

La progettazione del ciclo di vita in architettura

*Original*

La progettazione del ciclo di vita in architettura / Thiebat, Francesca - In: LCA IN EDILIZIA. Ambiti applicativi e orientamenti futuri della metodologia Life Cycle Assessment nel settore delle costruzioni / Lavagna M.. - ELETTRONICO. - [s.l.] : Maggioli spa, 2022. - ISBN 9788891655806. - pp. 121-128 [10.30448/uni.916.55806.12]

*Availability:*

This version is available at: 11583/2970302 since: 2022-07-26T15:38:24Z

*Publisher:*

Maggioli spa

*Published*

DOI:10.30448/uni.916.55806.12

*Terms of use:*

openAccess

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

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)

**Monica Lavagna (a cura di)**

# **LCA IN EDILIZIA**

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



# Indice

Presentazione	7
<i>Maurizio Cellura, Bruno Notarnicola</i>	
Prefazione	9
<i>Monica Lavagna</i>	
<b>0. Introduzione</b>	
0.1 Percorsi di applicazione del Life Cycle Assessment nel settore edilizio	13
<i>Monica Lavagna</i>	
<b>1. Decarbonizzazione e stoccaggio del carbonio</b>	
1.1 Decarbonizzare il patrimonio edilizio	27
<i>Francesco Asdrubali, Gianluca Grazieschi</i>	
1.2 Embodied Carbon and Energy. Indicatori per la valutazione del ciclo di vita dell'edificio	37
<i>Roberto Giordano</i>	
1.3 Il contributo dei materiali verso la decarbonizzazione del ciclo di vita degli edifici	49
<i>Chiara Piccardo, Adriano Magliocco</i>	
1.4 Il carbon budget per l'edilizia	59
<i>Francesco Pittau, Olga Carcassi, Alessia Medici, Giuliana Iannaccone, Guillaume Habert</i>	
<b>2. Economia circolare</b>	
2.1 Life Cycle Assessment come strumento di supporto alle politiche di economia circolare nel settore edilizio	71
<i>Serena Giorgi</i>	
2.2 Studi LCA per la progettazione e applicazione di Tecnologie Reversibili	81
<i>Tecla Caroli</i>	
2.3 La circolarità nell'industria: Life Cycle Design per l'innovazione di prodotto e processo	91
<i>Corrado Carbonaro</i>	
2.4 Come sviluppare prodotti e processi circolari: un approccio metodologico basato sul ciclo di vita	105
<i>Silvia Tedesco, Elena Montacchini</i>	

### **3. Progettazione Life Cycle**

- 3.1 La progettazione del ciclo di vita in architettura 121  
*Francesca Thiebat*
- 3.2 Informazioni LCA come driver del processo decisionale nelle strutture di  
progettazione: creazione di un Life Cycle Database di progetto in ambiente  
BIM 131  
*Anna Dalla Valle*
- 3.3 Modello parametrico integrato con LCA: proposta per un approccio  
metodologico di valutazione di impatto ambientale di architetture reversibili  
temporanee 143  
*Carol Monticelli, Alessandra Zanelli, Salvatore Viscuso, Cristina Mazzola*
- 3.4 Approccio Life Cycle nell'ambito della progettazione e produzione delle  
facciate adattive. Sfide, criticità e soluzioni nel settore edilizio italiano 157  
*Manuela Crespi, Alessandra Battisti, Sandra Persiani*

### **4. Strumenti di valutazione e certificazione ambientale LCA-based**

- 4.1 LCA nei Green Building Rating systems DGNB e Level(s) 173  
*Elisabetta Palumbo*
- 4.2 L'importanza di benchmark LCA in Italia per il settore delle costruzioni 191  
*Sara Ganassali*
- 4.3 Le dichiarazioni ambientali di prodotto nel mercato europeo. L'esperienza  
dei blocchi cassero in legno cemento 203  
*Francesca Reale, Gioia Garavini, Alessandra Zamagni*
- 4.4 Strumenti LCA e LCC per una edilizia sostenibile misurata 213  
*Aldo Iacomelli, Stefania Ganz*



### **3. Progettazione Life Cycle**



# 3.1 La progettazione nel ciclo di vita in architettura

Oggi la progettazione architettonica deve necessariamente includere all'interno del processo di ideazione, quale espressione concreta di creatività e di ricerca progettuale, le caratteristiche proprie della sostenibilità di estendere la prospettiva alle generazioni future e di favorire l'interdisciplinarietà. Il progettista è quindi chiamato ad affrontare responsabilmente e con consapevolezza un processo progettuale complesso che comprende l'intero ciclo di vita dell'edificio e gli effetti che, nel tempo, la costruzione provocherà sull'ambiente e sugli abitanti.

In quest'ottica, direttive e regolamenti europei stanno promuovendo strategie a lungo termine e la pianificazione di azioni e misure per favorire la sostenibilità e l'efficienza energetica dell'edificio.

Partendo dal rapporto tra settore industriale ed edilizio, il presente capitolo intende analizzare il ruolo degli strumenti di progettazione basati sul ciclo di vita e in che modo tali strumenti possano essere integrati nel processo progettuale fin dalle prime fasi.

## 3.1.1 La progettazione integrata

Negli anni Cinquanta del Novecento, Walter Gropius affermava che a differenza del settore industriale, in architettura il prototipo e il prodotto finale sono una cosa sola (Gropius, 1963, pag. 101, ed. originale 1955). Secondo tale affermazione l'organismo edilizio rappresenta il risultato, unico e complesso, di una "filiera di edificio" che combina il concetto di "filiera di prodotto", caratteristico del campo industriale, con le esigenze degli attori coinvolti nell'intero ciclo di vita in un approccio di tipo sistemico. Negli stessi anni, si incomincia a prender coscienza del fatto che una struttura di progettazione debba necessariamente affrontare un processo sempre più complesso, che inizia dal progetto e continua per tutto il ciclo di vita dell'edificio o del singolo prodotto.

Alla fine degli anni Settanta Marco Zanuso invita ad una "riappropriazione" del processo progettuale secondo cui tutte le forze coinvolte nel progetto, quali committenti privati o pubblici, amministratori, tecnici e produttori, devono necessariamente "assumere e mantenere nel tempo e nello spazio l'iniziativa e la responsabilità del progetto fino al suo completamento e oltre" (Zanuso et al., 1977).

Nella stessa direzione, l'evoluzione digitale dell'ultima decade ha permesso di potenziare tale interdisciplinarietà del progetto e, quindi, le interazioni nel tempo tra l'edificio, i suoi componenti e gli utenti coinvolti.

Tuttavia, se da una parte il processo progettuale si è orientato verso una maggiore integrazione delle competenze, includendo strategie a lungo termine, dall'altra, tale processo ha comportato un aumento delle variabili da tenere in considerazione, non sempre facilmente identificabili e misurabili.

**Francesca Thiebat**

Professore Associato presso il Dipartimento di Architettura e Design del Politecnico di Torino.  
E-mail: francesca.thiebat@polito.it



Figura 3.1.1 Sistema “automobile” con i componenti. Fonte: <https://www.flickr.com/photos/hahatango/2161518548> credits Aaron Tang <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>

### *Il ciclo di vita in architettura*

L’approccio *life cycle*, in generale, permette di riconoscere in che modo le nostre scelte, ad esempio l’acquisto di beni e servizi, facciano parte di un intero sistema. Tale approccio mette in evidenza sia i vantaggi che i rischi associati ad un prodotto o ad una tecnologia, a partire dalle materie prime fino allo smaltimento del bene a fine vita (UNEP, 2007).

Nonostante le numerose similitudini tra un processo di produzione industriale e un processo edilizio, la permanenza nel tempo di una costruzione è molto superiore a qualsiasi prodotto industriale. Tale permanenza, intesa come “durata fisica e funzionale”, può essere estesa nel tempo attraverso operazioni di manutenzione, sia programmate che impreviste, per l’adeguamento funzionale e tecnologico del manufatto e si distingue dalla durata delle parti che lo compongono.

La durata dell’edificio, frutto di una decisione assunta dal committente, dal proprietario o dal soggetto gestore, dipende principalmente dalla funzione che deve assolvere; mentre la durata dei suoi componenti deve essere ricavata dalle caratteristiche tecniche e funzionali delle parti stesse, dalla loro dislocazione nel manufatto edilizio e da fenomeni di obsolescenza (Molinari, 2002).

Il settore industriale si basa ormai da tempo sull’approccio del ciclo di vita, almeno secondo le prospettive del produttore e del consumatore<sup>1</sup>. Osservando, ad esempio, l’industria automobilistica, il produttore considererà ogni singolo componente del sistema “automobile” dalla fase di ricerca e sviluppo e di progettazione fino alla fase di fine vita, passando dai processi di assemblaggio dell’auto e uso dei componenti, con lo scopo di immettere sul mercato un prodotto competitivo che soddisfi le normative vigenti (ad es. dal 2015 la Direttiva 2000/53/CE impone l’obbligo di recuperare almeno il 95% delle componenti che costituiscono il peso complessivo di ogni veicolo alla fine della loro vita). Il consumatore (utente finale) prenderà in considerazione il sistema “automobile” valutandone i vantaggi a partire dal momento dell’acquisto fino alla fine della vita economica (ovvero il momento in cui viene venduta o dismessa), considerando una vita funzionale di circa 10 anni.

Nel settore delle costruzioni le dinamiche sono più complesse. La prima difficoltà consiste nello stabilire la durata del ciclo di vita dell’edificio. Per alcune destinazioni d’uso la durata fisica o funzionale potrebbe superare la durata economica<sup>2</sup>, come per gli edifici temporanei la cui vita economica va da poche ore a qualche mese (ad es. i padiglioni per le grandi esposizioni, le strutture per le emergenze, gli stand fieristici) o come, al contrario, per destinazioni d’uso di lunga durata (variabile da 50 a 100 anni), quali ad esempio gli edifici residenziali in cui possono cambiare gli utenti ma non tanto le esigenze. Per usi caratterizzati da un elevato tasso di innovazione, quali, tra gli altri, uffici, stabilimenti industriali, strutture sanitarie o edifici scolastici, la vita funzionale, spesso coincidente con la vita economica e più breve della vita fisica, è di circa 30-50 anni (Sukwon et al., 2021).

Una seconda difficoltà è quella di definire a priori le responsabilità degli attori coinvolti nella vita utile dell’edificio, spesso non ancora noti in fase di progetto. Il processo edilizio avviene in un arco di tempo che si sviluppa in tre momenti (Thiebat, 2019):

- il primo, guidato dal committente e coordinato dal progettista, è quello della “ideazione”, in cui si forma la squadra di progettazione, si definisce il *brief* e si progetta l’opera;
- il secondo momento è quello della “costruzione”, in cui i ruoli principali sono quelli del direttore dei lavori e del costruttore;
- il terzo momento è rappresentato dalla “vita” dell’edificio; qui i ruoli predominanti sono quelli dell’utilizzatore e del gestore dell’opera, ma anche la comunità stessa che indirettamente è coinvolta (Figura 3.1.2).

<sup>1</sup> Il ruolo della società non è infatti quasi mai considerato. Essa, nella maggior parte dei casi, subisce i costi indiretti associati alle attività di produttori e consumatori come l’inquinamento.

<sup>2</sup> La ‘durata’ può riguardare la durata fisica, consentita dai processi di degradamento fisico, in relazione alle prestazioni iniziali; la durata funzionale, consentita sia dalla “durata fisica” sia dai processi di obsolescenza in relazione alle esigenze; oppure la durata economica che corrisponde alla capacità dell’edificio di garantire un reddito e possedere un valore economico.

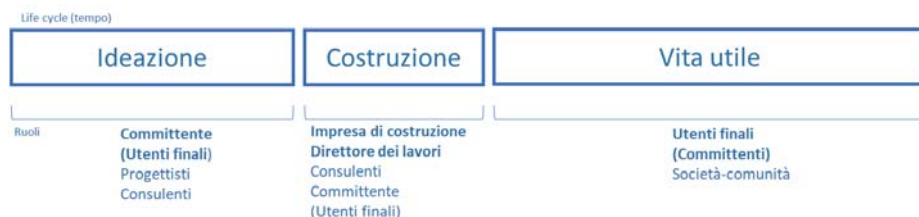


Figura 3.1.2 Schema del processo edilizio suddiviso nei tre momenti principali (ideazione, costruzione, vita utile). Fonte: elaborazione da Thiebat, 2019.

### 3.1.2 Strumenti e normativa per la progettazione nel ciclo di vita

Per rispondere agli obiettivi climatici dell'Unione Europea che prevedono la neutralità climatica entro il 2050 (Reg. CEE/UE 30 giugno 2021, n. 1119), gli stati membri stanno accelerando lo sviluppo di metriche, target di riferimento e regolamenti relativi al settore delle costruzioni, responsabile del 36% delle emissioni di CO<sub>2</sub>. In Francia, ad esempio, è entrato in vigore nel 2022 il regolamento ambientale RE20 che sostituisce il regolamento energetico e implementa le prestazioni energetiche della fase di esercizio con le emissioni dell'edificio durante il suo ciclo di vita, dalla fase di costruzione alla fine della sua vita. Il regolamento francese prevede che venga calcolata l'impronta di carbonio del nuovo edificio secondo dei target di riferimento. Ad esempio per un edificio residenziale unifamiliare, l'impronta deve essere inferiore a 640 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> per la fase di costruzione e a 160 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> per il consumo energetico in fase d'uso (valori massimi al 2024).

A livello normativo, nell'ambito delle costruzioni, si sta sviluppando un grande interesse sul tema del ciclo di vita sia a livello internazionale che nazionale. Nell'ambito delle costruzioni alcuni gruppi di lavoro internazionali ed europei, quali ad esempio l'ISO/TC59/SC17 *Sustainability in building constructions* e il CEN/TC 350 *Sustainability of construction works*, stanno elaborando metodologie per promuovere, in modo armonizzato, l'applicazione di strumenti e metodi per la sostenibilità di edifici nuovi o esistenti, sia dal punto di vista ambientale, che economico e sociale rispondendo ai tre pilastri della sostenibilità. Emerge quindi l'importanza crescente di includere nelle fasi di progetto tali aspetti, elaborando scenari delle fasi di vita successive a quella di costruzione sia in termini di costo sia in termini di consumo energetico e di inquinamento.

I lavori dell'ISO e del CEN sulla valutazione della sostenibilità sono conformi alle norme ISO 14020 che definiscono gli standard internazionali sull'etichettatura ambientale, nonché alle ISO 14040 sul *Life Cycle Assessment* (LCA), alla ISO 15686-5 sul *Life Cycle Costing* (LCC) e alla ISO 15392 sui principi generali di sostenibilità nella costruzione di edifici.

Nel 2017 il Joint Research Centre (JRC) della Commissione Europea ha lavorato a stretto contatto con le parti interessate del settore edilizio per sviluppare un quadro comune denominato Level(s): un insieme di metriche per misurare la performance di sostenibilità degli edifici durante tutto il loro ciclo di vita. Si basa su strumenti e norme esistenti, e include indicatori relativi a energia, materiali, acqua, salute, comfort, cambiamento climatico, costi nel ciclo di vita (Dodd et al. 2017). Tra gli strumenti analitici per progettare in ottica di ciclo di vita, si evidenziano il *Life Cycle Assessment* (LCA), definito dalla norma ISO 14040 -44, e *Life Cycle Costing* (LCC), secondo la ISO 15686-5.

Nel condurre uno studio LCA o LCC occorre stabilire a priori il "periodo di analisi", che corrisponde alla durata dello studio e che non coincide, necessariamente, con la durata fisica del bene, ad esempio, per l'analisi dei costi, esso corrisponderà alla sua "durata economica",

che presuppone obbligatoriamente la conservazione della durata fisica e di quella funzionale. Data la complessità delle informazioni da gestire e la molteplicità delle esigenze e dei requisiti da soddisfare nelle applicazioni in ambito architettonico, l'uso di strumenti, digitali e non (come software, matrici, piattaforme), può facilitare i vari attori coinvolti nel mettere a punto strategie e soluzioni da adottare per il controllo e la validità dei principi di sostenibilità per l'intera durata dell'edificio.

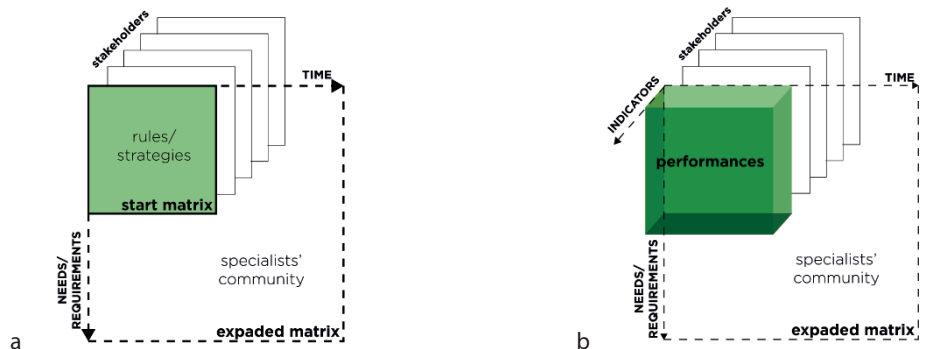
La *European Union Public Procurement Directive* (EUPPD) del 15/01/2014 ha raccomandato l'utilizzo di strumenti elettronici supportati da tecnologia BIM, riconoscendone i possibili vantaggi. In Italia la Direttiva è stata recepita dal Codice Appalti (D.Lgs 50/2016) e dal successivo decreto attuativo. L'adozione del BIM permette, infatti, di integrare e mantenere traccia dei dati progettuali e decisionali nel tempo, garantendo l'immediata disponibilità del piano di manutenzione dell'opera e del modello *as-built* sempre aggiornato e corredato da tutta la documentazione. La metodologia prevede che il modello progettuale (*Building Information Model* - BIM) evolva in quello costruttivo (*Project Information Model* - PIM) e alla fine in quello gestionale (*Asset Information Model* - AIM) completo di informazioni e dati utili agli utenti che dovranno gestire e mantenere l'edificio, lungo l'intera durata del manufatto. Ma come controllare tale complessità già nella fase ideativa del processo progettuale?

La progettazione architettonica, sempre più orientata verso un approccio integrato e sostenibile che tiene conto dell'intera vita dell'edificio, dovrà prendere in considerazione le esigenze potenziali di tutti soggetti coinvolti sia in modo diretto, quali ad esempio i committenti, i progettisti, i costruttori e gli utenti finali, sia in modo indiretto, come la società e l'ambiente. Nelle prime fasi progettuali è quindi importante definire lo scenario del ciclo di vita dell'edificio in quanto le decisioni che si assumono all'inizio del processo di progettazione avranno un impatto sulle prestazioni e sui costi in fase di esercizio e fine vita (Orstergard, 2016).

#### La matrice di progetto (*Life Cycle Design Matrix*)

La prospettiva del ciclo di vita richiede alle parti interessate di cooperare in nuovi modi. La progettazione integrata consente un approccio olistico e la considerazione continua di un gran numero di aspetti. In tale ottica, al fine di facilitare la gestione del progetto tra il *team* di progettazione e gli *stakeholder* coinvolti, nasce la necessità di una struttura che metta in relazione le esigenze, i requisiti e le prestazioni; che sia scalabile in funzione dello sviluppo del progetto; e, infine, che tenga in considerazione, oltre alla fase di progettazione, anche la costruzione dell'opera, il suo utilizzo, la sua gestione nel tempo e i possibili scenari alla conclusione della sua vita utile. La scelta è quella di rappresentare, sotto forma di una o

Figura 3.1.3 Processo progettuale del ciclo di vita (*Life Cycle Design approach*): i diagrammi mettono in relazione le fasi temporali del ciclo di vita dell'edificio con gli attori coinvolti e con le informazioni/dati disponibili, che diventano più completi con l'avanzamento del progetto fino alla fase di esercizio. Fonte: elaborazione da Thiebat, 2019 da <https://www.flickr.com/photos/hahatango/2161518548> credits Aaron Tang <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>



più matrici, le esigenze dei vari attori coinvolti e le caratteristiche prestazionali delle parti dell'edificio in modo da visualizzare e risolvere le interazioni e interferenze che possono sorgere anche con il supporto di ambiti disciplinari diversi.

I progettisti, attraverso una piattaforma di condivisione (*Design Matrix*), possono quindi definire e analizzare le strategie progettuali insieme agli attori coinvolti nella vita dell'edificio (Figura 3.1.3). La matrice, nella fase iniziale del progetto, raggruppa le informazioni e i dati necessari alla definizione del quadro esigenziale-prestazionale considerando l'intera durata funzionale dell'opera. Nel corso del progetto, essa viene perfezionata e implementata fino ad includere gli indicatori prestazionali misurati con modelli di calcolo specifici.

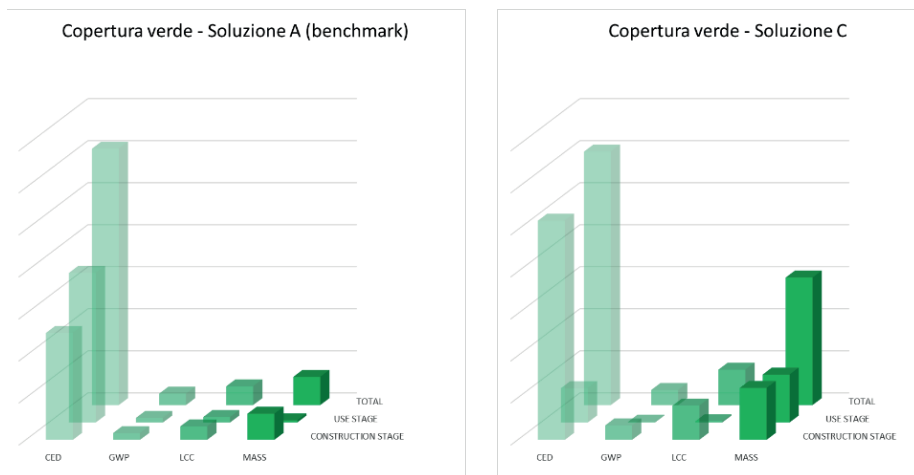
In altre parole, nella fase iniziale del progetto, cliente e progettista, partendo dalla definizione del quadro delle esigenze e dei vincoli, costruiscono la prima matrice in cui si individuano le 'regole' del progetto (Figura 3.1.3-a). Successivamente si coinvolgono gli 'specialisti' (ad esempio, ingegnere strutturista, termotecnico, geotecnico, urbanisti, utilizzatori finali e altri specialisti necessari) e i 'non esperti' (ad esempio, i cittadini interessati, la Pubblica Amministrazione, etc.), selezionati per numero e per ruolo in base al tipo di progetto (destinazione d'uso, rapporto con il sito, etc.), con i quali si elaborano le esigenze e i requisiti del progetto di fattibilità. Il coordinatore del *team*, a questo punto, può definire le linee progettuali e produrre il progetto definitivo da condividere, verificare e rivedere con gli altri soggetti coinvolti, e così via per le fasi progettuali successive, fino ad arrivare al calcolo degli indicatori di prestazione nel progetto esecutivo (Figura 3.1.3-b).

Figura 3.1.4 Una soluzione tecnologica del progetto della copertura verde per un edificio adibito ad uffici e laboratori a Mantova. Fonte: BuonomoVeglia srl e PAT.



- A . manto erboso in zolle
- B . torba miscelata con lapillo vulcanico . 5/10 cm
- C . tubo sub-irrigazione
- D . lapillo vulcanico . 5/10 cm
- E . geodreno . 1 cm
- F . strato di protezione in malta armata con rete zincata . 2.5 cm
- G . tessuto / non tessuto
- H . doppia guaina bituminosa
- I . soletta strutturale

Figura 3.1.5 Applicazione delle matrici progettuali ad un caso studio per l'analisi ambientale ed economica nel ciclo di vita di due soluzioni tecnologiche a confronto (a: Soluzione A – BAU; b: Soluzione C). Le matrici rappresentano graficamente gli indicatori di impatto (CED, GWP, LCC, MASS). Sull'asse x gli indicatori, sull'asse y le fasi del ciclo di vita considerate e sull'asse z le quantità. Fonte: Thiebat, 2019.



#### Esempio applicativo della Design Matrix al progetto

Le figure 3.1.4 e 3.1.5 mostrano l'applicazione della matrice ad un caso studio, il progetto di una copertura verde per un edificio adibito ad uffici e laboratori a Mantova (progettisti: BuonomoVeglia srl e PAT.). Il tetto verde, elemento caratterizzante del progetto, deve soddisfare diversi requisiti prestazionali, quali in particolare:

- garantire un elevato isolamento termico per ridurre il fabbisogno di energia nella fase d'uso e le relative emissioni di anidride carbonica;
- mimetizzare il costruito nel parco naturale esistente;
- ridurre il peso della copertura per limitare la sezione delle travi in acciaio;
- aumentare la massa esposta nei locali interni per contribuire al sistema della ventilazione naturale;
- minimizzare l'impatto ambientale del costruito in termini di energia e CO<sub>2</sub> inglobata;
- non eccedere il budget previsto dalla stazione appaltante per i costi di costruzione.

Con l'obiettivo di rispondere ai requisiti progettuali individuati, il team di progettazione ha rappresentato attraverso la matrice (*Design Matrix*) gli indicatori prestazionali da calcolare che hanno effetti lungo l'intera vita utile dell'edificio.

La matrice, in questo caso, ha l'obiettivo di facilitare il confronto tra diverse opzioni tecnologiche.

Tra gli indicatori di impatto sono state valutate nella fase preliminare di progetto le prestazioni ambientali (l'energia primaria inglobata nei materiali – CED e le emissioni di gas a effetto serra - GWP), le prestazioni energetiche (Trasmittanza termica e inerzia termica- MASS) e i costi nel ciclo di vita (*Life Cycle Costing* - LCC).

Gli indicatori sono stati calcolati su una soluzione "Business as usual" (benchmark), scelta in base al costo di fornitura e posa più basso, e su tre opzioni alternative (A, B, C) che rispondessero ai requisiti di progetto. La fig. 3.1.5 mostra ad esempio le *Design Matrix* di due soluzioni (Benchmark e soluzione C). Ogni indicatore è rappresentato sull'asse delle x (CED, GWP, LCC, MASS).

Nonostante le quantità siano espresse in unità di misura diverse, gli indicatori possono essere esaminati in forma disaggregata per ciascuna fase del ciclo di vita. La matrice permette inoltre di valutare graficamente le relazioni tra gli andamenti dei diversi indicatori di impatto per le diverse opzioni analizzate.



In un processo progettuale così strutturato, da una parte, diventa più semplice mantenere la coerenza e le connessioni delle scelte effettuate lungo il processo di progettazione, e dall'altra, si assicura la possibilità di compiere ottimizzazioni sia in fase di progetto che in fase d'uso.

Nel caso studio riportato, si può osservare ad esempio che nella soluzione C (Fig. 3.1.5 b) il consumo di risorse CED è più elevato nella fase iniziale rispetto al *benchmark* di riferimento, ma si riduce notevolmente nella fase d'uso per l'alta durabilità dei componenti. Se si osserva la matrice relativa alla soluzione BAU infatti, il consumo di risorse aumenta nella fase d'uso a causa del tasso di sostituzione elevato di alcuni componenti della stratigrafia e aumenta anche il valore totale. Gli altri indicatori mostrano invece una maggiore incidenza nella Soluzione C.

La matrice, facilitando il dialogo tra progettisti e committenti, permette quindi di tenere sotto controllo durante il processo progettuale non solo impatti ambientali e costi relativi alla fase di costruzione ma anche gli effetti lungo l'intero ciclo di vita non sempre visibili e tenuti in considerazione.

La "matrice progettuale", sviluppata inizialmente in ambito di ricerca, è attualmente in fase di sperimentazione anche nell'ambito della pratica professionale quale strumento per favorire lo scambio interdisciplinare di conoscenza, l'elaborazione dei parametri tecnici in forma integrata, il rispetto dei tempi e la comunicazione del progetto. Tale strumento può, inoltre, favorire l'uso di strumenti BIM per la diffusione del processo progettuale integrato basato sull'approccio *Life Cycle*.

### 3.1.3 Conclusioni

L'espressione creativa dell'architetto deve essere estesa ad un approccio sistemico del progetto combinando la creatività con un processo analitico e scientifico. Tale attività deve essere obiettivo comune dell'intero *team* di progettazione ed essere estesa all'intera vita dell'edificio e ai suoi utenti.

Un simile approccio può essere già individuabile nell'opera di Jean Prouvé il cui obiettivo principale era il trasferimento dalla tecnica della produzione dall'industria all'architettura. Nel prototipo della Maison Tropicale o quello della Maison Metropole, costruzioni pensate per le emergenze abitative degli anni '50, tutti i componenti, impilabili e leggeri, sono studiati per rispondere tanto alla logica della fabbricazione e del trasporto quanto a comfort e solidità della fase d'uso.

Emblematico di un'architettura sperimentale pensata, oggi possiamo dire, in ottica *Life Cycle* è anche il lavoro condotto dagli Eames fondato sull'idea di un possibile trasferimento tecnologico da settori industriali, come quello militare e aeronautico, a quello delle costruzioni.

Nella *Case Study* #8 - Eames House, costruita nel secondo dopoguerra a Los Angeles, ad esempio, i componenti di involucro sono stati assemblati alla struttura principale in acciaio in poco più di un giorno impiegando materiali e tecnologie sperimentati nella Seconda Guerra Mondiale con l'obiettivo di minimizzare l'uso dei materiali e massimizzare il volume interno (Steele, 1994).

Secondo una recente ricerca<sup>3</sup>, la Eames House e la Maison Métropole hanno un'impronta di carbonio<sup>4</sup> rispettivamente pari a 93 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> e 122 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>, molto inferiore al *target* di riferimento del regolamento francese RE20 (Namias, 2022).

<sup>3</sup> L'esposizione "L'empreinte d'un habitat, construire léger et décarboné", Parigi 22.10.2021-27.02.2022, curata dall'arch. P. Rizzotti analizza l'impatto ambientale di alcuni edifici storici noti e mostra come tali progetti abbiano un'impronta di carbonio ben al di sotto delle soglie fissate dal regolamento ambientale del 2022 (RE20).

<sup>4</sup> A cui occorre aggiungere 80 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> per l'adeguamento prestazionale agli attuali standard energetici (corrispondente alla quota di isolamento termico aggiuntivo) economico.

A partire dagli anni '90 sono stati elaborati strumenti per calcolare e valutare gli effetti delle costruzioni nel tempo avvicinando l'idea del sistema 'edificio' a quello del componente industrializzato.

Oltre al BIM, precedentemente citato, un esempio è quello dei sistemi per la valutazione della sostenibilità finalizzati ad una progettazione di tipo olistico, in cui ogni requisito prestazionale può essere considerato singolarmente, ma anche all'interno di un sistema più complesso costituito dall'edificio quale integrazione di architettura, struttura, impianti e spazi esterni.

In particolare i sistemi di certificazione di ultima generazione (DGNB, LEED, BREEAM), oltre a formalizzare con indicatori e punteggi il livello di equilibrio tra i vari fattori che influiscono sul raggiungimento del grado di sostenibilità (fattori energetici, ambientali, sociali, economici), tentano di prendere in considerazione l'intero ciclo di vita di un edificio.

Si può affermare che, aumentando la complessità del progetto, sia indispensabile facilitare i progettisti verso un approccio alla progettazione del ciclo di vita che possa garantire una maggiore consapevolezza già dalle prime fasi di progetto.

Strumenti di condivisione, come la *Design Matrix*, usati già nel *concept design* permetteranno di integrare con più facilità dati e indicatori specifici nelle fasi avanzate del progetto evitando la separazione tra gli aspetti tecnici della costruzione e le istanze culturali proprie della fase ideativa del progetto.

## Bibliografia

- Dodd N., Cordella M., Traverso M., Donatello S., 2017. *Level(s)—a common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings, Part 1, 2 and 3*. European Commission, JRC
- Gropius W., 1963 (ed. originale 1955). *Architettura integrata*, il Saggiatore, Milano.
- ISO 14040:2006. *Environmental management—life cycle assessment—principles and framework*
- ISO 14044:2006. *Environmental management—life cycle assessment—requirements and guidelines*
- ISO 15686-5:2017. *Building and constructed assets—service life planning—life cycle costing*
- Molinari C., 2002. *La manutenzione come requisito di progetto*, Sistemi Editoriali, Napoli.
- Namias O., 2022. "De la difficulté de calculer la vraie empreinte carbone d'un bâtiment", in *Dossier Bas Carbone*. AMC n. 304, Avril 2022, Groupe Moniteur
- Østergård T., Jensen R.L., Maagaard S., 2016. "Building simulations supporting decision making in early design: A review", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 61, pp. 187–201.
- Remmen A., Jensen A.A., Frydendal J., 2007. *Life cycle management. A business guide to sustainability*, UNEP.
- Steele J., 1994. "Charles and Ray Eames Eames House", in B. Dunlop and D. Hector (eds), *Twentieth Century Houses (Architecture 3s)*. London: Phaidon Press Limited.
- Sukwon Ji, Bumho Lee, Mun Yong Yi, 2021. "Building life-span prediction for life cycle assessment and life cycle cost using machine learning: A big data approach", *Building and Environment*, vol. 205.
- Thiébat F., 2019. *Life cycle design*, Springer Nature, Cham.
- Zanuso M., Tubi N., Weber H. (eds), 1977. *La progettazione integrata per l'edilizia industrializzata (cycle of general teaching debates)*, ITEC, Milano.

