

Andrea Campioli, Anna Dalla Valle, Sara Ganassali, Serena Giorgi,

Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano, Italia

andrea.campioli@polimi.it

anna.dalla@polimi.it

sara.ganassali@polimi.it

serena.giorgi@polimi.it

Abstract. La questione ambientale richiede una rinnovata attenzione nel considerare il ruolo della materia nel progetto, imponendo l'estensione dello sguardo al suo intero ciclo di vita: approvvigionamento, processi produttivi, assemblaggio, cicli di manutenzione e sostituzione, disassemblaggio, riuso/riciclo, smaltimento. Questa prospettiva improntata alla circolarità impone un ampliamento delle conoscenze e delle competenze tradizionalmente coinvolte nell'attività progettuale e una riconfigurazione delle relazioni tra gli operatori della filiera. Si aprono nuovi orizzonti di ricerca e sperimentazione, nuove opportunità di specializzazione all'interno delle quali le logiche e le metodologie LCA sono destinate ad assumere un ruolo sempre più rilevante.

Parole chiave: Life cycle; Circular economy; Informazione ambientale; Benchmark ambientali; Filiera delle costruzioni.

Progetto e materia

Il rapporto tra progetto e materia tradizionalmente era risolto

nella ricerca di una corrispondenza tra i requisiti di carattere estetico e tecnico individuati nel progetto e le prestazioni rese dai materiali disponibili. La questione ambientale impone oggi al progetto l'individuazione di soluzioni capaci di ridurre drasticamente il consumo delle risorse e la produzione degli impatti con una rinnovata e ampliata attenzione alle prestazioni della materia e con l'assunzione dell'orizzonte temporale dell'intero ciclo di vita. In questa prospettiva il centro dell'attività progettuale non è più l'oggetto edilizio considerato fino al momento della sua consegna all'utente finale, bensì l'intero ciclo di vita del manufatto, dei suoi componenti e dei materiali che vengono impiegati per la sua realizzazione. Il rapporto tra progetto e materia si articola e diventa più complesso, includendo al suo interno non soltanto le proprietà fisiche, meccaniche, termiche, economiche ed estetiche dei materiali, ma anche le modalità di ap-

provvigionamento, produzione, trasporto, assemblaggio, manutenzione, riuso/riciclo e smaltimento. Si tratta in altre parole di un cambiamento culturale che attribuisce una rinnovata centralità alla materia e al suo ciclo di vita, richiedendo un ampliamento delle conoscenze e delle competenze, un rafforzamento delle relazioni tra gli operatori della filiera e l'inclusione, fin dalle prime fasi di ideazione, di soggetti con ruoli e posizioni marginali rispetto al processo edilizio.

Le politiche ambientali promosse a livello mondiale, europeo e nazionale hanno avuto un ruolo decisivo nel dare abbrivio a tale processo di cambiamento.

Il ruolo delle politiche ambientali

In ambito europeo, le prime azioni che hanno indotto il progetto a confrontarsi con i temi

della sostenibilità ambientale sono riconducibili alle direttive sull'efficienza energetica degli edifici (2002/91/CE, 2010/31/UE, 2012/27/UE). In questa fase l'attenzione si è concentrata sul contenimento dei consumi energetici, orientando la ricerca progettuale verso manufatti a basso consumo energetico attraverso una puntuale definizione delle soluzioni costruttive e dei materiali utilizzati al fine di raggiungere livelli di emissioni e di consumi energetici prossimi allo zero (Fig. 1).

I più recenti documenti di indirizzo emanati dall'Unione Europea ampliano il punto di vista: sollecitano azioni mirate all'uso ambientalmente efficiente dei materiali da costruzione introducendo la prospettiva del ciclo di vita (COM 571, 2011) e sottolineano l'urgenza di attivare processi virtuosi di riutilizzo, recupe-

Designing the life cycle of materials: new trends in environmental perspective

Abstract. The environmental issue requires a renewed attention in considering the role of materials in the project, imposing a new gaze into their entire life cycle: procurement, production processes, assembly, maintenance and replacement cycles, disassembly, reuse/recycle and disposal. This perspective based on the circularity requires the improvement of knowledge and skills traditionally involved in the design project and the reconfiguration of relationships among the operators of the supply chain. New research and experimentation horizons open up; new opportunities for specialization within LCA methodologies and logics are earmarked to assume an increasingly important role.

Keywords: Life cycle; Circular economy; Environmental information; Environmental benchmarks; Building supply chain.

Design and matter

The relationship between project and materials was traditionally solved in the search for the conformity between aesthetic and technical requirements identified in the project and the performances of available materials.

Nowadays, the environmental issue imposes to the project the identification of solutions able to drastically reduce the consumption of resources and the production of impacts, with a new attention to the performances of materials and the hiring of the life cycle time horizon.

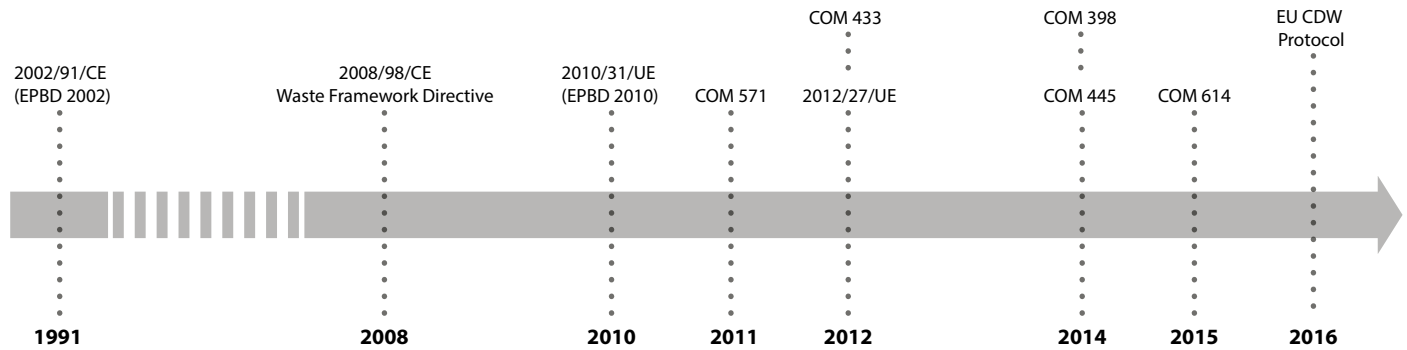
In this perspective, the design activity centre is no longer the building considered until its delivery to the final users, but the entire life cycle of the building, of its components and materials, which are used for its realization. The relationship between project and materials becomes more complex, in-

cluding not only physical, mechanical, thermal, economic and aesthetic properties of materials, but also procurement, production, transport, assembly, maintenance, reuse/recycle and disposal methods.

It is a cultural change that attributes a renewed centrality to the materials and their life cycle, requiring the improvement of knowledge and skills, the strengthening of relationships between the operators of the supply chain and the inclusion, from the early design stage, of subjects with marginal roles and positions in relation to the building process. The environmental policies promoted at global, European and national levels have played a decisive role in launching that process of change.

The role of environmental policies

In the European context, the directives for energy efficient buildings (2002/91/



01 | Linea del tempo delle Direttive e delle Comunicazioni europee. COM 571: Roadmap to a Resource Efficient Europe. COM 433: Strategy for the sustainable competitiveness of the construction sector and its enterprises. COM 398: Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe. COM 445: On resource efficiency opportunities in the building sector. COM 614: Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy

Time line of European Directives and Communications. COM 571: Roadmap to a Resource Efficient Europe. COM 433: Strategy for the sustainable competitiveness of the construction sector and its enterprises. COM 398: Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe. COM 445: On resource efficiency opportunities in the building sector. COM 614: Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy

ro e riciclaggio. L'edificio deve essere quindi concepito partendo dall'esigenza di un uso più efficiente delle risorse e pensato per ridurre gli impatti ambientali complessivi nell'intero ciclo di vita (COM 445, 2014) assumendo strategie di progetto che rendano tecnicamente possibili ed economicamente vantaggiosi tali processi (COM 433, 2012).

Questa prospettiva richiede un radicale cambiamento nell'approccio alla progettazione dove le implicazioni ambientali della scelta del materiale rivestono un'inedita centralità.

La visione *life cycle* apre a una progettazione che deve considerare l'intero ciclo dei materiali, dalla loro origine (estrazione della materia prima) alla loro dismissione. Il settore edile è chiamato a ridurre la quantità di rifiuti da costruzione e demolizione, che rappresentano il 33,5% dei rifiuti prodotti in Europa (Eurostat, 2016). La progettazione, quindi, deve tenere conto della gestione di tali rifiuti, dell'aumento della riciclabilità e del contenuto di materie riciclate nei materiali da costruzione (COM 398, 2014). Ciò per allinearsi alle più recenti politiche di economia circolare (COM 614, 2015) che mirano a chiudere il cerchio del ciclo della materia (*closed-loop*). In questa direzione si collocano numerose azioni, come il "EU Construction and Demolition

Waste Management Protocol" (2016), che promuovono strategie per il recupero e il riciclo dei rifiuti da costruzione e demolizione e ad aumentare l'utilizzo di materiali con contenuto di riciclato. A livello italiano, l'applicazione dei CAM (Criteri Ambientali Minimi), ovvero requisiti ambientali per il *Green Public Procurement* (D. Lgs. 50/2016, modificato con D. Lgs 56/2017) premia le scelte progettuali orientate alla sostenibilità incentivando i principi di disassemblabilità (almeno il 50% dei componenti edili e degli elementi prefabbricati, in termini di peso, deve essere sottoponibile a demolizione selettiva ed essere riciclabile o riutilizzabile), la gestione sostenibile del fine vita (i progetti devono prevedere un piano per il disassemblaggio e la demolizione selettiva dell'opera a fine vita) e l'utilizzo di materia recuperata o riciclata (almeno il 15% del totale di materiali utilizzati, in termini di peso). Viene inoltre favorito l'uso di prodotti dotati di dichiarazione ambientale di Tipo III, conforme alle norme UNI EN 15804 e ISO 14025, come l'*Environmental Product Declaration* (EPD).

Chiudere il cerchio

Il ciclo della materia assume un'importanza ancora più rilevante all'interno delle politiche improntate all'economia circola-

CE, 2010/31/UE, 2012/27/UE) represent the first step that bring the project to deal with the environmental sustainability issues. This legislative framework is focused on the reduction of energy consumption towards low energy buildings, through the definition of technical solutions and materials choices (Fig. 1).

The most recent European Union policies widen the point of view: they promote actions aimed to the environmental and efficient use of buildings' materials in the life cycle perspective (COM 571, 2011) and emphasize the activation of circular process of reusing, recovering and recycling. The building have to be designed starting from the need of efficient use of resources and designed to reduce the overall environmental impacts throughout the entire life cycle (COM 445, 2014). It is possible assuming

design strategies that make processes technically possible and economically advantageous (COM 433, 2012).

This perspective needs a radical change in the design approach, that focus on the centrality of the environmental implications of the choice of materials. The life cycle vision opens to a design that consider the entire cycle of materials, from their origin (extraction of the raw material) to their disposal. The construction sector has to reduce the amount of construction and demolition waste, which accounts for 33.5% of waste produced in Europe (Eurostat, 2016). Therefore, the design has to take into account the construction and demolition waste management and their recycling and it have to increase the content of recycled materials in construction materials (COM 398, 2014). This new design approach is important also for aligning with the

most recent circular economy policies (COM 614, 2015) which aim to close the circle of the closed-loop cycle. In this context, there are many actions, such as the "EU Construction and Demolition Waste Management Protocol" (2016), that promote strategies for increasing the recovery and recycling of construction and demolition waste, and the use of materials with recycled content.

At the Italian level, the application of CAM (Minimum Environmental Criteria), that are environmental requirements for Green Public Procurement (D. Lgs. 50/2016, amended by D. Lgs 56/2017), rewards design choices oriented to sustainability. CAM incentivize the principles of disassembly (at least 50% of the building components and prefabricated elements, in terms of weight, must be disassembled through a selective demolition and must be re-

cyclable or reusable), sustainable management of the end of life (the projects must provide a plan for the disassembly and the selective demolition) and the use of recovered or recycled materials (at least 15% of the total materials used, in terms of weight). Moreover, the use of products with a Type III environmental declaration, compliant with the UNI EN 15804 and ISO 14025 standards, such as the Environmental Product Declaration (EPD), is also favoured.

Closing the loop

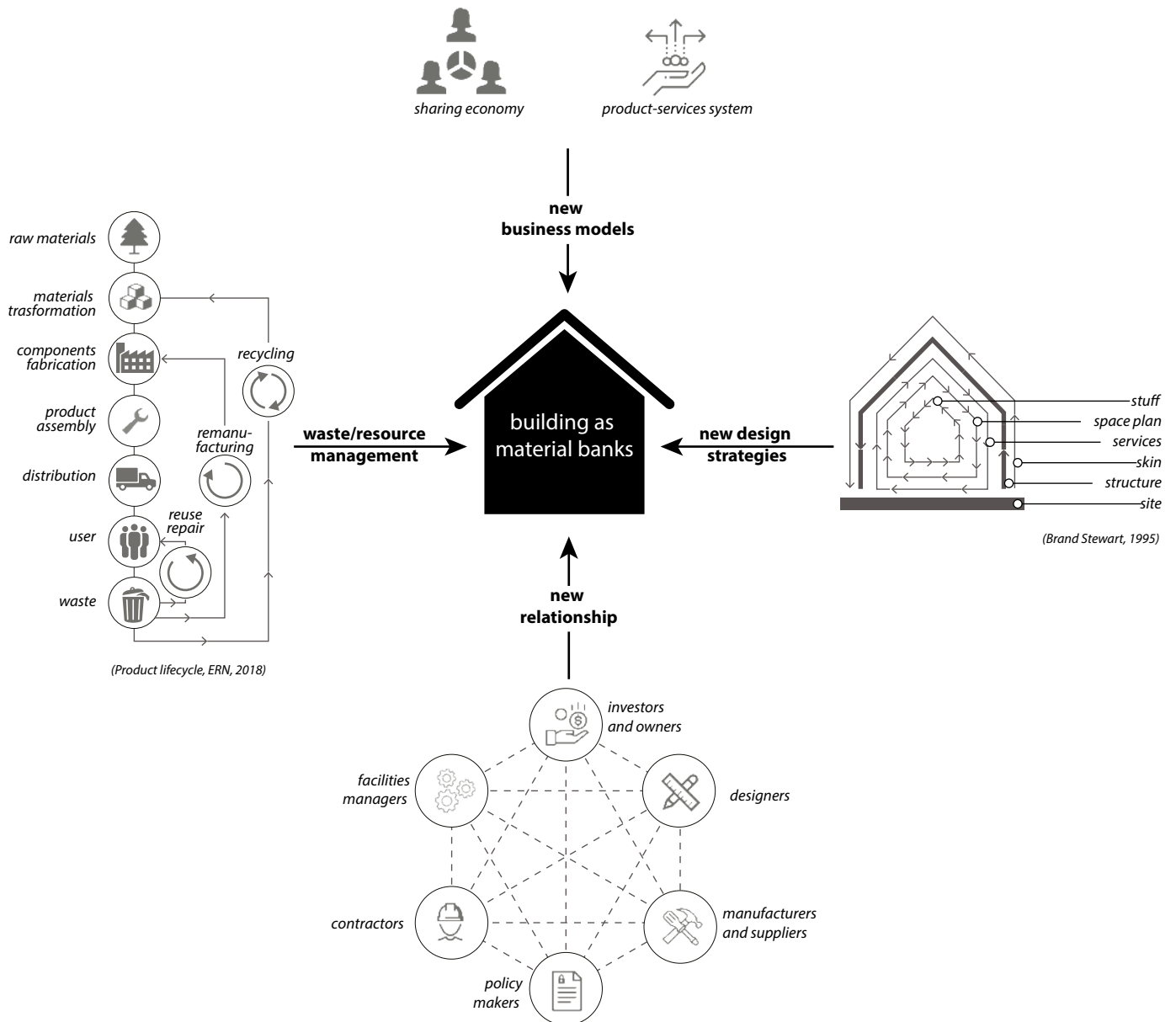
The cycle of matter has a crucial role within the circular economy policies that aim at limiting the consumption of natural resources and reducing the generation of waste.

In order to close the loop of matter, the built environment have to rethought with new design strategies, innovative

re che mirano alla limitazione del consumo delle risorse naturali e alla riduzione della generazione di rifiuti. Per raggiungere la chiusura del ciclo della materia, l'ambiente costruito deve essere interamente ripensato, definendo nuove strategie di progettazione e modelli innovativi di business e di relazioni tra gli attori del processo nella gestione dei flussi di risorse (Fig. 2).
Risulta determinante il mantenimento della qualità e del valore dei prodotti durante il ciclo di vita, cambiando le relazioni tra

materia e tempo, promuovendo un più lungo utilizzo dei prodotti, attraverso pratiche di condivisione, riuso, *re-manufacturing* e infine riciclo. A tal fine, l'edificio deve essere concepito in funzione della disassemblabilità dei diversi materiali e dei singoli componenti, divenendo quindi *materials-bank* e parte di un sistema basato sull'*urban mining*: approccio sistemico di recupero delle risorse antropogeniche (come prodotti, edifici, spazi) e rifiuti (Baccini et al., 2012) che propone una conservazione a lungo termine del-

02 |



le risorse al fine di ottenere benefici ambientali ed economici. In quest'ottica e in accordo con la filosofia *cradle-to-cradle* (McDonough e Braungart, 2000), i materiali e gli elementi che compongono l'edificio diventano a fine vita nutrienti per altri cicli tecnici, evitando lo stato di rifiuto. A partire dalla fase di progettazione diventa così importante definire i percorsi d'uso previsti per i materiali scelti prevedendo come possono essere smontati, riutilizzati o riciclati in altri prodotti.

Per raggiungere tali obiettivi risulta determinante l'attivazione di modelli di business innovativi che considerino nuovi tipi di relazione e di scambio di materiale tra diversi operatori, attraverso la definizione di reti di collaborazione. In tal senso occorre agire sulla catena del valore sia all'interno delle filiere del settore edilizio, sia ampliando i confini di sistema in ambito intersettoriale, aprendosi ai principi dell'economia in *loop* e dell'*industrial ecology*. Occorre, quindi, modificare la situazione attuale rappresentata da un gran numero di piccole medie imprese che difficilmente cooperano (ostacolando la diffusione di *best-practice* circolari sostenibili). La condivisione di pratiche/servizi e la collaborazione tra diversi *stakeholders* implica la definizione di modelli economici che prediligono forme di *sharing economy* (incentivando l'utilizzo dei beni) e di *product-service systems* (trasformando il concetto di proprietà). Attraverso tali modelli si facilitano il recupero, riuso, ricondizionamento o riciclo dei materiali arrivati a fine vita utile, chiudendo così il ciclo della materia.

Si delinea pertanto una progettualità fortemente ispirata ai principi della sostenibilità ambientale dove il ruolo dei materiali e della organizzazione produttiva risulta strategico. Alcune sperimentazioni sono già in corso, mostrando esempi puntuali di riciclo intersettoriali di sotto-prodotti o di *downcycling* di rifiuti

da costruzione e demolizione. Tuttavia, anche nelle situazioni più virtuose, il riferimento a sistemi di valutazione delle prestazioni ambientali che considerino l'intero ciclo di vita della materia risulta ancora incerto (Lavagna, 2016; Giorgi et al., 2017). La messa a punto e l'applicazione nell'ambito del progetto di metodi e strumenti che consentano di misurare la sostenibilità delle scelte considerando gli impatti nelle diverse fasi del ciclo di vita, costituisce un ulteriore terreno di confronto.

Misurare la sostenibilità

La valutazione dell'efficacia delle azioni promosse dalle politiche ambientali pone il duplice tema della precisazione di metodi e strumenti di analisi e della definizione dei livelli di prestazione ambientale con i quali il progetto si deve confrontare.

Per quanto riguarda gli strumenti, sono stati intrapresi due differenti percorsi: quello dei sistemi multicriteri di certificazione ambientale, i *Green Building Rating Systems* (GBRSs), che affrontano molteplici tematiche in grado di rappresentare la sostenibilità ambientale del progetto nel suo complesso, e quello dei metodi di misura della quantità degli impatti prodotti nel ciclo di vita, a partire dalla considerazione dei flussi di materia e di energia (Lavagna, 2008).

Nel primo caso la valutazione muove dall'attribuzione di punteggi correlati al rispetto di requisiti ambientali di vario tipo (es. uso di materiali locali, contenuto di riciclato, impiego di materiali rinnovabili) (Poveda e Young, 2014). Nel secondo caso la valutazione si fonda sull'analisi *Life Cycle Assessment* (LCA), grazie alla quale gli effetti delle azioni di trasformazione dell'ambiente costruito possono essere misurati considerando i flussi di risorse e gli impatti ambientali lungo tutte le fasi del ciclo di vita, dall'estra-

business models and new relationship among different actors of resources management (Fig.2).

The maintenance of products quality and value during the entire life cycle is very important. The change of relationship between matter and time promotes a longer use of products, by sharing practices, reuse, re-manufacturing and, finally, recycling. To this reason, the building has to be designed for disassembling of different materials and components. It brings to a building thought as *materials-bank*, that take part of a system based on *urban mining*, where urban mining is a systemic approach of recovery of anthropogenic resources (like products, buildings, spaces) and waste (Baccini et al., 2012). It proposes a long-term conservation of resources in order to achieve environmental and economic benefits.

In this perspective and in accordance with the cradle-to-cradle philosophy (McDonough and Braungart, 2000), materials and elements, at the end of their life, become nutritious for other technical cycles, avoiding the state of waste.

Consequently, the definition of the use paths for the materials chosen, for seeing how they can be dismantled, reused or recycled into other products, becomes very important in the design phase.

In order to achieve these objectives, it is fundamental the activation of innovative business models that considers new types of relationship and new exchange of materials among different operators, through the definition of collaborative networks. It is necessary to act on the value chain, both within the building sector supply chains, and in an intersectoral context, expanding

the system boundaries and opening up to the principles of *industrial ecology*.

Therefore, it is necessary to modify the current situation represented by a large number of small and medium-sized enterprises which don't cooperate (hindering the dissemination of sustainable circular best practices). The sharing of practices/services and the collaboration between different stakeholders implies the definition of economic models, based on sharing economy (encouraging the use of goods) and product-service systems (transforming the concept of ownership). These models facilitate the recovery, reuse, reconditioning or recycling of materials that have reached the end of their useful life, closing the cycle of matter.

Therefore, a vision of design strongly inspired by environmental sustainability principles is defined and the role of

materials and production organization is strategic in it.

There are some experiments about specific examples of cross-sector recycling of by-products or downcycling of construction and demolition waste. But, also in the most virtuous situations, environmental performance assessment systems, that consider the entire life cycle of the material, are still uncertain (Lavagna, 2016; Giorgi et al., 2017). The development and the application of methods and tools that can measure the sustainability of choices, considering the impacts in the different phases of the life cycle, represent the further field for discussion.

Measure the sustainability

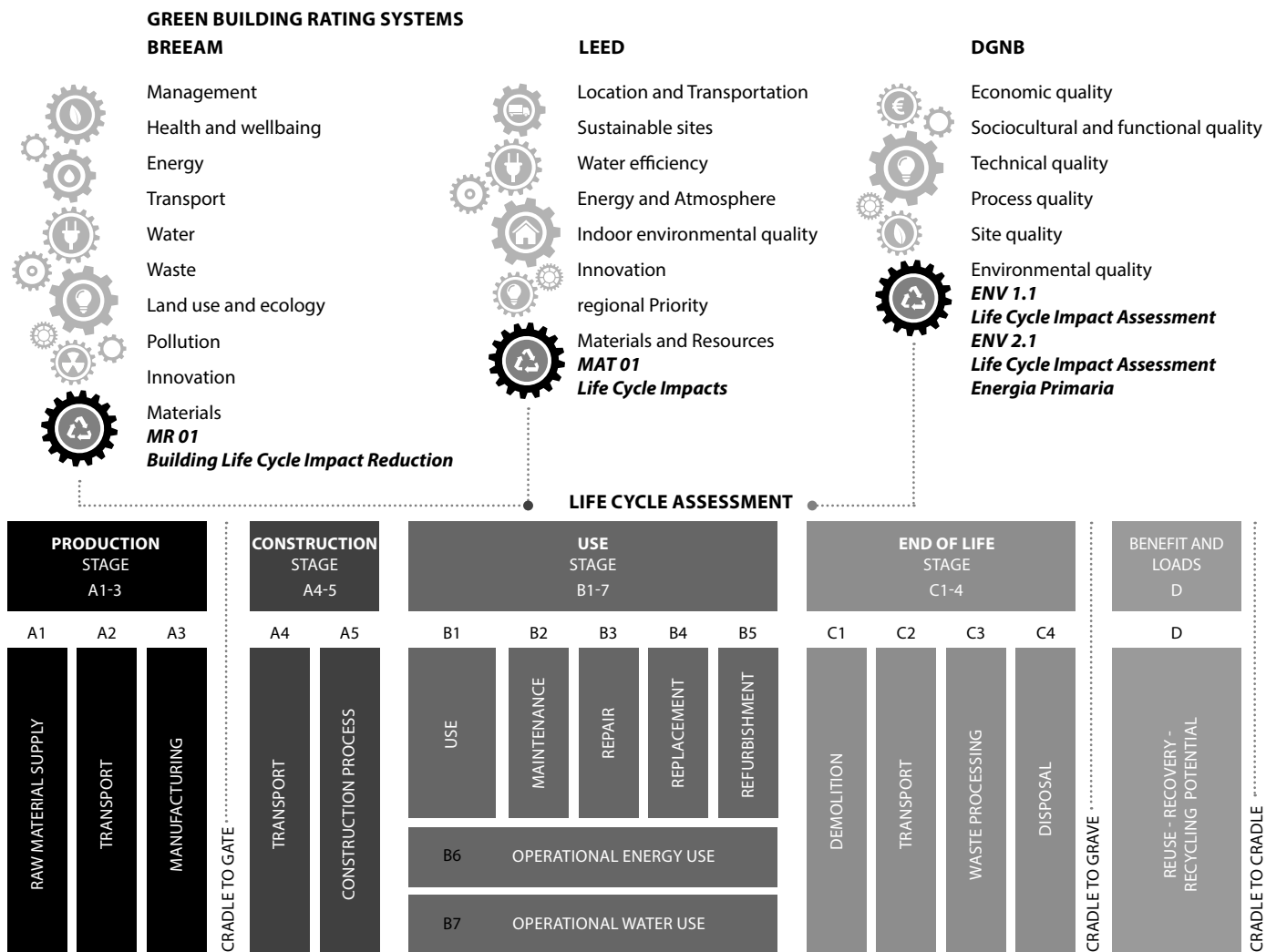
The evaluation of effectiveness of actions promoted by environmental policies shows the twofold theme of the specification of analysis methods and

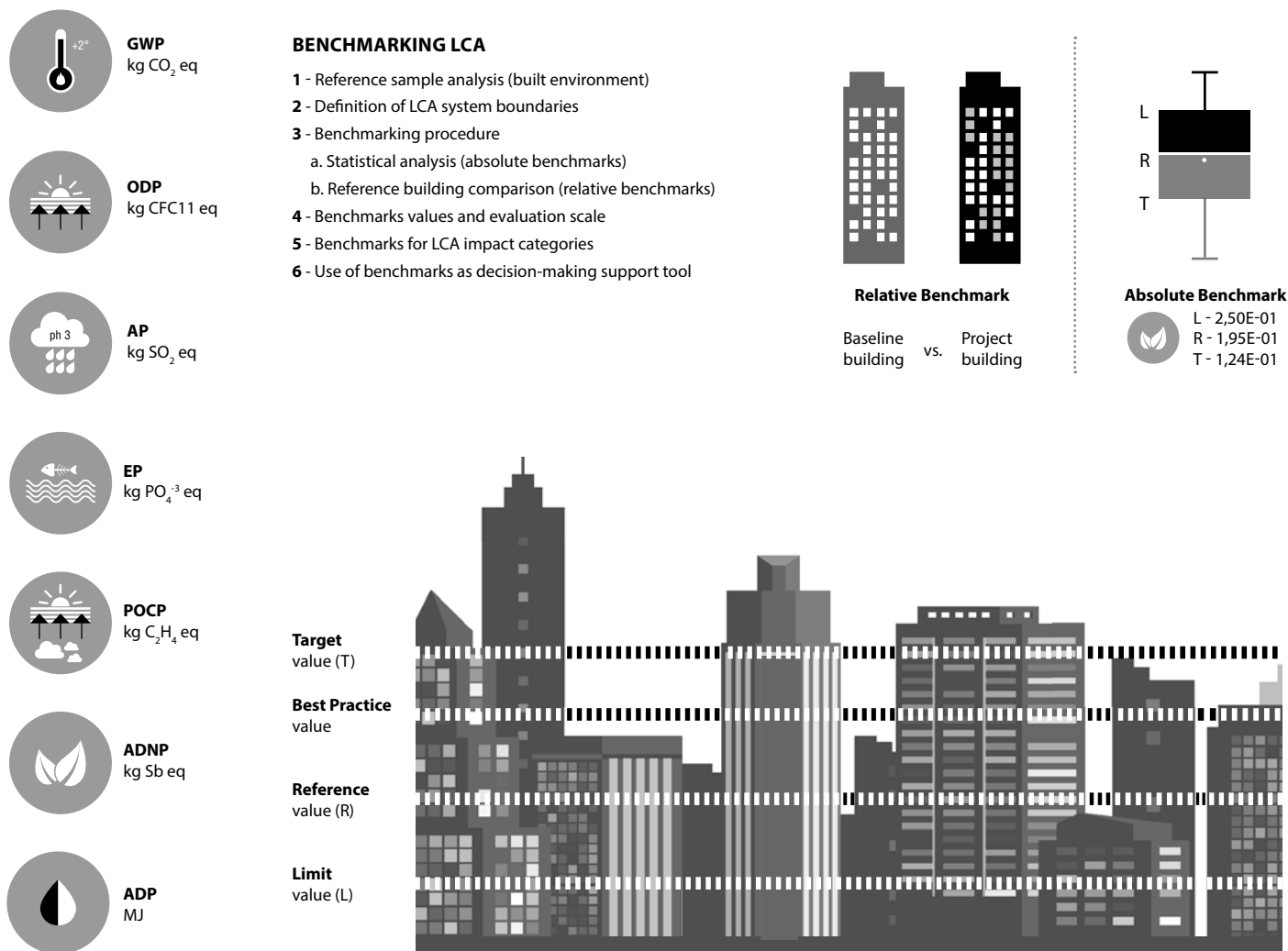
zione delle materie prime alla loro trasformazione, dalla produzione all'assemblaggio e installazione, dalla commercializzazione all'uso, dalla manutenzione alla gestione del fine vita con scenari di riciclo, recupero, riuso o ricondizionamento. Questo permette di descrivere scientificamente le azioni antropiche, evidenziandone gli impatti rilevanti, le minacce relative alla disponibilità delle risorse, gli effetti sulla salute delle persone e sull'ambiente (Pérez-Lombard et al., 2009). La metodologia LCA consente di comprendere dove si collocano le maggiori opportunità per ridurre gli impatti ambientali durante l'intero ciclo di vita e per evitare spostamenti dei carichi ambientali tra fasi, categorie di impatto, gruppi sociali e aree geografiche (Fig. 3). Per questo motivo, numerosi GBRs hanno introdotto indicatori LCA nei criteri relativi ai materiali e hanno promosso l'impiego di prodotti dotati di

certificazione EPD, consentendo di individuare in fase di progettazione la migliore opzione materiale sulla base di informazioni ambientali verificate (Ganassali et al., 2016).

La valutazione della sostenibilità ambientale del progetto è legata al tema della definizione di soglie ambientali di riferimento, chiamate *benchmark*, assunte all'interno dei processi per misurare il livello di sostenibilità di un materiale, di un sistema e di un edificio progettato (Ganassali et al., 2017). Su questo fronte si è ancora lontani dall'obiettivo di un quadro definito e condiviso: al fianco di *benchmark* individuati attraverso la modellazione delle prestazioni ambientali di un edificio virtuale elaborato sulla base della prassi costruttiva corrente, vi sono *benchmark* costruiti attraverso l'elaborazione statistica delle prestazioni ambientali di un preciso campione di riferimento.

03 |





04 | Benchmark ambientali per il settore delle costruzioni
Environmental benchmarks for the construction sector

tools and the definition of environmental performance levels with which the project must be compared.

Regarding the tools, two different paths were undertaken: the environmental multicriteria certification systems, called *Green Building Rating Systems* (GBRSs), which deal multiple themes that can represent the environmental sustainability of the whole project; the tools for measuring the quantity of impacts produced in the life cycle, starting from flows of matters and energy (Lavagna, 2008).

In the first case, the evaluation is based on the attribution of scores related to the achievement of multiple environmental requirements (i.e. the use of local materials, the recycled content, the use of renewable materials) (Poveda and Young, 2014). In the second case, the assessment is based on the Life Cycle Assessment (LCA), which allows

to measure the transformation effects of the built environment, considering the flows of resources and the impacts throughout the life cycle phases, from the extraction of raw materials to their transformation, from the manufacturing to assembly and installation on-site, from the maintenance to the end-of-life with recycling, recovery, reuse or reconditioning scenarios. This allows to describe anthropic actions scientifically, highlighting the relevant impacts, the threats related to the availability of resources, the effects on human health and the environment (Pérez-Lombard et al, 2009). The LCA methodology allows to understand the opportunities to reduce the environmental impacts during the entire life cycle and the opportunities to avoid shifts of environmental loads among different phases, impact categories, social groups and geographic areas (Fig.

3). For this reason, many GBRSs have introduced LCA indicators in their criteria related to building materials, promoting the use of products with EPD certification and allowing the identification of the best material choices in compliance with verified environmental information (Ganassali et al, 2016). The evaluation of the environmental sustainability of the project is linked to the theme of environmental thresholds definition, called *benchmarks*. They are assumed within the measurement processes of the environmental sustainability levels of materials, systems and buildings (Ganassali et al, 2017). On this topic, we are still far from the definition of an objective and shared framework: alongside *benchmarks* defined through the modelling of environmental performances of a reference building (which it is based on the current construction practice), there are

benchmarks defined through the statistical analysis of environmental performances of a specific study sample.

In this context, the project activity is in a situation of substantial uncertainty compared to the possibility of verifying the effective environmental performances improvement in a perspective able to consider the entire life cycle of materials. The diffusion of environmental information, starting from those related to the materials, has a dominant role for design choices more and more environmentally conscious (Fig. 4).

Integration of the environmental information

The suggested life cycle-oriented design leads a paradigm shift in the way of considering the materials: from things (i.e. products and technologies) to systems (in relation to each

In questo contesto l'attività progettuale si trova in una situazione di sostanziale incertezza rispetto alla possibilità di verificare l'effettivo miglioramento delle prestazioni ambientali in una prospettiva capace di considerare l'intero ciclo della materia; la diffusione delle informazioni ambientali, a partire da quelle relative ai materiali, riveste pertanto un ruolo determinante per scelte di progetto sempre più consapevoli dal punto di vista ambientale (Fig. 4).

Integrare l'informazione ambientale

Il riferimento a una progettazione orientata a considerare il ciclo di vita induce un cambiamento di paradigma circa il modo di considerare i materiali: da cose (cioè prodotti e tecnologie) a sistemi (in relazione tra loro e l'ambiente circostante) concepiti nell'intero ciclo di vita (Boecker et al., 2009). Si tratta di un processo non immediato e assai complesso in ragione dei diversi soggetti coinvolti e della consistente quantità di informazioni da considerare e reperire, strettamente legate ai requisiti di progetto (Dalla Valle et al., 2018).

Tale condizione porta a riflettere su come le informazioni ambientali possano essere integrate all'interno del processo di progettazione, definendo diversi livelli di approfondimento in relazione alle diverse fasi (Riese, 2011), al fine di selezionare materiali e prodotti anche sulla base di criteri *life cycle* (Ortiz et al., 2009).

Partendo dal presupposto che il processo progettuale è iterativo, generalmente la considerazione delle caratteristiche dei materiali entra nel processo decisionale solo dopo la definizione dell'articolazione volumetrica e dell'organizzazione spaziale e funzionale. La scelta dei materiali avviene a seguire in modo progressivo, procedendo dagli elementi tecnologici principali a

quelli secondari e ausiliari e selezionando gradualmente i diversi materiali. Sempre più spesso oltre alle caratteristiche tecniche ed estetiche vengono presi in considerazione parametri ambientali quali *Embodied Energy* e *Embodied Carbon*, reperiti da banche dati con particolare riferimento alla fase di produzione. Una volta definite in modo dettagliato le diverse stratigrafie, la complessità della fase decisionale aumenta ulteriormente con il processo di comparazione e selezione di prodotti specifici. Coerentemente alle tendenze in corso e in linea con una visione *life cycle*, essi vengono esaminati dai punti di vista: fisico, valutando proprietà, caratteristiche e prestazioni; ambientale, valutando gli impatti ambientali (ad esempio tramite EPD); in alcuni casi sociale, valutando gli ingredienti contenuti e le possibili ricadute sulla salute umana (ad esempio tramite HPD – *Health Product Declaration*) e, ovviamente, economico (Arroyo et al., 2012). In questo modo in fase di progettazione lo sguardo viene esteso dalla fase di produzione e costruzione alla fase d'uso e di fine vita, considerando per ogni prodotto le attività di manutenzione e sostituzione, il relativo contenuto VOC e di riciclato, le distanze per il trasporto dallo stabilimento al sito di cantiere (Kohler e Lützkendorf, 2002). Sulla base dei suddetti parametri, il processo di confronto tra i diversi prodotti e produttori si conclude così con l'individuazione dei prodotti di riferimento per ogni elemento tecnologico.

Lungo questo percorso è importante che le informazioni utilizzate vengano organizzate in modo sistematico attraverso l'utilizzo di adeguati strumenti e in questa direzione il *Building Information Modeling* (BIM) offre interessanti opportunità. Esso, infatti, permette non solo di definire progressivamente gli elementi tecnologici (in accordo con LOD – *Level of Development*),

other and the surrounding environment) conceived in the whole life cycle (Boecker et al., 2009). This process is not immediate and it is very complex, due to the several actors involved and the large amount of information to be considered and gathered, closely related to the project requirements (Dalla Valle et al., 2018).

This condition leads to think over on how environmental information can be integrated into the design process, defining different depth level in relation to the different phases (Riese, 2011), with the aim to select materials and products also based on life cycle criteria (Ortiz et al., 2009).

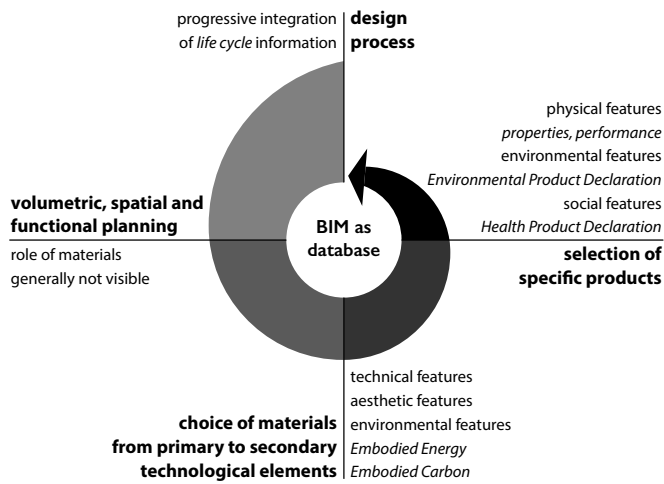
Starting with the assumption that the design process is iterative, usually materials deliberations affect the decision-making process only after the definition of the volumetric articulation and the spatial and func-

tional organization. Materials choices occur after that in a progressive way, moving forward from primary to secondary and auxiliary technological elements and selecting step by step the different materials. Always more often, in addition to the technical and aesthetic features, environmental parameters are taken into consideration, dealing with *Embodied Energy* and *Embodied Carbon* sourced from database with special attention to the production phase. Once the set of stratigraphy is defined in detail, the complexity of the decision-making increases further with the process of comparison and selection of specific products. Consistently with current trends and with a life cycle perspective, products are evaluated from the following points of view: physical, accounting properties, characteristics and performances; environmental, ac-

counting environmental impacts (e.g. by means of EPD); in some cases, social, accounting ingredients contained and the possible impacts on human health (e.g. by means of HPD – *Health Product Declaration*); and, of course, economic (Arroyo et al., 2012). In this way, the design phase embraces not only the production and construction phases but also the use and end of life phases, considering for each product the maintenance and replacement activities, the VOC emissions, the recycled content, the transport distance from the factory to the construction site (Kohler and Lützkendorf, 2002). Based on the quoted parameters, the process of comparison between the several products and producers ends with the identification of the products for each technological element. Along this path it is important to organize in a systematic way the set of

information used with the support of adequate tools and, in this direction, *Building Information Modeling* (BIM) offers interesting opportunities. In fact, it allows not only to progressively define the technological elements (according to LOD – *Level of Development*), but at the same time to integrate the various information into the building elements and objects and to track information between the different project actors and within the entire building process (Fig. 5).

The integration of life cycle information into a virtual model and, consequently, the creation of an information database of the project becomes particularly strategic to optimize the information flow among the various subjects involved, as well as the design process itself and the overall management of the building and related materials along the entire life cycle.



ma consente allo stesso tempo di incorporare negli elementi e negli oggetti dei manufatti le varie dimensioni informative e di tracciare le informazioni tra i diversi operatori del progetto e dell'intero processo edilizio (Fig. 5).

L'integrazione delle informazioni *life cycle* all'interno del modello virtuale e, di conseguenza, la creazione di un *database* informativo del manufatto diventa particolarmente strategica per ottimizzare il flusso di informazioni tra i diversi soggetti coinvolti, nonché il processo di progettazione stesso e la gestione complessiva dell'edificio e dei relativi materiali nel loro intero ciclo di vita.

Nuove competenze, nuove professionalità

A fronte di tali esigenze, all'interno degli studi di progettazione (ma non solo) stanno emergendo nuove figure professionali, specializzate nella conoscenza, nell'uso e nel ciclo di vita dei materiali. In tal senso è stato condotto un sondaggio a livello internazionale tra studi di progettazione (Dalla Valle et al., 2016), che ha evidenziato la presenza di queste competenze, seppur affermate in maniera disomogenea e fortemente influenzata dalla dimensione della struttura. Per dare risposta sia alle questioni tecniche sia di innovazione e sostenibi-

lità, infatti, numerosi studi di grandi dimensioni si sono attrezzati creando al loro interno centri di ricerca e di informazione specializzati su tradizionali e nuovi materiali, prodotti e tecnologie. Altre strutture di progettazione, invece, possiedono al loro interno gruppi di esperti specializzati su materiali, fornendo competenze specifiche sia in relazione alle informazioni ambientali dei prodotti, sia alle possibili ripercussioni sulla salute degli utenti. In alcuni casi, la volontà di includere alcuni esperti in materia e di non istituire un centro strutturato di informazione sui materiali è dettata dal fatto che quest'ultimo risulta maggiormente impegnativo in termini di risorse.

Invece, quando per ragioni economiche e/o organizzative tali competenze non sono presenti internamente, le strutture di progettazione si affidano a partner esterni per soddisfare gli specifici requisiti progettuali. Ciò accade spesso per gli studi di media dimensione ma, in maniera puntuale, anche per gli studi di grandi dimensioni. Inoltre, è possibile che studi di grandi dimensioni, pur incorporando al loro interno tutte le competenze richieste, preferiscano anche essere supportati da consulenti esterni che conoscono meglio i requisiti e le necessità locali, ciò al fine di valorizzare maggiormente il progetto dal punto di vista dei materiali e della qualità dei prodotti utilizzati (Fig. 6).

La diffusione delle nuove figure professionali specializzate e competenti, necessita di una fondamentale attività di formazione sia per orientare il processo decisionale verso la sostenibilità sia per integrare in maniera sistematica in un unico *database* (ben rappresentato dai modelli BIM) le informazioni riferite all'intero ciclo di vita dei materiali.

In questo processo di aggiornamento sono ugualmente coinvolti tutti gli attori della filiera: committente, progettisti e tutti i

New competences, new expertise

To face these needs, new expertise specialized in the know-how and life cycle of materials are emerging within the design firms (but not only). With the aim to deepen the current state, a questionnaire survey was spread at international level among several design firms (Dalla Valle et al., 2016), highlighting the presence of these competences, although in a non-homogeneous way and strongly influenced by the firm size. In fact, to give answer to both the technical and innovation and sustainability issues, many big-size firms have equipped themselves with research and information centers dedicated to traditional and new materials, products and technologies. Instead, other design firms embrace group of experts specialized in materials, providing specific competences both in relation to the environmental information of the

products and to the possible impact on the health of users. In some cases, the willingness to embed only punctual experts on the matter and to not set up a structured information center on materials is due to the fact that the latter is more demanding in terms of resources.

On the contrary, when for economic and/or organizational reasons these competences are not available in-house, the design firms rely on external partners to meet the specific project requirements. This happens often within medium-size firms as well as, in some instances, within big-size firms. Indeed, it is possible that, despite holding internally all the demanded competences, big-size firms prefer to be supported by external consultants, since better acquainted with local requirements and needs and so able to enhance the project from the point of

view of materials and products quality (Fig. 6).

The spread out of new competences and expertise demands an improvement of the training activity, both to orient the decision-making process towards sustainability and to integrate in a systematic way the life cycle information of materials inside a single database (well represented by BIM models).

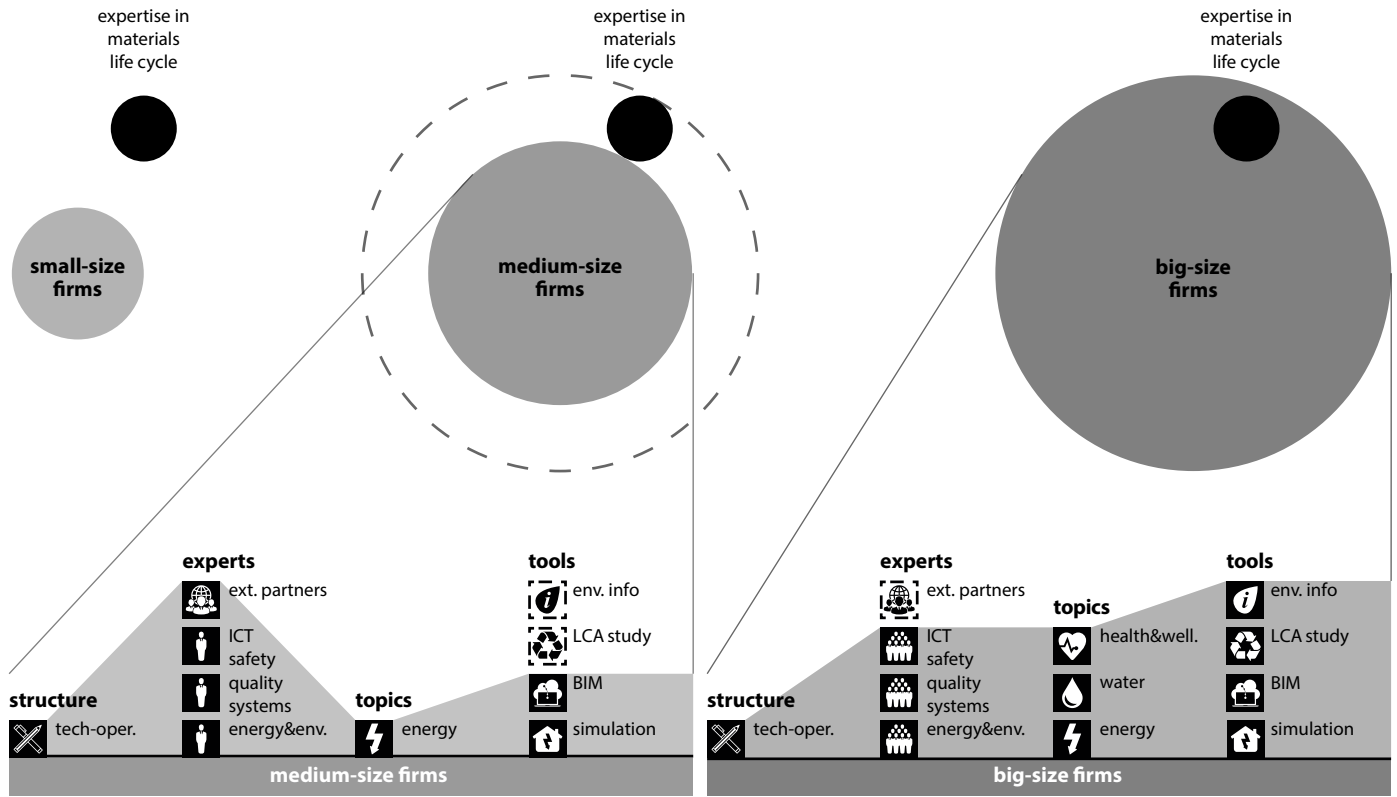
All the actors are equally involved in this process of updating: clients, designers and all the subject engaged in the production, construction, use and end of life phases.

Conclusion

In the design process, the consideration of environmental aspects in the life cycle of different material options is an unavoidable priority. The achievement of high material perfor-

mances in the environmental indicators poses a double challenge to the project. The first one concerns the relationship between projects and materials. The researches carried out in recent years on the *bio-based* materials side are emblematic; they show the possibility to design the material features not only from the technical performance point of view (e.g. the composite materials), but also from the environmental point of view. Furthermore, there is the opportunity to optimize the production processes, in order to reduce the phases that cost resources and impacts.

Similarly, the reference to construction technologies needs a drastic afterthought. The research must be oriented toward the development of solutions able to reduce the content of materials and the impacts produced during the life cycle. Even in the build-



06 | Competenze ambientali e life cycle nelle strutture di progettazione
Environmental and life cycle competences within the design firms

soggetti coinvolti nelle fasi di produzione, costruzione, uso e fine vita.

Conclusioni

All'interno del processo di progettazione, la considerazione degli aspetti ambientali nel ciclo di vita delle diverse opzioni materiche costituisce una priorità ineludibile. L'obiettivo del raggiungimento di elevate prestazioni dei materiali rispetto agli in-

dicatori ambientali, pur nella complessità del quadro esigenziale al quale il progetto deve corrispondere, pone al progetto una duplice sfida.

La prima riguarda il rapporto tra progetto e materia. Le ricerche attivate in questi anni sul versante dei materiali *bio-based* sono emblematiche della possibilità di progettare le caratteristiche dei materiali non più soltanto dal punto di vista delle prestazioni tecniche, come è accaduto con l'avvento dei materiali compositi, ma anche dal punto di vista delle prestazioni ambientali. Inoltre,

ing sector it is better to use the *lean production* logics, now widely tested in many industrial sectors. In even more radical terms, the systematic reference to production methods based on prefabrication and "dry assembly" is required. It follows the *design for disassembling* logics, long theorized and experimented in *industrial design* (Manzini e Vezzoli, 2008).

The second challenge is more ambitious. It imposes the reorganization and the rethinking of the building supply chain boundaries and the new positioning of design process in this new scenario. On one side, the "vertical" organization among different operators and internal processes of construction sector must be improved, attributing a widespread relevance to the design dimension. On the other side, cooperation and cross *partnership* actions must be promoted, in order to in-

volve all the industrial sectors outside the building sector.

Thinking about the architectural project in terms of life cycle of materials means thinking to a deep influence and fusion between design, production and use processes.

si apre l'opportunità di ottimizzare i processi di produzione dei materiali al fine di ridurre le fasi più onerose dal punto di vista del consumo delle risorse e degli impatti prodotti. Analogamente anche il riferimento alle tecnologie costruttive necessita un drastico ripensamento. La ricerca si deve orientare alla messa a punto di soluzioni in grado di ridurre il contenuto di materia e gli impatti prodotti nel ciclo di vita. Si tratta di trasferire anche in edilizia le logiche della *lean production* ormai ampiamente colaudate in molti settori industriali. In termini ancora più radicali, si impone il riferimento sistematico a modalità produttive basate sulla prefabbricazione e sull'assemblaggio a secco, seguendo le logiche del *design for disassembling*, da tempo teorizzate e sperimentate nell'*industrial design* (Manzini e Vezzoli, 2008). La seconda sfida è ancora più ambiziosa. Essa impone la riorganizzazione e il ripensamento dei confini della filiera delle costruzioni e il riposizionamento della progettazione all'interno di questa nuova perimetrazione. Da un lato deve essere potenziata l'organizzazione "verticale" tra i diversi operatori e le diverse fasi dei processi interni al settore delle costruzioni attribuendo una diffusa centralità alla dimensione progettuale. Dall'altro, devono essere incentivate tutte quelle azioni di cooperazione e di *partnership* trasversale che riescano a coinvolgere in modo esteso anche i settori industriali esterni alle costruzioni. Pensare al progetto di architettura in termini di ciclo della materia significa innanzitutto pensare a una profonda contaminazione e fusione tra processo di progettazione, processo di produzione e processo d'uso.

REFERENCES

- Arroyo, P., Tommelein, I. and Ballard, G. (2012), "Deciding a sustainable alternative by 'choosing by advantages' in the AEC industry", *20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, San Diego, CA, USA.
- Baccini, P. and Brunner, P.H. (2012), *Metabolism of the anthroposphere: analysis, evaluation, design*, MIT Press, Cambridge, MA, USA.
- Boecker, J., Horst, S., Keiter, T., Lau, A., Sheffer, M. and Toevs, B. (2009), *The integrative design guide to green building*, Wiley, New Jersey, USA.
- Campioli, A. and Lavagna, M. (2013), "Environmental innovations in the construction sector and life cycle approach", *Techné Journal of Technology for Architecture and Environment*, No. 5, pp. 66-73.
- Dalla Valle, A., Lavagna, M. and Campioli, A. (2016), "Change management and new expertise in AEC firms: improvement in environmental competence", *41st IAHS World Congress*, Albufeira, P.
- Dalla Valle, A., Lavagna, M. and Campioli, A. (2018), "Matching Life Cycle Thinking and design process in a BIM-oriented working environment", *12th Italian LCA Network Conference*, Messina.
- Eurostat (2016), *Key figures on Europe*, Belgium, pp. 161-164.
- Ganassali, S., Lavagna M. and Campioli, A. (2017), "Benchmark LCA e uso di EPD nei Green Building Rating System", *XI Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA 2017*, Siena.
- Ganassali, S., Lavagna, M. and Campioli, A. (2016), "LCA benchmarks in buildings environmental certification systems", *41st IAHS World Congress*, Albufeira, P.
- Giorgi, S., Lavagna, M. and Campioli, A. (2017), "Economia circolare, gestione dei rifiuti e life cycle thinking: fondamenti, interpretazioni e analisi dello stato dell'arte", *Ingegneria dell'Ambiente*, No. 4, Vol. 3, pp. 241-254.
- Kohler, N. and Lützkendorf, T. (2002), "Integrated life-cycle analysis", *Building research and information*, No. 30, Vol. 5, pp. 338-348.
- Lavagna, M. (2008), *Life Cycle Assessment in edilizia: progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*, Hoepli, Milan.
- Migliore, M. and Talamo, C. (2017), *Le utilità dell'inutile. Economia circolare e strategie di riciclo dei rifiuti pre-consumo per il settore edilizio*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna, Rimini.
- Manzini, E. and Vezzoli, C. (2008), *Design for Environmental Sustainability*, Springer, London, UK.
- McDonough, W. and Braungart, M. (2002), *Cradle to Cradle: remaking the way we make things*, North Point Press, New York, USA.
- Ortiz, O., Castells, F. and Sonnemann, G. (2009), "Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA", *Construction and Building Materials*, No. 23, pp. 28-39.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., Gonzàles, R. and Maestre, I.R. (2009), "A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes", *Energy and Buildings*, No. 41, pp. 272-278.
- Poveda, C.A. and Young, R. (2014), "Potential benefits of developing and implementing environmental and sustainability rating systems: making the case for the need of diversification", *International Journal of Sustainable Built Environment*, No. 4, pp. 1-11.
- Riese, M. (2012), "Technology-augmented changes in the design and delivery of the built environment", *Communications in Computer and Information Science*, No. 242, pp. 49-69.