

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.



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 

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*
Attribuzione-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</i> vs <i>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

Introduzione

A diversi anni dal lancio del *Green Deal* europeo, che ha posto con forza l'accento sul ruolo strategico del settore delle costruzioni nel raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione al 2050, la transizione ecologica e digitale del comparto risulta ancora difficile da attuare in modo efficace e capillare. Dall'analisi dei provvedimenti che attualmente dettano le politiche europee e nazionali emerge la necessità di adottare un approccio sistemico all'intero ciclo di vita degli edifici, considerato elemento chiave per una transizione reale, solida e orientata al futuro. Tale approccio promuove strategie e pratiche che si pongono l'obiettivo di ridurre l'impatto ambientale delle costruzioni dalle prime fasi di progettazione, fino alla loro dismissione e al recupero dei materiali.

In Italia, molte Pubbliche Amministrazioni hanno elaborato piani d'azione e sviluppato strumenti coerenti con questa visione. Tuttavia, tali iniziative tendono ancora a trattare separatamente temi, livelli e fasi del processo edilizio, generando disallineamenti temporali e operativi nelle procedure autorizzative e non intercettando importanti opportunità di ottimizzazione dei processi. A ciò si aggiunge una diffusa carenza di personale specializzato, strettamente funzionale, viceversa, all'attuazione e alla verifica puntuale delle misure introdotte.

In questo contesto si inserisce il progetto PRIN (Progetti di Rilevante Interesse Nazionale) *Better Policy* | Linee guida e protocolli per la gestione dei processi guidati dalle Pubbliche Amministrazioni nel settore delle costruzioni in Italia, 2024-2025, di cui questo volume presenta gli esiti più rilevanti. Il progetto si propone di supportare le amministrazioni pubbliche nell'evoluzione di politiche e strumenti finalizzati a una transizione sistemica del settore delle costruzioni, affrontando congiuntamente gli obiettivi di decarbonizzazione, digitalizzazione/*smartness*, circolarità e relativi strumenti di valutazione Life-Cycle (LCA). I quattro temi costituiscono di fatto i *pillars* delle principali politiche comunitarie che riguardano il settore. Altrettante unità operative, appartenenti a differenti sedi universitarie, ne hanno

dunque indagato i caratteri e cercato di comprendere barriere e opportunità. Ciascuna UO si è dedicata ad un tema, mai rinunciando tuttavia a relazionarsi con un contesto generale di riferimento, coordinato e sinergico: decarbonizzazione (Università di Genova), metriche *Life Cycle Assessment* (Politecnico di Milano), digitalizzazione/*smartness* (Università Mediterranea di Reggio Calabria), circolarità (Università di Bologna).

I principali destinatari, potenziali utilizzatori, di questo lavoro sono le Pubbliche Amministrazioni (PA), alle quali oggi è affidato un duplice ruolo: da un lato, guidare la domanda di mercato attraverso policy e strumenti normativi di regolamentazione e incentivazione; dall'altro, promuovere iniziative virtuose da mettere in valore nell'ambito delle procedure attuative degli appalti pubblici. Il principale obiettivo della ricerca che ne deriva è fornire alle PA strumenti pratici e procedure operative per integrare in modo efficace gli indicatori di sostenibilità nei processi decisionali. Altrettanto significativo, sul piano operativo, è l'obiettivo di definire *benchmark* e criteri ambientali di riferimento, in linea con le migliori pratiche europee, per facilitare il confronto tra soluzioni alternative e stimolare l'adozione di scelte più sostenibili lungo l'intera filiera delle costruzioni.

Elemento di innovazione di questo progetto è la sistematica ricerca di integrazione su più scale, più livelli, più tematiche e, non meno importante, tra più attori del processo. Ciò si riflette nella struttura metodologica adottata nel corso del suo sviluppo, e nella struttura stessa del volume, secondo le seguenti componenti chiave:

Strategie – Analisi di barriere e driver della transizione nelle misure politiche e regolamentari vigenti, unitamente a criteri di valutazione e buone pratiche, suddivise per tematiche, pur tenendo in considerazione le interrelazioni e sinergie reciproche.

Strumenti – Contestualizzazione dei criteri e degli strumenti di valutazione nel panorama normativo e regolamentare nazionale, con discussione critica delle potenziali aree di miglioramento.

Linee Guida – Proposizione di linee di indirizzo e delle azioni di supporto che le Pubbliche Amministrazioni possono mettere in atto per migliorare le politiche esistenti. Tutto ciò seguendo un costante confronto con i principali stakeholder del processo, che sono stati coinvolti in interviste frontali su barriere e driver della transizione rispetto alle quattro tematiche, allo scopo di ottenere un quadro analitico, sebbene parziale, della complessità multilivello e multi-attoriale nel settore. Sono stati coinvolti studi di progettazione, Dipartimenti regionali Territorio e Tutela dell'Ambiente, enti gestori di appalti pubblici, esponenti di Città Metropolitana. Il confronto ha trovato poi alcuni momenti di sintesi attraverso tavole rotonde che hanno permesso un dibattito multi-scalare sulle tematiche affrontate, nelle quali sono diventati preziosi

interlocutori i livelli regionali, delle città metropolitane, comunali, ma anche locali, attraverso i soggetti di gestione del patrimonio.

Il volume ripercorre le diverse fasi e attività del progetto, presentando innanzitutto gli esiti del lavoro svolto da ciascuna unità sui rispettivi temi e integrandoli successivamente, in modo sinergico, nelle Linee Guida allegate. Queste ultime intendono offrire un supporto concreto al soggetto pubblico, nello sforzo di ridurre la distanza tra quadro teorico di riferimento e attuazione operativa, nonché a monitorare gli impatti delle scelte progettuali. Le Linee Guida affrontano in modo interdisciplinare le politiche relative ai quattro ambiti, con l'obiettivo di limitare le ridondanze presenti negli attuali strumenti normativi e di promuovere criteri, metodi e metriche agili, condivisi e facilmente applicabili. In tale prospettiva si colloca anche la proposta di percorsi di lettura tematici o organizzati in base al soggetto attuatore (ovvero l'utilizzatore del documento), finalizzata a facilitare e sostenere le azioni riferite alla transizione in atto e, allo stesso tempo, a garantire piena consapevolezza delle relazioni e delle interdipendenze del sistema su cui si interviene. Il lavoro propone dunque una prospettiva sistemica che ha l'obiettivo di gestire e interpretare, soprattutto gli appalti pubblici, come leve strategiche per promuovere innovazione, sostenibilità e qualità ambientale nel settore delle costruzioni.

Per le interviste si ringraziano:

- UNIGE: IRE Liguria, Regione Liguria, Inps Liguria, Agenzia Regionale ARTE Genova;
- UNIBO: Studio NET Engineering, Comune di Bologna, Agenzia Regionale ART-ER;
- POLIMI: Studio Citterio-Viel Architects, AMAT Agenzia Mobilità Ambiente Territorio, ANCE Lombardia, Direzione Generale Ambiente e Clima di Regione Lombardia, Fondazione Ecosistemi;
- UNIRC: UO Regione Calabria Transizione Ecologica, Acque e Rifiuti, Dipartimento Territorio e Tutela dell'Ambiente, Città Metropolitana di Reggio Calabria, settore Edilizia.

Per la tavola rotonda si ringraziano:

- Città Metropolitana di Genova, del Servizio Edilizia e Patrimonio;
- Città Metropolitana di Reggio Calabria, settore Edilizia;
- AMAT Agenzia Mobilità Ambiente Territorio, Comune di Milano;
- Servizi Forlì-Cesena.

1. LCA nel settore edilizio: il ruolo delle PA

di *Andrea Campioli*¹, *Monica Lavagna*¹ e *Ilaria Oberti*¹

¹ Politecnico di Milano, Dipartimento DABC, Life Cycle TEAM

Il *Life Cycle Assessment* (LCA) è una metodologia di valutazione degli impatti ambientali che sta avendo sempre più applicazione nel settore edilizio, in diversi ambiti, a diverse scale (prodotto, edificio, città) e coinvolgendo le diverse fasi del processo edilizio.

La spinta che in questo momento ne sta diffondendo l'applicazione deriva dalla promozione della metodologia all'interno delle policy a livello europeo, sia in quelle generali sulla sostenibilità sia in quelle specifiche del settore edilizio. In particolare, l'emanazione di alcune normative di carattere cogente sta attirando l'attenzione di tutti gli operatori del settore edilizio.

Le Pubbliche Amministrazioni (PA), in qualità di responsabili sia della creazione e attuazione delle norme sia dello sviluppo ed esecuzione di interventi pubblici, svolgono un ruolo essenziale nella promozione e diffusione dei principi di sostenibilità e di applicazione della metodologia LCA. L'integrazione della metodologia LCA, sia nella pianificazione a lungo termine sia negli appalti pubblici, costituisce un traino per tutto il settore.

Tale integrazione deve essere supportata da una serie di cambiamenti che devono investire innanzitutto le PA, nel miglioramento dell'assetto interno, nell'integrazione delle competenze, nella formazione, nella produzione di strumenti semplificati a supporto degli operatori. Un cambiamento che deve coinvolgere sia il settore pubblico sia il settore privato, per rendere la sostenibilità un obiettivo traguardabile.

1.1. Metodologia LCA nelle policy del settore edilizio

La sostenibilità ambientale è promossa nelle politiche pubbliche, ma in maniera frammentaria, in relazione ai diversi comparti ambientali. La metodologia LCA, invece, permette di analizzare gli effetti delle policy, e delle strategie da esse promosse, in modo sistemico, verificando l'effettiva sostenibilità. Per questo motivo viene sempre più utilizzata e richiamata come strumento.

Alcune policy europee sia generiche, come la Tassonomia europea e la Finanza Sostenibile, sia di settore, in particolare la nuova EPBD IV, stanno rendendo di fatto progressivamente obbligatoria l'elaborazione di una valutazione LCA degli edifici. Questi percorsi determinano modifiche significative del settore, coinvolgendo tutti gli stakeholder della filiera delle costruzioni.

1.1.1. Sostenibilità ambientale e LCA nelle policy europee

La sostenibilità ambientale è diventata nell'ultimo decennio un elemento centrale all'interno delle politiche pubbliche, soprattutto in contesto europeo, guidando i processi decisionali pubblici e privati. Tra gli strumenti principali si citano iniziative quali il *Green Deal* e i piani strategici come la Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile (SNSvS). Entrambi declinano in azioni concrete gli obiettivi globali dell'Agenda 2030 dell'ONU.

Le politiche pubbliche, ai livelli europeo, nazionale e locale, sono uno strumento fondamentale per promuovere e implementare pratiche di sostenibilità e modificare i processi e i modelli tradizionali. Governi, istituzioni e PA svolgono un ruolo essenziale nella definizione delle politiche pubbliche e, quindi, nell'integrazione della sostenibilità in tali politiche.

Spesso, tuttavia, le politiche mirano alla minimizzazione degli impatti in un determinato comparto ambientale (politiche per il risparmio energetico, per la decarbonizzazione, per la gestione delle risorse e dei rifiuti) e raramente applicano una visione sistemica. Di conseguenza, può accadere che azioni concrete efficaci per la riduzione degli impatti in un certo comparto ambientale, per esempio quello della decarbonizzazione, e in una certa fase del ciclo di vita, quale la fase d'uso, causino effetti indesiderati in un altro comparto ambientale, per esempio quello dei rifiuti pericolosi, e in un'altra fase del ciclo di vita, quale il fine vita.

Per ovviare a questa criticità occorre un approccio al ciclo di vita (*Life Cycle Thinking*, LCT), che analizzi in maniera sistemica tutte le fasi del ciclo di vita, dalla culla alla tomba, e che valuti più comparti ambientali (indicatori di impatto) al fine di evitare fenomeni di "spostamento" degli impatti (*burden shifting*) tra fasi del ciclo di vita o tra comparti ambientali differenti. In particolare, la metodologia LCA è diventata un riferimento internazionalmente riconosciuto per valutare gli effetti e la reale efficacia delle strategie e delle azioni orientate alla sostenibilità.

Nonostante la metodologia LCA venga frequentemente evocata dalla Commissione Europea come efficace strumento per la definizione delle policy di sostenibilità e la verifica dei loro effetti ambientali, la sua concreta integrazione

nelle politiche ambientali delle PA, in particolare in Italia, appare ancora non pienamente attuata, anche se in crescita negli ultimi dieci anni.

La Comunicazione della Commissione Europea “Legiferare meglio per ottenere risultati migliori – Agenda dell’UE” (CE, COM(2015) 215 final), sul miglioramento della regolamentazione, include l’analisi del ciclo di vita nel pacchetto di modelli e metodi per la valutazione degli effetti delle politiche, per supportare le valutazioni dell’impatto e dei benefici ambientali associati. Un primo quadro di potenziali ruoli dell’LCA nelle politiche pubbliche, con particolare riferimento alla valutazione dell’impatto ambientale, è delineato nel report del Joint Research Center *Life Cycle Assessment for the Impact Assessment of Policies* (Sala *et al.*, 2016), che evidenzia come la metodologia LCA e strumenti correlati possano svolgere un ruolo rilevante lungo tutto il processo decisionale, dalla definizione delle policy e previsione dei loro potenziali effetti ambientali, fino alla valutazione dei risultati una volta implementate.

La metodologia LCA ha due possibili modalità di applicazione: da un lato può essere uno strumento di definizione delle politiche e verifica degli effetti, applicata per indirizzare le decisioni dei policy-maker, dall’altro può essere un obiettivo integrato nelle politiche come requisito, applicata dagli operatori finali per dimostrare la riduzione degli impatti ambientali (Lavagna, 2022).

Come esempio della prima modalità, è possibile applicare la valutazione LCA per comprendere l’efficacia delle policy rispetto agli obiettivi di riduzione degli impatti, tramite la modellizzazione LCA dell’intero patrimonio edilizio e la modellizzazione LCA degli effetti delle direttive. Un esempio di tale applicazione è lo studio *Consumer Footprint. Basket of Product Indicator on Housing* (Baldassarri *et al.*, 2017) del Joint Research Center, il cui obiettivo è definire l’impatto complessivo dell’attuale patrimonio residenziale europeo, tramite l’elaborazione di dati statistici, la costruzione dei modelli rappresentativi (Lavagna *et al.*, 2016) e la valutazione LCA dei modelli rappresentativi (Lavagna *et al.*, 2018), per poi modellizzare gli effetti di scenari di cambiamento in relazione alle possibili politiche ambientali.

Come esempio della seconda modalità, è possibile inserire all’interno di strumenti di policy richieste di verifica degli impatti nell’intero ciclo di vita, come avviene per esempio in alcune iniziative locali per le certificazioni energetiche degli edifici o per l’accesso a incentivi (Lavagna & Campioli, 2022). In Svizzera, la certificazione Minergie richiede la verifica dell’energia incorporata e il rispetto di un limite massimo per tale valore. La certificazione CasaClima Nature, applicata in particolare nella provincia di Bolzano, richiede una verifica degli impatti LCA delle soluzioni di involucro e impiantistiche, considerando tre indicatori di impatto: l’Energia Primaria (PEI), il *Global Warming Potential*

(GWP) e l'Acidificazione (AP). Molti Stati europei hanno già incluso i requisiti LCA nelle loro normative edilizie, in relazione al rilascio del permesso di costruire (Tirelli *et al.*, 2024).

Un'esperienza significativa, che testimonia l'interesse di alcune PA per l'integrazione dell'LCA nelle policy, è il progetto Interreg *LCA for Regions* (2019-2023), di cui Regione Lombardia è partner e in cui il Politecnico di Milano è stato coinvolto come stakeholder. L'obiettivo è promuovere l'applicazione della metodologia LCA nelle policy, tramite un confronto tra varie Regioni europee sulle modalità di tale applicazione. All'interno di questo progetto si sono considerate entrambe le modalità di applicazione. Tuttavia si tratta di un caso virtuoso, e non tutte le Regioni, sia europee sia italiane, sono ancora attente all'uso della metodologia LCA a supporto delle politiche ambientali locali.

1.1.2. Il metodo LCA in edilizia

Il metodo LCA permette di valutare in modo sistematico gli impatti ambientali e i consumi di risorse dei processi associati, lungo l'intero ciclo di vita, a un prodotto (*product system*). L'applicazione nel settore edilizio può riguardare diverse scale, dal prodotto all'edificio fino al quartiere urbano, includendo tutte le fasi significative: estrazione delle materie prime, processi di lavorazione e produzione, trasporto, costruzione, uso e manutenzione, e gestione del fine vita attraverso smaltimento o riciclo.

Nata in altri settori, la metodologia è stata poi applicata al settore edilizio, favorendo lo sviluppo di un apparato di normative tecniche molto consistente, sia in ambito ISO sia in ambito CEN. I principali standard sono: ISO 21931-1:2022 e EN 15978:2011 alla scala di edificio; ISO 21930:2017 e EN 15804:2006+A2:2021 alla scala di prodotto. Va sottolineato che, a differenza di altri settori in cui gli standard di riferimento sono unicamente le norme ISO 14040 e ISO 14044, per il settore delle costruzioni, data la complessità di applicazione, la numerosità degli attori coinvolti e l'estensione delle fasi del ciclo di vita, sono state elaborate delle normative tecniche specifiche, sia di prodotto, più dedicate all'industria, sia di edificio. Le più sviluppate e articolate sono quelle elaborate a livello europeo dal Comitato Europeo di Normazione (CEN) Technical Committee (TC) 350.

La metodologia LCA consente di elaborare la rendicontazione degli impatti relativi non solo alla fase di funzionamento degli edifici (B), ma anche alle fasi di produzione (A1-A3), costruzione (A5) e fine vita (C), analizzando fattori come il consumo di energia, le emissioni di gas serra, l'uso dell'acqua e la produzione di rifiuti.

Nel corso degli ultimi venti anni, la metodologia LCA è stata introdotta nei contesti aziendali (produttivi), a supporto della comunicazione verso i consumatori, per la spinta della concorrenza e per la diffusione delle certificazioni ambientali di prodotto (EPD – *Environmental Product Declaration*), mentre appare ancora frammentaria l'applicazione a scala di edificio.

Inoltre l'applicazione è avvenuta principalmente nel settore privato, in modo volontario (Campioli & Lavagna, 2013), trainata dai sistemi internazionali di certificazione della sostenibilità degli edifici basati su protocolli a punteggio (*Green Building Rating Systems*), come LEED e BREEAM (Lavagna & Passer, 2025). In quest'ambito però l'effettiva diffusione della valutazione LCA risulta ancora scarsa, percepita solo come un onere, e spesso sviluppata a fine progettazione e non come strumento di supporto alle decisioni, se non nella scelta di prodotti a minor impatto al momento della selezione dei fornitori. Solo con le richieste di rendicontazione ambientale nell'ambito della Finanza Sostenibile, la metodologia LCA ha destato una reale attenzione da parte degli operatori privati di settore, dimostrando ancora una volta il ruolo importante delle policy come elemento di traino per la sostenibilità.

1.1.3. Leve per il settore edilizio nelle policy europee

Il settore edilizio è considerato uno fra quelli maggiormente impattanti (CE, COM(640) 2019 final): fa ampio riferimento a industrie ad alta intensità energetica, come quelle dell'acciaio, dei prodotti chimici e del cemento; fa parte dei settori ad alta intensità di risorse, assieme al tessile, all'elettronica e alle materie plastiche; è tra i maggiori responsabili (considerando la sola fase d'uso degli edifici) dei consumi di energia e delle emissioni climalteranti, assieme al settore energia e trasporti.

Di conseguenza, il settore edilizio è stato oggetto negli ultimi decenni di varie politiche ambientali sia di indirizzo sia cogenti, generate però con un approccio frammentato ai temi ambientali (energia, rifiuti, ecc.) e concentrato su specifiche fasi del ciclo di vita (uso, fine vita, ecc.). Si osserva invece adesso una promozione della metodologia LCA che introduce una visione sistemica di impatti e fasi.

In ambito europeo, il Regolamento (UE) 2020/852, noto come Tassonomia UE e che rappresenta il fondamento della Finanza Sostenibile, classifica come sostenibili le attività economiche che contribuiscono almeno a uno degli obiettivi ambientali dell'UE e rispettano il principio di non arrecare danni significativi (DNSH – *Do No Significant Harm*) agli altri. In particolare, per le attività edilizie si richiede la prova del contributo alla mitigazione

climatica attraverso indicatori misurabili sul ciclo di vita. La valutazione LCA diviene pertanto metrica per dare risposta alle richieste, seppure non cogenti, e requisito tecnico per attestare la conformità di un edificio alla Tassonomia e, nel contempo, per permettere l'accesso ai canali di Finanza Verde e il rispetto dei criteri ESG (*Environmental, Social, Governance*), introdotti dal Regolamento (UE) 2019/2088 *Sustainable Finance Disclosure Regulation* (SFDR) e dalla Direttiva (UE) 2022/2464 *Corporate Sustainability Reporting Directive* (CSRD). L'integrazione dei criteri ESG nelle strategie aziendali per valutare gli impatti e l'esposizione ai rischi hanno costituito un interessante elemento di spinta verso la sostenibilità del settore privato. Al momento, il *Global Warming Potential* (GWP) è l'unico indicatore considerato, perché richiesto dagli ESG: solitamente gli attori privati eseguono un'analisi LCA completa, definendo però valori obiettivo interni solo per le emissioni di carbonio.

A supporto dell'applicazione della Tassonomia UE nel settore edilizio, la Commissione Europea ha sviluppato "Level(s) – Un quadro di riferimento comune dell'UE per i principali indicatori in materia di sostenibilità degli edifici residenziali e a uso ufficio" (Dodd *et al.*, 2021), con l'obiettivo di garantire armonizzazione delle valutazioni. Si configura come un sistema di indicatori chiave di prestazione, per lo più basati sulla metodologia LCA, per misurare la sostenibilità degli edifici durante il loro intero ciclo di vita. Il richiamo a questo strumento tende a ricorrere nelle norme di settore.

La valutazione LCA viene quindi sempre di più vista dagli operatori come servizio aggiuntivo da vendere al mercato, da valorizzare tra le attività di progetto e sviluppo di un intervento. Quest'ultimo aspetto deve però corrispondere a una attiva domanda, resa possibile nel momento in cui ci si rende conto che l'esecuzione della valutazione LCA può contribuire a migliorare processi e scelte progettuali, portando alla riduzione del consumo di energia primaria e materie prime, nonché alla riduzione degli sprechi.

Ulteriore impulso all'applicazione della metodologia LCA arriva dalla Direttiva sulla prestazione energetica nell'edilizia (EPBD IV, 2024/1275/UE), aggiornamento delle precedenti direttive volte puramente alla riduzione dei consumi di energia degli edifici durante la fase d'uso. La nuova direttiva introduce l'obbligo di calcolare il *Whole Life Carbon* (WLC) o *Life Cycle Global Warming Potential* (LC-GWP), ossia il potenziale di riscaldamento globale, sull'intero ciclo di vita dell'edificio, a partire dal 2028. Sebbene sia mirata al solo indicatore GWP (misurato in kg di CO₂-eq.), rappresenta un'importante pietra miliare: è la prima normativa che introduce un obbligo di calcolo esteso all'intero ciclo di vita degli edifici. Infatti, l'energia e le emissioni di carbonio "incorporate" (legate alle fasi di produzione, costruzione, manutenzione, dismissione e fine vita) possono

essere molto maggiori di quelle operative (consumi energetici durante la fase d'uso degli edifici) a causa dei rigorosi requisiti già in vigore che limitano il consumo energetico degli edifici nuovi e ristrutturati.

La diffusione della valutazione LCA nelle politiche edilizie rappresenta quindi una forte spinta verso la sua adozione nel processo di progettazione e costruzione e costituisce una misura efficace per affrontare l'impatto ambientale della realizzazione e del funzionamento degli edifici, ma l'inclusione di indicatori multipli dovrebbe essere preferita per evitare il rischio di trasferimento degli impatti (*burden shifting*) da un comparto ambientale a un altro.

Il recepimento in Italia della EPBD IV richiederà alle PA di definire le modalità per un'adeguata integrazione della valutazione LCA. Questo si affianca ad altri percorsi in corso già da tempo in Italia nell'ambito del *Green Public Procurement*, avviati a seguito della sollecitazione delle politiche europee (COM(2008) 400 final).

1.2. Integrazione nella pianificazione e negli appalti pubblici

Nell'ambito della Pubblica Amministrazione è utile distinguere tra due categorie di attori: da un lato i policy-maker, responsabili della definizione delle strategie e del quadro regolatorio, dall'altro i soggetti operativi che progettano e attuano gli interventi pubblici, applicando la normativa, in particolare quella sugli appalti. Entrambe rivestono un ruolo determinante verso pratiche edilizie sostenibili e l'adozione della metodologia LCA. L'introduzione di elementi di pianificazione di lungo periodo ha un effetto trainante per tutto il settore; ma anche i soggetti che ruotano attorno al singolo intervento pubblico possono svolgere un ruolo importante di esempio.

1.2.1. Tipologie di integrazione LCA nelle policy

L'integrazione della valutazione LCA nei processi decisionali pubblici ha l'obiettivo di individuare le strategie più efficaci per ridurre gli impatti ambientali associati alla pianificazione urbana, alla realizzazione di opere edilizie e alla selezione dei materiali da costruzione. Pertanto, risulta essenziale definire gli strumenti di policy più adatti a introdurre la metodologia LCA nel quadro regolatorio e programmatico, iniziando a stabilire: la tipologia di strumento da adottare, per esempio se normativo, di pianificazione, economico, programmatico; la natura dell'obbligo, se cogente o incentivante; il livello territoriale di applicazione, se europeo, nazionale, regionale, comunale. La

metodologia LCA potrebbe essere integrato in modo strutturale in diversi strumenti di policy, tra cui: atti di indirizzo strategico e programmi pluriennali; direttive europee e normative cogenti di livello nazionale; strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica, come i PGT, i regolamenti edilizi e altre discipline attuative; strumenti economici di incentivazione per interventi sostenibili, come credito d'imposta o agevolazioni fiscali o sconti sulla tassazione immobiliare e sugli oneri di urbanizzazione oppure bandi e sovvenzioni per l'edilizia sostenibile, oppure di penalizzazione come sistemi di tariffazione e tasse per edifici con prestazioni ambientali che rispettino limiti prefissati.

La governance multilivello ricopre un ruolo importante. Infatti, mentre il quadro europeo definisce i principi e i requisiti minimi, soprattutto attraverso direttive e regolamenti, i governi nazionali provvedono al recepimento e alla relativa armonizzazione. A loro volta, regioni e amministrazioni locali possono adottare prescrizioni ulteriori e più stringenti, come già verificatosi nel caso della regolamentazione energetica in edilizia.

L'introduzione dell'LCA nelle politiche pubbliche implica un percorso progressivo di sviluppo normativo, istituzionale e operativo, che permetta di ottenere riduzioni misurabili degli impatti ambientali su tutte le scale territoriali. Sia gli operatori privati sia i decisori pubblici italiani intervistati durante il progetto PRIN *Better Policy* riconoscono l'importanza di tale integrazione, ma evidenziano perplessità relative all'introduzione di misure cogenti e valori limite obbligatori entro il 2030. Una fase iniziale basata su applicazione volontaria e meccanismi premiali viene considerata funzionale a stimolare il mercato e ad ampliare la capacità tecnica degli operatori. Inoltre, si rileva un consenso sul fatto che una diffusione capillare dell'LCA potrà essere raggiunta solo attraverso la graduale introduzione di requisiti obbligatori, evitando però impatti sproporzionati sugli operatori più piccoli del segmento, che ne limitano la concorrenzialità.

1.2.2. Esempi di integrazione LCA nelle policy in Italia

A livello italiano, il settore pubblico sta svolgendo il ruolo di traino dei temi ambientali, integrando la richiesta di applicazione della metodologia LCA nel *Green Public Procurement* (GPP). Tale integrazione rappresenta un elemento particolarmente originale nel panorama internazionale, costituendo dunque un riferimento di eccellenza.

Il Nuovo Codice dei Contratti Pubblici (D.Lgs. 36/2023), nella Sez. II "Progetto di fattibilità tecnico-economica", articolo 11 "Relazione di sostenibilità dell'opera" dell'allegato I.7 rende obbligatorio in tutti gli appalti pubblici, nella Relazione di Sostenibilità, una valutazione della *Carbon*

Footprint (LC-GWP o WLC) dell'opera in relazione al ciclo di vita, ai fini delle politiche di decarbonizzazione, e una valutazione LCA dell'opera, ai fini dell'uso efficiente delle risorse e dell'economia circolare.

A ciò si affiancano i CAM edilizia (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE), 2025), ossia i criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione e direzione lavori di interventi edilizi e opere di ingegneria civile, esecuzione di lavori, inclusi gli interventi di costruzione, ristrutturazione, manutenzione e adeguamento, che prevedono criteri premiali per miglioramenti ambientali dimostrati tramite applicazione della metodologia LCA, sia nella fase di progettazione, sia nella fase di esecuzione, sia nel caso di appalto integrato.

È richiesto uno studio LCA “di partenza” nella Relazione di Sostenibilità, obbligatorio secondo il Codice Appalti ed elaborato dalla stazione appaltante o, su suo affidamento, da un professionista esterno, e uno studio LCA “migliorativo”, elaborato dall'operatore economico in maniera volontaria, per soddisfare il criterio premiante dei CAM se previsto nel bando di gara. Lo studio LCA svolge dunque sia il ruolo di supporto alla definizione della scelta migliorativa sia il ruolo di strumento di verifica: deve comprovare che la soluzione migliorativa determina una riduzione degli impatti ambientali rispetto alla soluzione di partenza del progetto di fattibilità tecnico-economica (PFTE) o esecutivo approvato, a base di gara. Il disciplinare di gara definisce se le proposte migliorative possano riguardare l'intero edificio o singoli elementi tecnici/prodotti (per esempio tramite l'uso di dati LCA provenienti dalle dichiarazioni ambientali di prodotto, come le EPD).

L'impatto di queste introduzioni normative, per quanto confinate al settore pubblico, hanno un enorme effetto su tutta la filiera edilizia e stanno portando la metodologia LCA all'attenzione di tutti gli operatori (progettisti, produttori, costruttori, investitori, ecc.).

Un altro esempio interessante in contesto italiano ha invece carattere locale e può essere considerato potenzialmente esemplificativo di un approccio estendibile anche ad altri contesti. Il nuovo Regolamento Edilizio di Milano, specificamente la Delibera del Consiglio Comunale n. 64 del 2024, estende l'applicazione dei CAM agli interventi privati di “nuova costruzione, ristrutturazione urbanistica e ristrutturazione edilizia con demolizione e ricostruzione” nell'ambito dei servizi privati di interesse pubblico o generale e impone l'uso dell'LCA per la riduzione modulata del contributo commisurato al costo di costruzione, come previsto dal Piano Aria Clima. L'applicazione dei CAM e dell'LCA prevede una riduzione del contributo di costruzione dovuto: fino a un massimo del 50% per gli interventi di interesse pubblico o generale, e fino al 60% nel caso di servizi privati convenzionati per l'infanzia (fascia 0-3 anni), così come disposte nella

Deliberazione del Consiglio Comunale n. 28 del 2023. Questa introduzione fa parte di un percorso più ampio: il Consiglio Comunale nel 2019 ha approvato il Piano di Governo del Territorio (PGT) di Milano che integra la sostenibilità attraverso l'indice di riduzione dell'impatto climatico (RIC) e la densità carbonica, incentivando interventi come la forestazione urbana, il recupero edilizio e la riqualificazione degli spazi. In particolare, per gli interventi di nuova costruzione, ristrutturazione urbanistica e ristrutturazione edilizia con demolizione e ricostruzione, è obbligatorio il raggiungimento della neutralità carbonica. L'LCA può essere uno degli strumenti utilizzati per valutare l'impatto ambientale degli interventi previsti dal PGT. Chiaramente si tratta di obiettivi molto ambiziosi, che vanno oltre anche agli scenari di recepimento della EPBD IV e che rendono Milano un esempio di avanguardia a livello nazionale.

1.2.3. Integrazione LCA negli appalti pubblici

Le PA, in particolare a livello ministeriale, agiscono come policy-maker e stabiliscono le regole e gli standard ambientali da rispettare negli appalti pubblici, ad esempio l'obbligo di adottare i CAM. Le PA, a livello locale, agiscono come attuatori/applicatori di tali requisiti nelle gare d'appalto: quando indicano una gara d'appalto, devono includere e applicare attivamente i requisiti ambientali definiti a livello normativo, valutando e premiando le offerte che meglio rispondono a tali criteri.

Tuttavia, le PA sono generalmente poco informate sulla metodologia LCA, soprattutto nei contesti di piccole dimensioni. Gli intervistati hanno evidenziato come a volte nessun dipendente sia preparato su questo argomento, limitando la capacità della PA di gestire requisiti di gara correlati ai criteri LCA e di controllare gli studi LCA elaborati dai professionisti.

Sia i professionisti sia le società che collaborano con le PA per la gestione di CAM e DNSH nei loro progetti evidenziano un quadro di difficoltà generale nello sviluppo delle conoscenze dovute alla carenza di aggiornamento tecnico del personale, alla mancanza di standard a cui fare riferimento e alla scarsa digitalizzazione del processo di progettazione edilizia. Sarebbe infatti molto utile poter creare dei database degli studi LCA, al fine di aumentare le conoscenze e costruire *benchmark* LCA nazionali di riferimento.

Emerge dunque un quadro di scarsa applicazione dei criteri LCA nelle gare d'appalto pubbliche, limitando il potenziale di diffusione che il GPP potrebbe garantire ed evidenziando come le leve di mercato (come gli ESG) riescano a mobilitare maggiormente rispetto a requisiti di gara che non possono poi essere effettivamente controllati dalle PA.

1.2.4. LCA nelle policy e percezione degli operatori

Dalle interviste condotte nell'ambito del progetto PRIN *Better Policy*, coinvolgendo stakeholders del settore edilizio, sia in ambito pubblico sia in ambito privato, è emerso come quasi tutti concordino sull'importanza delle politiche come elemento trainante per l'affermazione dei principi di sostenibilità e sull'importanza dell'uso della metodologia LCA per la verifica dell'effettiva sostenibilità delle azioni trainate dalle politiche. Il mercato deve fare riferimento alla metodologia LCA perché, laddove lo ha fatto, la domanda di prodotti meno impattanti è notevolmente migliorata, portando il mercato verso una effettiva riduzione degli impatti e un vantaggio competitivo.

Tuttavia, per tale attuazione sono state proposte diverse soluzioni tra settore pubblico e privato. L'imposizione di requisiti obbligatori per il settore pubblico (CAM GPP) è considerata più accettabile rispetto al settore privato. La maggior parte degli stakeholder concorda sull'uso di meccanismi premiali e requisiti volontari per le iniziative private, associato a incentivi economici, ad esempio la riduzione delle tasse sui permessi di costruire, incentivi procedurali o finanziamenti specifici per la valutazione LCA.

In generale, gli operatori concordano nel ritenere che la valutazione LCA non debba essere considerata un onere, ma una soluzione rispettosa dell'ambiente e dell'economia. Tuttavia, specialmente in questo primo periodo di introduzione, diventa un ulteriore capitolo di spesa per gli operatori, non sempre pienamente riconosciuta dai clienti come valore aggiunto.

Anche nel settore pubblico, alcuni intervistati hanno sottolineato che in molti casi i piccoli comuni o le piccole PA non hanno le conoscenze e le risorse finanziarie per affrontare una valutazione LCA obbligatoria, come previsto dal Codice Appalti, pertanto sarebbe opportuno introdurre una soglia nel valore economico delle opere pubbliche per escludere le realtà più piccole.

Gli operatori del settore privato (progettisti, fondi immobiliari, professionisti e consulenti) hanno già applicato l'LCA nei loro progetti o sono interessati a offrire questa valutazione come funzionalità aggiuntiva per soddisfare una domanda emergente del mercato, ma solitamente solo i grandi studi di architettura o di ingegneria dispongono di un team con specialisti LCA, mentre i piccoli studi non hanno risorse sufficienti per sviluppare una conoscenza completa dell'LCA.

Ciò significa che un approccio basato sul ciclo di vita non fa ancora parte del processo di progettazione. Pertanto, l'LCA è adottata principalmente dalle grandi aziende ogniqualvolta vi sia una domanda di mercato, spesso associata a sistemi di valutazione volontari come LEED, applicati solo in interventi di significativa entità. Questi sistemi di valutazione sono

riconosciuti e accettati a livello mondiale non solo come certificazione di qualità, ma anche perché offrono una metodologia standard replicabile e verificabile.

Il principale ostacolo all'applicazione dell'LCA nel settore edilizio è la mancanza di controllo da parte delle PA. Poiché lo sviluppo di queste competenze richiede ingenti investimenti, sia in termini di tempo che di risorse finanziarie, le imprese di costruzione e gli studi di progettazione non sono incoraggiati ad approfondire un settore ancora non regolamentato, con rischi di concorrenza sleale. Questo si affianca alla percezione che la domanda di mercato sia ancora limitata o inesistente. Inoltre l'aumento dei costi, la scarsità di interesse da parte del mercato e la mancanza di regole non stimolano i clienti o gli investitori a richiederne l'adozione (se non in presenza di meccanismi incentivanti come la Finanza Sostenibile).

1.3. Principi di *change management* per le PA

Sono quattro gli aspetti rilevanti che le PA dovrebbero affrontare per una più efficace gestione dei temi ambientali, integrando l'approccio LCA: 1) modificare l'assetto delle strutture interne (governance) attualmente suddivise in tematiche verticali e senza meccanismi di interfaccia e sintesi sinergica sugli aspetti ambientali; 2) migliorare le conoscenze tramite la formazione del personale o l'integrazione di nuove competenze; 3) sviluppare e gestire, con il coinvolgimento di enti di ricerca pubblici, strumenti semplificati ma scientificamente robusti, che diventino di riferimento univoco per tutti gli operatori; 4) promuovere iniziative virtuose che costituiscano un traino per gli operatori.

1.3.1. *Da un approccio settoriale a una visione sistemica*

In Italia, molte PA hanno introdotto strumenti di policy per la sostenibilità a livello nazionale, regionale e locale, includendo prescrizioni, protocolli e indicatori volti a favorire l'uso efficiente delle risorse nel settore edilizio. Tuttavia, la verifica dell'efficacia ambientale di tali interventi viene valutata in modo prevalente attraverso analisi settoriali delle singole matrici ambientali (energia, acqua, rifiuti, aria) o delle specifiche fasi del ciclo edilizio, senza un'adeguata integrazione tra gli impatti. Tale approccio deterministico e frammentato può comportare distorsioni nella stima degli effetti complessivi, con sovra- o sottovalutazione degli impatti reali delle politiche adottate.

La transizione ecologica richiede, invece, un approccio olistico basato sul ciclo di vita, che consenta di correlare benefici e costi ambientali delle scelte di trasformazione del territorio. L'adozione sistematica di metodologie come l'LCA nelle politiche edilizie permetterebbe alle PA di: valutare con maggiore affidabilità gli effetti combinati delle azioni intraprese su tutte le matrici ambientali; prevenire fenomeni di *burden shifting* tra un comparto ambientale e l'altro; stimolare l'adozione di approcci coerenti da parte di tutti gli attori dell'intera filiera.

Nonostante la crescente presenza di strutture interne dedicate alla sostenibilità, l'organizzazione delle PA rimane caratterizzata da strutture verticali, per ambiti ambientali o settori applicativi, con scarsa sinergia. A ciò si aggiunge una governance influenzata da frequenti cambiamenti politico-dirigenziali, che limita la possibilità di mantenere una pianificazione strategica di lungo periodo e favorisce invece interventi orientati ai risultati immediati.

Per supportare decisioni informate e realmente efficaci, le PA necessitano dunque di strumenti analitici integrati per definire priorità di intervento e ambiti ad alto impatto, processi decisionali partecipati e coerenti con il contesto amministrativo, e soprattutto una governance capace di valorizzare una visione sistemica e la continuità istituzionale.

1.3.2. Formazione e aggiornamento delle competenze

Le interviste condotte nell'ambito del progetto PRIN *Better Policy* evidenziano una significativa eterogeneità nelle competenze relative alla metodologia LCA tra operatori del settore edilizio pubblico e di quello privato. In particolare, le figure professionali attive nel mercato immobiliare e negli studi di progettazione dimostrano un livello di conoscenza mediamente più elevato rispetto alle PA, che manifestano invece maggiori difficoltà nell'acquisizione e nell'impiego di competenze specialistiche.

L'apprendimento della metodologia LCA richiede un investimento significativo in percorsi formativi dedicati, peraltro ancora poco diffusi sul territorio nazionale. Ciò porta a una situazione in cui solo le realtà private più strutturate dispongono delle risorse necessarie per costituire team specializzati nel campo della sostenibilità, mentre i piccoli studi professionali non hanno la capacità di sostenere costi e tempi di formazione aggiuntivi. Sul versante pubblico, la presenza di personale formato risulta limitata e in genere non sufficiente a garantire un'applicazione sistematica della metodologia.

Il settore privato ha intrapreso l'adozione dell'LCA stimolato dal quadro della Finanza Sostenibile. Le PA mostrano invece un ritardo significativo: l'applicazione della valutazione LCA risulta ancora relegata a interventi

episodici. Inoltre, il settore pubblico soffre di inerzia nel ricambio professionale interno e di difficoltà nell'aggiornamento delle competenze, un fattore particolarmente critico in relazione alla crescente pressione normativa europea, come nel caso dell'EPBD IV. Tale ritardo si riflette anche nella gestione dei CAM, spesso inapplicati oppure applicati in modo meramente formale e senza adeguati controlli.

Il rafforzamento delle competenze interne alle PA risulta quindi essenziale, sia per integrare efficacemente la metodologia LCA nella definizione delle politiche pubbliche, sia per garantirne la corretta applicazione nei progetti sottoposti a verifica quando richiesto dalle policy. Peraltro, le PA rivestono un ruolo strategico nel sostenere la crescita delle competenze tecniche del mercato privato, promuovendo, per esempio, iniziative di formazione per preparare gli operatori a rispondere adeguatamente alle richieste normative.

1.3.3. Sviluppo e gestione di strumenti LCA semplificati

Attraverso l'analisi delle policy a livello europeo, si è visto come le PA svolgano un ruolo essenziale nel creare le condizioni per una più rapida applicazione del metodo LCA, promuovendo strumenti semplificati (metodologia, modalità di calcolo, banca dati, assunzioni standard, *benchmark*).

Questo implica la necessità di trovare livelli di semplificazione nell'applicazione della metodologia, che spesso si traducono in una riduzione degli indicatori ambientali considerati (per rendere più semplice la lettura dei risultati e il confronto tra opzioni alternative) o in una semplificazione della raccolta dati LCA (appoggiandosi a dati LCA secondari da software e banche dati oppure riducendo le fasi del ciclo di vita considerate).

La semplificazione non deve però ridurre il rigore metodologico. In particolare, gli operatori ritengono un elemento di grande importanza, soprattutto in applicazioni di carattere normativo o di competizione per l'accesso ad appalti pubblici (come nel caso del GPP), l'armonizzazione della metodologia (assunzioni nello studio LCA) e dei dati di partenza (univocità della banca dati LCA di riferimento). Molte nazioni europee hanno messo a punto strumenti che consentono un'applicazione secondo procedure standardizzate (ad es. Minergie in Svizzera), strumenti di calcolo standardizzati (ad es. Totem in Belgio, LCAByg e LCCbyg in Danimarca) e l'accesso a banche dati nazionali gestite o supervisionate da enti ministeriali (ad es. Ökobaudat in Germania e INIES in Francia).

Le semplificazioni, seppur importanti in questa fase iniziale al fine di diffondere l'uso della metodologia LCA, sono sempre rischiose, perché possono portare a risultati non corrispondenti alla realtà. La necessità di

estendere la preparazione degli operatori è fondamentale, anche per non banalizzare la modalità con cui viene applicata la metodologia.

La mancanza di un database nazionale di riferimento univoco e di uno strumento gratuito specifico per le valutazioni alla scala di edificio rappresentano importanti ostacoli per l'uso diffuso del metodo LCA in Italia.

Per risolvere il primo aspetto, il progetto Arcadia, iniziato a settembre 2019, sviluppato e coordinato da ENEA, ha portato alla realizzazione di una banca dati italiana LCA relativa a 15 filiere nazionali quale strumento di supporto alle PA nella preparazione dei bandi di acquisto e nella valutazione delle offerte e come fonte di dati rappresentativi del contesto italiano per chi sviluppa studi LCA. Tuttavia, la costruzione di un numero significativo di dataset che consentano lo studio LCA di un edificio è un percorso lungo e che richiede aggiornamento costante. Il progetto è stato finanziato dal programma PON (Programma Operativo Nazionale Governance e Capacità Istituzionale 2014-2020), che è uno degli strumenti della politica di coesione finanziati dall'Unione Europea attraverso i Fondi Strutturali e di Investimento Europei – Fondi SIE. L'Unità di ricerca LifeCycle TEAM del Dipartimento ABC del Politecnico di Milano ha collaborato alla realizzazione di alcuni dataset della banca dati Arcadia. In particolare, si è occupata della filiera vetro e telai in PVC per i serramenti. L'auspicio è che tale banca dati possa crescere nel tempo e costituire quel riferimento univoco richiesto dagli operatori.

Anche su questi aspetti, il ruolo delle istituzioni nel promuovere la costruzione di banche dati, lo sviluppo di strumenti di elaborazione dei dati ambientali qualificati, l'armonizzazione di procedure e modalità applicative, la qualificazione degli esperti operanti in questo ambito, risulta essenziale per una diffusione della metodologia LCA che ne garantisca credibilità dei risultati e accuratezza di applicazione.

La metodologia LCA è oggi oggetto di particolare attenzione a livello nazionale, per il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) (in particolare il Dipartimento di Energia e la Direzione Generale per l'Economia Circolare, sezione GPP-CAM), per il ruolo che essa riveste in relazione a due ambiti cogenti di applicazione, la Direttiva EPBD IV e gli appalti pubblici (Codice Appalti e CAM-edilizia).

Una possibile soluzione alla definizione di standard italiani, metodi di calcolo e altri dettagli di implementazione è la pubblicazione di linee guida specifiche a livello ministeriale. La realizzazione di un documento unico e ben strutturato che affronti ogni aspetto rilevante in materia di LCA potrebbe rappresentare una soluzione ottimale per insegnare a professionisti e PA come utilizzare questi metodi, chiarendo tutti i dettagli tecnici e operativi, analogamente a quanto già fatto in altri Paesi europei.

1.3.4. PA come promotori di iniziative virtuose

Il settore pubblico dovrebbe essere un ambito virtuoso e costituire un traino per il mercato. Invece si riscontra una certa inerzia: nel settore pubblico la valutazione LCA è stata applicata in rari casi e limitatamente a specifici campi di applicazione. Tuttavia si possono citare alcuni esempi interessanti.

Una pratica virtuosa emersa durante le interviste condotte durante il progetto PRIN *Better Policy*, esplorata da consulenti esperti nell'ambito GPP, è quella di collegare la valutazione LCA ai principi DNSH, al fine di fornire un approccio scientifico di verifica. I possibili indicatori LCA che possono essere associati agli obiettivi ambientali sono: il GWP per “mitigazione dei cambiamenti climatici”, l'eutrofizzazione (EP) per “protezione delle acque e delle risorse marine”, i consumi di risorse per “transizione verso un'economia circolare”, gli indicatori associati alle emissioni inquinanti per “prevenzione e riduzione dell'inquinamento”, la biodiversità (indicatore *endpoint*) per “protezione della biodiversità e degli ecosistemi”. L'uso dell'LCA può essere diviso in due livelli: un primo livello per stabilire che non vi è alcun danno significativo e un secondo per riconoscere il contributo significativo migliorativo.

Un esempio interessante di uso del metodo LCA a supporto delle politiche è l'applicazione fatta da Regione Lombardia per definire le modalità di gestione dei rifiuti (rifiuti urbani indifferenziati, rifiuti organici e rifiuti da costruzione e demolizione): Regione ha commissionato uno studio al Politecnico di Milano con l'obiettivo di conoscere le prestazioni ambientali dei vari sistemi di gestione e individuarne le eventuali criticità e le indicazioni di miglioramento. I risultati dello studio sono poi stati utilizzati per indirizzare le azioni della pianificazione regionale.

Un ulteriore esempio, particolarmente rilevante per il settore edilizio, è legato a una esperienza di concorso. Attraverso la competizione internazionale *Reinventing Cities*, promossa da C40 Cities, un network di circa 100 città a livello globale impegnate a combattere il cambiamento climatico, il Comune di Milano, dopo aver individuato siti di proprietà pubblica abbandonati o sottoutilizzati e pronti per essere valorizzati, ha sollecitato soggetti privati, organizzati in team multidisciplinari, a presentare proposte per la rigenerazione urbana sostenibile dei siti trovando soluzioni a 10 sfide ambientali, tra cui la valutazione del ciclo di vita e gestione sostenibile dei materiali da costruzione (Campioli *et al.*, 2020). L'analisi della *carbon footprint* dell'intervento (Lavagna *et al.*, 2022) e l'obiettivo *carbon neutral* sono stati una componente cruciale per selezionare i progetti vincitori. Dopo tale esperienza, il Comune ha ora reso tale richiesta parte integrante del Regolamento Edilizio.

Dunque anche singole iniziative, che spingono a obiettivi più avanzati rispetto a quanto richiesto dalle normative cogenti, possono costituire un banco di sperimentazione delle PA per testare la preparazione degli operatori prima di introdurre obblighi normativi e fungere così da traino per il mercato.

Riferimenti bibliografici

- Baldassarri, C., Allacker, K., Reale, F., Castellani, V. & Sala, S. (2017). Consumer Footprint. Basket of Products indicator on Housing, EUR 28765 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. Disponibile al link: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC107958>
- Campioli, A., Lavagna, M. (2013). “Innovazione ambientale dei processi di trasformazione del costruito e ciclo di vita”, *Techne. Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 5, pp. 66-73.
- Campioli, A., Mussinelli, E., Lavagna, M., Tartaglia, A. (2020). “Design strategies and LCA of alternative solutions for resilient, circular, and zero-carbon urban regeneration: a case study”, in *Regeneration of the Built Environment from a Circular Economy Perspective*, Springer, pp. 205-215.
- Commissione Europea, COM(2008) 400 final, Public procurement for a better environment. Disponibile al link: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0400:FIN:EN:pdf>
- Commissione Europea, COM(2015) 215 final, Legiferare meglio per ottenere risultati migliori – Agenda dell’UE. Disponibile al link: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52015DC0215>
- Commissione Europea, COM(2019) 640 final, Il Green Deal europeo. Disponibile al link: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0006.02/DOC_1&format=PDF
- Dodd, N., Donatello, S., Cordella, M. (2021). Level(s) – Un quadro di riferimento comune dell’UE per i principali indicatori in materia di sostenibilità degli edifici residenziali e a uso ufficio. Disponibile al link: https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2023-02/ENV-2020-00021-02-01-IT-TRA-00_0.pdf
- Lavagna, M., Giorgi, S., Dalla Valle, A. (2016). Abitare in Europa. Analisi dei dati statistici, definizione di modelli rappresentativi e valutazione ambientale LCA del patrimonio residenziale europeo, Maggioli, Sant’Arcangelo di Romagna (RN).
- 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>
- Lavagna M., a cura di (2022). LCA in edilizia. Ambiti applicativi e orientamenti futuri della metodologia Life Cycle Assessment nel settore delle costruzioni, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN). Disponibile al link: <https://doi.org/10.30448/UNI.916.55806>

- Lavagna, M., Campioli, A. (2022). “LCA in building sector policies”, Atti del XV Convegno della Rete Italiana LCA, Innovazione e circolarità. Il contributo del Life Cycle Thinking nel Green Deal per la neutralità climatica, 22-24 settembre 2021, Università Mediterranea di Reggio Calabria, pp. 215-222.
- Lavagna, M., Campioli, A., Dalla Valle, A., Giorgi, S. (2022). “Design Strategies Toward Low-Carbon Buildings and Neighbourhoods. The Use of LCA to Support a Project Proposal for Reinventing Cities”, in *New Metropolitan Perspectives Post COVID Dynamics*, Springer, Cham, pp. 1879-1888. Disponibile al link: https://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-06825-6_181
- Lavagna, M., Passer, A. (2025), “Life cycle assessment of buildings: methodological development and future perspectives”, in *Sustainability certifications, labels and tools in the Built Environment*, Routledge, Taylor & Francis Group, New York and Oxon, pp. 166-188. Disponibile al link: <https://dx.doi.org/10.1201/9781032705149>
- 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
- Parlamento Europeo e Consiglio dell’Unione Europea, Regolamento (UE) 2019/2088 relativo all’informativa sulla sostenibilità nel settore dei servizi finanziari. Disponibile al link: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R2088>
- Parlamento Europeo e Consiglio dell’Unione Europea, Regolamento (UE) 2020/852 relativo all’istituzione di un quadro che favorisce gli investimenti sostenibili e recante modifica del regolamento (UE) 2019/2088. Disponibile al link: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0852>
- Parlamento Europeo e Consiglio dell’Unione Europea, Direttiva (UE) 2022/2464 che modifica il regolamento (UE) n. 537/2014, la Direttiva 2004/109/CE, la Direttiva 2006/43/CE e la Direttiva 2013/34/UE per quanto riguarda la rendicontazione societaria di sostenibilità. Disponibile al link: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022L2464>
- Parlamento Europeo e Consiglio dell’Unione Europea, Direttiva (UE) 2024/1275 sulla prestazione energetica nell’edilizia. Disponibile al link: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401275
- Pennington, D., Wolf, MA., Bersani, R. (2007). “Overcoming barriers to the broader implementation of life cycle thinking in business and public administration”, *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 12, pp. 458-460. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1065/lca2007.07.355>
- Sala, S., Reale, F., Cristobal Garcia, J., Marelli, L., Pant, R. (2016). Life cycle assessment for the impact assessment of policies. EUR 28380 EN. Luxembourg Publications Office of the European Union, JRC105145. Disponibile al link: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC105145>
- Tirelli, D., Lavagna, M., Campioli, A. (2025). “Mappatura di policy LCA per il settore edilizio in Europa”, in *Atti del XVIII Convegno dell’Associazione Rete Italiana LCA – Life Cycle Thinking a supporto di modelli di produzione e di consumo sostenibili*, Associazione Rete Italiana LCA, Roma, pp. 400-407.

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	- Strutture di fondazioni dirette (plinti, travi rovesce)	100 *
	- Strutture di fondazioni indirette (pali)	
	- Strutture di contenimento verticali	
	- Strutture di contenimento orizzontali	
	- Solai controterra	
	Sono inclusi i parcheggi interrati, mentre i parcheggi fuori terra sono da computare separatamente	
Strutture portanti	- Strutture di elevazione verticali (pilastri, setti portanti)	100 *
	- Strutture di elevazione orizzontali (travi, solai portanti, incl. balconi e coperture)	
	- Strutture di elevazione inclinate (scale, rampe)	
	- Strutture di elevazione spaziali (moduli prefab.)	
Chiusure verticali	- Pareti perimetrali verticali (incl. sistemi di rivestimento e schermatura)	50 *
	- Solai su spazi aperti	
	- 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)		
Allestimenti e arredi	- Sanitari	20
	- Armadi, guardaroba e piani di lavoro	10
	- 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)
	- Impianto di riscaldamento e distribuzione	20
Impianti per l'energia	- Radiatori	30
	- Impianto di raffreddamento e distribuzione	15
	- Produzione di energia elettrica	30
	- Distribuzione di energia elettrica	30
Impianti di ventilazione	- Unità di trattamento aria	20
	- Condotti e distribuzione	30
Impianti idrosanitari	- Distribuzione di acqua fredda	25
	- Distribuzione di acqua calda	
	- 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
Single-family house (SFH)	640	530	475	415
Multi-family house (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 CO₂e/(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 ₂ e/m ²]			
	Benchmark		Benchmark 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_KOR1_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>
- Húsnaðis- 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 Bouwkwaliiteit (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>

3. La decarbonizzazione nel processo edilizio

di Maria Canepa¹

¹ Università degli Studi di Genova, Dipartimento Architettura e Design

Affrontare la sfida della decarbonizzazione richiede uno sforzo globale e coordinato da parte di governi, industrie e comunità. È essenziale adottare politiche e pratiche sostenibili che favoriscano la transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio. Gli accordi europei forniscono obiettivi chiari e tappe intermedie verso i traguardi nazionali di decarbonizzazione. Il *Green Deal* europeo, firmato nel dicembre 2019, impegna l'Europa e l'Italia a guidare l'Unione Europea verso la neutralità climatica entro il 2050, il che significa raggiungere emissioni nette di gas serra pari a zero entro la metà del secolo. La Risoluzione del Parlamento Europeo del 15 gennaio 2020 sottolinea la necessità di ristrutturare gli edifici esistenti per raggiungere edifici a energia quasi zero entro il 2050 e incoraggia la promozione delle costruzioni in legno e dei materiali edilizi ecologici.

3.1. La riduzione delle emissioni di CO₂ come obiettivo delle politiche insediative

La decarbonizzazione può essere definita come “la somma delle azioni umane volte a ridurre le emissioni di anidride carbonica derivanti da attività antropiche” (IPCC, 2022). Tali azioni risultano essenziali per raggiungere la “stabilizzazione delle concentrazioni di gas serra nell'atmosfera a un livello tale da prevenire pericolose interferenze antropiche con il sistema climatico”, come indicato nella Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC), adottata nel 1992.

Le emissioni di gas serra (*Greenhouse Gases*, GHG) rappresentano uno dei principali fattori che contribuiscono ai cambiamenti climatici. La loro quantificazione e riduzione sono essenziali per mitigare l'impatto delle attività umane sull'ambiente. I principali gas serra includono l'anidride carbonica (CO₂), il metano (CH₄) e il protossido di azoto (N₂O). Misurare le emissioni di GHG è fondamentale per valutare l'efficacia delle politiche ambientali e per sviluppare strategie di mitigazione. Ciò rende le emissioni

di gas serra un indicatore chiave della sostenibilità ambientale e della responsabilità ecologica delle attività umane (Ritchie *et al.*, 2023).

Due importanti standard internazionali per la contabilizzazione e la rendicontazione delle emissioni di gas serra meritano di essere menzionati: il *Greenhouse Gas Protocol* (GHGP) e la norma ISO 14064-1:2018 dell'Organizzazione Internazionale per la Normazione (ISO). Il *Greenhouse Gas Protocol* (GHGP) è uno degli standard internazionali più utilizzati per la contabilizzazione e la rendicontazione delle GHG: sviluppato dal *World Resources Institute* (WRI) e dal *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), fornisce linee guida dettagliate per le aziende e le organizzazioni su come misurare e gestire le proprie emissioni (WRI & WBCSD, 2004).

La norma ISO 14064-1:2018 è un altro standard riconosciuto a livello internazionale che aiuta le organizzazioni a sviluppare un inventario delle emissioni di gas serra e a implementare strategie di gestione per ridurle. Essa specifica i principi e i requisiti per la quantificazione e la rendicontazione delle emissioni di GHG a livello organizzativo (ISO, 2018).

L'impronta di carbonio (*carbon footprint*) è un indicatore ambientale utilizzato per quantificare la quantità totale di emissioni di gas serra prodotte, direttamente o indirettamente, da un individuo, un'organizzazione, un evento o un prodotto. Questa metrica è fondamentale per valutare l'impatto ambientale delle attività umane e per sviluppare strategie di riduzione delle emissioni in linea con gli obiettivi climatici globali. L'impronta di carbonio è generalmente espressa in termini di equivalenti di anidride carbonica (CO₂e), per consentire il confronto tra diversi gas serra, tra cui CO₂, metano (CH₄) e protossido di azoto (N₂O) (Wright *et al.*, 2011).

Gli sforzi di decarbonizzazione in Italia si concentrano principalmente sulla riduzione delle emissioni di gas serra diminuendo il consumo di combustibili fossili attraverso strategie di efficienza energetica e aumentando la produzione di energia rinnovabile nei settori civile e industriale. Sebbene indirettamente correlati, questi interventi incidono anche sull'energia e sul carbonio incorporato legati alla produzione. Anche se alcune linee guida si trovano nei documenti di strategia per la sostenibilità ambientale, la decarbonizzazione non è esplicitamente collegata alle strategie e ai piani di adattamento, che danno priorità alla gestione degli impatti dei cambiamenti climatici (MISE, MATTM & MIT, 2020).

Le politiche di decarbonizzazione dovrebbero orientare il sistema energetico italiano verso le rinnovabili, con la dismissione del carbone entro il 2025. Il gas naturale e altri combustibili fossili diminuiranno gradualmente, lasciando spazio alle rinnovabili. Per sostenere questa transizione nel settore agricolo, sono previste misure come l'installazione di impianti fotovoltaici

sugli edifici rurali, la promozione dei sistemi agro-fotovoltaici, la produzione di biogas, biomassa agroforestale e biometano. È necessaria un'attenta valutazione degli impianti a terra per limitare il consumo di suolo, mantenere la fertilità e preservare i servizi ecosistemici, il paesaggio e la biodiversità. La produzione di energia nelle aziende agricole deve integrare, e non competere con, la produzione alimentare (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE), 2022).

Le trasformazioni del sistema energetico sono fondamentali per il successo della transizione ecologica, non solo per la riduzione delle emissioni ma anche per modificare il suo utilizzo nei settori domestico, industriale e dei trasporti. Accelerare lo sviluppo del settore elettrico è essenziale, superando la quota del 22% raggiunta nel 2018, soprattutto considerando la crescita attesa nei trasporti e negli edifici. Una maggiore diffusione della mobilità elettrica e delle pompe di calore negli edifici residenziali favorirà questo processo, puntando a superare il 50% in uno scenario di decarbonizzazione. Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) prevede l'installazione di 31.500 punti di ricarica ultrarapidi per veicoli elettrici.

Secondo l'Osservatorio Italiano sulla Povertà Energetica (OIPE), circa 2,3 milioni di famiglie (8,8% del totale) non sono state in grado di riscaldare adeguatamente le proprie abitazioni durante l'inverno del 2018, registrando un aumento di 1,5 punti percentuali rispetto ai quattro anni precedenti e raggiungendo il valore più alto dal 1997. Includendo anche il raffrescamento, le stime di RSE indicano che la povertà energetica riguarda circa il 13% delle famiglie italiane (3,3 milioni) e il 16% degli individui (9,6 milioni di persone), una tendenza peggiorata dalla recente crisi economica e destinata a crescere ulteriormente. Le famiglie che affrontano difficoltà economiche, sociali e abitative rischiano la salute a causa dell'esposizione prolungata a temperature inferiori ai 18 °C, considerate pericolose dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), nonché per l'eccessiva esposizione al calore, aggravata dai cambiamenti climatici e dall'aumento della durata delle ondate di calore. Il Piano per la Transizione Ecologica (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE), 2022) mira a ridurre la povertà energetica tra le famiglie attraverso misure strutturali che vadano oltre lo strumento del "bonus sociale", promuovendo l'efficienza energetica nelle abitazioni con supporto finanziario e un accesso più semplice alle iniziative disponibili.

Accelerare lo sviluppo delle energie rinnovabili è cruciale, considerando fattori come la potenza elettrica richiesta, i tassi di installazione, l'uso del suolo, l'adattamento della rete e la distribuzione dei sistemi di accumulo. L'Italia punta a un mix energetico quasi completamente rinnovabile entro il 2050, con un ruolo predominante della tecnologia solare fotovoltaica, stimando una capacità installata compresa tra 200 e 300 GW. Per raggiungere gli

obiettivi intermedi entro il 2030, sono necessari circa 70-75 GW di nuova capacità rinnovabile. È essenziale superare ostacoli come le difficoltà autorizzative e la lentezza nella crescita della capacità. La Strategia a Lungo Termine evidenzia anche la necessità di sistemi di accumulo elettrochimico e di produzione di idrogeno verde per gestire la sovrapproduzione energetica. Le misure legislative danno priorità alle strutture edificate per le installazioni, semplificando le procedure di autorizzazione e garantendo un adeguato supporto regionale attraverso una piattaforma digitale. I progetti sull'idrogeno verde, inizialmente nei settori *hard to abate*, saranno avviati entro il 2026, con successivo focus su efficienza dei costi e distribuzione (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE), 2022).

Particolare attenzione deve essere rivolta al settore agricolo, per il suo ruolo fondamentale nell'economia nazionale e per il suo potenziale di stoccaggio del carbonio nei suoli, nonché per la riduzione delle emissioni di metano e ossido di diazoto. Entro il 2050, le emissioni residue dovranno essere compensate tramite un programma di riforestazione, anche in aree urbane, e pratiche di gestione forestale sostenibile. Inoltre, sarà necessario promuovere l'uso a cascata delle risorse legnose in sostituzione dei prodotti strutturali ad alta emissione, con l'obiettivo di incrementare progressivamente la capacità di assorbimento di carbonio oltre i livelli attribuiti dall'UE o previsti dall'attuale Piano Nazionale di Contabilità Forestale, in linea con la Strategia Forestale Nazionale promossa dal Ministero dell'Agricoltura, della Sovranità Alimentare e delle Foreste (MASAF).

La Politica Agricola Comune 2023-2027 (PAC, 2023) considera la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici come obiettivi chiave. Ciò include la riduzione delle emissioni di gas serra, il miglioramento del sequestro di carbonio e la promozione di pratiche energetiche sostenibili nel settore agricolo, considerando che l'agricoltura nell'UE contribuisce a circa il 12% di tutte le emissioni di gas serra, con fermentazione enterica dei ruminanti, suoli agricoli, cambiamenti d'uso del suolo e gestione dei reflui come principali fonti. Sebbene le emissioni agricole dell'UE siano diminuite del 22% tra il 1990 e il 2016, si sono stabilizzate dal 2010 intorno ai 490 milioni di tonnellate di CO₂ equivalente all'anno. Le strategie per ridurre tali emissioni includono tecnologie e pratiche agricole di mitigazione, sequestro del carbonio nei suoli, produzione sostenibile di biomassa, riduzione dell'intensità dei combustibili fossili e minimizzazione delle perdite e degli sprechi nella produzione agricola.

Sebbene tali strategie non siano direttamente collegate al settore edilizio, le iniziative di riforestazione possono essere attuate anche in aree urbane e i residui agricoli possono essere utilizzati per produrre materiali da costruzione a basso impatto, evidenziando potenziali approcci trasversali agli sforzi di decarbonizzazione. In Italia, il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza

Energetica (MASE) (2022) ha avviato iniziative di riforestazione urbana in conformità con il decreto-legge del 14 ottobre 2019, n. 111, convertito con la legge n. 141 del 12 dicembre 2019. L'articolo 4 di tale decreto-legge prevede un programma sperimentale di piantumazione di alberi, comprese installazioni a ciclo medio e lungo, per interventi di rimboschimento e forestazione, e per la creazione di foreste urbane e periurbane nelle città metropolitane.

Il Ministero, in collaborazione con la Conferenza Unificata, ha definito le modalità di pianificazione degli interventi e assegnato le risorse sulla base di criteri di selezione come il valore ambientale e sociale, la riqualificazione delle aree, la qualità dell'aria e la localizzazione in aree soggette a procedure d'infrazione comunitarie. Nel 2019, le città metropolitane hanno sviluppato o selezionato progetti conformi ai requisiti di ammissibilità, con il finanziamento di 34 progetti per un totale di 14.827.001,01 €. Nel 2021, sono stati finanziati 38 progetti per un totale di 7.878.478,94 €. Con ulteriori fondi del PNRR, è stato pubblicato un nuovo bando per interventi di riforestazione urbana, periurbana ed extraurbana nelle città metropolitane per gli anni 2023/2024. Queste iniziative mirano a migliorare la qualità dell'aria e contribuire al sequestro del carbonio, utilizzando gli alberi come pozzi di assorbimento di CO₂.

3.2. Operational carbon vs embodied carbon

Per quanto riguarda l'ambito edilizio, il carbonio operativo (*operational carbon*) si riferisce alle emissioni di gas serra prodotte durante la fase operativa di un edificio. Ciò include il consumo energetico per riscaldamento, raffrescamento, illuminazione e alimentazione delle apparecchiature elettriche, oltre alle emissioni derivanti da attività di manutenzione e riparazione. Le principali fonti di carbonio operativo sono quindi legate all'efficienza energetica dei sistemi e all'uso quotidiano delle risorse (World Green Building Council, 2019).

Il carbonio incorporato (*embodied carbon*) è principalmente associato alla fase iniziale di costruzione e comprende le emissioni derivanti dalla produzione dei materiali, dal trasporto e dai processi di costruzione. Include l'estrazione delle materie prime, la fabbricazione dei materiali da costruzione, il loro trasporto al sito di costruzione e i processi costruttivi stessi. Inoltre, il ciclo di vita del carbonio incorporato si estende anche alle fasi di utilizzo, demolizione e smaltimento dell'edificio, includendo il potenziale riciclo dei materiali (World Green Building Council, 2019).

Secondo Tigani *et al.* (2024), esistono diverse metodologie per valutare il carbonio incorporato, ciascuna con un approccio specifico alla

valutazione degli impatti ambientali, tra cui: la *Whole Building Life Cycle Assessment* (WBLCA), la *Environmental Material Assessment* (EMA) e la certificazione *Cradle-to-Cradle* (C2C). Analizzando di seguito nello specifico:

- La WBLCA valuta l'impatto ambientale di un intero edificio lungo tutto il suo ciclo di vita, con particolare attenzione al carbonio incorporato nei materiali da costruzione (Futas, Rajput & Schiano-Phan, 2019).
- La EMA valuta l'impatto ambientale dei materiali o dei prodotti in base alle loro proprietà fisiche e chimiche, considerando fattori come l'esaurimento delle risorse, la tossicità e le emissioni di gas serra (Ibidem).
- La C2C valuta i prodotti sulla base di criteri di sostenibilità ambientale e sociale, tra cui la salubrità dei materiali, la riciclabilità e l'uso di energia rinnovabile (Ibidem).

L'intensità di carbonio incorporato (*Embodied Carbon Intensity*, ECI) è una metrica che normalizza le emissioni di carbonio incorporato degli edifici in funzione della superficie utile ($\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$) oppure della superficie utile e della durata di vita del fabbricato ($\text{kgCO}_2\text{e/m}^2\cdot\text{anno}$) (Jungclaus *et al.*, 2024).

Il *benchmarking* dell'ECI presenta un elevato grado di variabilità. Ad esempio, una revisione della letteratura riporta valori di ECI per edifici residenziali unifamiliari compresi tra 32 e 1465 $\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$ a livello globale e tra 32 e 2847 $\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$ nei rapporti provenienti dagli Stati Uniti. Tale variabilità nei risultati dipende da diversi fattori, tra cui le incoerenze metodologiche presenti negli studi (Jungclaus *et al.*, 2024).

Le tappe della decarbonizzazione italiana sono segnate dagli impegni europei, tra cui il raggiungimento di emissioni "net zero" entro il 2050 e una riduzione del 55% delle emissioni di CO_2 entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990. Tali obiettivi sono stati proposti dalla Commissione Europea nel luglio 2021 come parte del pacchetto *Fit for 55* per soddisfare gli obiettivi della Legge Europea sul Clima (EP, 2021). Gli edifici rappresentano circa il 40% del consumo energetico dell'UE e il 36% delle emissioni di gas serra derivanti dall'energia (Commissione Europea, 2019). Gli obiettivi del *Green Deal* europeo richiedono settori delle costruzioni e dell'edilizia più puliti. È fondamentale valutare il ciclo del carbonio in tutte le fasi di progettazione, costruzione e gestione degli edifici per individuare e mitigare le fonti di emissione. Ciò include anche la valutazione dell'impronta di carbonio, sia diretta (legata alla produzione) sia indiretta (dovuta alla catena di approvvigionamento), al fine di individuare i punti critici e implementare soluzioni mirate. La Commissione Europea sta attualmente rivedendo il Regolamento sui Prodotti da Costruzione, che stabilisce gli standard per i materiali edilizi nel Mercato Interno. Si prevede

che oltre il 50% delle emissioni globali di carbonio derivanti dalle nuove costruzioni tra il 2020 e il 2050 proverrà dal carbonio incorporato negli edifici (*World Green Building Council*, 2019). In Europa, la normativa per la valutazione dell'energia e del carbonio incorporato negli edifici è la EN 15978:2011, che definisce le fasi di costruzione e suddivide gli impatti legati al carbonio incorporato in fasi iniziali, ricorrenti, di fine vita e di recupero. La revisione del Regolamento sui Prodotti da Costruzione rappresenta un ulteriore punto d'intervento chiave, mirando a stabilire requisiti obbligatori di informazione sulle emissioni incorporate nei materiali da costruzione.

A livello internazionale, diversi Paesi stanno adottando misure verso la decarbonizzazione. Ad esempio, la Francia richiede che tutti i nuovi edifici pubblici siano costruiti con almeno il 50% di legno o altri materiali naturali a base biologica, mentre i Paesi Bassi hanno reso obbligatorio, dal 2013, il calcolo delle emissioni climalteranti per tutti i nuovi edifici residenziali e gli uffici superiori ai 100 metri quadrati.

In Italia, i Criteri Ambientali Minimi (CAM) obbligatori sono stati introdotti in vari ambiti, tra cui quello edilizio, per contribuire alla decarbonizzazione del settore e aumentare la trasparenza sui dati e la provenienza dei materiali. Tuttavia, tali criteri si applicano attualmente solo ai cantieri pubblici e potrebbero richiedere richieste più ambiziose.

La letteratura mostra in modo coerente che le emissioni di carbonio operativo (*Operational Carbon*) sono generalmente molto più elevate rispetto alle emissioni di carbonio incorporato (*Embodied Carbon*), poiché circa il 40% dell'energia totale è utilizzato per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti ed è fornito da processi ad alta intensità emissiva (UNEP, 2021). Secondo il *World Green Building Council*, quasi due terzi delle emissioni globali derivano dalle emissioni operative, mentre il restante terzo proviene dalle emissioni incorporate. Di conseguenza, gli sforzi per ridurre le emissioni di carbonio si sono tradizionalmente concentrati sul carbonio operativo, migliorando l'efficienza energetica degli edifici.

Tuttavia, man mano che il carbonio operativo viene ridotto grazie ai miglioramenti dell'efficienza energetica e all'adozione di fonti di energia rinnovabile, il ruolo del carbonio incorporato nel profilo complessivo delle emissioni degli edifici sta diventando un aspetto cruciale per le pratiche di costruzione sostenibile (Iddon & Firth, 2013). Negli edifici ad alte prestazioni, si stima che le emissioni incorporate possano rappresentare fino al 75% delle emissioni totali di carbonio, come mostrato nella Figura 3.1.

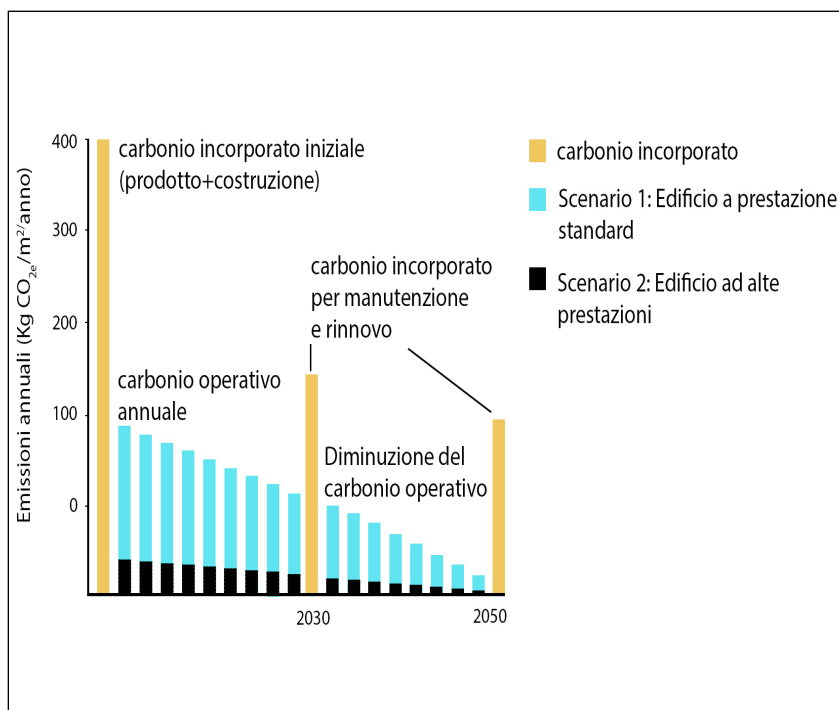


Figura 3.1 – Andamento delle emissioni di carbonio operativo rispetto al carbonio incorporato negli edifici normalizzato a metro quadro nei prossimi decenni.

Fonte: Rielaborazione dell'autrice basata su kyotoclub.org.

3.3. L'integrazione dei criteri di decarbonizzazione nelle strategie di progettazione e costruzione

È disponibile una varietà di strategie di decarbonizzazione per affrontare i cambiamenti climatici a diverse scale, ovvero: la scala regionale, la città, il quartiere, il distretto, l'isolato, l'edificio e l'unità abitativa/appartamento.

Un quadro dettagliato che include strategie di decarbonizzazione alla scala regionale è fornito da *Architecture 2030*, con il supporto di *Climate Positive Design* (in McDade & Martinez, 2024). Tale quadro, riassunto nella Figura 3.2, stabilisce una gerarchia delle strategie di progettazione in base alla loro efficacia e al loro impatto complessivo sulla decarbonizzazione: le strategie collocate nella parte superiore del diagramma riducono in modo più efficace gli effetti negativi degli edifici sull'ambiente, poiché agiscono su una scala più ampia e privilegiano soluzioni basate sulla natura.



*Figura 3.2 – Framework olistico per la riduzione delle emissioni nell'ambiente costruito.
Fonte: Rielaborazione dell'autrice di McDade e Martinez (2024).*

Le strategie collocate nella parte inferiore del diagramma si applicano anche a scale più ridotte, ovvero alla scala dell'edificio e dell'unità abitativa.

Le Pubbliche Amministrazioni (PA) possono applicare strategie di decarbonizzazione in diverse fasi, tra cui la pianificazione strategica, le procedure di autorizzazione, la gara d'appalto e l'approvvigionamento.

In tali processi è coinvolta anche una varietà di portatori di interesse (stakeholder), come progettisti, sviluppatori, abitanti e autorità locali.

Le strategie di decarbonizzazione possono inoltre essere distinte tra strategie di mitigazione e strategie di adattamento (Tabella 3.1). Secondo l'Agenzia Europea dell'Ambiente (2024), l'obiettivo delle strategie di adattamento è quello di anticipare gli effetti dei cambiamenti climatici e ridurre al minimo i danni che essi possono causare. Le strategie di mitigazione, invece, mirano a prevenire gli effetti dei cambiamenti climatici riducendo le emissioni di gas serra. Le strategie di mitigazione possono essere ulteriormente suddivise in quelle che affrontano il carbonio operativo o il carbonio incorporato.

Tabella 3.1 – Strategie di decarbonizzazione per ambito, fase di emissione e scala (Grande=G, Media=M, Piccola=P).

STRATEGIE DI DECARBONIZZAZIONE			
AMBITO	FASE	STRATEGIA	SCALA
MITIGAZIONE	OPERATIVO	Miglioramento prestazioni involucro edilizio, efficientamento impiantistico e gestione intelligente dell’energia	G, M, P
		Fonti di energia rinnovabili	G, M, P
		Comunità energetiche	G
		Miglioramento prestazioni involucro edilizio	M, P
		Riduzione dei trasporti	G
	INCORPORATO	Sostituzione di materiali	M, P
		Materiali ad alto contenuto di riciclato	M, P
		Riduzione distanza di approvvigionamento dei materiali	M, P
		Design per lo smontaggio e riuso	M, P
		Design per l’adattabilità e la flessibilità	M, P
		Design per la durabilità	M, P
		Prefabbricazione	M, P
		Ottimizzazione delle componenti	M, P
		Favorire la ristrutturazione alla nuova costruzione	G, M
ADATTAMENTO	ASSORBIMENTO DI CO2	Riforestazione urbana e periurbana	G, M
		Nature-Based Solutions (NBS)	G, M
		Bonifica e depavimentazione	G, M

3.3.1. Strategie di mitigazione

Come descritto in precedenza, le strategie di mitigazione possono essere distinte tra strategie legate al carbonio operativo e strategie legate al carbonio incorporato.

Per ridurre le emissioni di carbonio operativo, i progettisti possono concentrarsi sul miglioramento delle prestazioni dell’involucro edilizio al fine

di ridurre la domanda di riscaldamento e raffrescamento, nonché sull'efficienza degli impianti meccanici, elettrici e idraulici (MEP), ad esempio tramite pompe di calore ad alta efficienza, per diminuire il consumo energetico operativo (Hafez *et al.*, 2023). Inoltre, l'implementazione di sistemi intelligenti di gestione dell'energia può contribuire ulteriormente a ridurre le emissioni (Garcia-Gusano *et al.*, 2020).

In aggiunta, i progettisti possono optare per fonti di energia rinnovabile per ridurre le emissioni di carbonio legate all'approvvigionamento energetico. Ciò può essere realizzato integrando le fonti rinnovabili nell'edificio, ad esempio installando pannelli fotovoltaici, acquistando energia da fonti rinnovabili o, in maniera collettiva, tramite comunità energetiche che gestiscono la produzione e il consumo di energia.

Tutte queste strategie possono essere applicate a diverse scale, dalla scala regionale a quella dell'unità abitativa, a seconda che riguardino una moltitudine di edifici o un singolo edificio.

Una strategia specifica per la scala regionale è la riduzione del trasporto, che mira a diminuire le emissioni operative riducendo l'uso di veicoli a motore e promuovendo la mobilità pedonale o ciclabile, localizzando i servizi vicino ai residenti.

Le strategie di riduzione del carbonio incorporato comprendono la sostituzione dei materiali, ovvero la scelta di materiali a basso impatto ambientale al posto di materiali tradizionali ad alto impatto, ad esempio sostituendo il cemento Portland con ceneri volanti nella produzione del calcestruzzo, oppure optando per legno invece di acciaio o calcestruzzo per applicazioni strutturali. Questi materiali possono anche contenere componenti riciclate o riciclabili.

Per accelerare la decarbonizzazione, la sostituzione dei materiali deve essere accompagnata da valutazioni del ciclo di vita (LCA), aggiornamenti dei codici edilizi e incentivi per le innovazioni a basse emissioni di carbonio. Anche dati sui materiali e sistemi di certificazione possono aiutare progettisti e imprese a compiere scelte più consapevoli (D'Amico *et al.*, 2021).

La riduzione delle distanze di trasporto dei materiali rappresenta un'ulteriore strategia per diminuire significativamente le emissioni incorporate, rendendo la prossimità un fattore cruciale (Lützkendorf & Balouktsi, 2022).

Ulteriori strategie che riguardano l'edificio nel suo complesso includono:

- Progettazione per lo smontaggio e il riutilizzo;
- Progettazione per l'adattabilità e la flessibilità;
- Progettazione per la durabilità e la manutenzione;
- Prefabbricazione;
- Ottimizzazione dei componenti e delle strutture.

In particolare, la progettazione per lo smontaggio consente di de-costruire e riutilizzare un edificio (Crowther, 1999). Rendere riutilizzabili edifici, componenti e materiali permette di prolungarne la vita utile e ridurre l'impronta di carbonio complessiva.

La progettazione per l'adattabilità e la flessibilità mira a creare spazi adattabili, consentendo agli occupanti di modificare gli ambienti in base alle proprie esigenze (Ottenhaus *et al.*, 2023). Si tratta di una strategia di decarbonizzazione poiché evita l'obsolescenza degli spazi e futuri interventi di ristrutturazione ad alta intensità di carbonio.

La progettazione per la durabilità e la manutenzione, che consiste nella selezione di materiali più resistenti e con minori esigenze di manutenzione, estende virtualmente la vita utile dell'edificio, distribuendo gli impatti del carbonio incorporato su un periodo di tempo più lungo.

La prefabbricazione, nota anche come costruzione industrializzata, consiste nella produzione off-site di componenti edilizi, riducendo notevolmente l'impronta di carbonio complessiva grazie alla minimizzazione dei rifiuti di cantiere (Kedir & Hall, 2021).

L'ottimizzazione strutturale "mira a trovare la migliore disposizione delle strutture o dei componenti strutturali per raggiungere determinati obiettivi in condizioni prestabilite" (Mortazavi, 2020). In altre parole, attraverso l'ottimizzazione strutturale è possibile ridurre la quantità complessiva di materiale necessaria per una struttura civile, minimizzando così il carbonio incorporato.

Infine, la scelta del recupero edilizio rispetto alla nuova costruzione rappresenta una delle strategie più efficaci per evitare le emissioni legate allo sviluppo del sito, alle demolizioni e all'approvvigionamento di nuovi materiali.

Tutte queste strategie si applicano principalmente alla scala edilizia, sebbene possano essere perseguite anche a scale più ampie.

In conclusione, è importante sottolineare che le strategie per ridurre il carbonio operativo possono incidere anche sul carbonio incorporato. Ad esempio, tra due opzioni di isolamento termico con prestazioni equivalenti, dovrebbe essere preferita quella con materiale a basso contenuto di carbonio incorporato.

Ulteriori soluzioni, come sistemi di inverdimento orizzontali o verticali con alberi di media o grande dimensione, possono contribuire a un maggiore stoccaggio di carbonio e al contempo migliorare le prestazioni termiche complessive dell'edificio, riducendo così le emissioni operative.

3.3.2. Strategie di adattamento

Le strategie di adattamento mirano a ridurre la concentrazione di CO₂ nell'atmosfera attraverso l'assorbimento del carbonio. Ciò implica interventi

legati al carbonio biogenico, come la forestazione urbana e periurbana, le soluzioni basate sulla natura (NBS), la bonifica dei siti contaminati (*brown-field*) e la de-sigillatura del suolo.

La forestazione urbana e periurbana è una strategia di adattamento efficace per assorbire CO₂ e migliorare la qualità dell'aria nelle aree urbane. Gli alberi assorbono CO₂ attraverso la fotosintesi, mitigano le isole di calore urbane, favoriscono la salute pubblica e incoraggiano la mobilità non motorizzata (Gill *et al.*, 2021). Programmi di riforestazione urbana in città come New York, Los Angeles, Singapore, Pechino e Tokyo si sono dimostrati efficaci nel ridurre i livelli di CO₂ e nel rafforzare la resilienza urbana (Teo *et al.*, 2021). In Italia, questa tendenza si riflette nel Piano Nazionale di Riforestazione Urbana, promosso dal Ministero della Transizione Ecologica (MiTE), che privilegia la riforestazione in base ai benefici ambientali, sociali ed ecologici, con particolare attenzione al sequestro del carbonio, alla purificazione dell'aria e al ripristino degli ecosistemi.

Le *Nature-Based Solutions* (NBS) comprendono un ampio gruppo di strategie di adattamento che, secondo la definizione della Commissione Europea, sono “soluzioni ispirate e supportate dalla natura” (ad es. tetti verdi, canali di drenaggio vegetati, foreste urbane e facciate verdi). Le NBS possono ridurre significativamente le emissioni di gas serra grazie al sequestro del carbonio. È importante notare che le NBS possono appartenere anche al gruppo delle strategie di mitigazione, poiché riducono il carbonio incorporato e quello operativo, ad esempio attraverso il raffrescamento vegetativo.

La bonifica dei siti contaminati (*brownfield*) consiste nel risanamento di aree inquinate per consentire nuovi sviluppi, rappresentando una strategia efficace per preservare le aree naturali non urbanizzate (USGBC, 2021). Se il nuovo sviluppo include NBS e le aree naturali esistenti vengono conservate, può essere considerata una strategia di adattamento. Inoltre, questi siti sono spesso collegati alle infrastrutture urbane, evitando ulteriori emissioni dovute al trasporto.

La de-sigillatura del suolo (o *depaving*) consiste nella rimozione di superfici impermeabili come parcheggi o strade asfaltate. Tale strategia contribuisce all'assorbimento del CO₂ atmosferico, soprattutto se combinata con le NBS.

Riferimenti bibliografici

CAP. (2023). Report from the Commission to the European Parliament and the Council. Summary of CAP Strategic Plans for 2023-2027: joint effort and collective ambition. Disponibile al link: https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-2023-27/key-policy-objectives-cap-2023-27_en

- Corbier, L., Schmitz, S., Oren, K., Dawson, B., Spannagle, M., Bp, M., Boileau, P., Frederick, R., Vanderborght, B., Thomson, H., Koichi, K., Woo, C., Naseem., Kpmg, P., Miner, R., & Cook, E. (2004). WBCSD/WRI, 2004. Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard.
- EC. (2019). Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee, and the Committee of the Regions (COM(2019) 640 final), “The European Green Deal”.
- EP. (2021). Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30th June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999, “European Climate Law”.
- European Commission, & Directorate-General for Environment. (2021). Level(s): Putting whole life carbon principles into practice. Disponibile al link: <https://doi.org/https://data.europa.eu/doi/10.2779/79139>
- Futas, N., Rajput, K., & Schiano-Phan, R. (2019). Cradle to Cradle and Whole-Life Carbon assessment—Barriers and opportunities towards a circular economic building sector, in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 225, n. 1, p. 012036, IOP Publishing.
- IPCC. (2022). Annex II: Glossary [Möller, V., van Diemen, R., Matthews, J. B. R., Méndez, C., Semenov, S., Fuglestedt, J. S., & Reisinger, A. (a cura di)], in *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on*.
- ISPRA. (2020). Emissioni gas serra: Nel 2020 stimata riduzione del 9.8% rispetto al 2019. Disponibile al link: <https://www.isprambiente.gov.it/it/istituto-informa/comunicati-stampa/anno-2021/emissioni-gas-serra-nel-2020-stimata-riduzione-del-9-8-rispetto-al-2019>
- Jungclaus, M. A., Grant, N., Torres, M., Arehart, J. H., & Srubar, W. V. (2024). Embodied carbon benchmarks of single-family residential buildings in the United States. *Sustainable Cities and Society*. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105975>.
- Legambiente and Kyoto Club. (2022). Il settore edilizio verso una nuova sfida: la decarbonizzazione delle costruzioni. Disponibile al link: https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2022/11/La-decarbonizzazione-delle-costruzioni_report-2022.pdf?_gl=1*1tfh-kim*_up*MQ.*_ga*MTA5NzQ1ODU3LjE3MTU3NjM4NDY.*_ga_LX7CNT6SDN*MTcxNTc2Mzg0NC4xLjAuMTcxNTc2Mzg0NC4wLjAuMA
- Legislation Government UK. (2019). The Climate Change Act 2008 (2050 Target Amendment) Order 2019. Disponibile al link: <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/2008/27/contents/2019-06-27>
- MIMS. (2022). Italian Ministry of Sustainable Infrastructure and Mobility, Decarbonising Transport Scientific evidence and policy proposals. Disponibile al link: https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-09/STEMI_Decarbonising%20Transport_ENG.pdf

- Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE). (2022). Strategia Nazionale per lo Sviluppo Sostenibile. Disponibile al link: <https://www.mase.gov.it/portale/sviluppo-sostenibile>
- Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE). (2022). Piano Nazionale di Transizione Ecologica Disponibile al link: <https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/PTE/PTE-definitivo.pdf>
- Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE). (2024). Disponibile al link: <https://gpp.mite.gov.it/CAM-vigenti>
- MISE, MATTM & MIT. (2020). Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC). Disponibile al link: https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/PNIEC_finale_17012020.pdf
- Piano Strategico Nazionale della PAC per l'Italia. (2023-2027), approvato dalla Commissione Europea il 2 dicembre 2022.
- Repubblica Italiana. (2023), D.Lgs n. 36/2023, Decreto legislativo 31 marzo 2023, n. 36, recante: “Codice dei contratti pubblici in attuazione dell’articolo 1 della legge 21 giugno 2022, n. 78, recante delega al Governo in materia di contratti pubblici.”.
- Repubblica Italiana. (2021). Decreto Legislativo. n. 59/2021, Misure urgenti relative al Fondo complementare al Piano nazionale di ripresa e resilienza e altre misure urgenti per gli investimenti.
- 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 Decree n.256, 23/06/2022 (256).
- Repubblica Italiana, (2023). Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi nel settore della Pubblica amministrazione (edizione 2023). Disponibile al link: https://gpp.mite.gov.it/sites/default/files/2023-08/PAN_GPP.pdf
- Ritchie, H., Rosado, P., & Roser M. (2023). CO₂ and Greenhouse Gas Emissions, *Our World in Data*.
- Tigani D., van Kan D., Tennakoon G., Geng L., & Chan M., (2024). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 1363, World Sustainable Built Environment 2024 (WSBE24).
- UK Parliament. (2022). Carbon Emissions (Buildings) Bill Parliamentary, House of Commons 20th June 2022. Disponibile al link: <https://bills.parliament.uk/bills/3211>
- UNI EN ISO 14064-1:2019. (2019). Gas a effetto serra – Parte 1: Principi e requisiti per la rendicontazione delle emissioni e delle rimozioni a livello di organizzazione. Disponibile al link: <https://www.ccpb.it/blog/certificazione/iso-14064-1-carbon-footprint-delle-organizzazioni-ghg-accounting/>
- World Green Building Council. (2019). Bringing embodied carbon upfront. A coordinated action for the building and construction sector to tackle embodied carbon. Disponibile al link: https://worldgbc.s3.eu-west-2.amazonaws.com/wp-content/uploads/2022/09/22123951/WorldGBC_Bringing_Embodied_Carbon_Upfront.pdf
- Wright, L., Kemp, S., & Williams, I. (2011). “Carbon footprinting”: towards a universally accepted definition, *Carbon Management*, vol. 2, n. 1, pp. 61-72.

4. Indicatori e strumenti di valutazione per la decarbonizzazione

di Adriano Magliocco¹

¹ Università degli Studi di Genova, Dipartimento Architettura e Design

Nel capitolo precedente si è visto come diverse possano essere le strategie e le soluzioni per la decarbonizzazione del comparto edilizio e di come la riduzione del carbonio operativo abbia alle spalle anni di sperimentazione e ridefinizione dei modelli di calcolo, tanto da trasformare molti progettisti in veri e propri gestori del sistema energetico edificio, a fronte invece di una più acerba pratica di ricerca e sperimentazione legata al carbonio incorporato. Poiché restare su un livello meramente qualitativo non è più sufficiente se si vogliono raggiungere gli obiettivi prefissati dalla direttiva EPBD4, è necessario, progressivamente, avvicinarsi a modalità di valutazione quantitative che necessitano però di un contesto conoscitivo approfondito e di strumenti tali da permetterne l'applicazione nelle diverse fasi del processo edilizio e in funzione del livello di complessità.

4.1. Indicatori per la valutazione dell'impronta di carbonio

Nel capitolo 3 si è visto cosa si intenda per impronta di carbonio, indicatore ambientale utilizzato per calcolare la quantità totale di emissioni GHG prodotte, direttamente o indirettamente, da un individuo, una organizzazione, un evento o un prodotto. È fondamentale per valutare l'impatto ambientale delle attività umane e sviluppare strategie di riduzione delle emissioni in linea con gli obiettivi climatici globali. Va ricordato che va espressa in unità di massa equivalenti di CO₂ (CO₂e) per consentire il confronto tra diversi gas serra; la CO₂, infatti, non è il gas con le capacità climalteranti più forti, ma la quantità che viene emessa dalle attività antropiche è enorme rispetto a quella di altri gas (IPCC 2024).

Come è possibile vedere in altri paragrafi di questa pubblicazione, il principale indicatore per la valutazione del contenuto di carbonio incorporato è il *Global Warming Potential* (GWP). Vi sono però altri possibili indicatori e relative metriche che potrebbero sembrare, a una analisi superficiale, di

uguale significato ma dei quali, vista l'importanza degli obiettivi di decarbonizzazione e il riferimento preferenziale nei processi di LCA in edilizia, è opportuno fornirne le specifiche.

Limitandoci al carbonio incorporato di un prodotto – termine il cui significato è citato nel capitolo 3 – l'impronta di carbonio di un prodotto – sia finito che semilavorato – può essere identificata dalla sommatoria delle emissioni di CO_{2e}, nelle sue diverse componenti causali e durante il suo ciclo di vita. Evidentemente l'impronta di carbonio di un edificio dipende invece anche da altri fattori, quali la destinazione d'uso, l'efficienza dell'impiantistica, il comportamento dell'utenza e la sua localizzazione all'interno del sistema urbano.

4.1.1. Componenti del Global Warming Potential di un prodotto

Focalizzando l'attenzione sul carbonio incorporato, il valore globale di GWP di un prodotto è riferibile a unità funzionali dipendenti dall'unità di misura legate alla natura del prodotto e alle sue prestazioni in opera. Ci si riferisce: all'unità di peso qualora si tratti di semilavorati o prodotti sfusi da lavorare per la messa in opera (ad es. cemento per calcestruzzo); all'unità di superficie qualora si tratti di prodotti con due dimensioni prevalenti (ad es. pavimentazioni); di volume qualora la prestazione in opera sia più legata agli spessori in gioco rispetto alla massa volumica (ad es. isolanti termici).

Nel caso di prodotti finiti acquistabili ad unità, il valore di GWP sarà riferito al prodotto stesso (ad es. la maniglia di una porta).

Si ricorda che il confronto tra diversi prodotti alternativi è necessario avvenga tra unità funzionali di stessa, o pressoché uguale, prestazione (nei limiti dei requisiti indicati dal progetto); non è sufficiente il rispetto dell'unità di misura (ad es. kg di acciaio vs kg di legno) ma il riferimento deve essere la prestazione principale dell'elemento (ad es. pilastro in acciaio vs pilastro in legno di uguale resistenza meccanica).

Il valore GWP totale è costituito dalla somma di tre valori indipendenti, calcolati sulle diverse fasi from *cradle to cradle*, come è facilmente visibile nelle schede di dichiarazione ambientale di prodotto EPD (*Environmental Product Declaration*) secondo le norme ISO 14025 e EN 15804: GWP *fossil fuels*, GWP *Biogenic*, GWP LULUC.

Il GWP *fossil fuels* è il valore legato alle emissioni di CO_{2e} dovute all'uso di fonti fossili nel processo produttivo; è fortemente condizionato dal contesto sia in termini di efficienza delle tecnologie di produzione del materiale/prodotto, sia del mix energetico impiegato (che può tendere a zero in caso di impiego prevalente di fonti rinnovabili).

Il GWP *biogenic* è il contributo al riscaldamento globale derivante da gas serra di origine biologica, come il metano biogenico o la CO₂ rilasciata da biomassa. È distinto dal GWP fossile perché tiene conto dei cicli naturali di assorbimento e rilascio del carbonio. Nel caso delle materie prime vegetali si tratta di CO₂ assorbita durante la crescita dell'albero, ed è il motivo per cui i prodotti a base legno presentano tendenzialmente valori di GWP totale negativo, essendo prevalente la quantità di CO₂ assorbita rispetto a quella emessa durante le fasi di lavorazione (nelle fasi da A1 a A3 come si dirà nelle righe seguenti).

Il GWP LULUC (*Land Use and Land Use Change*) si calcola stimando le emissioni nette di gas serra derivanti dalle modifiche nell'uso del suolo, convertite in equivalenti di CO₂ su un orizzonte temporale di cento anni. Tale stima include le variazioni di stock di carbonio nei serbatoi principali, cioè la biomassa sopra e sotto il suolo, la lettiera e materia organica, il carbonio organico nel suolo, oltre alle emissioni indirette (ad es. da fertilizzanti, irrigazione, combustibili fossili).

4.1.2. Il GWP nelle diverse fasi del ciclo di vita

A ciascuna fase del ciclo di vita, secondo la UNI EN15804, corrisponde un valore delle tre componenti del GWP, con la differenza che, mentre per qualunque prodotto accompagnato da una EPD avremo i valori delle fasi A1-A2-A3 (*from cradle to gate*, in uscita dal sito di produzione), è opzione delle aziende calcolare tramite stime i valori legati alle altre fasi.

Le fasi, con riferimento ai valori di GWP, sono le seguenti:

- A1 Materie prime, estrazione e produzione dei materiali, GWP misurabile;
- A2 Trasporto verso il sito produttivo, GWP misurabile;
- A3 Produzione, ovvero emissioni legate ai processi di fabbricazione, GWP misurabile;
- A4 Distribuzione, costituita dalle emissioni verso il cantiere o il punto vendita, GWP presente nella scheda per stima o da calcolare;
- A5 Installazione, GWP dovuto alle emissioni relative alla messa in opera, presente per stima qualora la messa in opera sia definita inequivocabilmente o da calcolare;
- Da B1 a B7 sono le fasi d'uso, in genere nella scheda i valori di GWP non sono presenti (uso, manutenzione, riparazione, sostituzione, riqualificazione, energia per l'impiego dell'elemento/prodotto, acqua per l'impiego dell'elemento/prodotto);

- Le fasi da C1 a C4 sono quelle relative al fine vita: demolizione/smontaggio, trasporto, trattamento, residuo;
- Infine, la fase D è quella relativa al recupero del valore residuo, le ormai note “3 R”: Riuso, Recupero, Riciclo (si vedano anche I capitoli 7 e 8), talvolta il GWP è indicato se è nota e pressoché univoca la modalità di riciclo.

Come è facile capire, un confronto è possibile, soprattutto nelle fasi iniziali del processo edilizio, usando i valori delle fasi da A1 a A3, (uniche obbligatorie per definire, ad esempio, un prodotto certificabile come prodotto CAM).

La valutazione va combinata almeno con quella del carbonio operativo, onde evitare che l'estremizzazione della riduzione dei consumi di gestione vada a discapito dei valori di energia incorporata o, in questo caso, di carbonio incorporato.

Da notare: prodotti il cui impiego è pressoché univoco e che non presentano particolari variazioni nelle componenti possono presentare schede EPD sia con valori da A1 a A5 che valori da C1 a C4; ad esempio, un pannello in OSB ha una limitata gamma di impieghi e si mette in opera sempre attraverso l'uso di viti o chiodi; pertanto, è calcolabile con buona approssimazione sia la messa in opera che la dismissione.

4.1.3. Indicatori qualitativi o indiretti

La riduzione delle emissioni di carbonio incorporato nelle politiche attuali tende a concentrarsi direttamente sui materiali da costruzione, piuttosto che adottare un approccio basato sull'intero ciclo di vita dell'edificio.

Mentre il sistema di certificazione europeo Level(s) (https://greenforum.ec.europa.eu/green-business/levels_en), come si è detto, prevede un indicatore specifico, che fa riferimento alla metodologia LCA, cioè l'indicatore 1.2, Life Cycle Global Warming Potential (GWP), altri sistemi di requisiti affrontano il tema della decarbonizzazione in maniera indiretta.

I Criteri Ambientali Minimi (CAM) – citati nel capitolo 3 in relazione a al rapporto tra queste prescrizioni e la ricaduta su carbonio incorporato e carbonio operativo, e nel capitolo 7 in relazione alle strategie di economia circolare – mirano a influenzare la domanda di mercato, attraverso le Pubbliche Amministrazioni, premiando i materiali con un buon contenuto di materiale riciclato, rispetto agli standard produttivi attuali, potenzialmente riducendo le emissioni di carbonio grazie a inferiori consumi energetici rispetto al solo uso di materia prima vergine. In questo senso, le strategie CAM possono avere un impatto sul successo della decarbonizzazione, senza

però evidenziarne i valori in termini quantitativi. I valori per i materiali indicati (acciaio, calcestruzzo, isolanti termici, ecc.) sono molto diversi tra loro e dipendono dall'effettivo avanzamento tecnologico-produttivo degli specifici ambiti e quindi dalla effettiva possibilità di reperire materiale e prodotti con quei valori.

Analogamente, alcuni tra i criteri ambientali contenuti nei sistemi di rating – *Green Building Rating Systems* – quali l'internazionale LEED o l'italiano UNI/PdR 13:2019 (aggiornamento 2023) – ex Protocollo Itaca – prevedono indicatori che hanno un riflesso sulla riduzione delle emissioni di carbonio. Limitandoci alla citata UNI/PdR, troviamo diversi indicatori che possono influenzare le emissioni di carbonio: A1.5 Riutilizzo del territorio e A1.6 Accesso al trasporto pubblico, e le altre schede dell'ambito qualità del sito evidenziano la necessità di non utilizzare nuovi terreni per la nuova edificazione al fine di ridurre le aree rurali agricole o naturali (potenzialmente influenzano il GWP LULUC), utilizzare le infrastrutture esistenti (riducendo quindi il GWP Tot dovuto all'impiego di prodotti di vario genere) e la necessità di spostarsi, in particolare con mezzo privato, riducendo le emissioni legate al carburante. Il termine “emissioni” compare in molte schede, ma anche in questo caso l'approccio alla decarbonizzazione è mediato dall'applicazione di strategie di economia circolare, recuperando materiali, usando prodotti con contenuto di riciclato, utilizzano prodotti realizzati del tutto o in parte con materiali da fonti rinnovabili (oltre che, ovviamente, riducendo le emissioni per il funzionamento dell'edificio). L'importanza della scheda EPD come fonte sufficientemente sicura di informazioni sulla natura del prodotto è tale che, nell'indicatore B4.11 Materiali certificati, anche solo la scelta di utilizzare prodotti con certificazione EPD, al di là delle indicazioni contenute, è considerata oggetto di valore.

4.2. Approccio alla quantificazione del carbonio incorporato

Come si è visto precedentemente si definisce “carbonio incorporato” la quota di emissioni di carbonio equivalente dovuta a un prodotto o un processo (che include l'impiego di prodotti ma anche la loro messa in opera). Se la procedura di LCA di un prodotto ha come finalità la computazione degli input e output nella realizzazione di un semilavorato, o di un prodotto finito, mettendo in evidenza anche le emissioni inquinanti, tra le quali i gas serra, in sede di progettazione edilizia, la quantificazione del carbonio incorporato può essere affrontata con diversi gradi di precisione e pertanto di approccio, in funzione della fase progettuale, di eventuali clausole contrattuali e di dati disponibili.

4.2.1. Prodotti e EPD

Qualora non solo le prestazioni degli elementi edilizi siano note, ma anche le loro caratteristiche oggettuali, in funzione degli obiettivi di progetto ma anche delle intenzioni (espressive, economiche, ambientali, ecc.) che committente e team di progetto definiscono durante le loro interazioni, come si è detto, il carbonio incorporato in un elemento edilizio può essere valutato analizzando le dichiarazioni ambientali di prodotto (EPD – *Environmental Product Declaration*) – secondo la UNI EN ISO 14025:2010 –, che ne evidenziano il contenuto attraverso gli indicatori di GWP, per le diverse fasi del ciclo di vita e secondo le diverse categorie: *Fossil*, *Biogenic*, LULUC.

In processi in cui il controllo del progetto esecutivo e dei dettagli è tale da poter richiedere specifiche soluzioni e prodotti commerciali è quindi possibile contabilizzarlo con un semplice software, come si fa per un computo estimativo economico, nelle fasi più avanzate del progetto, dovendo individuare il prodotto stesso, o quando non possibile considerando un prodotto di riferimento con caratteristiche ben definite. In tale modalità il principale ostacolo è la disponibilità di prodotti certificati con EPD, con il rischio che la scelta sia fortemente influenzata da ciò che è reperibile invece che dalle intenzioni progettuali.

Un altro ostacolo è quello della necessaria, anche se non obbligatoria dal punto di vista regolamentare, integrazione dei valori di GWP del prodotto per le fasi presumibilmente non calcolate in scheda, come le emissioni dovute al trasporto dalla fabbrica (o dal distributore locale, in un'ottica di semplificazione) al sito di costruzione. L'individuazione a monte del processo edilizio, o comunque nelle prime fasi, di specifici prodotti non sempre è possibile e forse neanche opportuna, data la necessità di valutare molti altri elementi (costi, ecc.) anche nell'edilizia privata, ove non vi sono vincoli regolamentari nell'approccio al mercato.

Per organismi edilizi più sofisticati, e viste le richieste crescenti di impiego di software BIM per la redazione del progetto, tale computo diventa parte integrante il progetto stesso e in un certo senso dovrebbe influenzare il progetto stesso, come avviene per la parte economica, durante il suo sviluppo.

La necessità di impostare il calcolo sin dalle prime fasi, o l'impossibilità di scegliere il prodotto se non nelle caratteristiche prestazionali, impone però l'uso non di valori specifici, quali quelli riscontrabili nelle schede EPD, quanto di valori medi di riferimento, quelli che vengono definiti *benchmark*. Servono quindi strumenti in grado di interfacciarsi direttamente con banche dati affidabili ed è questo il focus principale del problema.

Limitandoci alle fasi A1, A2 e A3 del ciclo di vita, il quantitativo di carbonio incorporato in un prodotto è influenzato dalle materie prime impiegate, dalla distanza tra i siti di approvvigionamento e quello di lavorazione, dalle

tecnologie di lavorazione e, infine, anche dal mix energetico utilizzato per le lavorazioni stesse. Ciò può determinare differenze sostanziali non solo tra prodotti di analoghe prestazioni che impiegano materie prime di base diverse – ad es. materie prime vegetali vs materie prime minerali o di sintesi, come nel caso degli isolanti termici –, ma anche tra prodotti che impiegano la stessa materia prima principale, per differenze nella lavorazione o nell'integrazione con altri prodotti, o per un contesto energetico-produttivo differente. Ciò comporta che il mancato controllo delle fonti dei dati può determinare valutazioni del tutto erranee.

Nel caso di valutazioni estese anche alle fasi successive del ciclo di vita, come sarebbe corretto fare – una soluzione tecnologica potrebbe essere poco impattante a tempo zero ma necessitare di costose, anche in termini ambientali, opere di manutenzione –, i dati sono sempre più *site-specific* e difficilmente possono essere valutati se non attraverso clausole contrattuali che obblighino l'appaltatore ad assumere determinati comportamenti e impiego di specifici macchinari, cosa possibile ma che riversa sul Direttore dei Lavori un ulteriore onere di controllo.

Negli appalti pubblici, dati i criteri di libera concorrenza e non discriminazione rispetto a operatori o specifici prodotti, il ricorso alle schede EPD può essere unicamente un riferimento rispetto a valori di GWP di prodotti presenti sul mercato ma non può essere adottato proceduralmente. Per quanto riguarda gli appalti integrati di cui al Codice dei Contratti Pubblici (D.Lgs. 36/2023), clausole contrattuali possono richiedere una specifica verifica in merito al carbonio incorporato dei prodotti – ad es. valori massimi per unità funzionale – ma l'unico riferimento cogente ad oggi è quello dei CAM, ove il concetto di decarbonizzazione è indirettamente correlato all'uso di materiali e prodotti contenenti una certa percentuale di riciclo, ma non vi è esplicitato in alcun modo il valore per unità funzionale (in merito si vedano i capitoli 7 e 8).

4.2.2. Sull'uso della risorsa legno

Una delle strategie per ridurre il carbonio incorporato consiste nel sostituire materiali ad alta intensità energetica ed emissioni di carbonio con materiali a basse emissioni, in relazione a materia prima e modalità di lavorazione, mantenendo le stesse prestazioni.

L'uso del legno negli edifici è spesso considerato una soluzione sostenibile per ridurre le emissioni di gas serra. Oltre ad avere caratteristiche adatte all'impiego in edilizia, il legno può immagazzinare carbonio per tutta la vita utile dell'edificio, contribuendo così alla decarbonizzazione del settore delle costruzioni.

Tra le strategie di sostituzione dei materiali, i prodotti a base di legno – il cosiddetto “legno ingegnerizzato” – occupano un posto di rilievo. Tuttavia, l’aumento della domanda di legno può generare problemi ambientali e sociali. Le foreste non sono solo pozzi di carbonio, ma ospitano attualmente circa l’80% della biodiversità terrestre, svolgono ruoli fondamentali nel ciclo dell’acqua, nella protezione del suolo e nella regolazione del clima locale.

Sebbene l’intensificazione della silvicoltura a fini edilizi, se non ben gestita, rischi di compromettere questi equilibri, in Europa si utilizza principalmente legno proveniente da foreste certificate. L’intero ciclo di vita del materiale – dal taglio, al trasporto, alla lavorazione – ovviamente comporta emissioni, ma decisamente molto limitate rispetto ad altri materiali da costruzione. Tuttavia, la sostituzione o demolizione di edifici in legno può rilasciare nell’atmosfera il carbonio precedentemente “sequestrato”, se non viene riutilizzato o riciclato. L’uso del legno deve quindi essere inserito in un approccio sistemico alla decarbonizzazione dell’edilizia.

Evidentemente la contabilità del carbonio ci porterebbe a massimizzare l’uso di prodotti a base legno, in quanto non apporta un contributo (essendo “carbonio negativo”) ma va invece a compensare i valori di GWP di altri materiali e prodotti che inevitabilmente faranno parte dell’edificio: questo non deve però accadere a discapito di altri elementi di valutazione.

La verifica della possibilità di utilizzare prodotti a base legno per gli elementi edilizi dovrà tenere conto della valutazione di vantaggi, svantaggi e precauzioni necessarie (ad es. degli elementi accessori per ridurre la sensibilità all’acqua, al fuoco, ecc.) in base agli obiettivi progettuali.

In alcuni casi è opportuno valutare parallelamente gli altri indicatori di impatto presenti nella scheda EPD dovuti all’uso di prodotti potenzialmente inquinanti quali colle, impregnanti, ritardanti di fiamma e vernici, spesso presenti. Inoltre, si potrebbe anche decidere di non considerare il valore totale del GWP ma di dedurre il GWP biogenico, considerando cioè l’indicatore GWP-GHG che rappresenta il potenziale di riscaldamento globale totale considerando CO₂ fossile, altri gas serra (CH₄, N₂O, HFC, SF₆, ecc.) ma escludendo la componente derivante da biomassa, legno e rifiuti organici, secondo la norma EN 15804+A2 e il sistema EPD International.

Altra considerazione importante nella valutazione dell’uso delle risorse legnose nella costruzione, rispetto alla valutazione delle emissioni di carbonio nel ciclo di vita, è la considerazione del *lifespan*, quindi la definizione dell’intervallo temporale alla fine del quale si ritiene conclusa la vita dell’edificio. Il sistema di certificazione europeo Level(s), nel fascicolo che affronta l’indicatore 1.2 *Life Cycle Global Warming Potential* (GWP), riporta valori di *lifespan* per i principali subsistemi edilizi che possono essere tenuti in considerazione anche se questi valori prescindono dalle modalità

costruttive e dai materiali utilizzati ma costituiscono un valore medio presunto (si veda anche il capitolo 2 di questa pubblicazione).

Di fatto, i prodotti a base legno presentano un GWP negativo (cioè hanno assorbito più carbonio nel periodo crescita dell'albero rispetto a quello emesso durante la lavorazione) solo se consideriamo il tempo zero. A fine vita, il destino degli elementi può essere vario: discarica – e conseguente marcescenza con rilascio di CO₂ –, termovalorizzazione – con rilascio di CO₂ ma recupero di energia –, riciclo – si è prolungata la vita del legno trattandolo e realizzando un prodotto magari a minore qualità (ad es. da massello o lamellare a truciolare) –, infine, nei casi più fortunati, recupero e riuso.

Per fare un esempio, in una ricerca recentemente pubblicata (de Paula Filho *et al.*, 2024), sono stati presentati i risultati comparativi di una LCA “dalla culla alla culla” relativa a un edificio per uffici situato in Lussemburgo, con una vita utile di 50 anni. Sono stati confrontati tre sistemi strutturali equivalenti: una struttura composita acciaio-calcestruzzo, una struttura prefabbricata in calcestruzzo armato e una struttura in legno. L'inventario del ciclo di vita (LCI) è stato realizzato utilizzando dichiarazioni ambientali di prodotto (EPD). La soluzione composita acciaio-calcestruzzo ha mostrato prestazioni migliori rispetto alla struttura prefabbricata in calcestruzzo in termini di GWP totale, presentando persino un GWP inferiore rispetto alla struttura in legno quando si considera uno scenario di fine vita (*end of life*) con smaltimento in discarica. Le soluzioni in acciaio-calcestruzzo e in legno mostrano invece GWP equivalenti se si assume che il legno venga incenerito al 100% con recupero energetico. Evidentemente non è stata considerata la situazione in cui a fine vita il legno verrebbe, se non recuperato per essere riusato, almeno riciclato.

Risulta evidente quanto delicata sia l'operazione di comparazione tra soluzioni alternative. Modifiche alle soluzioni costruttive, all'uso dei materiali, all'approvvigionamento dei prodotti e alla definizione della vita utile dell'edificio possono portare a risultati diversi e indurre a scelte che devono essere ben meditate. Ovviamente resta, per le tecnologie del legno, il grande vantaggio di essere riferite all'unica risorsa materiale rinnovabile disponibile per le costruzioni.

4.2.3. Competenze, software e database

Da quanto detto precedentemente, risulta evidente che, nell'edilizia pubblica – a parte il necessario riferimento ai CAM e all'uso delle certificazioni EPD nella fase esecutiva –, impostare un progetto edilizio *low carbon* necessita di competenze rispetto alle strategie e alle soluzioni da adottare, oltre a valori di riferimento che non possono, in genere, essere basati su un set di

prodotti customizzato sullo specifico progetto, ma che devono confrontarsi con dati medi legati al contesto tecnico e di mercato in cui si opera.

Da una serie di interviste fatte dai gruppi di ricerca di cui alla presente pubblicazione a rappresentanti di enti pubblici italiani, rispetto alla percezione dell'importanza degli obiettivi di decarbonizzazione, è risultato che, anche in questo campo, l'Italia marcia a differenti velocità, come citato nel capitolo 1 della presente pubblicazione.

La gestione delle competenze, altrettanto, va dall'esclusivo riferimento a soggetti esterni per la maggior parte delle fasi del processo, per l'impossibilità di aggiornare il personale interno o assumerne di nuovo, alla volontà di creare un *know-how* diffuso nei tecnici residenti, tale da permetterne la gestione del processo edilizio dall'inizio alla fine.

I software BIM e i software di CAD-3D avanzato esistenti sul mercato stanno sempre più caratterizzandosi attraverso plugin in grado di effettuare diversi tipi di valutazione delle qualità dell'edificio progettato, dal controllo dei costi, al comportamento energetico in regime dinamico e, più recentemente, al contenuto di carbonio.

In questo ambito, integrazioni e nuove applicazioni vengono realizzate e aggiornate molto velocemente; pertanto, si citano di seguito alcuni esempi nella consapevolezza di non essere esaustivi.

Uno dei più noti software BIM, cioè Revit® di Autodesk®, integra il plugin Tally®, applicazione che permette di effettuare una analisi globale dell'impatto dei materiali da costruzione oltre che di comparare diverse soluzioni attraverso l'uso del database integrato. Lo stesso Revit® nelle nuove versioni include la funzione Carbon Insights®, senza plugin aggiuntivi, in modo da rendere l'analisi più veloce ed integrata durante lo sviluppo del progetto, permettendo comparazioni tra soluzioni costruttive in tempo reale. Il software mostra emissioni di carbonio suddivise per categoria, sia quelle dovute al carbonio incorporato per la produzione e l'installazione dei materiali (fase A1-A5), sia relative al carbonio operativo con emissioni dovute a illuminazione, riscaldamento, ecc. Dispone di un database EPD integrato al fine di avere valori di confronto (al momento prevalentemente riferiti a prodotti nordamericani).

One Click LCA è un software LCA utilizzabile con Revit, Archicad, Tekla, IFC, che supporta valutazioni WBLCA (*Whole Building LCA*) e certificazioni LEED, BREEAM, CAM, include un database di EPD internazionali e consente analisi comparative tra materiali. Data la presenza di valori riferiti al contesto produttivo europeo sembra essere più interessante per l'applicazione nel nostro Paese.

Il software di modellazione tridimensionale Rhinoceros® include il plugin Cardinal, che attraverso una implementazione con il linguaggio visuale di programmazione Grasshopper, permette di effettuare la contabilità del carbonio

incorporato utilizzando i database EC3 e ICE, oltre a permettere l'inserimento di prodotti certificati EPD. EC3 – *Embodied Carbon in Construction Calculator* è un database gratuito sviluppato dal *Carbon Leadership Forum*, integrabile in modelli BIM, che permette stime quantitative del carbonio incorporato utilizzando dati provenienti da EPD da diversi contesti geografici.

Infine, va citato il database di EPDItaly, piattaforma integrata con la rete europea ECO Platform, contenente EPD conformi alle norme EN 15804 e ISO 14025, riferite a prodotti effettivamente realizzati e commercializzati in Europa, utile ai fini dell'applicazione della norma sui CAM per gli appalti pubblici, anche perché include produttori italiani e multinazionali operanti sul territorio nazionale. ECO Platform è una associazione europea che armonizza le EPD tra i vari Program Operator nazionali, includendo membri come EPDItaly, IBU (Germania), INIES (Francia), BRE (UK).

Al di là della complessità d'uso in relazione all'interfaccia, la consapevolezza dei valori che si stanno selezionando è altrettanto importante.

Al fine di rendere chiara l'importanza di usare dati attendibili, si porta come esempio uno studio (Simonen *et al.*, 2017) che si è proposto l'obiettivo di affrontare il problema della mancanza di dati affidabili e comparabili sul carbonio incorporato negli edifici, in ambito nordamericano. I ricercatori hanno creato un ampio database sul carbonio incorporato negli edifici, denominato ECB Database. Tale archivio raccoglie oltre 1.000 casi studio provenienti da fonti pubbliche e private, tra cui studi LCA condotti da noti studi professionali come Arup, SOM, Thornton Tomasetti, MIT e WRAP. I dati sono stati normalizzati in kgCO₂e per metro quadrato, con riferimento principalmente alla fase A del ciclo di vita (produzione di materiali e realizzazione di prodotti). L'analisi ha evidenziato che la maggior parte degli edifici presenta valori di carbonio incorporato inferiori a 1.000 kgCO₂e/m², con una concentrazione in particolare tra 200 e 500 kgCO₂e/m² per gli edifici ad uso ufficio. Tuttavia, la variabilità è ampia e dipende da numerosi fattori: il numero di piani, la presenza di piani interrati, il tipo di struttura, l'ambito LCA considerato (solo struttura, oppure anche fondazioni, involucro e finiture), nonché le condizioni climatiche e sismiche del sito.

Un altro studio (Pasanen *et al.*, 2019) si è concentrato sull'ambito produttivo europeo, attraverso l'impiego del citato software One Click LCA.

Chiamato *Carbon Heroes Benchmark*, si è trattato di una iniziativa cooperativa per la profilazione del carbonio per tipologia edilizia in diversi Paesi. L'obiettivo del programma era creare *benchmark* uniformi e riferiti all'intero ciclo di vita dei materiali per le tipologie edilizie più comuni. Sono stati così analizzati 1.000 edifici.

Il programma ha utilizzato come base metodologica gli standard EN 15978 e ISO 21930, considerando le fasi del ciclo di vita A1-A3, A4, B4-B5 e C1-C4.

Al fine di avere dati validi rispetto al contesto geografico-costruttivo, gli edifici sono stati analizzati suddividendoli, oltre che per tipologie e destinazioni d'uso, per macroregioni:

- Europa del Nord: Danimarca, Finlandia, Islanda, Norvegia, Svezia;
- Europa dell'Est: Croazia, Repubblica Ceca, Estonia, Ungheria, Lettonia;
- Lituania, Polonia, Romania, Serbia, Repubblica Slovacca;
- Slovenia, Ucraina;
- Europa del Sud: Italia, Portogallo, Spagna;
- Europa dell'Ovest: Austria, Belgio, Francia, Germania;
- Lussemburgo, Olanda, Svizzera;
- Isole britanniche: Irlanda, Regno Unito.

La ricerca ha portato alla pubblicazione nel 2021, sul sito di One Click LCA, di un report con valori di *benchmark* per diverse tipologie, come si è detto suddivise per aree geografiche. È un importante riferimento che va però tenuto in costante aggiornamento (d'altronde questo è l'obiettivo commerciale della società che gestisce il software). I risultati, al 2021, confermano l'ampio intervallo dei valori di carbonio incorporato, in funzione di tipologia e localizzazione geografica, ma ne estrae anche le differenze per modalità costruttive, specificando la rappresentatività dei campioni analizzati (secondo una analisi statistica).

Risulta particolarmente evidente come le costruzioni nell'area nordeuropea si caratterizzino per valori di carbonio incorporato decisamente più bassi, con una oscillazione circa tra i 300 e i 400 kgCO_{2e}/m² contro i 600-700 kgCO_{2e}/m² dell'Est europeo e i 500-600 kg CO_{2e}/m² dell'area Ovest, in funzione delle caratteristiche costruttive che presentano – per l'area scandinava che evidenzia i valori più bassi – una elevata percentuale di legno utilizzato nella costruzione, un'ampia adozione del BIM che permette un uso efficiente dei materiali, miscele di calcestruzzo a basso contenuto di carbonio e un uso significativo di elementi prefabbricati. Guardando i singoli casi possiamo dire che, prescindendo da dimensioni e tipologia, in Europa un edificio ha un contenuto di carbonio incorporato che oscilla tra i 300 e i 1.000 kgCO_{2e}/m².

Altri valori interessanti sono riportati nel capitolo 2 di questa pubblicazione.

4.3. Sfide per la decarbonizzazione in ambito urbano

Il processo di decarbonizzazione dell'edilizia non può prescindere dalla valutazione delle emissioni del sistema urbano. Focalizzarsi sempre più sulle prestazioni degli edifici nel loro ciclo di vita può essere vanificato da politiche insediative – di occupazione dei suoli, di trasporto, di localizzazione dei servizi, ecc. – che non tengono in considerazione i flussi di persone e merci, coincidenti con flussi energetici e conseguentemente di emissioni.

4.3.1. Strutture urbane a bassa emissione di carbonio

I modelli urbani caratterizzati da forme di sostenibilità forte si basano sulla concentrazione e la multifunzionalità degli organismi edilizi; dalle forme più facilmente adattabili a diversi contesti e scale come la “città dei 15 minuti” di Carlos Moreno (recentemente pubblicato in italiano, Moreno, 2024) ove la città sostenibile lo è anche e soprattutto dal punto di vista sociale, alle *megastructures* nei quali in teoria si può passare dall’abitazione al luogo di lavoro, allo shopping e al *leisure* senza uscirne mai, sui quali si propongono sia nuovi interventi sia approcci riqualificatori avanzati (come nel caso della proposta di riqualificazione della megastruttura socialista di Spens in Jugoslavia, Đurašinovic *et al.*, 2025).

Nel concetto di città sostenibile la riduzione del consumo energetico e conseguentemente la riduzione delle emissioni di carbonio equivalente, le strategie insediative e di mobilità hanno tutte una importanza da non trascurare.

Molti sono gli studi e i reports; tra questi *Reinventing Cities*, promosso dal network internazionale C40 *Cities Climate Leadership Group*, è un’iniziativa globale volta a stimolare la rigenerazione urbana a zero emissioni attraverso concorsi internazionali su siti dismessi o sottoutilizzati. L’obiettivo è favorire modelli di sviluppo urbano sostenibile, integrando criteri ambientali, sociali ed economici.

Il programma si basa su dieci sfide climatiche, tra cui:

- Decarbonizzazione degli edifici e uso di materiali a basso impatto;
- Mobilità sostenibile e riduzione del traffico veicolare;
- Gestione circolare delle risorse e dei rifiuti;
- Inclusione sociale e accessibilità;
- Biodiversità urbana e resilienza climatica;

I progetti selezionati devono dimostrare neutralità carbonica, innovazione architettonica, coinvolgimento comunitario e replicabilità. Tra le città partecipanti figurano Milano (citata nel capitolo 1 di questa pubblicazione), Parigi, Madrid, Chicago, Oslo, Singapore, con interventi che spaziano da quartieri residenziali a poli multifunzionali.

Il progetto rappresenta un modello operativo per la transizione ecologica urbana, promuovendo partenariati pubblico-privati e strumenti di pianificazione integrata. Nelle linee guida ai progetti, diversi punti hanno ricadute dirette o indirette sulle emissioni di carbonio, con riferimento alla mobilità ma anche all’uso di materiali con componente di riciclo, al fine di avere una città *carbon neutral*.

Un documento che affronta il tema della decarbonizzazione, secondo una visione ampia e integrata del tema, è quello realizzato da GBC Italia “Decarbonizzare il ciclo di vita dell’ambiente costruito. Roadmap italiana

per raggiungere gli obiettivi climatici al 2050”, con una divisione in 5 aree, come in Tabella 4.1.

Tabella 4.1 – Decarbonizzare il ciclo di vita dell’ambiente costruito. Roadmap italiana per raggiungere gli obiettivi climatici al 2050.
Fonte: GBC Italia.

Area	Obiettivo	Connessione con lo sviluppo urbano
1. Decarbonizzazione degli edifici	Ridurre le emissioni dirette e indirette lungo il ciclo di vita	Riqualificazione energetica, retrofit, materiali a basso impatto
2. Pianificazione urbana	Integrare criteri ambientali nella progettazione territoriale	Densificazione, mobilità sostenibile, resilienza climatica
3. Economia circolare	Promuovere il riuso, riciclo e recupero dei materiali da costruzione	Gestione dei rifiuti da demolizione, filiere locali
4. Innovazione e digitalizzazione	Usare strumenti digitali per monitoraggio e ottimizzazione energetica	BIM, <i>smart grid</i> , gestione integrata dei quartieri
5. Governance e partecipazione	Coinvolgere attori pubblici e privati nella transizione ecologica	Piani locali, partenariati, comunità energetiche

Guardando l’area 1 vediamo come l’approccio alla decarbonizzazione non sia legato unicamente alla selezione dei materiali, ma anche alla riduzione dei consumi energetici durante l’uso dell’edificio, all’incrementare l’uso di fonti energetiche rinnovabili e all’ottimizzazione dei consumi mediante una gestione *smart* e digitale.

4.3.2. Le fonti rinnovabili in ambiente urbano

Trattando di decarbonizzazione, non si può non citare la necessità di diminuire i consumi energetici da fonte fossile, riducendo il fabbisogno energetico per la climatizzazione degli edifici.

Per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione nell’ambito del carbonio operativo è necessario riqualificare il patrimonio edilizio esistente, spesso di proprietà privata e con un conseguente rilevante valore emotivo e culturale. Gli edifici costruiti nei secoli precedenti e fino agli anni ’80 presentano caratteristiche molto eterogenee; quelli realizzati tra gli anni ’50

e '70 risultano spesso i più carenti dal punto di vista costruttivo e, al contempo, i più facilmente riqualificabili grazie alla loro semplicità morfologica. Al contrario, gli edifici di valore storico o paesaggistico impongono vincoli che limitano gli interventi. Tuttavia, la normativa italiana (D.Lgs. 192/2005) prevede deroghe per evitare l'alterazione del valore culturale degli immobili.

L'Italia ha adottato il PNIEC (2020) e la Strategia a Lungo Termine (2021), in linea con il Regolamento UE 2018/1999, aggiornandolo nel 2023 (https://www.mase.gov.it/portale/documents/d/guest/pniec_2023-pdf).

Gli obiettivi principali includono una riduzione del 40% della domanda energetica entro il 2030, in particolare nella mobilità privata e nel settore civile; un incremento delle fonti rinnovabili fino all'85-90% dei consumi finali, con forte elettrificazione e impiego dell'idrogeno; e un aumento della capacità di assorbimento della CO₂ attraverso la gestione sostenibile del verde e la riforestazione.

È possibile individuare diverse strategie di riqualificazione energetica per gli edifici esistenti, che variano in funzione del valore architettonico e del grado di modificabilità consentito. Gli studi dimostrano che, anche per gli edifici storici, o con apparati decorativi esteriori non modificabili, esistono soluzioni pratiche e minimamente invasive, come la regolazione intelligente degli impianti termici tramite termostati programmabili, che riducono i consumi senza alterare l'edificio. Gli interventi più strutturali, come l'isolamento o la sostituzione degli infissi, risultano invece limitati. Si propone anche l'impiego di pompe di calore geotermiche. In linea con il PNIEC, la diffusione dei sistemi a pompa di calore migliorerebbe il comfort estivo, ma comporterebbe un aumento dei consumi elettrici, sostenibile grazie alla loro maggiore diffusione.

L'applicazione dei sistemi a pompa di calore negli edifici esistenti, in particolare nei contesti urbani e condominiali, risulta complessa. Le difficoltà riguardano sia l'installazione esterna o nel terreno (per i sistemi geotermici), sia l'adattamento degli impianti di distribuzione del calore, spesso progettati per alte temperature, incompatibili con le pompe di calore. La diffusione del gas naturale ha favorito il passaggio da impianti centralizzati a sistemi autonomi, in un contesto in cui l'80% degli italiani è proprietario dell'abitazione. Tuttavia, l'adozione diffusa di sistemi autonomi di climatizzazione con unità esterne visibili è problematica in Italia, soprattutto nelle aree soggette a vincoli paesaggistici o monumentali, dove tali installazioni sono vietate o limitate. È necessario individuare soluzioni con sistemi centralizzati e unità di scambio esterne collocate su coperture, piani terra aperti o piani intermedi. In alcuni casi, sono già stati realizzati interventi di riqualificazione con pompe di calore geotermiche.

Un'alternativa potrebbe essere rappresentata dalle comunità energetiche intelligenti, che concentrano i sistemi a pompa di calore e le fonti rinnovabili solo sugli edifici in grado di assorbire l'impatto visivo, fungendo da fornitori di servizio per gli altri, come già avviene per la produzione con il fotovoltaico. Questo approccio può risolvere problemi di spazio, ma diventa complesso nei centri storici, dove il valore paesaggistico è legato all'insieme e non ai singoli edifici. In questi casi, l'energia di comunità dovrebbe estendersi anche alle aree limitrofe, creando una rete funzionale che rispetti l'estetica del centro.

Una possibile soluzione integrativa è rappresentata dalle piastre radianti a infrarossi lontani, la cui efficienza è molto variabile (dal 39% all'85%) a seconda del tipo (Bédard, 1998). Questi sistemi riscaldano direttamente oggetti e persone, offrendo comfort immediato a breve distanza, ma richiedono tempo per un riscaldamento uniforme. Pur essendo meno versatili delle pompe di calore, principalmente per l'assenza della funzione di raffrescamento, costituiscono una possibile alternativa ai sistemi a gas e sono coerenti con gli obiettivi di decarbonizzazione (Magliocco & Sabbion, 2025).

4.3.3. Influenza delle politiche energetiche

Perché parlare di rete elettrica e *smart grid* in un testo che fa prevalentemente riferimento alla decarbonizzazione dell'edilizia?

Il carbonio operativo potrebbe ridursi a quasi zero qualora le fonti energetiche utilizzate per il funzionamento degli edifici fossero integralmente di tipo rinnovabile. In specifici contesti energetici ciò può già avvenire data l'esistenza di società che commercializzano unicamente energia elettrica da fonte rinnovabile. In casi particolari è quindi possibile immaginare che il carbonio incorporato diventi preponderante rispetto a quello operativo.

Il rapporto dell'IEA *Empowering Urban Energy Transitions: Smart Cities and Smart Grids* (IEA 2024) analizza come le aree urbane possano guidare la transizione verso sistemi elettrici a emissioni nette zero. Sottolinea il ruolo cruciale dei governi locali nell'attuazione di soluzioni energetiche pulite, in linea con l'accordo COP28 che mira ad accelerare l'efficienza energetica e la diffusione delle rinnovabili. Il documento evidenzia l'importanza dell'integrazione tra tecnologie digitali, *smart grid* e pianificazione urbana inclusiva per migliorare la sicurezza, l'accessibilità e la sostenibilità energetica. Affronta inoltre le disuguaglianze nell'accesso all'elettricità, in particolare nelle regioni in rapida urbanizzazione come l'Africa subsahariana, e propone approcci sistemici per la transizione energetica urbana.

In uno studio (Echenagucia *et al.*, 2023) condotto con strumenti parametrici, attraverso simulazioni delle prestazioni energetiche degli edifici e

computazione del carbonio incorporato sugli involucri in sei città degli Stati Uniti, si è tentato di capire – in una valutazione *from cradle to gate* – quale fosse l’influenza del mix energetico a livello locale sul rapporto tra consumi energetici e investimenti nel miglioramento delle caratteristiche termiche delle pareti esterne.

Lo studio evidenzia che, per ridurre le emissioni totali di carbonio lungo l’intero ciclo di vita dell’edificio, il carbonio incorporato gioca un ruolo determinante nella maggior parte dei climi, in particolare in quelli miti e in contesti con reti elettriche a bassa intensità di carbonio. Nel contesto italiano le differenze tra luogo e luogo sono mitigate da una normativa omogenea, diversamente rispetto agli USA dove le configurazioni minime previste dai codici tendono a sottodimensionare le prestazioni dell’involucro, generando elevate emissioni operative che superano di gran lunga i risparmi in termini di carbonio incorporato, soprattutto in climi rigidi e reti ad alta intensità di carbonio. La presenza di fornitori energetici che vendono energia elettrica con quote di rinnovabile molto diversa andrebbe considerata in una valutazione dell’impronta di carbonio di un edificio, ma poiché in Italia il libero mercato permette di cambiarlo con relativa facilità, normalmente vengono considerati i valori medi nazionali definiti dal GSE (<https://www.gse.it/servizi-per-te/fonti-rinnovabili/fuel-mix>). In ogni caso, è evidente che al progressivo ridursi dei consumi energetici, e quindi delle emissioni di carbonio, si arriverà al punto di dover considerare il carbonio totale lungo il ciclo di vita.

4.3.4. Decarbonizzazione e contesto urbano

Nel capitolo 3 sono state citate le NBS e la riforestazione come strategia di adattamento climatico con ricaduta sulla concentrazione di CO₂ in atmosfera. Un approccio che può essere considerato come integrativo è quello della decarbonizzazione del contesto attraverso strategie di adattamento. La forestazione urbana sostiene direttamente gli obiettivi dell’Accordo di Parigi (COP21), che mirano a limitare il riscaldamento globale al di sotto dei 2 °C e a mantenere la concentrazione atmosferica di CO₂ sotto i 450 ppm. Studi dimostrano che l’aumento della copertura arborea urbana può ridurre le temperature estive fino a 3 °C, diminuendo la formazione di ozono e il consumo energetico. Sebbene meno studiata rispetto alla riforestazione rurale, la forestazione urbana può compensare fino al 25% delle emissioni urbane, pur avendo un potenziale di mitigazione complessivamente inferiore.

Attualmente, le foreste urbane coprono circa 6 milioni di ettari, pari al 9,7% delle superfici urbane a livello globale. Si stima che 100.000 alberi urbani possano sequestrare circa 1 milione di tonnellate di CO₂. Tuttavia, la

capacità di sequestro dipende dalla specie arborea, dal bioma urbano, dalla localizzazione, dal clima e dalle pratiche di manutenzione (Moore, 2006).

In modo significativo, convertire solo un terzo delle aree erbose gestite in superfici forestali potrebbe sequestrare da 1,1 a 6,0 GtCO₂ in 20 anni, equivalenti al 3-20% delle emissioni urbane del 2020. Nell'UE, convertire il 35% delle superfici urbane in spazi verdi potrebbe aumentare la rimozione di carbonio di 25,9 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno.

I parchi urbani possono sequestrare fino a 10 volte la CO₂ che emettono in 50 anni, grazie alla presenza di specie legnose e a una manutenzione efficiente. Le aree fortemente urbanizzate emettono di più (57,95 kg CO₂e/m²), mentre le aree forestali emettono di meno (0,73 kg CO₂e/m²).

L'espansione degli spazi verdi urbani, soprattutto su terreni sottoutilizzati, offre ulteriori pozzi di carbonio (Duncanson *et al.*, 2023). Per valutare pienamente i benefici, la LCA dovrebbe essere integrata con valutazioni di altri servizi ecosistemici: biodiversità, ricreazione e benessere umano.

Inoltre, in modo indiretto, gli alberi contribuiscono alla riduzione delle emissioni attraverso:

- La diminuzione della domanda energetica degli edifici grazie al raffreddamento naturale;
- La riduzione della pressione sulle reti elettriche;
- Il supporto alla mobilità a basse emissioni di carbonio.

Questi effetti si traducono in risparmi energetici e minori emissioni di gas serra dalle centrali elettriche. Inoltre, sono coerenti con le strategie climatiche a livello municipale, come i Piani d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima (SECAP), che integrano la forestazione urbana tra gli strumenti di decarbonizzazione locale.

Infine, la scelta delle specie e l'adattamento ecologico sono fondamentali. Gli alberi urbani devono essere adatti ai microclimi locali e resistenti all'inquinamento e agli stress urbani per garantire un sequestro di carbonio duraturo e una resilienza climatica efficace.

Come si diceva un tempo, una città sostenibile non è la sommatoria di un determinato numero di edifici sostenibili; possiamo dire oggi che una città decarbonizzata non è la sommatoria di un certo numero di edifici decarbonizzati.

Riferimenti bibliografici

Bédard N. (1998). Laboratory testing of radiant gas burners and electric infrared emitters, *Experimental Heat Transfer*, vol. 11, n. 3, pp. 255-279. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1080/08916159808946565>

- Durašinović, R., Zeković, M., Mitrović, S., Konstantinović, D., Pejić, S., & Vernić, A. (2025). Indeterminacy As a Framework for Sustainable Architecture: Lessons from Spens, a Socialist Megastructure, *Sustainability*, vol. 17, p. 8527. Disponibile al link: <https://doi.org/10.3390/su17198527>
- International Energy Agency (2024), Empowering Urban Energy Transitions: Smart Cities and Smart Grids, IEA Publications. Disponibile al link: <https://www.iea.org/reports/empowering-urban-energy-transitions>
- Magliocco, A., & Sabbion, P. (2025). Decarbonizing historical buildings: objectives and constraints, in *Architectural Experiences Innovation within Heritage*, Editura Universitară Ion Mincu, București. Disponibile al link: https://editura.uuim.ro/f/editura/pub/Publicatie_AE_1-2025_cu_ISSN.pdf
- Méndez Echenagucia, T., Moroseos, T., & Meek, C. (2023). On the tradeoffs between embodied and operational carbon in building envelope design: The impact of local climates and energy grids, *Energy & Buildings*, vol. 278, p. 112589. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112589>
- Moore, G. M. (2006). Urban trees and the global greenhouse, in *Treenet: The 7th National Street Tree Symposium; Adelaide, Australia; Sep 7th-8th*, 2006, The University of Adelaide, Adelaide.
- Moreno, C. (2024), *La città dei 15 minuti. Per una cultura urbana democratica*, Add Editore, Torino [ed. or. 2020. *Droit de cité. De la “ville-monde” a la “ville du quart d’heure”*, Éditions de l’Observatoire/Humensis].
- Simonen, K., Rodriguez, B. X., & De Wolf, C. (2017). Benchmarking the Embodied Carbon of Buildings, *Technology|Architecture+Design*, vol. 1, n. 2, pp. 208-218. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1080/24751448.2017.1354623>
- Pasanen, P., & Castro, R. (2019). How to design buildings with Life Cycle Assessment by accounting for the material flows in refurbishment, in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, SBE19 Brussels – BAMB-CIRCPATH “Buildings as Material Banks – A Pathway for A Circular Future”, 5th-7th February 2019, Brussels, Belgium*, vol. 225. Disponibile al link: <https://iop-science.iop.org/article/10.1088/1755-1315/225/1/012019>
- de Paula Filho, J. H. M., D’Antimo, M., Charlier, M., & Vassart, O. (2024). Life-Cycle Assessment of an Office Building: Influence of the Structural Design on the Embodied Carbon Emissions, *Modelling*, vol. 5, n. 1, pp. 55-70. Disponibile al link: <https://doi.org/10.3390/modelling5010004>

5. *Green and Digital Transformation: la smartness per la sostenibilità nel ciclo di vita*

di Massimo Lauria¹, Maria Azzalin², Francesca Giglio², Giovanna Maria La Face¹

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile, dell'Energia, dell'Ambiente e dei Materiali, Università Mediterranea, 89122 Reggio Calabria, Italia

² Dipartimento di Architettura e Design, Università Mediterranea, 89124 Reggio Calabria, Italia

La *Green and Digital Transformation* rappresenta uno dei principali driver delle politiche pubbliche europee orientate a un'economia a basse emissioni di carbonio, resiliente ai cambiamenti climatici e circolare. In tale contesto il settore delle costruzioni assume un ruolo strategico sia in termini di impatti che di opportunità, in quanto responsabile di circa il 50% del consumo energetico complessivo di tutti i comparti produttivi. In ragione di ciò, l'Unione Europea, con la *Renovation Wave Strategy* (EC, 2020a), ha promosso l'attuazione di un'importante campagna di ristrutturazioni finalizzate al miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici e al sostegno di modelli di economia circolare. Parallelamente con il recente aggiornamento dell'*Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD IV, 2024), ha introdotto il concetto di *smartness*, al fine di rendere gli interventi compatibili con le tecnologie digitali ritenute fondamentali nell'attuazione delle strategie *green and digital* promosse dal *Green Deal* europeo.

Il contributo, partendo dall'analisi critica dei principali documenti di indirizzo europei, ne evidenzia il legame con le recenti politiche nazionali di recepimento. La finalità è quella di delineare un quadro di riferimento coerente che consenta di mettere in relazione le politiche e le strategie in tema di transizione *green and digital*, con le ricadute operative in tema di digitalizzazione dei processi e trasformazione sostenibile del patrimonio edilizio esistente. Evidenziando, al contempo, il ruolo della Pubblica Amministrazione come attore guida in questo processo.

5.1. **Quadro europeo per la trasformazione *green and digital* nel settore delle costruzioni**

5.1.1. *Scenari e indirizzi comunitari*

La transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio, resiliente ai cambiamenti climatici e circolare costituisce una delle principali

mission delle politiche pubbliche europee. I relativi indirizzi sono delineati nel *Green Deal* che mira, entro il 2050, a trasformare l'UE in una società equa e prospera, con un'economia moderna, efficiente sotto il profilo delle risorse e competitiva, che non generi emissioni nette di gas a effetto serra (EC, 2019) (Figura 5.1).

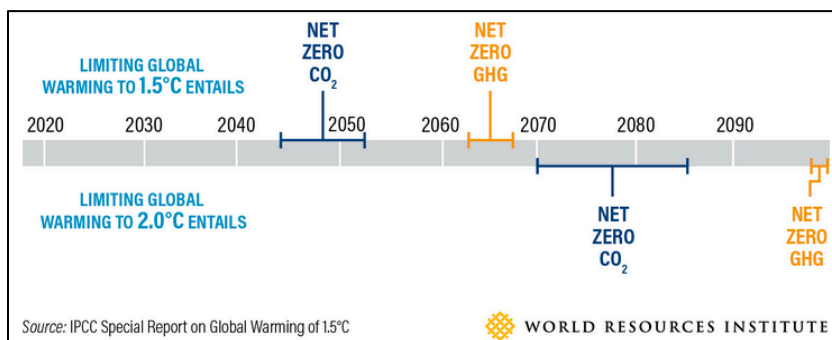


Figura 5.1 – Calendario globale per raggiungere le emissioni nette pari a zero.
Fonte: IPCC Special Report on Global Warming of 1,5 °C.

Tali obiettivi, che presuppongono il disaccoppiamento della crescita economica dal consumo di risorse, incorporano le sfide del cambiamento climatico e quelle dell'*Energy Efficiency First* (EP-CEU, 2018a; EP-CEU, 2023a), hanno portata globale e si collocano in coerenza con l'attuazione dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite e dei relativi Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDG).

In tale contesto, la strategia per l'innovazione e la sostenibilità proposta dal *Green Deal* considera complementari le componenti della transizione verde e digitale, basandole sui principi di integrazione, universalità e inclusività.

Le tecnologie digitali sono riconosciute come fattori chiave per prevedere gli impatti ambientali e sviluppare politiche adeguate, nonché per rendere sostenibile il digitale stesso garantendo l'approvvigionamento di materie prime per le tecnologie pulite in modo innovativo e responsabile.

Già nel 2009 la Comunicazione della Commissione Europea sulle *Key Enabling Technologies* (KET) individuava nei processi di digitalizzazione, automatizzazione e interconnessione gli strumenti fondamentali per l'innovazione industriale (EC, 2009). Solo qualche anno dopo la transizione digitale (EC, 2011) identificava le KET come uno dei principali fattori innovativi e di crescita (ad es. nell'energia, nei trasporti e nell'industria). Negli anni successivi, i paradigmi di *Industria 4.0* (EC, 2020c) e *Industria 5.0* (EC, 2020d) hanno contribuito a far evolvere ulteriormente tale approccio.

Industria 4.0 ha introdotto l'interconnessione tra sistemi fisici e digitali per migliorare efficienza e produttività. *Industria 5.0*, orientata alla centralità dell'uomo e alla sostenibilità ambientale, delinea interazioni intelligenti uomo-macchina-ambiente, utilizzando piattaforme cloud che controllano i servizi di produzione e ottimizzano i costi e la qualità del prodotto finale. Implementano, al contempo, processi di risparmio delle risorse, riduzione dei rifiuti e riciclaggio. *Industria 5.0* è altresì parte del *Digital Decade* (EC, 2021), che definisce un quadro strategico per il raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica fissati dal *Green Deal* europeo per il 2050 e per la trasformazione digitale europea entro il 2030, garantendo che tecnologia e innovazione contribuiscano al benessere delle persone.

5.1.2. Ruolo del settore delle costruzioni

La transizione ecologica e digitale costituisce uno dei principali *driver* di trasformazione delle politiche pubbliche europee, in particolare nei settori ad alta intensità energetica e impatto ambientale, quale quello delle costruzioni.

Il Patrimonio costruito europeo, in particolare, è responsabile di circa il 50% del consumo energetico complessivo e di oltre un terzo delle emissioni di gas serra (IEA, 2021). In larga parte obsoleto e scarsamente performante, esso rappresenta tuttavia un valore culturale e architettonico unico, espressione della diversità e della storia europea. La sua riqualificazione per il raggiungimento dell'obiettivo "zero emissioni nette" al 2050 rappresenta una condizione necessaria, ma di non semplice attuazione. A tal fine la Commissione Europea promuove la cultura della digitalizzazione verde, in modo da unire riduzione della domanda energetica, produzione e stoccaggio da fonti rinnovabili, oltre che la partecipazione attiva dei cittadini nell'inedito ruolo di *prosumer* (consumatori e produttori al tempo stesso); orientando, altresì, verso la creazione di una piattaforma aperta "che riunirà l'industria dell'edilizia e delle costruzioni, gli architetti, gli ingegneri e le autorità locali per affrontare gli ostacoli alla ristrutturazione" (EC, 2011).

La *Renovation Wave Strategy* (EC, 2020a), strettamente connessa al *Green Deal* europeo, costituisce il principale strumento per la decarbonizzazione del settore edilizio. Essa individua tre priorità: la decarbonizzazione dei sistemi di riscaldamento e raffrescamento, la lotta alla povertà energetica e la ristrutturazione degli edifici pubblici (Al Dakheel *et al.*, 2020). Promuove la realizzazione di interventi di ristrutturazione integrati con il digitale, garantendo un'adeguata efficienza energetica e sostenendo, al contempo, le economie circolari attraverso il recupero e il riutilizzo dei materiali.

L'obiettivo è rendere gli edifici intelligenti e consentire la generazione e l'uso efficiente di energia rinnovabile su più scale (domestica, distrettuale o cittadina) (EC, 2011), contribuendo in questo modo alla riduzione del 60% delle emissioni di gas a effetto serra, del 14% del consumo finale di energia, del 18% dell'energia impiegata per il riscaldamento e il raffreddamento (EC, 2020d) (Figura 5.2).

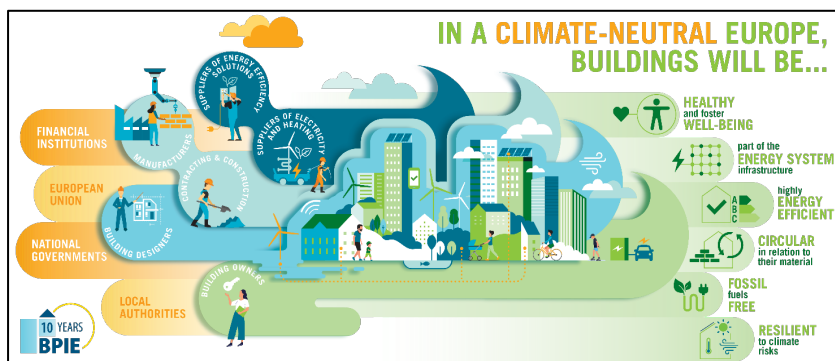


Figura 5.2 – Un piano d'azione per la Renovation Wave: attori e obiettivi per realizzare collettivamente edifici sostenibili in Europa.

Fonte: <https://www.bpie.eu/publication/an-action-plan-for-the-renovation-wave-collectively-achieving-sustainable-buildings-in-europe/#>.

Il programma della *Renovation Wave* si pone così l'ambizioso target di intervenire su 35 milioni di edifici nei prossimi anni, grazie ai finanziamenti di *NextGenerationEU*, *InvestEU*, iniziative faro e politiche di coesione.

Per rendere tali interventi compatibili con le tecnologie digitali (EC, 2009) il regolamento delegato della Commissione Europea C(2020) 6930 ha introdotto lo *Smart Readiness Indicator* (SRI), un nuovo indicatore volto a valutare la predisposizione degli edifici alle tecnologie intelligenti (EC, 2020e).

Lo SRI è oggi integrato nella nuova Direttiva (UE) 2024/1275 sull'efficienza energetica degli edifici (EPBD IV).

Parallelamente, la Commissione ha aggiornato il quadro europeo della Prestazione Energetica degli Edifici (EPA), integrando criteri relativi al potenziale di riscaldamento globale lungo il ciclo di vita (GWP) e all'accessibilità dei dati digitali. La trasformazione digitale del settore edilizio richiede, tuttavia, una più ampia implementazione di strumenti e tecnologie capaci di incrementare l'efficienza, la qualità e la tracciabilità dei processi. Tra questi:

- Modelli digitali informativi dell'edificio (BIM), in grado di introdurre innovative capacità di governance dei processi progettuali, realizzativi e di gestione, correggendone le inefficienze, incrementando la qualità delle

opere e rendendo possibile la condivisione delle informazioni su piattaforme digitali interoperabili e collaborative;

- Approcci *Digital Twin* che, affermando innovative modalità di interazione tra realtà fisiche e virtuali, consentono la simulazione, il calcolo, il monitoraggio e l'innovazione dei sistemi di controllo per il risparmio energetico;
- Passaporti digitali dell'edificio e il *Digital Building Logbook* (DBL), che conterranno tutti i dati informazioni relative agli edifici, agli interventi di ristrutturazione, indicatori di predisposizione alle tecnologie intelligenti, che potranno essere inseriti nel quadro Level(s) e negli APE. Esiste anche la possibilità che questi dati siano convogliati in un archivio di dati sul patrimonio edilizio e sul suo rendimento energetico (Osservatorio europeo del patrimonio edilizio).

L'adozione delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) risulta quindi fondamentale per accelerare la transizione verde e digitale, sostenendo un approccio basato sul ciclo di vita. Inoltre, come sottolineato dall'Assemblea parlamentare europea, il raggiungimento della neutralità climatica nel settore edilizio non può prescindere dalle politiche di economia circolare, già introdotte dal Piano d'Azione Europeo per l'Economia Circolare (EC, 2020c). Di fatto, detti documenti, nell'introdurre l'obiettivo di circolarità lungo l'intero ciclo di vita degli edifici, confermano la necessità di una forte interazione tra diversi temi strategici per migliorare la durabilità e l'adattabilità degli edifici, e ridurre gli impatti.

Tali strategie delineano un quadro di riferimento entro il quale le direttive europee in materia di efficienza energetica e prestazione degli edifici (EPBD) assumono un ruolo operativo fondamentale, traducendo tra l'altro gli obiettivi generali del *Green Deal* in strumenti regolativi e indicatori misurabili di *smartness* e resilienza del costruito.

5.2. Sostenibilità energetico-ambientale e *smartness* degli edifici

5.2.1. *Energy Performance of Buildings Directive*

L'evoluzione della normativa europea sul rendimento energetico degli edifici (EPBD) riflette la progressiva integrazione tra efficienza energetica, digitalizzazione e sostenibilità ambientale. Dal 2010 ad oggi, le direttive si sono evolute da strumenti orientati al risparmio energetico a quadri regolativi che promuovono la *smartness* del patrimonio edilizio (CE, 2020b).

La prima direttiva, 2010/31/UE (EPBD I), promuoveva il miglioramento dell'efficienza degli edifici imponendo agli Stati membri l'introduzione di requisiti minimi di rendimento energetico degli impianti tecnici, l'obbligo di

attestare l'efficienza attraverso il rilascio di certificati energetici, nonché di svolgere ispezioni periodiche dei sistemi di condizionamento d'aria, informando, infine, gli utenti sugli indicatori di rendimento energetico.

Tali requisiti, enucleati nell'articolo 8, Impianti tecnici per l'edilizia, dell'EPBD I, riguardavano gli impianti di riscaldamento, di produzione di acqua calda, di condizionamento dell'aria, di ventilazione, ovvero la loro combinazione (EP-CEU, 2010).

In linea con le norme sui consumi riportate dalla Legge 211 del 14/08/2009, con cui si invitavano gli Stati membri a favorire la partecipazione attiva dei consumatori al mercato dell'energia elettrica, la Direttiva proponeva "l'introduzione di sistemi di misurazione intelligenti quando un edificio è in fase di costruzione o è oggetto di una ristrutturazione importante" (EP-CEU, 2010). L'attuazione di sistemi di misurazione intelligenti è di conseguenza assunta a oggetto di valutazione economica di costi e benefici a lungo termine, per il mercato e per il singolo consumatore.

Prendendo atto del progresso tecnico e dei cambiamenti apportati nel panorama energetico dalla digitalizzazione, che vanno "dall'integrazione delle energie rinnovabili alle reti intelligenti e agli edifici predisposti all'intelligenza", le direttive 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e 2012/27/UE sull'efficienza energetica sono state modificate dalla Direttiva Europea sull'Efficienza Energetica degli Edifici 844/2018 (EPBD III) con l'obiettivo di promuovere la ristrutturazione a lungo termine degli edifici e di realizzare un parco immobiliare ad alta efficienza energetica e decarbonizzato entro il 2050.

La EPBD III, di fatto, getta le basi per allineare i programmi del mercato unico digitale e dell'energia al fine di digitalizzare il settore edilizio in un'ottica di efficientamento e decarbonizzazione. Prevede nuovi incentivi mirati per i sistemi predisposti alla *smartness* e alle soluzioni digitali per il patrimonio edilizio. I contatori e gli altri sistemi *smart*, il cui uso è fortemente auspicato nelle precedenti direttive, vengono ricollocati come tecnologie utili nelle operazioni di valutazione e calcolo. Il vero e proprio avanzamento consiste, però, nell'inserire la "definizione di un indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza e una metodologia con la quale esso dev'essere calcolato", introducendo professionisti esperti.

L'indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza, *Smart Readiness Indicator* (SRI), "tiene conto delle caratteristiche di maggiore risparmio energetico, di analisi comparativa e flessibilità, nonché delle funzionalità e delle capacità migliorate attraverso dispositivi più interconnessi e intelligenti [...] per valutare le capacità di un edificio o di un'unità immobiliare di adattare il proprio funzionamento alle esigenze dell'occupante e della rete e di migliorare la sua efficienza energetica e le prestazioni generali" (EP-CEU, 2018a, allegato I bis).

Il recepimento definitivo dello SRI e della sua metodologia di calcolo è avvenuto con la recente *Direttiva UE 2024/1275 (EPBD IV)*, che rifonde le precedenti versioni e definisce un sistema comune facoltativo per la valutazione della predisposizione all'intelligenza degli edifici (EP-CEU, 2024) (Figura 5.3).

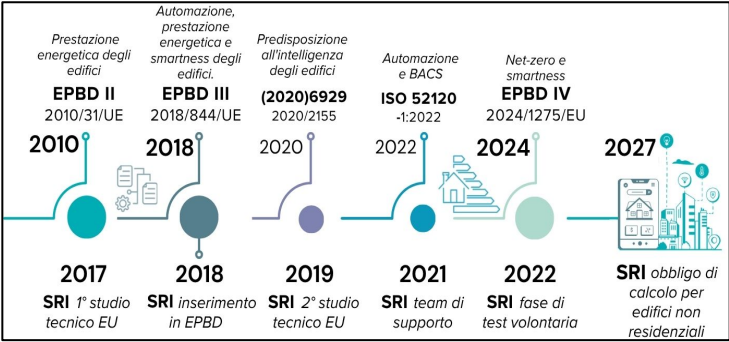


Figura 5.3 – Evoluzione della normativa sul rendimento energetico degli edifici (EPBD) e relazione con l'introduzione dello Smart Readiness Indicator (SRI).
Fonte: Elaborazione degli autori.

Ha avvio, da questo momento, una fase ufficiale di prova dell'indicatore che permetterà alla Commissione Europea di redigere, entro il 30 giugno 2026, una relazione finalizzata al perfezionamento delle procedure, prodromica alla prescrizione della relativa applicazione agli edifici non residenziali (EP-CEU, 2024, art. 2), rendendo lo SRI sostanzialmente complementare agli attestati di prestazione energetica (Figura 5.4).

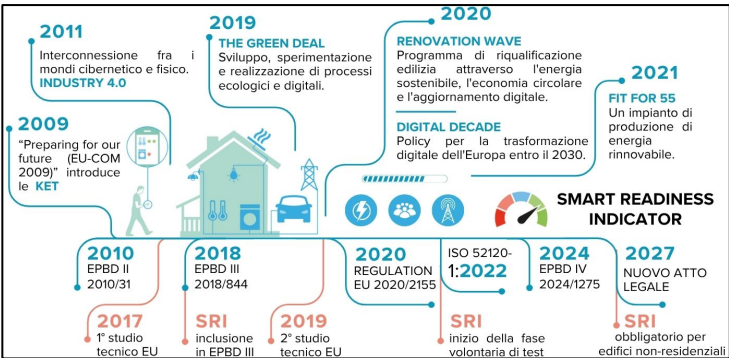


Figura 5.4 – Evoluzione dello Smart Readiness Indicator attraverso una lettura incrociata delle principali strategie europee e delle relative direttive sul rendimento energetico (EPBD).
Fonte: Elaborazione degli autori.

Un aspetto interessante è quello relativo ai dati dei sistemi edilizi, che devono poter essere direttamente accessibili per i proprietari, i locatari e i gestori degli immobili; nonché eventualmente anche a terzi, sulla base di precisi accordi normativi. Ciò per far sì che i dati sulla prestazione energetica, sui sistemi di automazione e sugli impianti possano essere collegati al registro digitale degli edifici, se disponibile.

È previsto, inoltre, che ogni Stato membro crei la propria banca dati, costituita da una serie di banche interconnesse, nella quale siano raccolti i dati relativi agli attestati di prestazione energetica, alle ispezioni, al valore della predisposizione alla *smartness* e all'energia calcolata o misurata nelle tipologie di edifici interessati, nonché in quelli presenti nel passaporto di ristrutturazione e provenienti da tutte le altre fonti pertinenti.

In altri termini, l'introduzione dello *Smart Readiness Indicator* va ad affiancare gli strumenti già consolidati di certificazione e monitoraggio (APE, *Building Renovation Passport*, *Digital Building Logbook*), contribuendo a definire un ecosistema digitale per la gestione del ciclo di vita dell'edificio che, a sua volta, potrà alimentarsi di approcci *Digital Twin*.

5.2.2. Efficienza, digitalizzazione, smartness

Il concetto di *smartness* è introdotto nelle EPBD come obbligo per gli Stati membri di promuovere sistemi di misurazione intelligenti e strategie di *demand-side management* volte a incrementare la partecipazione attiva dei consumatori ai mercati energetici (EP-CEU, 2010; EP-CEU, 2009).

Il miglioramento dell'efficienza energetica avviene attraverso la gestione della domanda in quanto, secondo gli indirizzi normativi, permette di accrescere notevolmente le possibilità per consumatori, o terzi da essi designati, di agire sulla base delle informazioni di consumo e di fatturazione. Costituisce un meccanismo per attivare risparmi energetici attraverso un uso ottimizzato degli impianti di produzione e delle reti nella produzione stessa, nella trasmissione e nella distribuzione di energia (EP-CEU, 2012).

La *smartness* di un edificio si riferisce dunque alla sua capacità di interagire in modo intelligente con gli utenti e con le reti energetiche, di percepire, comunicare e rispondere attivamente ed efficientemente a condizioni mutevoli. Non è riferita solo al concetto di efficienza energetica, ma considera un'intelligenza complessiva dell'edificio che riguarda l'obiettivo di ottimizzarne le prestazioni generali. Si basa su una combinazione di tecnologie e sistemi interconnessi che includono la gestione intelligente degli impianti (climatizzazione, illuminazione, ventilazione e sicurezza) attraverso dispositivi di domotica e *Building Automation and Control Systems* (BACS). Collegati

tramite *Internet of Things* (IoT) a piattaforme di gestione integrate, questi sistemi consentono di monitorare e ottimizzare i consumi energetici dell'edificio tramite il coinvolgimento attivo degli occupanti. L'edificio, in conclusione, monitora e riduce i consumi energetici, evitando gli sprechi, si adatta in tempo reale alle condizioni ambientali interne ed esterne, garantendo il massimo comfort agli utenti in ogni momento, si integra con la rete elettrica (*smart grid*) e, nel contesto urbano, con le infrastrutture delle *smart city* contribuendo a una gestione più efficiente delle risorse su scala più ampia.

In merito agli aspetti tassonomici, è utile evidenziare tuttavia che in letteratura, e nella prassi comune, i termini “*smartness*” e “digitalizzazione” sono spesso utilizzati come sinonimi. Pertanto, ai fini di un corretto posizionamento disciplinare e, principalmente, per segnare il senso e il significato con i quali è utilizzato il termine “*smartness*” nel corpo della presente pubblicazione, è bene specificare anche la definizione assunta di “digitalizzazione”. Ovvero l'azione, fortemente sostenuta dalla disponibilità e dall'utilizzo di tecnologie abilitanti, di conversione di dati e processi in formato digitale.

Di contro, la *smartness* di un edificio, come abbiamo visto, si pone l'obiettivo di andare oltre, integrando la digitalizzazione con sistemi di automazione e intelligenza artificiale per ottimizzare le funzioni dell'edificio in modo proattivo e adattivo. In sostanza, la digitalizzazione costituisce per la *smartness* il fondamento tecnico-applicativo. Ne consegue che la quest'ultima debba considerarsi il risultato dell'applicazione strategica di dette tecnologie abilitanti a un edificio, per renderlo più efficiente, sicuro e confortevole (CE, 2020b).

5.3. Policy delle Pubbliche Amministrazioni: indirizzi normativi e barriere

5.3.1. Nuovo Codice degli appalti: strumenti digitali e Criteri Ambientali Minimi

Le politiche nazionali relative alla trasformazione *green and digital* del settore delle costruzioni, che oggi orientano e regolano l'azione delle Pubbliche Amministrazioni, derivano direttamente dal quadro di indirizzi europeo descritto nei paragrafi precedenti. In particolare, i principi della digitalizzazione dei processi e dell'innovazione tecnologica sono stati recepiti attraverso una serie di provvedimenti legislativi che stanno determinando, anche nell'ambito delle politiche ambientali nazionali, un vero e proprio cambio di paradigma operativo e culturale.

Tra questi, un provvedimento significativo e innovativo è rappresentato certamente dal nuovo Codice dei Contratti Pubblici, che introduce la digitalizzazione come principio cardine per la gestione dell'intero ciclo di vita degli appalti pubblici, con particolare attenzione al settore delle costruzioni. Il Nuovo Codice, promulgato con Decreto Legislativo 31 marzo 2023 n. 36, si pone l'obiettivo generale di allineare la disciplina al Diritto Europeo e di razionalizzare e semplificare la normativa vigente. La parte II del Libro I, dedicata a "Principi, digitalizzazione, programmazione, progettazione", introduce la digitalizzazione come principio fondamentale e obbligatorio per l'intero ciclo di vita degli appalti. Mira a una maggiore efficienza, trasparenza e riduzione della burocrazia in tutti i settori, compreso quello delle costruzioni. Con riferimento alle ricadute operative che comporta sui processi, è importante sottolineare che delinea la creazione di un "ecosistema nazionale di fornitura digitale" che comprende l'accesso al fascicolo digitale dell'edificio e una serie completa di elementi allineati alle procedure di aggiudicazione e di esecuzione degli appalti pubblici.

Si concentra inoltre, in maniera puntuale, sull'implementazione della digitalizzazione lungo l'intero ciclo di vita dell'edificio. Nella parte IV approfondisce i livelli e i contenuti della progettazione (art. 41) nonché i metodi e gli strumenti per la gestione digitale delle informazioni degli edifici (art. 43). In questo contesto, l'Allegato I.9 "Metodi e strumenti per la gestione digitale delle informazioni" riconosce il *Building Information Modeling* (BIM) come tecnologia abilitante per migliorare la pianificazione, ridurre gli errori e gli imprevisti in fase di esecuzione, e potenziare il controllo dei costi e dei tempi (UNI, 2023; ISO, 2018). Oltre all'uso del BIM, il nuovo Codice prevede una gestione informativa digitale più ampia e strutturata per tutte le fasi dei processi attuativi delle costruzioni, con le stazioni appaltanti che assumono un ruolo decisivo e da protagoniste. Queste ultime sono infatti chiamate a investire concretamente e in maniera massiccia su infrastrutture *hardware* e *software*, nonché nella formazione del personale per gestire i nuovi processi. Devono rendere operative piattaforme interoperabili aperte e adottare metodi e strumenti per la gestione informativa digitale degli edifici (BIM), per la progettazione e la realizzazione di nuove costruzioni e per gli interventi su quelli esistenti. L'entrata in vigore obbligatoria dell'utilizzo di metodologie BIM è prevista secondo una tempistica progressiva, legata al valore dell'importo di gara. Le PA sono obbligate a redigere capitolati informativi per definire i requisiti informativi necessari per la gara e a predisporre atti organizzativi interni idonei alla gestione dei processi di interoperabilità, inerenti l'adozione di strumenti BIM, e per l'acquisizione e la configurazione di un ambiente di condivisione dati. Tale rivoluzione in chiave digitale coinvolge anche tutta la filiera degli operatori qualificati. Si affermano infatti,

definitivamente e con ruoli specifici e dedicati, nuove figure professionali per la gestione dei processi digitali, come il CDE Manager, il BIM Manager, il BIM Coordinator e il BIM Specialist.

Nel complesso, il nuovo Codice rappresenta un passo decisivo verso una Pubblica Amministrazione *data-driven*, capace di integrare digitalizzazione e sostenibilità nella gestione del patrimonio costruito, ponendo le basi per una transizione *green and digital* integrata.

Altrettanto significativo per le ricadute concrete in tema di digitalizzazione dei processi è il Decreto Ministeriale 1° dicembre 2017, n. 560, Metodi e tempi per l'introduzione progressiva di metodi e strumenti di modellazione elettronica per l'edilizia e le infrastrutture, poi modificato da DM. MIMS 2 agosto 2021, n. 312.

Il DM 560/2017, emanato in stretta correlazione con il Codice dei Contratti Pubblici del 2016, anticipava le innovazioni poi confluite nel nuovo Codice degli Appalti.

In continuità con gli indirizzi di quest'ultimo, definiva modalità e tempi per la progressiva introduzione da parte delle stazioni appaltanti di specifici metodi e strumenti elettronici, quali metodi di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture, nelle fasi di progettazione, costruzione ed esercizio delle opere e relative verifiche, prevedendone per le amministrazioni e gli operatori economici l'obbligo di utilizzo. L'obiettivo era quello di incoraggiare l'adozione, anche sperimentale, del BIM da parte delle amministrazioni e degli operatori economici, introducendo nei fatti un nuovo approccio alla digitalizzazione nel settore delle costruzioni, elemento chiave per la trasformazione digitale del comparto edilizio e, più in generale, della società. Con il suo aggiornamento e la sua modifica (DM 312/2021) il legislatore ha formalizzato l'intenzione di rendere più operativo il precedente DM 560/2017. Le innovazioni introdotte non hanno modificato in modo sostanziale la filosofia e i principi del DM 560/2017, ma hanno contribuito a chiarirne e rafforzarne alcuni aspetti, confermando la centralità del BIM nel processo di ideazione, realizzazione e gestione delle opere pubbliche.

Il nuovo testo introduce, tra le misure correttive, una migliore definizione delle specifiche tecniche per l'uso dei metodi e strumenti elettronici. Ad esempio, il termine "modello elettronico" viene sostituito con "modello informativo", e vengono precisati i concetti di "flussi di lavoro specifici" e di "elaborazioni digitali riconducibili ai modelli informativi". Di particolare rilievo è la modifica dell'articolo 5, che consente alle stazioni appaltanti di avviare i primi bandi BIM in coerenza con la pianificazione dell'introduzione del metodo, anche in assenza di piena obbligatorietà.

Inoltre, l'introduzione dell'articolo 7-bis prevede l'attribuzione di punteggi premiali per promuovere l'utilizzo del BIM, con riferimento a vari

ambiti: la gestione della manutenzione lungo l'intero ciclo di vita dell'opera mediante *digital twin*, il miglioramento della sicurezza in cantiere, il controllo dei costi di ciclo di vita e l'attuazione di criteri ambientali minimi negli appalti pubblici verdi (GPP).

Contestualmente l'applicazione obbligatoria dei Criteri Ambientali Minimi, CAM, sanciti dal vecchio Codice degli Appalti (art. 34 del D.Lgs. 50/2016, come modificato dal D.Lgs. 56/2017), indirizza le Pubbliche Amministrazioni verso una razionalizzazione dei consumi e degli acquisti, fornendo raccomandazioni per l'individuazione delle soluzioni progettuali, dei prodotti o dei servizi più sostenibili in termini di profilo ambientale.

Con il successivo Decreto CAM Edilizia del 23 giugno 2022, Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione per interventi edilizi, per l'affidamento di lavori per interventi edilizi e per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi, la loro applicazione è stata estesa e sistematizzata nel settore delle costruzioni con l'obiettivo di diffondere tecnologie e prodotti ambientalmente responsabili.

Il Decreto interviene direttamente sui criteri per l'affidamento della progettazione, dei lavori e delle procedure integrate di progettazione-esecuzione, rendendo la sostenibilità un requisito strutturale del processo edilizio pubblico.

Il successivo DM 3 agosto 2023, (G.U. n. 193 del 19 agosto 2023), approva l'edizione 2023 del Piano d'azione nazionale per la sostenibilità ambientale dei consumi nel settore della Pubblica Amministrazione, noto anche come PAN GPP. Il Piano d'azione, che promuove la produzione e il consumo collegati agli appalti pubblici verdi, è uno strumento per l'attuazione delle disposizioni della Strategia per lo Sviluppo Sostenibile e dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite, con attenzione prioritaria all'Obiettivo 12 (Produzione e consumo sostenibili).

Il documento si pone inoltre in continuità con la Strategia Nazionale per l'Economia Circolare (DM n. 256/2022, modificato dal DM MITE del 5 agosto 2024) e con altri piani settoriali volti a promuovere politiche integrate per la sostenibilità ambientale.

Come evidenziato nelle pagine introduttive del Piano, i CAM si ispirano alla volontà di integrare conoscenze e valori orientati al rispetto del paesaggio, dell'ambiente e della biosfera, guidando le stazioni appaltanti verso una riduzione degli impatti ambientali generati dalle attività di costruzione, ristrutturazione e manutenzione degli edifici pubblici, nonché dalla gestione dei cantieri. Tali approcci implicano, tuttavia, concetti molto più ampi che considerano la salubrità quale valore aggiunto di una progettazione non basata soltanto su una somma di tecnologie, ma su un insieme dialogante tra materiali a basso impatto ambientale (rinnovabili, durevoli, riutilizzabili, riciclabili) e conoscenze tecnologiche avanzate.

In questo senso i CAM assumono un ruolo guida nella transizione ecologica, fissando obiettivi di riduzione di impatti ambientali, promozione di modelli di produzione e consumo “circolari”, diffusione e sostegno di occupazione “verde”, razionalizzazione dei consumi delle PA, riducendone ove possibile la spesa. I nuovi CAM edilizia, edizione 2025, confermano questo indirizzo.

Emerge nell’ambito del contesto appena descritto il valore strategico dell’interazione tra processi di digitalizzazione e Criteri Ambientali Minimi nel settore edilizio. I criteri ambientali si connettono, infatti, agli approcci metodologici e procedurali tipici del *Building Information Modeling* (BIM) che consentono di ottimizzare la gestione dei processi ideativo-realizzativi e di garantire la tracciabilità delle scelte progettuali e dei materiali.

Le piattaforme BIM permettono di gestire in modo centralizzato tutte le informazioni necessarie per dimostrare la conformità ai CAM, dalla scelta dei materiali alle certificazioni richieste, ottimizzando il processo di controllo e validazione. La normativa incoraggia l’integrazione di BIM e CAM, prevedendo criteri premianti per gli operatori economici che nelle gare d’appalto dimostrano di applicare entrambi gli approcci in modo sinergico e virtuoso.

Un secondo aspetto legato ai processi di digitalizzazione riguarda, in maniera più operativa, le soluzioni digitali nell’ambiente edificato e la valutazione della predisposizione all’intelligenza degli edifici negli interventi di miglioramento dell’efficienza energetica e delle prestazioni complessive. In questo senso, di grande rilevanza sono gli studi condotti dal Green Building Council Italia sulla digitalizzazione per il *net-zero* che si inserisce come strumento di riflessione sulle implicazioni della transizione digitale e dell’automazione degli edifici. Il documento, articolato in due sezioni, “A – Gestione energetica e automazione negli edifici” e “B – *Building Information Modeling e Digital Twin*”, tratta in maniera analitica opportunità e sfide poste dal processo di transizione energetica e digitale dell’ambiente costruito analizzando come tali cambiamenti stiano trasformando i processi di gestione energetica.

Come è possibile evincere dalla sua introduzione, il documento sottolinea come questa evoluzione del processo di digitalizzazione, supportata dall’integrazione di tecnologie avanzate come i BACS, non solo richieda un approfondimento delle competenze interdisciplinari, ma trovi anche un chiaro riflesso nelle recenti disposizioni normative, come il nuovo Codice Appalti (D.Lgs 36/2023), che promuovono l’adozione diffusa delle tecnologie digitali in tutte le fasi del ciclo di vita degli edifici, dalla progettazione alla manutenzione (GBC Italia, 2024).

5.3.2. *Gap, vincoli e barriere*

Da diversi anni le prospettive del settore delle costruzioni – in Italia e a livello internazionale – appaiono poco incoraggianti, a causa dell'incertezza economica globale e della debole crescita nazionale (CRESME, 2024).

Su questo fronte, l'ANCE evidenzia che l'andamento del PIL, del debito pubblico e degli investimenti in capitale fisso nelle quattro principali economie dell'UE (Francia, Germania, Italia e Spagna) potrebbe, nel medio termine, determinare delle inefficienze nella spesa pubblica che renderebbero difficile perseguire la transizione digitale verde e, dunque, avere effetti negativi riguardo il raggiungimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile europei (ANCE, 2024).

Nonostante la complessità dell'attuale congiuntura, il settore delle opere pubbliche potrebbe costituire un fattore di traino in questo contesto. L'ultimo rapporto del CRESME, infatti, ne registra i progressi grazie ai fondi del PNRR, che rappresentano un importante volano per lo sviluppo economico e sostenibile, candidando il settore a guidare il processo di innovazione *green and digital*. Aspettativa confermata peraltro dall'Unione Europea (UE), che ha identificato nelle filiere produttive, nella digitalizzazione e nella rigenerazione urbana i principali motori della trasformazione territoriale (CRESME, 2024).

Di contro, con specifico riferimento alla possibilità che la Pubblica Amministrazione giochi un ruolo da protagonista in questi processi, il Rapporto sullo stato di attuazione del PNRR mostra che l'Italia, riguardo ai fattori abilitanti la trasformazione digitale, si colloca al 17° posto tra i 27 Stati membri e solo al 23° per il livello effettivo di digitalizzazione, secondo i più recenti studi sull'Indice di Maturità Digitale (Ministro per gli affari europei, il PNRR e le politiche di coesione, 2025).

I dati suggeriscono due riflessioni principali.

La prima riguarda lo stato di digitalizzazione della PA e dei suoi servizi. La maggior parte dei fondi PNRR è stata investita nella digitalizzazione dei servizi pubblici erogati dalle principali amministrazioni centrali. Tuttavia, la sostenibilità dell'intero settore è uno dei problemi da risolvere con la crescita dell'offerta di servizi pubblici e la sfida del continuo adattamento a normative ed esigenze. Nel settore delle costruzioni, i decreti legislativi hanno avviato in Italia il processo di digitalizzazione in ossequio a quanto stabilito a livello europeo relativamente a tutte le fasi del processo edilizio (D.Lgs. 36/2023, all. 1.2, art. 4.4). In particolare, la trasformazione più rilevante deriva dalle indicazioni contenute nel Decreto BIM (DM 312/2021), successivamente integrato nel nuovo Codice dei Contratti Pubblici, che ha reso obbligatoria l'attivazione di processi di interoperabilità strettamente connessi alla contestuale

adozione di strumenti BIM per gli appalti pubblici, con tutte le implicazioni di carattere attuativo di cui già si è detto nei precedenti paragrafi.

La seconda riflessione è legata al divario digitale i cui effetti, evidenti in Europa, sembrano amplificati nel nostro Paese, così come evidenziato dal DESI regionale calcolato dall'Osservatorio Agenda Digitale del Politecnico di Milano. Il divario digitale si sta ampliando nei piccoli comuni, in particolare nel Sud Italia, risultando comunque meno pronunciato in quelli che sono parte di una unione di più Comuni.

Ne deriva che la transizione verso una governance pienamente basata sul digitale debba essere fortemente sostenuta sia da politiche normative che da competenze professionali nella PA. Si tratta di un aspetto sottolineato anche dal Rapporto EBINTER, che evidenzia l'impatto delle trasformazioni digitali sul mercato del lavoro. Il digitale è presente prevalentemente in termini di formazione delle risorse umane, connettività, aziende attive nel commercio elettronico e servizi comunali ai cittadini (EBINTER, 2024).

In conclusione, alla luce delle diverse questioni approfondite, emergono diverse considerazioni.

- La transizione verde è indissolubilmente legata alla digitalizzazione. Ciò è dimostrato dall'evoluzione delle conoscenze e delle strategie operative associate alla digitalizzazione e alla sostenibilità ambientale;
- L'avanzamento della ricerca nel campo della digitalizzazione verde, in particolare per quanto riguarda l'applicazione degli approcci al ciclo di vita (LCA), dimostra la sua presenza pervasiva e la sua influenza su vari aspetti del settore delle costruzioni. Tra questi: le iniziative di decarbonizzazione, l'utilizzo di strumenti basati sull'LCA e l'economia circolare;
- Nonostante l'elevato livello di aggiornamento della normativa italiana agli obblighi UE riguardo la trasformazione *green and digital* nel settore delle costruzioni, permangono ancora diverse difficoltà nella regolamentazione della doppia transizione. Ad esempio, dal 2017 sono in vigore i CAM, analogamente dal 2023 il BIM è obbligatorio in tutti gli appalti pubblici, ma ciò si scontra con la carenza generale di personale nella Pubblica Amministrazione e la mancanza di competenze tra le amministrazioni locali.

In conclusione, è necessario un cambiamento culturale, un cambio di mentalità e di approccio sia da parte della pubblica amministrazione che degli operatori economici.

La convergenza tra *Green Deal*, *Digital Decade*, EPBD IV, a cui si aggiungono a livello nazionale il Nuovo Codice Appalti, il Decreto Ministeriale 560/2017 e il Decreto CAM Edilizia 2022, delinea una nuova agenda operativa per la Pubblica Amministrazione, chiamata a svolgere un ruolo di *policy-enabler* nel promuovere processi decisionali basati su evidenze, dati e indicatori misurabili.

Riferimenti bibliografici

- Al Dakheel, J., Del Pero, C., Aste, N., & Leonforte, F (2020). Smart buildings features and key performance indicators. A review, *Sustainable Cities and Society*, vol. 61, p. 102328. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102328>
- Associazione Nazionale Costruttori Edili, ANCE. (2024). Rapporto congiunturale e previsionale sul settore delle costruzioni 2024-2026, in *Il mercato delle costruzioni 2025 Report*, Centro Congressi Fondazione Cariplo, Milano.
- Centro di Ricerche di Mercato, CRESME. (2024). *Il mercato delle costruzioni in Italia e in Europa: scenari e transizioni*, CRESME.
- Decreto Legislativo 31 marzo 2023, n. 36, Codice dei contratti pubblici in attuazione dell'art. 1 della legge 21 giugno 2022, n. 78, che conferisce poteri al Governo in materia di contratti pubblici (G.U. n. 77 del 31 marzo 2023-S.O. n. 12).
- Decreto Ministeriale 1° dicembre 2017, n. 560, Modalità e tempi per la progressiva introduzione di metodi e strumenti di modellazione elettronica per gli edifici e le infrastrutture (come modificato dal Decreto Ministeriale MIMS 2 agosto 2021, n. 312).
- Decreto Ministeriale 3 agosto 2023, Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi nel settore della Pubblica Amministrazione CAM Edilizia Decreto 23 giugno 2022.
- Decreto Ministeriale 24 novembre 2025, Adozione dei criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e affidamento di lavori per interventi edilizi. Allegato I.
- Ente Bilaterale Nazionale Terziario, EBINTER. (2024). *Transizione digitale e sostenibilità: strumenti per accrescere il valore della forza lavoro*, EBINTER.
- European Commission. (2009), *Preparing for our Future: Developing a Common Strategy for Key Enabling Technologies in the EU*; EU-COM (2009)512, European Union, Brussels.
- European Commission, EC. (2010). *Relazione sui progressi verso l'istituzione del mercato interno del gas e dell'elettricità. 2009/72/CE*, European Union, Bruxelles.
- European Commission, EC (2011), *The European platform against poverty and social exclusion. In A European Framework for Social and Territorial Cohesion*, EU Publications Office, Luxembourg. Disponibile al link: <https://doi.org/10.2767/3940>
- European Commission, EC. (2019). *Il Green Deal europeo. Comunicazione COM(2019) 640 final*, European Union, Brussels. Disponibile al link: <https://eur-lex.europa.eu/IT/legal-content/summary/european-green-deal.html>
- European Commission, EC (2020a), *Renovation Wave for Europe*, European Union, Brussels.
- European Commission, EC (2020b), *Final report on the technical support to the development of a smart readiness indicator for buildings*, Publications Office, Luxembourg.
- European Commission, EC (2020c), *Stepping up Europe's 2030 Climate Ambition Investing in a Climate-Neutral Future for the Benefit of Our People; COM/2020/562 final*, European Union, Brussels.

- European Commission, EC (2020d), Commission Implementing Regulation (Eu) 2020/2156 of 14 October 2020 Detailing the Technical Modalities for the Effective Implementation of an Optional Common Union Scheme for Rating the Smart Readiness of Buildings, *Official Journal European Union* 2020, vol. 431, pp. 25-29.
- European Commission, EC. (2020e). Regolamento delegato (UE) 2020/2155 della Commissione del 14 ottobre 2020 che integra la direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo e del Consiglio per quanto riguarda la fissazione di una metodologia per il calcolo dell'indicatore di predisposizione alla prestazione energetica intelligente degli edifici. 6930 final (GU L 431, 21.12.2020, pp. 11-18).
- European Commission, EC. (2021). *European Pillar of Social Rights Action Plan; COM (2021)102*, European Union, Brussels.
- European Parliament and Council of the European Union, EP-CEU- (2009). Direttiva 2009/73/ce del Parlamento Europeo e del Consiglio del 13 luglio 2009 relativa a norme comuni per il mercato interno del gas naturale e che abroga la direttiva 2003/55/CE.
- European Parliament and Council of the European Union [EP-CEU]. (2010). Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 19 maggio 2010, concernente la prestazione energetica nell'edilizia.
- European Parliament and Council of the European Union, EP-CEU. (2012). Direttiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.
- European Parliament and Council of the European Union, EP-CEU. (2018a). Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30th May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency.
- European Parliament and Council of the European Union , EP-CEU. (2018b). Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council of 11th December 2018 on the Governance of the Energy Union and Climate Action, amending Regulations (EC) No 663/2009 and (EC) No 715/2009 of the European Parliament and of the Council, Directives 94/22/EC, 98/70/EC, 2009/31/EC, 2009/73/EC, 2010/31/EU, 2012/27/EU and 2013/30/EU of the European Parliament and of the Council, Council Directives 2009/119/EC and (EU) 2015/652 and repealing Regulation (EU) No 525/2013 of the European Parliament and of the Council, document 32018R1999. Disponibile al link: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1999>
- European Parliament and Council of the European Union, EP-CEU (2023a), Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council of 13th September 2023 on energy efficiency and amending Regulation (EU) 2023/955 (recast), document 32023L1791. Disponibile al link: <https://data.europa.eu/eli/dir/2023/1791/oj>
- European Parliament and Council of the European Union, EP-CEU (2024), Direttiva (UE) 2024/1275 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 24 aprile 2024, sul rendimento energetico degli edifici; Bruxelles; Belgio, 2024. Disponibile al link: <http://data.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj>

- Green Building Council Italia, GBC Italia. (2024). *Smart Building: la digitalizzazione per il Net Zero*, Green Building Council Italia.
- International Energy Agency, IEA. (2021). *Net Zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector*.
- International Organization for Standardization, ISO. (2018). *ISO 19650 – Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM)*.
- Ministero per gli Affari Europei, il PNRR e le Politiche di Coesione. (2025). Sesta relazione sullo stato di attuazione del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza. Disponibile al link: <https://temi.camera.it/leg19/pnrr.html>
- Osservatorio Agenda Digitale. (2024). *DESI Regionale e maturità digitale nei territori italiani*, Politecnico di Milano.
- Ente Nazionale Italiano di Unificazione, UNI. (2023). *UNI 11337:2023 – Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni*.

6. *Smart Readiness Indicator e processi decisionali pubblici green and digital*

di Massimo Lauria¹, Maria Azzalin², Francesca Giglio², Giovanna Maria La Face¹

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile, dell'Energia, dell'Ambiente e dei Materiali, Università Mediterranea, 89122 Reggio Calabria, Italia

² Dipartimento di Architettura e Design, Università Mediterranea, 89124 Reggio Calabria, Italia

Lo *Smart Readiness Indicator* è uno strumento strategico che consente di valutare la capacità degli edifici di integrare tecnologie digitali, sistemi automatizzati e piattaforme intelligenti in modo da migliorare le prestazioni energetiche, il comfort e la qualità ambientale interna. Introdotto in maniera definitiva dalla EPBD IV (Direttiva UE 2024/1275), promuove una gestione efficiente delle risorse e si integra con strumenti come i BACS (ISO 52120-1) rafforzando il legame tra digitalizzazione e sostenibilità.

Le esperienze di progetti europei (*Horizon Europe*, LIFE CET) e del Green Building Council Italia evidenziano il potenziale dello SRI sia come strumento tecnico che politico, in grado di indirizzare la governance pubblica sostenendone la transizione verso un ambiente costruito *smart*, resiliente e climaticamente neutro.

Nel contesto italiano, lo SRI si inserisce coerentemente all'interno degli indirizzi normativi definiti dal Nuovo Codice degli Appalti, dal Decreto BIM e dai Criteri Ambientali Minimi (CAM). L'avvio della sperimentazione nazionale promossa dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE), con il supporto tecnico di ENEA, mira ad affinarne gli aspetti operativi e le sinergie con gli strumenti di certificazione energetica, in una prospettiva di interoperabilità e misurabilità delle prestazioni, orientando i processi pubblici verso modelli di progettazione, gestione e manutenzione digitalmente avanzati, sostenibili e circolari.

6.1. *Smart Readiness Indicator*

6.1.1. *Quadro normativo tecnico: principi e metodologia di calcolo*

L'indicatore di predisposizione all'intelligenza, *Smart Readiness Indicator* (SRI), ha la funzione di "misurare la capacità degli edifici di usare le

tecnologie dell'informazione e della comunicazione e i sistemi elettronici per adeguarne il funzionamento alle esigenze degli occupanti" (EP-CEU, 2018). Considera la qualità degli ambienti interni, la connessione alla rete e il miglioramento dell'efficienza energetica e delle prestazioni complessive in relazione ai servizi *smart* presenti nell'edificio (EP-CEU, 2018; EP-CEU, 2024). Lo SRI può essere definito attraverso un quadro normativo e uno tecnico. Il quadro normativo definisce la struttura e i principi del metodo di calcolo delineato dalla Commissione Europea. I principali riferimenti di regolamentazione che lo definiscono sono:

- *Implementing regulation on optional scheme for rating smart readiness of buildings C(2020) 6929 | Annex;*
- *Delegated regulation on optional scheme for rating smart readiness of buildings C(2020) 6930 | Annex;*
- *Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24th April 2024 on the energy performance of buildings (recast).*

Gli aspetti operativi e tecnici dell'indicatore sono demandati alle autorità nazionali che devono costruire il quadro dei parametri di riferimento (contesto climatico, elenco dei servizi *smart* da valutare e punteggi da attribuire) attraverso i test di applicazione sperimentale ufficiali dell'UE e le attività pilota condotte mediante lo sviluppo di progetti LIFE.

La funzione dello SRI comprende la sensibilizzazione di proprietari e occupanti sul valore dell'automazione e mira a quantificare e dimostrare il risparmio reale che il miglioramento dei sistemi tecnici può comportare per gli utenti (EP-CEU, 2018). Opera attraverso le modifiche delle condizioni ecosistemiche degli edifici e la conseguente valutazione di tre funzionalità chiave:

- Ottimizzare le prestazioni in uso, inclusa l'efficienza energetica;
- Adattare le operazioni alle esigenze degli occupanti;
- Adattarsi ai segnali provenienti dalla rete (flessibilità energetica).

L'implementazione dello SRI nel settore delle costruzioni incentiva l'utilizzo pervasivo di tecnologie intelligenti, dimostrando i vantaggi dell'integrazione, dell'automazione e del monitoraggio elettronico applicati al riscaldamento e raffrescamento, alla gestione della risorsa idrica, alla ventilazione, all'illuminazione, ecc. (EC, 2025b).

La *smartness*, o predisposizione all'intelligenza di un edificio, è valutata in un range percentuale da 0 a 100 che rappresenta il rapporto tra l'intelligenza effettiva e la massima predisposizione raggiungibile (EP-CEU, 2024, allegato I, punto 3). Il calcolo si basa sull'esame del livello di funzionalità dei cosiddetti servizi *smart-ready* presenti e/o previsti nell'edificio definiti in modo neutrale rispetto alla tecnologia utilizzata (Figura 6.1). Le tre funzionalità chiave sono valutate in relazione a 7 categorie (criteri di impatto) da A a G (EP-CEU, 2024, allegato VIII) e a 4 categorie come previsto dalla

ISO 52120-1, similmente alla classificazione energetica degli edifici come si evince dalla Tabella 6.1 sotto riportata.

Tabella 6.1 – Funzionalità chiave e criteri di impatto.

Funzionalità chiave	Criteri di impatto
Efficienza energetica	Risparmio energetico
	Manutenzione e gestione
Risposta ai bisogni degli occupanti	Comfort
	Convenienza
	Salute, benessere e accessibilità
	Informazioni agli occupanti
Flessibilità energetica	Flessibilità e accumulo energetico



Figura 6.1 – Tre funzionalità chiave dello SRI in relazione ai target di utenti.

Fonte: Viano, 2019.

Lo SRI è complementare ai Certificati di Prestazione Energetica contenuti nella EPBD IV. È inoltre costruito per integrare gli strumenti che valutano le performance energetiche e quelle della sostenibilità. Ove possibile, l'indicatore dovrebbe fornire informazioni aggiuntive sull'inclusività e la connettività dell'edificio, nonché sull'interoperabilità e la cybersicurezza dei sistemi (EC, 2020, art. 3, comma 4). Il quadro tecnico fornisce i fattori di ponderazione dei servizi *smart-ready* (compresi i servizi obbligatori e facoltativi) e due cataloghi dei livelli di funzionalità. I cataloghi variano sulla base del metodo utilizzato, che può essere dettagliato (catalogo A) o semplificato (catalogo B); mentre i fattori di ponderazione vengono calcolati in relazione alle categorie di impatto proposte dall'indicatore e si compongono di una quota di pesi "fissi" e una variabile dipendente dalla zona climatica di appartenenza. La loro somma per ambito deve essere pari al 100% (Figura 6.2).

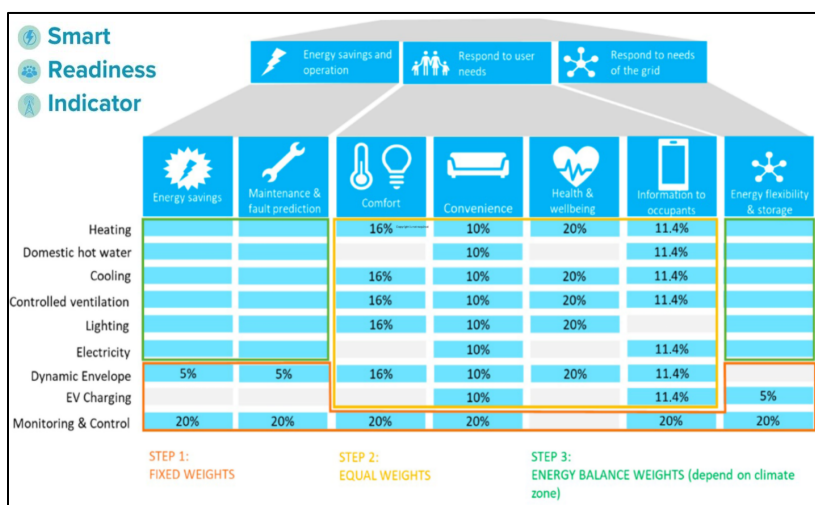


Figura 6.2 – Composizione dei fattori e attribuzione dei pesi in percentuale per ottenere la valutazione finale.

Fonte: Elaborazione degli autori.

Il metodo di calcolo dell'indicatore è stato formalizzato dall'UE in un foglio Excel, con un approccio di funzionamento tipico quale quello della *check-list*. Ulteriori aspetti integrabili nel metodo di calcolo sono l'interoperabilità dei sistemi e l'influenza positiva delle reti di comunicazione esistenti (ad es. predisposizione per la banda larga). I punteggi di impatto attribuiti sono valutati sia singolarmente che in maniera aggregata per ottenere il punteggio di *smartness* dell'intero edificio, espresso in termini di percentuale. Al termine della procedura di calcolo viene redatto un certificato relativo all'indicatore di predisposizione all'intelligenza, che riporta le informazioni utili all'utente finale in conformità con le disposizioni della Direttiva UE 2024/1275 (Figura 6.3).

È compito degli Stati membri stabilire le prescrizioni per la qualifica o l'accreditamento degli esperti in materia di indicatori, inclusi criteri di competenza anche nel settore delle Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione, TIC (EP-CEU, 2024, art. 8). Gli Stati si doteranno anche di un sistema di controllo indipendente per i certificati emessi. Come anticipato, la costruzione del quadro tecnico dello *Smart Readiness Indicator* viene lasciata alle competenze delle autorità nazionali che scelgono di applicarlo. Tuttavia, dopo una fase adeguata di consultazioni e il termine delle fasi di sperimentazione volontaria, l'Europa fornirà alle parti interessate un quadro tecnico generale di riferimento, funzionale all'adozione obbligatoria dell'indicatore a partire dal 2027 ad alcune tipologie edilizie.

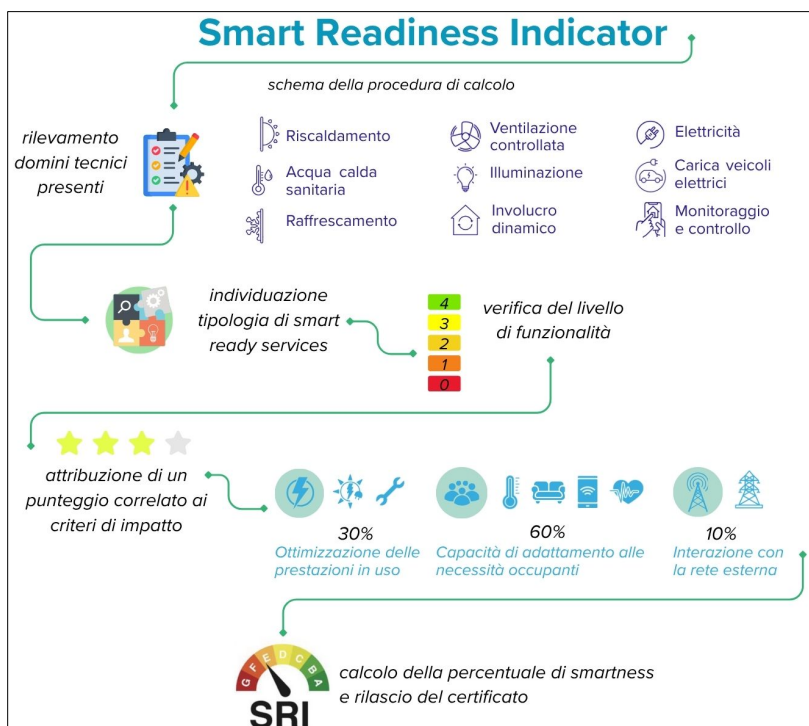


Figura 6.3 – Esempio di procedura di calcolo dello SRI.

Fonte: Elaborazione degli autori.

A supporto della costruzione del quadro tecnico europeo e, più in generale, della funzionalità e delle possibilità integrative dello SRI, l'UE ha finanziato diversi progetti di ricerca, tra i quali i progetti LIFE, che sono finanziamenti dedicati all'ambiente e all'azione per il clima, con l'obiettivo di supportare iniziative per la transizione ecologica e il raggiungimento del *Green Deal* europeo.

6.1.2. SRI: indicatore robusto green and digital

L'Unione Europea, attraverso strumenti come la EPBD e la *Green Taxonomy* (EC, 2020) e i relativi standard tecnici, sta costruendo un sistema normativo avanzato orientato alla qualità edilizia, alla riduzione dell'impatto ambientale e alla promozione della resilienza digitale. Ne emerge una visione strategica rinnovata che diversi enti pubblici europei stanno recependo, traducendone gli indirizzi in piani d'azione sempre più vincolanti nei quali

l'integrazione tra transizione ecologica e digitale è accompagnata da obiettivi di efficienza energetica. In questo contesto il concetto di *smartness*, attraverso lo SRI che ne rappresenta l'aspetto operativo, sta assumendo un ruolo centrale sia come fattore di valutazione dell'efficienza tecnica, che come abilitatore di innovazione nel settore edilizio.

Come già visto nei paragrafi precedenti, lo SRI nasce per valutare la prontezza *smart* degli edifici e supportarne l'evoluzione verso sistemi edilizi sempre più intelligenti e interconnessi, rispondendo contemporaneamente a esigenze di efficienza energetica, comfort, flessibilità d'uso e interoperabilità digitale (EC, 2020). Il suo impiego consente inoltre di promuovere l'adozione integrata di ulteriori strumenti quali l'*Energy Performance Certificate* (EPC aggiornato con parametri digitali), il *Digital Building Logbook* e la *Renovation Roadmap*; strumenti dinamici di gestione informativa che favoriscono una gestione più efficiente e trasparente dei dati, abilitata dalle tecnologie digitali (Capozzoli *et al.*, 2024).

Da queste premesse deriva l'ipotesi di lavoro di valutare e validare lo SRI come "indicatore robusto di propensione *green and digital*" nelle politiche attuative pubbliche. A differenza di altri strumenti certificativi, esso si configura come un indicatore composito, capace di valorizzare tecnologie attive, sistemi di gestione automatizzata e soluzioni per la connettività.

Tuttavia, nonostante tali strumenti siano formalmente definiti a livello europeo, in molti Stati membri la loro implementazione è ancora su base volontaria e sperimentale.

In Italia tale processo è sostenuto dal rinnovato quadro normativo del Nuovo Codice degli Appalti (D.Lgs. 36/2023), che orienta oggi la trasformazione e l'innovazione del settore edilizio.

Recenti studi (Delavar, Borgentorp & Junnila, 2025) hanno confermato la potenzialità dello SRI come leva per innovare le politiche pubbliche in materia di interventi sul patrimonio edilizio esistente. Ulteriori analisi condotte in contesti nordeuropei hanno dimostrato che, a prescindere dalla futura obbligatorietà dell'indicatore, è fondamentale comprendere se le pratiche del mercato delle costruzioni siano in linea e coerenti con l'applicazione diffusa dello SRI (Borgentorp, Junnila & Autio, 2024).

Parallelamente, lo SRI si sta affermando anche come strumento tecnico di diagnosi e di supporto decisionale per edifici a basse emissioni di carbonio, in quanto in grado di valutare la prontezza tecnologica e il livello di funzionalità di vari servizi *smart*, contribuendo a soddisfare le esigenze degli utenti, a garantire flessibilità energetica e il raggiungimento degli obiettivi di risparmio energetico (Chatzikonstantinidis *et al.*, 2024).

Nell'ambito delle azioni di programmazione e gestione degli appalti pubblici, tale prospettiva sistemica mira a orientare sia politiche che strategie di

innovazione, sostenibilità e qualità ambientale per il settore delle costruzioni (Del Curto, Garzulino & Turrina, 2024).

Persistono, tuttavia, ostacoli significativi a tale applicazione, tra cui la difficoltà di accesso ai dati, la mancanza di *benchmark*, di indicatori standardizzati e di strumenti operativi comuni, a cui si aggiunge la frammentazione delle metodologie di valutazione sia dell'efficienza energetica che della *smartness*, per la quale sono stati proposti anche metodi di calcolo alternativi per semplificarne il processo di valutazione (Brezocnik, Zuperl & Kovacic, 2025).

6.2. Integrazione dello SRI nelle policy nazionali

6.2.1. Strumenti normativi

Lo *Smart Readiness Indicator* trova una propria naturale potenziale collocazione nel quadro legislativo italiano in coerenza, e a valle, del processo di digitalizzazione avviato negli ultimi anni su impulso, tra gli altri, del Nuovo Codice Appalti. La visione dell'Europa in questo ambito, recepita a livello nazionale, sottolinea il ruolo centrale dei dati e la necessità di digitalizzare i processi. In tal senso, i vigenti disposti normativi (Codice degli Appalti, Decreto BIM, Criteri Ambientali Minimi) che ne recepiscono le istanze, sostengono in maniera convergente l'adozione di nuovi strumenti e tecnologie verso obiettivi di gestione digitale delle costruzioni, efficientamento energetico, riduzione dell'impatto ambientale, promozione di modelli di produzione e consumo circolari, nonché razionalizzazione dei consumi della Pubblica Amministrazione.

Al netto della forte spinta verso l'utilizzo sempre più pervasivo e progressivamente obbligatorio delle metodologie di *Building Information Modeling* sostenute dal Codice degli Appalti e dal Decreto BIM, particolarmente importante è anche l'attenzione posta all'applicazione dei Criteri Ambientali Minimi nell'ambito dei processi di progettazione, realizzazione e gestione degli edifici. Oltre alle procedure di selezione dei candidati, nella loro struttura i CAM prevedono criteri premianti, ossia requisiti che consentono di selezionare prodotti o servizi con prestazioni ambientali superiori rispetto agli standard minimi, attribuendo un punteggio aggiuntivo. Nella sezione 4.3, "Criteri premianti per l'affidamento congiunto di progettazione e lavori per interventi edilizi", uno dei criteri premiali riguarda il proprio il "miglioramento della prestazione energetica", riconoscendo un punteggio maggiore ai progetti che prevedono prestazioni superiori rispetto a quelle indicate nel bando. Questa impostazione riflette gli obiettivi della Commissione Europea

di ampliare il concetto di prestazione energetica degli edifici, andando oltre i target attuali di decarbonizzazione e zero emissioni.

Nella sezione 2, “Criteri per l’affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi”, il criterio 2.6.9, Sistema di automazione, controllo e monitoraggio dell’edificio, attribuisce una premialità ai progetti che, attraverso l’uso di sistemi tecnologici per climatizzazione e illuminazione, prevedano un sistema di automazione, controllo e gestione tecnica degli impianti corrispondente alla classe di efficienza A, come definita dalla Tabella 1 della norma UNI EN 15232-1. Tale sistema deve garantire un monitoraggio adeguato degli indicatori di prestazione energetica e assicurarne l’ottimizzazione del loro funzionamento attraverso la gestione automatizzata degli impianti. I sistemi BACS (*Building Automation and Control System*) previsti a tale scopo sono integrati dalla norma ISO 52120-1:2022 *Energy performance of building-Contribution of building automation, controls and building management*, dai TBM (*Technical Building Management*) e dallo *Smart Readiness Indicator* (Figura 6.4). Il criterio 2.6.10, Protocollo di misura e verifica dei risparmi energetici, attribuisce un punteggio premiante ai progetti che prevedono l’adozione di protocollo per misura e verifica dei risparmi energetici degli edifici.

In particolare, il criterio 2.3.6, Areazione, ventilazione e qualità dell’aria, recita che “nella valutazione dello *Smart Readiness Indicator*, qualora siano presenti aperture progettate, motorizzate e automatizzate a tale scopo (*free-cooling*), esse devono essere considerate come *dynamic envelope components*, in conformità a quanto previsto dalla Direttiva EPBD e dal Regolamento di esecuzione (UE) 2020/2155 della Commissione del 14 ottobre 2020, che definisce le modalità tecniche per l’attuazione efficace di un sistema comune facoltativo, a livello dell’Unione, per valutare la predisposizione degli edifici all’intelligenza”. È chiaro, dunque, che, pur non ancora formalmente obbligatoria, la valutazione della *smartness* inizia ad essere progressivamente richiamata aprendo alla futura normalizzazione e inclusione della procedura a livello nazionale.

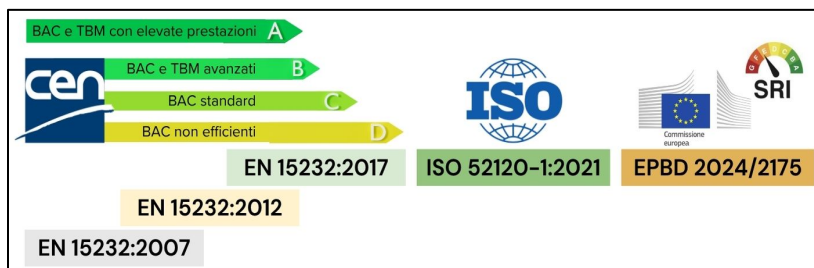


Figura 6.4 – Evoluzione standard BACS/HBES e Smart Readiness Indicator (SRI) fino al 2025. Fonte: Elaborazione degli autori.

Il quadro normativo nazionale sta creando in parallelo le condizioni per l'adozione dello SRI, anche se la sua applicazione non è ancora formalmente obbligatoria. È recente, tuttavia, l'adesione formale nel marzo del 2025 alla sperimentazione ufficiale europea e il connesso avvio delle relative attività di test da parte del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE), come descritte nel paragrafo successivo (Figura 6.5).

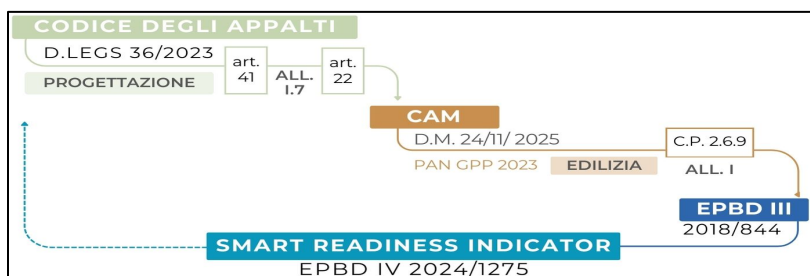


Figura 6.5 – Integrazione dello SRI nel quadro di riferimento normativo italiano.
Fonte: Elaborazione degli autori.

La potenziale integrazione dello SRI nell'ambito delle policy ambientali pubbliche assume in sé diversi obiettivi:

- Implementare politiche per la sostenibilità con criteri basati su LCA, categorie di impatto ambientale e fasi del ciclo di vita;
- Proporre Criteri Ambientali Minimi e *benchmark*/target di riferimento (da implementare nei CAM-GPP, nei protocolli, ecc.);
- Mappare barriere e ostacoli (culturali, economici, normativi, ecc.), e individuare potenzialità, testando la fattibilità delle proposte;
- Formare i tecnici delle PA, per l'inserimento graduale nelle politiche ambientali degli indicatori LCA;
- Definire procedure di verifica che siano attuabili per i tecnici delle PA.

Nello specifico dello studio che qui si presenta, la concreta applicazione dello SRI si è articolata in tre azioni principali.

La prima è consistita in un'analisi normativa multiscalare, ossia uno studio critico della legislazione europea e nazionale finalizzata a mappare obiettivi, strumenti e vincoli sul tema *green and digital*.

La seconda riguarda un'indagine empirica nel contesto di riferimento, sviluppata attraverso interviste a stakeholder pubblici appartenenti a diversi livelli istituzionali (Regione Calabria e Città Metropolitana di Reggio Calabria) che hanno permesso di verificare le criticità ricorrenti e la capacità (potenzialità e limiti) della PA nell'adottare e integrare strumenti digitali e ambientali nelle proprie pratiche.

Nella terza sono state elaborate, insieme alle altre tre U.O. coinvolte nel progetto di Ricerca PRIN *Better Policy*, delle linee guida. Un *framework* metodologico, replicabile – in cui sono stati trasferiti anche i principi e metodi di calcolo dello SRI – capace di supportare le PA nella promozione di politiche ambientali coerenti con gli indirizzi europei e applicabili lungo l’intero ciclo di vita delle opere pubbliche.

6.2.2. Sperimentazioni e test

I progetti LIFE, legati alle call *Energy performance and Smart Readiness of buildings – Making the instruments work* e *Creating the conditions for a global improvement of smart readiness of European buildings*, fanno parte dei programmi 2022 LIFE CET SMART-READY Projects e 2021 LIFE CET BUILD-PERFORM Projects. Tali progetti hanno perseguito diversi risultati, come la diffusione della conoscenza e del funzionamento dello SRI, lo sviluppo di strumenti operativi per la sua applicazione, la raccolta dei dati e la loro messa a disposizione grazie alla partecipazione volontaria di numerosi Stati europei (EC, 2025a). È stato inoltre messo in evidenza il collegamento fra lo SRI e l’EPC, diffondendo i vantaggi e i risultati positivi che esso comporta (Figura 6.6).

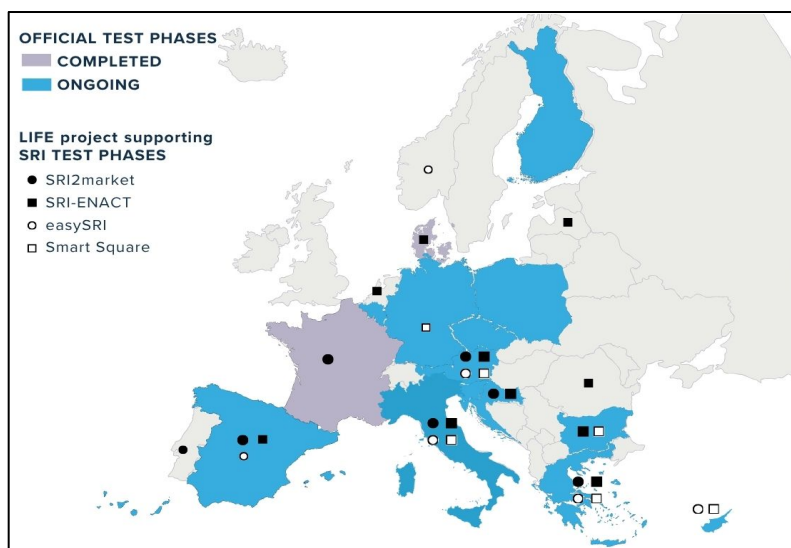


Figura 6.6 – Progetti LIFE legati alla fase ufficiale di test dello SRI in corso e Stati coinvolti.
Fonte: Elaborazione degli autori.

Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA) che aveva già preso parte al secondo test ufficiale dello SRI, *Public beta testing* del 2019, applicando la versione beta della metodologia di calcolo (A e B) a diverse tipologie di edifici nazionali, differenti per destinazione d'uso, e livello di automazione dei sistemi impiantistici (Di Pietra & Morini, 2020).

In quella circostanza, gli edifici test (uffici, scuole, ospedali, edifici unifamiliari) sono stati individuati in collaborazione con aziende leader nel settore della *building automation*. L'individuazione dei servizi intelligenti presenti è avvenuta tramite acquisizione della documentazione di progetto e sopralluoghi con i gestori degli impianti, per valutare l'effettivo grado di automazione e le logiche applicate dal sistema di controllo e supervisione (Di Pietra & Morini, 2020).

I risultati, presentati da ENEA, mostrano dei valori compresi tra 48-54% (metodo B) per gli uffici, l'edificio scolastico e il complesso ospedaliero; l'edificio unifamiliare è stato oggetto di sperimentazione di soluzioni per la *building automation* ad alto livello di intelligenza e lo SRI è stato calcolato con un valore pari al 67%.

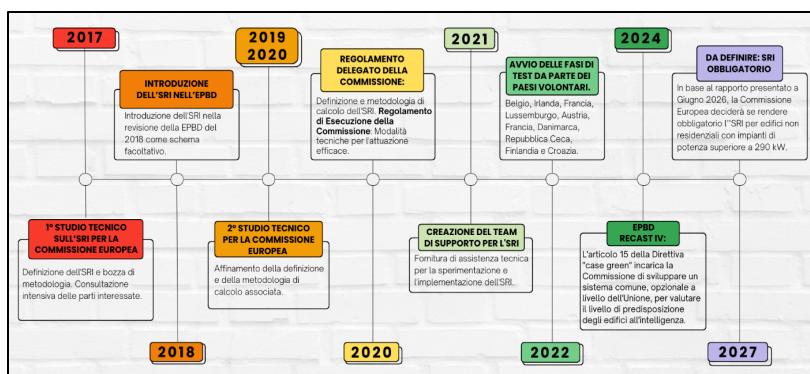


Figura 6.8 – Roadmap di implementazione dello SRI.

Fonte: <https://www.r2msolution.com/it/novita-per-lsri-nella-nuova-epbd/>.

L'attuale fase di sperimentazione in corso ha l'obiettivo specifico di verificare l'applicabilità, nel contesto edilizio nazionale, del quadro tecnico SRI europeo e valutarne i potenziali necessari adattamenti, ovvero declinare i criteri di personalizzazione del catalogo dei servizi *smart-ready* e la regolazione dei valori di ponderazione. La stessa sperimentazione sarà utilizzata, inoltre, per esplorare la possibile integrazione dello SRI con l'Attestazione di Prestazione Energetica (APE). La fase di test durerà 12 mesi e verranno condotte almeno 30 valutazioni SRI su edifici con diverse destinazioni d'uso

in differenti zone climatiche, inclusi casi esemplari con livelli di intelligenza avanzati. Tale attività sarà accompagnata, in parallelo, dalla prosecuzione dello sviluppo di alcuni progetti LIFE basati sulla sperimentazione dello SRI (*Smart Square, easySRI, SmarterEPC, tunES*).

I principali temi indagati nelle sperimentazioni saranno:

- Adeguamento del catalogo di servizi sulla base delle tecnologie esistenti caratterizzanti il patrimonio edilizio nazionale;
- Proposta di modifica dei fattori di ponderazione;
- Applicazione del foglio di calcolo europeo a diverse tipologie di edifici assunti come caso studio;
- Promozione dello SRI attraverso workshop, webinar, gruppi di lavoro;
- Progettazione di un certificato SRI esemplificativo.

Entrando nel merito di quanto già realizzato, l'ENEA ha svolto un importante lavoro di analisi sulla consistenza del patrimonio edilizio italiano che, come noto, si presenta ampio e variegato; per il quale non sempre è agevole pianificare interventi di miglioramento prestazionale a causa della presenza di vincoli legati alla storicità o al contesto paesaggistico, sia negli edifici pubblici che privati.

In questo scenario, la crescente disponibilità di grandi volumi di dati di monitoraggio energetico e ambientale, la diffusione di sistemi di automazione e l'adozione di moderni approcci di analisi dei dati legati all'intelligenza artificiale si traducono in un'opportunità senza precedenti per l'implementazione di strategie di gestione energetica ottimizzata, attraverso le quali è possibile raggiungere i massimi livelli di funzionalità e automazione per i diversi servizi di un edificio, anche in presenza di vincoli.

Questi presupposti sono condivisi dall'ultimo contributo del Green Building Council (GBC) Italia, *Smart Building: digitalizzazione per Net Zero* (2024). Lo studio include alcuni esempi di valutazione dello SRI in relazione alla classe di efficienza energetica di un edificio costruito e in diversi interventi teorici di restauro. Essi forniscono al lettore un aiuto per comprendere come il valore dello SRI vari in base al tipo di intervento adottato rispetto a quattro tipologie di edifici (scuola, edificio terziario, uffici, ospedale).

Contestualmente, lo studio del GBC evidenzia la necessità di sviluppare e integrare efficacemente competenze, modelli e processi digitali all'interno di un'organizzazione, in modo da garantire l'uso corretto ed efficace degli strumenti e dei dati digitali per superare alcune delle barriere esistenti. L'obiettivo è sfruttare appieno strumenti e dati digitali per migliorare l'efficienza operativa, l'interoperabilità tra gli stakeholder, la gestione dei processi e la sostenibilità. La metodologia si basa sulla strutturazione di tre tabelle che, in forma collegata e sequenziale, riuniscono diversi aspetti relativi ai temi affrontati nel documento GBC. I dati e il contenuto informativo sono

gli elementi chiave del processo di valutazione: sia singoli che strutturati, possono riguardare misure semplici (ad es. consumi), report, procedure, schede tecniche, certificati di prestazione (Capozzoli *et al.*, 2024). Nell’ambito di questo tipo di operatività, ogni stakeholder ha potuto identificare e compilare i dati in base alle proprie esigenze specifiche in termini di efficienza, operabilità, economicità, tecnologie di supporto, modelli digitali. La valutazione è stata inizialmente condotta utilizzando i criteri di impatto SRI come punto di partenza.

Analogamente, nel presente studio, lo SRI e i relativi *tools* sono stati testati, applicandoli a un edificio storico di proprietà pubblica nella città di Reggio Calabria oggetto di un piano di pre-progettazione per la ristrutturazione (Lauria *et al.*, 2025). L’applicazione sperimentale ha assunto la sfida di collegare il calcolo SRI con il modello BIM, nella prospettiva di un Gemello Digitale. Questo approccio ha permesso di compiere il primo passo verso lo sviluppo dell’interoperabilità concettuale, evidenziando il potenziale per un’integrazione più strutturata tra i due strumenti – SRI e BIM – attraverso interfacce dedicate, esplicitando concretamente su un caso applicativo il percorso di digitalizzazione introdotto dal Codice degli Appalti Pubblici (Decreto del 31/03/2023 n. 36).

Un ulteriore elemento di *upgrade* è l’introduzione del BIM che, da strumento obbligatorio in tutte le fasi del ciclo di vita degli edifici, dalla progettazione al funzionamento e alla manutenzione, diviene anche strumento connesso agli aspetti di miglioramento delle prestazioni energetiche fornite da GPP e CAM.

L’indicatore è stato così doppiamente verificato, sia rispetto la sua efficacia che alla sua rispondenza con il Codice degli Appalti Pubblici.

6.3. Metriche, *benchmark*, linee guida

6.3.1. Metriche e *benchmark*. Aspetti metodologici

L’ambito di applicazione della sezione delle linee guida sviluppate dalla U.O. di Reggio Calabria è l’ecosistema definito dalla nuova direttiva EPBD in tema di efficienza energetica e *smartness*. Con particolare attenzione alla redazione degli atti di programmazione previsti dal nuovo Codice degli Appalti: dal Quadro esigenziale al Documento di indirizzo alla progettazione, in un’ottica *Life Cycle Thinking*. La loro strutturazione tiene conto di alcune specifiche criticità: mancanza di criteri premiali e incentivi nei bandi di gara pubblici; assenza di un linguaggio comune tra indicatori tecnici e documentazione amministrativa; carenza di competenze tecniche per l’uso degli

strumenti digitali. Il risultato finale è parte di un *framework* la cui architettura propone *benchmark*, indicatori, strumenti di monitoraggio e raccomandazioni per l'attuazione delle politiche pubbliche.

Con riguardo alla sezione costruita in occasione del presente studio le metriche e i *benchmark* derivano da:

- Applicazione dello SRI sulla base delle indicazioni fissate dalla EPBD, attraverso il calcolo basato su checklist di *smart services* (da 27 a 54, a seconda della complessità dell'edificio), valutati rispetto ai tre livelli di funzionalità e relativi impatti;
- Contestualizzazione di strumenti europei per le PA quali SRI, *Energy Performance Certificate*, *Digital Building Logbook*, *Digital Twin*;
- Mappatura delle possibilità di integrazione dello SRI e degli altri strumenti digitali nei documenti di programmazione e gestione;
- Definizione di criteri operativi e protocolli di verifica digitale a supporto del RUP e dei progettisti.

In questo contesto, l'integrazione dello SRI è assunta all'interno di un più ampio processo di valutazione olistica delle prestazioni edilizie, in sinergia con altri parametri già introdotti a livello europeo – *Renewable Energy Ratio* (EP-CEU, 2023), *Primary Energy Non-Renewable* e *Primary Energy Factors* (Amann *et al.*, 2023). Ciò consente un allineamento tra obiettivi europei, strumenti operativi e processi decisionali, trasformando lo SRI da elemento tecnico a dispositivo strategico di policy ambientale e digitale.

6.3.2. Linee guida per l'integrazione dello SRI nei processi decisionali pubblici

La proposta di linee guida si articola in due macro-ambiti costituiti da azioni di indirizzo a livello statale e istituzionale progettate per differenti scale territoriali e da strategie operative applicabili dalle stazioni appaltanti e dagli attori della filiera tecnica, che intervengono in ogni fase del ciclo di vita (dalla pianificazione/policy alla gestione/fine vita).

Le azioni di indirizzo individuate rispetto all'obiettivo della digitalizzazione mirano a creare un quadro regolamentare e organizzativo che consenta di rafforzare la tracciabilità dei processi, incrementare la trasparenza delle procedure di gara e favorire l'applicazione sistematica di criteri ambientali e di riduzione delle emissioni.

Ne costituiscono presupposto teorico e principi di riferimento:

- L'aggiornamento dell'ecosistema nazionale di *e-procurement*, attraverso l'adeguamento del Fascicolo Virtuale dell'Operatore Economico

con requisiti relativi alla digitalizzazione, alla sostenibilità (LCA/LCC), alla circolarità dei materiali e alla decarbonizzazione; ciò consentirà di rafforzare la trasparenza e la tracciabilità dei processi di gara attraverso l'integrazione di certificazioni digitali verificabili e l'adozione di standard di interoperabilità per la condivisione dei dati tra piattaforme di *procurement*;

- L'obbligatorietà dei CAM, passando da CAM "premianti" a "obbligatori" per la progettazione edilizia, con particolare riferimento all'ottimizzazione delle soluzioni progettuali (LCA e LCC), al miglioramento delle prestazioni energetiche e all'adozione di sistemi di automazione e monitoraggio. In tal senso i CAM dovranno integrare esplicitamente requisiti minimi SRI differenziati per tipologia edilizia ($\geq 60\%$ per nuove costruzioni PA, $\geq 40\%$ per ristrutturazioni profonde) e conformità agli standard BACS secondo EN ISO 52120;
- Le competenze digitali nella PA, attraverso la formazione e l'introduzione di nuove figure professionali (BIM Manager, Digital Building Manager, Data Analyst for Buildings, Esperti BACS/BEMS, Esperti SRI), così da ridurre la dipendenza da consulenze esterne e garantire continuità gestionale nel lungo periodo;
- Il Capitolato Informativo BIM, le stazioni appaltanti devono includere all'interno dei Capitolati BIM requisiti specifici relativi ai quattro temi centrali (digitalizzazione, economia circolare, decarbonizzazione, LCA), favorendo la gestione intelligente dei dati e dei consumi. Il Capitolato deve indirizzare chiaramente verso l'adozione di formati *open* per garantire interoperabilità *machine-readable* dei dati; prevedendo altresì clausole contrattuali conformi a GDPR.

Le strategie operative consentono di trasferire tali principi nella pratica lungo l'intero iter processuale, introducendo strumenti digitali per la progettazione (BIM), per il monitoraggio, la certificazione delle prestazioni energetiche (IoT, BACS, SRI), la *smartness* e per la gestione del ciclo di vita edilizio (piani di manutenzione, monitoraggio dati), garantendo coerenza tra progettazione, esecuzione e gestione. In particolare, le linee guida relative a digitalizzazione e *smartness* pongono:

- Adozione del criterio della *smartness* tramite la definizione, da parte delle PA, di *Key Performance Indicator* (KPI) per ogni ambito tematico, da integrare nei documenti di programmazione e nei modelli informativi digitali, con obiettivi specifici di natura:
 - a) Ambientale: riduzione dell'impatto energetico, incremento FER, riduzione emissioni CO₂, circolarità materiali;
 - b) Sociale: miglioramento del comfort e della qualità architettonica attraverso monitoraggio parametri ambientali (temperatura operativa,

umidità relativa, CO₂, illuminamento naturale), con eventuale sistema di feedback utenti strutturato tramite app geolocalizzata per segnalazione discomfort;

- c) Di governance: gestione avanzata dei sistemi tramite BACS (EN ISO 52120); BEMS, API *documentate*, *cybersecurity by design* (EN 17369);
- Inserimento di Standard tecnici, SRI e CAM in fase di programmazione, integrazione dei relativi requisiti tecnici fin dalla redazione del Documento di Indirizzo alla Progettazione (DIP) e del Piano di Fattibilità Tecnico-Economica (PFTE);
 - Integrazione tra SRI e *Digital Building Logbook* (obbligatorio EPBD 2024), di cui potrebbe alimentare in tempo reale alcune sezioni specifiche: prestazioni energetiche con dati *real-time* da sensori IoT, confronto con *benchmark* dinamici; storico manutentivo; passaporto materiali; adozioni di approcci *Digital Twin* e il modello BIM *as-built* sincronizzato con lo stato reale edificio;
 - Adozione della *smartness* nella fase di progettazione, qui il RUP assume un ruolo centrale nel garantire coerenza tra requisiti dichiarati nel DIP e i contenuti delle soluzioni progettuali elaborate lungo l'intero iter progettuale (definitivo, esecutivo). Di interesse, nel merito, è la possibilità che i modelli BIM contengano le informazioni necessarie per calcolo dello SRI;
 - Adozione di componenti tecnologiche *smart*, rendendo obbligatorio per progettisti e direttori dei lavori di dettagliare e integrare le tecnologie digitali, assicurando la compatibilità con gli standard tecnici e i criteri di impatto SRI. In particolare: conformità standard BACS certificati EN ISO 52120, dispositivi IoT con marcatura CE;
 - Calcolo e attestazione dello SRI, l'azione presuppone la figura di un certificatore esterno chiamato a calcolare, verificare e rilasciare l'attestazione del livello di *smartness* dell'edificio, garantendo trasparenza e validità ai processi di valutazione. L'attestazione SRI diventa parte integrante della documentazione tecnica dell'edificio e per gli edifici pubblici deve essere resa accessibile ai cittadini, attraverso *dashboard*;
 - Coerenza del Piano di Manutenzione con gli indicatori *smartness* a garanzia che le prestazioni previste in fase progettuale si mantengano nel tempo;
 - Gestione partecipata dei dati e monitoraggio post-occupazione, da parte di *facility manager* e utenti finali che partecipano alla condivisione dei dati, in conformità al GDPR, per favorire una gestione consapevole e inclusiva.
- L'integrazione dello SRI tra i criteri guida nella redazione degli atti di programmazione previsti dal nuovo Codice degli Appalti costituisce uno degli aspetti originali della struttura delle linee guida proposte, individuando proprie specificità operative.

- Nella fase di programmazione lo SRI si configura come elemento per definire scenari e alternative progettuali, con analisi costi-benefici differenziate per livelli SRI *target* (ad es. scenario base SRI 40%, scenario avanzato SRI 70%, su ciclo vita ad esempio di 30 anni);
- Nella fase di verifica e validazione lo SRI diviene parametro di misurazione oggettiva della prontezza digitale e dell'efficienza tecnica, utilizzabile anche come criterio qualitativo pesato nell'aggiudicazione offerte;
- Nella fase di gestione è assunto come supporto per il monitoraggio continuo delle *performance*, con *dashboard real-time* che evidenziano scostamenti da target e attivano protocolli correttivi automatici.

Tale integrazione e capacità di interazione nelle diverse fasi, se correttamente strutturata, potrebbe effettivamente consentire, nel medio-lungo termine, un allineamento tra obiettivi europei, strumenti operativi e processi decisionali.

Sulla base di quanto sviluppato si configurano tre diversi livelli di impatto della ricerca, tra loro interconnessi: normativo, gestionale e sistemico.

L'allineamento con l'EPBD 2024 che rende obbligatorio SRI e *Digital Building Logbook* costituisce il principale impatto normativo; a livello gestionale la digitalizzazione diviene strumento di implementazione delle competenze per la PA, migliorando l'efficacia del RUP. A livello sistemico, il digitale ha valore trasversale che garantisce sinergia e coerenza di applicazione, abilitante la circolarità delle risorse e la decarbonizzazione,

L'individuazione degli impatti e le criticità riscontrate consentono di delineare alcune prospettive di sviluppo e futuri avanzamenti della ricerca.

- Standardizzazione del *framework*, attraverso *template*, schede tecniche e criteri premiali che possano esser utilizzati nei documenti di programmazione previsti dal Nuovo Codice degli Appalti;
- Individuazione di modalità di raccolta, gestione e diffusione di dati omogenea e funzionale alla creazione di *benchmark* standardizzati;
- Scalabilità nazionale ed europea del modello proposto, con possibilità di adattamento in diversi contesti normativi e amministrativi;
- Formazione e implementazione delle competenze dei tecnici delle PA per l'uso degli strumenti digitali, sul piano normativo e gestionale.

Parallelamente, emerge la necessità di una fase di *testing* operativo delle linee guida su casi pilota con il coinvolgimento attivo delle PA, al fine di contribuire a ridurre i divari tra prescrizioni normative e pratica operativa.

Il modello proposto, con le sue azioni operative, è infatti trasferibile, scalabile e replicabile in diversi contesti, fornendo un riferimento metodologico per future applicazioni a livello nazionale ed europeo. Un vero e proprio dispositivo abilitante l'efficacia delle politiche pubbliche in materia di decarbonizzazione e circolarità; capace di ridurre i divari tra prescrizioni normative e pratica operativa, trasformando la frammentazione attuale in un

ecosistema coerente e integrato, garantendo e promuovendo, altresì, coerenza tra strategie europee e attuazione locale.

Riferimenti bibliografici

- Amann, C., Torres, P., Boldizsar, G., Hofer, G., Stumpf, W., Leutgob, K. & van Nuffel, L. (2023), *Support to primary energy factors review (PEF) – Final report*, Publications Office of the European Union, Luxembourg. Disponibile al link: <https://data.europa.eu/doi/10.2833/404077>
- Andersen, R. K., Junak, K., Novikova, T., Popov, P., Vogt, G., & Zaniboni, L. (2024), Report on survey and interview results in Tuning EPC and SRI instruments to deliver full potential tunES project, in *2025 10th International Conference on Smart and Sustainable Technologies*, SpliTech.
- Aragón, D. (2022). Overview – Smart buildings and smart grids, in *BUILD UP*, 04 Aprile 2022. Disponibile al link: <https://build-up.ec.europa.eu/en/resources-and-tools/articles/overview-smart-buildings-and-smart-grids>
- Azzalin, M. (2024). Smart Readiness for buildings – Digital asset for energy transition, *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 148-159. DOI: 10.19229/2464-9309/15112024.
- Badan, N. (2022). Principi per la progettazione, realizzazione e gestione di edifici intelligenti, in *Conferenza Smart Building Roadshow 2023*, Bari. DOI: 10.13140/RG.2.2.30459.49444.
- Borgentorp, E., Junnila, S., & Autio, P. (2024). Smart Readiness Indicator: Ready for Business? Evidence from a Northern EU Country, *Buildings*, vol. 14, pp. 1-22. DOI: 10.3390/buildings14113638.
- Brezocnik, M., Zuperl, U., & Kovacic, M. (2025). Developing an Alternative Calculation Method for the Smart Readiness Indicator Based on Genetic Programming and Linear Regression, *Buildings*, vol. 15, pp. 1-24. DOI: 10.3390/buildings15101675.
- Capozzoli, A., Piscitelli, M. S., Maggiulli, M., & Pavan, A. (2024). *Smart Building – La digitalizzazione per il Net Zero*, GBC Italia, Milano. Disponibile al link: https://gbcitalia.org/public_documents/GBCItalia_PositionPaper_BACS-BEMS_WEB.pdf
- Chatzikonstantinidis, K., Giama, E., Fokaides, P. A., & Papadopoulos, A. M. (2024). Smart Readiness Indicator (SRI) as a Decision-Making Tool for Low Carbon Buildings, *Energies*, vol. 17, pp. 1-18. DOI: 10.3390/en17061406.
- Decreto Legislativo 31 marzo 2023, n. 36, “Codice dei contratti pubblici in attuazione dell’articolo 1 della legge 21.06.2022, n. 78, che conferisce poteri al Governo in materia di contratti pubblici” (G.U. n. 77 del 31.03.2023-S.O. n. 12).
- Decreto Ministeriale 7 marzo 2012, n. 57, “Adozione dei criteri minimi ambientali da inserire nei bandi di gara della pubblica amministrazione per l’acquisto di servizi energetici per gli edifici – servizio di illuminazione e forza motrice – servizio di riscaldamento/raffreddamento” (G.U. n. 74 del 28 marzo 2012).

- Decreto Ministeriale 24 novembre 2025, Adozione dei criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e affidamento di lavori per interventi edilizi. Allegato I.
- Del Curto, D., Garzulino, A., & Turrina, A. (2024). Sostenibilità e transizione energetica – Prospettive per un approccio integrato al patrimonio costruito | Sustainability and energy transition – Perspectives for an integrated approach to the built heritage, *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 114-123. DOI: 10.19229/2464-9309/1582024.
- Delavar, T., Borgentorp, E., & Junnila, S. (2025). The Smart Buildings Revolution – A Comprehensive Review of the Smart Readiness Indicator Literature, *Applied Sciences*, vol. 15, pp. 1-28. DOI: 10.3390/app15041808
- Di Pietra, B., & Morini, M. (2020). Un nuovo indice per qualificare gli edifici intelligenti e ad alta efficienza energetica, *Focus ENEA*, vol. 3. DOI: 10.12910/EAI2020-081.
- European Commission, EC. (2020). Commission Implementing Regulation (EU) 2020/2156 of 14 October 2020 Detailing the Technical Modalities for the Effective Implementation of an Optional Common Union Scheme for Rating the Smart Readiness of Buildings, *Official Journal European Union* 2020, vol. 431, pp. 25-29.
- European Commission, EC. (2025a). *LIFE projects supporting SRI*. Disponibile al link: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-performance-buildings/smart-readiness-indicator/life-projects-supporting-sri_en
- European Commission, EC. (2025b). Smart readiness indicator, Smart-ready services are key enablers of the decarbonisation of the building sector. Disponibile al link: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-performance-buildings/smart-readiness-indicator_en
- European Commission, EC. (2020). Regolamento delegato (UE) 2020/2155 della Commissione, del 14 ottobre 2020, che integra la direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda la fissazione di una metodologia per il calcolo dell'indicatore di predisposizione alla prestazione energetica intelligente degli edifici. 6930 final (GU L 431, 21.12.2020, pp. 11-18).
- European Environment Agency, EEA. (2022). *Building renovation: where circular economy and climate meet*. Disponibile al link: <https://www.eea.europa.eu/publications/building-renovation-where-circular-economy>
- European Parliament and Council of the European Union, EP-CEU. (2018). Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30th May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency.
- European Parliament and Council of the European Union, EP-CEU. (2023). Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18th October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources.
- European Parliament and Council of the European Union, EP-CEU. (2024). Direttiva (UE) 2024/1275 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 24 aprile 2024, sul rendimento energetico degli edifici, Bruxelles. Disponibile al link: <http://data.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj>

- Garzia, F., Verbeke, S., Pozza, C., & Audenaert, A. (2023). Meeting user needs through building automation and control systems: A review of impacts and benefits in office environments, *Buildings*, vol. 13, n. 12, p. 2530. DOI: 10.3390/buildings13122530.
- Green Building Council Italia, GBC. (2024). *Smart Building: digitalizzazione per Net Zero*.
- Green Public Procurement, *CAM vigenti*. Disponibile al link: <https://gpp.mase.gov.it/CAM-vigenti>
- ISO 52120-1:2021, *Energy performance of buildings – Contribution of building automation, controls and building management*.
- Lauria, M., Azzalin, M., Giglio, F., & La Face, G. M. (2025). Responsive Public Policies for Smart and Sustainable Buildings: An Experimental Application of the Smart Readiness Indicator, *Buildings*, vol. 15, n. 12, p. 2002. DOI: 10.3390/buildings15122002.
- Melero, P. (2025). The new rating for building smart readiness: the Smart Readiness Indicator, *REHVA Journal*, vol. 5/2024, pp. 6-9. Disponibile al link: <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/the-new-rating-for-building-smart-readiness-the-smart-readiness-indicator>
- UNI EN 15232-1:2017, *Energy performance of buildings – Impact of Building Automation, Controls and Building Management*.

7. Applicazione dei principi di circolarità negli strumenti delle Pubbliche Amministrazioni

di *Lia Marchi*¹, *Ernesto Antonini*¹, *Jacopo Gaspari*¹

¹ Università di Bologna, Dipartimento di Architettura, Bologna, Italia

Tra le principali sfide da affrontare per il raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile dell'Agenda 2030 (United Nations, 2015), la transizione da un'economia lineare a un'economia circolare rappresenta probabilmente una delle questioni più rilevanti e complesse. La difficoltà non dipende solo dalle molteplici scale di intervento coinvolte, ma soprattutto dall'elevato numero di interazioni e di reciproche implicazioni tra temi, attori e processi che occorre mettere a sistema (Netherlands Enterprise Agency (NEA) & Holland Circular Hotspot (HCH), 2020). Il settore delle costruzioni riveste un ruolo centrale in questo percorso, essendo tra i principali responsabili delle emissioni climalteranti (oltre un terzo del totale a livello globale), del consumo di risorse naturali (circa il 30% delle materie prime estratte) e della produzione di oltre il 40% dei rifiuti conferiti in discarica (World Economic Forum, 2016; Goubran, 2019). Le proiezioni per gli scenari futuri indicano una probabile crescita di tutti questi impatti, a meno che non vengano introdotti tempestivamente correttivi significativi (OECD, 2019).

7.1. Panoramica del quadro strategico, normativo e legislativo sulla circolarità nel settore delle costruzioni

7.1.1. Dalle politiche europee al contesto italiano

La mobilitazione dell'industria verso un'economia pulita e circolare rappresenta uno degli otto obiettivi strategici del *Green Deal* europeo, cioè il piano finalizzato al raggiungimento della neutralità climatica in Europa entro il 2050 (*The European Green Deal*. COM(2019) 640 Final, 2019). Tale obiettivo è stato tradotto in una serie di misure che riguardano direttamente o indirettamente il settore delle costruzioni.

Tra queste, l'ultima revisione della Direttiva sulle prestazioni energetiche degli edifici (EPBD 2024/1275/UE), anche nota come Direttiva Case Green,

introduce misure per ridurre progressivamente le emissioni di CO₂ del parco immobiliare europeo e raggiungere l'obiettivo della decarbonizzazione entro il 2050. Pur essendo finalizzata principalmente al miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici, la revisione integra in modo sinergico il concetto di circolarità, enfatizzando i principi di "ottimizzazione delle risorse" (*sufficiency*) e di prevenzione dei rifiuti. Viene infatti data priorità alla riqualificazione rispetto alla nuova costruzione, e introdotto il passaporto di ristrutturazione: uno strumento che aiuta i proprietari a pianificare gli interventi di riqualificazione e aumenta la tracciabilità degli stessi. Inoltre, la Direttiva promuove una migliore gestione delle risorse grazie a una conoscenza più accurata delle caratteristiche e delle quantità dei materiali impiegati. Infine, si stabilisce l'obbligo di calcolare l'indicatore di *Global Warming Potential* (GWP) per gli edifici di nuova costruzione, in un'ottica che consideri la riduzione gli impatti dei materiali utilizzati sull'intero ciclo di vita (Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24th April 2024 on the Energy Performance of Buildings (Recast), 2024).

Ciò è strettamente correlato ad altri piani strategici europei dipendenti dal *Green Deal*, tra cui il *Circular Economy Action Plan* (2020) e il *Clean Industrial Deal*, i quali orientano l'industria delle costruzioni verso modelli di produzione e gestione basati su cicli chiusi e approcci circolari, in cui l'efficienza e la prevenzione dei rifiuti assumono un ruolo centrale, in linea con la revisione della **Waste Framework Directive** (2023), che promuove la progressiva riduzione dei rifiuti da costruzione e demolizione, intervenendo sulle barriere legislative e regolamentari che attualmente ostacolano l'adozione di processi di recupero efficaci (Waste Framework Directive, 2020).

Sempre in questo ambito, l'UE si propone di fissare requisiti minimi in materia di contenuto di riciclato per alcune categorie di prodotti, di stimolare la produzione di tali prodotti e di promuoverne usi più sostenibili e circolari, attraverso una revisione del Regolamento sui prodotti da costruzione 305/2011, ora sostituito dal Reg. 2024/3110, che punta ad introdurre nuovi modelli di mercato, centrati sulla responsabilità del produttore estesa all'intero ciclo di vita del prodotto. Un elemento particolarmente rilevante del nuovo regolamento è l'idea che, per incentivare la domanda di prodotti edilizi a basso impatto e conformi ai principi di circolarità, sia essenziale non solo promuovere una progettazione e produzione mirate ad estenderne la vita utile e i cicli di utilizzo, ma anche garantire un'adeguata disponibilità di informazioni sulla durabilità, le modalità di riparazione, l'accesso ai pezzi di ricambio e la riparabilità complessiva dei prodotti immessi sul mercato (Leoni, 2021).

A livello nazionale, gli obiettivi fissati dalla UE sono stati recepiti nel 2019 dal Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC), che tuttavia affronta la circolarità come tema trasversale, senza fornire

indicazioni specifiche per il settore delle costruzioni. In aggiunta, l'Italia sta attualmente lavorando al recepimento della nuova EPBD (IV), con la definizione del Piano Nazionale di Ristrutturazione degli Edifici (NBRP), la cui consegna è prevista entro la fine del 2025. Dalla bozza di tale documento emerge la volontà di superare il modello incentivante del Superbonus, fissando obiettivi non solo in termini di prestazione energetica finale, ma anche orientati alla riduzione del consumo di risorse materiali e delle emissioni lungo l'intero ciclo di vita degli edifici, introducendo quindi un'apertura importante verso il cambio di paradigma da economia lineare a circolare.

Si aggiunge a questo quadro la Strategia Nazionale per l'economia circolare, pubblicata con DM 259 del 24 giugno 2022, con l'obiettivo di riformulare e introdurre nuovi strumenti amministrativi e fiscali volti a rafforzare il mercato delle Materie Prime Seconde (MPS), promuovere la responsabilità estesa di produttori (EPR – *Extended Producer Responsibility*), favorire la diffusione di modelli basati sulla condivisione e sul “prodotto come servizio” (PaaS). Questo provvedimento prevede la definizione di una Roadmap italiana per raggiungere gli obiettivi di neutralità climatica entro il 2050, con alcune ricadute specifiche sul settore delle costruzioni, che includono: un sistema digitale di tracciabilità dei rifiuti che favorisca lo sviluppo di un mercato delle MPS; la definizione di meccanismi di incentivazione fiscale per supportare l'utilizzo di materiali derivanti dalle filiere circolari; la riforma dei modelli di EPR per rafforzarne l'attrattività delle aziende virtuose; la revisione degli strumenti normativi esistenti (tra cui i CAM), per assicurarne una maggiore efficacia e diffusione.

Nonostante le politiche menzionate attestino la rilevanza attribuita al tema, dal confronto con gli obiettivi enunciati dal Green Building Council Italia per la transizione circolare del settore delle costruzioni (Gruppo di lavoro Economia Circolare di GBC Italia, 2020), emerge che gli strumenti operativi e le misure incentivanti incluse nel quadro nazionale investono solo una parte del tema, focalizzandosi in particolare sulla riduzione e valorizzazione dei rifiuti (obiettivo n. 3), mentre ancora poca importanza viene attribuita agli obiettivi di durabilità e adattabilità delle costruzioni. Tale osservazione è peraltro sostanziata dalle indagini statistiche effettuate a livello nazionale, da cui emerge come circolarità sia ancora oggi sinonimo di “mero” riciclo e riuso di materiali (ENEA, 2025).

7.1.2. Gli strumenti attuativi in Italia

A livello nazionale, i due principali strumenti attuativi relativi alla circolarità, che traducono i principi in prescrizioni operative da applicare agli

interventi edilizi, sono i Criteri Ambientali Minimi per l'Edilizia (CAM Edilizia) e la UNI/Prassi di Riferimento 13.2:2019 (o ex Protocollo Itaca). Entrambi sono strumenti a adozione volontaria, ad eccezione del caso in cui la stazione appaltante è una Pubblica Amministrazione, quando i CAM diventano obbligatori, in applicazione del principio del “buon esempio” promosso attraverso il *Green Public Procurement*. A ciò si aggiungono gli strumenti attuativi in capo alla pianificazione comunale, quali i Regolamenti Edilizi, che in alcuni casi – ancora piuttosto rari – includono indicazioni sulla circolarità tra gli obiettivi di qualità e sostenibilità del progetto.

Le più ricorrenti tematiche ascrivibili al concetto di circolarità che emergono dalla letteratura scientifica e dalle categorie di valutazione nei *Green Building Rating Systems* (o protocolli di certificazione della sostenibilità degli edifici) sono: LCA, Gestione della risorsa idrica, Flessibilità e adattabilità, Disassemblabilità, Riutilizzo delle terre di scavo, Materiali riciclati, Gestione dei rifiuti, Riutilizzo di aree degradate (Marchi *et al.*, 2024). Rispetto a queste, si può osservare che ad oggi, sebbene il tema della circolarità delle risorse sia considerato tanto da CAM che da UNI/PdR, emergono alcune criticità. Una ricerca sistematica della ricorrenza di termini come “riuso”, “riciclato”, “adattabilità”, “rifiuti” nella lista dei crediti previsti in questi due schemi di valutazione evidenzia come la tematica sia trattata in circa il 15% dei crediti Itaca e nel 24% di quelli CAM – versione Decreto del 5 agosto 2024 (Figura 7.1).

I CAM presentano un numero maggiore di indicazioni relative all'uso di materiali riciclati rispetto al Protocollo Itaca, dedicando un'intera sezione (2.4. “Criteri specifici per i componenti edilizi”) ai requisiti di materiali e componenti in termini di sostenibilità, ad esempio, specificando per categoria di materiale il contenuto minimo in riciclato (5% per il calcestruzzo, 70% per ghisa, ferro e acciaio). Altri criteri CAM collegati all'economia circolare riguardano: la raccolta, il trattamento e il riutilizzo delle acque meteoriche; le prescrizioni tecniche per la fase di fine vita; lo smontaggio, la demolizione e la rimozione di materiali; nonché le prescrizioni per scavi e reinterri.

La UNI/PdR 13.2:2019 affronta in modo più completo le principali tematiche relative alla circolarità delle risorse. Pur non essendo presente un criterio specifico per la gestione dei rifiuti e l'analisi del ciclo di vita, tali aspetti sono comunque considerati all'interno della voce relativa al fine vita dell'edificio. Itaca include inoltre l'adattabilità a usi futuri, criterio assente nei CAM, valutata attraverso un punteggio che tiene conto di aspetti progettuali legati all'ingegneria strutturale, alla configurazione interna e ai servizi tecnici dell'edificio.

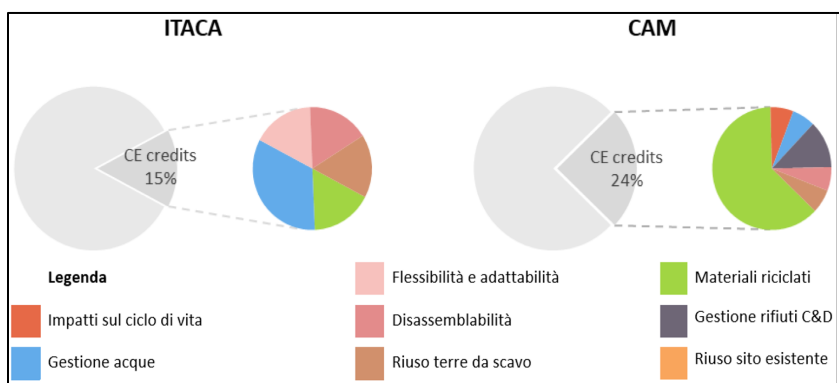


Figura 7.1 – Circolarità nei CAM Edilizia e nella UNI/PdR 12.
Fonte: Elaborazione degli autori.

In generale, nei CAM si osserva uno sbilanciamento dell'attenzione verso le fasi di *pre-uso*, cioè tutto ciò che riguarda la produzione del materiale/componente da utilizzare nella costruzione, che ricopre più del 60% del peso dei criteri di circolarità previsti dallo strumento. Mentre le fasi di *post-uso* o, meglio, tutte le pratiche da attuare in fase d'uso e oltre, verso il fine vita, risultano fortemente sottorappresentate. Ad esempio, manca ogni riferimento specifico ad approcci progettuali attenti a garantire flessibilità d'uso e adattabilità nel tempo degli spazi mediante elementi modulari e dinamici.

7.1.3. Bilancio sulla diffusione di strumenti e pratiche circolari

Nonostante le misure in atto, e il posizionamento dell'Italia ai primi posti tra gli Stati europei per quantità di materiale riciclato e avviato a processi di recupero, nel nostro Paese la diffusione di pratiche e strategie circolari nel settore delle costruzioni rimane limitata (Talamo, 2024).

Nell'ambito del progetto PRIN *Better Policy*, sono state raccolte le opinioni di un panel di decisori politici, professionisti ed operatori del settore in merito alla diffusione e all'efficacia degli strumenti per promuovere la transizione da un'economia lineare a una circolare nel settore delle costruzioni e alla presenza di eventuali barriere all'implementazione di tali strumenti. Il quadro che è emerso, unitamente all'analisi dettagliata degli strumenti introdotti, rivela che in Italia la diffusione di pratiche circolari nel settore delle costruzioni è ostacolata da diverse barriere, di natura sia tecnica che organizzativa, sia culturale, da parte di clienti, operatori di mercato e legislatori. Una

delle principali lacune che si registra è la mancanza di un approccio sistemico e intersettoriale, quindi di coordinamento tra livelli, scale, strumenti e attori del processo. Azioni efficaci in direzione della circolarità richiederebbero infatti un alto livello di collaborazione tra enti locali, gestori dei rifiuti, progettisti e costruttori. Questa situazione oggi si riscontra solo in pochi contesti virtuosi, tipicamente nell'ambito di progetti internazionali come, ad esempio, quelli dell'iniziativa C40 *Reinventing Cities*, dove questi principi sono parte integrante degli obiettivi progettuali (C40 Knowledge Hub – *Circular Economy*, n.d.).

Alcuni comuni, come Bologna, hanno iniziato a integrare principi di CE nella pianificazione urbana, prescrivendo il riuso delle terre da scavo e la valorizzazione energetica degli scarti vegetali prodotti della manutenzione degli spazi verdi pubblici. Tuttavia, queste scelte vengono ancora oggi troppo spesso percepite dai cittadini come effetti di tagli alle spese pubbliche e mala gestione, nonostante gli intenti di sostenibilità che invece le ispirano da parte dell'Amministrazione Pubblica. In questo contesto, le PA intervistate sostengono fortemente la necessità di comunicare in maniera più efficace le scelte da loro effettuate in materia di buone pratiche, strumenti e iniziative a favore della sostenibilità e circolarità, ritenendo fondamentale che il divario culturale fra operatori e cittadini su queste tematiche venga rapidamente colmato. A ciò si aggiunge che l'applicazione concreta dei principi di economia circolare dipende oggi in gran parte dalla volontà delle singole aziende, operatori professionali, o clienti e viene quasi sempre adottata solo quando costituisce un obbligo normativo o contrattuale, come quelli a carico dell'appaltatore previsti dai CAM. Quando è richiesto il raggiungimento di prestazioni di circolarità, la strategia largamente più diffusa è l'uso di prodotti riciclati o almeno con una quota minima di materiale riciclato. Tuttavia, questo approccio investe solo un aspetto della circolarità, quello relativo alla fase di produzione dei materiali, invece che estendersi a considerare l'intero ciclo di vita dell'edificio, manifestando così la stessa criticità già evidenziata a proposito degli strumenti attuativi disponibili.

I professionisti intervistati osservano che tale "preferenza" verso la fase di pre-uso è di fatto dettata da un principio economico, oltretutto da alcune lacune culturali e informative degli operatori. I prodotti installati con tecnologie a secco, facili da disassemblare, scorporare e avviare a processi di riuso/riciclo a fine vita, rispondenti al principio progettuale del *Design for Disassembly*, sono ancora decisamente più costosi delle alternative "convenzionali" basate su tecnologie a umido, e spesso non sono nemmeno incluse nei Prezziari regionali. In aggiunta, vi è uno scoglio culturale che deriva dalla tradizione costruttiva del Paese, perlopiù basata su soluzioni massive,

lapidee “durature”, che ostacola l’adozione di pratiche costruttive più evolute, basate su assemblaggi facilmente reversibili, nonostante CAM e UNI/PdR 13 ne prevedano l’applicazione.

Dal punto di vista degli operatori di mercato, i CAM sono spesso percepiti come requisiti aggiuntivi, causa di costi e inefficienze, adempimento burocratico di cui occuparsi a progettazione conclusa, senza coordinazione tra progettisti e imprese esecutrici. L’uso di strumenti digitali a supporto (BIM, GIS) è in crescita, ma ancora in fase iniziale e parimenti percepito come un onere aggiuntivo. I professionisti e gli amministratori coinvolti nell’indagine hanno segnalato anche serie difficoltà rispetto alle valutazioni di impatto: manca ad oggi un sistema di indicatori condivisi per misurare le prestazioni di circolarità di prodotti, edifici, processi, per i quali spesso ciascun territorio si dota di indicatori “su misura”, rendendo difficile il confronto tra territori diversi, e la loro applicazione molto condizionata dai cambi di amministrazione o dalla sostituzione del personale tecnico di riferimento.

7.2. Strategie circolari per il settore delle costruzioni

La letteratura scientifica e i progetti di ricerca condotti nell’ultimo decennio mostrano un forte interesse accademico, politico e da parte degli operatori del mercato per la transizione circolare del settore delle costruzioni (Marchesi & Tavares, 2025). Come riportato in un precedente articolo degli Autori, e mostrato in Figura 7.2, vi sono molti approcci, buone pratiche, strumenti e prodotti/materiali che possono essere utilizzati per costruire in maniera più sostenibile, e in particolare “circolare” (Marchi *et al.*, 2024). Di seguito sono riportati gli elementi salienti che emergono da un’analisi condotta selezionando gli articoli scientifici pubblicati tra il 2014 e il 2024 relativi a strumenti, pratiche e politiche per la circolarità nel settore delle costruzioni.

7.2.1. Sugli approcci e le pratiche progettuali

Tra gli approcci più ricorrenti in letteratura (Figura 7.2) emerge la gestione efficace dei rifiuti da Demolizione e Costruzione (CDW), per alimentare potenziali pratiche di *urban mining* e/o recuperare i materiali con valore residuo nell’ambito delle cosiddette banche dei materiali (*material banks*) (Bogoviku, 2021; Pardo Martínez *et al.*, 2021; Soyinka *et al.*, 2023).

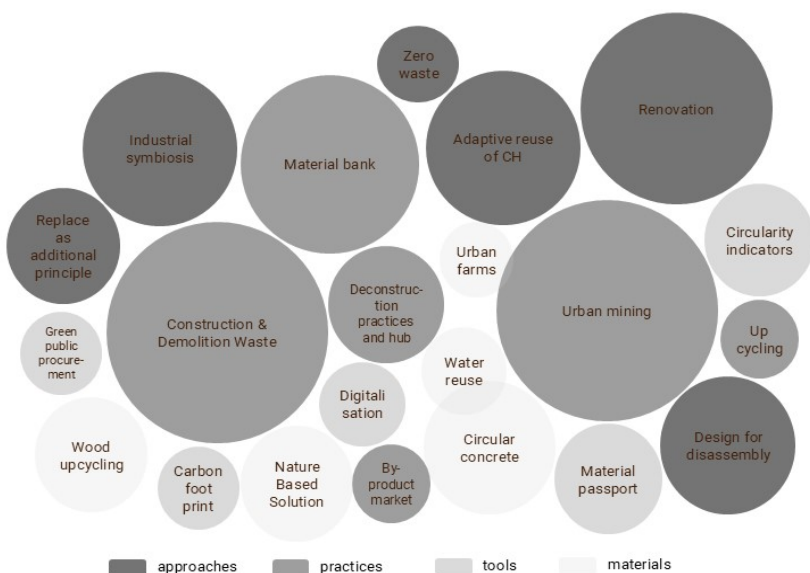


Figura 7.2 – Approcci, pratiche, strumenti e materiali per la circolarità. La dimensione del cerchio indica la frequenza con la quale la strategia ricorre nella letteratura selezionata. Fonte: Elaborazione degli autori.

Tuttavia, tali approcci risultano ancora significativamente distanti da una concreta e capillare diffusione sul mercato, poiché penalizzati dalla frammentazione dei processi costruttivi e dal conseguente aggravio in termini di tempi e costi per gli operatori del settore (Arora *et al.*, 2021). Per le stesse ragioni, le pratiche di demolizione selettiva (o *green demolition*) rappresentano ancora una nicchia di mercato molto limitata. Un'analisi accurata dei costi lungo l'intero ciclo di vita e una comunicazione efficace di tali costi e dei relativi benefici ambientali agli operatori del settore potrebbero contribuire ad aumentare in modo significativo la loro diffusione (Lynch, 2022).

Segue per frequenza il tema del riuso, esteso oggi dalla scala del componente edilizio, fino a quella dell'intero edificio, dove il riuso adattivo e la riqualificazione del costruito vengono citate tra le pratiche "circolari" per eccellenza. Tuttavia, non è più sufficiente limitarsi a riutilizzare un edificio o un materiale: per raggiungere gli obiettivi di sostenibilità per il settore, occorre domandarsi (ed occuparsi, di conseguenza) anche di ciò che potrà accadere dopo il processo di riqualificazione. Dunque, entrano in gioco gli approcci progettuali del *Design for Disassembly*, *Design for Longevity*, e la quarta "R" – Riparo – che si aggiunge al precedente triduo

Riduco-Riuso-Riciclo (Joensuu *et al.*, 2022; Guidetti & Ferrara, 2023) da alcuni autori anche riassunto nei quattro termini: Rigenerazione-Ricondizionamento- Riuso- Rifunzionalizzazione (Talamo, 2024). L'applicazione di questi imperativi si estende all'intera catena produttiva/di valore di materiali e componenti per l'edilizia, fino a comprendere la loro valorizzazione e/o reinserimento in processi produttivi delle costruzioni o di altri settori, alimentando pratiche di simbiosi industriale (Fang *et al.*, 2017; Belaud *et al.*, 2019), che tuttavia sono ancora limitate a pochi casi esemplari.

7.2.2. *Sugli strumenti*

Tra gli strumenti individuati in letteratura per accompagnare il settore nella transizione verso la circolarità, un ruolo di primo piano è certamente ricoperto dalla digitalizzazione. Si tratta di un tema ampio, che comprende l'insieme degli strumenti digitali a supporto di tutte le fasi del processo edilizio: dalla progettazione, alla costruzione o riqualificazione, fino all'ottimizzazione degli scarti e alla gestione del fine vita di materiali e componenti. Tra questi vengono spesso citati software BIM per la gestione del progetto e processo edilizio, fino alla creazione di Gemelli Digitali o *Digital Twin*, ma anche piattaforme integrate a GIS, che facilitano l'identificazione e la localizzazione di MPS e/o materiali da riciclare, riusare e potenzialmente pilotare con il supporto di piattaforme di *urban mining* e centri di gestione e valorizzazione dei rifiuti (D'Amico *et al.*, 2021; Mollaei *et al.*, 2023). Questi strumenti rappresentano elementi fondamentali e abilitanti per l'attuazione delle misure di valutazione e gestione dei materiali, nonché delle prestazioni tecniche degli edifici, richieste dall'ultima revisione della EPBD. Un esempio è la valutazione dell'impatto ambientale attraverso l'indicatore GWP per le nuove costruzioni, insieme al prossimo obbligo di dotare gli edifici di Passaporti che traccino gli interventi effettuati e i materiali impiegati lungo le diverse fasi del ciclo di vita (Figura 7.3).

L'adozione diffusa e capillare di strumenti digitali nei processi di recupero edilizio e di nuova costruzione permetterebbe di accedere a banche dati più complete e condivise, con dati facili da reperire e termini di confronto comuni sugli edifici esistenti, la cui mancanza oggi costituisce una barriera significativa all'efficacia degli strumenti digitali stessi. Occorre dedicare maggiori sforzi al miglioramento delle banche dati e dei catasti dei materiali, poiché rappresentano un presupposto fondamentale per l'attuazione del necessario cambio di paradigma che l'imperativo di circolarità richiede (Heisel & Rau-Oberhuber, 2020).

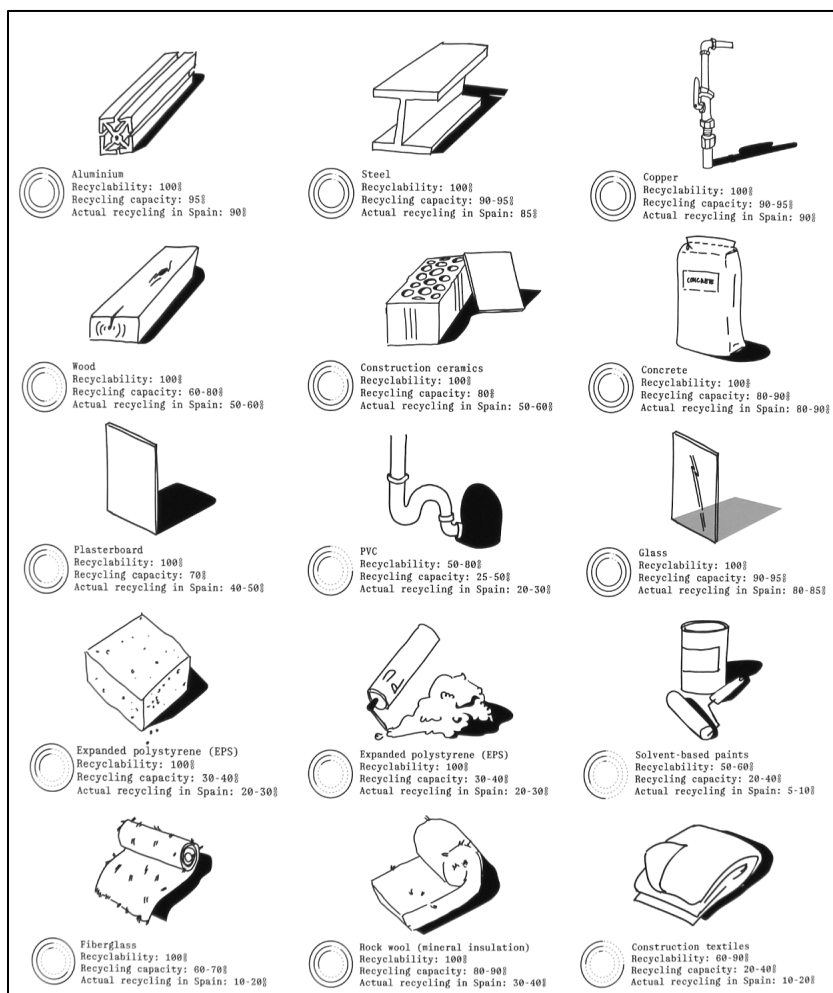


Figura 7.3 – Indice di riciclabilità dei materiali da costruzione più diffusi, esposto alla Biennale di Architettura 2025 all'interno del Padiglione spagnolo.

Fonte: Foto degli autori all'installazione all'interno del Padiglione Spagna, Venezia, 2025.

Benché il dibattito sugli strumenti di valutazione dell'impatto lungo il ciclo di vita si sia finora concentrato sull'accuratezza dei software e dei risultati, l'analisi evidenzia come sia necessario porre maggiore attenzione anche all'accuratezza e alla disponibilità dei dati in ingresso, che risultano spesso difficili da reperire, non sempre affidabili e soggetti a variazioni nel tempo. In generale, le procedure di analisi del ciclo di vita (LCA) più dettagliate risultano eccessivamente complesse e onerose per un mercato dove si riscontra una carenza generale di specialisti e difficoltà nel sostenere i costi

dei professionisti incaricati delle valutazioni. Le analisi LCA accurate sono preziose per supportare i risultati della ricerca, ma è necessario integrare negli strumenti attualmente in uso procedure più agili e semplificate, in grado di consentire la valutazione della sostenibilità anche negli interventi ordinari. A tal proposito, la creazione di una banca dati armonizzata, a livello nazionale o addirittura internazionale, potrebbe contribuire a migliorare la trasparenza e la disponibilità delle informazioni utili alla valutazione degli impatti.

7.2.3. Su componenti e materiali

Tra le nuove frontiere della ricerca sui materiali in un'ottica circolare, la letteratura include il cemento con quote di aggregati riciclati (Poolsawad *et al.*, 2023; Sinoh *et al.*, 2023), ma anche isolanti termici realizzati con materiali provenienti da filiere di recupero, quali scarti agricoli, tessili e frazioni di residui dalla raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani (carta, plastica) (Marchi *et al.*, 2025).

Molti studi si occupano della filiera del legno e dei molteplici processi circolari che vi si possono attivare, anche integrandoli con i flussi dei rifiuti da costruzione e demolizione (Pitti *et al.*, 2020; Scolaro *et al.*, 2021).

A un livello più ampio, è fondamentale rafforzare i mercati delle risorse secondarie. In questo contesto emergono nuovi concetti che favoriscono la gestione dei rifiuti – siano essi componenti o materiali – lungo l'intero ciclo di vita. È il caso del modello di business *product-as-a-service*, che attribuisce al produttore la responsabilità del prodotto dalla fase di produzione fino al fine vita e oltre (EPR – *Extended Product Responsibility*) (Milios, 2018; Çimen, 2021b).

7.3. Strumenti per il calcolo della circolarità dei materiali e dei componenti edili

Per dare concretezza alle politiche europee e nazionali in tema di circolarità, le Pubbliche Amministrazioni e il mercato delle costruzioni stesso si sono progressivamente dotati di strumenti di valutazione della circolarità, prevalentemente basandosi su indicatori quantitativi per la verifica delle prestazioni. Perciò a livello europeo sono stati definiti strumenti e linee guida per facilitare il cambio di paradigma procedurale e di produzione.

Tra questi, l'UE si è dotata di un protocollo volontario in materia di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione (Oberender *et al.*, 2024), e di

un sistema di indicatori condiviso per la sostenibilità degli edifici – Level(s) – che è stato tra i primi a includere metriche di misurazione della circolarità (European Commission, 2021).

Tra gli strumenti di cui si è dotato il mercato delle costruzioni, perlopiù a adozione volontaria, vi sono alcune (poche) procedure di verifica, linee guida o risorse informative/piattaforme di verifica qualitativa interamente dedicate alla circolarità, e altri strumenti in cui invece il tema è integrato all'interno di sistemi di valutazione multi-criteriale come i protocolli di certificazione della sostenibilità degli edifici (GBRS – *Green Building Rating Systems*). Ad ogni modo, essendo strumenti sviluppati e gestiti da operatori economici privati, raramente questi strumenti sono richiamati – e ancor meno di frequente resi cogenti – dalle pubbliche amministrazioni.

In generale, si osserva ancora una certa frammentazione e mancanza di integrazione tra gli strumenti, gli indicatori, e le procedure disponibili: ciò spesso genera conseguenti rallentamenti delle procedure amministrative, senza garantire un reale aumento dei livelli di circolarità nel settore.

Dalla letteratura emergono alcune importanti lacune regolamentari e/o strumentali sulle quali occorre lavorare per facilitare l'adozione di pratiche e materiali circolari nel settore, anche mediante la definizione di metodi di verifica e indicatori più adeguati rispetto al quadro attuale. In particolare, servono norme e regolamenti dedicati, che rendano i materiali e i componenti derivati da processi circolari o con potenziale di circolarità comparabili con quelli attualmente presenti sul mercato, e perciò più facilmente commerciabilizzabili. Per le fasi di progettazione e costruzione, occorre favorire l'impiego di materiali e componenti ad alto potenziale di circolarità, sia attraverso l'uso di elementi riciclati o riutilizzati, sia, in prospettiva, mediante l'adozione di prodotti facilmente riciclabili, riparabili o riutilizzabili.

Riguardo alle fasi relative al fine vita, riqualificazione o demolizione, emerge la necessità di agevolare i professionisti e gli operatori nell'attuazione corretta ed efficace delle operazioni di smontaggio selettivo, trasporto, stoccaggio e trattamento dei materiali e dei componenti destinati al riciclo o al riuso, tramite procedure dedicate, semplici e chiare, ed economicamente comparabili con le tecniche più convenzionali, in genere meno circolari.

7.3.1. Strumenti di valutazione dedicati

Gli strumenti di calcolo e/o valutazione internamente dedicati alla circolarità per il settore delle costruzioni non sono molti. Tra questi, spicca per completezza e pragmaticità il *Circular Buildings Toolkit*, frutto di una collaborazione di ARUP con Ellen MacArthur Foundation. Si tratta di uno

strumento digitale – una piattaforma web – che mette a sistema strategie e azioni, casi studio, strumenti di valutazione e indicatori, insieme a risorse interattive per i progettisti e le aziende che vogliano misurarsi con il tema.

Tra gli strumenti messi a disposizione dalla piattaforma, si trovano risorse esterne ad accesso libero come Level(s), il *framework* EU per la valutazione di sostenibilità degli edifici, ma anche database di materiali (ad es. Madaster) e riferimenti ad altri strumenti e indicatori di valutazione.

Vi sono poi studi che propongono strumenti di valutazione specifici, basati su macro-indicatori di circolarità, concepiti per fornire una valutazione complessiva e precisa del potenziale di circolarità di un oggetto, edificio o processo. È il caso degli indicatori mappati e classificati dal DGNB, tra i quali lo *Urban Minim Index*, il *Madaster Circularity Indicator*, il *Circularity Performance Index* (DGNB, 2024), o di altri menzionati in letteratura, tra cui il *Material Circularity Indicator*, presentato da Saadé *et al.* (2022) come uno degli indicatori più utilizzati nell'ambito dell'economia circolare, in quanto complementare agli indicatori LCA.

7.3.2. *Strumenti di valutazione integrati*

Oltre a quelli menzionati sopra, sono disponibili strumenti di valutazione per analizzare in modo integrato gli impatti ambientali e le prestazioni tecniche degli edifici all'interno di un sistema di punteggio armonizzato.

Tra questi, quelli che in diversa misura si occupano anche di circolarità sono i *Green Building Rating Systems* (GBRSs) e i protocolli di valutazione di resilienza.

Nell'ambito del progetto PRIN *Better Policy* sono stati analizzati i GBRS più diffusi a livello internazionale – cioè LEED (USA), BREEAM (UK) e DGNB (DE) – e due protocolli di resilienza – RELi e REDi.

L'analisi condotta, volta a individuare i criteri e gli indicatori di circolarità inclusi in questi sistemi, è stata estesa anche a Level(s) e ai due principali strumenti di valutazione italiani: UNI/PdR 13 e CAM Edilizia – versione Decreto 5 agosto 2024. A seguito di una ricerca per parole chiave (ad es. *circular**, *reuse*, *recycl**, *lifecycle*) nelle checklist dei sistemi di valutazione selezionati, emerge che il peso relativo dei crediti legati all'economia circolare varia tra il 3% e il 39% del totale di quelli inclusi all'interno dei sistemi di valutazione analizzati.

In questi strumenti di valutazione multi-criteriali, i temi che intercettano la circolarità con crediti dedicati o composti sono (Figura 7.4):

- Gestione dell'acqua e riuso: si riferisce generalmente a strategie volte a ridurre il fabbisogno idrico del paesaggio o l'uso di acqua potabile negli

ambienti interni, tramite tecnologie per la riduzione del flusso o strategie di riutilizzo;

- Gestione dei rifiuti: riguarda i flussi e le destinazioni dei rifiuti da costruzione e demolizione (CDW), incoraggiando la demolizione selettiva o, almeno, la differenziazione dei rifiuti;
- Flessibilità e adattabilità: sostiene l'adozione di pratiche e scelte progettuali che rendano gli spazi facilmente adattabili in tempi brevi, ad es. rendendo possibile ospitare funzioni diverse nell'arco della giornata mediante partizioni mobili, o che possano adattarsi a futuri cambiamenti e mutate esigenze degli occupanti;
- Smontaggio: include i crediti relativi a strategie e tecnologie costruttive facilmente smontabili in futuro e potenzialmente riciclabili/riutilizzabili, in particolare mediante l'uso di componenti prefabbricati e sistemi a secco;
- Riutilizzo delle terre di scavo: riguarda i crediti che incoraggiano il riuso del terreno escavato in loco per altre funzioni, come il riempimento e la realizzazione di terrapieni per sistemazioni esterne;
- Consumo di suolo: privilegia la riqualificazione di aree dismesse (*brown-field*) o la realizzazione di progetti su terreni già infrastrutturati invece che su suolo vergine.

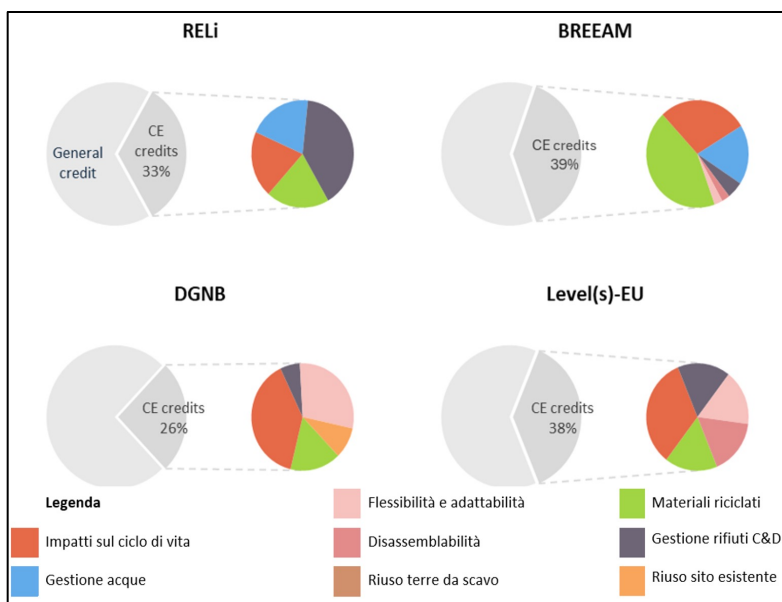


Figura 7.4 – Circolarità in parte dei sistemi di valutazione di sostenibilità e resilienza analizzati.
Fonte: Elaborazione degli autori.

Nel complesso, gli aspetti dell'economia circolare più frequentemente considerati nei crediti riguardano l'impatto lungo il ciclo di vita, l'uso di materiali riciclati, la gestione dei rifiuti e il riutilizzo o la gestione delle acque. Al contrario, elementi come la progettazione per lo smontaggio (*design for disassembly*), la flessibilità e l'adattabilità risultano fortemente sottorappresentati. Tale tendenza riflette quanto evidenziato in letteratura, dove si sottolinea come la maggior parte delle politiche e degli strumenti si concentri prevalentemente sull'impiego di materiali riciclati o su azioni di risparmio, trascurando invece aspetti più innovativi del design circolare, quali la flessibilità, la smontabilità e altri concetti e pratiche emergenti.

Questa osservazione risulta particolarmente valida nel caso dei CAM italiani, in cui la maggior parte dei crediti si focalizza sul contenuto in materiale riciclato di prodotti e componenti utilizzati, mentre si riscontra una scarsa attenzione per il potenziale di disassemblaggio e la progettazione flessibile e adattabile nel tempo.

La Tabella 7.1 sintetizza i principali vuoti normativi e operativi (in termini di strumenti) emersi dall'analisi della letteratura che è stata condotta, dividendoli per scale di intervento e macro-temi di circolarità rispetto alle fasi di pre- e post-uso.

Tabella 7.1 – Necessità e prospettive per migliorare l’attuazione della circolarità nel settore nel quadro nazionale.

Nazionale	Regionale	Locale
Prodotti con materiale riciclato		
Necessità di standard e/o certificazioni di prodotto dedicati per favorire il ri-ciclo/riutilizzo	Necessità di rafforzare le infrastrutture esistenti per il recupero e la valorizzazione dei rifiuti, in connessione con le filiere circolari, sia all'interno che all'esterno del settore edile. Necessità di informazioni condivise e trasparenti sui “prodotti circolari”, ad esempio nei listini prezzi regionali	Opportunità di stabilire criteri più rigorosi per il contenuto riciclato nelle costruzioni pubbliche e/o private, nei bandi di gara e regolamenti comunali
Gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione		
Necessità di standard e/o certificazioni dedicati per favorire la tracciabilità più accurata dei materiali da costruzione e demolizione	Necessità di facilitare la differenziazione dei rifiuti da C&D, la loro raccolta e lavorazione in centri dedicati o piattaforme nazionali/regionali	Opportunità di stabilire criteri più rigorosi per la gestione dei rifiuti C&D nelle costruzioni pubbliche e/o private, nei bandi di gara e regolamenti comunali

Durabilità, riparabilità e flessibilità degli spazi

Necessità di supportare modelli di business innovativi, inclusi la Responsabilità Estesa del Produttore (EPR) e il Diritto alla Riparazione	Opportunità di creare catene del valore circolari all'interno del settore delle costruzioni o verso altri settori Sensibilizzazione e sviluppo delle competenze dei professionisti in materia di flessibilità e adattabilità nella progettazione	Necessità di definire criteri facilmente calcolabili per valutare le prestazioni del progetto sul tema e stabilire eventuali parametri di riferimento
---	---	---

Disassemblabilità

Necessità di definire standard e/o certificazioni dedicati, e di una loro comunicazione adeguata, per favorire soluzioni costruttive off-site o soluzioni tecniche a secco, sia per le nuove costruzioni che per le ristrutturazioni	Opportunità di creare informazioni condivise e trasparenti sui “prodotti circolari”, ad es. nei listini prezzi regionali	Necessità di definire criteri facilmente calcolabili per valutare le prestazioni del progetto sul tema e stabilire eventuali parametri di riferimento
--	--	---

Nonostante l'attenzione crescente verso i principi e le pratiche di economia circolare, il settore delle costruzioni è ancora molto lontano dal raggiungimento di questo profondo cambio di paradigma e di modello di produzione.

Riferimenti bibliografici

- Arora, M., Raspall, F., Fearnley, L., & Silva, A. (2021). Urban mining in buildings for a circular economy: Planning, process and feasibility prospects, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 174, p. 105754. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105754>
- Belaud, J. -P., Adoue, C., Vialle, C., Chorro, A., & Sablayrolles, C. (2019). A circular economy and industrial ecology toolbox for developing an eco-industrial park: perspectives from French policy, *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 21, n. 5, pp. 967-985. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01677-1>
- Bogoviku, L. W. D. (2021). Modelling of mineral construction and demolition waste dynamics through a combination of geospatial and image analysis, *Journal of Environmental Management*, vol. 282.
- C40 Knowledge Hub (n.d.), *Circular Economy*. Disponibile al link: https://www.c40knowledgehub.org/s/topic/0TO1Q0000001lh0WAA/circular-economy?language=en_US
- Çimen, Ö. (2021). Construction and built environment in circular economy: A comprehensive literature review, *Journal of Cleaner Production*, vol. 305, p. 127180. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127180>

- D'Amico, G., Arbolino, R., Shi, L., Yigitcanlar, T., & Ioppolo, G. (2021). Digital technologies for urban metabolism efficiency: Lessons from urban agenda partnership on circular economy, *Sustainability* (Switzerland), vol. 13, n. 11, p. 6043. Disponibile al link: <https://doi.org/10.3390/su13116043>
- DGNB. (2024, May). *DGNB Quality standard for circularity indices*, pp. 1-31. Disponibile al link: www.dgnb.de
- Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24th April 2024 on the Energy Performance of Buildings (Recast) (2024). Disponibile al link: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj/eng>
- ENEA. (2025). *7° Rapporto sull'economia circolare in Italia*. Disponibile al link: <https://circularenetwork.it/wp-content/uploads/2025/05/Rapporto-sul-leconomia-circolare-in-Italia-2025.pdf>
- European Commission. (2021). *Level(s): Mettere in pratica la circolarità*. Disponibile al link: <https://doi.org/10.2779/888513>
- Fang, K., Dong, L., Ren, J., Zhang, Q., Han, L., & Fu, H. (2017). Carbon footprints of urban transition: Tracking circular economy promotions in Guiyang, China., *Ecological Modelling*, vol. 365, pp. 30-44. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.09.024>
- Goubran, S. (2019). On the Role of Construction in Achieving the SDGs, *Journal of Sustainability Research*, vol. 1, n. 2. Disponibile al link: <https://doi.org/10.20900/jsr20190020>
- Gruppo di lavoro Economia Circolare di GBC Italia. (2020). *Linee guida per la progettazione circolare degli edifici*. Disponibile al link: https://gbcitalia.org/wp-content/uploads/2021/09/GBC-Italia_Linee-Guida-Economia-Circolare.pdf
- Guidetti, E., & Ferrara, M. (2023). Embodied energy in existing buildings as a tool for sustainable intervention on urban heritage, *Sustainable Cities and Society*, vol. 88, p. 104284. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104284>
- Heisel, F., & Rau-Oberhuber, S. (2020). Calculation and evaluation of circularity indicators for the built environment using the case studies of UMAR and Madaster, *Journal of Cleaner Production*, vol. 243, n. 118482. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118482>
- Joensuu, T., Leino, R., Heinonen, J., & Saari, A. (2022). Developing Buildings' Life Cycle Assessment in Circular Economy-Comparing methods for assessing carbon footprint of reusable components, *Sustainable Cities and Society*, vol. 77, p. 103499. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103499>
- Leoni, S. (2021). The challenge of circularity in the construction sector, *TECHNE*, vol. 22, pp. 22-27. Disponibile al link: <https://doi.org/10.36253/techne-11536>
- Lynch, N. (2022). Unbuilding the city: Deconstruction and the circular economy in Vancouver, *Environment and Planning A: Economy and Space*, vol. 54, n. 8, pp. 1586-1603. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1177/0308518X221116891>
- Marchesi, M., Tavares, V. (2025). Design Frameworks for Circular Buildings: Circular Principles, Building Lifecycle Phases and Design Strategies, in Bragança, L. *et al.*, *Circular Economy Design and Management in the Built Environment*, Springer, Cham. Disponibile al link: https://doi.org/10.1007/978-3-031-73490-8_6

- Marchi, L., Luo, Z., Gasparini, N., Antonini, E., & Gaspari, J. (2024). Detecting and Understanding Barriers and Drivers to Advance Systematic Implementation of Resource Circularity in Constructions, *Buildings*, vol. 14, n. 10, p. 3214. Disponibile al link: <https://doi.org/10.3390/buildings14103214>
- Marchi, L., Susca, T., Benedetti, M., Antonini, E., & Gaspari, J. (2025). From waste to thermal insulation for buildings: an investigation of potentialities in the Italian context, *Building Research & Information*, vol. 53, n. 6, pp. 777-796. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1080/09613218.2025.2486155>
- Milios, L. (2018). Advancing to a Circular Economy: three essential ingredients for a comprehensive policy mix, *Sustainability Science*, vol. 13, n. 3, pp. 861-878. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1007/s11625-017-0502-9>
- Mollaei, A., Bachmann, C., & Haas, C. (2023). Assessing the impact of policy tools on building material recovery, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 198, p. 107188. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107188>
- Netherlands Enterprise Agency (NEA), & Holland Circular Hotspot (HCH). (2020). *Circular Economy & SDGs: How circular economy practices help to achieve the Sustainable Development Goals*. Disponibile al link: <https://hollandcircular-hotspot.nl/publications/>
- Oberender, A., Fruergaard Astrup, T., Frydkjær Witte, S., Camboni, M., & Al, E. (2024). Protocollo UE per la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione con orientamenti per le verifiche pre-demolizione e pre-ristrutturazione delle opere di costruzione: edizione aggiornata 2024. Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione Europea. Disponibile al link: <https://doi.org/https://data.europa.eu/doi/10.2873/7059329>
- OECD. (2019). *Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences*. OECD Publishing. Disponibile al link: https://read.oecd-ilibrary.org/environment/global-material-resources-outlook-to-2060_9789264307452-en#page5
- Pardo Martínez, C. I., Alfonso Piña, W., Facchini, A., & Cotte Poveda, A. (2021). Trends and dynamics of material and energy flows in an urban context: a case study of a city with an emerging economy, *Energy, Sustainability and Society*, vol. 11, n. 1, p. 24. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1186/s13705-021-00300-w>
- Pitti, A. R., Espinoza, O., & Smith, R. (2020). *The Case for Urban and Reclaimed Wood in the Circular Economy*.
- Poolsawad, N., Chom-in, T., Samneangngam, J., Suksatit, P., Songma, K., Thamnawat, S., Kanoksirirath, S., & Mungcharoen, T. (2023). Material circularity indicator for accelerating low-carbon circular economy in Thailand's building and construction sector, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, vol. 42, n. 4, p. e14105. Disponibile al link: <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ep.14105>
- Saadé, M., Erradhouani, B., Pawlak, S., Appendino, F., Peuportier, B., & Roux, C. (2022). Combining circular and LCA indicators for the early design of urban projects, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 27, n. 1, pp. 1-19. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1007/s11367-021-02007-8>

- Scolaro, A. M., Marchi, L., & Corridori, S. (2021). Mapping of building cycle waste for scenarios of industrial symbiosis, *TECHNE*, vol. 22, pp. 131-139. Disponibile al link: <https://doi.org/10.36253/techne-10581>
- Sinoh, S. S., Othman, F., & Onn, C. C. (2023). Circular economy potential of sustainable aggregates for the Malaysian construction industry, *Sustainable Cities and Society*, vol. 89, p. 104332. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104332>
- Soyinka, O. A., Wadu, M. J., Lebunu Hewage, U. W. A., & Oladinrin, T. O. (2023). Scientometric review of construction demolition waste management: a global sustainability perspective, *Environment, Development and Sustainability*, vol. 25, n. 10, pp. 10533-10565. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02537-7>
- Talamo, C. M. L. (a cura di). (2024). *Economia circolare e nuovi scenari per il settore delle costruzioni. Modelli organizzativi e pratiche di riuso e remanufacturing nel comparto del terziario*, FrancoAngeli, Milano.
- The European Green Deal. COM(2019) 640 Final (2019). Disponibile al link: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>
- United Nations. (2015). *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development* (A/RES/70/1). Disponibile al link: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/89/PDF/N1529189.pdf?OpenElement>
- Waste Framework Directive (2020). Disponibile al link: https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en
- World Economic Forum. (2016, January). Environmental Sustainability Principles for the Real Estate Industry, in *Industry Agenda*. Disponibile al link: https://www3.weforum.org/docs/GAC16/CRE_Sustainability.pdf

8. Criteri e indicatori per la circolarità

di *Lia Marchi*¹

¹ Università di Bologna, Dipartimento di Architettura, Bologna, Italia

L'approccio settoriale, a "silos", è considerato uno dei principali ostacoli all'implementazione sistematica dell'economia circolare nel settore delle costruzioni, poiché è in contrasto con la natura stessa della circolarità, che è trasversale rispetto alle discipline, alle scale e ai livelli di attuazione. Perciò, quando si parla di valutazione della prestazione di circolarità di un prodotto, un edificio o un processo, è sempre importante considerare le interazioni multiscalarì e transdisciplinari potenzialmente coinvolte. Misurare la "circolarità" oggi non significa solamente stimare la quantità di materiale proveniente da scarti di produzione e/o da operazioni di costruzione o demolizione che esso incorpora. Significa doversi confrontare con il ciclo di vita di un prodotto/manufatto nella sua interezza, e quindi considerare anche prestazioni quali la durabilità dei materiali, la facilità di mantenere, riparare e/o sostituire parzialmente un componente, la flessibilità dello spazio rispetto a usi diversi, la possibilità di riprocessare un materiale all'interno di altre filiere di produzione, per altri usi, e l'adattabilità di un prodotto o una intera costruzione al mutare del quadro esigenziale.

Occorre perciò una premessa fondamentale rispetto alla circolarità in edilizia, osservando come la complessità delle costruzioni richieda di assumere per materiali e componenti range di vita utili diversi a seconda della funzione che i singoli elementi svolgono nell'edificio. Non è possibile assumere che un telaio in cemento armato debba avere le stesse prestazioni di circolarità (durabilità, disassemblabilità, ecc.) di una partizione in cartongesso. È necessario distinguere i requisiti e le prestazioni di circolarità in base alla vita utile prevista dell'unità tecnologica o del sistema edilizio di cui essa fa parte (UNI 8290: Edilizia Residenziale. Sistema Tecnologico. Classificazione e Terminologia, 1981). In particolare, il potenziale di circolarità degli elementi dei sistemi edilizi a cui è richiesta maggiore adattabilità nel tempo (ad es. impianti, partizioni) dovrebbe essere ponderato in modo diverso rispetto a quello degli elementi più permanenti (ad es. strutture), che incidono sulla fase post-uso solo nel lungo periodo e con un "ricambio" limitato, come mostrato in Figura 8.1.

Questa distinzione è già integrata nei due strumenti più avanzati oggi disponibili a livello europeo per la valutazione della circolarità – Level(s) (European Commission, 2021) e DGNB (DGNB, 2024) – mentre non è ancora diffusa nelle misure di valutazione messe a punto dalle Pubbliche Amministrazioni italiane.

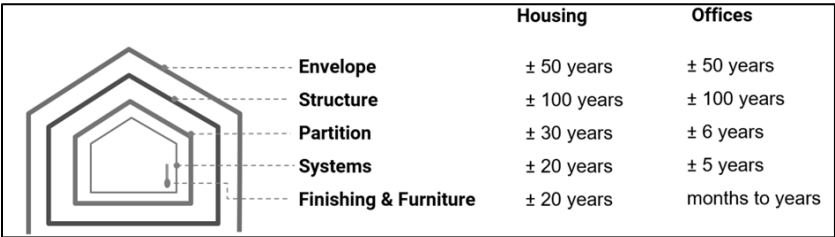


Figura 8.1 – Elementi permanenti e flessibili a seconda della funzione.
Fonte: Elaborazione degli autori basata su DGNB e Level(s) EU.

Secondo un’inchiesta condotta dalla Commissione Europea coinvolgendo oltre 300 figure chiave del mercato delle costruzioni (Brincat *et al.*, 2023), i principali driver e barriere alla diffusione di pratiche circolari nel settore, nonché alla loro valutazione, sono:

- Barriere

 - Difficile interoperabilità dei dati per mancanza di standard sui formati
 - Difficile tracciabilità dei prodotti, dai flussi dei materiali costituenti fin dalla loro origine
 - Difficile reperimento dei dati su materiali e componenti
 - Armonizzazione dei dati su processi e materiali

Driver

 - Investimenti/facilità di accesso a incentivi o premialità fiscali
 - Definizione di obiettivi prestazionali di circolarità nei regolamenti
 - Obbligo di raccolta e condivisione dei dati sancito per legge

Lo stesso studio ha chiesto agli intervistati di indicare quali fossero gli indicatori più rilevanti nella definizione dei criteri di valutazione delle prestazioni di circolarità. Oltre alla disponibilità dei dati, tra i requisiti più citati figurano la facilità di misurazione e la presenza di strumenti e procedure standardizzate per il calcolo. L’analisi che segue illustra i criteri e gli indicatori impiegati nei principali strumenti di valutazione attualmente in uso – dai *Green Building Rating Systems* agli strumenti sviluppati dalle Pubbliche Amministrazioni italiane (UNI PdR 13 e CAM Edilizia – versione Decreto del 5 agosto 2024, come già anticipato nel capitolo precedente) – approfondendone le caratteristiche, nonché i potenziali driver e le barriere al loro utilizzo, assumendo l’ottica degli stakeholder sopra citati.

8.1. Criteri e metriche di circolarità per il recupero e il riutilizzo dei materiali nelle costruzioni

Gli strumenti oggi disponibili includono già una lista estesa e strutturata di criteri e indicatori finalizzati al riutilizzo sistematico delle risorse provenienti dai circuiti per la valorizzazione dei residui, originati sia dal settore, sia da altri processi, che possono essere reintrodotti nella filiera delle costruzioni. Ciò riguarda le scelte strategiche volte a limitare gli impatti “attuali” (fasi pre-uso), perlopiù trattate affrontando tematiche quali la quantità e le caratteristiche dei materiali riciclati contenuti nei prodotti scelti, così come le modalità di gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione.

8.1.1. Materiali riciclati

Lo scopo dei criteri e degli indicatori inclusi in questa categoria è di determinare la percentuale di materiali e componenti utilizzati nell’edificio, realizzati con materiale riciclato o componenti riutilizzati, come si evince dalla Tabella 8.2. L’implementazione delle pratiche connesse a tali criteri beneficia di strumenti di calcolo LCA integrati a software BIM, di database – tanto *open source* che soggetti a licenza, alimentati dal mercato dei produttori, nonché di informazioni standardizzate tramite certificazioni di prodotto e dichiarazioni ambientali (EPD).

La valutazione in genere si avvale di una dettagliata distinta dei materiali previsti nel progetto, sia esso di nuova costruzione o riqualificazione/ristrutturazione, il calcolo del cui impatto ambientale si limita alle fasi A1-A3 del ciclo di vita.

Tabella 8.2 – Selezione di criteri e indicatori su materiali riciclati.

Sistema	Criterio	Metodo di calcolo e/o indicatore
DGNB	ENV1.1 Valutazione LCA	Metodo: utilizzo del navigatore DGNB per selezionare gli EPD dei prodotti.
Level(s) EU	2.1 Distinta materiali e vita utile (<i>Bill of Quantities, Materials and Lifespans</i>)	Peso e costo dei materiali utilizzati, divisi per classi di unità tecnologiche (kg; €) come informazioni da inserire nella Distinta LCA (BoQ – <i>Bill of Quantities</i>).
UNI PdR/13	B.3.4 Materiali riciclati	Peso dei materiali recuperati/con contenuto riciclato o sottoprodotti rispetto al totale (%)

CAM	2.4.1.2 Materiali riciclati	Peso dei materiali recuperati/con contenuto riciclato rispetto al totale (>15 %; >5% materiali non strutturali)
	2.4.2.1-9 Specifiche per diversi materiali	

8.1.2. Gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione

La finalità dei criteri afferenti questa categoria è di migliorare la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione, riducendo al minimo le frazioni da smaltire e destinandoli invece per quanto possibile a processi di recupero/riciclaggio (si veda la Tabella 8.3). Sebbene il tema non sia nuovo né nella letteratura né nell'apparato legislativo, e nonostante il settore registri quote significative di materiali avviati a processi circolari (Scolaro *et al.*, 2021), molti strumenti si limitano a richiedere la verifica delle quantità di rifiuti coinvolti, senza considerare le difficoltà operative e i costi aggiuntivi che alcune pratiche possono comportare per gli operatori economici.

Tabella 8.3 – Selezione di criteri e indicatori su gestione di rifiuti da C&D.

Sistema	Criterio	Metodo di calcolo e/o indicatore
DGNB	ENV1-R & TEC2-R Flussi di materiali	Metodo: utilizzo di software di analisi LCA
Level(s) EU	2.2 Materiali e rifiuti da costruzione e demolizione (<i>Construction & Demolition Waste and Materials</i>)	Stima dei mancati costi di consegna in discarica (€) Peso dei rifiuti generati divisi per tipo di trattamento (kg)
	UNI PdR/13 C.3.3 Riuso di terre da scavo	Volume di terre da scavo riutilizzate in sito sul totale (%)
CAM	2.5.1 Demolizioni e rimozione dei materiali	Peso dei rifiuti da C&D da avviare a processi di recupero/riciclo (>70%)
	2.5.2 Materiali usati nel cantiere	Volume di terre da scavo riutilizzate in sito sul totale (%)
	2.5.5 Scavi e rinterri	

8.1.3. Barriere e driver all'implementazione

Gli strumenti di valutazione analizzati, e in particolare quelli nazionali, nel complesso affrontano il tema mediante indicatori quantitativi e *benchmark* di riferimento chiari e condivisi. Tuttavia, emerge una certa disparità

nel trattamento di diversi materiali e relative fasi del processo edilizio, in quanto spesso l'attenzione risulta concentrata su alcune categorie di materiali (ad es. calcestruzzo per strutture, materiali isolanti), senza considerarne gli impatti all'interno di una visione relazionata alla vita utile delle classi di unità tecnologiche associate alle diverse frazioni di materiali.

A tal proposito, l'**azione 5.3** delle Linee Guida allegate propone dunque il miglioramento delle metriche esistenti tramite l'impostazione di "requisiti e premialità per progetti migliorativi in fase di pre-uso", associando limiti più stringenti rispetto agli attuali CAM per le fasi di pre-uso (contenuto in riciclato, uso efficiente dei materiali) e definendo criteri premiali per offerte migliorative. Ciò deve necessariamente associarsi alla diffusione e all'utilizzo di indicatori e procedure di valutazione più semplici per la circolarità, basate su stime più rapide e armonizzate tra le diverse tematiche.

8.2. Criteri e metriche di circolarità per la durabilità, disassemblabilità, adattabilità nelle costruzioni

Gli strumenti oggi disponibili contengono un numero limitato di criteri e indicatori finalizzati a migliorare la gestione delle risorse che l'intervento può rendere disponibili per reintegrarle nei processi di riuso, riciclo, recupero dei materiali, limitando così gli impatti "futuri" della costruzione (fasi post-utilizzo). Ciò riguarda sia le pratiche progettuali finalizzate a rendere gli spazi più flessibili (anche nel breve periodo) e adattabili a nuovi usi, sia la scelta di materiali e componenti che possano essere facilmente recuperati al termine del loro ciclo di impegno e avviati a processi di riuso o riciclo. Seppur non direttamente connesso a un'azione di recupero, in questa categoria di pratiche entra in campo anche la durabilità dei materiali, come strategia che consente un minor ricorso a nuove risorse in tempi brevi.

Per quanto gli strumenti mappati includano disposizioni e prescrizioni anche rispetto a questa seconda categoria, le metriche utilizzate risultano ancora poco stringenti e labili nelle modalità di verifica.

8.2.1. Flessibilità e adattabilità di spazi e sistemi

Le metriche utilizzate per la valutazione delle prestazioni di flessibilità e adattabilità generalmente considerano la quantità di spazio destinabile a funzioni diverse nell'arco della stessa giornata o in periodi più lunghi (ad es. annuali, in edifici con variazioni stagionali delle funzioni, come le scuole), o la facilità con la quale una partizione o un componente di involucro

possono essere spostati e/o rimossi ed eventualmente riutilizzati. Su questo specifico tema, gli strumenti italiani risultano estremamente vaghi nelle metriche e modalità di verifica delle stesse, come mostrato nella Tabella 8.4.

Tabella 8.4 – Selezione di criteri e indicatori su flessibilità e adattabilità.

Sistema	Criterio	Metodo di calcolo e/o indicatore
DGNB	ECO2.1 Flessibilità e adattabilità	1.1. Efficienza spaziale: superficie utilizzabile rispetto a superficie lorda di pavimento (%) 1.2. Aree multifunzione: possibilità di utilizzare un’area dell’edificio per più funzioni 2. Modularità dei sistemi di facciata 3. Profondità dell’edificio 4. Flussi e accesso verticale: rapporto tra la superficie lorda di pavimento e il numero di nuclei di accesso all’edificio, per piano 5. Flessibilità della pianta 6. Flessibilità della struttura 7. Flessibilità dei servizi tecnici dell’edificio
	2.3 Progettazione per adattabilità e riqualificazione EU (<i>Design for adaptability and renovation</i>)	1. Adattabilità degli spazi distributivi (in m) 2. Adattabilità degli impianti tecnici dell’edificio (livelli predefiniti) 3. Adattabilità dei sistemi di facciata e della struttura portante dell’edificio (livelli e dimensioni predefinite per classi di unità tecnologiche)
UNI PdR/13	B.3.7 Adattabilità a usi futuri (solo per uffici)	Il credito fa riferimento all’indicatore 2.3 di Level(s) per le modalità di calcolo
CAM	2.3.7 Fine vita	Consegna di un piano per la disassemblabilità e demolizione selettiva a fine vita

8.2.2. Durabilità e disassemblabilità di componenti e materiali

Le metriche utilizzate per la valutazione delle prestazioni di durabilità e disassemblabilità generalmente considerano la percentuale di materiali e componenti utilizzati nell’edificio che corrispondono a un livello minimo di disassemblabilità o che, a seguito di una decostruzione selettiva, possono essere riciclati/riutilizzati. Su questo specifico tema, gli strumenti italiani risultano estremamente vaghi nelle metriche e modalità di verifica delle stesse, e lacunosi rispetto alla durabilità dei componenti come concetto intrinsecamente connesso alla circolarità delle risorse (si veda la Tabella 8.5).

Tabella 8.5 – Selezione di criteri e indicatori su durabilità e disassemblabilità.

Sistema	Criterio	Metodo di calcolo e/o indicatore
DGNB	TEC1.6 Facilità di recupero e riciclaggio dei materiali	1.1 Selezione di materiali da costruzione facili da riciclare (%) 2.1 Struttura dell'edificio recuperabile (%) 3.1 Stima delle quantità soggette a recupero, conversione e riciclo – progettazione preliminare (%) 3.2 Stima delle quantità soggette a recupero, conversione e riciclo – progettazione esecutiva (%)
Level(s) EU	2.4 Progettazione per decostruzione, riuso e riciclo (<i>Design for deconstruction, reuse and recycling</i>)	Punteggio di circolarità (kg) Punteggio di circolarità (€)
UNI PdR/13	B.3.6 Facilità di disassemblaggio	Peso dei materiali facilmente smontabili su peso totale dei materiali (%)
CAM	2.4.1.1 Disassemblabilità	Peso dei componenti edilizi e degli elementi prefabbricati, esclusi i fissaggi, che si prevede di sottoporre a demolizione selettiva a fine vita e di rendere riciclabili o riutilizzabili/ peso totale dei materiali >50 % (>15% materiali non strutturali)

8.2.3. Barriere e driver all'implementazione

Quando si tratta di valutare quanto un edificio è facile da smontare, recuperare nei suoi componenti e/o realizzato con materiali che nel futuro potranno essere facilmente riciclati o altrimenti recuperati, le metriche di valutazione diventano meno chiare e più soggettive rispetto a quelle presentate nella sezione precedente. Ne emerge un quadro complesso, caratterizzato da indicatori frammentati e metriche di valutazione della circolarità di un progetto la cui applicazione è spesso non vincolante. Rendere le valutazioni il più possibile oggettive e confrontabili risulta più semplice per le fasi di pre-uso (ad es. contenuto riciclato tratto dalle EPD; registri e formulari di trasporto dei rifiuti), più complesso per i criteri relativi alle fasi post-uso, per i quali esistono solo procedure di calcolo di iniziativa privata (ad es. quelle fornite da BREEAM o DGNB).

Ciò risulta particolarmente evidente nei CAM, dove, ad esempio, per il criterio 2.3.7 – Fine vita, il metodo di verifica si limita a prescrivere che “il

progettista deve redigere il piano di disassemblaggio e demolizione selettiva”, senza stabilire parametri di riferimento chiari, soglie o indicatori specifici. Malgrado siano state definite e pubblicate a tal fine norme tecniche dedicate, come la ISO 20887 – *Sustainability in buildings and civil engineering works, Design for disassembly and adaptability* (International Standard, 2020), esse non hanno ancora trovato un riscontro concreto e diretto nel quadro nazionale. In questa prospettiva, l'**azione 2.7** delle Linee Guida propone la definizione di norme tecniche dedicate alla valutazione di disassemblabilità/durabilità. L'intento è quello di superare gli attuali ostacoli normativi che le imprese si trovano ad affrontare per caratterizzare i propri prodotti, consentendo così di renderli comparabili con gli analoghi più diffusi sul mercato, quindi competitivi. Ciò risulta particolarmente evidente nei CAM, dove, ad esempio, per il criterio 2.3.7 – Fine vita, il metodo di verifica si limita a prescrivere che “il progettista deve redigere il piano di disassemblaggio e demolizione selettiva”, senza stabilire parametri di riferimento chiari, soglie o indicatori specifici. Malgrado siano state definite e pubblicate a tal fine norme tecniche dedicate, come la ISO 20887 – *Sustainability in buildings and civil engineering works, Design for disassembly and adaptability* (International Standard, 2020), esse non hanno ancora trovato un riscontro concreto e diretto nel quadro nazionale.

In questa prospettiva, l'**azione 2.7** delle Linee Guida propone la definizione di norme tecniche dedicate alla valutazione di disassemblabilità/durabilità. L'intento è quello di superare gli attuali ostacoli normativi che le imprese si trovano ad affrontare per caratterizzare i propri prodotti, consentendo così di renderli comparabili con gli analoghi più diffusi sul mercato, quindi competitivi. Ciò faciliterebbe anche la valutazione delle prestazioni in fase di progettazione ed esecuzione, ricorrendo a indicatori semplificati e armonizzati per le quattro tematiche che tipicamente riguardano la circolarità, appoggiandosi a norme tecniche strutturate e condivise. Per superare le attuali difficoltà di progettisti e operatori registrate sia negli studi pregressi che nelle interviste condotte nell'ambito di questo progetto, risulta cruciale disporre di indicatori facili da calcolare, che utilizzano dati di agevole determinazione – come la percentuale di materiale conforme al criterio sul totale dei materiali utilizzati (in kg o t) – e che prevedano la possibilità di integrare la valutazione attraverso un sistema di punteggio. Un approccio complementare, considerato promettente, è quello proposto dal protocollo tedesco DGNB, che, sulla stessa base, assegna punteggi aggiuntivi ai crediti “trasversali”. Tali crediti sono identificati come quelli che, pur essendo destinati alla valutazione di altri aspetti, contribuiscono indirettamente a migliorare il livello di circolarità del progetto o del processo valutato.

Parimenti, emerge l'importanza di lavorare sulla formazione degli operatori economici del settore in tema di circolarità, in particolare tramite iniziative come quelle definite nell'**azione 1.3** delle Linee Guida, prevedendo percorsi di certificazione/qualificazione che portino alla progressiva diffusione di adeguate conoscenze e buone pratiche, per esempio di demolizione selettiva, non solo fra gli operatori specializzati, ma presso tutti i professionisti che a vario titolo incidono sulle scelte e sulla efficacia delle azioni messe in campo per limitare gli impatti del settore delle costruzioni.

8.3. Casi studio e buone pratiche di economia circolare per i bandi pubblici

La letteratura e il panorama internazionale del mercato delle costruzioni ormai presentano un buon numero di pratiche e casi di successo da prendere a riferimento per avanzare verso gli obiettivi di circolarità anche a livello nazionale. Questi spaziano dalla formazione dei tecnici e degli operatori, a modifiche da apportare all'apparato normativo, dallo sviluppo di strumenti digitali, alla definizione di azioni e pratiche da implementare nel processo edilizio, a diverse scale.

8.3.1. Formazione

Nonostante la mancanza di consapevolezza e conoscenze specifiche sui temi dell'economia circolare applicata alle costruzioni sia spesso citata come una barriera alla sua diffusione, tra le pubbliche amministrazioni del panorama internazionale non sono state identificate iniziative di successo finalizzate alla formazione degli operatori. Sarebbe invece utile definire programmi efficaci e adattati alle diverse figure coinvolte (progettisti, costruttori, installatori), per sensibilizzare tutti gli operatori del processo all'utilizzo di pratiche e materiali che perseguano principi di economia circolare. In questa prospettiva, l'**azione 1.3** delle Linee Guida suggerisce l'attivazione di percorsi di certificazione e/o qualificazione degli operatori economici sui temi della circolarità, gestiti a scala nazionale e/o regionale. In particolare, si raccomanda di attivare – oltre ad iniziative di sensibilizzazione – anche specifici percorsi di formazione dei soggetti che si occupano delle operazioni di demolizione e gestione dei rifiuti da C&D in cantiere, con la possibilità di ottenere certificazioni e/o qualifiche dedicate, che consentano loro di distinguersi in fase di gara, con l'effetto di alimentare

dinamiche di mercato che favoriscano i soggetti più qualificati ad occuparsi di economia circolare. Sebbene non siano state reperite buone pratiche specifiche a questo proposito, in alcuni ambiti delle costruzioni si registrano sperimentazioni di successo. È il caso della filiera del serramento, dove le norme UNI 11673:2019 – 3 e UNI 10818:2023 (UNI 11673 Posa in Opera Di Serramenti, 2019; UNI 10818 Finestre, Portefinestre, Porte Pedonali e Chiusure Oscuranti – Ruoli, Responsabilità nel Processo Di Fornitura in Opera, 2023) prescrivono che gli installatori possano eseguire determinate operazioni solo se in possesso di una qualifica adeguata: di livello 4 dell’*European Quality Framework* (EQF4) per l’installatore caposquadra che progetta e sovrintende all’esecuzione della posa, o almeno di livello EQF3 per gli addetti all’esecuzione del giunto primario.

Molteplici risorse e strumenti sono oggi reperibili in letteratura e disponibili sul mercato per la formazione degli operatori e la diffusione della consapevolezza sui temi dell’economia circolare nel settore delle costruzioni, ma la loro implementazione è ancora molto spesso su base volontaria. Così avviene, ad esempio, per le procedure di autovalutazione/guida alla transizione raccolte nella Piattaforma europea per l’economia circolare (European Commission, n.d.): sia quelle applicabili a scala urbana, sia quelle destinate ai processi gestiti dalle singole aziende. Al primo gruppo appartiene la guida prodotta dal Circular City Centre in collaborazione con la Banca Europea degli Investimenti, che offre un quadro di riferimento per l’implementazione di soluzioni circolari negli ambienti costruiti, affrontando ruoli e compiti di tutte le parti coinvolte e fornendo una lista di raccomandazioni e azioni puntuali per favorire il cambiamento (Circular City Centre – C3, 2024). Sono invece destinati alle aziende strumenti quali la *Circular Business Development Canvas*, pensata per aiutare i produttori a incorporare i principi dell’economia circolare nei propri processi e prodotti tramite un approccio strutturato, promuovendo al contempo un modello di business “rigenerativo” vantaggioso per l’ambiente e capace anche di generare valore economico e impatto sociale positivo per la collettività (Lundqvist, 2025).

Questi strumenti, insieme ai molti altri disponibili sulla Piattaforma europea, costituiscono risorse preziose per diffondere la consapevolezza dei benefici (nonché dell’urgenza) di cambiare sia il modo in cui progettiamo (o riprogettiamo) la trasformazione dell’ambiente costruito, sia le dinamiche di mercato che alimentano e regolano queste trasformazioni. Da quanto osservato nel panorama nazionale, molto raramente la formazione e il supporto guidato alla transizione circolare vengono oggi integrati strutturalmente nei programmi delle pubbliche amministrazioni, né tantomeno resi cogenti.

8.3.2. Modifiche all'apparato normativo

La rigidità e/o le inadeguatezze dell'apparato normativo attuale sono spesso menzionate in letteratura tra le principali barriere alla diffusione di pratiche di economia circolare nelle costruzioni. Ad esempio, la mancanza di standard dedicati ai prodotti circolari, o di etichette e certificazioni che permettano di riconoscerli e distinguerli sul mercato è uno dei problemi individuati da diverse fonti come critici. Su questo tema si è focalizzato il Ministero dell'Economia del Lussemburgo con il *Product Circularity Data Sheet*: l'iniziativa mira a creare uno standard industriale per raccogliere e condividere dati regolamentati sulla circolarità dei prodotti, tramite un modello di dati riconosciuto a livello internazionale e verificato tramite audit (*Product Circularity Data Sheets*, 2020) che si propone di ovviare alla difficoltà di accesso a dati affidabili, ostacolata da segreti commerciali e dalla mancanza di standard di rendicontazione.

Con analoghe finalità, l'**azione 2.7** delle Linee Guida suggerisce l'organizzazione di tavoli di lavoro finalizzati alla definizione di norme tecniche per la classificazione e la verifica dei componenti edilizi "innovativi" in tema di circolarità, puntando così a superare gli attuali ostacoli normativi e di mercato che le imprese si trovano ad affrontare per caratterizzare i propri prodotti e favorirne la diffusione sul mercato. Per implementare questa azione, alcune norme tecniche già vigenti possono essere prese a riferimento. Tra esse, la UNI 11156:2006 – Valutazione della durabilità dei componenti edilizi, e la ISO-20887:2020 – *Sustainability in buildings and civil engineering works – Design for disassembly and adaptability – Principles, requirements and guidance*, utilizzabili per la valutazione e classificazione di diverse prestazioni di circolarità, tra cui "disassemblabilità", "adattabilità", "riparabilità".

Nella formulazione delle Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (in inglese: EPD) è oggi imprescindibile fare riferimento anche alle fasi C e D del ciclo di vita, così come proposto per il *Product Circularity Data Sheet* citato sopra. Gli standard disponibili oggi per la formulazione di EPD, infatti, essendo limitati solo alle fasi iniziali del ciclo di vita, non consentono di riportare in maniera strutturata e comparabile molte informazioni rilevanti per le prestazioni di circolarità, come il potenziale "circolare" rispetto all'origine del materiale, il potenziale di smantellamento/disassemblabilità, la durabilità e il/i processo/i cui sarà avviato a fine vita (Vergés *et al.*, 2026), rendendo di fatto molto difficile per le aziende riportare anche le fasi C e D all'interno delle valutazioni LCA.

8.3.3. Strumenti

Tra le buone pratiche legate agli strumenti di supporto alla progettazione, costruzione e gestione dei processi edilizi in ottica circolare, risultano particolarmente utili e promettenti quelle che mirano a colmare le lacune conoscitive degli operatori, intervenendo, ad esempio, su prezziari e dataset di prodotti. Tali strumenti non solo contribuiscono a diffondere la consapevolezza, tra progettisti, costruttori e committenti, riguardo alla disponibilità e ai benefici dei prodotti con potenziale “circolare”, ma permettono anche di incidere sulle dinamiche evolutive del mercato, favorendo il passaggio di tali prodotti da soluzioni di nicchia alla penetrazione su più vasta scala. Questo processo avviene non soltanto in risposta a obblighi normativi, ma anche grazie alla crescita della domanda e alla maggiore sensibilità verso modelli edilizi sostenibili.

L’**azione 4.4** delle Linee Guida a tal proposito, promuove la collaborazione tra Stato, Regioni e associazioni di categoria per la definizione e lo sviluppo di un database, o piattaforma digitale aperta ai progettisti e alimentata dai produttori di materiali e componenti per l’edilizia. Prendendo ad esempio alcuni casi internazionali di successo, l’idea è che i produttori possono caricare i propri prodotti e le relative informazioni prestazionali in tale piattaforma, secondo un format predefinito, corredando i dati con EPD e altre certificazioni a supporto delle prestazioni dichiarate in chiave circolare. Oltre al sopracitato *Circularity Dataset Initiative* del Ministero dell’Economia del Lussemburgo, qui tornano utili altre sperimentazioni:

- *Unboxing Carbon* (Figura 8.2): un catalogo di materiali da costruzione, comprensivi di EPD, con interfaccia grafica e un’unità di misura (metri quadri) intenzionalmente scelte per facilitare la comprensione dei progettisti. Al momento si focalizza sull’indicatore GWP, ma potrebbe essere preso ad esempio per sviluppare un catalogo di prodotti “circolari”. Il catalogo, aggiornato al 2024, contiene una lista di materiali da costruzione sia per interni che per esterni, ed è uno dei primi ad accesso libero (Henning Larsen, 2022).
- Altri sono invece accessibili su licenza, come la *Circular Material Library* (Circular Design Co, n.d.) o teorizzati nel corso di sperimentazioni di ricerca, senza essere scaturite in un prodotto disponibile a mercato (Romani *et al.*, 2022). Altri studi hanno portato allo sviluppo di strumenti integrati per generare modelli digitali dei componenti potenzialmente riutilizzabili, come il lavoro di ETH (Zurigo) che ha sviluppato un’interfaccia capace di fornire calcoli dei costi, visualizzazioni delle emissioni di gas serra e strumenti di sintesi, garantendo la correlazione tra i modelli digitali e i materiali fisici (Law *et al.*, 2024).




Fire treated cladding Superwood	Thermo Treated Cladding Freslev	Fire Treated Heatwood Pine Woodify
		
-9.33 kg CO₂e	-8.82 kg CO₂e	-8.80 kg CO₂e
Type: fire impregnated Thickness: 21 mm Density: 436.8 kg/m ³ Lifetime: 60 years Fire rating: B-s2, d0 EPD no: NEPD-6472-5735-EN	Type: NZ Abodo wood cladding Thickness: 20 mm Density: 420 kg/m ³ Lifetime: not listed Fire rating: D-s1, d0 EPD no: MD-20032-EN	Type: fire impregnated cladding Thickness: 19 mm Density: 553 kg/m ³ Lifetime: 60 years Fire rating: B-s1,d0 if on A2-s1,d0 EPD no: NEPD-3299-1942-NO

Figura 8.2 – Esempio di materiali mappati nel database Unboxing Carbon.

Fonte: Henning Larsen Unboxing Carbon.

- A scala nazionale, si ritrovano esperienze simili, ma ancora una volta nate per rispondere ad esigenze di mercato delle certificazioni di sostenibilità degli edifici (quali il protocollo LEED e BREEAM) e non ancora dedicate, invece, alla valutazione di circolarità dei prodotti. È il caso di *GREENiTOP*, un'organizzazione italiana che mappa i prodotti sostenibili delle aziende italiane, assegnandovi l'etichetta *GiT Product Badge*, che sintetizza le prestazioni ambientali verificabili di un prodotto e identifica i crediti LEED al quale il prodotto può contribuire (*GREENiTOP*, n.d.).
- La necessità di stabilire reti informative e database condivisi sui prodotti circolari si riflette anche nel numero di progetti di ricerca internazionali che sono in corso negli ultimi anni (ad es. H2020 CIRCult 2019-2023, con quattro dimostratori a scala urbana che coinvolgono l'intera catena di valore della circolarità nelle costruzioni), o il più recente HE CIRC-BOOST 2023-2027, che si sta occupando di sviluppare e diffondere soluzioni digitali e tecniche per la costruzione di banche dati di materiali di recupero, Gemelli Digitali, nonché per la demolizione, la decontaminazione, il riciclaggio e il riutilizzo dei materiali di scarto. A livello nazionale, particolarmente degno di nota a tal proposito è il progetto transfrontaliero *Attention* tra Italia e Austria (Interreg EU), che si propone di stabilire un network di operatori, fornitori di servizi e aziende produttrici per supportare le Piccole e Medie Imprese nell'adozione di pratiche di economia circolare (Eurac, 2024).

Sulla stessa linea si colloca l'**azione 4.5** delle Linee Guida, che prevede l'aggiornamento dei Prezziari regionali per le opere edili, integrandoli con indicazioni relative alla circolarità e alla decarbonizzazione. Come emerso dalle interviste condotte nel corso di questo progetto – che hanno coinvolto pubbliche amministrazioni e progettisti –, questi ultimi incontrano spesso difficoltà nell'inserire nei capitolati d'appalto soluzioni innovative orientate alla sostenibilità e alla circolarità. Ciò accade perché i prezziari regionali di riferimento includono principalmente soluzioni “tradizionali” e, anche quando sono presenti opzioni più avanzate, queste risultano spesso difficili da individuare o distinguere dalle altre. A tal fine, sarebbe utile che ogni regione includesse l'obbligo di distinguere/identificare nei prezziari le soluzioni che rispettino criteri di circolarità pari almeno alle soglie minime dei CAM (ad es. percentuale di riciclato per categoria di materiale, percentuale del componente che può essere disassemblato e riciclato), mediante etichette o codici dedicati. Alcune regioni hanno già avviato questa sperimentazione, come Regione Toscana, che nel 2019 ha introdotto un primo elenco di prodotti CAM, che possono fornire un primissimo aiuto nello sviluppo di una progettazione rispondente a quanto previsto nei decreti ministeriali nelle ipotesi in cui gli stessi devono essere applicati, fornendo ai progettisti un primo strumento operativo di riferimento attraverso il quale poter adempiere al dettato normativo, in funzione delle scelte progettuali attuate (Regione Toscana, 2019). Per facilitare la lettura, i prodotti CAM sono stati inseriti con lo stesso codice di corrispondenza dei prodotti “no CAM”, preceduti dall'acronimo stesso nel loro codice identificativo. Simili azioni possono avvalersi della collaborazione con enti di certificazione, per definire criteri univoci utili anche a determinare il contributo offerto dai prodotti descritti ai fini dell'ottenimento di punteggi premiali secondo i più diffusi sistemi di rating (GBRS), o altrimenti utilizzando certificazioni di prodotto rilasciate da organismi di valutazione della conformità che attestino il contenuto di riciclato dei prodotti attraverso l'esplicitazione del bilancio di massa, come *ReMade in Italy*® (ReMade, n.d.).

8.3.4. Indirizzi e azioni per il processo edilizio

Per migliorare le prestazioni di circolarità di un intero edificio e/o di un processo edilizio rispetto alle fasi di pre-uso (**azione 5.3**), la letteratura e il mercato delle costruzioni offrono numerose esperienze di successo, tra le quali:

- L'utilizzo di tecnologie digitali per facilitare le operazioni di cantiere, tra cui quelle che riguardano il riconoscimento dei materiali e la gestione dei

rifiuti da C&D. In particolare, è sempre più diffuso l'utilizzo di scanner LiDAR (*Light Detection and Ranging*) integrati in alcuni modelli di smartphone o tablet, per aiutare anche gli operatori meno esperti a ottenere immagini 3D e dettagli del sito, da utilizzare per il riconoscimento del potenziale di riuso/riciclo dei rifiuti da C&D (*European Digital Innovation Hubs*, 2024).

- Ciò si lega a progetti innovativi legati ad azioni finanziate dal programma *Horizon 2020* della Commissione Europea, finalizzate a migliorare la diffusione delle pratiche circolari nel settore. Tra questi, il progetto BAMB (*Buildings as Material Banks*) propone l'introduzione di strumenti digitali per la mappatura dei rifiuti da C&D con potenziale circolare, per alimentare banche dati dedicate e filiere circolari (BAMB, n.d.). Altri progetti si focalizzano invece sullo sviluppo di materiali con quote di riciclato sempre più consistenti, o l'utilizzo di materiali da nuove filiere di recupero (*New Materials: Reducing Building's Embodied Energy*, n.d.).
- Tali progetti si appoggiano necessariamente a centri e reti di recupero e gestione dei flussi di materiali che sono imprescindibili per l'attuazione concreta e diffusa dell'economia circolare. Alcune esperienze internazionali di successo in questo campo sono quelle di Rotor Deconstruction – un'associazione belga attiva dal 2014 nella demolizione selettiva e recupero di materiali edili e arredi moderni, con un negozio fisico e online (RotorDC, n.d.); Salvo – britannica, una delle prime piattaforme digitali di vendita di prodotti e materiali di recupero da C&D (Salvo, n.d.); *Harvest Map* dello studio Superuse – olandese, un modello per la raccolta dati su base GIS, aperta a qualsiasi utente, per i rifiuti da C&D con potenziale di riuso/riciclo (Superuse Harvest Map, n.d.). Lo stesso modello è stato poi replicato, a livello nazionale, con un tentativo dell'associazione Giacimenti Urbani, dove tuttavia gli annunci dedicati a materiali da costruzione sono ancora oggi molto limitati (Giacimenti Urbani, n.d.).

Per migliorare le prestazioni di circolarità di un edificio e/o processo edilizio rispetto alle fasi di post-uso (**azione 5.4**), alcuni progetti di ricerca ed esperienze in corso offrono spunti di interesse, benché rimangano ancora troppo spesso limitati all'orizzonte della sperimentazione – ad eccezione di poche realtà come quella mostrato in Figura 8.3. Tra queste:

- Un cambio di prospettiva sulla circolarità è quello promosso dall'Università Tecnica di Delft con il progetto *Façade-as-a-service*, in cui vengono affrontati gli aspetti gestionali e le implicazioni finanziarie dei concetti – spesso solo teorizzati – di *design for disassembly and adaptability*, proponendo un nuovo *business model* per l'edilizia, in chiave circolare (Azcárate-Aguerre *et al.*, 2023). La ricerca ha dimostrato che gli attuali modelli finanziari, gestionali e di governance del

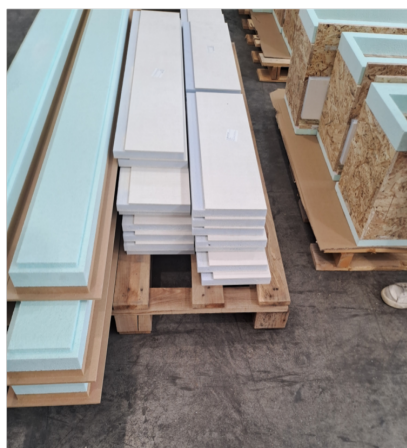


Figura 8.3 – Progettazione circolare già dalle fasi di produzione: l'elemento diagonale utilizzato per irrigidire il modulo abitativo prefabbricato in fase di trasporto sarà utilizzato nei collegamenti verticali dell'edificio.

Fonte: Foto degli autori. Courtesy Marlegno.

mercato delle costruzioni in molti casi non sono adeguati a consentire una efficace applicazione del modello di business *Product as a Service* (PaaS). Il disallineamento fra assetto finanziario e schema gestionale aumenta la complessità, la percezione del rischio e quindi il costo delle alternative PaaS, limitandone l'adozione nonostante il crescente interesse del mercato. Benché applicato a una specifica unità tecnologica, questo studio ha fatto emergere l'esigenza di riorganizzare radicalmente il modo in cui pensiamo, progettiamo, costruiamo e gestiamo gli edifici. Non basta utilizzare materiali con contenuto in riciclato o acquisire i componenti insieme ai servizi necessari per mantenerli in esercizio durante il loro intero ciclo di vita: occorre un cambio di prospettiva fondamentale che induca a considerare gli edifici non unità funzionali finite, ma depositi temporanei materiali. Il che produce effetti dirompenti sull'assetto dei mercati di investimento immobiliare e rischia di pregiudicarne la stabilità (Jayakodi *et al.*, 2024).

- Gli stessi approcci “circolari” alla progettazione necessitano di un cambio di paradigma nei modelli gestionali e di consumo. Tra questi emerge la necessità di attribuire al produttore parte del costo e della responsabilità della gestione del fine vita di un componente (*Extended Producer Responsibility*), come si è sperimentato in alcune prime applicazioni in Olanda e Francia. Nel primo caso, il test ha investito la filiera del vetro piano, i cui i produttori pagano una quota dei costi di recupero dei propri prodotti a fine vita, versandoli ad un operatore unico di coordinamento a livello nazionale, incaricato della gestione del processo (progetto GBA). In Francia, invece, la sperimentazione è estesa all'intero settore edilizio e prevede che ogni operatore economico paghi una quota in base alle previste modalità di gestione dei propri prodotti a fine vita. Le risorse che così si rendono disponibili sono utilizzate per supportare e migliorare il sistema di raccolta di rifiuti da C&D a livello nazionale (progetto PRO Valobat) (Graaf *et al.*, 2024). In materia di EPR, secondo BPIE sono applicabili due modelli: uno prevede che la responsabilità del ciclo di vita del prodotto sia in capo a ciascun produttore (responsabilità individuale), l'altro affida questa responsabilità ad un'organizzazione condivisa (responsabilità collettiva – PRO, *Producer Responsibility Organization*), soluzione che pare preferibile, perché permetterebbe di abbattere parte dei costi e rendere il processo più efficiente. Quando una filiera di recupero è gestita da più PRO, quindi non vi è monopolio, si innescano meccanismi competitivi, che tendono ad abbattere ulteriormente i costi di gestione. In alcuni casi, come quello francese, i PRO sono organizzazioni no-profit previste per legge.

Riferimenti bibliografici

- Azcárate-Aguerre, J. F., den Heijer, A. C., Arkesteijn, M. H., Vergara d'Alençon, L. M., & Klein, T. (2023). *Façades-as-a-Service: Systemic managerial, financial, and governance innovation to enable a circular economy for buildings. Lessons learnt from a full-scale pilot project in the Netherlands*, *Frontiers in Built Environment*, vol 9. Disponibile al link: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1084078>
- BAMB. (n.d.). Disponibile al link: <https://cordis.europa.eu/project/id/642384>
- Brincat, C., de Graaf, I., Vargas, C. L., Mitsios, A., & Neubauer, N. (2023). *Study on measuring the application of circular approaches in the construction industry ecosystem* (European Innovation Council and SMEs Executive Agency (EISMEA), Ed.), European Union. Disponibile al link: <https://doi.org/10.2826/488711>
- Circular City Centre – C3. (2024). *A guide for circularity in the urban built environment*, European Investment Bank. Disponibile al link: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/2025-02/a-guide-for-circularity-in-the-urban-built-environment.pdf>
- Circular Design Co. (n.d.). *Circular Material Library*. Disponibile al link: <https://circularmateriallibrary.org/>
- DGNB. (2024, May). *DGNB Quality standard for circularity indices*.
- Dodd, N., Donatello, S., & Cordella, M. (2021a). Level(s) indicator 2.3: Design for adaptability and renovation user manual: introductory briefing, instructions and guidance. *JCR Technical Report*.
- Dodd, N., Donatello, S., & Cordella, M. (2021b). Level(s) indicator 2.4: Design for deconstruction user manual: introductory briefing, instructions and guidance (Publication version 2.0). *JRC Technical Reports*.
- Donatello, S., & Dodd, N. (2021). Level(s) indicator 2.2: Construction and Demolition waste and materials. Disponibile al link: <https://ec.europa.eu/jrc>
- Donatello, S., Dodd, N., & Cordella, M. (2021). *Level (s) indicator 2.1: Bill of Quantities, materials and lifespans*, European Commission, pp. 1-34.
- Eurac. (2024). *Attention*. Disponibile al link: <https://www.eurac.edu/it/institutes-centers/istituto-per-le-energie-rinnovabili/projects/attention>
- European Commission. (n.d.). *Circular Economy Stakeholders Platform – Toolkits and guidelines*. Disponibile al link: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/toolkits-guidelines>
- European Commission. (2021). *Level(s): Mettere in pratica la circolarità*. Disponibile al link: <https://doi.org/10.2779/888513>
- European Digital Innovation Hubs. (2024). *LiDAR sensor applied in construction sites*. Disponibile al link: <https://european-digital-innovation-hubs.ec.europa.eu/knowledge-hub/success-stories/lidar-sensor-applied-construction-sites>
- Giacimenti Urbani. (n.d.). Disponibile al link: <https://www.giacimentiurbani.eu/la-mappa/>
- Graaf, L., Toth, Z., Broer, R., & Oriol, J. (2024). *Extended Producer Responsibility in the construction sector*. Disponibile al link: <https://www.bpie.eu/publication/extended-producer-responsibility-in-the-construction-sector/>

- GREENiTOP. (n.d.). Disponibile al link: <https://www.greenitop.com/it/>
- Henning Larsen. (2022). *Unboxing Carbon*. Disponibile al link: <https://www.henninglarsen.com/projects/unboxing-carbon>
- International Standard. (2020). ISO 20887: Sustainability in buildings and civil engineering works – Design for disassembly and adaptability.
- Jayakodi, S., Senaratne, S., & Perera, S. (2024). Circular Economy Business Model in the Construction Industry: A Systematic Review, *Buildings*, vol. 14, n. 2, p. 379. Disponibile al link: <https://doi.org/10.3390/buildings14020379>
- Law, I., Chang, K. C., Önalán, B., Reisach, D., Griffioen, S., de Saussure, A., Dillenburger, B., & De Wolf, C. (2024). Web-Based Material Database for Circular Design, in *Scalable Disruptors*, pp. 116-127, Springer Nature Switzerland. Disponibile al link: https://doi.org/10.1007/978-3-031-68275-9_10
- Lundqvist, E. (2025). *Circular Business Development Lifecycle Assessment Canvas*. Disponibile al link: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/2025-02/Circular%2BBusiness%2BDevelopment%2BCanvas%2BPack%2B-%2BVersion%2B1%2C%2BJanuary%2B2025%2B-%2BThe%2BGood%2BTribe.pdf>
- New materials: Reducing building's embodied energy*. (n.d.). Disponibile al link: <https://cordis.europa.eu/article/id/400001-embodied-energy>
- Product Circularity Data Sheets*. (2020). Disponibile al link: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/good-practices/product-circularity-data-sheet-solution-access-circularity-data>
- Regione Toscana. (2019). *Prezzario 2019 dei lavori pubblici*. Disponibile al link: <https://www.regione.toscana.it/-/prezzario-2019-dei-lavori-pubblici-della-toscana-in-vigore-dall-1-gennaio>
- ReMade. (n.d.). <https://www.remade.it/>
- Romani, A., Prestini, F., Suriano, R., & Levi, M. (2022). Material Library System for Circular Economy: Tangible-Intangible Interaction for Recycled Composite Materials. In M. Colledani & S. Turri (a cura di), *Systemic Circular Economy Solutions for Fiber Reinforced Composites*, Springer. Disponibile al link: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-22352-5_18
- RotorDC. (n.d.). Disponibile al link: <https://rotordc.com/>
- Salvo. (n.d.). Disponibile al link: <https://www.salvoweb.com/>
- Scolaro, A. M., Marchi, L., & Corridori, S. (2021). Mapping of building cycle waste for scenarios of industrial symbiosis, *TECHNE*, vol. 22, pp. 131-139. Disponibile al link: <https://doi.org/10.36253/techne-10581>
- Superuse Harvest Map*. (n.d.). Disponibile al link: <https://projects.superuse-studios.com/projects/oogstkaart/>
- UNI 8290: Edilizia Residenziale. Sistema Tecnologico. Classificazione e Terminologia (1981).
- UNI 10818 Finestre, Portefinestre, Porte Pedonali e Chiusure Oscuranti – Ruoli, Responsabilità nel Processo di Fornitura in Opera (2023). Disponibile al link: <https://store.uni.com/uni-10818-2023>
- UNI 11673 Posa in Opera Di Serramenti (2019). Disponibile al link: <https://store.uni.com/uni-11673-3-2019>

Vergés, R., Gaspar, K., & Forcada, N. (2026). Large-scale analysis of environmental and circularity metrics in construction products through automated data extraction using large language models, *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 117, p. 108243. Disponibile al link: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2025.108243>

LINEE GUIDA INTEGRATE

La crescente attenzione verso la decarbonizzazione, l'efficienza energetica, la gestione sostenibile delle risorse e la digitalizzazione dei processi rende necessario ripensare le pratiche con cui la Pubblica Amministrazione pianifica, progetta e realizza le opere pubbliche. Rispondere a tali sfide presuppone la disponibilità di strumenti metodologici solidi, coerenti con gli sviluppi normativi e allo stesso tempo facilmente applicabili nei diversi ambiti operativi. È in questo contesto che si inseriscono le Linee Guida Integrate, sviluppate nell'ambito del progetto PRIN *Better Policy – Building Environmental Tools To Empower Responsive Policies Outreaching LifeCycle*. Il loro obiettivo è di fornire alla Pubblica Amministrazione un riferimento chiaro e aggiornato, potenzialmente in grado di orientare i processi decisionali e attuativi legati alla trasformazione sostenibile dell'ambiente costruito, con un approccio che coniuga rigore scientifico e operatività.

La transizione ecologica e digitale richiede un aggiornamento strutturale delle procedure di pianificazione, progettazione, gestione e controllo delle opere pubbliche. Ai fini della loro efficacia, tali procedure devono adottare metodiche *life-cycle oriented*, capaci di guidare le scelte in modo trasparente, misurabile e verificabile. Le Linee Guida proposte vogliono offrire risposte strutturate a tale esigenza proponendo un lavoro integrato che mette in relazione quattro domini tematici interconnessi: *Life Cycle Assessment* (LCA), Decarbonizzazione (DEC), Circolarità (CIR) e Digitalizzazione e *smartness* (DIG).

La metodologia di lavoro

L'impianto metodologico delle Linee Guida si basa su tre principi chiave:

1. Approccio sistemico al ciclo di vita

Ogni decisione relativa ad appalti, progettazione, esecuzione e gestione delle opere pubbliche viene valutata secondo una prospettiva di ciclo di vita. Questo permette di considerare in modo completo e comparabile gli impatti ambientali, energetici, economici e prestazionali, fornendo la base per definire indicatori, *benchmark* e criteri operativi.

2. Allineamento con il quadro normativo europeo e nazionale

Le Linee Guida sono pienamente coerenti con le più recenti evoluzioni regolatorie, tra cui: il principio *Energy Efficiency First* e la EPBD IV; l'introduzione dello *Smart Readiness Indicator* (SRI) nel Codice degli Appalti (D.Lgs. 36/2023); i Criteri Ambientali Minimi (CAM); l'esigenza crescente di strumenti LCA armonizzati; le politiche europee su circolarità dei materiali da costruzione e gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione; le strategie europee e nazionali per la decarbonizzazione del settore delle costruzioni, a partire dal *Green Deal*, dalla *Renovation Wave* e dagli obiettivi al 2030 e 2050.

3. Operatività multiscala e multiruolo

Le strategie proposte considerano una distinzione tra PA che promuovono e adottano strumenti normativi (normatore) e PA che gestiscono processi attuativi (promotore), considerando i diversi livelli territoriali (dal nazionale al comunale) e tutti gli attori coinvolti: RUP, progettisti, costruttori, fornitori, enti di verifica, gestori e utenti finali. Questo approccio

permette di declinare gli indirizzi strategici in modo aderente ai contesti locali e subito applicabile nelle diverse fasi di realizzazione dell'opera pubblica.

Obiettivi delle Linee Guida

Le Linee Guida si pongono l'obiettivo di creare un quadro coerente che armonizzi strumenti e procedure nei quattro domini tematici, evitando duplicazioni e incompatibilità. Allo stesso tempo, intendono valorizzare le sinergie tra LCA, decarbonizzazione, circolarità, digitalizzazione e *smartness*, rafforzando la disponibilità di strumenti a supporto della capacità decisionale della Pubblica Amministrazione, accompagnando l'attuale transizione ecologica e digitale del settore delle costruzioni attraverso processi chiari, misurabili e condivisi.

Il principio che ne alimenta la strutturazione è tradurre conoscenze scientifiche complesse in indicazioni operative concrete, applicabili lungo tutto il ciclo di vita dell'opera pubblica. Le Linee Guida forniscono così supporto nella definizione di politiche più efficaci, integrando formazione, aggiornamento normativo, *benchmark* e strumenti pratici.

Struttura delle Linee Guida

Ogni scheda operativa ha una struttura omogenea e comune, articolata in quattro chiavi metodologiche:

Scale e ruoli – Dal livello nazionale a quello comunale, distinguendo tra PA che promuovono e adottano strumenti normativi e PA che gestiscono processi attuativi, includendo tutti gli operatori del processo edilizio.

- PA come soggetto *normatore*. In questa accezione, la PA esercita il ruolo di *definizione delle regole*, degli standard e degli strumenti che orientano la transizione ecologica e digitale nel settore delle costruzioni. Le funzioni si articolano su diversi livelli territoriali, ciascuno con competenze complementari:
 1. Nazionale: definisce standard, misure di sostegno e incentivi, anche al fine di supportare gli operatori economici "virtuosi".
 2. Regionale: svolge un ruolo di facilitatore, ovvero assicura il coordinamento tra gli stakeholder locali, promuove la realizzazione delle infrastrutture necessarie (fisiche e digitali) e declina gli indirizzi nazionali rispetto alle specificità territoriali.
 3. Scala intermedia, ove rilevante (ad es. Città metropolitana/Provincia): svolge funzioni di coordinamento tecnico-amministrativo tra Comuni; supporta l'armonizzazione dei regolamenti edilizi; favorisce l'aggregazione della domanda pubblica; monitora l'attuazione delle politiche sovralocali.
 4. Comunale (o Unione di Comuni): stabilisce i requisiti di progettazione e costruzione, corredati da opportuni strumenti/criteri di valutazione e verifica.
- PA come soggetto *promotore*. In questo ruolo, la PA è il *motore operativo* dei processi decisionali e attuativi legati alla realizzazione delle opere pubbliche. Agisce come committente, responsabile della qualità degli interventi e coordinatore degli operatori coinvolti lungo tutto il ciclo di vita dell'opera quali:
 1. Committente, o Stazione appaltante;
 2. Responsabile Unico del Procedimento (RUP);
 3. Operatori economici: Progettisti; Direttore Lavori; Fornitori di tecnologie; Costruttori; Ente di certificazione/verifica/collaudatore; Facility Manager/gestore; Utente finale.

Temi – LCA, DEC, CIR, DIG, intesi come domini integrati e complementari.

- (LCA) *Life Cycle Assessment*. L'integrazione del *Life Cycle Assessment* nel processo progettuale delle opere pubbliche sconta un attuale vuoto normativo e di supporto metodologico a livello nazionale. Questo richiede uno sforzo a livello di pianificazione a lungo termine per definire i modi, i tempi e il campo di applicazione di un tale strumento, molto potente ed efficace nell'individuare i punti critici a livello ambientale che interessano l'edificio, quanto difficile da comparare e valutarne i risultati in assenza di un quadro di valutazione comune. Le linee guida propongono inoltre delle strategie di intervento a livello del singolo progetto, lungo le varie fasi (dal bando di gara alla gestione del fine vita).
- (DEC) *Decarbonizzazione*. Il contributo tematico dedicato agli aspetti di decarbonizzazione ha l'obiettivo di fornire un quadro di riferimento metodologico e operativo nelle fasi del processo decisionale e rivolgendosi ai diversi attori coinvolti fornendo strategie multilivello, volte a ridurre le emissioni nei processi decisionali, gestionali e di pianificazione delle amministrazioni pubbliche. Ciò è possibile operando in materia di formazione, di valutazione, arricchendo gli strumenti già a disposizione (CAM).
- (CIR) *Circularità*. I temi portanti del contributo tematico sulla circolarità si dividono tra strategie che riguardano le fasi di pre-uso o pre-consumo, e post-consumo: la prima include indicazioni sui materiali riciclati, e sulla gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione; la seconda su durabilità, facilità di riparazione/sostituzione e flessibilità di materiali e componenti, e la facilità di disassemblaggio e riuso a fine vita. Rispetto all'attuale quadro normativo e regolamentare, si ritiene che i temi di questa seconda fase vadano fortemente integrati a tutti i livelli e rispetto a tutti i ruoli, mentre sulla fase di pre-uso occorra rafforzare le procedure di valutazione.
- (DIG) *Digitalizzazione e smartness*. La transizione digitale che coinvolge il settore delle costruzioni sta assurgendo nel tempo a driver attuativo delle politiche pubbliche europee, basate sul principio dell'*Energy Efficiency First* e tracciate per guidare gli Stati membri verso un modello di sviluppo sostenibile e resiliente, fondato su inclusività e *smartness*. Il concetto di *smartness* degli edifici è riferito alla loro capacità di interagire in modo intelligente con gli utenti e con le reti energetiche, rendendo gli interventi compatibili con le tecnologie digitali. Lo *Smart Readiness Indicator* (SRI) è il relativo indicatore di misura, introdotto dall'EPBD IV. È applicato in maniera sperimentale in diversi Stati; in Italia è recepito dal Codice degli Appalti D.Lgs. n. 36/2023.

Categorie e fasi del processo: Le strategie sono organizzate/organizzabili anche secondo categorie tematiche che seguono le diverse fasi della pianificazione e del processo edilizio. In particolare, per quanto riguarda il ruolo della PA come soggetto normatore, si individuano quattro gruppi di indicazioni strategiche per la pianificazione della transizione ecologica e digitale a lungo termine: 1. Formazione; 2. Proposte di modifica dell'apparato legislativo; 3. Definizione di *benchmark*/valori limite; 4. Strumenti di supporto.

Seguono poi gli indirizzi e azioni per il processo edilizio, organizzati in:

1. Bando di gara; 2. Progettazione; 3. Affidamento; 4. Esecuzione; 5. Gestione; 6. Fine vita.

Livelli di implementazione:

- *Livello base (L1):* comprende azioni essenziali, immediatamente applicabili e considerate prioritarie per avviare in tempi brevi l'implementazione delle pratiche nei quattro domini tematici.
- *Livello avanzato (L2):* comprende azioni ad alto potenziale, capaci di rafforzare e ampliare l'adozione delle pratiche su larga scala. Si tratta di interventi che richiedono un impegno maggiore da parte della PA e degli altri attori del processo edilizio; per questo, in alcuni casi, se ne suggerisce l'associazione a meccanismi di premialità all'interno del processo.

In questa prospettiva, l'intento è quello di offrire alla Pubblica Amministrazione uno strumento realmente utilizzabile, capace di tradurre obiettivi spesso astratti – come sostenibilità, decarbonizzazione, circolarità o digitalizzazione/*smartness* – in pratiche quotidiane, verificabili e adattabili ai diversi contesti.

Grazie all'impostazione integrata che mette in relazione metodologie, strumenti e livelli di governance, le linee guida si propongono di facilitare la programmazione, progettazione, realizzazione di opere pubbliche e rafforzare la capacità amministrativa della PA, fornendo un supporto chiaro per orientarsi tra norme, adempimenti, criteri ambientali e innovazioni tecnologiche che stanno rapidamente evolvendo.

Le Linee Guida mirano anche a promuovere l'adozione di strumenti digitali e indicatori condivisi, favorendo così un linguaggio comune tra amministrazioni, progettisti, imprese e organismi di controllo. Un aspetto cruciale per rendere più trasparenti e comparabili i processi decisionali.

Infine, l'approccio qui proposto vuole contribuire alla diffusione di una cultura del ciclo di vita e dell'innovazione responsabile. Una cultura che non si limiti a rispondere agli obblighi normativi, ma che riconosca nel progetto, nella gestione e nel fine vita delle opere pubbliche un'occasione per generare valore ambientale, economico e sociale.

Ci si auspica così di contribuire a una transizione ecologica e digitale realmente praticabile, misurabile e condivisa, capace di incidere concretamente sulla qualità dell'ambiente costruito e dei servizi offerti ai cittadini.

Autori delle Linee Guida:

Università degli Studi di Genova, Dipartimento Architettura e Design
Margherita Pongiglione, Adriano Magliocco, Maria Canepa

Politecnico di Milano, Dipartimento di Architettura, ingegneria delle costruzioni e ambiente costruito (DABC), LifeCycleTEAM
Davide Tirelli, Anna Dalla Valle, Serena Giorgi, Ilaria Oberti, Monica Lavagna, Andrea Campioli

Università di Bologna, Dipartimento di Architettura
Lia Marchi, Jacopo Gaspari, Ernesto Antonini

Università Mediterranea di Reggio Calabria, Dipartimento di Ingegneria Civile, dell'Energia, dell'Ambiente e dei Materiali e Dipartimento di Architettura e Design
Massimo Lauria, Francesca Giglio, Maria Azzalin, Giovanna Maria La Face

1. Indice delle Linee Guida

Di seguito l’indice delle schede costituenti le Linee Guida, articolate rispetto a specifici ambiti. Il primo blocco è elencato rispetto ad una pianificazione a lungo termine che rappresenta il primo livello di intervento necessario per orientare in modo solido e coerente le politiche della Pubblica Amministrazione verso la sostenibilità. Le azioni sono articolate secondo una logica multilivello (nazionale, regionale, metropolitana/provinciale, locale) e sono distinte tra livello base (L1) e avanzato (L2), in funzione del grado di impegno richiesto e della maturità delle pratiche. Il secondo blocco riguarda l’applicazione delle strategie nelle fasi operative del processo edilizio: bando, progettazione, affidamento, esecuzione, gestione e fine vita. Anche in questo caso sono previsti livelli L1 e L2, distribuiti lungo l’intero ciclo di vita.

Pianificazione a lungo termine

Livello

L1

base

L2

avanzato

Scala di

applicazione

N

Nazionale

M

Metropolitana/Prov.

R

Regionale

L

Locale

Ambiti	Scala di applicazione			
1. FORMAZIONE	N	R	M	L
1.1 Formazione e riorganizzazione del personale PA	L1			
1.2 Formazione per operatori economici	L1			
1.3 Certificazione/qualificazione per operatori economici	L2			
2. APPARATO NORMATIVO				
2.1 Revisione e integrazione Criteri Ambientali Minimi (CAM)	L1			
2.2 Metodologia LCA avanzata (per il codice appalti/CAM)	L2			
2.3 Smart Readiness Indicator (SRI) e Performance Energetica (EPC)	L1			
2.4 Criteri quantitativi per i bandi pubblici (ad es. POR/FESR)		L1		
2.5 Criteri quant. per la pianificazione municipale – Edilizia pubblica			L1	L1
2.6 Criteri quant. per la pianificazione municipale – Edilizia privata			L2	L2
2.7 Norme tecniche per disassemblabilità/durabilità	L2			
2.8 E-procurement – Fascicolo Virtuale dell’Operatore Economico	L2			
3. BENCHMARK/VALORI LIMITE				
3.1 Valori limite per GWP (obbligatori dal 2030)	L1	L1		L1
3.2 Valori benchmark LCA	L2	L2		L2
3.3 Registro delle valutazioni LCA e relazioni di sostenibilità	L2	L2		L2
3.4 Framework tecnico SRI	L1			

4. STRUMENTI

4.1 Metodologie standard di calcolo a livello nazionale	L1			
4.2 Banca dati LCA	L1			
4.3 Tool di calcolo LCA	L1			
4.4 Banca dati prodotti circolari	L2	L2		
4.5 Prezzari con indicazioni su circolarità e decarbonizzazione	L1	L1		
4.6 Tool di calcolo smartness	L1			

Processo per l'intervento edilizio

<i>Livello</i>	L1	base	<i>Fase</i>	a. Bando di gara	d. Esecuzione
	L2	avanzato		b. Progettazione	e. Gestione
				c. Affidamento	f. Fine vita

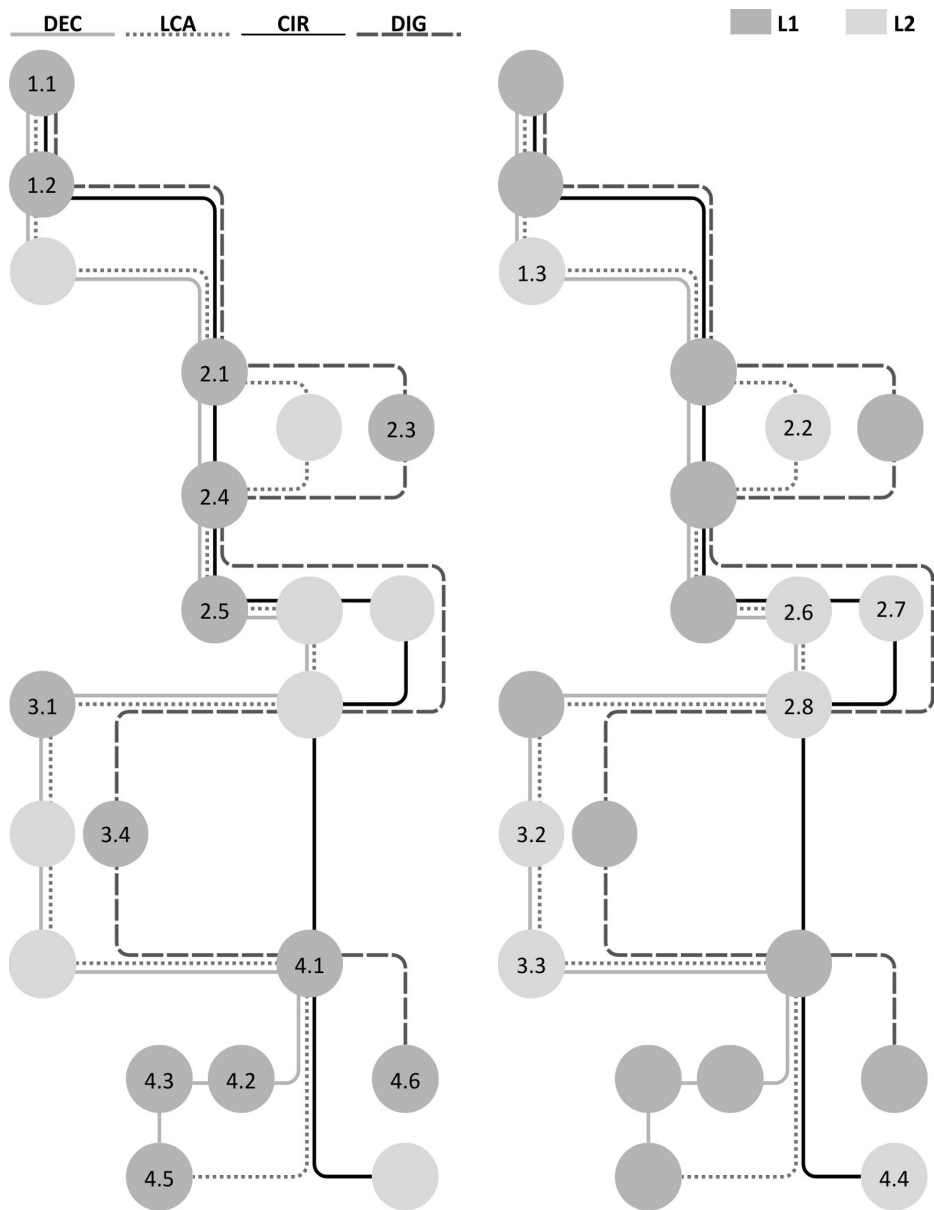
Ambiti	Fase					
	a	b	c	d	e	f
5. INDIRIZZI E AZIONI						
5.1 Obiettivi strategici di decarbonizzazione, LCA, circolarità, digitalizzazione e smartness (QE)	L1					
5.2 Standard tecnici nel piano di gestione informativa (DOCFAP)	L2					
5.3 Requisiti e premialità per progetti migliorativi in fase di pre-uso (DOCFAP)	L1					
5.4 Requisiti e premialità per progetti migliorativi in fase di post-uso (DOCFAP)	L2					
5.5 Scenari tecnici per la fase d'uso (DOCFAP)	L2					
5.6 Calcolo GWP per interventi pubblici (DIP)	L1					
5.7 Calcolo LCA per interventi pubblici (DIP)	L2					
5.8 Standard tecnici per i documenti di programmazione (DIP, PFTE)	L2	L2				
5.9 Checklist di auto-valutazione di circolarità per i progettisti (PFTE)		L1				
5.10 Relazione di sostenibilità con calcolo LCA (PFTE)		L1				
5.11 Check di auto-valutazione di smartness (PFTE)		L2				
5.12 Componenti tecnologiche smart (PFTE)		L1				
5.13 Certificazione EPD di materiali e componenti (PE)				L1		

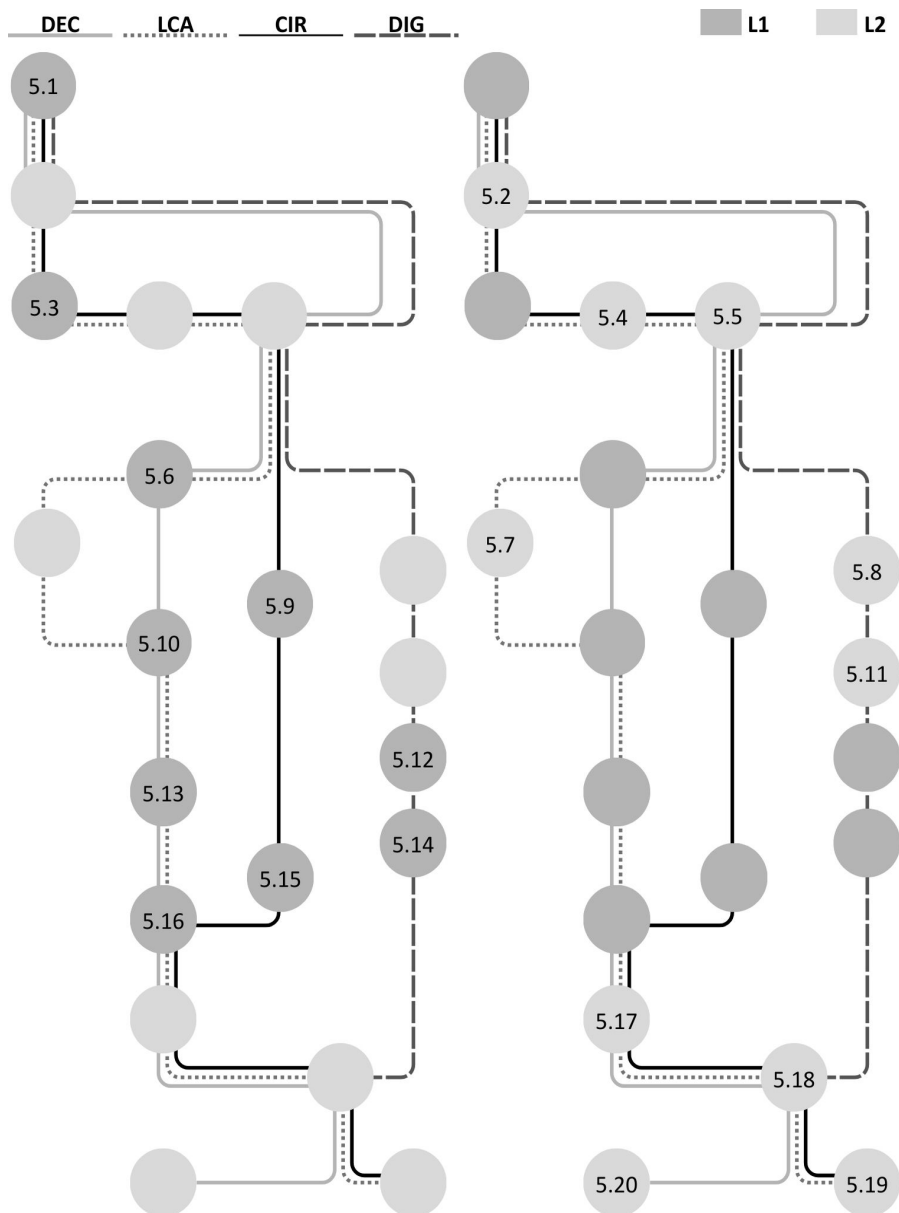
5.14	Calcolo, verifica e attestazione SRI				L1		
5.15	Verifica del progetto secondo criteri di circolarità				L1		
5.16	Certificato di regolare esecuzione (CRE)				L1		
5.17	Segnalazione Certificata di Agibilità (SCA)				L2		
5.18	Monitoraggio in fase d’uso dei parametri individuati					L2	
5.19	Monitoraggio demolizione e decostruzione per fini LCA						L2
5.20	Monitoraggio emissioni GHG per la riqualificazione energetica						L2

<div>NUM <small>AMBITO</small></div> <div>Nome del criterio</div>	
Indicazione del livello	Scala di applicazione o Fase del processo
Temi	Soggetto preposto
Altri soggetti coinvolti dal criterio	
<div>Descrizione</div> <div>Inquadramento, contestualizzazione del tema e obiettivo del criterio</div>	
<div>Indicazioni operative</div> <div> <ul style="list-style-type: none"> Indicazioni operative puntuali, possibili connessioni con altri criteri </div>	
<div>Buone pratiche e riferimenti</div> <div> <ul style="list-style-type: none"> Esempi virtuosi e/o riferimenti a pubblicazioni, strumenti, ecc. </div>	

2. Guida alla lettura tramite mappe tematiche

La mappa descrive la lettura per livelli delle diverse schede (L1/L2) e per tematiche interconnesse tra loro.





3. Acronimi

APE	Attestato di Prestazione Energetica
BACS	Building Automation and Control Systems
BAU	Business as Usual
BIM	Building Information Modeling
BMS	Building Management System
BRP	Building Renovation Passport
CAM	Criteri Ambientali Minimi
CDW	Construction and Demolition Waste
CRE	Certificato di Regolare Esecuzione
DBL	Digital Building Logbook
DIP	Documento di Indirizzo alla Progettazione
DL	Direttore dei Lavori
DOCFAP	Documento di Fattibilità delle Alternative Progettuali
EMS	Energy Management System
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
EPC	Energy Performance Certificate
EPD	Environmental Product Declaration
EPR	Extended Producer Responsibility
ESG	Environmental, Social and Corporate Governance
FVOE	Fascicolo Virtuale dell'Operatore Economico
GHG	Greenhouse Gas emissions (emissioni di gas serra)
GBRS	Green Building Rating System
GWP	Global Warming Potential
ILCD	International Reference Life Cycle Data
LCA	Life Cycle Assessment
LCC	Life Cycle Costing
LULUC	Land Use and Land Use Change
PA	Pubblica Amministrazione
PaaS	Product-as-a-Service
PFTE	Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica
PE	Progetto Esecutivo
PCDS	Product Circularity Data Sheet
POR/FESR	Programma Operativo Regionale del Fondo Europeo di Sviluppo Regionale
PSS	Product-Service System
QE	Quadro Economico
RSL	Reference Service Life
RSP	Reference Study Period
RUP	Responsabile Unico del Procedimento
SCA	Segnalazione Certificata di Agibilità
SER	Sufficiency, Efficiency, Renewables
SLP	Superficie Lorda di Progetto
SRI	Smart Readiness Indicator

1.1 FORMAZIONE

Formazione e riorganizzazione del personale PA

Livello: base (L1)

Scala: Nazionale

Temi: LCA, DEC, CIR, DIG

Soggetto preposto: PA promotore

Altri soggetti: Progettisti, sviluppatori, costruttori

Descrizione

La Pubblica Amministrazione (PA) ha un ruolo guida strategico nella transizione verso la neutralità climatica. Il criterio si rivolge principalmente agli uffici tecnici preposti alla gestione di appalti pubblici per progettazione e affidamento di lavori edili, in particolare per la figura del RUP, affinché sviluppi le competenze necessarie per coordinare il processo di progettazione in fase di gara e in fase esecutiva. Permette una riformulazione dell'organizzazione del personale ai vari livelli della Pubblica Amministrazione, al fine di integrare efficacemente le competenze digitali e di sostenibilità necessarie per comprendere, conoscere e gestire la transizione ecologica e i requisiti di sostenibilità per gli interventi edilizi finanziati, coordinati o supervisionati dalla PA.

Indicazioni operative

- Organizzazione di corsi di formazione del personale tecnico amministrativo, erogati da enti esterni con comprovata competenza, come università e centri di ricerca, sui seguenti temi: sostenibilità ambientale, quadro di riferimento normativo rispetto agli edifici (EPBD, CAM, Direttiva Case Green), metodologia LCA (a scala di edificio), decarbonizzazione, principi di economia circolare applicati al patrimonio edilizio, *smartness* e *smart buildings*.
- Riorganizzazione del personale (*change management*) affidando specifiche mansioni legate ai temi della sostenibilità, economia circolare, digitalizzazione e *smartness* applicata a scala edilizia e urbana ai vari addetti del personale tecnico-amministrativo.
- Adeguamento e implementazione della dotazione informatica necessaria (computer e software).
- Supporto al processo di *change management* tramite consulenti esterni con competenze manageriali e tecnologiche.

Buone pratiche e riferimenti

- Bauer, P. & Greiling, D. (2025). Management Controls for Contributing to the Promotion of Sustainable Development in Public Sector Organizations – Status Quo and Further Research, *Sustainable Development*, vol. 33, pp. 3246-3265. <https://doi.org/10.1002/sd.3292>
- Gudmundsdottir, S., Sigurjonsson, T. O., Hlynisdottir, E. M., Fridriksdottir, S. D., & Ingibjargardottir, I. S. (2024). Sustainable Digital Change: The Case of a Municipality, *Sustainability*, vol. 16, n. 3, p. 1319. <https://doi.org/10.3390/su16031319>

1.2 FORMAZIONE

Formazione per operatori economici

Livello: base (L1)

Scala: Nazionale, Regionale

Temi: LCA, DEC, CIR, DIG

Soggetto preposto: PA promotore

Altri soggetti: Progettisti, Sviluppatori, Costruttori

Descrizione

Il raggiungimento della neutralità climatica degli edifici necessita del coinvolgimento attivo di tutti gli stakeholders del settore edile. Il criterio si rivolge ai professionisti che intervengono all'interno del processo progettuale. Prevede l'allocazione di specifiche risorse a livello ministeriale e regionale per finanziare la formazione di figure professionali competenti in materia di LCA, sostenibilità, decarbonizzazione, economia circolare, digitalizzazione e *smartness* degli edifici.

Indicazioni operative

- Istituzione di bandi per l'erogazione di risorse per la formazione di dipendenti e collaboratori in materia di LCA, decarbonizzazione, circolarità e *smartness*.
LCA-DEC: I corsi base e avanzati coprono l'applicazione della metodologia LCA, gli strumenti utilizzabili per il calcolo e la consultazione delle banche dati.
CIR: programmi di formazione per gli operatori del settore edile (progettisti, costruttori, installatori) per sensibilizzare all'utilizzo di pratiche e materiali che perseguano principi di economia circolare.
SRI: informazioni sul contesto e sul concetto di SRI, spiegazione dei servizi presenti nel catalogo e del loro impatto sull'efficienza energetica e sulla flessibilità della domanda, linee guida per l'esecuzione delle valutazioni, indicazioni sui tool.
- Coordinamento, organizzazione e attuazione di corsi specifici (*capacity building*) con ordini professionali (architetti, ingegneri) e collegi professionali (geometri).

Buone pratiche e riferimenti

- Associazioni di settore quali Smart Building Italia, enti quali MIP Politecnico di Milano Graduate School of Business o R2M Solution offrono *capacity building* per introdurre stakeholder specifici ai temi della digitalizzazione nella progettazione edilizia, *smart building*, con diversi livelli di approfondimento.
<https://www.r2msolution.com/it/costruire-il-futuro-sostenibile-capacity-building-per-la-transizione-energetica-e-ledilizia-sostenibile/>

1.3 FORMAZIONE

Certificazione/qualificazione per operatori economici

Livello: avanzato (L2)

Scala: Nazionale, Regionale

Temi: LCA, CIR

Soggetto preposto: PA promotore

Altri soggetti: Progettisti, Costruttori

Descrizione

Promozione di percorsi di qualificazione/certificazione per i costruttori/installatori, per garantire la qualità e competenza per la gestione dei temi circolarità e LCA lungo il processo progettuale e realizzativo dell'opera. La certificazione può divenire un criterio di scelta preferenziale o premiale in sede di appalto (punteggio).

Indicazioni operative

- In caso di operazioni di demolizione con possibilità di recupero materiale, inclusione della richiesta di dimostrare esperienza pregressa in operazioni di demolizione selettiva.
- Per la metodologia LCA, la certificazione garantisce l'assoluta competenza, controllo e rigore dell'operatore economico nella gestione consapevole del processo progettuale e realizzativo dell'opera in ottica di ciclo di vita.
- Il possesso di un determinato livello di qualifica/certificazione dell'operatore consente di assegnare punteggi premiali agli operatori economici che si avvalgono di tale operatore in fase di realizzazione dell'opera, da integrare nei relativi criteri CAM.
- Previsione dell'attivazione di percorsi di formazione per gli operatori, con la possibilità di accedere a esami di certificazione/qualificazione.

Buone pratiche e riferimenti

- Si prende a riferimento il modello attuato nel campo del serramento, dove si prevede che gli installatori possano eseguire determinate operazioni (progettazione della posa) solo se in possesso di un livello di qualifica pari all'EQF 4 (Installatore caposquadra), o realizzazione del giunto primario, se EQF3, in conformità con la norma UNI 11673:2019 – 3 e UNI 10818:2023.

2.1 APPARATO NORMATIVO

Revisione e integrazione Criteri Ambientali Minimi (CAM)

Livello: base (L1)

Scala: Nazionale

Temi: LCA, DEC, CIR, DIG

Soggetto preposto: PA promotore

Altri soggetti: Progettisti, Fornitori, Costruttori

Descrizione

I criteri ambientali minimi (CAM) costituiscono uno strumento chiave per il conseguimento degli obiettivi ambientali e sono integrati nel nuovo Codice dei Contratti Pubblici (D.Lgs. 36/2023, art. 57). Sono requisiti obbligatori per gli appalti pubblici definiti nel Piano per la sostenibilità ambientale dei consumi del settore della Pubblica Amministrazione e adottati con Decreto del Ministro dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica. Di seguito alcune proposte atte a rendere più efficaci le strategie rispetto agli obiettivi nazionali.

Indicazioni operative

- Modifica della tipologia di CAM Edilizia (rif. Decreto Ministeriale 24 novembre 2025) inerenti agli aspetti di digitalizzazione delle soluzioni progettuali per la sostenibilità e gestione digitale degli edifici per migliorarne le prestazioni energetiche.
- Intervento per obbligatorietà dei criteri premianti 4.3.1, 4.3.2, 2.6.9, 2.6.10.
- Integrazione degli obiettivi di decarbonizzazione dei CAM edilizia attraverso l'inserimento di requisiti specifici, quali ad es. l'utilizzo di materiali in possesso di EPD, il rispetto di valori massimi specifici di GWP, utilizzo di energia rinnovabile per una percentuale minima del 50% nel processo produttivo dei materiali.
- Applicazione obbligatoria dei CAM Edilizia in materia di valutazione LCA per edifici pubblici.
- Inclusione di tre indicatori di impatto ambientale nella valutazione LCA, compreso il GWP tot (emissioni di CO₂eq lungo il ciclo di vita), per il quale garantire un miglioramento del 10% in fase di progetto esecutivo. Richiesta conforme a quanto introdotto dalla Direttiva Europea 1275/2024 (EPBD), che richiede il calcolo della GWP per gli edifici di nuova realizzazione a partire dal 2028 e per tutti gli edifici di nuova costruzione a partire dal 2030.

Buone pratiche e riferimenti

- Roadmap del governo olandese per l'adozione di generatori con sistemi BACS entro il 2026 conforme alla normativa EU/2023/1791.
<https://www.deerns.com/it/thoughts/bacs-lappuntamento-e-per-il-2026/>
- Il *Denver's Green Code*, entrato in vigore nel 2019 su base volontaria, ha reso obbligatorio a partire dal 2023 per tutti i nuovi interventi di maggiore rilevanza (ad es. commerciali) il rispetto di criteri finalizzati alla decarbonizzazione dei materiali, chiedendo il possesso delle EPD o fissando valori limiti di GWP.

2.2 APPARATO NORMATIVO

Metodologia LCA avanzata (per il codice appalti/CAM)

Livello: avanzato (L2)

Scala: Nazionale

Temi: LCA

Soggetto preposto: PA promotore

Descrizione

Aggiornamento del Codice Appalti (D.Lgs 36/2023) per inserire clausole maggiormente puntuali riguardo i requisiti di sostenibilità ambientale per la realizzazione di edifici di nuova costruzione appaltati da enti pubblici, in rappresentanza della Pubblica Amministrazione. Il criterio prevede di soddisfare i requisiti già introdotti dalla Direttiva Europea 1275/2024 (EPBD) e dai Criteri Ambientali Minimi (CAM), estendendo l'obbligatorietà del calcolo per ulteriori indicatori LCA.

Indicazioni operative

- Modifica al Codice Appalti (ad es. interessando l'art. 57 o l'all. I.7, riguardante i contenuti minimi del quadro esigenziale, del DOCFAP, del DIP, del PFTE e del PE) per inserire la richiesta esplicita di requisiti legati alla decarbonizzazione e alla valutazione LCA degli edifici pubblici di nuova costruzione.
- Inoltre, in ottemperanza a quanto previsto dai CAM e dall'art. 11, all. I.7 del D.Lgs 36/2023, lo studio LCA diventa parte integrante della relazione di sostenibilità dell'opera. La proposta integrativa di questo criterio, che viene quindi definito "LCA avanzato" in contrapposizione con l'attuale quadro legislativo, mira ad analizzare quattordici indicatori ambientali: *Climate Change Total* (kg CO₂e); *Climate Change Fossil* (kg CO₂e); *Climate Change Biogenic Removals and Emissions* (kg CO₂e); *Climate Change Land Use and Land Use Change* (LULUC) (kg CO₂e); *Ozone Depletion* (kg CFC11e); *Acidification* (mol H⁺e); *Eutrophication – Aquatic Freshwater* (kg PO₄e); *Eutrophication – Aquatic Marine* (kg N e); *Eutrophication – Terrestrial* (mol N e); *Photochemical Ozone Formation* (kg NMVOCe); *Abiotic Depletion – Minerals and Metals* (kg Sb e); *Abiotic Depletion – Fossil Fuels* (MJ, net calorific value); *Water Use* (m³ world eq. Deprived); *Land Use Related Impacts/Soil Quality* (kg CO₂e). Maggiori dettagli nel capitolo 2.

Buone pratiche e riferimenti

- Ministère de la Transition Écologique (MTE), & CEREMA. (2020). *Réglementation Environnementale des bâtiments neufs* [RE2020](#).
- Rijksdienst voor Ondernemend (RVO). (2025, August 13). *Environmental Performance Buildings* – [MPG](#).
- Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE). (2025). *DM 24-11-2025, Allegato I, Criteri Ambientali Minimi l'affidamento di servizi di progettazione e affidamento di lavori per interventi edilizi*. [CAM Edilizia 2025](#)

2.3 APPARATO NORMATIVO

Smart Readiness Indicator (SRI) e performance energetica (EPC)

Livello: base (L1)

Scala: Nazionale

Temi: DIG

Soggetto preposto: PA promotore

Descrizione

Il quadro strategico definito dall'Unione Europea mira a integrare gli strumenti operativi disponibili per rafforzare la centralità degli edifici *smart* nell'ambito delle azioni finalizzate al raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione al 2050. *Smart Readiness Indicator* (SRI), *Energy Performance Certificate* (EPC), *Digital Building Logbook* (DBL), *Building Renovation Passport* (BRP) sono strumenti applicati prevalentemente su base volontaria o sperimentale attualmente non integrati nelle policy. Nello specifico, l'abbinamento di SRI ed EPC fornisce una valutazione della performance energetica più completa e funzionale, anche ai fini dell'applicazione della EPBD IV.

Indicazioni operative

- Mappatura dei dati esistenti sulle barriere all'uso dell'EPC a livello locale, sulla base delle procedure nazionali ed europee.
- Adozione formale del criterio SRI, a seguito dell'obbligatorietà conferita dai CAM (criterio 2.1) e dal Codice Appalti.
- Strategia di integrazione dello SRI nel Certificato di Performance Energetica (EPC) secondo le direttive e i report EU.
- Avvio di una fase di applicazione sperimentale su edifici pubblici, verifica e successiva adozione definitiva di EPC+SRI. La sperimentazione potrebbe integrare quella promossa dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE).
- Creazione di una banca dati delle applicazioni per permettere il successivo sviluppo di DBL e BRP.

Buone pratiche e riferimenti

- Mappatura dei limiti e barriere all'applicazione dell'EPC, dello SRI e di strumenti correlati per l'integrazione sinergica di SRI ed EPC:

iEPB

<https://iepb-project.eu/news-events/>

SmarterEPC

<https://lifeprojects.r2msolution.com/smarterepcthe-new-hub-for-bulding-evaluation/>

tunES

<https://empirica.com/tunes/>

2.4 APPARATO NORMATIVO

Criteri quantitativi per i bandi pubblici (ad es. POR/FESR)

Livello: base (L1)

Scala: Regionale

Temi: LCA, DEC, CIR, DIG

Soggetto preposto: PA promotore

Descrizione

Il piano di azione pluriennale FESR, gestito da ogni Regione e Paese membro dell'UE, consente di destinare le risorse in maniera differenziata, in base a priorità definite *ad hoc*. Il criterio prevede l'inserimento di criteri quantificabili obbligatori nei bandi POR/FESR in materia di sostenibilità – LCA, decarbonizzazione, circolarità, digitalizzazione e *smartness*. Il fine è l'accesso ai fondi per finanziare progetti pubblici a scala regionale mirati alla progettazione sostenibile e integrata delle opere, per efficientare l'uso delle risorse prime.

Indicazioni operative

- Richiesta di allegare una relazione di sostenibilità completa di valutazione LCA per i progetti finanziati POR/FESR che prevedano la riqualificazione o la costruzione di edifici pubblici (ad es. patrimonio edilizio residenziale pubblico), in aggiunta ai criteri DNSH. Il criterio 5.7 riporta la metodologia e i requisiti di calcolo.
- Richiesta di esplicitare nella relazione strategie progettuali di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici, dimostrando in maniera quantitativa la riduzione di emissioni *operational* ed *embodied* rispetto al *Business as Usual*.
- Richiesta di valutazione del livello di *smartness* tramite indicatore SRI.

Buone pratiche e riferimenti

- Piemonte – PR FESR 2021-2027. Il bando rimanda all'applicazione del Protocollo ITACA Piemonte 2018 per la valutazione di sostenibilità degli interventi sugli edifici pubblici. Il Protocollo ITACA contiene la Categoria C1 "Emissioni di CO₂ equivalente" e, in particolare, il criterio C1.2 "Emissioni previste in fase operativa". [IISBE Italia](#)
- Liguria – PR FESR 2021-2027 "Azione 5.2.1 Promozione dell'eco-efficienza e riduzione di consumi di energia primaria negli edifici e strutture pubbliche". Nella pagina di bando/azione è esplicitato l'indicatore "gas a effetto serra (t CO₂e/anno)". È richiesto di quantificare le riduzioni attese in fase operativa (B6).
- Puglia – PR FESR 2021-2027. Con il DGR n. 1891/2023 ha inserito come requisito il Protocollo ITACA per i progetti di efficientamento energetico. [Regione Puglia](#)
- Calabria – PR FESR-FSE+ 2021-2027 Azione 2.1.1 "Efficientamento energetico di edifici, impianti e strutture pubbliche e/o ad uso pubblico". La Regione Calabria, a livello regolamentare, ha previsto l'uso del Protocollo ITACA come strumento di certificazione di sostenibilità degli interventi per gli edifici pubblici che ricevono agevolazioni/contributi. Il Protocollo ITACA Calabria contiene le schede "C.1.2 Emissioni previste in fase operativa"; "E.3.5 – B.A.C.S."; "E.6.6 – Disponibilità della documentazione tecnica degli edifici – B.I.M. per edifici residenziali".

2.5 APPARATO NORMATIVO

Criteri quantitativi per la pianificazione edilizia pubblica

Livello: base (L1)

Scala: Unione dei Comuni, Comuni

Temi: LCA, DEC, CIR, DIG

Soggetto preposto: PA promotore

Descrizione

Qualora a livello nazionale non fosse istituiti requisiti di riferimento, gli ordinamenti giuridici subordinati possono agire da apripista e prendere l'iniziativa per un'applicazione sperimentale dei requisiti obbligatori introdotti dai criteri 2.1 e 2.2. Il criterio suggerisce un intervento diretto dei Comuni e Unioni di Comuni a modificare il proprio apparato normativo per la pianificazione e la regolamentazione in materia edilizia al fine di incentivare la diffusione della metodologia LCA (criterio 5.7) e la valutazione della *smartness* applicata agli edifici (criterio 4.6).

Indicazioni operative

- Introduzione del criterio LCA a livello municipale/città metropolitana che riprende i contenuti del criterio 2.2, agendo da apripista in anticipo rispetto all'introduzione dell'obbligatorietà a livello ministeriale.
- La regolamentazione municipale, come il Regolamento Edilizio, o il documento di pianificazione e governo del territorio (ad es. PGT in Lombardia, PRG in altre regioni) possono introdurre il requisito dell'obbligatorietà con specifiche clausole.
- Introduzione di valori limite per le emissioni di GWP lungo il ciclo di vita per gli edifici >1000 m² (SLP). Per la definizione dei valori limite e gli aspetti metodologici si rimanda ai criteri 2.2 e 5.7.
- Introduzione del calcolo dello SRI affiancato al processo di calcolo dell'EPC (criterio 2.3).

Buone pratiche e riferimenti

- Il Comune di Milano ha approvato nel 2023 una delibera che dovrà trovare debita specificazione all'interno del Regolamento Edilizio, riguardante l'aggiornamento degli oneri di urbanizzazione primaria e secondaria e dello smaltimento rifiuti, dovuti per i titoli abilitativi di interventi di nuova costruzione, ampliamento di edifici esistenti e ristrutturazione edilizia. Il punto 3.1.4 della Relazione istruttoria estende l'obbligatorietà del soddisfacimento dei CAM e del calcolo LCA per gli interventi di interesse pubblico, incluse le opere relative alla preparazione delle Olimpiadi Milano-Cortina 2026: "Per gli interventi di urbanizzazione costituiti da servizi di interesse pubblico o generale realizzati ai sensi dell'art. 4 del PDS del PGT e art. 9 L.R. 12/2005, nei casi in cui siano soddisfatti i requisiti CAM (Criteri Ambientali Minimi) previsti dal DM 24 novembre 2025 e si dotino delle analisi del ciclo di vita LCA, si dispone quindi l'applicazione della riduzione del 50% massimo del contributo commisurato al costo di costruzione, se dovuto, secondo i criteri e le declinazioni specificate nel Regolamento Edilizio del Comune di Milano. Riguardo all'applicabilità di questa norma al fine di agevolare gli interventi indicati quali

progetti pilota di aree *carbon neutral* ai sensi della misura 3.1.1. dell'allegato 1 al Piano Aria Clima del Comune Milano, si prevede che le suddette riduzioni saranno comunque applicabili ai titoli edilizi e loro eventuali varianti che dovessero essere presentate finalizzate/i ai fini del raggiungimento dei requisiti CAM, con le modalità sopra specificate, negli interventi direttamente collegati all'evento olimpico, anche derivanti da piani già approvati". Comune di Milano (2023). Deliberazione del Consiglio Comunale n. 28 del 17/05/2023. Aggiornamento degli oneri di urbanizzazione primaria e secondaria e dello smaltimento rifiuti, dovuti per i titoli abilitativi di interventi di nuova costruzione, ampliamento di edifici esistenti e ristrutturazione edilizia.

<https://www.comune.milano.it/documents/20126/434768990/Deliberazione+Consiglio+Comunale+n.+28+del+17+maggio+2023.pdf/afbfb35-7e99-36e9-3d8e-0c9d2639c5e5?t=1687160908615>

- La strategia nazionale danese introduce 5 aree di interesse, tra cui utilizzo di LCA e LCC e promozione di riciclo e riuso materiali da costruzione. La strategia definisce requisiti per calcolo LCA per le nuove costruzioni obbligatorio dal 2023 e limiti massimi di kg CO₂e/m² anno per edifici sopra i 1000 m² (12 kg CO₂e/m² anno) che dal 2025 saranno validi anche per edifici sotto ai 1000 m².

<https://historisk.bygningsreglementet.dk/english/0/40National>

Strategy for Sustainable Construction

https://www.sm.dk/media/24762/National_Strategy_for_Sustainable_Construction.pdf

- *Danish Building Regulation* BR18.
<https://historisk.bygningsreglementet.dk/english/0/40>
- *Carbon Emission Bill* (UK): legge che prevede che siano calcolate e riportate le emissioni di gas serra dell'intero ciclo di vita per i nuovi interventi edilizi di grandi dimensioni (>1000 m² oppure 10 *dwellings*) e fissa limiti alle emissioni di GHG a partire dal 2027 sulla base di dati raccolti negli anni precedenti.
<https://bills.parliament.uk/bills/3211>.

2.6 APPARATO NORMATIVO

Criteri quantitativi per la pianificazione edilizia privata

Livello: avanzato (L2)

Scala: Unione dei Comuni, Comuni

Temi: LCA, DEC, CIR, DIG

Soggetto preposto: PA promotore

Altri soggetti: Progettisti

Descrizione

Il criterio, da considerarsi quale implementazione del criterio 2.5, interviene sui regolamenti urbanistici edilizi (REC). In particolare, si prevede l'integrazione della sezione "Obiettivi di qualità e sostenibilità" con obiettivi prestazionali di circolarità, di decarbonizzazione e impatto ambientale. Gli stessi vengono completati con criteri semplificati per la valutazione delle prestazioni, inclusa la *smartness* degli edifici. L'adempimento di quanto proposto permette di accedere a premialità a discrezione del Comune, o Unione dei Comuni, di riferimento.

Indicazioni operative

- Introduzione di obiettivi prestazionali volontari, superiori al *Business as Usual* parametrato al contesto locale, e definizione di premialità progressive.
- Inclusione di criteri di valutazione delle prestazioni che siano semplici e uniformi, e anche questi su base progressiva: come nel caso di Level(s) EU, un primo livello di valutazione è basato sulla compilazione di una checklist di auto-valutazione; il secondo prevede invece il calcolo delle prestazioni mediante indicatori quali-quantitativi.
- Circolarità: definizione a titolo esemplificativo di un set di quattro indicatori semplificati (inserire riferimento/collegamento) a corredo di queste LLGG.
- Decarbonizzazione: per quanto riguarda i metodi di auto-valutazione relativi alla decarbonizzazione e altri impatti ambientali si rimanda ai criteri 3.1, 3.2 e 3.3. La metodologia LCA applicabile è, inoltre, presentata nei criteri 2.2 e 5.7.
- Digitalizzazione e *smartness*: auto-valutazione della *smartness* per i progetti sia di nuove costruzioni che di riqualificazione, con verifica del raggiungimento di un livello "positivo" secondo i parametri definiti dall'UE (criterio 3.4). Condivisione dei dati ai fini della creazione di una banca dati (criterio 2.3).

Buone pratiche e riferimenti

- *Circular Building Toolkit* (ARUP) è una guida all'implementazione di strategie circolari nei progetti in sette step, corredata da casi studio e progetti della organizzazione, e suggerimenti su come integrare i principi e le buone pratiche fin dalle fasi di progettazione: <https://ce-toolkit.dhub.arup.com/>
- Il Comune di Milano ha introdotto con la deliberazione del Consiglio Comunale n. 64 del 09/09/2024 un provvedimento specifico che estende i CAM agli interventi privati di "nuova costruzione, ristrutturazione urbanistica e ristrutturazione edilizia con demolizione e ricostruzione" come previsto dalla deliberazione di Consiglio Comunale n. 28/2023. In particolare, è prevista una riduzione del contributo commisurato al costo di costruzione di cui alla Relazione Istruttoria allegata alla

deliberazione di Consiglio Comunale n. 28/2023 ad esito dell'applicazione dei CAM. "Ai fini di incentivare la più ampia applicazione del maggior numero possibile di CAM nella realizzazione di servizi, si richiama la quantificazione della riduzione del contributo commisurato al costo di costruzione come disposta dalla deliberazione di consiglio comunale n. 28/23: a) il 50% massimo per tutti gli interventi edilizi volti alla realizzazione di servizi privati di interesse pubblico o generale; b) il 60% per i servizi privati convenzionati per l'infanzia (fascia 0-3), con la precisazione che la percentuale del 60% debba essere considerata come massima, analogamente a quanto indicato per la percentuale del 50% sopra indicata e che tali servizi sono individuati nel Catalogo dei servizi pubblici e di interesse pubblico o generale del PdS del PGT nella categoria "Istruzione, Formazione e Lavoro". Comune di Milano (2024). Deliberazione del Consiglio Comunale n. 64 del 09/09/2024. Applicazione dei Criteri Ambientali Minimi (CAM) di cui al DM n. 256 del 23 giugno 2022 e dell'analisi del ciclo di vita (LCA) ai servizi privati di interesse pubblico o generale per la riduzione modulata del contributo commisurato al costo di costruzione di cui alla delibera di Consiglio Comunale n. 28 del 17/05/2023, in attuazione del Piano Aria Clima.

<https://www.comune.milano.it/documents/20126/491636081/Deliberazione+del+Consiglio+Comunale+n.+64+del+09+settembre+2024.pdf/d8644ac9-0efc-6a12-4f35-d995503b5fbf?t=1727956461754>

- Il *Bâtiment à Énergie Positive & Réduction Carbone* promosso dal governo francese è un programma volontario nato per incentivare costruttori e sviluppatori a raggiungere obiettivi di decarbonizzazione tramite il supporto economico per studi LCA e l'ampliamento di diritti edificatori. Tale programma prevede tra le altre cose che vengano prodotti certificati in *Energy Plus* o *Carbon Reduction Certificate* (E+C Label) per dimostrare conformità a *benchmark*. Gli indicatori sono chiamati *Carbon Levels*.

2.7 APPARATO NORMATIVO

Norme tecniche per disassemblabilità/durabilità

Livello: avanzato (L2)

Scala: Nazionale

Temi: CIR

Soggetto preposto: PA promotore

Altri soggetti: Fornitori di tecnologie, Progettisti

Descrizione

Organizzazione di tavoli di lavoro finalizzati alla definizione di norme tecniche per la classificazione e la verifica dei componenti edilizi “innovativi” in tema di circolarità, volte a superare gli attuali ostacoli normativi e di mercato che le imprese si trovano ad affrontare per caratterizzare i propri prodotti e renderli competitivi e comparabili con gli analoghi più diffusi sul mercato.

Indicazioni operative

- Usare come riferimento la norma UNI 11156:2006 – Valutazione della durabilità dei componenti edilizi, e la ISO-20887:2020 – *Sustainability in buildings and civil engineering works – Design for disassembly and adaptability – Principles, requirements and guidance*, anche per la valutazione e classificazione di altre prestazioni di circolarità, tra cui “disassemblabilità”, “adattabilità”, “riparabilità”.
- Definire un format di qualificazione del materiale/componente come circolare, supportato da EPD che includa anche le fasi C e D, come da EN 15804:2012+A2:2019 che propone uno sviluppo/integrazione delle EPD (Dichiarazioni ambientali di prodotto).
- Corredare gli avanzamenti normativi con campagne di comunicazione (LC *evidence-based*) per renderli prodotti “preferibili” anche in assenza di obblighi legislativi, anche mediante approfondimenti dedicati alle opportunità di accedere a finanziamenti conformi a ESG e Tassonomia Europea.

Buone pratiche e riferimenti

- Il Competence Center Economia Circolare (CDP) riporta le leve competitive che hanno portato alcune aziende italiane a muoversi nella direzione della circolarità pur in assenza di obblighi normativi:
<https://www.cdp.it/internet/public/cms/documents/CDP-Brief-Economia-Circolare-06-02-25.pdf>

2.8 APPARATO NORMATIVO

E-procurement – Fascicolo Virtuale dell’Operatore Economico (FVOE)

Livello: avanzato (L2)

Scala: Nazionale

Temi: LCA, DEC, DIG

Soggetto preposto: PA promotore

Altri soggetti: Stazioni appaltanti, Enti certificatori

Descrizione

L'*e-procurement*, o approvvigionamento elettronico, è il processo digitale che gestisce l'acquisto di beni e servizi attraverso internet, centralizzando e automatizzando le operazioni online. Il FVOE permette l'acquisizione dei documenti a comprova del possesso dei requisiti di carattere generale, tecnico-organizzativo ed economico-finanziario per l'affidamento dei contratti pubblici ed agli Operatori Economici di inserire a sistema i documenti la cui produzione è a proprio carico. Integrazione all'interno del fascicolo dei requisiti attestanti le valutazioni LCA e SRI e gli aspetti di decarbonizzazione.

Indicazioni operative

- Verifica del possesso della qualifica operatori BACS in conformità alla UNI CEI TS 11672:2017.
- Verifica di comprovata esperienza nell'utilizzo dello SRI.

Buone pratiche e riferimenti

- L'Unione Europea propone dei corsi di formazione sull'applicazione dello SRI.
<https://learning.sri2market.eu/moodle/>

3.1 BENCHMARK/VALORI LIMITE

Valori limite per GWP (obbligatori dal 2030)

Livello: base (L1)

Scala: Nazionale

Temi: LCA, DEC, DIG

Soggetto preposto: PA promotore

Altri soggetti: Fornitori di tecnologie, Progettisti

Descrizione

L'attuale Direttiva EPBD (EU 2024/1275) richiede agli Stati membri dell'Unione Europea di sviluppare una *roadmap* nazionale per la definizione di valori limite GWP per la realizzazione di nuovi edifici entro il 2027. I valori limite, riferiti all'intero ciclo di vita dell'edificio e non solo alla fase operativa, diventeranno obbligatori a partire dal 2030. La capacità di controllo degli impianti *smart* può contribuire a ridurre i consumi e quindi il GWP operativo.

Indicazioni operative

- Si consiglia di valutare sia archetipi di edifici (a partire da dati statistici) che edifici reali, includendo possibilmente non solo edifici eccellenti per performance energetiche e ambientali, ma anche edifici realizzati con tecnologie tradizionali.
- Si raccomanda di coinvolgere centri di ricerca, università e professionisti per lo svolgimento della ricerca di base necessaria a definire i valori limite.
- Lo sviluppo di valori limite è subordinato alla presenza dei dati. La creazione di un registro nazionale delle valutazioni LCA (criterio 3.3) permetterebbe di raccogliere grandi quantità di dati attraverso un canale ufficiale e verificato, senza dover ricorrere alla ricerca attraverso diversi singoli stakeholder.

Buone pratiche e riferimenti

Si riportano alcuni studi svolti per l'introduzione di valori limite GWP in Danimarca e in Svezia, dove sono in corso di definizione. I progetti *INDICATE Pilot* e *LIFE* sono finalizzati a sviluppare valori *benchmark* per edifici di nuova realizzazione in diversi Paesi europei.

- Malmqvist, T., Borgström, S., Brismark, J., & Erlandsson, M. (2023). *Referensvärden för klimatpåverkan vid uppförande av byggnader* (Vol. 3).
- Tozan, B. et al. (2023). *Klimapåverkan fra nybyggeri: Analytisk grundlag til fastlæggelse af ny LCA baseret grænseværdi for bygningers klimapåverkan fra 2025*. <https://vbn.aau.dk/da/publications/klimap%C3%A5virkning-fra-nybyggeri-analytisk-grundlag-til-fastl%C3%A6ggelse/>
- BPIE (2024). *How to establish Whole Life Carbon benchmarks: Insights and lessons learned from emerging approaches in Ireland, Czechia and Spain*.
- EU Commission (2025). Annex to the Communication to the Commission – Approval of the content of the draft Commission Notice providing guidance on new or substantially modified provisions of the recast Energy Performance of Buildings Directive (EU) 2024/1275 – Life-cycle global warming potential of new buildings (Article 7(2) and (5)). Brussels, C(2025) 4132 final - ANNEX 13.

3.2 BENCHMARK/VALORI LIMITE

Valori *benchmark* LCA

Livello: avanzato (L2)

Scala: Nazionale

Temi: LCA, DEC

Soggetto preposto: PA promotore

Descrizione

Calcolare valori *benchmark* anche per altre tipologie di indicatori di impatto ambientale (per un totale di 14), oltre al GWP, come riportato nei criteri 2.2 e 5.7. In questo modo è possibile valutare in modo efficace se il progetto rientra nella media di edifici simili o se prevede degli impatti significativamente maggiori, permettendo di fare dovute modifiche correttive in fase di progettazione.

Indicazioni operative

- La definizione di valori di *benchmark*, target e limite è un processo lungo e complesso, che necessita di anni per essere completato. Si consiglia di valutare sia archetipi di edifici (a partire da dati statistici) che casi studio di edifici reali, includendo possibilmente non solo edifici unici ed eccellenti per le loro caratteristiche di performance energetiche e ambientali, ma anche edifici più tradizionali che siano maggiormente rappresentativi del patrimonio costruito di nuova realizzazione.
- Si raccomanda di coinvolgere centri di ricerca, università e professionisti per lo svolgimento della ricerca di base necessaria a definire i valori limite.
- Lo sviluppo di valori limite è subordinato alla presenza dei dati. La creazione di un registro nazionale delle valutazioni LCA (ad es. riferite in prima istanza agli edifici pubblici man mano realizzati), come suggerito dal criterio 5.7, permetterebbe di raccogliere grandi quantità di dati attraverso un canale ufficiale e verificato, senza dover ricorrere alla ricerca attraverso diversi singoli stakeholder.

Buone pratiche e riferimenti

- Altri Paesi europei hanno già in vigore delle normative che includono la valutazione LCA con molteplici indicatori di impatto (ad es. la Francia), nonché in taluni casi anche dei valori limite da rispettare (Paesi Bassi).
- Ministère de la Transition Écologique (MTE), & CEREMA. (2020). *Réglementation Environnementale des bâtiments neufs RE2020*.
<https://www.ecologie.gouv.fr/reglementation-environnementale-re2020>
- Rijksdienst voor Ondernemend (RVO). (2025, August 13th). Environmental Performance Buildings – [MPG](#).

3.3 BENCHMARK/VALORI LIMITE

Registro delle valutazioni LCA e relazioni di sostenibilità

Livello: avanzato (L2)

Scala: Nazionale

Temi: LCA

Soggetto preposto: PA promotore

Descrizione

L'istituzione di un registro condiviso a livello nazionale nel quale raccogliere le valutazioni LCA e le relazioni di sostenibilità redatte per ogni progetto su scala nazionale permette di tracciare nel tempo la diffusione e la comparabilità della documentazione, nonché di effettuare verifiche a campione sulla veridicità dei calcoli sottomessi e analizzare i dati per sviluppare valori di riferimento.

Indicazioni operative

- Il registro nazionale potrebbe essere gestito da un ente pubblico che raccoglie e tutela le informazioni raccolte, processandole in modo anonimo a fini statistici e per il continuo miglioramento dell'accuratezza nei valori *benchmark* e valori limite derivanti dall'analisi del patrimonio costruito.
- Un simile registro esiste già per la raccolta delle Attestazioni di Prestazione Energetica (APE), gestito a cura di ENEA.
- Le valutazioni LCA e le relazioni di sostenibilità sarebbero accessibili solamente dall'ente che gestisce la piattaforma, mentre dati aggregati e statistiche elaborate sulla base di quanto depositato possono essere messi a disposizione di ricercatori e professionisti.

Buone pratiche e riferimenti

- Un registro simile è stato implementato in Svezia, gestito da parte di Boverket:
<https://www.boverket.se/en/start/laws-and-regulations/climate-declaration/questions/>

3.4 BENCHMARK/VALORI LIMITE

Framework tecnico SRI

Livello: base (L1)

Scala: Nazionale

Temi: DIG

Soggetto preposto: PA promotore

Descrizione

L'UE ha predisposto un *framework* tecnico a supporto del calcolo dello SRI, con riferimento a un catalogo *smart-ready* di servizi e relativi livelli ponderati di intelligenza. Ogni Stato membro è chiamato a verificarne l'applicabilità rispetto al contesto nazionale, in ragione dell'applicazione obbligatoria dello SRI agli edifici non residenziali a partire dal 2027. L'Italia ha aderito alla fase di test ufficiale a marzo del 2025, con l'obiettivo di valutare anche la possibile integrazione fra SRI e APE (Attestato di Prestazione Energetica). Il criterio fornisce delle integrazioni per rendere le PA parte attiva della sperimentazione ed è correlato ai criteri 4.6 e 5.1.

Indicazioni operative

- Ampliamento del numero delle valutazioni SRI a livello locale a integrazione di quelle previste a livello nazionale all'interno della sperimentazione ufficiale europea.
- Adozione di un *tool/framework* tra quelli standardizzati e disponibili a livello europeo e/o nazionale (criterio 4.6) e conseguente condivisione dei dati a livello nazionale.

Buone pratiche e riferimenti

- Il progetto EnerSIG sviluppato nel 2021 ha visto coinvolti le autorità locali, l'Agenzia per il clima e l'Agenzia Urbanistica di Parigi nella creazione di uno strumento innovativo e interattivo che permette il monitoraggio dei consumi energetici a diverse scale e la condivisione di dati sui consumi degli edifici.
<https://www.interregeurope.eu/good-practices/enersig-application-to-cross-data-about-buildings-characterization-and-energy-consumption-in-paris>
- Tool di calcolo gratuiti ufficiali UE:
<https://www.smart-ready-go.eu/>
<https://srienact.eu/sri-enact-tools/>
<https://sri2market.eu/>

4.1 STRUMENTI

Metodologia standard di calcolo a livello nazionale

Livello: base (L1)

Scala: Nazionale

Temi: LCA, DEC, CIR, DIG

Soggetto preposto: PA promotore

Descrizione

La definizione di una metodologia di calcolo per le analisi LCA, la quantificazione delle emissioni di carbonio, gli aspetti legati alla circolarità e la valutazione della *smartness* degli edifici condivisa a livello nazionale è una condizione necessaria affinché gli studi sottomessi siano comparabili e verificabili in modo standardizzato, nonché si garantisca un supporto di indirizzo chiaro e costante.

Indicazioni operative

- Introduzione e approvazione di una metodologia per il calcolo LCA che definisca con precisione l'obiettivo e il campo di applicazione degli studi, il *Reference Study Period* (RSP), le parti dell'edificio oggetto della valutazione, i moduli del ciclo di vita da includere, l'unità funzionale nonché gli indicatori di impatto ambientale (ad es. in conformità all'elenco del criterio 2.2).
- Introduzione e approvazione di una metodologia di calcolo della *smartness* (SRI) degli edifici che attui le direttive europee, inquadrando le valutazioni e i risultati all'intero del certificato di prestazione energetica (EPC) e del passaporto di ristrutturazione degli edifici (BRP) (criteri 2.3 e 4.6).

Buone pratiche e riferimenti

- Andersen, R. K., Junak, K., Novikova, T., Popov, P., Vogt, G., & Zaniboni, L. (2024). *Report on Survey and Interview Results in Tuning EPC and SRI Instruments to Deliver Full Potential TunES Project*.
<https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/project/tunES-101120926/tuning-epc-and-sri-instruments-to-deliver-full-potential>
- Tool di calcolo gratuiti ufficiali UE.
<https://www.smart-ready-go.eu/>
<https://srienact.eu/sri-enact-tools/>
<https://sri2market.eu/>

4.2 STRUMENTI

Banca dati LCA

Livello: base (L1)

Scala: Nazionale

Temi: LCA

Soggetto preposto: PA promotore

Descrizione

L'adozione di una banca dati LCA condivisa a livello nazionale è già in corso di realizzazione tramite la piattaforma ARCADIA, gestita da ENEA, dove sono reperibili dataset con metadati in formato ILCD (*International Reference Life Cycle Data*). Tuttavia, l'attuale numero di dataset impedisce una sua diffusione per la valutazione LCA, limitando la verificabilità e replicabilità dei dati. La banca dati nazionale contiene infatti anche dataset di prodotti tipo, derivanti dalla media dei prodotti della filiera a scala nazionale, da utilizzare in mancanza di informazioni più dettagliate sullo specifico prodotto selezionato per il progetto.

Indicazioni operative

- Promozione a livello nazionale del popolamento della banca dati introducendo dataset riferiti a ulteriori filiere produttive. Attualmente il database contiene dataset ILCD per quanto riguarda le seguenti categorie di prodotti del settore edile: acciaio per costruzioni in carpenteria metallica, calcestruzzo e aggregati da riciclo, cemento, pietre ornamentali, lastre e sistemi in vetro per infissi e serramenti, telai in PVC per infissi e serramenti e finestre in PVC con vetrocamera a doppio o triplo vetro, gestione, recupero e smaltimento dei rifiuti da costruzione e demolizione.
- L'utilizzo della banca dati ARCADIA è conforme ad una futura integrazione nel *Green Public Procurement* e ai CAM.

Buone pratiche e riferimenti

- ARCADIA (2024). Edilizia.
<https://www.arcadia.enea.it/settori-di-intervento/edilizia.html>

4.3 STRUMENTI

Tool di calcolo LCA

Livello: base (L1)

Scala: Nazionale

Temi: LCA

Soggetto preposto: PA promotore

Descrizione

Il calcolo della valutazione LCA può essere svolto dai professionisti e consulenti attraverso diversi strumenti operativi e software; tuttavia, molti di essi sono sviluppati da aziende private e soggette al pagamento di licenze. Per supportare la diffusione di questo tipo di valutazione (anche per la sola componente della GWP) è raccomandabile istituire uno strumento *open access* che sia messo a disposizione gratuitamente dallo Stato. Questo faciliterebbe anche l'interoperabilità, la possibilità di consultare le valutazioni fatte da altri professionisti e la verifica da parte della PA e da enti certificatori.

Indicazioni operative

- Lo sviluppo di un software per la valutazione LCA richiede una base semplice e intuitiva, ad esempio basato su dei fogli di calcolo in cui poter imputare le quantità e variare le assunzioni di base per il calcolo LCA, oltre a poter selezionare i corretti dataset di riferimento per l'edificio stesso.
- Il tool può essere messo a disposizione in associazione alla banca dati LCA.
- La PA che recepisce i progetti e le relazioni di sostenibilità può legittimamente richiedere l'utilizzo di questo tool per lo svolgimento della valutazione LCA, garantendo la massima compatibilità e chiarezza nell'esposizione dei dati tra diversi progetti.

Buone pratiche e riferimenti

- In alcuni contesti europei sono già stati sviluppati dei tool da parte della PA, da utilizzare in modo volontario (tendenzialmente è lasciata libertà ai professionisti di adottare il software che preferiscono).
- La Danimarca ha sviluppato il software LCAByg: <https://www.lcabyg.dk/en/>
- La Città di Helsinki richiede che i risultati della valutazione LCA (specifica per emissioni di carbonio) siano riportati su un foglio di calcolo fornito dal sito del Comune.
<https://www.hel.fi/en/urban-environment-and-traffic/plots-and-building-permits/applying-for-a-building-permit/carbon-footprint-limit-value>
- La Germania ha introdotto il tool eLCA.
<https://www.oekobaudat.de/en/home/assessment-system-for-sustainable-building-bnb.html>

4.4 STRUMENTI

Banca dati prodotti circolari

Livello: avanzato (L2)

Scala: Nazionale, Regionale

Temi: CIR

Soggetto preposto: PA promotore

Altri soggetti: Fornitori di tecnologie, costruttori

Descrizione

Collaborazione tra Stato, Regioni, e associazioni di categoria per la definizione e lo sviluppo di una infrastruttura digitale aperta ai progettisti e alimentata dai produttori di materiali e componenti per l'edilizia, dove questi ultimi possano caricare i propri prodotti e le relative informazioni prestazionali secondo un format predefinito e con prestazioni supportate da EPD e certificazioni.

Indicazioni operative

- Utilizzo di Product Circularity Data Sheet (PCDS) come riferimento [link](#).
- Collaborazione con enti terzi per la certificazione/verifica di EPDs digitali.
- Sviluppo della piattaforma in modalità *open access* per i progettisti.
- Integrità e interoperabilità della piattaforma con i software di progettazione correntemente utilizzati dai progettisti (possibile scambio di informazioni e pacchetti BIM su determinati componenti).
- Interoperabilità con prezzari regionali.

Buone pratiche e riferimenti

- *Circularity Dataset Initiative*: il Ministero dell'Economia del Lussemburgo mira a creare uno standard industriale per raccogliere e condividere dati regolamentati sulla circolarità dei prodotti rispondendo alla difficoltà di accesso a dati affidabili, ostacolata da segreti commerciali e dalla mancanza di standard di rendicontazione, tramite un modello di dati riconosciuto a livello internazionale e verificato tramite audit: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/strategies>
- *Unboxing Carbon* (Henning Larsen): è un catalogo di materiali da costruzione *open source*, con interfaccia grafica e unità di misura definite per facilitare la comprensione dei progettisti. Al momento si focalizza sull'indicatore GWP, ma potrebbe essere preso ad esempio per sviluppare un catalogo di prodotti "circolari": <https://www.henninglarsen.com/projects/unboxing-carbon>
- GREENITOP è un'organizzazione italiana che mappa i prodotti "sostenibili" delle aziende italiane, assegnandovi l'etichetta GiT *Product Badge*, che sintetizza le prestazioni ambientali verificabili di un prodotto e identifica i crediti LEED al quale il prodotto può contribuire: <https://www.greenitop.com/it/>
- *Attention* è un progetto transfrontaliero (Interreg EU) tra Italia e Austria per stabilire un network di operatori, fornitori di servizi e aziende produttrici per supportare le Piccole e Medie Imprese nell'adozione di pratiche di economia circolare: <https://www.eurac.edu>

4.5 STRUMENTI

Prezzari con indicazioni su circolarità e decarbonizzazione

Livello: base (L1)

Scala: Nazionale, Regionale

Temi: CIR, DEC

Soggetto preposto: PA promotore

Altri soggetti: Fornitori di tecnologie, costruttori

Descrizione

Aggiornamento dei prezzari regionali con l'introduzione di soluzioni "circolari" e di decarbonizzazione. In particolare, identificazione di soluzioni che rispettino criteri di circolarità pari almeno alle soglie minime dei CAM (ad es. percentuale di riciclato per categoria di materiale, percentuale del componente che può essere disassemblato e riciclato), mediante etichette o codici dedicati. Rispetto al tema della decarbonizzazione, identificazione di voci di materiali ed opere che consentano di ottenere benefici in termini di decarbonizzazione e correlazione delle stesse alle voci esistenti in banca dati LCA.

Indicazioni operative

- Cooperazione tra regioni per armonizzare indicatori e criteri, in conformità con le Linee Guida per la determinazione dei prezzari regionali (MIMS, 2022).
- Collaborazione con enti di certificazione per definire criteri univoci, utili anche a determinare il contributo dei prodotti descritti all'ottenimento di punteggi premiali secondo i più diffusi sistemi di rating (GBRS).
- Utilizzo di EPD, e certificazioni di prodotto rilasciate da organismi di valutazione della conformità che attestino il contenuto di riciclato dei prodotti attraverso l'esplicitazione del bilancio di massa, come *ReMade in Italy*® o equivalenti, o dichiarazione ambientale autodichiarata, conforme alla norma ISO 14021.
- Per facilitare l'esecuzione di analisi LCA è consigliabile associare le voci di prezzario con quelle contenute nella banca dati LCA nazionale, riferita a prodotti generici disponibili per il mercato italiano (§4.2). Questo collegamento rende più facile e veloce lo sviluppo dei calcoli e consente un rapido aggiornamento in caso di modifiche nel progetto.

Buone pratiche e riferimenti

- Regione Toscana nel 2019 ha avviato una sperimentazione per includere nel Prezzario dei Lavori Pubblici un primo elenco di prodotti CAM, che possono fornire un aiuto nello sviluppo di una progettazione rispondente a quanto previsto nei decreti del MATTM nelle ipotesi in cui gli stessi devono essere applicati, fornendo ai progettisti un primo strumento operativo di riferimento attraverso il quale poter adempiere al dettato normativo, in funzione delle scelte progettuali attuate. I prodotti CAM sono stati inseriti con lo stesso codice di corrispondenza dei prodotti no CAM, anteceduti dall'acronimo stesso. <https://www.regione.toscana.it/-/prezzario-2019-dei-lavori-pubblici-della-toscana-in-vigore-dall-1-gennaio>

4.6 STRUMENTI

Tool di calcolo *smartness*

Livello: base (L1)

Scala: Nazionale

Temi: DIG

Soggetto preposto: PA promotore

Descrizione

Identificazione di un tool di calcolo semplificato dello SRI da adottare a livello nazionale in maniera autonoma e volontaria, per concorrere alla formazione della banca dati nazionale utile per la definizione di valori contestualizzati rispetto i parametri europei, nonché di una roadmap nazionale parallela a quella europea calibrata rispetto alla situazione italiana.

Indicazioni operative

- Valutazione dei tool semplificati di calcolo gratuiti ufficialmente adottati dall'UE, accessibili on-line.
- Integrazione in lingua italiana, ove questa funzionalità non sia disponibile.

Buone pratiche e riferimenti

- Elenco completo dei tool europei:
https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-performance-buildings/smart-readiness-indicator/implementation-tools_en
- Tool di calcolo gratuiti ufficiali UE:
<https://www.smart-ready-go.eu/>
<https://srienact.eu/sri-enact-tools/>
<https://sri2market.eu/>

5.1 INDIRIZZI E AZIONI

Obiettivi strategici decarbonizzazione, LCA, circolarità, smartness (QE)

Livello: base (L1)

Fase: Bando di gara, programmazione

Temi: LCA, DEC, CIR, DIG

Soggetto preposto: PA attuatore

Descrizione

La PA definisce criteri e indicatori chiave di prestazione (KPI), esigenze qualitative e quantitative. Integra i dati in modelli informativi secondo l'all. I.7 del QE, SEZ I art. 1.1a, 2.

Indicazioni operative

- Inserimento di obiettivi rispetto i criteri *Environmental Social Governance*.
- Predisposizione di schede da inserire nel DOCFAP che includano gli indicatori individuati: compilazione indicatori e soglia valutazione indicatori.

Buone pratiche e riferimenti

- Con riferimento all'indicatore SRI, l'Agenzia del Demanio, Direzione Regionale Calabria, DOCFAP per la realizzazione di una nuova sede per i VV.F. di Catanzaro.

5.2 INDIRIZZI E AZIONI

Standard tecnici nel piano di gestione informativa (DOCFAP)

Livello: avanzato (L2)

Fase: Bando di gara, programmazione

Temi: LCA, DEC, CIR, DIG

Soggetto preposto: PA attuatore

Descrizione

Integrazione di standard tecnici e requisiti che influenzano le soluzioni tecniche da prevedere, correlati al DIP e al PFTE.

Indicazioni operative

- Integrazione dei requisiti previsti dai CAM a seguito dell'applicazione del criterio 2.1 Revisione e integrazione CAM.
- Inclusione degli standard tecnici rispetto i criteri ESG come indicato nel criterio 5.1.

5.3 INDIRIZZI E AZIONI

Requisiti e premialità per progetti migliorativi in fase di pre-uso (DOCFAP)

Livello: base (L1)

Fase: Bando di gara

Temi: LCA, CIR

Soggetto preposto: PA attuatore

Altri soggetti: RUP, Progettisti, Costruttori

Descrizione

Impostazione di limiti di più stringenti rispetto agli attuali CAM per le fasi di pre-uso (contenuto in riciclato, uso efficiente dei materiali) e definizione di criteri premiali per offerte migliorative.

Indicazioni operative

- Definizione dei materiali e delle tecnologie conformi nel DOCFAP, in conformità con il Quadro Esigenziale: ad es. indicazione di percentuali di contenuto riciclato superiori rispetto al *Business as Usual*.
- Determinazione dei livelli di *baseline* su base regionale/locale, sui quali stabilire scaglioni migliorativi.
- Supporto alla diffusione su scala nazionale di piattaforme di raccolta e vendita di materiali riciclati/componenti idonei al riuso.
- Favorire l'efficientamento dei materiali necessari allo sviluppo dell'opera, a parità di prestazioni per contenere gli sprechi di risorse. Quest'indicazione è assimilabile al principio di *sufficiency*, parte integrante del SER *framework* (*Sufficiency, Efficiency, Renewables*) identificato dall'IPCC.

Buone pratiche e riferimenti

- LiDAR: utilizzo di tecnologie e strumenti innovativi per il riconoscimento del potenziale di riuso/riciclo dei rifiuti da demolizione e costruzione: <https://european-digital-innovation-hubs.ec.europa.eu/knowledge-hub/success-stories/lidar-sensor-applied-construction-sites>
- BAMB, *Buildings as Material Banks: Integrating Materials Passports with Reversible Building Design to Optimise Circular Industrial Value Chains* è un progetto Horizon 2020 che propone l'introduzione di strumenti digitali per la mappatura dei materiali da C&D con potenziale circolare, per alimentare banche dati dedicate: <https://cordis.europa.eu/project/id/642384>
- Alcune esperienze internazionali di successo nel campo della raccolta materiali e componenti da immettere in filiere circolari: RotorDC; SalvoUK; Harvest Map Superuse; Giacimenti Urbani Milano.
- Saheb, Y. (2021). COP26: *Sufficiency should be first. Buildings and Cities*. <https://www.buildingsandcities.org/insights/commentaries/cop26-sufficiency.html>

5.4 INDIRIZZI E AZIONI

Requisiti e premialità per progetti migliorativi in fase di post-uso (DOCFAP)

Livello: avanzato (L2)

Fase: Bando di gara

Temi: LCA, CIR

Soggetto preposto: PA attuatore

Altri soggetti: RUP, Progettisti, Costruttori

Descrizione

Impostazione di limiti di più stringenti rispetto agli attuali CAM per le fasi di post-uso (vita utile dei componenti e facilità di riparazione/sostituzione; facilità di disassemblaggio) e definizione di criteri premiali per offerte migliorative.

Indicazioni operative

- Definizione dei materiali e delle tecnologie conformi nel DOCFAP, in conformità con il QE, come soluzioni costruttive a secco, possibilità di separazione degli strati costituenti, durabilità almeno pari al ciclo di vita atteso per la classe di unità tecnologica di appartenenza.
- Determinazione dei livelli di *baseline* su base regionale/locale, sui quali stabilire scaglioni migliorativi.
- In aggiunta, definizione di premialità per componenti/materiali gestiti mediante Business model innovativi come *Product-as-a-Service* (PSS), *Extended Producer Responsibility* (EPR) & *Right to Repair*.

Buone pratiche e riferimenti

- *Façade-as-a-Service*: business model innovativo sviluppato da TU Delft per la riqualificazione edilizia, che affronta gli aspetti gestionali, e le implicazioni finanziarie dei concetti di *design for disassembly and adaptability* – spesso solo teorizzati. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1084078>
- *Extended Producer Responsibility*. <https://www.bpie.eu/publication/extended-producer-responsibility-in-the-construction-sector/>
 - a) GBA *on flat glass*: in Olanda hanno avviato una sperimentazione nel settore del vetro piano, dove i produttori pagano quote dedicate al recupero dei propri prodotti a fine vita, per la gestione da un operatore unico a livello nazionale.
 - b) PRO Valobat, in Francia ogni operatore economico è tenuto a pagare una quota in base alla modalità di gestione dei propri prodotti a fine vita, ciò supporta e migliora il sistema di raccolta di CDW a livello nazionale.
- Il *Circular Buildings Toolkit* (ARUP) contiene tre strategie dedicate alla progettazione circolare nelle fasi di post-uso (*Design for Longevity*; *Design for Adaptability*; *Design for Disassembly*) e 14 buone pratiche associate. <https://ce-toolkit.dhub.arup.com/strategies>

5.5 INDIRIZZI E AZIONI

Scenari tecnici per la fase d'uso (DOCFAP)

Livello: avanzato (L2)	Fase: Bando di gara, programmazione
Temi: LCA, DEC, CIR, DIG	Soggetto preposto: PA attuatore

Descrizione

Il DOCFAP può prevedere che la scelta delle soluzioni tecniche, economiche e finanziarie sia influenzata anche dell'efficientamento degli aspetti connessi alla fase d'uso. Si prevede che gli indicatori e le relative soglie di valutazione individuati nelle sezioni "2. Apparato normativo" e "3. *Benchmark/Valori limite*" relative ai parametri LCA, decarbonizzazione, circolarità e digitalizzazione e *smartness*, influiscano sulla redazione di una o più alternative progettuali. Azione correlata ai criteri 5.1 Obiettivi strategici (QE) e 5.3 Requisiti e premialità per progetti migliorativi in fase di pre-uso (DOCFAP).

Indicazioni operative

- Inserimento dei parametri legati ai criteri individuati ai parametri LCA, decarbonizzazione, circolarità e digitalizzazione e *smartness* e a correlati indicatori chiave (ad es. SRI) in una o più alternative progettuali, con livelli soglia base e avanzati.
- Simulazioni attraverso modelli digitali a supporto degli schemi grafici che descrivono l'individuazione delle caratteristiche essenziali delle alternative progettuali analizzate.

Buone pratiche e riferimenti

- Röck, M., Hollberg, A., Habert, G., & Passer, A. (2018). LCA and BIM: Integrated Assessment and Visualization of Building Elements' Embodied Impacts for Design Guidance in Early Stages, *Procedia CIRP*, vol. 69, pp. 218-223.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.087>
- Del Curto, D., Garzulino, A., & Turrina, A. (2024). Sostenibilità e transizione energetica – Prospettive per un approccio integrato al patrimonio costruito | Sustainability and energy transition – Perspectives for an integrated approach to the built heritage, *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 114-123. [Online] <https://doi.org/10.19229/2464-9309/1582024> .
- Heisel, F., & Rau-Oberhuber, S. (2020). Calculation and evaluation of circularity indicators for the built environment using the case studies of UMAR and Madaster, *Journal of Cleaner Production*, vol. 243, article 118482, pp. 1-12.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118482>

5.6 INDIRIZZI E AZIONI

Calcolo GWP per interventi pubblici (DIP)

Livello: base (L1)

Fase: Bando di gara

Temi: LCA, DEC

Soggetto preposto: PA attuatore

Descrizione

Inserimento di clausole specifiche all'interno dei bandi di gara per richiedere la valutazione LCA per gli edifici pubblici di nuova realizzazione. In primis, si propone di rendere l'indicatore GWP obbligatorio per questo tipo di interventi entro il 2027, in anticipo rispetto a quanto richiesto dall'EPBD e dalla normativa italiana (criterio 2.2). Il criterio agisce a livello di singolo bando, offrendo la possibilità di agire in modo più restrittivo per progetti specifici.

Indicazioni operative

- La richiesta di calcolo delle emissioni di gas serra lungo il ciclo di vita dell'edificio può essere inserita direttamente nel bando di gara, all'interno del DIP. Secondo quanto previsto dal D.Lgs 36/2023, All. I.7, Art.3, "il DIP è redatto e approvato prima dell'affidamento del progetto di fattibilità tecnica ed economica, sia in caso di progettazione interna, che di progettazione esterna alla stazione appaltante. in quest'ultimo caso, il DIP dovrà essere parte della documentazione di gara per l'affidamento del contratto pubblico di servizi, in quanto costituisce parte integrante del capitolato del servizio di progettazione".
- Il DIP prevede di descrivere le indicazioni per le specifiche tecniche contenute nei CAM da seguire nel progetto. Ulteriori specifiche possono essere aggiunte nel testo, lasciando la possibilità di estendere alcuni requisiti.
- Il calcolo della GWP viene quindi richiesto in fase di progetto di fattibilità tecnico-economica (PFTE) e confermato nelle fasi successive di progettazione.
- È necessario definire una metodologia chiara e incontrovertibile che può essere seguita dai progettisti senza lasciare spazio per interpretazioni.
- Il miglioramento del 10% per il GWP (tot) può essere dimostrato, in via preferenziale, rispetto ai valori *benchmark* calcolati secondo il criterio 3.2. In mancanza dei *benchmark*, può essere riferito al progetto di fattibilità (PFTE) assunto come base di partenza.

Buone pratiche e riferimenti

- Gazzetta Ufficiale. (2023). D.Lgs. 31 marzo 2023, n. 36 – Codice dei contratti pubblici in attuazione dell'art. 1 della Legge 21 giugno 2022, n. 78.
- C40 – *Reinventing Cities*. I bandi di rigenerazione urbana richiedono di proporre soluzioni progettuali volte alla sostenibilità ambientale, dimostrando in maniera quantitativa i benefici ottenuti tramite le stesse strategie rispetto al cosiddetto *Business as Usual*. <https://www.c40reinventingcities.org>

5.7 INDIRIZZI E AZIONI

Calcolo LCA per interventi pubblici (DIP)

Livello: avanzato (L2)

Fase: Bando di gara

Temi: LCA

Soggetto preposto: PA attuatore

Descrizione

Inserimento di clausole specifiche all'interno dei bandi di gara per richiedere la valutazione LCA per gli edifici pubblici di nuova realizzazione. Come livello ulteriore rispetto al criterio 5.6, il presente criterio propone di rendere obbligatorio il calcolo sul ciclo di vita dell'edificio di 14 indicatori, applicando una richiesta avanzata rispetto a quanto previsto dall'EPBD, ma in linea con quanto già applicato in Francia e Paesi Bassi. Il criterio agisce a livello di singolo bando, offrendo la possibilità di agire in modo maggiormente restrittivo per progetti specifici. Per soddisfare il requisito occorre dimostrare un miglioramento del 10% per almeno tre di questi indicatori in fase di progetto esecutivo.

Indicazioni operative

- La richiesta di calcolo degli impatti ambientali lungo il ciclo di vita dell'edificio può essere inserita direttamente nel bando di gara, all'interno del DIP, che prevede di descrivere le indicazioni per le specifiche tecniche contenute nei criteri ambientali minimi (CAM) da seguire nel progetto. Ulteriori specifiche possono essere aggiunte nel testo, lasciando la possibilità di estendere alcuni requisiti (criterio 5.6).
- Il calcolo LCA viene quindi richiesto in fase di progetto di fattibilità tecnico-economica (PFTE) e confermato nelle fasi successive di progettazione.
- Questo criterio espande quindi l'obbligatorietà per valutare un set completo di indicatori da riportare nella relazione di sostenibilità, utili per limitare gli impatti ambientali non limitandosi ai soli indicatori di emissioni di gas serra.
- Il miglioramento del 10% per tre indicatori può essere dimostrato, in via preferenziale, rispetto ai valori *benchmark* calcolati secondo il criterio 3.2. In mancanza dei *benchmark*, può essere riferito al PFTE assunto come base di partenza. La proposta integrativa di questo criterio, che viene quindi definito "LCA avanzato" in contrapposizione con l'attuale quadro legislativo, mira ad analizzare quattordici integratori (§2.2). È necessario definire una metodologia chiara e incontrovertibile che i progettisti possono seguire senza interpretazioni.

Buone pratiche e riferimenti

- Ministère de la Transition Écologique (MTE), CEREMA. (2020). *Réglementation Environnementale des bâtiments neufs* [RE2020](#).
- Rijksdienst voor Ondernemend (RVO). (2025, August 13th). *Environmental Performance Buildings* – [MPG](#).

5.8 INDIRIZZI E AZIONI

Standard tecnici per i documenti di programmazione (DIP - PFTE)

Livello: avanzato (L2)

Fase: Bando di gara, Progettazione

Temi: DIG

Soggetto preposto: PA attuatore

Descrizione

Nell'ambito della redazione del Documento di Indirizzo alla Progettazione (DIP) e del Progetto di fattibilità tecnico-economica (PFTE), il criterio dà indicazioni circa i parametri di cui tenere conto per il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità in relazione agli aspetti di digitalizzazione e *smartness* degli edifici. Azione correlata ai criteri 5.1 Obiettivi strategici (QE) e 5.5 Scenari tecnici per la fase d'uso (DOCFAP).

Indicazioni operative

- Indicazione, nel criterio di aggiudicazione, del soddisfacimento degli aspetti legati alla valutazione dell'indicatore SRI.
- Inclusione dei requisiti previsti dai CAM nella gestione informativa digitale.
- Inclusione delle specifiche tecniche ai fini della *smartness* degli impianti.
- Riferimenti alla fase esecutiva, di pianificazione e gestione della realizzazione all'interno del modello informativo digitale.
- Inserimento dei dati nei corrispettivi elaborati del PFTE.

5.9 INDIRIZZI E AZIONI

Checklist di auto-valutazione di circolarità per progettisti (PFTE)

Livello: base (L1)

Fase: Progettazione

Temi: CIR

Soggetto preposto: RUP

Altri soggetti: Progettisti

Descrizione

Predisposizione di una lista di domande guida che stimolino i progettisti ad autovalutare il proprio progetto secondo prestazioni di circolarità nella fase di definizione dello stesso.

Indicazioni operative

- Definizione di una lista di domande guida per l'auto-valutazione del livello di circolarità complessivo della proposta progettuale e tecnica, da includere nel PFTE.
- Le domande devono essere corredate da indicatori semplici su base dicotomica (sì/no), scala Likert o equivalenti. Si suggerisce di prendere a riferimento la struttura del Livello 1 degli indicatori 2.1-2.4 di LEVEL(s) EU. È importante includere nella lista di controllo tutti gli aspetti che riguardano la circolarità dei manufatti edilizi: dal contenuto riciclato nei materiali utilizzati all'adattabilità del progetto e dei componenti selezionati.

Buone pratiche e riferimenti

- LEVEL(s) EU
<https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/product-groups/412/documents>
Gli indicatori 2.1 *Bill of quantities, materials and lifespans*; 2.2 *Construction & Demolition waste and materials*; 2.3 *Design for adaptability and renovation*; 2.4 *Design for deconstruction, reuse and recycling* prevedono 3 livelli di valutazione del progetto, il primo dei quali fornisce una checklist di domande semplici che stimolano l'auto-valutazione da parte dei progettisti. Tra queste, è particolarmente importante includere aspetti relativi alla flessibilità e adattabilità, come quelle del livello 1 dell'indicatore 2.3, che interessano: aspetti dell'adattabilità funzionale del progetto; aspetti dell'adattabilità del progetto relativi alla capacità strutturale; aspetti dell'adattabilità del progetto relativi ai servizi; aspetti di adattabilità degli edifici residenziali in funzione delle diverse fasi della vita.

5.10 INDIRIZZI E AZIONI

Relazione di sostenibilità con calcolo LCA (PFTE)

Livello: base (L1)

Fase: Progettazione

Temi: LCA, DEC

Soggetto preposto: RUP, Certificatore esterno

Altri soggetti: Progettisti

Descrizione

Il PFTE richiede di redigere una relazione di sostenibilità riportante le informazioni che attestano il soddisfacimento dei requisiti CAM. Il presente criterio esorta a redigere una relazione di sostenibilità completa del calcolo sul ciclo di vita in ottemperanza ai criteri 5.6 e 5.7. Pertanto, la relazione riporterà le emissioni di GWP sul ciclo di vita degli edifici o il calcolo di 14 indicatori seguendo i requisiti sopra citati.

Indicazioni operative

- La relazione di calcolo deve rispettare i contenuti indicati nei criteri 5.6 o 5.7, ovvero seguire la metodologia nazionale vigente.
- L'utilizzo di tool e dataset ambientali è a libera scelta del progettista/consulente, a meno di indicazioni specifiche proposte dalla stazione appaltante e, in sua rappresentanza, dal RUP.

Buone pratiche e riferimenti

- Gazzetta Ufficiale (2023). Decreto legislativo 31 marzo 2023, n. 36 – Codice dei contratti pubblici in attuazione dell'art. 1 della Legge 21 giugno 2022, n. 78, recante delega al Governo in materia di contratti pubblici come integrato e modificato dal decreto legislativo 31 dicembre 2024, n. 209.
<https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:2023-03-31;36>

5.11 INDIRIZZI E AZIONI

Check di auto-valutazione di *smartness* (PFTE)

Livello: avanzato (L2)

Fase: Progettazione

Temi: DIG

Soggetto preposto: RUP

Descrizione

Il criterio individua soggetti e azioni per espletare le operazioni di verifica e gli adempimenti necessari a validare l'iter proposto in fase di programmazione ai fini del raggiungimento degli obiettivi di *smartness*. L'azione fa riferimento ai criteri 5.1, 5.5 e 5.8.

Indicazioni operative

- PA: adotta il principio della *smartness* ai sensi dell'All. I.7 Sez. II art. 6.6c.
- RUP: verifica l'inclusione dei requisiti legati alla *smartness* e alla sostenibilità ambientale indicati nel DIP.
- PA: include standard tecnici riferiti allo SRI all'interno del PFTE (All. I.7 – Sez II art.7 e 8).
- RUP: supervisiona la coerenza fra i requisiti e gli obiettivi del progetto.

5.12 INDIRIZZI E AZIONI

Componenti tecnologiche smart (PFTE)

Livello: base (L1)

Fase: Progettazione

Temi: DIG

Soggetto preposto: PA attuatore

Altri soggetti: Progettisti, Direzione lavori

Descrizione

Nell'ambito dell'implementazione della *smartness* degli edifici, il criterio orienta verso l'utilizzo di tecnologie *smart* fin dalla fase di progettazione. A tal fine sono strumenti chiave *Building Automation Control System* (BACS), *Building Management System* (BMS) ed *Energy Management System* (EMS). La loro integrazione consente, in fase d'uso, il controllo e il monitoraggio degli indicatori di *smartness* (SRI).

Indicazioni operative

- Valutazione delle tecnologie (IoT, BACS) da implementare.
- Integrazione delle tecnologie *smart* in fase di progettazione.

5.13 INDIRIZZI E AZIONI

Certificazione EPD di materiali e componenti (PE)

Livello: base (L1)

Fase: Progettazione

Temi: LCA, DEC

Soggetto preposto: RUP, PA attuatore

Altri soggetti: Progettisti, Fornitori, Costruttori

Descrizione

Richiesta di fornitura di materiali preferibilmente dotati di certificazione EPD per essere impiegati in cantiere. Inclusione nella relazione di sostenibilità e nella documentazione di progetto (ad es. capitolato speciale d'appalto) dei prodotti certificati EPD in fase di PE.

Indicazioni operative

- Richiedere materiali e prodotti certificati EPD, conformi allo standard EN15804+A2, laddove sia possibile. Tale richiesta deve essere esercitata dalla stazione appaltante e dal RUP e comunicata al progettista in fase di PE nel caso di affidamento congiunto (progettazione ed esecuzione) oppure all'appaltatore durante la fase di realizzazione per l'approvvigionamento dei materiali.
- Il RUP procede a verificare che i materiali certificati EPD indicati come oggetto di fornitura siano effettivamente impiegati in opera, pena la segnalazione sul registro di cantiere dell'inadempienza da parte del Direttore dei Lavori.

5.14 INDIRIZZI E AZIONI

Calcolo, verifica e attestazione SRI

Livello: base (L1)

Fase: Progettazione, Esecuzione

Temi: DIG

Soggetto preposto: Certificatore esterno

Descrizione

L'UE prevede che la valutazione della *smartness* dell'edificio attraverso il calcolo dello SRI sia obbligatoria a partire dal 2027. La valutazione è condotta da certificatori esterni abilitati al rilascio di un'attestazione che verifichi la conformità dell'edificio rispetto i parametri previsti dalla normativa o da progetto.

Indicazioni operative

- Calcolo dello SRI attraverso griglia di calcolo UE o tool nazionale (criterio 4.6)
- Verifica del livello raggiunto e rilascio della relativa attestazione.

Buone pratiche e riferimenti

- [Foglio di calcolo](#) UE
- Tool di calcolo gratuiti ufficiali UE: <https://www.smart-ready-go.eu/>; <https://srienact.eu/sri-enact-tools/>; <https://sri2market.eu/>

5.15 INDIRIZZI E AZIONI

Verifica del progetto secondo criteri di circolarità

Livello: base (L1)

Fase: Progettazione

Temi: CIR

Soggetto preposto: RUP

Altri soggetti: Progettisti, Costruttori

Descrizione

Definizione di una procedura di verifica del progetto esecutivo secondo i criteri di circolarità stabiliti nel bando di gara, che si richiede al soggetto partecipante di esplicitare maggiormente rispetto alla checklist di auto-valutazione, utilizzando criteri forniti dal RUP o facendo riferimento a metodologie di valutazione LCA, o mediante documentazione equiparabile all'ottenimento di crediti di circolarità secondo i principali GBRS.

Indicazioni operative

- I progettisti, che sono tenuti a identificare chiaramente gli obiettivi quantitativi (ad es. percentuali di materiali riciclati) mediante il ricorso a LCA e LCC, o utilizzando gli indicatori sviluppati dal progetto PRIN *Better Policy* (criterio 5.7).
- Indicazione delle soluzioni tecnologiche “circolari” nel capitolato, Computo Metrico Estimativo e Relazione Tecnica illustrativa.

Buone pratiche e riferimenti

- Level(s) EU: gli indicatori 2.1-2.4 forniscono indicatori LCA per il livello 2 e livello 3 relativamente alle fasi di pre- and post-uso.
<https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/product-groups/412/documents>
- DGNB (2024): DGNB Quality standard for circularity indices.
[https://www.dgnb.de/en/sustainable-building/circular-building/circularity-indices#:~:text=In%20accordance%20with%20the%20DGNB,potential\)%20circularity%20in%20the%20future](https://www.dgnb.de/en/sustainable-building/circular-building/circularity-indices#:~:text=In%20accordance%20with%20the%20DGNB,potential)%20circularity%20in%20the%20future)

5.16 INDIRIZZI E AZIONI

Certificato di regolare esecuzione (CRE)

Livello: base (L1)

Fase: Esecuzione

Temi: LCA, DEC, CIR

Soggetto preposto: RUP

Altri soggetti: Progettisti, Costruttori

Descrizione

Al termine dei lavori, il Direttore dei Lavori (DL) redige il Certificato di Regolare Esecuzione che viene confermato dal RUP, il quale certifica l'adempimento dei requisiti di sostenibilità ambientale, tramite l'accertamento della regolarità della relazione di sostenibilità. Tale relazione dovrà contenere le indicazioni sugli obiettivi di progetto, i metodi di valutazione del raggiungimento degli obiettivi e una procedura di convalida/collauda del progetto ovvero di correzione delle fasi di esecuzione non conformi ai requisiti.

Indicazioni operative

- Il criterio mette in rilievo il ruolo del RUP che deve accertare la regolarità nella documentazione e nelle pratiche per garantire la sostenibilità del progetto. Le relazioni di sostenibilità (obbligatorie in fase di PFTE e PE, facoltativa per l'*as-built*) sono verificate da un certificatore esterno e confermate dal RUP, in qualità di coordinatore del processo progettuale in rappresentanza della Stazione appaltante.

Buone pratiche e riferimenti

- GLA (2022). London Plan Guidance. *Whole Life-Cycle Carbon Assessments*.
La normativa londinese richiede di fornire un calcolo WLC *post-construction*, dove i progettisti forniscono indicazioni aggiornate secondo i valori effettivi della costruzione realizzata (ad es. le emissioni dovute ai trasporti dei prodotti e dei rifiuti, che erano solo stimate in fase di progetto), riportando anche la lista degli EPD dei prodotti impiegati. Occorre inoltre spiegare le divergenze nei risultati finali rispetto a quelli stimati e in rapporto ai *benchmark*, nonché riportare quali insegnamenti è possibile dedurne.

https://www.london.gov.uk/sites/default/files/lpg_-_wlca_guidance.pdf

5.17 INDIRIZZI E AZIONI

Segnalazione Certificata di Agibilità (SCA)

Livello: avanzato (L2)

Fase: Esecuzione

Temi: LCA, DEC, CIR

Soggetto preposto: Progettisti, PA attuatore

Altri soggetti: RUP, Costruttori, Certificatore esterno

Descrizione

Al termine dei lavori, il Direttore dei Lavori (DL) redige il Certificato di Regolare Esecuzione che viene confermato dal RUP, il quale certifica l'adempimento dei requisiti di sostenibilità ambientale, tramite l'accertamento della regolarità della relazione di sostenibilità. Tale relazione dovrà contenere le indicazioni sugli obiettivi di progetto, i metodi di valutazione del raggiungimento degli obiettivi e una procedura di convalida/collaudo del progetto ovvero di correzione delle fasi di esecuzione non conformi ai requisiti.

Indicazioni operative

- La relazione di sostenibilità in fase *as-built* contiene il livello massimo di dettaglio sia in termini quantitativi che di materiali e componenti effettivamente impiegate nel progetto (A1-A3), nonché la possibilità di verificare le assunzioni svolte per le distanze di trasporto dei materiali sul cantiere (A4), le emissioni dovute alla fase di cantiere (A5) e le quantità precise di rifiuti da demolizione e costruzione (CDW).
- La relazione è approvata da un certificatore esterno che ne attesta la completezza e il rigore dei dati.
- Il criterio suggerisce di allegare la relazione di sostenibilità con i dati più aggiornati alla Segnalazione Certificata di Agibilità, suggellando il termine dei lavori in ogni sua parte con le dovute verifiche di sostenibilità.

Buone pratiche e riferimenti

- GLA (2022). *London Plan Guidance. Whole Life-Cycle Carbon Assessments*. La normativa londinese richiede di fornire un calcolo WLC *post-construction*, dove i progettisti forniscono indicazioni aggiornate secondo i valori effettivi della costruzione realizzata (ad es. le emissioni dovute ai trasporti dei prodotti e dei rifiuti, che erano solo stimate in fase di progetto), riportando anche la lista degli EPD dei prodotti impiegati. Occorre inoltre spiegare le divergenze nei risultati finali rispetto a quelli stimati in fase di progetto e in rapporto ai *benchmark*, nonché riportare quali insegnamenti è possibile dedurne per futuri progetti.
https://www.london.gov.uk/sites/default/files/lpg_-_wlca_guidance.pdf

5.18 INDIRIZZI E AZIONI

Monitoraggio in fase d'uso dei parametri individuati

Livello: avanzato (L2)

Fase: Gestione

Temi: LCA, DEC, CIR, DIG

Soggetto preposto: Facility manager

Altri soggetti: Progettisti, RUP, Costruttori, Utente finale

Descrizione

Il criterio prevede che il Facility Manager aggiorni la relazione di sostenibilità e il piano di manutenzione con i dati raccolti durante la vita dell'edificio, confermando o modificando man mano i parametri individuati in fase di progetto riferiti ai vari ambiti (LCA, decarbonizzazione, circolarità, digitalizzazione e *smartness*). Le previsioni di consumo energetico e di impatto ambientale che occorrono durante la fase operativa dell'edificio (moduli B1-B7) sono verificate impiegando i dati primari di consumo forniti dall'edificio stesso e ricavati dalle opere di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Indicazioni operative

- Per l'analisi LCA, i dati necessari al monitoraggio sono ricavabili dalle quantità di consumo energetico e di acqua, nonché dalle relazioni di sostenibilità/CAM redatte in occasione di manutenzioni ordinaria e straordinaria che occorrono durante il ciclo di vita dell'edificio.
- Tracciamento dei cicli di sostituzione di materiali e componenti dell'edificio, che dovrebbero seguire i valori di *Reference Service Life* (RSL) pianificati nella relazione di sostenibilità/circularità in fase di progetto, anche in riferimento a eventuali schemi di servitizzazione (PaaS) o *Extended Producer Responsibility*.
- Installazione di sistemi automatizzati (BACS, BMS, EMS) e possibilità di accesso ai dati rilevati dall'utente.

Buone pratiche e riferimenti

- Caroli, T., Lavagna, M., & Campioli, A. (2019). Literature review on Remanufacturing strategies and LCA forward the building sector, in Arcese, G., Cellura, M., Cutaia, L., Lucchetti, M. C., Mancuso, E., Mistretta, M., Montauti, C., & Scalbi, S. (a cura di), *Atti del VIII Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA, Associazione Rete Italiana LCA*, Roma, pp. 171-178.
- Francart, N., Widström, T. & Malmqvist, T. (2021). Influence of methodological choices on maintenance and replacement in building LCA, *Int J Life Cycle Assess*, vol. 26, pp. 2109-2126. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01985-z>

5.19 INDIRIZZI E AZIONI

Monitoraggio demolizione e decostruzione per fini LCA

Livello: avanzato (L2)

Fase: Fine vita

Temi: LCA, CIR

Soggetto preposto: Facility manager

Altri soggetti: Progettisti, Costruttori

Descrizione

Il criterio prevede che il Facility Manager (dell'edificio al termine del ciclo di vita) e il RUP (incaricato per la progettazione del nuovo edificio) lavorino congiuntamente per pianificare le operazioni di demolizione/decostruzione dell'edificio esistente, promuovendo azioni di recupero e riciclo dei materiali. La stima degli impatti confluisce quindi nel modulo A0 (in principio del ciclo di vita del nuovo edificio).

Indicazioni operative

- La relazione di sostenibilità evidenzia quali misure di contenimento degli impatti sono state programmate per la fase di demolizione/decostruzione dell'edificio precedentemente esistente, confluyendo nel modulo A0 della relazione di sostenibilità del nuovo edificio, al fine di evitare un debito nascosto di GHG dovuto alle emissioni di gas serra associate alla demolizione in fase antecedente alla costruzione del nuovo edificio.
- I dati rilevanti riguardano la percentuale di materiali che vengono riciclati, portati a interrimento, inceneriti, ecc., oltre alle relative distanze di trasporto.
- Similmente, occorre valutare e rendicontare se una parte dei materiali/componenti viene riutilizzato per nuovi prodotti/edifici, oltre il ciclo di vita dell'edificio stesso (modulo D dell'edificio esistente, se rendicontato), in accordo con quanto dichiarato nella relazione di progetto allegato al Progetto Esecutivo.

Buone pratiche e riferimenti

- GLA (2022). *London Plan Guidance. Whole Life-Cycle Carbon Assessments*. Nella relazione di calcolo WLC è richiesto in fase di Progetto preliminare di includere una stima delle emissioni associate alle demolizioni e di aver ipotizzato scenari alternativi per preservare l'edificio esistente da una completa demolizione, tra cui l'integrazione del tessuto degli edifici preesistenti nella nuova costruzione.
https://www.london.gov.uk/sites/default/files/lpg_-_wlca_guidance.pdf

5.20 INDIRIZZI E AZIONI

Monitoraggio emissioni GHG per la riqualificazione energetica

Livello: avanzato (L2)

Fase: Gestione

Temi: DEC

Soggetto preposto: Facility manager

Altri soggetti: Utente

Descrizione

Monitoraggio delle emissioni di gas serra (GHG) del patrimonio edilizio pubblico al fine di pianificare interventi di riqualificazione energetica e di manutenzione o ripristino.

Attuazione di strategie volte a massimizzare la durabilità degli interventi e minimizzarne le emissioni di GHG.

Indicazioni operative

- Stabilire dei livelli massimi di emissioni *operational* del patrimonio edilizio e stabilire la soglia di intervento, ad esempio per classe energetica.
- Stabilire degli standard di intervento atti a garantirne la minimizzazione delle emissioni *embodied* e la massima riduzione delle emissioni *operational*.
- Monitorare periodicamente gli standard stabiliti e aggiornarli costantemente in base all'evoluzione dei target di emissioni.

Buone pratiche e riferimenti

- *Housing Stock Condition Database* (HSCD) è un database sviluppato da Building Research Establishment (BRE) che consente di monitorare i consumi energetici del patrimonio edilizio integrando il tool *Excess Cold Calculator* e il tool *Housing Health Cost Calculator*. È stato usato dall'amministrazione cittadina a Bolton (UK) per investigare lo stato di conservazione del patrimonio edilizio privato e prevenire possibili inefficienze nella fornitura energetica o potenziali situazioni di pericolo.

Gli Autori

Ernesto Antonini. Architetto, PhD, professore di Progettazione tecnologica e ambientale dell'architettura e coordinatore del Master internazionale in Architecture and Creative Practices for the City and Landscape presso il Dipartimento di Architettura dell'Università di Bologna. Si occupa di innovazione, sistemi di certificazione, riciclaggio dei rifiuti da costruzione e demolizione, architettura sostenibile, ristrutturazione e riabilitazione di edifici pubblici.

Maria Azzalin. Architetto, PhD, ricercatrice RTDB esperta in Digital Twin, BIM e gestione dell'ambiente costruito. Si occupa di modelli di governance per scenari *climate-proof*, con approccio *life-cycle* e *human-centred*. Docente di BIM e Digital Twin, è responsabile R&S di BIG S.r.l. (spin-off universitario e PMI innovativa). Collabora con centri esteri ed è membro di buildingSMART.

Andrea Campioli. Architetto, PhD, professore ordinario di Progettazione tecnologica e ambientale dell'architettura presso il Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito del Politecnico di Milano, dove svolge ricerca sul rapporto tra innovazione tecnologica, sostenibilità ambientale e cultura del progetto. Svolge attività didattica nella Scuola di Architettura Urbanistica Ingegneria delle Costruzioni, di cui è Preside dal 2023.

Maria Canepa. Architetto, PhD in Tecnologia dell'Architettura, ricercatrice RTDA e docente presso il Dipartimento di Architettura e Design dell'Università di Genova. Svolge attività di ricerca e didattica in Italia e all'estero sul tema della progettazione sostenibile e degli edifici, più recentemente si occupa di strategie per il cambiamento climatico e la valutazione ambientale, oltre che di progettazione multispecie, ecodesign e inclusività.

Anna Dalla Valle. Architetto e PhD, è ricercatrice RTT presso il Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito del Politecnico di Milano. Svolge attività di ricerca e didattica in Italia e all'estero nel campo della tecnologia dell'architettura, con attenzione alla sostenibilità

ambientale, alla valutazione del ciclo di vita dell'ambiente costruito alle diverse scale di intervento e all'ottimizzazione delle performance ambientali, a supporto dei processi decisionali.

Jacopo Gaspari. Architetto, PhD, professore di Progettazione tecnologica e ambientale dell'architettura presso il Dipartimento di Architettura dell'Università di Bologna. Ha partecipato e coordinato diversi progetti di ricerca internazionali riguardanti la transizione verso un ambiente costruito a basse emissioni di carbonio. Si occupa di architettura sostenibile, efficienza energetica, circolarità, adattamento del costruito ai cambiamenti climatici.

Francesca Giglio. Architetto, PhD, associato (CEAR 08/C) presso il Dipartimento di Architettura e Design, Università Mediterranea di Reggio Calabria. Membro del CdA dell'Ateneo. Responsabile scientifico del laboratorio strumentale MATeRICs. Concentra la sua ricerca su strategie adattive di progettazione circolare per la transizione ecologica e su materiali e sistemi costruttivi avanzati per l'ambiente costruito.

Serena Giorgi. Architetto, PhD, è ricercatrice presso il Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito del Politecnico di Milano. Svolge attività di ricerca sui temi di sostenibilità ambientale ed economia circolare nel settore edilizio, metodi e strumenti *Life Cycle Assessment*, tecnologie costruttive reversibili e strategie di riuso. Coordinatrice del GdL "LCA in edilizia" dell'Associazione Rete Italiana LCA e membro della Cost-Action CircularB e dello IEA EBC Annex 89.

Giovanna Maria La Face. Conservatore dei Beni Architettonici ed Ambientali, PhD e assegnista dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria. Ha svolto attività di ricerca sui temi della gestione sostenibile, rifunzionalizzazione energetica e conservazione programmata dei centri storici minori. Recentemente si occupa di digitalizzazione e *smartness* degli edifici.

Massimo Lauria. Architetto, PhD, ordinario di Progettazione tecnologica e ambientale dell'architettura presso l'Università Mediterranea di Reggio Calabria. Conduce studi teorici e applicazioni sperimentali sui temi del progetto di trasformazione dell'ambiente costruito, del Building Construction, del Management del Processo Edilizio, con attenzione alla fase di gestione del ciclo di vita degli edifici.

Monica Lavagna. Architetto, PhD, professore associato di Progettazione tecnologica e ambientale dell'architettura presso il Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito del Politecnico di Milano. Si occupa di sostenibilità e valutazione ambientale LCA del progetto di architettura,

alle diverse scale, e di integrazione del metodo LCA nelle policy sia nazionali che europee. Presidente dell'Associazione Rete Italiana LCA e membro del CEN TC350, della Cost-Action CircularB e dello IEA EBC Annex 89.

Adriano Magliocco. Architetto, professore ordinario in Progettazione tecnologica e ambientale dell'architettura presso l'Università degli Studi di Genova, nel Dipartimento di Architettura e Design, di cui attualmente è Direttore. PhD in Tecnologia dell'Architettura e dell'Ambiente, si occupa di temi di ricerca legati al concetto di sostenibilità ambientale sia nei processi di valutazione che di progetto, dalla scala urbanistica a quella edilizia.

Lia Marchi. Architetto, PhD, opera come docente a contratto e svolge attività di ricerca presso il Dipartimento di Architettura dell'Università di Bologna. È esperta di sistemi di certificazione. Si occupa di transizione energetica nell'ambiente costruito, sistemi e prodotti per OSC, circolarità, soluzioni per l'efficienza energetica e di interazione edificio-utente, progettazione sostenibile dei siti industriali.

Ilaria Oberti. Architetto, PhD, professore associato di Progettazione tecnologica e ambientale dell'architettura presso il Politecnico di Milano, dove svolge attività di ricerca presso il Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito e attività di didattica presso la Scuola di Architettura Urbanistica Ingegneria delle Costruzioni. Si occupa di sostenibilità e qualità ambientale del progetto di architettura, alle diverse scale.

Margherita Pongiglione. Architetta e ricercatrice specializzata in design circolare e decarbonizzazione del settore edilizio. Ha conseguito una laurea in Architettura, un dottorato in Ingegneria Strutturale e un Master in Sustainable Design a Washington, DC. Dopo cinque anni in Arup come architetta strutturista, nel 2022 fonda lo studio di progettazione RAMP e inizia l'attività di docente a contratto per il "Laboratorio di Tecnologia" presso l'Università di Genova.

Davide Tirelli. Ingegnere edile e architetto, dottorando di ricerca (Science, Technology and Policy for Sustainable Change) presso il Dipartimento di Architettura, Ambiente Costruito e Ingegneria delle Costruzioni del Politecnico di Milano. Svolge attività di ricerca sui temi della sostenibilità ambientale in edilizia attraverso la metodologia LCA e dell'implementazione della stessa nelle policy legate alla decarbonizzazione.

Questo LIBRO



ti è piaciuto?

Comunicaci il tuo giudizio su:

www.francoangeli.it/opinione



**VUOI RICEVERE GLI AGGIORNAMENTI
SULLE NOSTRE NOVITÀ
NELLE AREE CHE TI INTERESSANO?**



ISCRIVITI ALLE NOSTRE NEWSLETTER

SEGUICI SU:



FrancoAngeli

La passione per le conoscenze

Vi aspettiamo su:

www.francoangeli.it

per scaricare (gratuitamente) i cataloghi delle nostre pubblicazioni

DIVISI PER ARGOMENTI E CENTINAIA DI VOCI: PER FACILITARE
LE VOSTRE RICERCHE.



Management, finanza,
marketing, operations, HR

Psicologia e psicoterapia:
teorie e tecniche

Didattica, scienze
della formazione

Economia,
economia aziendale

Sociologia

Antropologia

Comunicazione e media

Medicina, sanità



Architettura, design,
arte, territorio

Informatica, ingegneria
Scienze

Filosofia, letteratura,
linguistica, storia

Politica, diritto

Psicologia, benessere,
autoaiuto

Efficacia personale

Politiche
e servizi sociali



FrancoAngeli

La passione per le conoscenze

Il settore delle costruzioni è riconosciuto come uno dei principali protagonisti della sfida della transizione ecologica. Nonostante l'evoluzione delle politiche comunitarie e nazionali, l'attuazione di strategie efficaci rimane complessa.

Il volume raccoglie gli esiti del progetto BETTER POLICY, finanziato dal bando PRIN 2022, dedicato all'elaborazione di linee guida e protocolli operativi per supportare le Pubbliche Amministrazioni nella gestione dei processi legati alla sostenibilità nel costruito, attraverso una prospettiva sistemica e integrata che affronta simultaneamente quattro temi oggi imprescindibili: *decarbonizzazione, Life Cycle Assessment, digitalizzazione/ smartness e circolarità*.

Frutto del lavoro congiunto di quattro unità di ricerca appartenenti ad altrettante università italiane – Genova, Milano, Reggio Calabria e Bologna –, il testo analizza criticamente

barriere, opportunità e buone pratiche, restituendo un quadro aggiornato e coerente con le principali politiche europee. Ampio spazio è dedicato al confronto con stakeholder pubblici e privati, coinvolti attraverso interviste e tavole rotonde che hanno permesso di leggere la transizione in corso nella sua complessità multilivello.

Le *Linee Guida* individuano criteri, metodi e strumenti pensati per orientare le amministrazioni verso scelte più sostenibili, come supporto pratico e al tempo stesso strategico, volti a colmare il divario tra visione teorica e attuazione reale.

Better Policy si rivolge a chi opera nelle Pubbliche Amministrazioni, ma anche a professionisti e studiosi interessati a comprendere come innovazione, sostenibilità e governance possano guidare il settore delle costruzioni verso un futuro più efficiente, circolare e climaticamente responsabile.



FrancoAngeli
La passione per le conoscenze