

Monica Lavagna (a cura di)

LCA IN EDILIZIA

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



politecnica


MAGGIOLI
EDITORE

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

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

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

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

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

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

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

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

Responsabili scientifici: Andrea Campioli, Monica Lavagna

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

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



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

© Copyright 2022 degli Autori

ISBN 978-88-916-5580-6

DOI 10.30448/UNI.916.55806

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

Open Access Creative Commons license

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



Pubblicato nel mese di Luglio 2022

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

Azienda con sistema qualità certificato ISO 9001:2015

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

Tel. 0541/628111 • Fax 0541/622595

www.maggiolieditore.it

e-mail: clienti.editore@maggioli.it

Monica Lavagna (a cura di)

LCA IN EDILIZIA

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

Indice

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

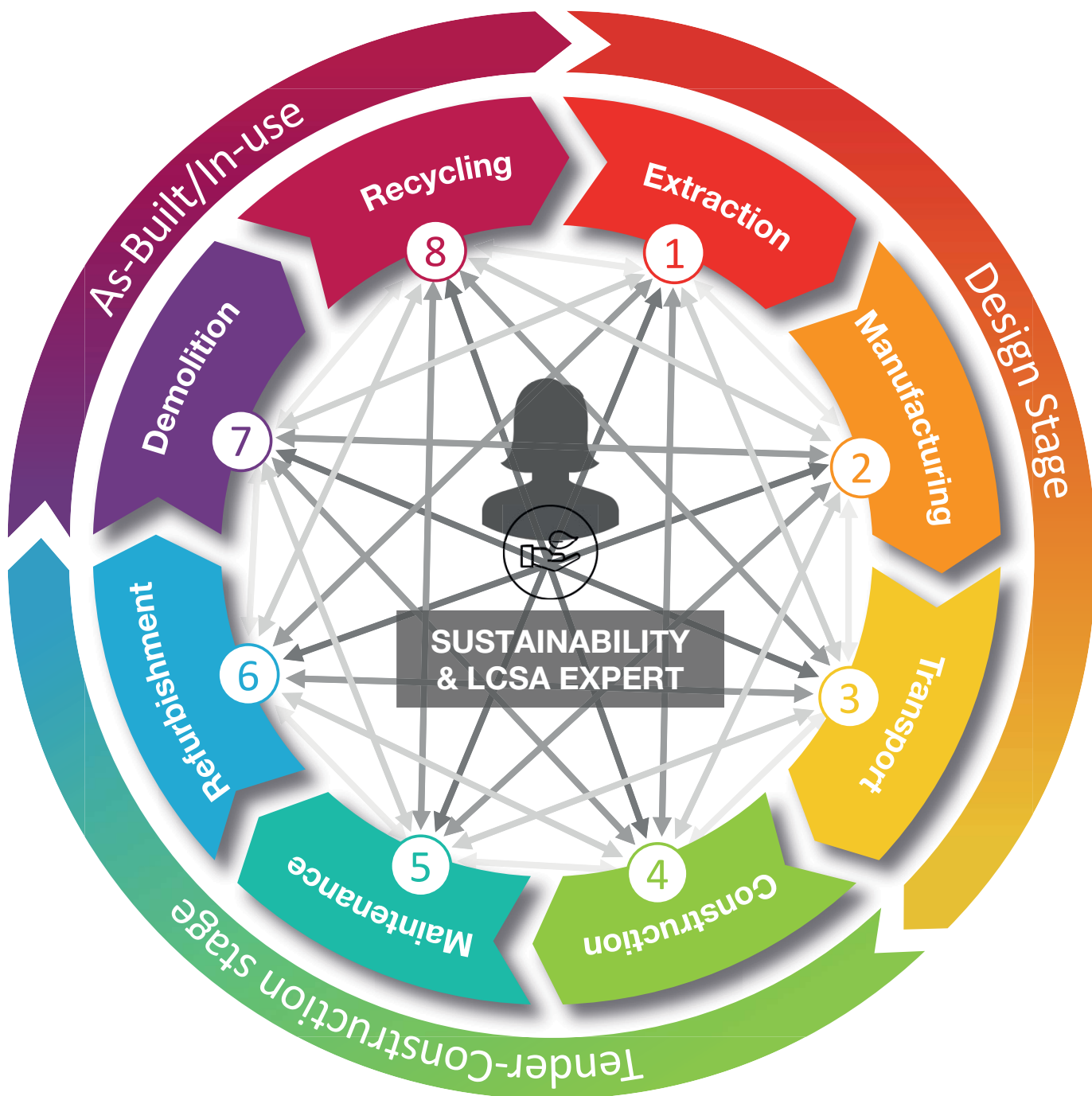
3. Progettazione Life Cycle

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

4. Strumenti di valutazione e certificazione ambientale LCA-based

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

4. Strumenti di valutazione e certificazione ambientale LCA-based



4.1 LCA nei Green Building Rating Systems DGNB e Level(s)

L'ambiente costruito è responsabile di un'elevata quota globale di impatti ambientali, economici e sociali (Gervasio, Dimova, 2018). La loro mitigazione è un obiettivo prioritario dell'Unione Europea, che perciò punta a sviluppare un sistema energetico sostenibile, competitivo, sicuro e decarbonizzato, investendo anzitutto sul rinnovo del parco immobiliare, che pesa in misura rilevante sul bilancio, in termini energetici e climatici (EC, C(2019) 4135 *final*; BPIE Report, 2020). Secondo la *Tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse*, focalizzata sulle azioni per favorire la trasformazione dell'economia europea in un'economia sostenibile entro il 2050, miglioramenti nelle soluzioni costruttive, e conseguentemente più in generale nell'ambiente costruito, ridurrebbero del 42% il consumo energetico in ambito europeo, di circa il 35% le nostre emissioni di gas serra, di oltre il 50% l'estrazione di materiali e del 30% il prelievo idrico (EC, COM(2011)571).

Di fatto la necessità di operare tenendo conto delle pressioni ambientali che si generano nelle diverse fasi del ciclo di vita dell'edificio è oggetto di diverse comunicazioni comunitarie, tra cui la Comunicazione *Resource Efficiency Opportunities in the Building Sector* (COM (2014) 445), in cui la Commissione Europea (CE) pone l'accento sulla necessità di definire un "approccio comune" per valutare le prestazioni ambientali degli edifici durante tutto l'intero ciclo di vita. Nel settore delle costruzioni, per valutare il raggiungimento di obiettivi di sostenibilità ambientale, economica e in parte sociale, si è diffuso l'utilizzo di strumenti o sistemi di valutazione multicriterio (*Green Building Rating Systems -GBRSs*), basati su indicatori che misurano la performance ambientale dell'edificio considerando più ambiti - dal fabbisogno energetico, ai consumi di acqua, alla gestione dei rifiuti - in più fasi del ciclo di vita, e includendo talvolta il *Life Cycle Assessment* (LCA) e/o etichette ambientali fondate sull'applicazione di tale metodologia.

4.1.1 Sistemi di valutazione multicriterio della sostenibilità

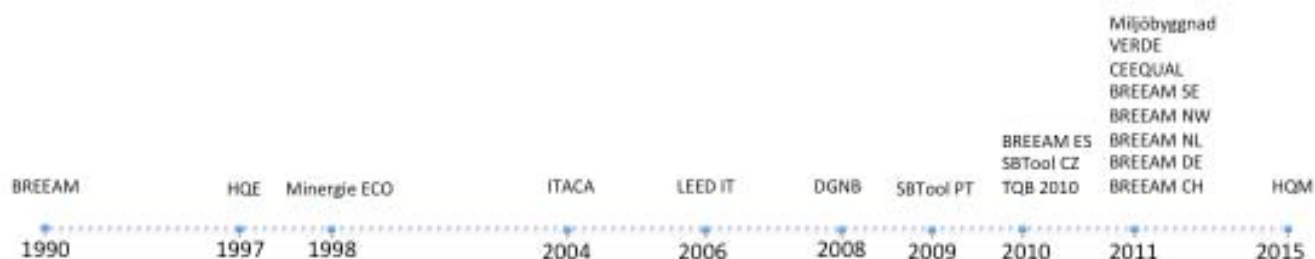
I sistemi di valutazione della progettazione sostenibile sono comparsi all'inizio degli anni '90 come metodo semplificato per migliorare le prestazioni degli edifici, focalizzati sul risparmio energetico e sulla riduzione al minimo dell'impatto ambientale (Hu et al., 2017).

Nel 1990 è stata lanciata da parte del Building Research Establishment (BRE) la prima versione di *Building Research Environmental Assessment Method* (BREEAM) (Olakitan Atanda, 2019), considerato il primo GBRS al mondo. A distanza di circa un decennio il Green Building Council statunitense (USGB), un'organizzazione non governativa che comprende rappresentanti dell'industria e del mondo accademico e dell'Amministrazione, ha lanciato negli USA la versione 1.0 del sistema *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) (Bernardi et al., 2017). Da allora, il numero di protocolli sviluppati e introdotti sul mercato in tutto il mondo ha visto un rapido aumento.

Elisabetta Palumbo

Ricercatore di tipo B di Produzione Edilizia presso
il Dipartimento di Ingegneria e Scienze Applicate
dell'Università degli Studi di Bergamo.
E-mail: elisabetta.palumbo@unibg.it

Figura 4.1.1 Sviluppo dei GBRs in Europa nell'arco temporale 1995 - 2015.



Tra questi protocolli, l'americano LEED e l'inglese BREEAM sono considerati come i più diffusi, anche se il tedesco *Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen* (DGNB) e il francese *Haute Qualité Environnementale* (HQE) hanno raggiunto un certo grado di successo internazionale. Oltre a BREEAM, DGNB, HQE e LEED, molti Paesi europei hanno sviluppato i propri GBRs sulla base di quattro diverse strategie e direzioni (Tabella 4.1.1), determinando un totale di: 37 certificati internazionali, 54 europei e di oltre 500 diversi indicatori (Sánchez Cornero et al., 2019).

Paese	nome GBRs	Organizzazione/ente	Anno di avvio	Versione
Regno Unito	BREEAM	BRE	1990	Internazionale
	HQM	(Building Research Establishment)	2015	Nazionale
	CEEQUAL		2011	Internazionale
Francia	HQE	HQE (Haute Qualité Environnementale)	1997	Internazionale
Svizzera	Minergie ECO	MINERGIE	1998	Nazionale
	BREEAM CH	DIFNI	2011	Nazionale
Italia	ITACA	IISBE Italia	2004	Nazionale
	LEED ITALY	GBC Italy	2006	Nazionale
Germania	DGNB	German Sustainable Building Council	2008	Internazionale
	BREEAM DE	TÜV SÜD DIFNI	2011	Nazionale
Portogallo	BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen	2010	Nazionale
	SBToolPT	iiSBE PT	2009	Nazionale
Austria	TQB 2010	OGNB	2010	Nazionale
	BREEAM AT	DIFNI		
Repubblica Ceca	SBToolCZ	iiSBE Czech/CIDEAS	2010	Nazionale
Olanda	BREEAM NL	Dutch GBC	2011	Nazionale
Norvegia	BREEAM NW	Norwegian GBC	2011	Nazionale
Spagna	VERDE	Spanish GBC	2011	Nazionale
	BREEAM ES	DIFNI	2010	Nazionale
Svezia	BREEAM SE	Swedish GBC	2011	Nazionale
	Miljöbyggnad		2011	Nazionale

Tabella 4.1.1 Elenco dei *Green Building Rating Systems* presenti in Europa. Rielaborazione da Sánchez Cornero et al., 2019.

A livello internazionale, la valutazione della sostenibilità ambientale dei progetti e degli edifici nei diversi Paesi e contesti si basa su molteplici indicatori e sistemi di certificazione. La rassegna della letteratura sulla valutazione delle prestazioni di sostenibilità dei progetti e degli edifici condotta da Tupenaite et al. (2017) rivela che particolari indicatori e la loro significatività dipendono fortemente dal contesto ambientale, economico e sociale, ragione per cui la maggior parte dei protocolli mira a sviluppare sistemi nazionali di valutazione, e ciò almeno in parte ne spiega la proliferazione.

Sebbene lo sviluppo e l'utilizzo di metodi di misurazione della sostenibilità degli edifici e di *benchmark* siano considerati delle soluzioni che promuovono un ambiente costruito più sostenibile (Mateus et al., 2011; Zhang et al., 2011) e nonostante più autori identifichino nei GBRSs la possibilità di superare gli strumenti di *benchmark* energetico a favore di valutazioni più complete ed estese agli altri ambiti della sostenibilità come acqua, materiali, rifiuti e suolo, un numero così ampio ed eterogeneo di sistemi e strumenti rende necessaria l'identificazione di un insieme di criteri e di indicatori utilizzabile e riconoscibile dalle differenti parti interessate in qualsiasi paese. Anche per ottenere una ripartizione bilanciata e comparabile degli indicatori fra le tre principali aree di valutazione della sostenibilità, che nei GBRS oggi vedono prevalere gli indicatori di quella ambientale (0.48) rispetto a quelli di ambito economico (0.268) e sociale (0.24) (Tupenaite et al., 2017).

Malgrado i progressi nello sviluppo di indicatori e quadri complessi per la valutazione della sostenibilità, già da diversi anni più fonti hanno evidenziato la carenza di un *framework* adeguato ad assistere e supportare i team di progetto coinvolti nella progettazione e realizzazione di edifici sostenibili (Higham, et al., 2016; Politi e Antonini, 2017).

Con l'intento di migliorare la sostenibilità degli edifici all'interno dell'Europa e di raccordare l'intera catena del valore del settore attorno ad un linguaggio comune, promuovendo così il miglioramento delle prestazioni degli edifici (European Commission, 2017), nell'agosto 2017 è stato lanciato dalla Commissione Europea il quadro volontario Level(s), la cui versione *beta testing* è stata sottoposta a revisione (Dodd et al., 2017), prima del lancio conclusivo a gennaio 2021.

Focalizzato sulla misurazione delle prestazioni di sostenibilità e di impatto lungo l'intero ciclo di vita, Level(s) è incentrato attorno alle tre seguenti aree tematiche: 1. prestazioni ambientali del ciclo di vita, 2. salute e benessere, 3. costo, valore e rischio (Tabella 4.1.4).

L'intento di facilitare la confrontabilità tra i vari sistemi ha orientato quindi la Commissione Europea ad incentrare in un primo momento l'attenzione verso l'approccio al ciclo di vita (*beta version* 2015 - 2017), incoraggiando l'applicazione della metodologia LCA anche da parte dei meno esperti, da cui appunto la denominazione Level(s).

La restituzione dei *feedback* ricevuti dalla fase di *testing* ha meglio declinato l'approccio *life cycle* rispetto alle fasi progettuali e costruttive di un edificio, declinando quindi i tre Livelli (L) come: fase ideativo-progettuale (L1), progettazione esecutiva (L2) e verifica post costruzione e in uso (L3).

4.1.2 Differenti approcci della LCA alla scala di edificio: riferimenti metodologici

I riferimenti normativi che regolano l'applicazione metodologica, l'inquadramento e i principi generali per la valutazione ambientale di un prodotto o servizio lungo tutto il suo ciclo di vita sono descritti nella norma ISO 14040:2006 *Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Principi e quadro di riferimento*. Più in dettaglio, i requisiti specifici e le linee guida per la

realizzazione di una LCA sono regolati dalla ISO 14044:2006 *Gestione ambientale - Valutazione del ciclo di vita - Requisiti e linee guida*.

Dal lavoro condotto dal CEN TC 350, incaricato dello sviluppo di norme per la valutazione della sostenibilità delle opere edilizie, emerge che la LCA delle opere di costruzione può essere eseguita a due livelli:

- a livello di prodotto, secondo la norma UNI EN 15804:2012+A2:2019 *Sostenibilità delle opere di costruzione - Dichiarazioni ambientali di prodotto - Norme fondamentali per la categoria di prodotti da costruzione*;

- a livello di edificio, secondo la norma UNI EN 15978:2011 *Sostenibilità delle opere di costruzione - Valutazione delle prestazioni ambientali degli edifici*.

Entrambi gli standard europei che regolano la LCA nell'ambito delle costruzioni suddividono il ciclo di vita dell'edificio in cinque fasi - prodotto (A1-A3), costruzione (A4-A5), uso (B1-B7), fine vita (C1-C4), e una fase aggiuntiva per i benefici oltre i confini del sistema (D) - e nelle relative sottocategorie dette "moduli" (Figura 4.1.2).

Oltre a questi standard, la comunità scientifica ha sviluppato azioni complementari con lo scopo di migliorare l'applicazione della LCA nel settore edile: una di esse è la *EeBGuide* (Wittstock et al., 2011), elaborata con il sostegno della Commissione Europea, i cui indirizzi costituiscono il documento di orientamento per la maggior parte dei sistemi di certificazione degli edifici che adottando la LCA.

Includere all'interno di un sistema di *rating* una LCA completa *from cradle to grave* - ovvero basata sulla stima di tutte le fasi del ciclo di vita - potrebbe produrre un forte aggravio di tempo e risorse, ragion per cui sono stati introdotti approcci semplificati (Hollberg, 2017).

	Tipologie		
	Screening LCA	Simplified LCA	Complete LCA
Finalità	Stima iniziale delle prestazioni ambientali nelle prime fasi di progettazione	Valutazione rapida di un edificio o di un prodotto in una determinata fase del processo di progettazione dell'edificio.	Identificare l'impatto ambientale delle singole fasi del ciclo di vita, degli elementi costruttivi, dei prodotti, dei componenti o dei servizi. Riflette l'impostazione metodologica data dalla norma ISO 14040/44.
Indicatori inclusi	Possono essere valutati uno o più indicatori, i più utilizzati sono: • GWP= potenziale di riscaldamento globale • PENRT=uso totale di risorse energetiche primarie non rinnovabili • PERT=uso totale di risorse energetiche primarie rinnovabili	Set ridotto di indicatori • GWP= potenziale di riscaldamento globale • PENRT=uso totale di risorse energetiche primarie non rinnovabili • PERT=uso totale di risorse energetiche primarie rinnovabili	Serie completa delle categorie di impatto ambientale tratte dagli standards EN 15804 e EN 15978
Requisiti dei dati	Per lo più dati generici e ipotesi relative al Paese da cui proviene l'edificio o il prodotto. Quando non è possibile, sono accettate le ipotesi relative a Paesi vicini o i dati medi europei o globali.	I dati dovrebbero riferirsi al Paese da cui proviene l'edificio o il prodotto. Quando non è possibile, si accettano ipotesi riferite a Paesi vicini o dati medi europei.	I dati dovrebbero rappresentare il Paese in cui il materiale viene venduto, o in cui si svolge il processo o l'attività.
Fasi del ciclo di vita obbligatorie	A1-A3 (manifattura) B6 (energia in uso), B7 (acqua in uso)	A1-A3(manifattura) B4 (sostituzione), B6 (energia in uso), B7 (acqua in uso) C3 (trattamento dei rifiuti) C4 (smaltimento) D (benefici oltre i confini)	Tutte le fasi del ciclo di vita A1-A3 (manifattura) A4-A5 (trasporto-costruzione) B1, (uso), B2-B4 (manutenzione) B5 (ristrutturazione) B6- B7(energia-acqua in uso), C1-C4 (fine vita) D (benefici oltre i confini)
Unità tecnologiche da esaminare	Strutture di fondazione, strutture di elevazione verticali e orizzontali, strutture di contenimento, chiusure verticali ed orizzontali (superiori e inferiori), finiture/rivestimenti interni	Strutture di fondazione, strutture di elevazione verticali e orizzontali, strutture di contenimento, chiusure verticali ed orizzontali (superiori e inferiori), finiture/rivestimenti interni	Strutture di fondazione, strutture di elevazione verticali e orizzontali, strutture di contenimento, chiusure verticali ed orizzontali (superiori e inferiori), finiture/rivestimenti interni, impianti (HVAC, elettrici, ascensori, acqua e sistemi fognari, etc.)

Tabella 4.1.2 Categorie di LCA secondo la EeBGuide. Riadattata da Del Rosario, 2020.

FASI																
PRODOTTO			COSTRUZIONE		FASE D'USO								FINE VITA			
A1-A3			A3-A4		B1-B7								C1-C4			
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Approvvigionamento Materie Prime*/**	Trasporto Al Sito Di Manifattura*/**	Manifattura*/**	Trasporto In Cantiere	Costruzione	Uso	Manutenzione	Riparazione	Sostituzione*	Ristrutturazione	Uso dell'Energia In Esercizio*/**	Uso dell'Acqua In Esercizio*/**	Smontaggio/Demolizione	Trasporto	Trattamento dei Rifiuti*	Smaltimento*	Potenziale di Ri-Use, Recupero,Riciclo*
* Obbligatorio per la LCA semplificata ** Obbligatorio per la LCA screening e semplificata																

Figura 4.1.2 Fasi e moduli del ciclo di vita da considerare nelle differenti tipologie di LCA. Rielaborata da EeBguide.

In accordo con la *EebGuide* (Wittstock et al., 2011), i sistemi LCA sono raggruppabili in tre categorie, caratterizzate da livelli crescenti di dettaglio della valutazione: *Screening LCA*, *LCA semplificata* e *LCA completa* (Tabella 4.1.2).

A ciascuna categoria di indagine LCA corrispondono specifiche finalità, una lista di indicatori essenziali, opportuni requisiti sulla qualità dei dati, moduli del ciclo di vita e unità tecnologiche da includere nella valutazione. Oltre a ciò, un aspetto rilevante da considerare è la determinazione specifica dei confini del sistema e quindi dei moduli del ciclo di vita da contemplare nell'analisi, in accordo con la EN 15978 (Figura 4.1.2).

A livello di prodotto, la EPD è regolata dalla UNI ISO 14025:2018 *Etichette e dichiarazioni ambientali - Dichiarazioni ambientali di tipo III - Principi e procedure*, oltre che dalla EN 15804:2012+A2:2019 specifica per il settore delle costruzioni. La prima, ne descrive la procedura per lo sviluppo, la definizione e i requisiti necessari anche per la comparabilità attraverso le regole di categorie di prodotto (*Product Category Rules-PCR*). Ne deriva che una EPD fornisce informazioni ambientali quantitative basate sui risultati di una *Life Cycle Assessment*, utilizzando parametri predeterminati e informazioni ambientali aggiuntive, ove necessario. Inoltre, la EN 15804 classifica le dichiarazioni ambientali di prodotto in tre tipologie, a seconda delle fasi del ciclo di vita che esse includono: 1. EPD *from cradle to gate*; 2. EPD *from cradle to gate with option*; 3. EPD *from cradle to grave*. Secondo la EN 15804:2012+A1:2013 i moduli che dovevano essere obbligatoriamente dichiarati erano quelli che coprono le sole fasi dalla culla (A1) al cancello (A3), lasciando volontari i restanti moduli e fasi. Mentre l'attuale modifica di questa norma, la EN 15804+A2:2019, richiede che i moduli C (fine vita) e D (benefici post fine vita) siano forniti per quasi tutti i prodotti (Anderson et al., 2019).

4.1.3 Integrazione degli approcci LCA nei GBRs

Se applicate già nelle fasi iniziali del progetto, la valutazione e il miglioramento delle prestazioni ambientali durante il ciclo di vita costituiscono un'azione molto efficace per indirizzare gli edifici verso l'uso attento delle risorse e la riduzione degli impatti, dal momento che le decisioni assunte in questa fase sono rilevanti e di vasta portata (Ellis et al., 2008; Brophy et al., 2011).

La *Life Cycle Assessment*, ampiamente utilizzata da parte degli accademici da più di 20 anni (Lavagna, Palumbo, 2017), è oggi riconosciuta e accettata come metodologia idonea a misurare gli impatti ambientali degli edifici lungo l'intero ciclo di vita: dall'approvvigionamento delle materie prime per la produzione dei materiali e componenti fino alla dismissione e fine vita del manufatto edilizio. Uno studio canadese (Anand et al., 2017) documenta la forte diffusione della LCA a scala di edificio registrata nel quinquennio 2011-2016, con il numero di pubblicazioni che trattano la tematica più che raddoppiato nel periodo: da poco più di 90 articoli nell'anno 2011 a circa 250 nel 2015. In particolare, le due aree di interesse che sembrano avere prevalentemente alimentato tale produzione bibliografica sono: la relazione tra impatti legati all'uso e quelli legati alla energia incorporata e la integrazione della LCA nei sistemi di *rating* (RS) ambientale degli edifici.

Secondo Turk et al. (2018) l'uso della LCA nei RS è iniziata negli Stati Uniti nel 1992, mentre la panoramica tracciata da Nwodo et al. (Nwodo et al., 2019) sugli ambiti di applicazione del LCA dal 2011 al 2019, include la sua integrazione nei *rating system* (RS) tra le otto aree di intervento individuate, ritenendola un modo per incoraggiare la valutazione della sostenibilità degli edifici.

In letteratura, analisi approfondite della integrazione della LCA nei sistemi di valutazione della sostenibilità sono recenti e a tutt'oggi limitate. Rodriguez et al. (2017) confrontando l'implementazione della LCA in LEED, DGNB e Green Globes e la relativa conformità agli standard ISO per la LCA, hanno evidenziato importanti differenze nell'impostazione metodologica, in particolare rispetto al *target* degli obiettivi, agli ambiti di analisi e al periodo di riferimento.

Se nel DGNB l'obiettivo è la quantificazione delle prestazioni ambientali dell'edificio attraverso una LCA, prima (impatti inglobati nei materiali e nei componenti adottati nell'edificio) e durante la fase di esercizio (limitata al fabbisogno energetico), e di confrontarne i risultati rispetto a valori di *benchmark* predefiniti, in LEED lo scopo è la riduzione dei valori di impatto in categorie selezionate: di almeno il 10% per il potenziale di riscaldamento globale e del 10% per due su cinque altri impatti, rispetto a un edificio campione di riferimento. Anche l'ambito di applicazione di ciascuna delle metodologie LCA differisce nei diversi GBRs: DGNB si occupa di alcune delle fasi di produzione, uso e fine vita seguendo le disposizioni per una LCA semplificata, mentre altri, come ad esempio LEED e Active House, applicano una analisi che mira a un approccio "dalla culla alla tomba", seppur limitato a parti e componenti dell'edificio. Essendo il metodo LCA esigente in termini di dati e di calcoli, il numero di informazioni da raccogliere ed elaborare è ampio, specialmente per ciò che riguarda gli impatti inglobati dei materiali. Motivo per cui spesso una LCA completa risulta essere più spesso eseguita solo dopo che la costruzione è stata realizzata e tutte le informazioni sono note, non come efficace strumento di *feedback* in fase di progettazione (Gantner et al., 2018).

Al fine di favorire una maggiore applicabilità della metodica LCA, numerosi RS prevedono la possibilità di adottare i diversi livelli di semplificazione sopra definiti, selezionando quello prescelto in relazione ai diversi obiettivi che la valutazione intende perseguire.

In effetti, l'analisi condotta da Hollberg (2017) sulle differenti tipologie di LCA (*screening*, semplificato e completo) presenti in sette diversi sistemi di *rating* analizzati (DGNB, BNB, HQE, BREEAM, Minergie Eco, Verde e LEED) constata che nessuno di essi prevede l'esecuzione di una LCA completa, e che tutti invece privilegiano l'adozione di metodi semplificati o di *screening* (Tabella 4.1.3).

Secondo Ganassalli et al. (2017), attualmente almeno dieci GBRs hanno integrato la LCA tra i requisiti obbligatori da soddisfare, mentre quelli che non la contemplano, prescrivono

Nome	Acronimo	Paese di origine	Tipo di LCA	Ente
Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen	DGNB	Germania	LCA semplificata	German Sustainable Building Council
Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen	BNB	Germania	LCA semplificata	Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
Haute Qualité Environnementale	HQE	Francia	LCA semplificata	Haute Qualité Environnementale (ASSOHQE)
Building Research Establishment Environmental Assessment Method	BREEAM	Inghilterra	LCA semplificata	Building Research Establishment (BRE)
Leadership in Energy and Environmental Design	LEED	America	LCA semplificata	U.S. Green Building Council (USGBC)
Minergie Eco	-	Svizzera	LCA screening	Associazione Minergie & Eco-bau
Verde	-	Spagna	LCA semplificata	Green Building Council España (GBCe)

Tabella 4.1.3 Overview dei maggiori sistemi di certificazione degli edifici che si avvalgono della LCA. Rielaborata da Hollberg, 2017.

che i requisiti di sostenibilità ambientale siano soddisfatti adottando materiali dotati di certificazione *Environmental Product Declaration* (EPD).

Questa soluzione, cioè l'uso delle dichiarazioni ambientali di tipo III *from cradle to grave*, costituisce un'altra via per semplificare l'applicazione di una LCA completa. Le EPDs sono uno strumento vantaggioso a questo fine poiché forniscono dati specifici sui cicli di produzione, resi disponibili dai produttori di materiali e componenti. Ciò consente di determinare agevolmente gli impatti complessivi, essendo essi determinati dalla somma degli impatti ambientali associati ai materiali, detti *embedded impacts* (impatti inglobati) più l'impatto relativo ai consumi energetici durante la fase di uso dell'edificio (Hoxha et al. 2017).

Tuttavia, l'idoneità delle EPDs come fonti di dati della LCA in sostituzione delle banche dati è a tutt'oggi ambito di analisi e verifica nei diversi contesti, anche alla luce della recente revisione della norma EN 15804 che introduce modifiche nei moduli da includere nelle diverse fasi del ciclo di vita.

Esaminando gli effetti della sostituzione dei dati d'inventario di banca dati con gli indicatori estratti dalle EPDs, Strazza et al. (2016) concludono che le EPDs possono essere una fonte di dati LCA affidabile e persino vantaggiose, poiché l'uso di dati specifici evita di sovrastimare i potenziali impatti ambientali.

Mentre, Lasvaux et al. (2015) considerando gli impatti ambientali di un campione di 18 materiali da costruzione, riscontrano differenze tra i risultati LCA ottenuti utilizzando le EPDs e quelli basati su due banche dati generiche. Nello specifico, i valori degli indicatori relativi al consumo di combustibili fossili (cioè ADP: potenziale di esaurimento delle risorse abiotiche; GWP: potenziale di riscaldamento globale e domanda di energia primaria) differivano fino al 25%, gli altri indicatori in percentuali ancora più elevate. Lo studio ha attribuito le discrepanze sia alle differenze nei processi di produzione in riferimento ai quali sono determinati i valori relativi ai diversi materiali, sia alla possibile diversa interpretazione delle regole comuni di prodotto (PCR) nella elaborazione delle EPDs. Mentre, la LCA condotta su tre edifici con sistemi costruttivi differenti (laterizio, cemento armato e struttura a telaio in legno) adottando database generici, ha rilevato che l'impatto ambientale complessivo è determinato dai materiali più influenti. Al di là delle diversità osservate tra valori specifici da EPD e *database* generici, diversi autori (Hoxha et al., 2015) concludono che l'impatto ambientale complessivo alla scala di edificio è definito da un numero limitato di materiali.

Nella pratica, rispetto alla classificazione definita dalla EN 15804, la terza tipologia di EPD *from cradle to grave*, inglobando l'intero ciclo "dalla culla alla tomba", potrebbe meglio supportare analisi LCA complete. Questo perché, se nelle EPDs fossero valutati tutti i moduli del ciclo di vita (da A1 a D) previsti dallo standard che regola la LCA alla scala di edificio, si potrebbe ricorrere

al loro uso evitando l'ausilio di *software* dedicati. L'adozione di quest'ultimo approccio, pur richiedendo elaborazioni per l'estrapolazione di indicatori LCA per le fasi oltre il cancello, che sono chiaramente basate su assunzioni connesse alla realizzazione dell'edificio (A3-A4), alla sua operatività (B1-B7) e al suo fine vita (C1-D), risulterebbe più rapido e meno laborioso.

Le dichiarazioni ambientali presenti sul mercato contengono, per lo più, informazioni sugli impatti dei materiali da costruzione e dei componenti che non sempre coprono il loro ciclo di vita completo (trasporto, utilizzo e fine della vita). In questo senso, alcuni elementi interessanti emergono dall'analisi condotta nell'ambito di una tesi di laurea (Del Rosario, 2020), sull'uso delle EPD nella valutazione LCA di un edificio per uffici. La ricerca rivela che, su un campione di circa 30 *labels*, gli indicatori relativi alle condizioni in uso del prodotto sono molto spesso assenti (solo il 30% delle EPD raccolte le include), lo stesso per la fase C1 (anch'essa inclusa solo nel 30% dei casi), mentre in generale solo il 70% delle EPD analizzate presenta un numero di fasi superiori a quelle obbligatoriamente richieste dalla norma per la tipologia *from cradle to gate*.

L'evidente conseguenza è che la possibilità di ottenere una LCA completa mediante etichette ambientali *LCA based* è ancora un traguardo lontano, seppure muova certamente nella direzione dettata dalla recente revisione della EN 15804, che stabilisce che entro 5 anni il campo di applicazione minimo di una EPD dovrà includere anche gli stadi di fine vita ed oltre (C1-C4 e D), in aggiunta alla fase di prodotto (A1-A3), che è l'unica obbligatoria nella versione attualmente vigente.

In conclusione, l'applicazione di una LCA nei diversi GRBSs garantirebbe sicuramente una trasparenza dei risultati e una valutazione ambientale completa dell'edificio (Lavagna, 2008), ma quando per alcune parti si utilizzano parti di EPD è da tenere presente che ci possono essere carenze di informazioni e non coerenza con assunzioni fatte nella LCA, pertanto il loro uso per alcune parti dell'edificio è da considerarsi meno efficace ai fini del raggiungimento di un buon livello di qualità ambientale (Ganassalli et al., 2016).

4.1.4 LEVEL(S): un quadro di riferimento comune dell'EU per i principali indicatori in materia di sostenibilità degli edifici

Level(s) è uno strumento per la valutazione della sostenibilità degli edifici durante l'intero ciclo di vita. Sviluppato dal Joint Research Center (JRC) su mandato della Direzione Generale Ambiente (DG Environment) della Commissione Europea, Level(s) è destinato ad essere applicato ad edifici sia residenziali che ad uso ufficio.

La Commissione Europea ha avviato i lavori di definizione dello strumento in versione *beta* nell'autunno 2017, con l'intento di definire un "linguaggio comune" e non uno schema di certificazione indipendente o parametri di riferimento relativi alle prestazioni degli edifici (JRC, 2017). Nell'aprile 2018 è stata ufficialmente aperta la fase di test biennale, coinvolgendo circa 140 progetti pilota in 21 Paesi europei, per raccogliere *feedback* da parte dei differenti *stakeholders* coinvolti nella *supply chain* edile e immobiliare - dagli investitori, ai costruttori, ai progettisti e ai produttori - e di pubblicarne la versione finale nella primavera del 2020.

Level(s) non si struttura secondo requisiti obbligatori da raggiungere, ma sul progressivo grado di approfondimento dell'analisi da parte degli utilizzatori, dai neofiti ai più esperti. Considerando l'aumento della precisione e dell'affidabilità della valutazione e la capacità professionale necessaria per condurre l'analisi, sono stati definiti tre target così distinti:

- livello di valutazione comune delle prestazioni [Level(s) (1)];

- livello di valutazione comparativa delle prestazioni [Level(s) (2)];
- livello di valutazione ottimizzata delle prestazioni [Level(s) (3)].

La valutazione dell'edificio viene condotta sulla base dei sei seguenti macro obiettivi, e relativi indicatori: 1. emissioni di gas serra lungo il ciclo di vita dell'edificio, 2. cicli di vita dei materiali circolari ed efficienti nell'uso delle risorse, 3. uso efficiente delle risorse idriche, 4. spazi salubri e confortevoli, 5. adattamento e resilienza al cambiamento climatico, 6. ottimizzazione del valore e del costo del ciclo di vita (Tabella 4.1.5).

Il secondo macro obiettivo "riduzione degli impatti ambientali attraverso l'ottimizzazione delle risorse e la riduzione degli sprechi durante il ciclo di vita di un edificio", comprende due strumenti di supporto all'ottenimento di una analisi del ciclo di vita alle diverse scale: la distinta di materiali (2.1 *Building Bill of Materials-BoM*) e la LCA completa (2.4 LCA dalla culla alla culla *cradle to cradle*).

Il primo consiste nel computare i flussi di materiali presenti nell'edificio: passaggio fondamentale e in linea con la raccolta di dati di Eurostat (European Commission, 2019) per la contabilizzazione dei flussi di materiali a livello europeo.

Per la compilazione della distinta occorre:

1. scomporre l'edificio nei principali elementi tecnici (strutture di fondazioni, pareti perimetrali verticali, etc.) che costituiscono almeno il 99% della massa dell'edificio;
2. individuare le tipologie di materiali di cui sono costituiti al fine di compilare un inventario sulle quantità;
3. raggruppare i materiali in base alle specifiche tecniche;
4. aggregare i materiali in modo da definire la massa totale delle quattro principali categorie definite da Eurostat in: materiali metallici; materiali minerali non metallici; materiali energetici fossili; materiali basati sulla biomassa.



Figura 4.1.3 Livelli di valutazione delle prestazioni.

Area tematica: Prestazioni ambientali del ciclo di vita	
Macro-Obiettivo	Indicatore
1. Emissioni di gas serra (GHG) lungo il ciclo di vita di un edificio	1.1. Prestazione energetica nella fase d'uso [kWh/m ² /anno] 1.2. Potenziale di riscaldamento globale del ciclo di vita [CO ₂ eq./m ² /anno]
2. Cicli di vita dei materiali circolari ed efficienti nell'uso delle risorse	2.1. Strumento per il ciclo di vita: distinta dei materiali di costruzione [kg] 2.2. Strumenti per il ciclo di vita: Scenari riguardanti la vita utile, l'adattabilità e lo smantellamento 2.3. Rifiuti e materiali di costruzione e demolizione [kg/m ²] 2.4. Strumento per il ciclo di vita: Valutazione del ciclo di vita (LCA) dalla culla alla culla [Impatto/m ² /anno]
3. Utilizzo efficiente delle risorse idriche	3.1. Consumo idrico nella fase di utilizzo [m ³ /occupante/anno]
Salute e benessere	
4. Spazi salubri e confortevoli	4.1. Qualità dell'aria interna 4.2. Tempo al di fuori dell'intervallo di comfort termico <i>Potenziali aspetti futuri</i> 4.3. Illuminazione e comfort visivo 4.4. Acustica e protezione dal rumore
Costo, valore e rischio	
5. Adattamento e resilienza al cambiamento climatico	5.1. Strumenti per il ciclo di vita: Scenari riguardanti le condizioni climatiche future previste <i>Potenziali aspetti futuri</i> 5.2. Maggiore rischio di eventi atmosferici estremi 5.3. Maggiore rischio di inondazioni
6. Ottimizzazione del valore e del costo del ciclo di vita	6.1. Costi del ciclo di vita [€/m ² /anno] 6.2. Creazione di valore e fattori di rischio

Tabella 4.1.4. Macro obiettivi e indicatori contenuti in Level(s).

Tabella 4.1.5.a LCA nei diversi livelli di valutazione previsti da Level(s).

	L1 LIVELLO DELLA VALUTAZIONE COMUNE	L2 LIVELLO DELLA VALUTAZIONE COMPARATIVA	L3 LIVELLO DELLA VALUTAZIONE OTTIMIZZATA
DESTINATARI FINALI	Non esperti LCA che cercano di capire e migliorare le prestazioni ambientali dell'edificio	Professionisti che desiderano rendere pubbliche le prestazioni ambientali degli edifici e confrontarsi con altri edifici	Professionisti che intendono utilizzare la LCA nella fase iniziale del progetto come strumento di supporto decisionale per migliorare la sostenibilità dell'edificio
PARTI E ELEMENTI DELL'EDIFICIO	Elementi costruttivi dell'involucro e strutture, escludendo le opere esterne		
DIMENSIONE TEMPORALE PER LA VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI	60 anni		
NORME DI RIFERIMENTO	ISO 14040/44, EN 15978		
FASI DEL CICLO DI VITA	Dovrebbero essere esaminate tutte le fasi del ciclo di vita, a meno che non vengano selezionate opzioni semplificate basate su un ciclo di vita incompleto. Le opzioni semplificate suggerite sono: - OPZIONE 1: Fase del prodotto (A1-A3), Fase di utilizzo (B4-B5, B6) - OPZIONE 2: Fase del prodotto (A1-A3), Uso dell'energia operativa (B6), Fine vita (C3-C4), Benefici e oneri oltre i confini del sistema (D)		Ciclo di vita completo
SCENARI E FINE VITA	Checklist degli aspetti progettuali più importanti che possono essere presi in considerazione e se/come vengono affrontati	Agli aspetti del progetto che sono importanti da considerare viene attribuita una ponderazione e i punteggi ottenuti dal progetto vengono poi sommati per ottenere una performance complessiva che può essere computata	L'analisi delle prestazioni ambientali dei progetti utilizzando altri indicatori di Level(s), come il 1.2 (GWP nel ciclo di vita) o il 2.4 (LCA dalla culla alla culla), in modo da poterli valutare, confrontare e rendicontare
INSIEMI DI DATI E SOFTWARE PER LIFE CYCLE INVENTORY E LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT	Come requisito minimo, è necessario utilizzare dati generici o standard per calcolare l'impatto relativo alle parti e agli elementi dell'edificio e ai processi del ciclo di vita. È possibile reperire tali dati nella letteratura tecnica e/o utilizzando strumenti software e banche dati semplici e liberamente accessibili.	I dati per i processi <i>foreground</i> devono fare riferimento a dati specifici. I dati di <i>background</i> in devono essere rappresentativi del contesto nazionale/regionale analizzato. I dati provenienti da fonti primarie e secondarie devono essere convalidati e certificati da terzi.	
REQUISITI IN MATERIA DI DATI	L'obiettivo principale di questa sezione è la trasparenza dei dati. Per motivi di trasparenza è necessario calcolare un indice della qualità dei dati.	È necessario calcolare un indice della qualità dei dati. La qualità complessiva dei dati deve ottenere un punteggio superiore a 2. Per ragioni di trasparenza devono essere comunicate anche le fonti dei dati.	

	L1 LIVELLO DELLA VALUTAZIONE COMUNE	L2 LIVELLO DELLA VALUTAZIONE COMPARATIVA	L3 LIVELLO DELLA VALUTAZIONE OTTIMIZZATA
INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI E RIESAME CRITICO	I risultati devono essere interpretati in modo critico attraverso un'analisi della sensibilità al fine di comprendere: • i punti critici ambientali, i possibili compromessi tra le fasi del ciclo di vita e gli ambiti di miglioramento; • l'influenza dei dati sui risultati; • le lacune dei dati, la solidità delle ipotesi e le limitazioni.	I risultati devono essere interpretati in modo critico attraverso un'analisi della sensibilità al fine di comprendere: • i punti critici ambientali, i possibili compromessi tra le fasi del ciclo di vita e gli ambiti di miglioramento; • l'influenza dei dati sui risultati; • le lacune dei dati, la solidità delle ipotesi e le limitazioni. È necessario redigere conclusioni riassuntive e raccomandazioni. Occorre inoltre un riesame critico secondo quanto previsto dalla norma ISO 14071 al fine di verificare la coerenza dell'analisi rispetto ai requisiti stabiliti dalle norme ISO 14040/44 e ISO 14067.	I risultati devono essere interpretati in modo critico attraverso un'analisi della sensibilità al fine di comprendere: • i punti critici ambientali, i possibili compromessi tra le fasi del ciclo di vita e gli ambiti di miglioramento; • l'influenza dei dati sui risultati; • le lacune dei dati, la solidità delle ipotesi e le limitazioni. È necessario redigere conclusioni riassuntive e raccomandazioni. Occorre inoltre un riesame critico secondo quanto previsto dalla norma ISO 14071 al fine di verificare la coerenza dell'analisi rispetto ai requisiti stabiliti dalle norme ISO 14040/44 e ISO 14067.
UNITÀ DI RIFERIMENTO	1 m ² di superficie interna utile		

Tabella 4.1.5.b LCA nei diversi livelli di valutazione previsti da Level(s).

L'indicatore 2.4 è invece uno strumento essenziale per consentire il raggiungimento di una LCA completa, se spinto fino al livello di valutazione dell'ottimizzazione (Livello 3).

In tabella 4.1.5 è presentata una panoramica dei tre livelli di valutazione, classificati in base a: target degli utilizzatori finali, elementi costruttivi da includere nell'analisi, *service life* dell'edificio, normative di riferimento, fasi del ciclo di vita, scenari e fine vita, dati e *software* di riferimento, qualità dei dati, interpretazione dei risultati e unità funzionale di riferimento. L'approccio introdotto da Level(s) di incoraggiare una valutazione LCA completa "dalla culla alla culla" può agevolmente raggiungere la completezza, se si possiedono i *tools*, le competenze e le conoscenze specialistiche necessarie.

L'originalità del sistema risiede nell'offrire la possibilità di avviare un percorso volto all'uso di tali strumenti, supportando anche i meno esperti.

Un confronto recentemente realizzato tra i sistemi di *rating* di sostenibilità più utilizzati in Europa e il *framework* europeo Level(s) rileva che il sistema tedesco DGNB è il sistema di *rating* che si allinea maggiormente con Level(s) (Cordero et al., 2019), tanto da essere l'unico ad aver incluso nella versione 2018 del protocollo una sezione in cui segnala le sue sinergie con il quadro europeo.

A differenza degli altri GBRs, il *framework* europeo al momento non prevede soglie di punteggio come LEED o livelli di *benchmark* come DGNB e Active House, quindi in questo testo un'analisi comparativa sulla totalità dei criteri adottati tra sistemi risulterebbe complessa e non pregnante.

Ponendo piuttosto l'attenzione sugli aspetti metodologici inerenti la LCA che caratterizzano tali sistemi, la recente rassegna condotta da Cordero et al. (2019) sul confronto tra i più noti sistemi di certificazione *green* degli edifici europei con gli indicatori contemplati nel quadro

Tabella 4.1.6 *Service life* adottata nei differenti GBRs.

Tipologia	Vita utile	Versione	Anno Pubblicazione
Level(s)	60 anni	v.1.0	2017
DGNB	50 anni	Version 2018	2018
Active House	50 anni	-	2002
LEED	60 anni	v.4.1	2019

di riferimento Level(s) mostra similitudini tra DGNB e HQE, e all'opposto maggiori differenze tra BREEAM e LEED. Tali discrepanze secondo gli autori causano diverse difficoltà nel creare sinergie tra gli esistenti GBRs e le linee di indirizzo espresse da Level(s).

Indagando meglio i principi metodologici per condurre l'analisi del ciclo di vita alla scala di edificio previsti rispettivamente da Level(s) e da DGNB, e più precisamente: a. la dimensione temporale per la valutazione delle prestazioni dell'edificio, b. confini del sistema, c. indicatori LCA richiesti e categorie LCA contemplate; emerge quanto segue.

Il periodo di vita utile dell'edificio stabilito da Level(s), similmente a Leed v.4 (Rodriguez et al. 2017) è di 60 anni, mentre in DGNB e in Active House è di 50 anni (Tabella 4.1.7).

Secondo la norma EN 15978, che regola il metodo di calcolo da applicare alla scala di edificio, quando il periodo di riferimento dello studio è più lungo della vita utile designata, devono essere sviluppati scenari per l'ammodernamento o la demolizione e la nuova costruzione dell'edificio, tali da consentire un prolungamento della vita utile, generando quindi ulteriori impatti. È di conseguenza esplicito che una comparabilità dei valori di impatto tra valutazioni condotte su *range* temporali differenti rende i risultati non immediatamente confrontabili, richiedendo adeguamenti e/o estensioni delle operazioni di calcolo.

Rispetto agli stadi del ciclo di vita e ai processi da includere nella valutazione (confini del sistema) in accordo con il succitato standard europeo, pur essendo suggerito e incoraggiato un approccio "dalla culla alla culla" da parte del *framework* europeo, entrambi i sistemi prevedono l'uso di una LCA semplificata che include (Tabella 4.1.8):

- produzione dei materiali (A1-A3),
- consumo energetico operativo (B6),
- trattamento dei rifiuti (C3) e smaltimento (C4),

Tipologia		Level(s)		DGNB	
	Livello 1	Livello 2	Livello 3		
Tipologia LCA	Semplificata	Semplificata	Completa	Semplificata	Completa
Fasi del ciclo di vita	A1-A3, B4, B6 (opzione 1)		A1-A3, A4-A5, B1-B7, C1-C4, D	A1-A3, B4, B6, C3-C4, D	A1-A3* A4-A5 B1-B7, C1-C4 D
	A1-A3, B6, C3-C4, D (opzione 2)				

* Criteri di cut-off per le tre categorie di materiali:

1. I materiali che costituiscono più dell'1% della massa totale dell'edificio possono essere ignorati se non costituiscono più del 5% della massa dell'intero edificio.
2. Le plastiche e i prodotti realizzati con materie prime rinnovabili: il fabbisogno totale di energia primaria (PE_{tot}) del materiale/prodotti che supera il 2% del fabbisogno totale di energia primaria dell'edificio (solo costruzione, compresa la produzione, la manutenzione e la fine del ciclo di vita) può essere ignorato se non costituiscono più del 5% della massa dell'intero edificio.
3. Rivestimenti: il potenziale di formazione fotochimica di ozono (POCP) che supera il 2% del potenziale di formazione fotochimica di ozono può essere ignorato se non costituiscono più del 5% della massa dell'intero edificio.

Tabella 4.1.7 Tipologie di LCA contemplate nel *framework* Level(s) e in DGNB.

-potenziale di riutilizzo, recupero e riciclaggio (D),
oltre a indicatori specifici e parziali rispetto a B2, B5 E B4.

Ai fini della comparabilità tra LCA di edifici la scelta dei moduli del ciclo di vita da includere nei confini del sistema è determinante. A tal proposito, Del Rosario (2020) ha confrontato l'approccio adottato da Level(s) con DGNB, facendo emergere sostanziali differenze tra essi. Gli indicatori di impatti previsti sono invece allineati e in accordo agli standard di riferimento (Tabella 4.1.9).

Periodo di riferimento dello studio	60 anni	50 anni
Fasi del ciclo di vita	Livello 1 e 2: è prevista una LCA semplificata Opzioni: - A1-A3, B4, B5, B6 - A1-A3, B6, C3-C4, D Livello 3: LCA completa	A1-A3, B4, B6, C3-C4, D
GWP	X	X
ODP	X	X
AP	X	X
EP	X	X
POCP	X	X
ADPE	X	X
ADPF	X	
PERT		X
PENR		X
PERE/PERT		X
FW		X

Tabella 4.1.8 Confronto tra DGNB e Level(s): principali differenze nella adozione della metodologia LCA.

4.1.5 Suggerimenti e sviluppi futuri

La *Life Cycle Assessment* è una valida e appropriata metodologia per valutare le pressioni ambientali che l'ambiente edificato esercita. Ampiamente riconosciuta e integrata nelle direttive europee e in ambito accademico, sta trovando consenso anche sul mercato, sia come crescente diffusione delle EPD da parte dei produttori, sia come integrazione nelle certificazioni di sostenibilità degli edifici.

Benché la LCA e le etichette LCA *based* siano ampiamente riconosciute e incluse nella gran parte dei GBRs, di fatto il peso degli indicatori derivanti da una valutazione del ciclo di vita rispetto alla totalità dei criteri varia molto da un sistema a un altro, risultando pertanto difficilmente confrontabile.

Gli intenti comunitari sono chiaramente incentrati su questioni orientative e di indirizzo, quelli accademici sugli approcci metodologici, di ricerca e di appropriatezza delle analisi, mentre il mercato per la semplificazione e la praticità d'uso. La volontà di definire un "linguaggio comune" e riconoscibile dalle parti interessate e nei diversi contesti territoriali è l'obiettivo che accomuna le visioni di tutti.

Il lancio di Level(s) da parte della Commissione Europea attraverso la fase di sperimentazione su casi pilota ha avviato un importante e unico percorso di confronto, sia a livello dei principali organismi di gestione dei *rating* esistenti (LEED, BREEAM, DGNB, HQE, etc.), sia come *stakeholder* coinvolti. I circa 140 progetti pilota appartenenti a 21 Paesi europei hanno riunito più profili e figure appartenenti alla filiera delle costruzioni: imprese, professionisti, produttori, accademici e amministrazioni.

La centralità nell'approccio al ciclo di vita da parte del quadro europeo ha oltretutto accentuato l'interesse verso una maggiore integrazione del metodo LCA e delle etichette LCA *based* nei quattro sistemi di certificazione di sostenibilità degli edifici più diffusi e usati: il tedesco DGNB, l'inglese BREEAM, il francese HQE e l'americano LEED.

Come si evince dalle parti di testo che precedono e in accordo con la letteratura, pur constando che DGNB e HQE hanno un approccio LCA più simile a Level(s), mentre BREEAM e LEED presentano una struttura molto diversa (Sánchez Cordero et al., 2020), una loro confrontabilità trova robustezza analitica solo se condotta sui singoli criteri su cui si strutturano, e quindi sui parametri e le metodiche che li determinano, piuttosto che sui macro ambiti. La comparazione sulle regole e i principi che regolano l'applicazione della LCA sta avviando un interessante dibattito tecnico-scientifico, interessando accademici e mondo industriale.

Le questioni centrali su cui occorre lavorare e meglio investigare riguardano principalmente due ambiti: le fonti dei dati che alimentano le LCA, la definizione di soglie di *benchmark* degli esiti LCA volte a indirizzare e supportare le azioni progettuali in tutte le fasi, anche da quelle iniziali.

Il primo punto in realtà è alimentato dal crescente interesse e dalla recente necessità, specie di Paesi come l'Inghilterra il cui livello di maturità d'uso è attualmente tra i più alti, di inglobare le analisi del ciclo di vita nei sistemi di progettazione integrata con *tool* come il *Building Information Modeling* (BIM). Ne conseguono indagini e sperimentazione sull'uso e gestione di banche dati generiche piuttosto che EPD specifiche di prodotto, oltre che sulle differenti modalità tecnico-operative.

L'altro, invece, dalla consapevolezza che l'adozione della metodica LCA già dalle prime fasi di progettazione favorirebbe una riduzione dell'uso delle risorse e degli impatti ambientali associati al settore edile lungo l'intero ciclo di vita dell'edificio (Hollberg et al., 2016; Röck et al., 2018).

Una recente corrente di pensiero trova nella definizione di soglie di valori *target* (*benchmark*), definite come medie aritmetiche dei risultati LCA di progetti ed edifici realizzati, la possibilità di fornire informazioni e indicazioni sugli impatti ambientali già nelle fasi iniziali del progetto, indirizzando così la progettazione verso un percorso più orientato ai temi della sostenibilità nel ciclo di vita (Schlegl et al., 2019). Interessanti spunti sono identificati dagli studi effettuati in ambito accademico francese (Lasvaux et al., 2017), svizzero (Frischknecht et al., 2019) e tedesco (Schlegl et al., 2019). In quest'ultimo caso, l'obiettivo della ricerca in atto, con il supporto tecnico dell'associazione DGNB e attraverso fondi di finanziamento pubblici, mira a definire soglie di *benchmark* LCA di edifici attraverso la mappatura dei certificati ottenuti con il sistema DGNB che certifica più di 200 edifici all'anno.

Bibliografia

- Anderson J., Rønning A., Moncaster A., 2019. "The Reporting of End of Life and Module D Data and Scenarios in EPD for Building level Life Cycle Assessment", *Sustainable Built Environment Conference 2019* (SBE19 Graz). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 323 (2019) 012051. IOP Publishing.
- Anand C.K., Amor M., 2017. "Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 67(C), pp. 408-416.

- Blengini G.A., Di Carlo T., 2010. "The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings", *Energy and Buildings*, vol. 42(6), pp. 869-880.
- Bernardi E., Carlucci S., Cornaro C., Bohne R.A., 2017. "An Analysis of the Most Adopted Rating Systems for Assessing the Environmental Impact of Buildings", *Sustainability*, vol. 9(7), 1226.
- BPIE Report, 2020. Vitali Roscini A., Rapf O., Kockat J., *On the way to a CLIMATE-NEUTRAL EUROPE. Contributions from the building sector to a strengthened 2030 climate target*.
- Brophy V., Lewis O.J., 2011. *A Green Vitruvius Principles and Practice of Sustainable Architectural Design*, Routledge: London, UK.
- Buyle M., Audenaert A., Braet J., Debacker W., 2015. "Towards a more sustainable building stock: optimizing a Flemish dwelling using a life cycle approach", *Buildings*, vol. 5(2), pp. 424-448.
- Buyle M., Galle W., Debacker W., Audenaert A., 2019. "Sustainability assessment of circular building alternatives: Consequential LCA and LCC for internal wall assemblies as a case study in a Belgian context", *Journal of Cleaner Production*, vol. 218, pp. 141-156.
- Cordero A., Melgar S., Andujar J., 2019. "Green Building Rating Systems and the New Framework Level(s): A Critical Review of Sustainability Certification within Europe", *Energies*, vol. 13(1).
- Del Rosario Peguero P.M., 2020. *Environmental profile of an Italian building's envelope applying EPD comparing different sustainability building rating systems: Active House, DGNB, and Level(s)*, Master Thesis submitted to the Institute of Sustainability in Civil Engineering. Examiners: Prof. Dr.-Ing. Marzia Traverso and Dr.-Arch. Elisabetta Palumbo.
- Dodd N., Cordella M., Traverso M., Donatello S., 2017. *Level(s) – A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings, Parts 1 and 2: Introduction to Level(s) and how it works (Draft Beta v1.0)*, Joint Research Centre.
- Ellis P.G., Torcellini P.A., Crawley D.B., 2008. "Energy Design Plugin. An Energyplus Plugin for Sketchup", *Third National Conference of IBPSA-USA*, Berkeley, California, pp. 238–245 .
- European Commission, 2011. *Roadmap to a Resource Efficient Europe*. COM(2011)571.
- European Commission, 2014. *On Resource Efficiency Opportunities in the Building Sector*. COM(2014) 445.
- European Commission, 2016. *Commission Recommendation (EU) 2016/1318 on Guidelines for the promotion of nearly zero-energy buildings and best practices to ensure that, by 2020, all new buildings are nearly zero-energy buildings*. C/2016/4392.
- European Commission, 2017. *Raw Materials Information System (RMIS): Towards v2.0 - An Interim Progress Report & Roadmap*. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- European Commission, 2017. *Build Up - Introducing Level(s): a common language for sustainable buildings*. Available online: <https://www.buildup.eu/en/node/53669>.
- European Commission, 2019. *Commission recommendation on building modernization*. C(2019) 4135 final. Official Journal of the European Union, Brussels.
- European Commission, 2019. *Material flow accounts and resource productivity - Statistics Explained*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Material_flow_accounts_and_resource_productivity#Consumption_by_material_category.
- European Commission, 2019. *Commission Recommendation (EU) 2019/786 on building renovation* (notified under document C(2019) 3352).
- Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency.
- European Commission, 2019. *LEVEL(S) Taking Action on the Total Impact of the Construction Sector*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

- Frischknecht R., Balouktsi M., Lützkendorf T. et al., 2019. *Environmental benchmarks for buildings: needs, challenges and solutions—71st LCA forum*, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich, 18 June 2019.
- Ganassali S., Lavagna M., Campioli A., 2016. "LCA Benchmarks in building's environmental certification systems", *41st IAHS World Congress Sustainability and Innovation for the Future*, 13-16th September 2016 Albufeira, Algarve, Portugal.
- Ganassali S., Lavagna M., Campioli A., 2017. "Benchmark LCA e uso di EPD nei Green Building Rating System", Atti del XI Convegno della Rete Italiana *LCA Resource Efficiency e Sustainable Development Goals: il ruolo del Life Cycle Thinking*, Siena, 22-23 giugno 2017.
- Gantner J., Both Von P., Rexroth K., 2018. "Ökobilanz - Integration in den Entwurfsprozess: BIM-basierte entwurfsbegleitende Ökobilanz in frühen Phasen einer Integralen Gebäudeplanung", *Bauphysik*, vol. 40(5), pp. 286-297.
- Gervasio H., Dimova S., 2018. *Model for Life Cycle Assessment (LCA) of buildings*, EUR 29123 EN, Publications Office of the European Union.
- Higham A.P., Fortune C., Boothman J.C., 2016. "Sustainability and investment appraisal for housing regeneration projects", *Structural Survey*, vol. 34(2), pp. 150-167.
- Himpe E., Trappers L., Debacker W., Delghust M., Laverge J., Janssens A., Moens J., Van Holm M., 2013. "Life cycle energy analysis of a zero-energy house", *Building Research & Information*, vol. 41(4), pp. 435-449.
- Hollberg A., Ruth J., 2016. "LCA in architectural design-a parametric approach", *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 21, pp. 943-960.
- Hollberg A., 2017. *Parametric Life Cycle Assessment: Introducing a time-efficient method for environmental building design optimization*, vol. 4, Bauhaus-Universitätsverlag Weimar; 1 edition (3 April 2017).
- Hoxha E., Habert G., Lasvaux S., Chevalier J., Le Roy R., 2017. "Influence of construction material uncertainties on residential building LCA reliability", *Journal of Cleaner Production*, vol. 144, pp. 33-47.
- Hu M., Cunningham P., Gilloran S., 2017. "Sustainable design rating system comparison using a life-cycle methodology", *Building and Environment*, vol. 126, pp. 410-421.
- Joint Research Centre, 2017. *Level(s) - A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings*. https://susproc.jrc.ec.europa.eu/Efficient_Buildings/docs/170816_Levels_EU_framework_of_building_indicators.pdf.
- Lavagna M., 2008. *Life Cycle Assessment in edilizia: progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*, Hoepli, Milano.
- Lavagna M., Palumbo E., 2017. "Obiettivi, metodi e strumenti operative per la valutazione della sostenibilità ambientale", in: Antonini E., Tucci F. (eds), *Architettura, Città e Territorio verso la Green Economy Architecture*, Edizioni Ambiente, Milano, pp. 152-163.
- Lasvaux S., Habert G., Peuportier B., Chevalier J., 2015. "Comparison of generic and product-specific Life Cycle Assessment databases: application to construction materials used in building LCA studies", *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 20, pp. 1473-1490.
- Mateus R., Braganca L., 2011. "Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBToolPT-H", *Building and Environment*, vol. 46(10), pp. 1962-1971.
- Olakitan Atanda J., 2019. "Developing a social sustainability assessment framework", *Sustainable Cities & Societies*, vol. 44, pp. 237-252.
- Nwodo M.N., Anumba C.J., 2019. "A review of life cycle assessment of buildings using a

- systematic approach", *Building and Environment*, vol. 162, 106290.
- Palumbo E., Politi S., 2018. "Improving building envelope efficiency: interaction between embedded energy and operational energy", *Techne – Matter is Design*. vol. 16, pp. 247-257.
- Politi S., Antonini E., 2017. "An expeditious method for comparing sustainable rating systems for residential buildings", *Energy Procedia*, vol. 111, pp. 41-50.
- 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* 69, pp. 218-223.
- Rodriguez B., Simonen K., 2017. *Comparison of methodologies for Whole Building Life Cycle Assessment: A review*. http://www.carbonleadershipforum.org/wp-content/uploads/2018/01/LCA-Method-Comparison_04.06.2017.pdf.
- Sánchez Cordero A., Gómez Melgar S., Andújar Márquez J.M., 2020. "Green Building Rating Systems and the New Framework Level(s): A Critical Review of Sustainability Certification within Europe", *Energies*, vol. 13, 66.
- Schlegl F., Honold C., Leistner S., Albrecht S., Roth D., Haase W., Leistner P., Binz H., 2019. "Integration of LCA in the Planning Phases of Adaptive Buildings", *Sustainability*, vol. 11, 4299.
- Schlegl F., Gantner J., Traunspurger R., Albrecht S., Leistner P., 2019. "LCA of buildings in Germany: Proposal for a future benchmark based on existing databases", *Energy & Buildings*, vol. 194, pp. 342-350.
- Strazza C., Del Borghi A., Magrassi F., Gallo M., 2016. "Using environmental product declaration as source of data for life cycle assessment: a case study", *Journal of Cleaner Production*, vol. 112, pp. 333-342.
- Turk S., Quintana A.S.N.S., Zhang X., 2018. "Life-cycle analysis as an indicator for impact assessment in sustainable building certification systems: the case of Swedish building market", *Energy Procedia*, vol. 153, pp. 414-419.
- Varma C.R.S., Palaniappan S., 2019. "Comparison of green building rating schemes used in North America, Europe and Asia", *Habitat Int.*, 89, 101989.
- Velenturf A.P.M., Archer S.A., Gomes H.I., Christgen B., Lag-Brotons A.J., Purnell P., 2019. "Circular economy and the matter of integrated resources", *Science of the Total Environment*, vol. 689, pp. 963–969.
- Wittstock B., Gantner J., Lenz K., Saunders T., Anderson J., Carter C., Gyetvai Z., Kreißig J., Braune A., Lasvaux S., et al., 2011. *EeBGuide Guidance Document. Part B: Buildings. Operational Guidance for Life Cycle Assessment Studies of the Energy-Efficient Buildings Initiative*. Available online: http://www.eebguide.eu/?page_id=704.
- Tupenaite L., Lill I., Geipele I., Naimaviciene J., 2017. "Ranking of Sustainability Indicators for Assessment of the New Housing Development Projects: Case of the Baltic States", *Resources*, vol. 6(4), 55.
- Zhang X., Shen L., Wu Y., 2011. "Green strategy for gaining competitive advantage in housing development: A China study", *Journal of Cleaner Production*, vol. 19, pp. 157-167.