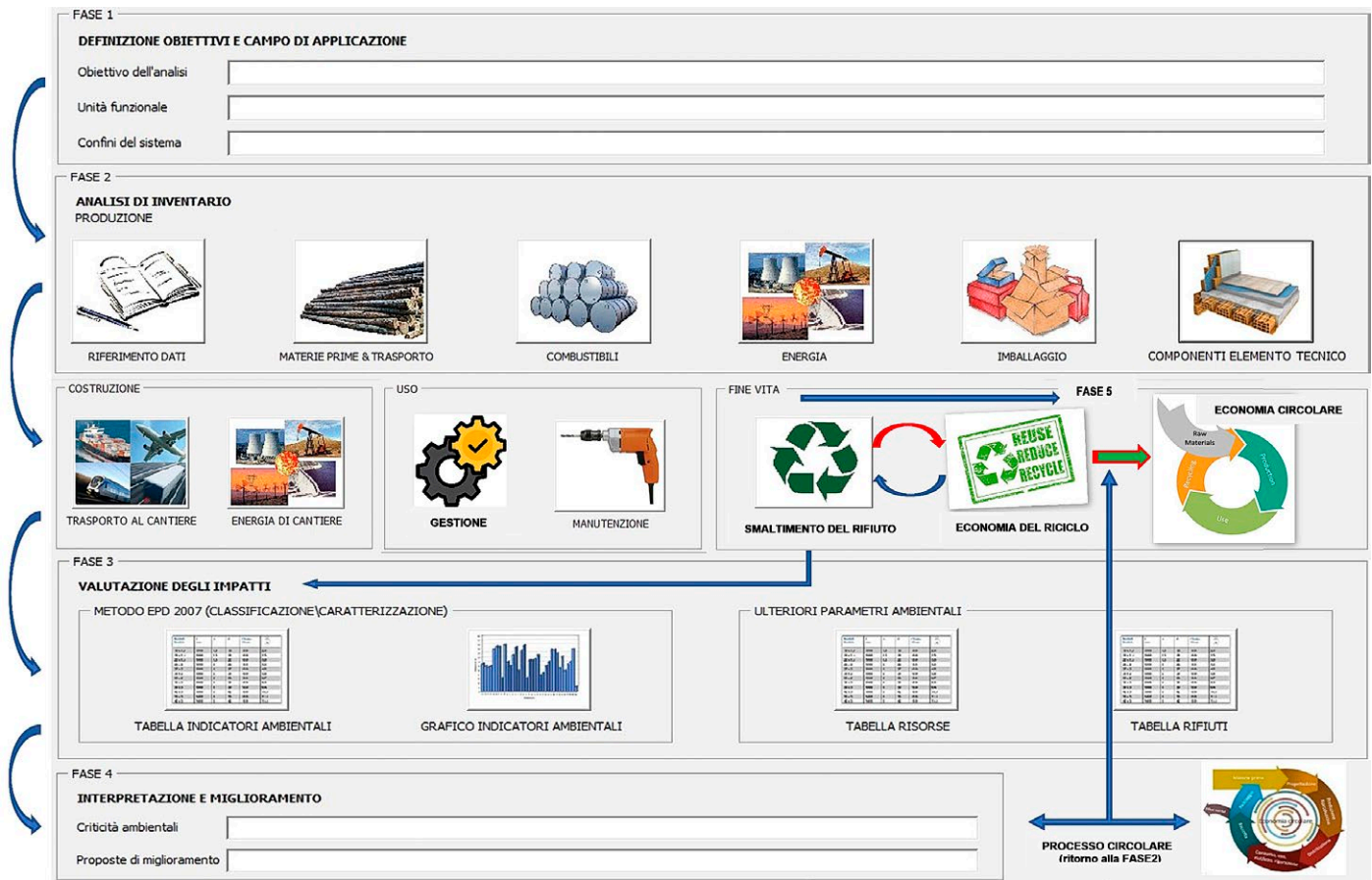
3

Foster system effectiveness by revealing and designing out negative externalities
 All ReSOLVE levers



1. Hunting and fishing
 2. Can take both post-harvest and post-consumer waste as an input

Source: Ellen MacArthur Foundation, SUN, and McKinsey Center for Business and Environment; Drawing from Braungart & McDonough, Cradle to Cradle (C2C).



alla previsione di vita utile: il “tempo” come fattore chiave per valutare un prodotto, processo o attività, identificando e quantificando energia e materiali utilizzati, pesando le emissioni attuali rispetto a quelle future, il valore ecologico

e il potenziale di riciclaggio e/o riuso di edifici esistenti o “opzioni” per modi diversi di utilizzare l'edificio in futuro, e relativi costi.

environment in terms of resource consumption, land degradation and the consequences of changing climatic conditions, reducing is not exactly the only possible strategy because (quoting David Cheshire, Dir. AECOM) «the value depends less and less on the material used and more and more on the intelligence contained in the processes». Thus, alongside the development of innovative materials (Celento, 2007), the result of energy-efficient production processes with low polluting emissions and long duration (first principle of the “circular” approach to design), it becomes inevitable to consider product durability, ease of maintenance and end-of-life management control.

From lifespan to sustainability: towards a new paradigm of durability
 Based on what has been discussed so

far, it is clear that sustainability in the building industry has led to a different approach to durability assessment: both the technologies and the materials used affect the technical durability of buildings, resulting in substantial changes to the design and execution process.

Just as for the use and management phases, it becomes important to govern aspects related to management planning, the definition of duration and reliability of building components is important to predict times and methods related to maintenance actions and, therefore, for a precise evaluation of the life cycle from the point of view of environmental and economic sustainability of the work.

In a design strategy, which is no longer residual as to the prevailing energy analysis, the principles of sustainability applied to the durability of materials

and their use can be seen as a system made up of three factors, namely performance, use of resources and time. In this scene, the temporal design of the building, a component or a system, is a necessary but not sufficient condition for sustainability.

Service life, durability and environmental sustainability indicate how to manage resources more efficiently, precisely by increasing productivity in production and consumption processes; by reducing waste; by maintaining the value of products and materials as much as possible; by avoiding their disposal before the end of use; and by recovering and reintroducing them into the economic system. These aspects constitute the essence of the circular economy (Fig. 3), which aims, through technological innovation and better management, to make economic activities more efficient and to re-

duce their impact on the environment. It is, therefore, necessary to introduce criteria for choosing materials (all CE marked and equipped with EPD¹⁴) and construction techniques, based on the perspective of efficiency. It is necessary to respond to the users' needs by using the least possible quantity of raw materials: multiplying their use several times, setting the choices according to the entire life cycle, trying to reduce the quantities entering and leaving the production cycle, implementing different operational strategies¹⁵.

With a view to a new paradigm of durability, to ensure a specific and programmed service life, it is necessary to seek a complex balance between transversal actions (Fig. 4).

They concern:

- the building process, the correctness of all the phases and their control, to ensure product quality: this

Conclusioni

La necessità di perseguire scelte di progetto e intraprendere azioni che favoriscano la circolarità delle risorse¹⁶, portano il concetto di *service life* verso un “nuovo paradigma di durabilità”, in cui sono definiti specifici requisiti che relazionano le prestazioni e la funzionalità richiesta all’edificio e ad ogni suo componente e materiale, alle caratteristiche di sostenibilità, di resilienza e insieme facilità di manutenibilità e gestione delle fasi di vita, con il minimo impatto ambientale negativo, per un tempo di servizio stimato per cicli di vita di lunga durata, e controllato con procedure di valutazione basate sull’analisi LCA. Valutazione e monitoraggio della durabilità sono realizzati a diversi livelli: organizzazione del processo edilizio; elaborazione e condivisione delle esperienze significative e dei dati di vita utile rilevati; conseguente formulazione di stime sull’affidabilità alla durata; strumenti di simulazione a sostegno della previsione nel tempo delle prestazioni ambientali dei prodotti.

Le ricadute operative, di cui a sviluppi futuri, non potranno prescindere da come influisce «la modifica dei carichi climatici sulla durabilità di materiali da costruzione, componenti e sistemi» (Lacasse, 2018) e dalle implicazioni della trasformazione digitale in atto nell’industria delle costruzioni. Tecnologie innovative, nuovi materiali e sensori saranno sempre più inglobati negli edifici e nei suoi componenti e richiederanno processi, competenze e tecniche in grado di elaborare e lavorare su modelli dell’ambiente costruito, simularne le prestazioni, fino a farsi guidare da sistemi d’Intelligenza Artificiale per controllare e scegliere la soluzione più efficace quanto a durata, impatto sull’ambiente e costo.

- is what lies between durability and duration;
- the availability and use of “service life data”, information on the behaviour over time of materials, technical elements and building systems, quality specifications and reference parameters: complementary to the numerical value of durability, these data legitimise use validity and reliability of a material or component (Daniotti *et al.*, 2010);
- the assessment of the ESL (Estimated Service Life) as a function of the design, the increased demand for building resilience to the effects of climate change and extreme events, the conditions of use and maintenance in order to add an estimated value of reliability to the duration, so as to focus on the risk of failure during the component’s useful life;
- Life Cycle Assessment sustainability

analysis (which also includes LCIA impact and LCC costs) on the expected “time” as a key factor to evaluate a product, process or activity, identifying and quantifying energy and materials used. The scope is to weigh current emissions against future emissions, ecological value and potential for recycling and/or reuse of existing buildings, or to compare “options” for different ways of using the building in the future, and related costs.

Conclusions

The need to pursue project choices and undertake actions that favour the circularity of resources¹⁶ leads the concept of service life towards a “new paradigm of durability” where specific requirements are defined. Performance and functionality expected from the building and all its components and

NOTE

¹ Rete tematica “*Design life*” e “*Performance based building (PeBBu)*”: Materiali da Costruzione, quinto *framework* UE su Crescita Competitiva e Sostenibile. Azioni per sviluppare la ISO 15686 e fornire ai professionisti strumenti adeguati a prevedere la vita utile.

² Dalla Dir. UE 106/89/CEE e Reg. UE 305/2011, alle Dir. UE 2010/31 e 2018/844, ai CAM Edilizia 2017, alle EN 14025:2010 e EN 15804:2019.

³ Il Reg. UE305/2011, che modifica e abroga la Dir. 106/89/CEE, introduce per materiali e prodotti il requisito «uso sostenibile delle risorse naturali» e l’obbligo della *Dichiarazione di Prestazione (DoP)*: il fabbricante attesta le prestazioni del prodotto alle caratteristiche essenziali, la conformità alle specifiche tecniche di riferimento e alla sostenibilità ambientale quanto a impiego di materie prime e/o semilavorati. Il relativo ETA (*European Technical Approval*) costituisce una valutazione documentata delle prestazioni del prodotto da costruzione, in base a specifiche linee guida (ETAG) per l’uso previsto e la commercializzazione nell’UE.

⁴ Reduce-Reuse-Recycle a partire dai 6 principi del costruire sostenibile di Kilbert (1994): Conserve, Reuse, Renew/Recycle, Protect Nature, Non-Toxics, Quality.

⁵ Durabilità legata all’ambiente culturale tradizionale. In Giappone, ad esempio, pur con enormi costi sociali e ambientali, la durata media degli edifici non supera i 30 anni perché case nuove, moderne e con prestazioni adeguate, sono costruite per ogni generazione successiva a simboleggiare l’idea di un costante rinnovamento.

⁶ Regolato da fattori di carattere economico e giuridico che, in quanto tali, sono soggetti a fluttuazioni nel tempo: aspetti non tecnici che modificano in modo sostanziale la durata tecnica e quella di progetto.

⁷ La ISO 15686 riporta i metodi per la valutazione della vita utile dei componenti edilizi, riferendoli agli aspetti economici e di sostenibilità del ciclo di vita, e comprende anche le modalità del loro utilizzo ai fini della programmazione della manutenzione.

materials, the characteristics of sustainability, resilience and, at the same time, easy maintainability and management of all phases of life with minimum negative environmental impact are strictly related together to establish an Estimated Service Life for long-life cycles, checked with assessment procedures based on LCA analysis. Durability assessment and monitoring are carried out at different levels: organisation of the construction process; processing and sharing of significant experiences and service life data collected; subsequent processing of durability reliability estimates; and simulation tools to support the long-term forecasting of products’ environmental performance. The operational spinoffs from future developments cannot disregard how «the change in climatic loads affects the durability of building materials, components and systems» (Lacasse,

2018), and the implications of the ongoing digital transformation in the construction industry. Innovative technologies, new materials and sensors will be increasingly incorporated into buildings and their components, and will require processes, skills and techniques capable of processing and working on models of the built environment, simulating its performance and, lastly, being guided by Artificial Intelligence systems to control and choose the most effective solution in terms of durability, environmental impact and cost.

NOTES

¹ “*Design life*” and “*Performance based building (PeBBu)*” thematic network: Construction Materials, 5th EU framework on Competitive and Sustainable Growth. Actions to develop ISO 15686 and provide professionals with ad-

⁸ Sette gruppi come individuati dalla ISO 15686-2:2012: qualità dei materiali, qualità di esecuzione, qualità di progettazione, condizioni dell'ambiente interno, condizioni ambiente esterno, tipologia di utenza prevista, livello di manutenzione previsto.

⁹ La stima della Vita Utile in condizioni di progetto della UNI 11156-1,2,3 si basa sull'utilizzo di uno di tre tipi di metodo: fattoriale (determina la vita utile in opera correggendo la RLS con fattori moltiplicativi che tengono conto delle condizioni particolari in cui il componente è utilizzato); statistici (basati sull'analisi stocastica sia del contesto sollecitante, gli 'agenti' della UNI 8290, sia del comportamento dei materiali); ingegneristici (propri della pratica progettuale). La ISO 15686-7:2017, prescrive una metodologia fattoriale per decidere sulla durata prevista di un componente con una probabilità prescritta di guasto precedente.

¹⁰ La UNI 11156-3, oltre a definire un metodo per la valutazione della durata dei componenti edilizi nelle varie fasi del processo di progettazione (Fig. 1), distingue tra: vita utile (*service life*), durata spontanea, vita utile di riferimento (*reference service life*), vita utile stimata (*estimated service life*), vita utile di progetto (*design life*).

¹¹ Come anche nelle NTC 2018, quale Vita Nominale di progetto di costruzioni con livelli di prestazioni elevate. La ISO 15686-1 indica i tempi consigliati ai progettisti a garanzia di durabilità delle opere da costruzione, secondo la tendenza europea (normativa e dei protocolli di valutazione ambientale) di assegnare una longevità di 50 anni agli edifici, in assenza di manutenzione.

¹² L'energia incorporata (*embodied energy*) è l'energia che è stato necessario usare per i processi di estrazione-produzione-trasporto-messa in opera dei materiali. Ad essa va aggiunta l'energia spesa nei processi di manutenzione (relativa ai materiali sostituiti).

¹³ Si veda la curva di Ashby (1992) che collega lo sviluppo dei materiali all'evoluzione della civiltà.

¹⁴ La *Environmental Product Declaration*, prevista da ISO 14020 e definita da ISO 14025 quale Etichetta Ambientale di tipo III (verificata da un organismo

equato tools to predict service life.

² From EU Dir. 106/89/EEC and EU Reg. 305/2011 to EU Dir. 2010/31 and 2018/844, to CAM Construction 2017, to EN 14025:2010 and EN 15804:2019.

³ EU Regulation 305/2011, which amends and repeals Dir. 106/89/EEC, introduces for materials and products the requirement "sustainable use of natural resources" and the obligation of the Declaration of Performance (DoP). The manufacturer certifies product performance according to essential characteristics, compliance with the technical specifications and environmental sustainability as regards the use of raw materials and/or semi-finished products. The related ETA (European Technical Approval) is a documented assessment of construction product performance, based on specific guidelines (ETAG) for its intended use and marketing in the EU.

⁴ Reduce-Reuse-Recycle starting from the 6 principles of sustainable building by Kilbert (1994): Conserve, Reuse, Renew/Recycle, Protect Nature, Non-Toxic, Quality.

⁵ Durability linked to the traditional cultural environment. In Japan, for example, although with huge social and environmental costs, the average lifespan of buildings does not exceed 30 years because new, modern, high performance houses are built for each next generation, to symbolise the idea of constant renewal.

⁶ Regulated by economic and legal factors which, as such, are subject to fluctuations over time: non-technical aspects that substantially change both technical durability and design life.

⁷ ISO 15686 sets out methods for assessing the service life of building components, referring them to economic and sustainability aspects of the

independente), fornisce dati quantitativi sul profilo ambientale di un prodotto, calcolati secondo le procedure di LCA ed espressi tramite indicatori di impatto.

¹⁵ È esemplare (<https://www.agencyofdesign.co.uk/projects/design-out-waste/>) l'esperienza di *circular design* dell'UK Agency of Design: tre prototipi di un tostapane (*Optimist, Pragmatist e Realist* il cui sviluppo tecnologico è stato determinato da diversi rapporti tra forma, struttura e processo) dimostrano come differenti flussi di materiali circolari e esigenze di riuso o riciclo possano essere ottimizzate seguendo strategie progettuali che considerano i sistemi e i loro elementi dal punto di vista della durata, della modularità e dell'essenzialità del prodotto, piuttosto che del solo impiego ridotto di materia.

¹⁶ Agendo su: processi produttivi con minimi scarti; standardizzazione volta alla smontabilità e disassemblaggio; recupero e riciclo; modularità dei componenti per agevolare la sostituibilità delle parti; riparabilità e manutenibilità; ecocompatibilità di materiali e componenti; rifunzionalizzazione e riutilizzo, dopo la manutenzione o ridestinazione d'uso; raccolta, rigenerazione, reimpiego e riuso dei materiali o delle parti.

REFERENCES

Allwood, J.M., Ashby, M.F., Gutowski, T.G. and Worrell, E. (2011), "Material efficiency: A white paper", *Elsevier Journal, Resources, Conservation and Recycling*, n. 55, pp. 362-381.

Ashby, M.F. (1992), *Materials selection in mechanical design*, Pergamon Press, Oxford.

Balchère, G. (1969), *Savoir Batir. Habitabilité-Durabilité. Economie des bâtiments*, Éditions Eyrolles, Paris.

Beukers, A. and Van Hinte, E. (2001), *Lightness. The inevitable renaissance of minimum energy structures*, 010 publishers, Rotterdam.

Celento, D. (2007), "Innovate or Perish. New Technologies and Architecture's Future", *Harvard Design Magazine*, n. 27, pp. 1-9.

Crul, M. and Diehl, J. (2007), *Design for Sustainability: a practical approach for Developing Economies*, UNEP.

life cycle, and also includes how they are used for maintenance planning purposes.

⁸ Seven groups as identified by ISO 15686-2:2012: material quality, execution quality, design quality, indoor environment conditions, outdoor environment conditions, expected type of users, expected level of maintenance.

⁹ The estimation of Service Life under UNI 11156-1,2,3 design conditions is based on the use of one of three types of methods: factorial (determines onsite service life by correcting the RLS with multiplicative factors concerning the particular conditions in which the component is used); statistical (based on stochastic analysis of both the stressing context, the UNI 8290 'agents', and the behaviour of the materials); engineering (typical of design practice). ISO 15686-7:2017 defines a factorial methodology to decide

on the expected lifespan of a component with a prescribed probability of previous failure.

¹⁰ UNI 11156:3, besides defining an evaluation method for the durability of building components in the different phases of the design process (Fig. 1), distinguishes between: useful life (*service life*), spontaneous life, reference service life, estimated service life, and design life.

¹¹ As also reiterated in NTC 2018, as Nominal Design Service Life of buildings with high performance levels. ISO 15686-1 indicates the recommended timescales for designers to guarantee the durability of construction works, according to the European trend (standards and environmental assessment protocols) to assign a 50-year longevity to buildings, in the absence of maintenance.

¹² Embodied energy is the energy re-

Daniotti, B., Lupica Spagnolo, S., Chevalier, J.L., Hans, J. and Chorier, J. (2010), "An International Service Life Database: The Grid Definition for an Actual Implementation of Factor Methods and Service Life Prediction", *Proceedings of the CIB World Building Congress*, Gävle, Salford Quays.

Eppinger, S.D. and Hopkins, M.S. (2010), "How Sustainability Fuels Design Innovation", *MIT Sloan Management Review*, n. 52.

Hovde, P.J. and Moser, K. (2004), "CIB State of the Art Reports - Part A: Factor Methods for service life prediction - Part B: Engineering Design Method for service life prediction", *CIB Publication*, n. 294, Trondheim.

Jernberg, P., Sjöström, C., Lacasse, M.A., Brandt, E. and Siemes, T. (2004), "Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Buildings and Components - Part I: Service Life and Durability Research", *CIB Publication*, n. 295, Rotterdam.

Kestner, D.M. and Webster, M.D. (2010), "Achieving Sustainability through Durability, Adaptability, and Deconstructability", *Structure magazine* March, pp. 10-12.

Kilbert, C.J. (1994), "Establishing principles and a model for sustainable construction", *Proceedings of First International Conference of CIB TG16*, Ann Arbor, Michigan.

Kibert, C.J. and Fard, M.M. (2012), "Differentiating among low-energy, low-carbon and net-zero-energy building strategies for policy formulation", *Building Research & Information*, n. 40, pp. 625-637.

Lacasse, M.A. and Sjöström, C. (2004), "Recent advances in methods for service life prediction of building materials and components - an overview", *NRCC-47030, Proceedings of CIB World Building Congress*, Toronto, Ontario, pp.1-10.

Lacasse, M.A. (Ed.) (2018), "Durability and Climate Change - Changing climatic loads as may affect the Durability of Building Materials, Components and Assemblies", *CIB W080 Publication*, n. 414.

Maggi, P.N. (2004), *Qualità e sostenibilità delle soluzioni tecniche nel progetto*, Quaderni del Politecnico di Milano, Milano.

quired for the processes of extraction-production-transport-use of materials. This must be integrated with the energy spent on maintenance processes (relating to the replaced materials).

¹³ See Ashby's curve (1992), which links the development of materials to the evolution of civilisation.

¹⁴ The Environmental Product Declaration, required by ISO 14020 and defined by ISO 14025 as Environmental Label Type III (verified by an independent body), provides quantitative data on an environmental product profile, calculated according to LCA procedures and expressed through impact indicators.

¹⁵ The UK Agency of Design's circular design experience (<https://www.agencyofdesign.co.uk/projects/design-out-waste/>) is exemplary: three prototypes of a toaster (Optimist, Pragmatist and Realist, whose technological develop-

ment has been determined by different relationships between form, structure and process) demonstrate how different flows of circular materials and reuse or recycling needs can be optimised by following design strategies that consider the systems and their elements from the point of view of product duration, modularity and essentiality, rather than just the reduced use of material.

¹⁶ Acting on: production processes with minimum waste; standardisation aimed at disassembly and dismantling; recovery and recycling; modularity of components to facilitate the replacement of parts; reparability and maintainability; eco-compatibility of materials and components; re-functionalisation and reuse, after maintenance or reassignment of use; collection, regeneration, new use and reuse of materials or parts.