

Andrea Campioli, Massimo Lauria,
Adriano Magliocco, Lia Marchi
(a cura di)

Better Policy

**Strategie, strumenti e linee guida
per LCA, decarbonizzazione, circolarità
e smartness nel settore delle costruzioni**



Ricerche di tecnologia dell'architettura

FrancoAngeli 



RICERCHE DI TECNOLOGIA DELL'ARCHITETTURA

diretta da Jacopo Gaspari (Università di Bologna)

Comitato scientifico:

Laura Aelenei (LNEG), Alessandra Battisti (Sapienza Università di Roma),
Andrea Campioli (Politecnico di Milano), Pietromaria Davoli (Università di Ferrara),
Gareth Doherty (Harvard University), Stephen Emmitt (University of Bath),
Maria Luisa Germanà (Università di Palermo), Antonin Lupisek (Czech Technical
University in Prague), Antonello Monsù Scolaro (Università di Sassari),
Francesco Pilla (University College Dublin), Rosa Schiano-Phan (University
of Westminster), Antonella Violano (Università della Campania Luigi Vanvitelli).

La storica collana *Ricerche di Tecnologia dell'architettura* ha avuto, fin dalle origini, il desiderio di rappresentare la disciplina della tecnologia dell'architettura nelle sue diverse forme di relazione con il progetto di architettura, la trasformazione dell'ambiente costruito e gli operatori del settore edilizio. Nel corso dei decenni, ha pubblicato volumi che hanno descritto le traiettorie di innovazione e i cambiamenti culturali nel settore dell'edilizia, contribuendo a mantenere aggiornato l'ambito disciplinare.

Ricerche di Tecnologia dell'architettura raccoglie gli esiti di progetti di ricerca nazionali e internazionali, studi e ricerche sperimentali, tesi di dottorato di ricerca riguardanti teorie e metodi inerenti materiali e sistemi costruttivi, architettura sostenibile e riqualificazione, efficienza energetica e transizione a emissioni zero, approcci di economia circolare nel settore delle costruzioni.

Oltre al riconosciuto valore scientifico e accademico, la collana costituisce un apprezzato strumento di supporto nel campo dell'architettura e dell'ingegneria con spunti operativi per la professione, distinguendosi per il suo impegno nel descrivere la continua evoluzione della Tecnologia dell'architettura e dei suoi confini che, nel corso del tempo, si sono estesi per ricomprendere interessi di ricerca contigui, tra cui tecnologie digitali, modelli e processi avanzati, concept e servizi di progettazione innovativi in una prospettiva più ampia, orientata a dare risposte alle sfide future e agli impatti del cambiamento climatico sulle città contemporanee.

La collana nasce nel 1974 sotto la direzione di Raffaella Crespi e Guido Nardi. A partire dal 2012 la valutazione delle proposte è stata sottoposta a referaggio da parte di un Comitato scientifico diretto da Giovanni Zannoni, con lo scopo di individuare e selezionare i contributi più interessanti nell'ambito della Tecnologia dell'architettura. Dal 2025 questo incarico viene assunto da Jacopo Gaspari, ampliando gli ambiti di interesse alle discipline di confine della materia. I numerosi volumi pubblicati in questi anni delineano un efficace panorama dello stato e dell'evoluzione della ricerca nel settore della Tecnologia dell'architettura con alcuni testi che sono diventati delle basi fondative della disciplina.

A partire dal numero 87 della collana i volumi sono sottoposti a referaggio.



OPEN ACCESS la soluzione FrancoAngeli

Il presente volume è pubblicato in open access, ossia il file dell'intero lavoro è liberamente scaricabile dalla piattaforma **FrancoAngeli Open Access** (<http://bit.ly/francoangeli-oa>).

FrancoAngeli Open Access è la piattaforma per pubblicare articoli e monografie, rispettando gli standard etici e qualitativi e la messa a disposizione dei contenuti ad accesso aperto. Oltre a garantire il deposito nei maggiori archivi e repository internazionali OA, la sua integrazione con tutto il ricco catalogo di riviste e collane FrancoAngeli massimizza la visibilità, favorisce facilità di ricerca per l'utente e possibilità di impatto per l'autore.

Per saperne di più: [Pubblica con noi](#)

I lettori che desiderano informarsi sui libri e le riviste da noi pubblicati possono consultare il nostro sito Internet: www.francoangeli.it e iscriversi nella home page al servizio "[Informatemi](#)" per ricevere via e-mail le segnalazioni delle novità.

Andrea Campioli, Massimo Lauria,
Adriano Magliocco, Lia Marchi
(a cura di)

Better Policy

**Strategie, strumenti e linee guida
per LCA, decarbonizzazione, circolarità
e smartness nel settore delle costruzioni**

Ricerche di tecnologia dell'architettura

FrancoAngeli 



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Università
di Genova



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI REGGIO CALABRIA
Mediterranea



POLITECNICO
MILANO 1863

Questa pubblicazione è un prodotto del progetto di ricerca *Better Policy | Linee guida e protocolli per la gestione dei processi guidati dalle Pubbliche Amministrazioni nel settore delle costruzioni in Italia, 2024-2025*, finanziato dall'Unione europea – Next Generation EU – PNRR – M4C2 – Investimenti 1.1. “Progetti di Ricerca di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN)”.

Il programma di ricerca ha coinvolto quattro Unità Operative (U.O.), ovvero l'Università degli Studi di Genova (con *Principal Investigator* di progetto e *Associated Investigator* di sede il Prof. Adriano Magliocco), l'Università degli Studi di Bologna (con *Substitute Principal Investigator* di progetto e *Associated Investigator* di sede il Prof. Jacopo Gaspari), l'Università degli Studi “Mediterranea” di Reggio Calabria (con *Associated Investigator* di sede il Prof. Massimo Lauria) e il Politecnico di Milano (con *Associated Investigator* di sede il Prof. Andrea Campioli).

Ciascuna U.O. è composta dai seguenti gruppi di lavoro: Adriano Magliocco, Maria Canepa e Margherita Pongiglione (Università degli Studi di Genova), Jacopo Gaspari, Ernesto Antonini e Lia Marchi (Università degli Studi di Bologna), Massimo Lauria, Maria Azzalin, Francesca Giglio, Giovanna Maria La Face (Università degli Studi “Mediterranea” di Reggio Calabria) e Andrea Campioli, Monica Lavagna, Ilaria Oberti, Anna Dalla Valle, Serena Giorgi e Davide Tirelli (Politecnico di Milano).

La collana adotta il sistema di revisione double-blind peer-review, pertanto tutti i contributi del volume sono stati soggetti a revisione da parte di esperti del tema.

Ogni autore è responsabile dei contenuti, dei dati, delle figure e delle immagini inclusi nel proprio capitolo. L'editore non si assume alcuna responsabilità per eventuali usi impropri o comportamenti scorretti.

Isbn e-book Open Access: 9788835183877

Copyright © 2026 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy.

Pubblicato con licenza *Creative Commons*
Atribuzione-Non Commerciale-Non opere derivate 4.0 Internazionale
(CC-BY-NC-ND 4.0).

Sono riservati i diritti per Text and Data Mining (TDM), AI training e tutte le tecnologie simili.

*L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sul diritto d'autore.
L'Utente nel momento in cui effettua il download dell'opera accetta tutte le condizioni
della licenza d'uso dell'opera previste e comunicate sul sito*
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it>

Indice

Introduzione	pag.	9
1. LCA nel settore edilizio: il ruolo delle PA , di <i>Andrea Campioli, Monica Lavagna e Ilaria Oberti</i>	»	13
1.1. Metodologia LCA nelle policy del settore edilizio	»	13
1.2. Integrazione nella pianificazione e negli appalti pubblici	»	19
1.3. Principi di <i>change management</i> per le PA	»	24
<i>Riferimenti bibliografici</i>	»	29
2. Metodologia LCA: verso un'integrazione operativa nelle policy italiane , di <i>Davide Tirelli, Anna Dalla Valle e Serena Giorgi</i>	»	31
2.1. Dalla teoria alla pratica: valutazione LCA per le Pubbliche Amministrazioni	»	31
2.2. LCA nelle PA: specifiche metodologiche e strumenti di supporto	»	36
2.3. <i>Benchmark</i> e valori limite LCA: <i>best practices</i> nel contesto europeo	»	45
2.4. La costruzione di <i>benchmark</i> e valori limite LCA per il settore edilizio: il quadro europeo	»	49
<i>Riferimenti bibliografici</i>	»	52
3. La decarbonizzazione nel processo edilizio , di <i>Maria Canepa</i>	»	56
3.1. La riduzione delle emissioni di CO ₂ come obiettivo delle politiche insediative	»	57
3.2. <i>Operational carbon vs embodied carbon</i>	»	60
3.3. L'integrazione dei criteri di decarbonizzazione nelle strategie di progettazione e costruzione	»	63
<i>Riferimenti bibliografici</i>	»	68

4. Indicatori e strumenti di valutazione per la decarbonizzazione , di <i>Adriano Magliocco</i>	pag. 71
4.1. Indicatori per la valutazione dell'impronta di carbonio	» 71
4.2. Approccio alla quantificazione del carbonio incorporato	» 75
4.3. Sfide per la decarbonizzazione in ambito urbano	» 82
<i>Riferimenti bibliografici</i>	» 88
5. Green and Digital Transformation: la smartness per la sostenibilità nel ciclo di vita , di <i>Massimo Lauria, Maria Azzalin, Francesca Giglio e Giovanna Maria La Face</i>	» 90
5.1. Quadro europeo per la trasformazione <i>green and digital</i> nel settore delle costruzioni	» 90
5.2. Sostenibilità energetico-ambientale e <i>smartness</i> degli edifici	» 94
5.3. Policy delle Pubbliche Amministrazioni: indirizzi normativi e barriere	» 98
<i>Riferimenti bibliografici</i>	» 105
6. Smart Readiness Indicator e processi decisionali pubblici green and digital , di <i>Massimo Lauria, Maria Azzalin, Francesca Giglio e Giovanna Maria La Face</i>	» 108
6.1. <i>Smart Readiness Indicator</i>	» 108
6.2. Integrazione dello SRI nelle policy nazionali	» 114
6.3. Metriche, <i>benchmark</i> , linee guida	» 121
<i>Riferimenti bibliografici</i>	» 126
7. Applicazione dei principi di circolarità negli strumenti delle Pubbliche Amministrazioni , di <i>Lia Marchi, Ernesto Antonini, Jacopo Gaspari</i>	» 129
7.1. Panoramica del quadro strategico, normativo e legislativo sulla circolarità nel settore delle costruzioni	» 129
7.2. Strategie circolari per il settore delle costruzioni	» 135
7.3. Strumenti per il calcolo della circolarità dei materiali e dei componenti edilizi	» 139
<i>Riferimenti bibliografici</i>	» 144
8. Criteri e indicatori per la circolarità , di <i>Lia Marchi</i>	» 148
8.1. Criteri e metriche di circolarità per il recupero e il riutilizzo dei materiali nelle costruzioni	» 150

8.2 Criteri e metriche di circolarità per la durabilità, disassemblabilità, adattabilità nelle costruzioni	pag.	152
8.3. Casi studio e buone pratiche di economia circolare per i bandi pubblici	»	156
<i>Riferimenti bibliografici</i>	»	165
Linee Guida Integrate	»	169
Gli Autori	»	219

2. Metodologia LCA: verso un'integrazione operativa nelle policy italiane

di Davide Tirelli¹, Anna Dalla Valle¹ e Serena Giorgi¹

¹ Politecnico di Milano, Dipartimento DABC, LifeCycleTEAM

Il capitolo affronta il tema dell'applicazione della valutazione LCA a scala di edificio, attraverso l'identificazione degli strumenti necessari e delle definizioni procedurali da adottare con omogeneità a livello nazionale. Inoltre, vengono analizzate le principali modalità di sviluppo di *benchmark* e valori limite a partire dall'analisi del patrimonio edilizio.

2.1. Dalla teoria alla pratica: valutazione LCA per le Pubbliche Amministrazioni

L'introduzione di una metodologia *Life Cycle Assessment* (LCA) per le Pubbliche Amministrazioni (PA), sia nella pianificazione di lungo periodo sia negli appalti pubblici, assume un ruolo strategico per la diffusione delle valutazioni delle prestazioni ambientali nel ciclo di vita a tutte le fasi del processo progettuale. L'utilizzo di strumenti condivisi su scala nazionale permette il coinvolgimento di investitori, professionisti e progettisti sulla base di informazioni certe e approvate, che infondono maggiore confidenza e rigore nelle valutazioni ambientali.

Data l'elevata complessità delle valutazioni LCA, è necessario promuovere l'introduzione di strumenti capaci di offrire un certo grado di semplificazione e mantenere allo stesso tempo il rigore, l'accuratezza e la completezza dei risultati. La trasparenza della metodologia e dei dati impiegati per la valutazione degli impatti ambientali diventa parte integrante del processo di gestione e verifica da parte della Pubblica Amministrazione. Infatti, nell'ottica di integrazione LCA nelle policy, la PA ha il compito di definire gli aspetti tecnici ma anche di natura burocratica circa l'applicabilità della valutazione stessa in base al tipo di edificio e di progetto in questione.

Il presente paragrafo introduce quindi gli aspetti chiave da attenzionare nel processo di adozione di strumenti LCA da parte delle PA, proponendo

passi, azioni e indicazioni pratiche da seguire per una proficua applicazione ai differenti livelli giuridici. Sebbene gli aspetti metodologici tecnico-ambientali dovrebbero essere stabiliti univocamente a livello nazionale (§2.2.), l’inserimento procedurale può essere svolto anche da PA subordinate, ad esempio a livello regionale, metropolitano o comunale, all’interno dei documenti di pianificazione urbanistica o dei regolamenti edilizi.

2.1.1. Oggetto della valutazione LCA

La definizione dell’oggetto delle valutazioni LCA in termini di tipologie edilizie o di intervento su cui si applicano le policy è fondamentale per assicurare che gli operatori economici siano consapevoli dei requisiti richiesti (inclusi eventuali *benchmark* di riferimento specifici, §2.3., §2.4.) e degli strumenti più adatti a ogni tipo di progetto.

Dall’analisi delle numerose policy del settore edilizio applicate nei Paesi europei emerge come la richiesta di valutazione LCA sia prevalentemente rivolta agli edifici pubblici di nuova costruzione (ad es. Germania e Città di Londra), mentre altri Paesi estendono i requisiti anche a edifici privati, solitamente residenziali o per uffici (ad es. Svezia, Danimarca, Francia) (Tirelli *et al.*, 2024). Un ulteriore distinzione deve essere operata sulla base della tipologia di intervento considerato.

In Italia i Criteri Ambientali Minimi (CAM) richiedono l’applicazione di molteplici strategie di sostenibilità (obbligatorie e premianti) alla scala di edificio considerando non solo le opere di nuova costruzione, ma anche i lavori di ristrutturazione e manutenzione (Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE), 2025).

Per promuovere la diffusione LCA nelle policy, è fondamentale introdurre il requisito LCA agli edifici di nuova costruzione o soggetti a demolizione e ricostruzione dapprima solo con l’obbligatorietà per gli edifici pubblici, nell’ambito dei *Green Public Procurement*, con il disegno di estenderlo in regime volontario per gli edifici promossi da investitori privati (§1.2.2., §1.2.3.). Per incentivare la diffusione LCA tra stakeholder privati e sviluppatori, si suggerisce di adottare una premialità subordinata alla conformità attestata durante il processo di verifica, analogamente a quanto introdotto in termini di detrazioni fiscali per la diffusione degli nZEB (MISE *et al.*, 2016).

Considerando che dal 2028 l’EPBD richiederà l’obbligatorietà per i nuovi edifici oltre i 1000 m², è dunque ragionevole ipotizzare un’introduzione anticipata per gli edifici pubblici già nel breve termine.

2.1.2. Fase di sottomissione della valutazione LCA

La presentazione della valutazione LCA di edificio può avvenire in diversi momenti del processo di progettazione e approvazione. Generalmente, tre sono i momenti principali ricorrenti nelle politiche estere in materia LCA: Progettazione preliminare, richiesta di Permesso di Costruire; Fine lavori/Segnalazione Certificata di Agibilità.

Si suggerisce di richiedere obbligatoriamente la valutazione LCA durante la richiesta di permesso di costruire (o pratica edilizia equivalente durante il processo progettuale per edifici di nuova costruzione, §1.2.1.), con la consegna di una relazione di calcolo. Un report aggiornato con le quantità finali del progetto (*as-built*) potrebbe essere richiesto in fase di fine lavori, a discrezione della PA committente o del soggetto normatore. Come già proposto in altri Paesi, come in Svezia tramite l'entità governativa Boverket (Boverket, 2024), è possibile inoltre costituire un registro nazionale delle valutazioni LCA sottomesse in fase di progetto o *as-built*, similmente a quanto avviene in Italia per gli Attestati di Prestazione Energetica (APE), raccolti da ENEA. Questo affermerebbe una visione a lungo termine delle PA, sostenendo un'alimentazione costante della banca di conoscenza LCA per consentire una facile comparabilità tra le valutazioni e permettere di definire valori di riferimento e valori limite aggiornati nel tempo.

2.1.3. Processo di verifica delle valutazioni LCA

Come suggerito nel paragrafo §1.3., le PA dovranno adottare un piano di *change management* ai vari livelli operativi per includere le competenze necessarie per la gestione del tema sostenibilità e, nello specifico, delle valutazioni LCA.

In primo luogo, tutti i dipendenti, chiamati a occuparsi delle dichiarazioni LCA e LC-GWP, sono da educare e formare in materia di valutazione del ciclo di vita in edilizia, per comprenderne le fasi metodologiche LCA ed essere in grado di esaminare, se necessario, il flusso di lavoro sotteso.

Per attestare la conformità a standard e requisiti normativi, si suggerisce di sottoporre ogni dichiarazione/report LCA sottomesso alle PA a una validazione da terze parti esterne, al fine di garantire che un revisore indipendente ne attesti la qualità e la completezza, secondo la norma UNI CEN ISO/TS 14071.

La definizione del processo di verifica risulta di cruciale importanza, per evitare di correre il rischio che la richiesta normativa di eseguire una valutazione LCA sia considerata un mero adempimento, privo della capacità di influire realmente sul processo decisionale e di approvazione delle opere

edilizie. Ciò comporterà, inoltre, per gli organismi di certificazione indipendenti e accreditati, notevoli responsabilità e carichi di lavoro per gestire le numerose dichiarazioni una volta rese obbligatorie. Pertanto, è necessario considerare la progressiva crescita dei loro incarichi, quando la dichiarazione sarà presumibilmente resa obbligatoria per tutti i nuovi edifici. A tal fine, gli organismi di certificazione saranno costretti ad ampliare il loro organico nel tempo, aumentando il numero di esperti nel settore e di specialisti qualificati con cui collaborare. Da notare che, qualora il carico di lavoro non fosse commisurato alla forza lavoro, si correrebbe il rischio concreto di accumulare dichiarazioni in attesa di verifica per un lungo periodo, rallentando l'intero processo approvativo e, di conseguenza, l'intera catena del valore legata alla progettazione e costruzione dell'edificio stesso. Allo stesso tempo, il processo di verifica necessita di coerenza e accuratezza per valutare la correttezza dei risultati di impatto e la conformità delle dichiarazioni presentate alla metodologia richiesta.

Per ridurre il rischio di valutazioni non omogenee tra progetto e realtà, è possibile prevedere l'adozione di sanzioni pecuniarie specifiche per le dichiarazioni non conformi, o in caso di superamento dei limiti di prestazione ambientale.

2.1.4. Applicazione a progetti di ristrutturazione o retrofit

L'applicazione della valutazione LCA per importanti lavori di ristrutturazione è un tema dibattuto anche in altri Paesi europei. Attualmente, solo poche policy estere includono questi progetti nel loro ambito di applicazione: Germania (BBSR, 2019), Islanda (HMS, 2024), Norvegia (Direktoratet for byggkvalitet, 2022) e Svizzera (SIA, 2017).

Estendere la richiesta di valutazione ambientale a lavori di ristrutturazione pone un interrogativo cruciale, data la predominanza del patrimonio costruito esistente da rinnovare nel contesto italiano. Nonostante i potenziali benefici in termini ambientali per la conservazione del patrimonio costruito, durante i lavori, la parziale rimozione, smaltimento e successivo impiego di ingenti quantità di materiale da costruzione, comporta ugualmente possibili effetti ambientali indesiderati nel ciclo di vita.

Come già proposto da Boverket (2023), i lavori di ristrutturazione e ampliamento possono essere inclusi nell'obbligo di presentare la relazione LCA, ma esclusi dalla conformità ai valori limite, a differenza delle nuove costruzioni.

In primo luogo, è necessario considerare l'obiettivo di dare impulso alla ristrutturazione degli edifici anziché alla loro demolizione e ricostruzione,

oppure costruzione ex novo su suolo vergine. Escludere i progetti di riqualificazione dall'obbligo di condurre una valutazione LCA può fungere da incentivo per la ristrutturazione degli edifici esistenti, promuovendo così un utilizzo efficiente delle risorse tramite l'estensione del ciclo di vita dell'edificio stesso. In secondo luogo, il requisito obbligatorio della valutazione LCA applicato solo per le nuove costruzioni ha implicazioni dirette sullo sviluppo di prodotti e materiali edili più sostenibili, in quanto i produttori si attiveranno per ridurre e certificare l'impatto ambientale dei loro prodotti. Di conseguenza, le ristrutturazioni potranno beneficiare indirettamente dall'offerta di mercato di materiali, prodotti e sistemi a basso impatto ambientale (Boverket, 2020).

Al contrario, l'estensione dell'obbligo di valutare anche gli edifici sottoposti a ristrutturazione è funzionale ad evidenziare quali sono gli impatti dovuti alle attività di costruzione edilizia nel loro complesso. Logicamente, sono da escludere le modifiche e operazioni di piccola entità legate alla manutenzione ordinaria.

Un ulteriore spunto di riflessione riguarda invece l'inclusione dei ricorrenti lavori di adeguamento, retrofit e fit-out interno negli edifici commerciali e per uffici, dovuti a modifiche funzionali, nuovi allestimenti o modifiche di *brand identity* richieste da affittuari e/o proprietari. Questi interventi di adeguamento interno possono verificarsi più volte durante il ciclo di vita dell'edificio, solitamente ogni 10-15 anni per gli uffici e perfino ogni 2-5 anni per spazi commerciali, aumentando l'impatto ambientale complessivo (Forsythe, 2017; Talamo, 2022; Campioli & Lavagna, 2024).

Nel contesto italiano, la maggioranza delle nuove costruzioni derivano dalla sostituzione di edifici esistenti o riguardano processi di trasformazione di siti industriali dismessi. Si apre un grande potenziale per la riqualificazione del patrimonio edilizio, in quanto, grazie al mantenimento delle strutture esistenti, è possibile contenere significativamente le emissioni di CO₂eq.

La normativa edilizia italiana (DPR n. 380 del 06/06/2001) considera diverse tipologie di ristrutturazione e modifica, da piccoli interventi a quelli di ampia portata che includono la quasi completa demolizione con nuova costruzione, paragonabile a un nuovo edificio nel calcolo delle quantità di materiali coinvolti nei lavori. Per questo motivo, i requisiti LCA andrebbero determinati in relazione alle diverse definizioni di intervento edilizio fornite dal DPR 380/2001. Escludendo le nuove costruzioni, tali interventi si dividono in quattro categorie (art. 3):

1. Interventi di manutenzione ordinaria;
2. Interventi di manutenzione straordinaria, che includono “le modifiche necessarie per rinnovare e sostituire parti anche strutturali degli edifici, nonché per realizzare ed integrare i servizi igienico-sanitari e tecnologici”, senza alterare la volumetria complessiva degli edifici;

3. Interventi di restauro e riqualificazione conservativa, che riguardano “interventi edilizi rivolti a conservare l’organismo edilizio [...] nel rispetto degli elementi tipologici, formali e strutturali dell’organismo stesso”;
4. Interventi di ristrutturazione edilizia, che riguardano la trasformazione di “organismi edilizi mediante un insieme sistematico di opere che possono dare origine a un organismo edilizio in tutto o in parte diverso dal precedente”, tra cui anche gli interventi di demolizione e ricostruzione di edifici esistenti.

Considerato che solo le ristrutturazioni e gli ampliamenti di edifici, in cui vengono aggiunte o sostituite quantità significative di materiali, sono rilevanti ai fini della richiesta di uno studio LCA, è possibile escludere il punto 1 e concentrarsi sui punti 2 e 4. Il punto 3 può essere escluso in ragione del valore storico di questi interventi, che richiede un’attenta selezione di materiali e tecniche al fine di intervenire adeguatamente sul manufatto originale.

Da notare inoltre che queste classificazioni sono strettamente correlate alle diverse procedure edilizie, quindi alla documentazione presentata al Comune (DPR 380/2001, art. 6, art. 6-bis, art. 10, art. 22, art. 22-bis). In particolare, i punti 2 e 4 sono disciplinati dalle procedure di Comunicazione di inizio lavori asseverata (CILA, art. 6-bis), Segnalazione certificata di inizio lavori (SCIA, art. 22), Segnalazione certificata di inizio lavori alternativa al permesso di costruire (SCIA, art. 22-bis) e Permesso di costruire (art. 10).

Poiché non è presente una chiara suddivisione degli elementi edilizi attribuibili a ciascuna procedura, non è possibile distinguere a priori quali parti potrebbero essere incluse in una valutazione LCA a seconda del tipo di procedura. Basti considerare che la CILA include il rivestimento, l’isolamento e la sostituzione dei serramenti, sebbene rappresentando la procedura più elementare che non richiede un’autorizzazione formale da parte del Comune.

2.2. LCA nelle PA: specifiche metodologiche e strumenti di supporto

Esaminando più nel dettaglio i possibili requisiti LCA, il paragrafo è dedicato all’illustrazione degli aspetti metodologici da prendere in considerazione per integrare la valutazione LCA all’interno delle richieste in fase di progettazione. In particolare, a partire da un confronto degli standard e delle politiche già in atto in altri Paesi, vengono fornite delle raccomandazioni pratiche per il contesto italiano. Temi di interesse sono: il periodo di riferimento dello studio, i confini del sistema della valutazione, gli indicatori di impatto ambientale, l’unità funzionale, le parti d’opera incluse nella valutazione, gli strumenti e database.

2.2.1. Reference Study Period

Il *Reference Study Period* (RSP) indica il periodo temporale di riferimento durante il quale vengono analizzate le prestazioni ambientali dell'oggetto di studio della valutazione LCA, ossia dell'edificio idoneo a svolgere le funzioni richieste in fase di progettazione e costruzione. Tale variabile temporale viene adottata come intervallo di anni utile per calcolare gli impatti del ciclo di vita dell'edificio, assumendo un valore comune per tutte le valutazioni per motivi di comparabilità. È importante però sottolineare che il RSP non coincide necessariamente con l'effettivo ciclo di vita dell'edificio, il quale tende a essere adottato pari al valore di *Reference Service Life* (RSL), ossia la stima della vita utile dell'edificio. Il RSP è comunemente fissato pari a 50 anni nella maggior parte delle politiche europee e dal *framework Level(s)* (Dodd *et al.*, 2020), così come nella Direttiva EPBD IV (UE/1275/2024) (Tabella 2.1). In termini di sostenibilità, ciò implica una riduzione generale dei tempi di ritorno dell'investimento economico (valutazione LCC – *Life Cycle Cost*) ma anche dei potenziali impatti ambientali per quanto riguarda i gas serra e gli altri indicatori di impatto (valutazione LCA).

È possibile inoltre adottare valori RSP diversi a seconda della funzione dell'edificio per meglio adeguarsi al reale utilizzo atteso. I Paesi Bassi, ad esempio, hanno adottato un RSP di 75 anni per le abitazioni e di 50 per gli edifici commerciali, data la vita attesa mediamente più lunga per la funzione residenziale, rispetto ad altre destinazioni d'uso (RVO, 2024).

I Paesi britannici fanno riferimento allo standard del *Royal Institution of Chartered Engineers* (RICS) per la valutazione delle emissioni di gas serra durante il ciclo di vita. Questo standard considera un RSP di 60 anni per gli edifici residenziali, ma è esteso a 120 anni limitatamente all'involucro. Gli edifici commerciali adottano un RSP di 60 anni, mentre le infrastrutture per servizi pubblici, opere civili, cave e piattaforme per l'estrazione di idrocarburi prevedono un RSP di 120 anni. Si prevede inoltre un valore RSP variabile tra 20 e 60 anni per progetti di fit-out o temporanei, garantendo ragionevoli scenari di manutenzione e sostituzione, e 10 anni per interventi che si limitano a modifiche di partizioni interne, pavimenti e controsoffitti, impianti e arredi fissi (RICS, 2024).

In Italia il 65% del patrimonio edilizio residenziale è stato costruito prima del 1976, mostrando quindi una durata di vita effettiva superiore a 50 anni (ENEA, 2024). Inoltre, comunemente la maggior parte degli edifici è stata costruita con materiali durevoli che hanno permesso di mantenere buone prestazioni e, ove necessario, essere soggette a più opere di ristrutturazione. Data l'elevata importanza nel panorama italiano di costruire per garantire la durabilità del patrimonio edificato, è raccomandabile considerare un valore di RSP non inferiore a 100 anni, per soddisfare altresì i requisiti specifici di durabilità,

adattabilità e riduzione dei rifiuti stabiliti dalla Commissione Europea per gli obiettivi di economia circolare nella progettazione edilizia, nonché rappresentare gli scenari climatici secondo un orizzonte temporale più adeguato. Durante il RSP possono intercorrere delle trasformazioni che necessitano un computo coerente nella valutazione LCA, poiché potrebbero apportare variazioni potenzialmente significative a seconda delle tecnologie costruttive adottate. L'adozione di RSP e RSL più brevi può essere tuttavia indicativa della volontà di limitare il grado di incertezza della valutazione. Per considerare l'intero ciclo di vita bisogna, infatti, necessariamente effettuare assunzioni per modellizzare gli scenari operativi e di fine vita; pertanto, limitare l'RSP a 50 anni consente di stimare con minor incertezza gli scenari di fine vita. Un'ulteriore ragione è legata alla scelta di alcuni sviluppatori di pianificare la vita utile dell'edificio in 50 anni, per poi procedere ad una sostituzione integrale dell'edificio, programmando la pianificazione e limitando così la necessità di interventi di manutenzione e retrofit, difficili da quantificare in termini economici e ambientali a priori. Tale prospettiva, però, potrebbe comportare la scelta di soluzioni tecnologiche meno durevoli provocando un aumento del consumo di risorse dovuto ad un numero maggiore di cicli di sostituzione.

Tabella 2.1 – Valori di RSP definiti per la valutazione LCA da diverse normative e standard europei.

Paese/Regione	Policy/standard	RSP (anni)
Italia	Criteri Ambientali Minimi D.M. 24 novembre 2025	100
Belgio	MMG <i>Assessment framework</i>	60
Danimarca	BR18	50
Europa	Level(s) 1.2	50
Francia	RE2020	50
Norvegia	TEK17	50
Paesi Bassi	Milieu PrestatieGebouwen	50/75
Svizzera	SIA 2040	60
Regno Unito	RICS PS WLCA	60

2.2.2. Confini di sistema

Un approccio condiviso e standardizzato per la valutazione dei confini di sistema non è ancora definito a livello europeo, rendendo assai

complesso svolgere delle valutazioni comparative tra i risultati di differenti Paesi, qualora i risultati siano riportati per l'intero edificio e non per singolo modulo.

Tutte le politiche analizzate mostrano una domanda di inclusione piuttosto omogenea di alcuni moduli LCA, che è possibile raccogliere attorno a tre principali tendenze. La fase di produzione (A1-A3, dalla culla al cancello) è sempre inclusa nella valutazione, così come la fase di costruzione (A4-A5), è generalmente inclusa. La fase di utilizzo è comunemente inclusa solo per le operazioni di sostituzione (B4) e i consumi energetici operativi (B6), mentre il fine vita (C1-C4) è comunemente valutato nella sua interezza laddove presente (Tabella 2.2).

Si raccomanda di includere nelle politiche italiane relative al settore edilizio perlomeno i moduli più rilevanti in termini di impatto (A1-A3, A4, B4, B6, C2-C4). Si tratterebbe di un approccio semplificato da implementare in un prossimo futuro con ulteriori moduli del ciclo di vita, in relazione alla previsione di una crescente diffusione di dati ambientali.

Tabella 2.2 – Moduli del ciclo di vita inclusi per la valutazione LCA in diverse normative e standard europei.

EU policy	LCA	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D		
IT	CAM	████████████████████									████		████████████████████					
BE	MMG	████████████████					████		████		████		████████████████					
DK	BR18	████████████████							████		████				████████████			
EU	Level(s)	██																
FI	751/2023	████████████████							████		████		████████████████					
FR	RE2020	██																
IS	HMS BR	████████████████							████		████		████████████████					
NL	MPG	████████████████████										████████████████						
NO	TEK17	████████████████					████		████				████████████████					
SE	Klimatd.	████████████████											████████████████					
CH	SIA 2040	████████████████							████		████████████████							
UK	RICS PS WLCA	██																

Detti moduli selezionati, oltre a costituire le fasi del ciclo di vita maggiormente impattanti sono strettamente correlati all'attuale disponibilità di dati. I moduli esclusi, invece, hanno tendenzialmente una scarsa accuratezza e rappresentatività, dovuta alla mancanza di dati ambientali e dunque ad

assunzioni di carattere generale. Tuttavia, una definizione comune dei confini di sistema sia per gli edifici privati sia per quelli pubblici (come definiti dai CAM) sarebbe importante per non differenziare il flusso di lavoro degli operatori. Ciò accelera l'introduzione LCA nelle fasi di progettazione e migliora la comparabilità dei risultati tra progetti diversi.

2.2.3. Indicatori di impatto ambientale

La scelta di molteplici indicatori di impatto ambientale che costituiscono la valutazione è fondamentale per evitare potenziali trasferimenti di carico (*burden shifting*) tra i diversi indicatori di impatto.

La maggior parte delle politiche europee che prevedono l'adozione LCA richiede esclusivamente la valutazione del Potenziale di Riscaldamento Globale (GWP), separando comunemente le emissioni di gas serra *embodied* (A1-A5, B1-B5, C1-C4, D), il carbonio biogenico (contenuto negativo di anidride carbonica dovuto ad assorbimento e cattura) e le emissioni di gas serra in fase operativa (B6). Al momento solo Francia e Paesi Bassi stanno lavorando con indicatori multipli nelle loro politiche. Il piano francese RE2020 (MTE, Cerema, 2020) prevede valori limite obbligatori per il GWP basati sull'intero ciclo di vita (§2.3.3.), mentre è richiesto il calcolo e la rendicontazione di 27 indicatori aggiuntivi, comprensivi di carbonio biogenico. La politica olandese per l'impatto ambientale degli edifici (MPG) (§2.3.1.) si basa su 19 indicatori che vengono successivamente normalizzati e pesati attraverso il metodo della monetizzazione al fine di ottenere un unico valore economico, chiamato *shadow cost* (RVO, 2024).

L'inclusione di molteplici indicatori mira ad analizzare più problematiche ambientali secondo un approccio olistico anziché concentrarsi, come spesso avviene, esclusivamente sul cambiamento climatico. Pertanto, si raccomanda di includere nella valutazione LCA un set esteso di indicatori, basato sulla norma EN15804:A2, che includa almeno i seguenti tredici indicatori:

- Cambiamento climatico, Totale (kg CO₂e);
- Cambiamento climatico, Fossile (kg CO₂e);
- Cambiamento climatico, Biogenico (kg CO₂e);
- Cambiamento climatico, Uso del suolo e cambiamenti di uso del suolo (LULUC) (kg CO₂e);
- Potenziale di diminuzione dell'ozono (kg CFC-11e);
- Acidificazione (mol H⁺ e);
- Eutrofizzazione, Acqua dolce (kg PO₄e);
- Eutrofizzazione, Acqua marina (kg N e);
- Eutrofizzazione, Terrena (mol N e);

- Potenziale di formazione di ozono fotochimico (kg NMVOC e);
- Potenziale di esaurimento abiotico, Minerali e metalli (kg Sb e);
- Potenziale di esaurimento abiotico, Combustibili fossili (MJ);
- Consumo di acqua (m³e).

Si ritiene necessario sottolineare che il carbonio biogenico è comunemente correlato alla quantificazione dell’anidride carbonica presente nel legno e nei prodotti *bio-based*, sequestrata tramite fotosintesi durante la crescita delle piante. Tuttavia, vi sono molte preoccupazioni circa l’effettiva potenzialità di un effetto cumulativo negativo sulle emissioni totali di carbonio, come effetto di riduzione del potenziale di riscaldamento globale, a causa della temporalità di questo tipo di stoccaggio del carbonio e di possibili disallineamenti metodologici (Hoxha, 2020).

2.2.4. *Unità funzionale*

La valutazione ambientale dell’edificio è riferita a un’unità di misura che deve essere rappresentativa e univoca. Solitamente gli impatti ambientali di un edificio sono calcolati per unità di superficie lungo il RSP adottato. Le unità di superficie più comuni sono:

- La Superficie Lorda (SL), definita in Italia come la “somma delle superfici di tutti i piani comprese nel profilo perimetrale esterno dell’edificio, escluse le superfici accessorie” (Presidenza del Consiglio dei Ministri, 2016);
- La Superficie Utile Abitativa (SUA), definita in Italia come “la superficie di pavimento delle abitazioni misurata al netto di murature, pilastri, tramezzi, vani finestre e porte, scale interne e balconi o logge” (DM 801/1977, Presidenza del Consiglio dei Ministri, 2016). Essa solitamente corrisponde alla superficie di pavimento riscaldata; gli spazi di distribuzione verticale (scale) e orizzontale (corridoi, ballatoi) sono quindi inclusi solo se il loro volume è riscaldato.

L’indicatore Level(s) 1.2, i CAM italiani e la normativa francese RE2020 fanno riferimento alla SUA (o superficie coperta utile), mentre altre normative, come l’MPG nei Paesi Bassi o il BR18 in Danimarca, fanno riferimento alla SL, analogamente alla norma EN15978. Al contrario, il DA EPBD non specifica quale superficie debba essere adottata per il calcolo.

Si suggerisce di adottare la SUA come unità di misura per le valutazioni LCA, in quanto già utilizzata in Italia per le dichiarazioni di consumo energetico e per l’APE, facilitando il confronto e l’analisi dei dati. Inoltre, la SUA ha una dimensione inferiore alla SL. Di conseguenza, gli edifici che massimizzano la superficie utile e presentano spazi comuni o piani interrati ristretti presenteranno risultati migliori in termini di LCA. Ciò è coerente con il

principio di sufficienza, poiché è incluso solo lo spazio funzionale effettivamente utilizzato e disponibile per gli scopi previsti dall'edificio.

2.2.5. Parti d'opera incluse nella valutazione

I confini di sistema riguardano le parti d'opera dell'edificio incluse nella valutazione LCA, che sono comunemente suddivise in due livelli di raggruppamento: parti edilizie ed elementi costruttivi, ciascuno con una propria vita utile (RSL) fissata per determinare i cicli di sostituzione.

Per cogliere le peculiarità del contesto italiano, si suggerisce di introdurre alcune modifiche (Tabella 2.3) rispetto a quanto previsto dal *framework* Level(s) (Dodd *et al.*, 2020). Tale iniziativa costituisce attualmente il riferimento più autorevole in materia ed è alla base anche dell'Atto Delegato (DA) dell'EPBD (ARES(2025)8384118), attualmente in fase di approvazione (EU Commission, 2025a). Sebbene la classificazione del DA sia molto ricca, la proposta riflette l'esigenza di semplificare il metodo prendendo spunto dallo standard UNI 8290 in merito alla classificazione degli elementi costruttivi e tecnologici (UNI, 1983).

Tabella 2.3 – Parti d'opera con le rispettive vite utili attese, secondo le indicazioni degli autori e in confronto ai valori di riferimento di Level(s), utilizzabili per la valutazione LCA.

Parti edilizie	Elementi costruttivi	Vita utile attesa (anni)
Shell (Sottostrutture e sovrastrutture)		
Fondazioni	<ul style="list-style-type: none"> - Strutture di fondazioni dirette (plinti, travi rovesce) - Strutture di fondazioni indirette (pali) - Strutture di contenimento verticali - Strutture di contenimento orizzontali - Solai controterra <p>Sono inclusi i parcheggi interrati, mentre i parcheggi fuori terra sono da computare separatamente</p>	100 *
Strutture portanti	<ul style="list-style-type: none"> - Strutture di elevazione verticali (pilastri, setti portanti) - Strutture di elevazione orizzontali (travi, solai portanti, incl. balconi e coperture) - Strutture di elevazione inclinate (scale, rampe) - Strutture di elevazione spaziali (moduli prefab.) 	100 *
Chiusure verticali	<ul style="list-style-type: none"> - Pareti perimetrali verticali (incl. sistemi di rivestimento e schermatura) - Solai su spazi aperti 	50 *
	- Finiture ad umido (pitture, intonaci)	10 (pitture) 30 (intonaci)

	- Infissi esterni verticali (porte, finestre)	30 *	
	- Facciate continue	35 *	
Chiusure superiori	- Coperture (incl. impermeabilizzazione, finiture) - Infissi esterni orizzontali	30	
Elementi non strutturali	- Partizioni interne verticali - Infissi interni verticali (porte) - Partizioni interne orizzontali (solai, soppalchi)	30	
Core (allestimenti, arredi e impianti)			
	- Sanitari	20	
	- Armadi, guardaroba e piani di lavoro	10	
Allestimenti e arredi	- Rivestimenti per pavimenti (finiture, coating)	30 (finiture) 10 (coating)	
	- Battiscopa e profili - Prese e interruttori	30	
	- Rivestimenti per pareti e soffitti (finiture, coating)	20 (finiture) 10 (coating)	
Impianti per l'energia	- Impianto di riscaldamento e distribuzione	20	
	- Radiatori	30	
	- Impianto di raffreddamento e distribuzione - Produzione di energia elettrica	15	
	- Distribuzione di energia elettrica	30	
Impianti di ventilazione	- Unità di trattamento aria	20	
	- Condotti e distribuzione	30	
Impianti idrosanitari	- Distribuzione di acqua fredda - Distribuzione di acqua calda	25	
	- Sistemi di trattamento dell'acqua - Sistema di drenaggio		
	Altri impianti	- Ascensori e scale mobili	20
		- Impianti antincendio	30
Lavori esterni			
Landscaping	- Pavimentazione e altre superfici dure	25	
	- Recinzioni, ringhiere e muri	20	
	- Sistemi di drenaggio	30	

* Variazioni delle RSL, proposte dagli autori, rispetto a quanto indicato da Level(s).

2.2.6. Strumenti e database

La valutazione ambientale di un edificio con la metodologia LCA richiede l'utilizzo di dati verificabili, aggiornati e certificati, in grado di consentire la trasparenza e tracciabilità del dato.

In particolare, lo studio di inventario del ciclo di vita (LCI) deve essere costruito a partire dalle informazioni relative all'edificio (quantità di

materiali, consumo energetico, consumo di risorse, ecc.) per la determinazione dei flussi in ingresso e in uscita dal sistema di analisi, utilizzando poi dati specifici o generici per la costruzione del profilo ambientale di tali flussi.

Nella scelta dei dati sono da privilegiare dati primari, rappresentativi dei singoli prodotti o servizi così come forniti dal produttore tramite le certificazioni ambientali di prodotto EPD. Ove non disponibili, è consentito l'utilizzo di dati secondari tratti da dati medi di settore contenuti in database LCI, studi LCA conformi alla norma ISO 14044, report di associazioni di categoria o da letteratura scientifica.

Un requisito particolarmente rilevante riguarda la condivisibilità dei dati LCA: il file digitale dello studio LCA proveniente da un software specifico deve essere reso disponibile tra i documenti di gara, possibilmente in formato ILCD per garantire l'interoperabilità tra i diversi software. Questa richiesta potrebbe essere introdotta in Italia per garantire trasparenza per tutti gli attori coinvolti nel processo edilizio. Sebbene alcune policy estere richiedano l'uso di specifici software per le valutazioni LCA, si suggerisce di non fornire un elenco di strumenti e database obbligatori a cui attenersi, pur richiedendo il rispetto di criteri selezionati. Promuovere infatti l'utilizzo di software specifici rilasciati da terze parti favorirebbe solo alcuni operatori privati generando una posizione dominante nel mercato. Al contrario, l'introduzione di tool e database *open source*, gestiti e finanziati dalla PA a livello nazionale, garantirebbe la massima accessibilità e interoperabilità tra operatori del settore e professionisti, oltre che garantire un elevato livello di affidabilità dei dati pubblicati.

L'adozione di strumenti e database *open source* può contribuire alla diffusione di valutazioni LCA in fase di progettazione e favorirne l'applicazione tra gli studi professionali di media e piccola dimensione. Ciò favorisce, altresì, le PA che possono verificare l'accuratezza della valutazione LCA attraverso il controllo dei file ILCD che ricevono dall'operatore che ha condotto detto studio. L'eventuale sviluppo di un software nazionale (come avvenuto in altri Paesi, ad esempio in Francia con Elodie) potrebbe consentire una maggiore armonizzazione degli studi, ma dovrebbe essere gestito da un organismo a livello nazionale.

Lo sviluppo di un database specifico per il contesto italiano è stato avviato da ENEA tramite il progetto Arcadia (ENEA, 2020) ma risulta oggi in fase di sviluppo e non ancora sufficiente a garantire la disponibilità dei dati necessari per la valutazione LCA di un intero sistema edilizio.

In particolare, per strumenti e database, come indicato dall'indicatore Level(s) 1.2 (Dodd, 2020), le policy possono richiedere il rispetto dei seguenti requisiti: Completezza (specificare gli elementi edilizi, le fasi del ciclo di vita e gli indicatori per i quali calcolano i risultati); Robustezza (allineamento delle regole di calcolo con standard EN 15978/15804, come è considerata la

qualità dei dati e la trasparenza delle fonti dei dati e delle assunzioni); Operabilità (accessibilità del software agli utenti, interoperabilità con altri software, costo e formazione e supporto disponibili).

2.3. Benchmark e valori limite LCA: *best practices* nel contesto europeo

La crescente diffusione di interesse per la valutazione LCA a scala di edificio ha portato anche allo sviluppo di valori limite e *benchmark* relativi al profilo ambientale di determinati componenti edilizi, in aggiunta ai valori limite solitamente richiesti per i consumi energetici in fase d'uso.

I valori *benchmark*, secondo la definizione dello standard ISO 21678:2020, sono ottenuti dal processo di raccolta, analisi e correlazione delle prestazioni ambientali di edifici comparabili, fornendo un valore di riferimento (ISO, 2020). I valori limite, al contrario, sono valori soglia definiti sulla base dei confini planetari, stabiliti da studi scientifici per determinare le quantità massime di specifiche emissioni, o la soglia massima delineata all'interno di policy per soddisfare obiettivi di contenimento delle emissioni (ad es. per ridurre le emissioni di gas serra) (ISO, 2020).

L'adozione di criteri *low carbon* si è affermata in alcune policy del settore delle costruzioni limitatamente ad alcuni Paesi europei o nei regolamenti edilizi di alcune città. Questo passaggio è stato possibile solo dopo aver definito una metodologia da adottare. I primi Paesi ad aver introdotto dei valori limite legati alle emissioni di gas serra sono stati la Francia e la Città di Londra nel 2022, la Danimarca e la Città di Helsinki nel 2023, mentre i Paesi Bassi adottano una metodologia basata su indicatori multipli.

Come discusso nel paragrafo §1.1., la diffusione nelle policy europee sta aumentando rapidamente, ma non è ancora visibile una regia comune, poiché anche piccole modifiche nella metodologia comportano l'impossibilità di confrontare efficacemente i risultati. Questo problema si evince anche nel tentativo di confronto dei valori limite/*benchmark* stabiliti in alcune policy.

2.3.1. Paesi Bassi – MPG

Un prima proposta di sviluppo di valori limite è entrata in vigore nei Paesi Bassi nel 2018, tramite l'adozione dell'indicatore MKI, un "costo nascosto" (*shadow cost*) espresso in €/m²y, ottenuto dalla pesatura di 19 indicatori ambientali. Il valore finale MKI si ottiene assegnando a ciascun indicatore ambientale dei pesi specifici (fattori di monetizzazione) definiti da van

Harmelen *et al.* (2004) e ripresi nella documentazione ministeriale (SBK, 2011). Lo *shadow cost* restituisce, dunque, un'indicazione dell'impatto ambientale complessiva e univoca dell'edificio (MPG – *Milieu Prestatie Gebouwen*) (RVO, 2024). Attualmente, i limiti sono riferiti ai soli edifici di nuova costruzione e sono distinti per edifici residenziali (0,8 €/m²y) e edifici per uffici di area superiore a 100 m² (1,0 €/m²y).

Sebbene l'inclusione di molteplici indicatori sia una scelta valida e allineata con i principi LCA, lo sviluppo della metodologia olandese è particolarmente complessa e poco trasparente, in quanto il valore MKI riporta un costo finale corrispondente al costo potenziale per riparare il danno ambientale dovuto alle attività di costruzione. Inoltre, a causa delle fluttuazioni del mercato, risulta particolarmente difficile la definizione di valori monetari fissi, comparabili in un arco di tempo variabile.

Questo tipo di indicatore non permette una scomposizione a posteriori degli impatti, impedendo, ad esempio, la possibilità di agire per la diminuzione del solo indicatore GWP (al fine di adempiere gli obblighi normativi sulla decarbonizzazione), fornendo però un approccio olistico al miglioramento delle prestazioni ambientali.

2.3.2. Danimarca – BR18

La normativa edilizia danese, chiamata *Bygningsreglementet*, è stata approvata nel 2017 e modificata nel 2023 per integrare la valutazione LCA all'interno del Capitolo 11 (art. 297 e 298) relativo al calcolo delle emissioni di gas serra (GWP) in fase di produzione e fine vita oltre che in fase operativa (Social- og Boligstyrelsen, 2025). La norma include gli edifici di nuova costruzione soggetti ai requisiti della normativa energetica, ma esclude piccoli edifici residenziali (*single family houses*). Dal 2025 il valore limite da rispettare per edifici residenziali, commerciali e direzionali è pari a 7,5 kg CO₂e/(m²y), limitatamente ai moduli A1-A3. Altre tipologie di edifici possono avere dei valori limite più bassi o leggermente più alti.

Questo valore limite è molto inferiore a quanto inizialmente previsto nella programmazione di riduzione dei valori limite nella prima versione della norma. Mentre per il biennio 2023-2025 il valore limite era di 12,0 kg CO₂e/(m²y), la riduzione al limite attualmente in vigore era prevista soltanto per il 2029 (Social- og Boligstyrelsen, 2024), dimostrando quindi una grande evoluzione e versatilità della normativa. I moduli A4-A5 sono conteggiati separatamente e non devono eccedere il valore di 1,5 kg CO₂e/(m²y), superiore a quanto stimato in media nel contesto danese (Kanafani *et al.*, 2023).

2.3.3. Francia – RE2020

L'applicazione del requisito LCA è stata introdotta in Francia nel 2021 con l'entrata in vigore del decreto applicativo n. 2021-872, che ha formalizzato la metodologia denominata *Réglementation Environnementale RE2020*, che deriva a sua volta dalla sperimentazione E+C- del 2016, aggiungendo il Titolo VII nel testo unico in materia edilizia (CCH) (MTE, CEREMA, 2020).

L'analisi del ciclo di vita dell'edificio è richiesta per edifici di nuova costruzione o estensione, soggetti al Permesso di Costruire, sia in fase autorizzativa che al completamento dell'opera, a partire dal 2022. I valori limite (Tabella 2.4) sono stati definiti per ogni tipologia edilizia mantenendo la distinzione tra *embodied carbon* e *operational carbon*, calcolati in kg CO₂e/m². È inoltre richiesto di riportare altri indicatori inclusi nelle EPD, nonché il consumo energetico per riscaldamento, raffrescamento e illuminazione, suddiviso tra primario e rinnovabile, oltre al numero di giorni di mancato comfort estivo (République Française, 2024). La policy prevede di includere tutti i moduli da A a D con un calcolo dinamico dell'indicatore GWP, ovvero prevedendo l'adozione di coefficienti decrescenti (anno 0=0, anno 1=0.984, ..., anno 50=0.578) per ponderare gli effetti differiti delle emissioni che intercorrono in momenti diversi del ciclo di vita. Questo comporta che i materiali *bio-based* riportano un valore di carbonio biogenico maggiore delle emissioni dovute al rilascio di anidride carbonica nel fine vita, che risulterà inferiore rispetto a quanto generalmente ottenuto come risultato con il metodo +1/-1 (Hoxha *et al.*, 2020). Inoltre, materiali che andranno sostituiti dopo un tempo maggiore beneficeranno della ponderazione, rispetto a materiali con una sostituzione più frequente o, al contrario, materiali durevoli che hanno emissioni maggiori al tempo 0 ma con una vita utile superiore a 50 anni.

Tabella 2.4 – Valori target per embodied carbon degli edifici in Francia, RE2020.

Funzione dell'edificio	Valore massimo I _c construction [kg CO ₂ e/m ²]			
	2022-2024	2025-2027	2028-2030	Dal 2031
<i>Single-family house</i> (SFH)	640	530	475	415
<i>Multi-family house</i> (MFH)	740	650	580	490
Uffici	980	810	710	600
Scuole primarie o secondarie	900	770	680	590

2.3.4. Finlandia, Città di Helsinki – Building Regulations 2023

In Finlandia l'introduzione di valori limite per l'*embodied carbon* è stata avanzata per la prima volta nella capitale, tramite la definizione del Piano strategico per la riduzione delle emissioni di gas serra entro il 2035 (City of Helsinki, 2024) e l'adozione di un nuovo Regolamento Edilizio nel 2023 (City of Helsinki, 2023a). Tutti i nuovi edifici residenziali devono rispettare il valore limite di 16,0 kg CO_{2e}/(m²y), che comprende anche le emissioni operative, mentre ulteriori valori limite potranno essere definiti per altre tipologie edilizie (City of Helsinki, 2024b). Da notare, però, che il limite non include le fondazioni e le parti esterne dell'edificio.

2.3.5. Regno Unito, Città di Londra – London Plan

Nel Regno Unito la Città di Londra ha introdotto dei valori limite per le emissioni di *embodied carbon* attraverso il documento di pianificazione metropolitana, adottato dalla Greater London Authority a partire dal 2022. La metodologia riprende lo standard *Whole Life Carbon Assessment* (WLCA) del Royal Institute of Chartered Surveyors (RICS), pubblicato nel 2017 e aggiornato nel 2023 (RICS, 2023).

Il *London Plan* (par. SI2) include valori *benchmark* obbligatori da rispettare per tutti i nuovi edifici pubblici (che definiscono quindi un limite), la cui applicazione è consigliata anche per gli interventi privati di grandi dimensioni (con più di dieci unità o >1000 m²) (GLA, 2021). I *benchmark* sono articolati per diverse funzioni d'uso e devono essere calcolati considerando l'intero ciclo di vita (GLA, 2022) (Tab 2.5). La valutazione LCA è da presentare sia durante la richiesta del Permesso di Costruire che al termine dei lavori, con i dati aggiornati *as-built*; se rilevante, è possibile sottomettere una pre-valutazione LCA anche in fase di *pre-application*.

Tab. 2.5 – Valori benchmark di embodied carbon degli edifici pubblici, London Plan.

Moduli LCA	Valori WLCA [kg CO _{2e} /m ²]			
	<i>Benchmark</i>		<i>Benchmark</i> migliorativo	
A1-A5, B1-B5, C1-C4	A1-A5	B-C	A1-A5	B-C
Uffici	< 950	< 450	< 600	< 370
Residenziale	< 850	< 350	< 500	< 300
Retail	< 850	< 200	< 550	< 140
Scuole e università	< 750	< 250	< 500	< 175

2.4. La costruzione di benchmark e valori limite LCA per il settore edilizio: il quadro europeo

La definizione di *benchmark* e valori limite LCA per edifici esistenti e di nuova costruzione è fondamentale per perseguire la decarbonizzazione del settore edilizio congiuntamente ad una riduzione complessiva degli impatti ambientali (Frischknecht *et al.*, 2019).

È possibile definire *benchmark* sia interni che esterni (Ganassali *et al.*, 2016). I *benchmark* interni sono specifici del progetto e possono essere derivati in due modi: dalle prestazioni iniziali del progetto oppure da obiettivi di riduzione percentuale. I *benchmark* esterni sono derivati indipendentemente dal progetto e si basano solitamente su studi statistici del patrimonio edilizio esistente (Tozan *et al.*, 2023). In alternativa, i *benchmark* possono essere sviluppati modellando un edificio di riferimento con geometria, funzione, caratteristiche e contesto simili all'edificio da valutare. Ad esempio, gli studi che analizzano il patrimonio edilizio europeo possono definire valori di *benchmark* confrontabili con valori specifici per il progetto in un Paese che non dispone di un proprio *benchmarking* (Lavagna *et al.*, 2018).

2.4.1. Requisiti della Direttiva EPBD

La Direttiva EPBD, con l'articolo 7(5), impone a ciascuno Stato membro di definire una tabella di marcia per l'introduzione di valori limite sul GWP del ciclo di vita per tutti i nuovi edifici entro il 1° gennaio 2027 (EU Parliament, 2024). I valori limite dovranno rappresentare ogni Stato membro suddividendo il territorio in diverse zone climatiche, zone sismiche e tipologie edilizie, e diventare obbligatori a partire dal 2030, con aggiornamenti costanti per tenere conto di una progressiva tendenza al ribasso.

Questi valori costituiscono parametri di riferimento esterni. Lo sviluppo di tali obiettivi è supportato da una *guidance* e da un Atto Delegato (DA) che sarà pubblicato entro la fine del 2025 (EU Commission, 2025a, 2025b).

L'introduzione di valori limite deve essere discussa con profonda attenzione, al fine di definire quali parti edilizie e quali fasi del ciclo di vita devono essere inclusi nelle valutazioni LCA e per la definizione del *benchmark* stesso. L'inclusione di un numero maggiore di elementi edilizi è supportata dalla volontà di stimare al meglio l'impatto totale dell'intero edificio nel calcolo ambientale. L'EPBD richiede di includere anche gli impianti tecnici, sebbene possa rivelarsi complicato trovare dati ambientali affidabili. Tuttavia, come riportato da Boverket, l'inclusione degli impianti di produzione di energia rinnovabile in loco, come i pannelli fotovoltaici, potrebbe perfino

ostacolarne l'adozione, poiché il loro elevato valore di *embodied carbon* potrebbe incidere negativamente sulle emissioni regolate dal valore limite, mentre non sono conteggiati i benefici derivanti dalla produzione di energia pulita (Boverket, 2023). Come osservato nel paragrafo precedente, alcune policy tendono a includere tutti i moduli del ciclo di vita, similmente a quanto richiesto dall'EPBD; tuttavia, l'inclusione di alcuni moduli del ciclo di vita per i quali mancano dati affidabili potrebbe non essere la soluzione ideale.

2.4.2. Dai casi studio rappresentativi ai valori di riferimento in Europa

Lo sviluppo di *benchmark* e valori limite da poter adottare nella legislazione prende avvio, solitamente, da uno studio nazionale (o locale) condotto da università e centri di ricerca per analizzare il patrimonio edilizio.

Comunemente, questi studi vengono condotti con un approccio *bottom-up*, raccogliendo casi di studio rilevanti per descrivere il patrimonio edilizio locale, analizzando edifici reali rappresentativi, o con la modellazione di archetipi, definendo quindi delle soluzioni tipologiche e tecnologiche standard rappresentative di un edificio modello. Partendo dal catalogo dei casi raccolti, viene eseguita una valutazione LCA in conformità con la normativa locale. Il risultato di ciascun caso studio può quindi essere confrontato con tutti gli altri per trovare valori medi, divisi per percentili. Successivamente, questi valori di riferimento possono essere integrati nelle linee guida emanate da amministrazioni e istituzioni pubbliche da applicare nei documenti legislativi. In Danimarca, nel 2023 è stato condotto uno studio su 292 edifici, di cui sono stati selezionati 163 edifici maggiormente rappresentativi da analizzare e su cui creare i valori di riferimento, suddivisi in otto categorie di applicazione: case unifamiliari (35), condomini (42), case a schiera (22), uffici (35), asili nido (7), istruzione (8), centri sanitari (8) e altre costruzioni (8) (Tozan *et al.*, 2023). Il percentile del 66% è stato identificato, tramite accordo politico, come il miglior compromesso per includere i 2/3 degli edifici con prestazioni migliori tra i casi studio selezionati.

In Svezia, un rapporto di Boverket ha proposto come livello iniziale per i valori limite nel 2027 una riduzione “del 20-30% rispetto a un valore di riferimento ottenuto attraverso uno studio di valutazioni ambientali per gli edifici” (Boverket, 2020). Nel 2021 è stato condotto uno studio per determinare i valori, calcolando l'impatto climatico di 68 nuovi edifici, aggiornato nel 2023 dal KTH Royal Institute of Technology per conto di Boverket (Malmqvist *et al.*, 2023), al fine di migliorare la base di conoscenze per la fase di costruzione (moduli A1-A5) per diverse tipologie di edifici con dati generici

sull'impatto climatico. Questi valori di riferimento si basano su edifici recenti, suddivisi in cinque categorie di applicazione: case unifamiliari (11), condomini (19), asili nido (14), scuole (esclusi gli asili, 10), uffici (11).

Un progetto pilota sostenuto dai *Green Building Council* nazionali e finanziato dalla Commissione Europea, denominato INDICATE, ha analizzato diversi casi di studio in Irlanda, Spagna e Repubblica Ceca per identificare le quantità medie di *embodied carbon*, suddivise per fasi del ciclo di vita e tre diverse funzioni degli edifici (case unifamiliari, case plurifamiliari e uffici). Il rapporto finale suggerisce che i responsabili politici e l'industria debbano concentrarsi innanzitutto sulle emissioni iniziali per ottenere le maggiori riduzioni, dato che la fase di produzione è la principale fonte di emissioni di carbonio in tutti i Paesi e in tutte le tipologie di edifici (Toth *et al.*, 2024). Il progetto sta continuando con una seconda fase (INDICATE LIFE) per analizzare il patrimonio edilizio di nuova realizzazione in altri cinque Paesi, tra cui Austria, Croazia, Slovenia, Lussemburgo e Italia.

2.4.3. Priorità di sviluppo di benchmark e valori limite nazionali in Italia

La definizione di valori *benchmark* permette di suggerire uno scenario di riferimento a cui gli stakeholder possono riferirsi al fine di migliorare l'impatto dei propri edifici. Al contrario, la definizione di valori limite richiede una maggiore attenzione per evitare il rischio che alcuni operatori non siano conformi e debbano abbandonare il mercato per mancanza di tempo e risorse da investire nel processo di riduzione degli impatti. In entrambi i casi, l'analisi andrebbe svolta considerando sia archetipi sia casi di studio reali, garantendo la rappresentatività del campione analizzato sul patrimonio costruito.

Nel contesto italiano, come discusso nei paragrafi precedenti, la definizione di valori *benchmark* e limite dovrà confrontarsi sia con il recepimento della Direttiva EPBD che con i Criteri Ambientali Minimi, arrivando ad una sintesi dei vari aspetti metodologici e dei confini di sistema, nonché la tipologia di valore limite da rispettare. La normativa CAM Edilizia ha introdotto l'uso del LCA e del LCC come strumenti per riscattare dei benefici nel processo di gara al verificarsi di miglioramenti delle prestazioni ambientali nella fase di progetto esecutivo rispetto al PFTE (Repubblica Italiana, 2022; Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE), 2025), a partire da un valore *benchmark* interno (*site-specific*). Al contrario, l'EPBD richiede lo sviluppo di valori limite rappresentativi a scala nazionale, indipendenti dalle caratteristiche del singolo edificio ma legati a parametri geografici (rischio sismico e zone climatiche).

Nello sviluppo dei valori limite dovranno essere adeguatamente rappresentate le fasi di produzione e costruzione (moduli A1-A5), che costituiscono la maggioranza delle emissioni di carbonio e sono quantificabili con più precisione (Ramboll *et al.*, 2023). Tuttavia, è importante includere nell'analisi LCA anche le fasi di utilizzo (moduli B), fine vita (moduli C) e i potenziali benefici (modulo D) che potrebbero altrimenti tralasciare importanti impatti, seppur futuri e soggetti all'incertezza delle assunzioni iniziali. L'adozione di un periodo di riferimento (RSP) lungo, ad esempio cento anni, può evidenziare meglio il ruolo delle emissioni *embodied*, considerando in modo più completo le attività di manutenzione e sostituzione che avvengono durante la vita utile dell'edificio, in particolare a seguito dell'adozione di materiali e soluzioni costruttive durevoli, particolarmente diffuse nel contesto italiano.

Riferimenti bibliografici

- BBSR (Federal Institute for Research on Building, U. A. and S. D.) (2019). Guideline for Sustainable Building Future-proof Design, Construction and Operation of Buildings. Disponibile al link: https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/publikationen/BBSR_LFNB_E_komplett_KORI_190503.pdf
- Boverket (2020). Regulation on climate declarations for buildings: proposal for a roadmap and limit values. Report 2020:28.
- Boverket (2023). Limit values for climate impact from buildings and an expanded climate declaration. Report 2023:24.
- Boverket (2024). Questions and answers about climate declarations. Disponibile al link: <https://www.boverket.se/en/start/laws-and-regulations/climate-declaration/questions/>
- Campioli, A., & Lavagna, M. (2024). Economia circolare ed edilizia per il terziario, in Talamo C.M.L. (a cura di), *Economia circolare e nuovi scenari per il settore delle costruzioni. Modelli organizzativi e pratiche di riuso e remanufacturing nel comparto del terziario*, FrancoAngeli, Milano.
- Direktoratet for byggkvalitet. (2022). Climate and Life Course. Building Technical Regulations (TEK17) with Guidance. Disponibile al link: <https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/17/17-1>
- Dodd, N., Donatello, S., & Cordella, M. (2020). Level(s) indicator 1.2: Life Cycle Global Warming Potential (GWP) User manual: Overview, Instructions and Guidance.
- ENEA (2020). Arcadia: approccio ciclo di vita nei contratti pubblici e banca dati italiana LCA per l'uso efficiente delle risorse. Disponibile al link: <https://www.arcadia.enea.it/>
- ENEA (2024). La consistenza del parco immobiliare nazionale, ENEA, Roma.

- EU Commission (2025a). EU framework for calculating the global warming potential of new buildings – Draft delegated regulation – Ares(2025)8384118.
- EU Commission (2025b). Communication to the Commission. Approval of the content of a draft Commission Notice providing guidance on new or substantially modified provisions of the recast Energy Performance of Buildings Directive (EU) 2024/1275. C(2025) 4132.
- Forsythe, P. (2017). Quantifying the recurring nature of fitout to assist LCA studies in office buildings, *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, vol. 35, n. 3, pp. 233-246. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1108/IJBPA-04-2017-0020>
- Frischknecht, R., Balouktsi, M., Lützkendorf, T., Aumann, A., Birgisdottir, H., Grosse Ruse, E., Hollberg, A., Kuittinen, M., Lavagna, M. *et al.* (2019). Environmental benchmarks for buildings: needs, challenges and solutions – 71st LCA forum, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich, 18 June 2019, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 24, n. 12, pp. 2272-2280.
- Ganassali, S., Campioli, A., & Lavagna, M. (2016). LCA Benchmarks in Building's Environmental Certification Systems, in *Proceedings of 41st IAHS World Congress Sustainability and Innovation for the Future, Albufeira, Algarve, Portugal, 13th-16th September 2016*.
- GLA (2021). *The London Plan*, GLA, London. Disponibile al link: https://www.london.gov.uk/sites/default/files/the_london_plan_2021.pdf
- GLA (2022). London Plan Guidance. Whole Life-Cycle Carbon Assessments, GLA, London. Disponibile al link: https://www.london.gov.uk/sites/default/files/lpg_-_wlca_guidance.pdf
- van Harmelen, T. *et al.* (2004). Toxiciteit Heeft z'n Prijs: Schaduw prijzen Voor (Eco-) Toxiciteit En Uitputting van abiotische Grondstoffen Binnen Dubo-Calc.
- Hoxha, E., Passer, A., Saade, M.R.M., Trigaux, D., Shuttleworth, A., Pittau, F., Al-lacker, K., & Habert, G. (2020). Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods, *Buildings and Cities*, vol. 1, pp. 504-524. Disponibile al link: <https://doi.org/10.5334/bc.46>
- Húsnæðis- og mannvirkjastofnun (HMS) (2024). Reglugerð Um Breytingu Byggingarreglugerð, Nr. 112/2012 – Nr. 383/2024.
- ISO (2020). ISO 21678:2020. Sustainability in buildings and civil engineering works – Indicators and benchmarks – Principles, requirements and guidelines.
- Kanafani, K., Magnes, J., Lindhard, S. M., & Balouktsi, M. (2023). Carbon Emissions during the Building Construction Phase: A Comprehensive Case Study of Construction Sites in Denmark, *Sustainability*, vol. 15, n. 14. Disponibile al link: <https://doi.org/10.3390/su151410992>
- Lavagna, M., Baldassarri, C., Campioli, A., Giorgi, S., Dalla Valle, A., Castellani, V., & Sala, S. (2018). Benchmarks for environmental impact of housing in Europe: Definition of archetypes and LCA of the residential building stock, *Building and Environment*, vol. 145, pp. 260-275. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.008>
- Malmqvist, T., Borgström, S., Brismark, J., & Erlandsson, M. (2023). Referensvärden för klimatpåverkan vid uppförande av byggnader (Vol. 3).

- Ministère de la Transition Écologique (MTE), CEREMA (2020). Réglementation environnementale RE2020, MTE, Paris. Disponibile al link: <https://www.ecologie.gouv.fr/reglementation-environnementale-re2020>
- Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE). (2025). DM 24-11-2025, Adozione dei criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e affidamento di lavori per interventi edilizi. Disponibile al link: https://www.mase.gov.it/portale/documents/d/guest/gu_pag84-86-pdf
- Ministero dello Sviluppo Economico (MISE), ENEA, RSE, CTI (2016). PANZEB - Piano d'Azione Nazionale per incrementare gli edifici ad energia quasi zero. Allegato 1. Disponibile al link: https://www.mimit.gov.it/images/stories/normativa/all_decreto_interministeriale_19_giugno_2017_panzeb.pdf
- Presidenza del Consiglio dei Ministri (2016). INTESA 20 ottobre 2016. Intesa, ai sensi dell'articolo 8, comma 6, della legge 5 giugno 2003, n. 131, tra il Governo, le Regioni e i Comuni concernente l'adozione del regolamento edilizio-tipo di cui all'articolo 4, comma 1-sexies del Decreto del Presidente della Repubblica del 6 giugno 2001, n. 380. Allegato A.
- Ramboll, BPIE, KU Leuven (2023). *Supporting the development of a roadmap for the reduction of Whole Life Carbon of buildings*, Ramboll, Bruxelles. Disponibile al link: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/923706b7-8f41-11ee-8aa6-01aa75ed71a1/language-en>
- République Française (2024). Code de la Construction et de l'Habitation. Aggiornamento dell'8 marzo 2024. Disponibile al link: https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte_lc/LEGITEXT000006074096/
- Repubblica Italiana (1977). DM 801/1977: Decreto ministeriale Lavori pubblici 10 maggio 1977, n. 801, Determinazione del costo di costruzione di nuovi edifici.
- Repubblica Italiana e Direzione Generale Economia Circolare (EC) (2022). Criteri Ambientali Minimi per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di interventi edilizi. In Decreto n.256, 23/06/2022 (256).
- Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS) (2024). *Whole life carbon assessment for the built environment*, RICS, London.
- Rijksdienst voor Ondernemend (RVO) (2024). Environmental Performance Buildings-MPG. Disponibile al link: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/wetten-en-regels-gebouwen/milieuprestatie-gebouwen-mpg>
- Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA) (2017). SIA2040:2017 – Effizienzpfad Energie.
- Social- og Boligstyrelsen (2024). The Building Regulations' guidance on the climate impact of buildings. Disponibile al link: <https://byggningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/11/BRV/Version-2-Bygningers-klimap%C3%A5virkning?Layout=ShowAll>
- Social- og Boligstyrelsen (2025). Technical provisions. 11 – Energy consumption and climate impact (§250-§298). Disponibile al link: <https://www.byggningsreglementet.dk/tekniske-bestemmelser/11/krav/>
- Stichting Bouwkwaliteit (SBK) (2011). Bepalingsmethode En GWW-Werken. Disponibile al link: <https://milieudatabase.nl/nl/downloads-plugin/download/bepalingsmethode-milieuprestatie-gebouwen-en-gww-werken-versie-30/>

- Talamo, C.M.L. (a cura di) (2022). *Re-manufacturing networks for tertiary architectures. Innovative organizational models towards circularity*, FrancoAngeli, Milano.
- Tirelli, D., Lavagna, M., & Campioli, A. (2025). Mappatura di policy LCA per il settore edilizio in Europa, in Raggi, A., Petti, L., Tascione, V., & Arzoumanidis, I. (a cura di), *Atti del XVIII Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA*, Roma, pp. 400-407.
- Toth, Z., Broer, R., Graaf, L., & Röck, M. (2024). How to establish Whole Life Carbon benchmarks: Insights and lessons learned from emerging approaches in Ireland, Czechia and Spain, BPIE, Bruxelles.
- UNI (1983). UNI 8290-1:1981 + A122:1983 – Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia. Disponibile al link:
<https://store.uni.com/uni-8290-1-1981-a122-1983>