

Monica Lavagna (a cura di)

# LCA IN EDILIZIA

**Ambiti applicativi e orientamenti futuri della metodologia  
Life Cycle Assessment nel settore delle costruzioni**



politecnica

  
MAGGIOLI  
EDITORE

La metodologia *Life Cycle Assessment* si sta affermando a livello internazionale come riferimento per valutare l'impatto ambientale di prodotti, processi e servizi. Il suo uso nel settore edilizio, sia alla scala dell'intero edificio sia alla scala dei materiali e prodotti, è particolarmente importante per evitare fenomeni di *greenwashing*, per dimostrare l'efficacia in termini di sostenibilità ambientale di scelte strategiche progettuali o produttive e per orientare le politiche ambientali.

L'Associazione Rete Italiana LCA, ambito in cui nasce questo libro, è stata creata con lo scopo di promuovere l'uso della metodologia LCA e di favorire scambi virtuosi di conoscenze e di esperienze tra studiosi ed esperti a livello nazionale. Questo libro raccoglie i contributi dei partecipanti al Gruppo di Lavoro Edilizia dell'Associazione e restituisce un quadro attuale e variegato di temi, ambiti applicativi e declinazioni metodologiche utili per chi opera nel settore edilizio.

Questo testo è destinato proprio agli operatori del settore edilizio: progettisti, produttori, costruttori, pubbliche amministrazioni, committenti possono trarre utile conoscenza dal quadro che viene delineato e dalle riflessioni critiche che emergono dai vari contributi, acquisendo consapevolezza sulle potenzialità della metodologia LCA. Nondimeno il libro è destinato a chi si occupa di LCA e vuole esplorare le modalità di applicazione e gli ambiti di interesse per il settore edilizio.

Il libro è articolato in quattro parti corrispondenti ad ambiti di interesse e attualità: Decarbonizzazione e stoccaggio di carbonio, Economia circolare, Progettazione *Life Cycle* e Strumenti di valutazione e certificazione ambientale *LCA-based*.

*Autori: Francesco Asdrubali, Alessandra Battisti, Corrado Carbonaro, Olga Carcassi, Tecla Caroli, Manuela Crespi, Anna Dalla Valle, Sara Ganassali, Stefania Ganz, Gioia Garavini, Roberto Giordano, Serena Giorgi, Gianluca Grazieschi, Guillaume Habert, Aldo Iacomelli, Giuliana Iannaccone, Monica Lavagna, Adriano Magliocco, Cristina Mazzola, Alessia Medici, Elena Montacchini, Carol Monticelli, Elisabetta Palumbo, Sandra Persiani, Chiara Piccardo, Francesco Pittau, Francesca Reale, Silvia Tedesco, Francesca Thiebat, Salvatore Viscuso, Alessandra Zanelli, Alessandra Zamagni*

## Serie **Tecnologia, sostenibilità e Life Cycle Assessment**

La Serie raccoglie studi inerenti al rapporto tra architettura e sostenibilità, con attenzione agli aspetti costruttivi, alle scelte tecniche e all'organizzazione dei processi.

La sostenibilità viene indagata secondo l'approccio al ciclo di vita, concentrando l'interesse sugli aspetti ambientali e i relativi metodi di valutazione, con particolare riferimento al Life Cycle Assessment.

Responsabili scientifici: Andrea Campioli, Monica Lavagna

Comitato Scientifico: Ernesto Antonini, Roberto Bologna, Eliana Cangelli, Maria Cristina Forlani, Roberto Giordano, Maria Teresa Lucarelli, Adriano Magliocco, Massimo Perriccioli, Valeria Tatano, Maria Chiara Torricelli, Fabrizio Tucci

Il presente testo è stato pubblicato nella versione digitale Open Access grazie al contributo dell'Associazione Rete Italiana LCA. La pubblicazione raccoglie i saggi elaborati dai partecipanti A Gruppo di Lavoro Edilizia dell'Associazione Rete Italiana LCA.



Il testo è stato sottoposto al processo di *double blind peer review*.

© Copyright 2022 degli Autori

ISBN 978-88-916-5580-6

DOI 10.30448/UNI.916.55806

<https://doi.org/10.30448/UNI.916.55806>

Open Access Creative Commons license

CC BY-NC-ND 4.0 International Attribution - Non commercial – No Derivative



Pubblicato nel mese di Luglio 2022

Maggioli Editore è un marchio di Maggioli S.p.A.

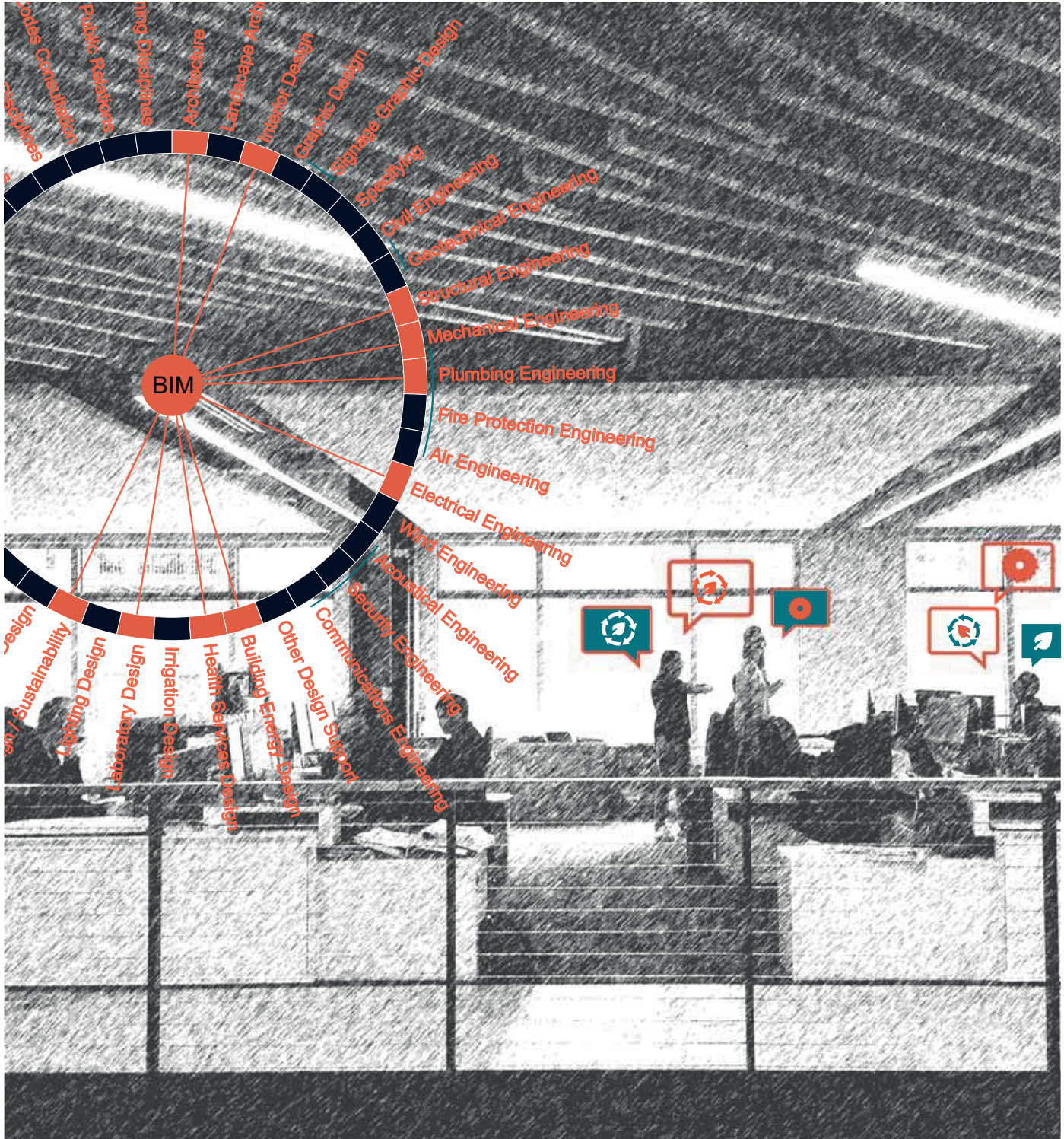
Azienda con sistema qualità certificato ISO 9001:2015

47822 Santarcangelo di Romagna (RN) • Via del Carpino, 8

Tel. 0541/628111 • Fax 0541/622595

[www.maggiolieditore.it](http://www.maggiolieditore.it)

e-mail: [clienti.editore@maggioli.it](mailto:clienti.editore@maggioli.it)



## 3.2 Informazioni LCA come driver del processo decisionale nelle strutture di progettazione: creazione di un life cycle database di progetto in ambiente BIM

Per rispondere agli obiettivi dettati dalla Agenda 2030, è oggi più che mai necessario coinvolgere i principali attori responsabili dell'ambiente costruito: le società di architettura, di ingegneria ma anche le imprese di costruzione (*AEC firms*) al fine di implementare al loro interno – nel loro modo di progettare e di agire – una prospettiva *life cycle*. A partire dall'esplorazione etnografica della pratica corrente in termini di: i) competenze coinvolte; ii) strumenti utilizzati; e iii) dati attualmente considerati, nonché del relativo flusso di informazione e impatto all'interno del processo decisionale, il contributo mira a supportare le strutture di progettazione nel passaggio dalla pratica attuale alla pratica *life cycle*. A tal fine viene proposto un *assessment framework* per supportare nel cambiamento gli operatori coinvolti, ripartendo i ruoli e attivando a partire dalle prime fasi del processo edilizio un flusso di informazioni orientato alla raccolta sistematica delle informazioni *life cycle* per realizzare un *life cycle database* di progetto in ambiente BIM. Esso permette non solo di accrescere la consapevolezza e il *know-how* riferito al ciclo di vita degli edifici, ma anche di agevolare la fase di inventario necessaria per lo sviluppo di studi *Life Cycle Assessment* e *Life Cycle Costing* e quindi la loro applicazione nel settore edilizio.

### 3.2.1 Implementazione di studi LCA nelle strutture di progettazione

A fronte degli ingenti impatti ambientali causati dal settore delle costruzioni, l'implementazione di una prospettiva *life cycle* viene sempre più promossa non solo a livello internazionale dai *Sustainable Development Goals* ma anche dai *Green Building Rating System* (es. LEED, BREEAM, DGNB). Le strutture di progettazione vengono così sempre più sollecitate ad eseguire studi *life cycle* in fase di progetto (Anand e Amor, 2017; Renz et al, 2016; Dossche et al, 2017) al fine di: i) operare scelte consapevoli a lungo termine e più precisamente nell'intero ciclo di vita dal punto di vista ambientale (LCA – *Life Cycle Assessment*) ma in alcuni casi anche economico (LCC – *Life Cycle Costing*); ii) favorire e rafforzare la sensibilità dei diversi professionisti circa gli impatti causati dal settore edilizio; iii) promuovere un cambio di mentalità nel modo di pensare, agire e operare necessario per salvaguardare le risorse disponibili e tutelare l'ambiente senza comprometterne il loro utilizzo alle generazioni future. È importante però sottolineare che se i primi due intenti mirano, tramite la quantificazione e valutazione, a rendere i progettisti consapevoli degli impatti degli edifici nell'intero ciclo di vita; il terzo intento intende impegnare personalmente i progettisti a ridurre in fase di progettazione tali impatti, garantendo al tempo stesso le performance e le qualità richieste. In quest'ultimo caso, viene quindi completamente cambiato il ruolo che i progettisti rivestono in prospettiva *life cycle*: da passivo, quando svolgono tali attività esclusivamente in quanto imposte e richieste da terzi (es. committenti, certificazioni, normative), ad attivo, quando vengono mossi da una volontà propria, facendo diventare l'approccio *life cycle* come

**Anna Dalla Valle**

Architetto, PhD e assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito (ABC) del Politecnico di Milano, Unità di ricerca LifeCycleTEAM.

E-mail: [anna.dalla@polimi.it](mailto:anna.dalla@polimi.it)

parte integrante della filosofia progettuale e del processo decisionale, in modo sistemico ed olistico (Boecker et al, 2009; Rusu e Popescu, 2018).

Per supportare le strutture di progettazione nel soddisfacimento dei primi due intenti, nel corso degli anni sono stati sviluppati numerosi software LCA specifici per il settore edilizio per avvicinare e semplificare la metodologia LCA anche ai non esperti (Al-Ghamdi e Bilec, 2017). Inizialmente si è trattato di software *stand-alone* (es. Legep, Athena, OpenLCA) che, rispetto ai tradizionali software LCA (es. SimaPro e Gabi), contengono solo i *dataset* relativi ai materiali e ai processi caratteristici per il settore delle costruzioni (spesso la gamma è limitata) e presentano un'interfaccia *user-friendly* a discapito però della trasparenza delle informazioni contenute, che si configurano spesso come *black box*. In seguito, dal momento che tali strumenti venivano utilizzati solo a progetto finito e non influivano quindi sulle scelte progettuali, sono state sviluppate diverse metodologie volte a sfruttare le potenzialità offerte dal BIM – *Building Information Modeling* (Succar e Kassem 2015; Lu et al, 2017), in quanto metodo attualmente adoperato per la progettazione (ma non solo). Scopo è di rendere interoperabili i database LCA con il BIM in modo tale da promuovere in fase di progettazione lo sviluppo di studi LCA (Kovacic e Zoller, 2015; Röck et al, 2018; Soust-Verdaguer et al, 2017), in alcuni casi combinati con le più svariate analisi progettuali (Jalaei e Jrade, 2014; Santos et al, 2019), al fine di incidere più profondamente sul processo decisionale. Per facilitare ulteriormente l'applicazione della metodologia LCA in fase progettuale ed evitare processi manuali (permanenti anche nelle metodologie LCA-BIM) soprattutto per l'elaborazione dell'inventario, che costituisce per i progettisti la fase più impegnativa, sono stati sviluppati software LCA intesi come BIM *plug-in* (es. Elodie, Tally) (Bueno e Fabricio, 2018). Fine ultimo è integrare la metodologia LCA direttamente nel BIM per facilitare nel corso del processo e rendere più automatico il calcolo, l'inserimento e l'aggiornamento dei dati di inventario, agevolando l'applicazione LCA a partire dalle prime fasi progettuali. Tuttavia, dal momento che nei metodi integrati LCA-BIM permane il problema della mancanza di informazioni nelle fasi di *concept*, sono stati sviluppati ulteriori metodi per supportare i progettisti ad applicare valutazioni LCA a inizio progetto. Essi, in particolare, orientano le scelte preliminari tramite funzioni di probabilità basate sui cosiddetti *functional database*, ossia banche dati contenenti le informazioni LCA di tutte le soluzioni tecnologiche e i materiali da costruzione comunemente adoperate nel contesto di riferimento (Dupuis et al., 2017; Rezaei et al, 2019). Obiettivo primario è infatti non solo quantificare gli impatti ambientali scaturiti dal progetto/edificio in esame quanto quello di influire sul processo decisionale, anticipando quindi le valutazioni LCA alle fasi preliminari, dove le scelte cruciali vengono intraprese, e non a progetto finito, quando vi è poco margine per effettuare modifiche, ottimizzazioni e miglioramenti. Tale obiettivo va però a scontrarsi con il fatto che per elaborare uno studio LCA di edificio è necessario reperire una notevole quantità di informazioni e dati la maggior parte dei quali vengono stabiliti solo in uno stadio avanzato di progetto (es. materiali e quantità di tutte le parti d'opera). In aggiunta tale fattore risulta particolarmente critico poiché, a differenza degli altri settori industriali dove i prodotti vengono fabbricati in serie, tramite processi e vita utile di breve durata, i manufatti edilizi costituiscono dei sistemi estremamente più complessi, unici e non ripetibili, realizzati tramite processi che coinvolgono innumerevoli operatori, materiali e sotto-processi e generalmente caratterizzati da lunghi cicli di vita. Pertanto, se negli altri ambiti la metodologia LCA può essere applicata a prodotti finiti che possono poi essere migliorati e rimessi in commercio, in edilizia tale processo non è possibile: le scelte intraprese a partire dalle prime fasi progettuali incidono profondamente sull'intero ciclo di vita, conferendo notevoli responsabilità (anche se spesso non accreditate) ai progettisti.

### 3.2.2 Informazioni LCA dalla pratica corrente alla pratica di progettazione *life cycle*

Dato che ad oggi la presenza di *functional database* è spesso inesistente e/o limitata e che la mancanza di informazioni costituisce la principale barriera per effettuare studi LCA a partire dalle prime fasi progettuali, l'attenzione viene di seguito concentrata sulla pratica corrente per comprendere non solo quali sono i dati attualmente disponibili, ma anche come viene attualmente gestito il flusso di informazioni durante il processo. In particolare, l'interesse è volto ai dati quantitativi (*foreground system*), essendo di responsabilità diretta dei progettisti per una valutazione LCA del settore edilizio, tralasciando i dati ambientali associati (*background system*) poiché demandati a database specifici e/o EPD – *Environmental Product Declaration* (EC-JRC 2012).

In quest'ottica, a seguito di un'esplorazione etnografica condotta sul campo<sup>1</sup> all'interno di una struttura di progettazione integrata (*A/E firm*) affermata a livello internazionale e dall'analisi di diversi casi studio, è possibile affermare che alcune informazioni LCA (informazioni quantitative richieste da normativa per lo sviluppo di studi LCA di edificio) vengono attualmente già considerate, coinvolgendo le più svariate discipline. Tuttavia, nonostante il processo decisionale dipenda da progetto a progetto oltre che da un'infinità di fattori al contorno, nella pratica tradizionale tale flusso di informazioni viene inteso come una serie di relazioni univoche tra diversi attori, che forniscono informazioni direttamente (a richiesta) o indirettamente (tramite report) ai soggetti incaricati dell'elaborazione delle analisi ambientali e *life cycle* di progetto.

Ad esempio, gli esperti di energia vengono generalmente incaricati dello sviluppo delle analisi energetiche oltre che, se richiesto, degli studi LCC. Per fare ciò, avendo bisogno di informazioni e dati che dipendono strettamente da altre discipline, essi sono soliti interagire con architetti, ingegneri meccanici, elettrici e idraulici, estimatori e, in alcuni casi, con i produttori stessi per reperire le informazioni di rispettiva competenza utili anche in prospettiva *life cycle*. In questo modo alcune informazioni LCA sono tuttora prese in considerazione, influenzando a seconda dei casi in fasi specifiche o nell'intero processo decisionale. Inoltre, altre informazioni LCA coincidono con le richieste incluse all'interno dei diversi protocolli di sostenibilità per il raggiungimento di alcuni crediti. In questo caso il soggetto incaricato è tipicamente l'esperto di sostenibilità, il quale, se per alcuni crediti è autonomo nella produzione della relativa documentazione, per altri deve coordinarsi con le restanti discipline coinvolte, collaborando con essi ad esempio per tutte le questioni relative a: materiali/prodotti di provenienza sostenibile e a bassa emissione, gestione dei rifiuti da costruzione, impianti volti a migliorare le prestazioni energetiche e la qualità dell'aria interna. Come si evince, la pratica corrente include parte delle informazioni LCA all'interno del processo, svelandone la loro potenziale disponibilità a supporto di studi LCA. Il problema è che ad oggi, nonostante la gamma di software disponibili sul mercato, le strutture di progettazione sono ben lontane dall'adottare un approccio *life cycle* e le informazioni LCA, facendo riferimento a molteplici discipline affrontate nei più svariati documenti, sono difficili da rintracciare e collezionare, implicando un notevole dispendio di tempo e risorse.

Per sopperire a tale condizione, il BIM risulta essere una soluzione praticabile, offrendo la possibilità ai diversi progettisti non solo di modellare i rispettivi sistemi di competenza ma anche di arricchire il modello con una serie potenzialmente infinita di attributi informativi, incluse le informazioni LCA. L'aspetto particolarmente vantaggioso è che, ove possibile, le informazioni e i dati di un qualsiasi prodotto/componente/sistema sono strettamente correlati al rispettivo oggetto nel modello geometrico tridimensionale, creando un complesso sistema

<sup>1</sup> Dalla Valle A., 2019. *Environment-driven Change Management in AEC Firms*, Tesi di dottorato, supervisors: Prof. Andrea Campioli, Prof. Monica Lavagna, Ph.D. Program Architecture, Built Environment and Construction Engineering, XXXI cycle, Politecnico di Milano, Dipartimento ABC.

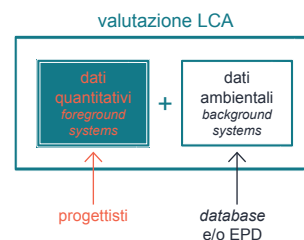


Figura 3.2.1 Focus sulle informazioni LCA del *foreground system*.

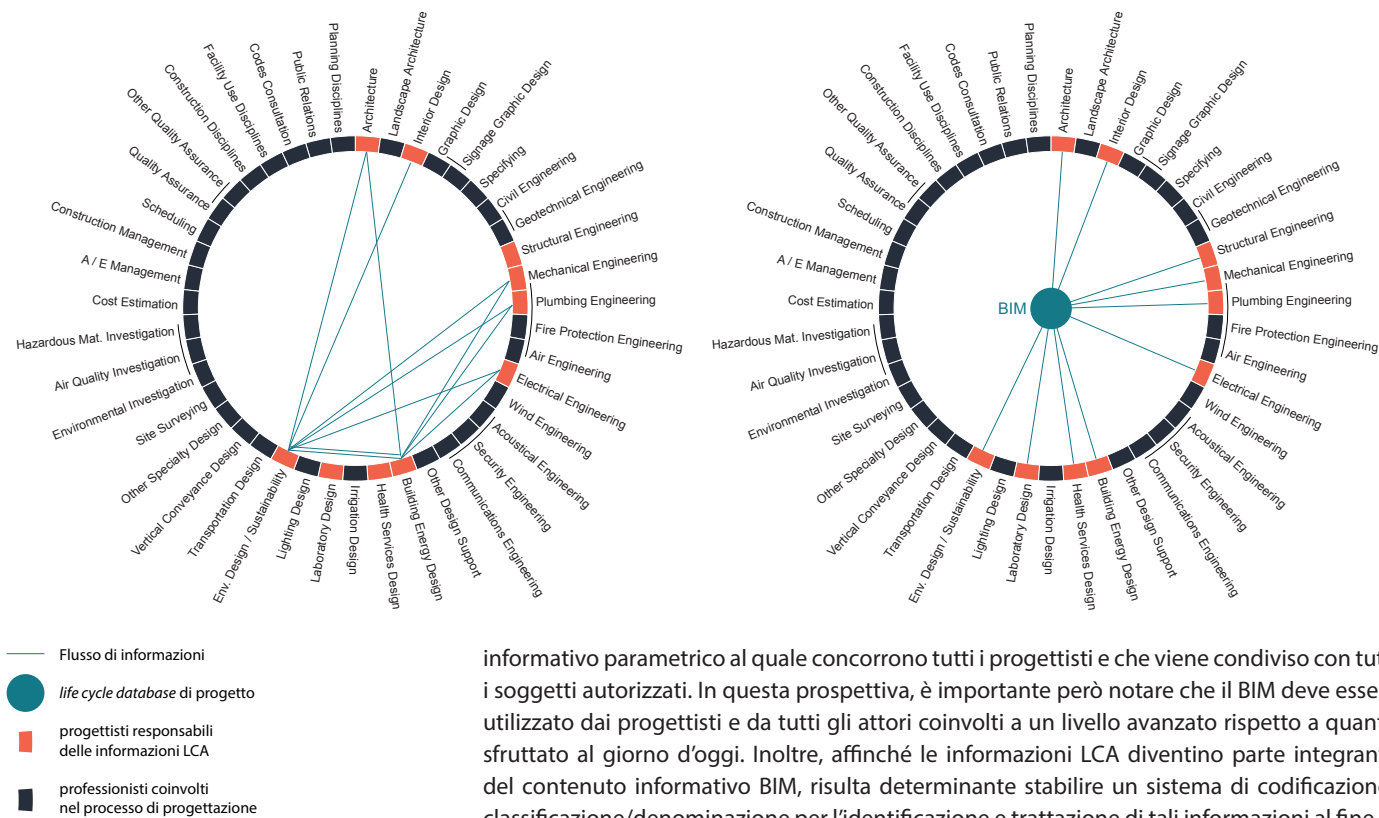


Figura 3.2.2 Confronto tra il flusso di informazioni della pratica corrente rispetto a quello di una pratica *BIM-oriented*.

informativo parametrico al quale concorrono tutti i progettisti e che viene condiviso con tutti i soggetti autorizzati. In questa prospettiva, è importante però notare che il BIM deve essere utilizzato dai progettisti e da tutti gli attori coinvolti a un livello avanzato rispetto a quanto sfruttato al giorno d'oggi. Inoltre, affinché le informazioni LCA diventino parte integrante del contenuto informativo BIM, risulta determinante stabilire un sistema di codificazione/classificazione/denominazione per l'identificazione e trattazione di tali informazioni al fine di costituire un linguaggio condiviso tra la molteplicità delle discipline interessate.

In questo modo, se opportunamente definite e integrate, le informazioni LCA potrebbero essere progressivamente associate ai relativi oggetti, organizzate e sistematizzate all'interno del contenuto informativo BIM o eventualmente, data la pluralità di informazioni richieste, in un LCA-BIM *plug-in* specifico, creando un *life cycle database* di progetto in ambiente BIM, continuamente integrato e consultato da tutti gli attori abilitati. Ciò risulterebbe estremamente strategico in quanto le informazioni LCA non risulterebbero più eterogenee tra loro e contenute nei più disparati documenti, bensì disponibili in un singolo *database*, facilitando non solo la raccolta delle informazioni durante il processo ma anche una visione d'insieme ed olistica del progetto e, di conseguenza, il loro impiego come dati di *input* per lo sviluppo di studi LCA di edificio (ma non solo). Inoltre, la richiesta di inserire e dichiarare le informazioni LCA in fase di progettazione, indurrebbe implicitamente i progettisti a tenerle in considerazione durante il processo decisionale, traguardando l'obiettivo ormai prioritario di passare dalla pratica attuale alla pratica *life cycle*.

### 3.2.3 Sviluppo di un *life cycle database* di progetto in ambiente BIM

L'estrema eterogeneità del settore, la molteplicità delle discipline, la disgregazione dei soggetti coinvolti, nonché la quantità di informazioni interessate rende la creazione di un *life cycle database* di progetto come una sfida cruciale per le strutture di progettazione,



apportando cambiamenti radicali nel modo di concepire la produzione del progetto (Dalla Valle et al., 2018). Infatti, così come definito nel terzo intento, ai progettisti viene richiesto un cambio di mentalità nel modo di pensare, agire e operare in fase di progettazione, al fine di compiere scelte nella piena consapevolezza del ciclo di vita. In questo contesto per sopperire alle mancanze esistenti in prospettiva *life cycle*, viene di seguito proposto un *assessment framework* per supportare nel cambiamento gli operatori coinvolti, ripartendo i ruoli e attivando a partire dalle prime fasi del processo edilizio un flusso di informazioni orientato alla raccolta sistematica delle informazioni LCA per realizzare un *life cycle database* di progetto in ambiente BIM.

Essendo rivolto *in primis* ai progettisti, il *framework* si focalizza esclusivamente sulle informazioni e i dati quantitativi necessari per l'elaborazione di studi LCA di edificio, mirando a ricostruire il cosiddetto *foreground system* in quanto demandato direttamente ai progettisti e con implicazioni decisive sul processo decisionale. Nello specifico, le informazioni LCA sono state rielaborate a partire da quanto espressamente richiesto a livello normativo per compiere valutazioni LCA nel settore delle costruzioni (EN 15978:2011; EPD PCR UN CPC 531:2014) e sono state in seguito esplicitate in relazione agli elementi tecnologici a cui si riferiscono. In base poi alla pratica attualmente in essere negli studi di progettazione, esplorata attraverso un approccio etnografico sul campo (Pink et al., 2013) e l'analisi di un campione rappresentativo di casi studio, sono state individuate le informazioni LCA peculiari al processo decisionale di ciascuna fase di progetto, attribuendole a seconda degli elementi tecnologici alle diverse discipline coinvolte. Il *framework* specifica così ai principali attori/progettisti le informazioni LCA di propria competenza per ogni fase di progetto, invitandoli a raccoglierle e collezionarle in modo sistematico nonché a tenerle in considerazione durante il processo decisionale. In questo modo, oltre a sviluppare progressivamente il *life cycle database* di progetto esito dei diversi contributi, esso intende promuovere in fase di progettazione scelte consapevoli dell'intero ciclo di vita, arricchendo la tradizionale pratica decisionale, basata principalmente su proprietà, caratteristiche e prestazioni tecniche dei diversi elementi, con scelte strategiche a lungo termine (declinando le informazioni *life cycle* sotto il profilo sia ambientale che economico).

Il passaggio dall'attuale pratica di progettazione alla pratica *life cycle*, supportato dal presente *assessment framework*, consiste pertanto nell'orientare l'intero processo decisionale in linea con la prospettiva *life cycle*, affidando all'intero team di progettazione l'integrazione graduale delle informazioni LCA di rispettiva competenza in ambiente BIM. In questo modo viene incoraggiata non solo una un'implementazione graduale delle informazioni LCA a partire dalle prime fasi progettuali, ma anche un crescente livello di dettaglio e accuratezza delle informazioni in quanto strettamente associate all'evoluzione del progetto. È importante però sottolineare che il *framework* è stato sviluppato per supportare la creazione di un *life cycle database*, secondo lo stadio considerato ad oggi come il più virtuoso. Nello specifico, infatti, vengono distinte per ogni fase del progetto le informazioni attualmente considerate nei progetti più complessi e ambiziosi da quelle da implementare per trasformarsi in una pratica orientata al ciclo di vita, stabilite associando alle informazioni attualmente disponibili le informazioni LCA correlate. Tuttavia, a seconda del tipo e della complessità del progetto, è possibile ridurre la gamma di informazioni LCA richieste alle differenti discipline, semplificando e snellendo il conseguente flusso di informazioni.

Nei seguenti paragrafi viene illustrato il flusso di informazioni definito dal *framework* per la raccolta di informazioni LCA al fine di creare un *life cycle database* di progetto. In particolare, in base ai requisiti e al livello di dettaglio caratteristico per ogni fase del processo, vengono

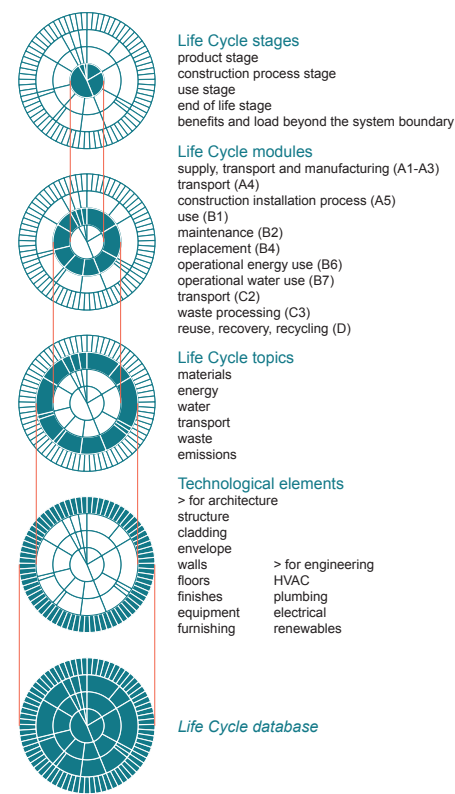


Figura 3.2.3 Struttura delle informazioni LCA nel *life cycle database* di progetto.

specificati i principali attori coinvolti e le relative informazioni LCA di competenza, mostrando così come il *database* si arricchisce e definisce con l'avanzare del progetto.

### Fase di concept

Per passare dalla pratica odierna alla pratica *life cycle*, è necessario un cambio drastico di mentalità a partire dalle prime fasi progettuali, in quanto cruciali per la definizione degli obiettivi da perseguire durante l'intero processo. In quest'ottica, risulta strategica l'esplicitazione degli obiettivi di sostenibilità in linea con il quadro di raccolta delle informazioni LCA definito dal *framework*, per incoraggiare i progettisti a confrontarsi regolarmente con i dati richiesti, inserirli in ambiente BIM, nonché a monitorarli e verificarli durante il processo. Essi dovrebbero quindi integrare agli obiettivi tradizionalmente inclusi (es. consumo di energia e uso d'acqua) quelli pertinenti a tutte le fasi del ciclo di vita (es. materiali con contenuto di riciclato e rifiuti da costruzione), prendendo in prima istanza come riferimento le soglie stabilite dai criteri di certificazione ambientale e dai requisiti normativi. Per quanto riguarda il flusso di informazioni, dato lo stadio preliminare di progetto, vengono coinvolti sia un numero limitato di attori che di informazioni LCA. In particolare, le informazioni da includere nel processo decisionale sono la superficie dell'involucro, attribuita agli architetti, e i principali consumi energetici dell'edificio, quali quelli per il riscaldamento, raffreddamento e illuminazione, di competenza degli esperti del settore energetico. In questo modo, i progettisti sono indotti a considerare tali aspetti ad esempio nella selezione della soluzione volumetrica proposta rispetto alla serie di alternative progettuali elaborate. Da notare inoltre che dato che la raccolta delle informazioni è concepita all'interno di un ambiente di lavoro BIM, i dati in questione possono essere calcolati automaticamente partendo dal modello virtuale dell'edificio, evitando rilavorazioni e migliorando la coerenza delle informazioni LCA raccolte all'interno del *life cycle database* di progetto.

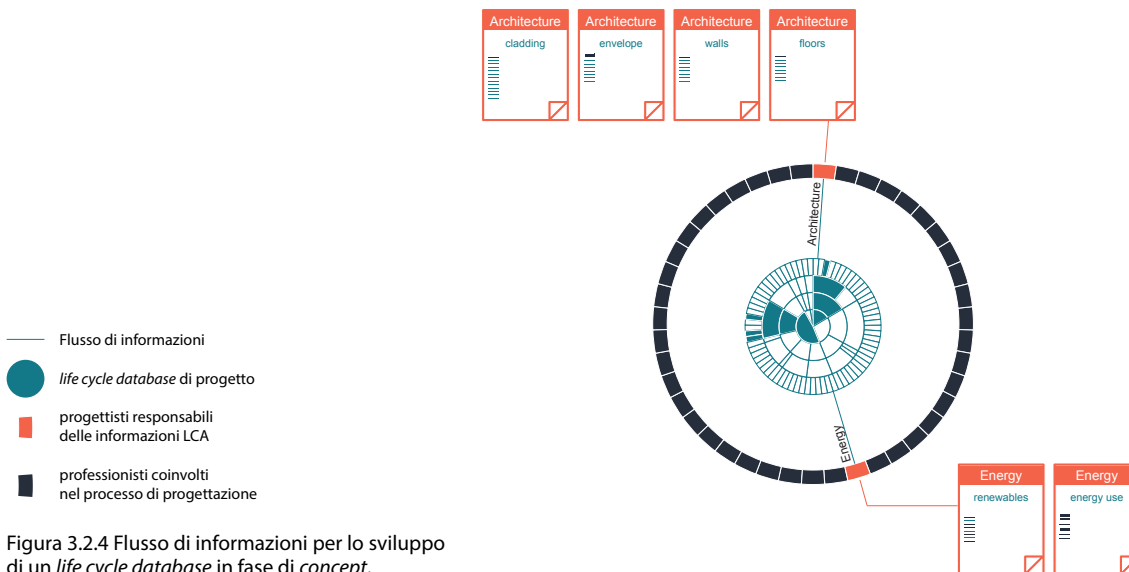


Figura 3.2.4 Flusso di informazioni per lo sviluppo di un *life cycle database* in fase di concept.

### Fase preliminare

In accordo con quanto previsto dal *framework*, durante la fase preliminare il *life cycle database* viene integrato da tutte le principali competenze coinvolte con una serie di informazioni LCA riferite ai principali elementi tecnologici. Infatti, in questa fase il team di progetto sviluppa il *concept* approvato, valutando diverse opzioni spaziali e tecnologiche al fine di individuare le soluzioni ottimali, affiancando alla gamma di criteri comunemente adoperati quelli attinenti al ciclo di vita.

Nello specifico, l'implementazione delle informazioni LCA viene richiesta agli ingegneri meccanici, elettrici ed esperti in energia in termini di specifiche tecniche rispetto ai processi di manutenzione e sostituzione degli impianti proposti, rispettivamente HVAC, elettrici e sistemi di energia rinnovabile. Invece, dato che in questa fase le decisioni architettoniche riguardano principalmente gli aspetti estetici e funzionali, gli architetti sono responsabili dell'integrazione delle informazioni LCA relative esclusivamente alle distanze di trasporto dei materiali di rivestimento. Tali distanze devono essere considerate anche dagli ingegneri strutturali durante la selezione dei materiali strutturali dell'edificio. Inoltre, dalla combinazione delle soluzioni architettoniche ed ingegneristiche, gli esperti in energia sono portati a stimare il consumo di energia per i principali sistemi impiantistici, nonché quelli prodotti dalle energie rinnovabili, esplicitandone le emissioni associate. Allo stesso tempo, gli esperti in sostenibilità sono chiamati a quantificare i consumi d'acqua per il sistema idrico-sanitario e di irrigazione. Infine, dal momento che il processo di progettazione si prevede in ambiente BIM, tutte le soluzioni tecnologiche vengono opportunamente esplicitate in termini di area, volume, numero di elementi o sviluppo lineare, organizzando sistematicamente le informazioni quantitative relative sia ai sistemi impiantistici che ai materiali da costruzione.

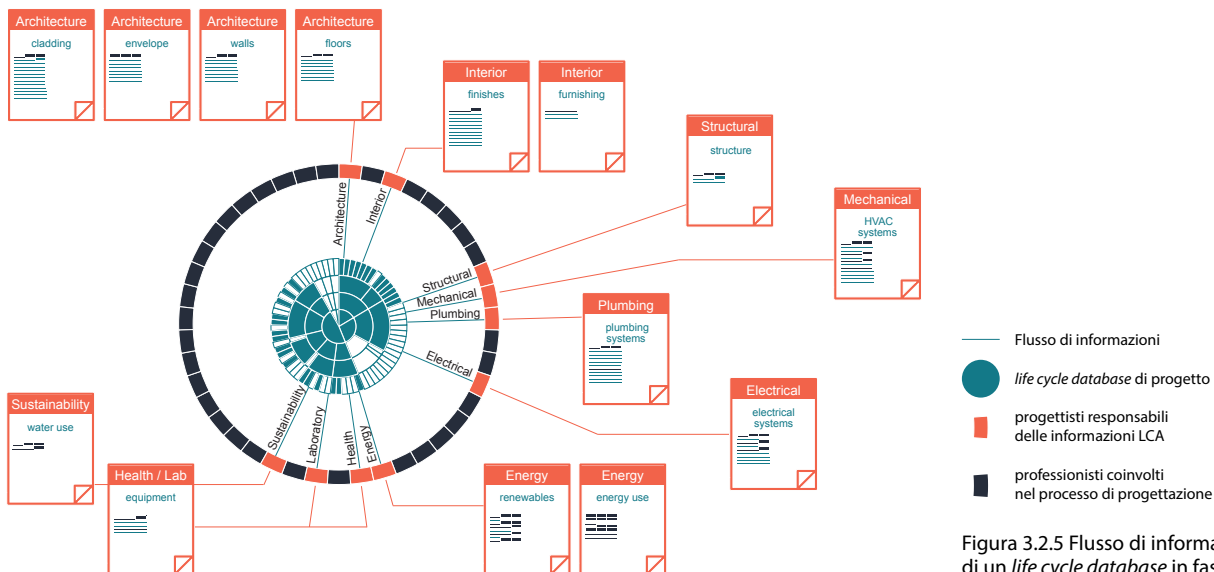


Figura 3.2.5 Flusso di informazioni per lo sviluppo di un *life cycle database* in fase preliminare.

### Fase definitiva

Dal momento che la fase definitiva intende scendere a un livello di maggior dettaglio rispetto a tutti gli aspetti del progetto, le informazioni LCA ambite dal *framework* assumono un ruolo chiave per supportare i progettisti nella selezione delle soluzioni tecnologiche più appropriate anche in prospettiva *life cycle*, determinando allo stesso tempo con maggior accuratezza le informazioni già raccolte.

Il team di progettazione, infatti, viene sollecitato per i rispettivi ambiti di competenza ad affrontare le tematiche specifiche delle diverse fasi del ciclo di vita, raccogliendo le informazioni LCA relative ai principali componenti tecnologici. Oltre alla fase di produzione per cui è richiesta la quantificazione da parte di tutti gli attori dei materiali degli elementi previsti, la fase di costruzione deve essere considerata in termini di distanze di trasporto e quantità di rifiuti da costruzione dagli architetti per il sistema di involucro e rivestimento, e dagli ingegneri strutturali per il sistema strutturale. Inoltre, gli architetti sono invitati a stimare in base all'esperienza o a dati di letteratura, i consumi di energia utilizzata per l'installazione dei prodotti da costruzione e l'uso d'acqua adoperata per la produzione in loco, con ripercussioni dirette sulle scelte relative a soluzioni tecnologiche ad umido/secco e/o prefabbricate. Per quanto riguarda la fase d'uso, gli architetti e gli architetti di interni devono includere rispettivamente le emissioni VOC dei materiali di rivestimento e finitura, nonché i materiali necessari per le operazioni di manutenzione e sostituzione e le relative distanze di trasporto. Queste ultime devono essere aggiornate e/o completate da chi di competenza anche per i sistemi HVAC, elettrici e di energia rinnovabile. Inoltre, sulla base delle più recenti soluzioni progettuali, gli esperti in energia sono invitati a ricalcolare il consumo energetico dell'edificio, considerando in dettaglio le quote parti previste per tutti i sistemi impiantistici: riscaldamento, condizionamento, ventilazione, fornitura di acqua calda, illuminazione, pompe e dispositivi ausiliari e apparecchiature varie, compresa la produzione da fonti rinnovabili. Allo stesso modo, gli esperti in sostenibilità sono indotti a ristimare i consumi d'acqua dell'edificio, dettagliando progressivamente i dati e la completezza del *life cycle database* di progetto.

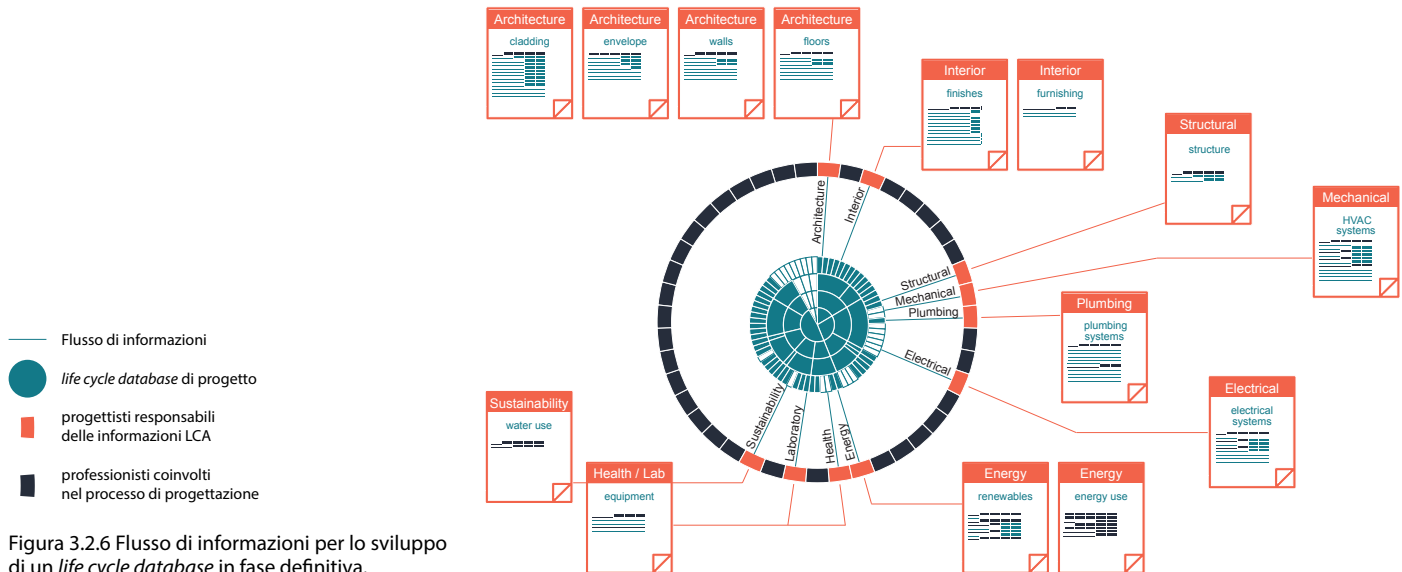


Figura 3.2.6 Flusso di informazioni per lo sviluppo di un *life cycle database* in fase definitiva.

### Fase esecutiva

Nella fase esecutiva il team di progettazione individua tutti i prodotti/componenti/sistemi specifici, completando nella sua interezza le informazioni LCA presenti nel *database* in modo tale da convertirle successivamente nel set di specifiche tecniche da essere chiaramente comunicate al contraente per la fase di appalto.

A tal fine, tutti i dati e informazioni LCA precedentemente immessi vengono verificati e aggiornati sia in relazione allo sviluppo del progetto che alle fonti dei dati, preferendo dati primari piuttosto che dati da letteratura o database. Inoltre, rispetto alla fase precedente, vengono ulteriormente ampliate le tematiche in esame relative al ciclo di vita, nonché le informazioni LCA richieste e gli elementi tecnologici in esame. Le distanze di trasporto, per esempio, vengono richieste non solo per gli elementi strutturali, di rivestimento e di involucro, ma anche per le partizioni orizzontali e verticali, le finiture, l'arredamento e per tutti i sistemi impiantistici, interessando tutte le competenze di riferimento. Allo stesso modo, gli elementi tecnologici considerati per la stima dei rifiuti da costruzione vengono estesi a pareti, pavimenti e finiture, coinvolgendo gli architetti e gli architetti d'interni che, tramite la collaborazione con gli esperti di salute/laboratori, sono incaricati di fornire informazioni sulle emissioni VOC degli elementi assegnati. Inoltre, i materiali e le distanze di trasporto necessari per i processi di manutenzione e sostituzione devono essere esplicitati sia per i sistemi architettonici che ingegneristici, sollecitando simultaneamente l'esperto in energia a finalizzare il consumo in fase d'uso con il supporto dell'ingegnere meccanico. Per quanto riguarda il consumo previsto di acqua, deve essere specificato come segue: dagli esperti di sostenibilità per i sistemi di irrigazione e idrico-sanitari, dagli ingegneri idraulici per l'acqua calda sanitaria e i sistemi ausiliari, dagli ingegneri meccanici per gli impianti HVAC e dagli esperti di salute/laboratori per le principali apparecchiature. Inoltre, le informazioni relative al fine vita devono essere implementate per tutti i materiali da costruzione e i sistemi impiantistici, sollecitando le rispettive discipline a includere nel processo decisionale aspetti quali, i rifiuti da demolizione/decostruzione, il trasporto in discarica e i potenziali materiali per il riutilizzo, riciclaggio e recupero di energia.

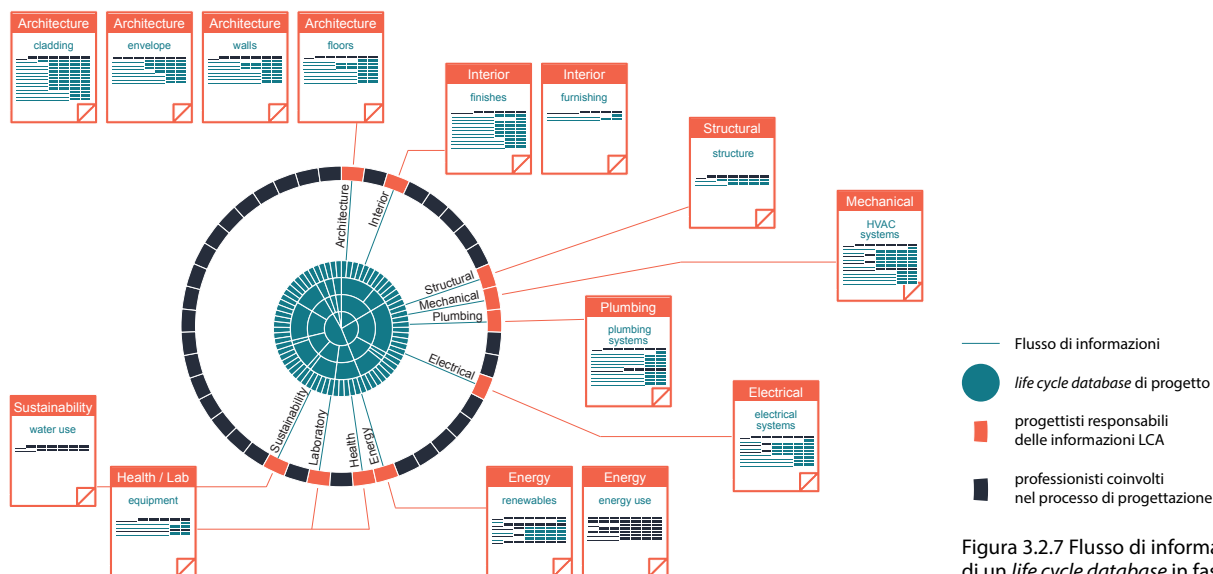


Figura 3.2.7 Flusso di informazioni per lo sviluppo di un *life cycle database* in fase esecutiva.

### 3.2.4 Applicazione dalla fase di progettazione al processo edilizio

Il team di progettazione, seguendo le indicazioni fornite dal *framework* proposto e applicandolo come programma di lavoro in ciascuna fase di progettazione, anticipa adottando un approccio a lungo termine numerose questioni tipiche del processo edilizio, assicurando al cliente un controllo completo sul ciclo di vita dell'edificio progettato. A dimostrazione di ciò, durante il processo viene gradualmente elaborato e completato un *life cycle database* di progetto che, a seconda della complessità, può risultare più o meno dettagliato ed esauriente ed essere quindi valutato in base alla sua completezza (da qui il termine *assessment*), rappresentativa della sua visione *life cycle* più o meno spinta.

Le informazioni LCA, contenute nel *database* e diventate parte integrante del processo decisionale, non solo accrescono notevolmente l'insieme dei criteri che concorrono a indirizzare le scelte progettuali, declinandoli in prospettiva *life cycle* ma sono volti anche all'ottimizzazione degli elementi tecnologici analizzati in maniera olistica per l'intero ciclo di vita. Infatti, ciascun progettista per il proprio ambito di competenza, raccogliendo in maniera sistematica le informazioni LCA assegnate per ogni fase di progetto, è in grado di monitorare tali valori verificandone possibilmente una loro tendenza alla decrescita come espressione sintomatica della riduzione degli impatti connessi. A livello individuale, l'insieme delle informazioni LCA raccolte devono essere dunque intese dai singoli progettisti come soglie da non superare nelle fasi successive del processo, se riferite al medesimo materiale/elemento/componente di partenza. Al contrario, a livello collettivo i dati quantitativi inclusi nel *database* costituiscono l'inventario finalizzato all'elaborazione di studi LCA (ma potenzialmente anche LCC) dell'edificio progettato, svolti dai soggetti preposti o da parti terze per la modellizzazione del sistema designato e la conseguente determinazione a scala complessiva del relativo profilo ambientale (e/o economico), fornendo valori più accurati e dettagliati congiuntamente all'avanzare del processo.

In aggiunta, se il *life cycle database* realizzato in ambiente BIM viene aggiornato dagli attori coinvolti non solo durante la fase di progettazione ma in tutte le fasi del processo edilizio, verificandone man mano l'attendibilità delle informazioni comprese, si svilupperebbe notevolmente il *know-how* proprio del settore edilizio. Questo migliorerebbe non solo il bagaglio conoscitivo dei singoli attori ma rappresenterebbe soprattutto per lo studio di progettazione promotore quello che in letteratura viene chiamato *functional database*. Partendo da supposizioni teoriche ed essendo man mano validato sulla base dell'esperienza, esso conterrebbe per la pratica *life cycle* una serie di informazioni LCA da prendere come riferimento durante le fasi preliminari dei successivi progetti ed eventualmente da condividere al pubblico.

Il flusso di informazioni definito dal presente *framework* per orientare il processo decisionale e creare un *life cycle database* di progetto può essere applicato in pratica secondo due modalità. La prima su base volontaria come metodo di lavoro imposto dalla stessa struttura di progettazione per supportare lo sviluppo di pratiche orientate al ciclo di vita; la seconda su base obbligatoria, nel caso venisse prescritto da normativa o direttamente dai committenti, come parte integrante dei requisiti minimi relativi al contenuto informativo richiesto alle diverse discipline, in accordo con la matrice di responsabilità stabilita per le diverse fasi di progettazione. In entrambi i casi, la sfida è di avviare in un futuro prossimo il cambio di mentalità e quindi di processo necessario per trasformare le pratiche odierne in pratiche di progettazione *life cycle*.

## Bibliografia

- Al-Ghamdi S.G., Bilec M.M., 2017. "Green Building Rating Systems and Whole-Building Life Cycle Assessment: Comparative study of the existing assessment tools", *Journal of Architectural Engineering*, vol. 23 (1).
- Anand C.K., Amor B., 2017. "Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 67, pp. 408-416.
- Boecker J., Horst S., Keiter T., Lau A., Sheffer M., Toevs B., Reed B., 2009. *The integrative design guide to green building*, Wiley, New Jersey.
- Bueno C., Fabricio M.M., 2018. "Comparative analysis between a complete LCA study and results from a BIM- LCA plug-in", *Automation in Construction*, vol. 90, pp. 188-200.
- Dalla Valle A., Lavagna M., Campioli A., 2018. "Matching Life Cycle Thinking and design process in a BIM-oriented working environment", *XII Italian LCA Network conference*, Messina.
- Dossche C., Boel V., De Corte W., 2017. "Use of life cycle assessments in the construction sector: critical review", *Procedia Engineering*, vol. 171, pp. 302-311.
- Dupuis M., April A., Lesage P., Forgues D., 2017. "Method to enable LCA analysis through each level of development of a BIM model", *Procedia Engineering*, vol. 196, pp. 857-863.
- EC-JRC, 2012. *ILCD Handbook. Towards more sustainable production and consumption for a resource efficient Europe*, European Commission – Joint Research Centre, Luxembourg.
- EPD: UN CPC 531:2014. *Product Category Rules: Buildings*.
- Jalaei F., Jrade A., 2014. "An automated BIM model to conceptually design, analyze, simulate and assess sustainable building projects", *Journal of Construction Engineering*, pp. 1-21.
- Kovacic I., Zoller V., 2015. "Building life cycle optimization tools for early design phases", *Energy*, vol. 92, pp. 409-419.
- Lu Y., Wu Z., Chang R., Li Y., 2017. "Building information modeling (BIM) for green buildings: a critical review and future directions", *Automation in Construction*, vol. 83, pp. 134-148.
- Pink S., Tutt D., Dainty A., 2013. *Ethnographic research in the construction industry*, Routledge, London and New York.
- Renz et al., 2016. *Shaping the future of construction. A breakthrough in mindset and technology*, World Economic Forum.
- Rezaei F., Bulle C., Lesage P., 2019. "Integrating building information modeling and life cycle assessment in the early and detailed building design stages", *Building and Environment*, vol. 153, pp. 158-167.
- Röck M., Hollberg A., Habert G., Passer A., 2018. "LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building construction at early design stages", *Building and Environment*, vol. 140, pp. 153-161.
- Rusu D., Popescu S., 2018. "Decision-making for enhancing building sustainability through life cycle. Applied Mathematics", *Mechanics and Engineering*, vol. 61, pp. 191-202.
- Santos R., Costa A.A., Silvestre J.D., Pyl L., 2019. "Integration of LCA and LCC analysis within a BIM-based environment", *Automation in Construction*, vol. 103, pp. 127-149.
- Soust-Verdaguer B., Llatas C., García-Martínez A., 2017. "Critical review of BIM-based LCA method to buildings", *Energy and Buildings*, vol. 136, pp. 110-120.
- Succar B., Kassem M., 2015. "Macro-BIM adoption: Conceptual structures", *Automation in Construction*, vol. 57, pp. 64-79.
- EN 15978:2011. *Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method*