

LCA evaluation methodology for multiple life cycles impact assessment of building materials and components

Alessandra Pierucci^{a*}

^a Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica, Politecnico di Bari, Via Orabona 4, Bari, 70125, Italia

Highlights

The paper introduces a methodological approach for the collection, evaluation and interpretation of LCA environmental impacts. The topic of interest regards the environmental impact related to the requalification and transformation of buildings. The research approach illustrates the attributes of the building process responsible for its environmental consequences over the time.

Abstract

This paper presents a methodological analysis of the issues related to the sustainable performance design of materials and building components, through the adoption of Life Cycle Assessment evaluations. In particular, the research explores which attributes, typical of the building process, are competing in balancing the sustainable use of resources, the energy efficiency goals, the reduction of waste/emissions and the reversibility of the interventions, during multiple and diversified life cycles and proposes a survey for the achievement of synthetic indicators that could guide the various stakeholders in the sector.

Keywords

LCA, Recycling potential, Construction materials, Multiple lifecycle, Design for Disassembly

1. INTRODUZIONE

La ricerca nel campo della sostenibilità di prodotti e processi edilizi costituisce un ambito di approfondimento complesso per la varietà e multidisciplinarietà degli aspetti in analisi. In tale panorama, infatti, è necessario stabilire un bilanciamento critico tra gli aspetti prestazionali propri dei materiali, dei componenti e dei sistemi edilizi, il contesto ambientale e le specificità costruttive, i requisiti attesi sotto il profilo normativo, economico, sociale e ambientale nonché le necessità proprie dell'utenza e le ricadute sulle fasi di esercizio e dismissione dell'edificio. Uno step prioritario per il conseguimento di prodotti da costruzione congruenti con i traguardi di sostenibilità attesi a livello comunitario [1] e, in particolare, con le specificità nazionali del settore, è, quindi, rappresentato dallo sviluppo di attività di ricerca in grado di orientare le azioni di nuova costruzione e di riqualificazione dell'esistente verso l'ottimizzazione del rapporto tra potenziamento delle prestazioni e minimizzazione degli impatti ambientali, all'interno dell'intero ciclo di vita degli edifici. Tali aspetti costituiscono il fondamento della metodologia di ricerca, di seguito esposta, finalizzata alla costruzione, sulla base dei risultati delle attività di sperimentazione, caratterizzazione prestazionale, modellazione energetica e valutazione Life Cycle Assessment, di una matrice di informazioni utili alla definizione di indicatori sintetici [2] di orientamento/validazione delle scelte progettuali e l'esplicitazione degli attributi di sostenibilità specifici del settore edile. Il potenziale insito nel governo di tali attributi consiste nella possibilità di valutare in che maniera le scelte fatte in sede progettuale incidano sull'andamento degli impatti ambientali dell'edificio nelle fasi successive, ovvero quelle di uso, manutenzione, trasformazione/riqualificazione e dismissione.

* Corresponding author. Tel.: +39-328-644-2121; e-mail:alessandra.pierucci@poliba.it

2. STATO DELL'ARTE

Numerosi sono i modelli di valutazioni LCA in edilizia elaborati per l'analisi degli impatti connessi alla produzione di materiali e componenti, ai consumi della fase di esercizio e alle attività di manutenzione e dismissione finale. All'interno di tali valutazioni si riscontra frequentemente una definizione dei confini temporali della valutazione, generalmente fissati tra i 50 e i 100 anni; nella realtà il ciclo di vita degli organismi edilizi può variare considerevolmente nel tempo, per effetto di modificazioni riguardanti l'uso, le tecnologie produttive e costruttive e, aspetto più complesso, la dinamicità dei profili d'utenza. A livello nazionale, ad esempio, si riscontra come gli investimenti in riqualificazione del patrimonio abitativo risultino l'unico comparto a mostrare un aumento dei livelli produttivi, rappresentando circa il 40% del valore degli investimenti in costruzioni [3]. In materia ambientale, in particolare, tali azioni di trasformazione possono generare variazioni sensibili dell'impatto complessivo dell'edificio nel suo intero ciclo di vita in relazione alle assunzioni stabilite, ad esempio, sulla service life dei sistemi e subsistemi [4-6]. In ambito LCA, la necessità di garantire valutazioni previsionali degli impatti futuri altamente verosimili, ha permesso lo sviluppo di un duplice approccio alla valutazione: l'attributional LCA, tradizionalmente affermato per la quantificazione degli impatti ambientali connessi ai flussi entranti e uscenti dal sistema in analisi, e il consequential LCA, finalizzato a indagare il cambiamento dell'impatto nel tempo, ovvero come i succitati flussi - e il loro relativo impatto - verranno modificati per effetto di possibili decisioni e azioni intraprese [7,8]. E' appena il caso di sottolineare che, tuttavia, questo secondo approccio non sempre possa rivelarsi pienamente efficace nel ponderare la variabilità degli impatti connessi a cicli di vita multipli e diversificati degli organismi edilizi: questo sia perché è un approccio di recente diffusione e, quindi, ancora oggetto di approfondimento [9] per quanto concerne i risultati finali, sia perché non sempre del tutto applicabile, in relazione alla corposa mole di informazioni e indagini richieste, ad esempio, sull'andamento dei mercati futuri (uso di dati marginali). La problematica diviene ancor più complessa se si considera anche che la definizione di precisi archi temporali di indagine può subire sensibili modificazioni per effetto di azioni di trasformazioni sull'edificio; si pensi, ad esempio, a un possibile cambio della destinazione d'uso, all'evoluzione normativa sugli standard prestazionali o alla rapidità dell'evoluzione dei nuclei familiari e dei target essenziali connessi. Il contributo di queste modifiche nelle valutazioni di Life Cycle Assessment risulta talmente decisivo da costituire uno dei driver della fase di progettazione e gestione dei manufatti edilizi in grado di contenere sensibilmente le ricadute del settore e garantire, così, livelli di sostenibilità complessivamente più elevati [10]. Risulta chiara la necessità di implementare la valutazione con opportune metodologie di raccolta, valutazione e interpretazione delle informazioni di progetto che costituiscano già una fase di revisione critica delle scelte intraprese e supportino l'adozione di strategie di miglioramento dell'impatto che risultino risolutive delle criticità ambientali riscontrate in ogni fase del ciclo di vita degli organismi edilizi.

3. METODOLOGIA

L'approccio metodologico della ricerca affronta, in primo luogo, l'analisi delle performance energetiche e ambientali dei prodotti da costruzione; esse sono definite, da un lato, dalle attività sperimentali per la definizione dei requisiti chimici, meccanici e fisico-tecnici e, dall'altro, mediante l'analisi degli environmental burdens delle fasi di estrazione, produzione, trasporto e cantierizzazione, così come strettamente connessi alle specificità produttive (e quindi anche all'embodied energy [11]) del contesto, alle modalità di assemblaggio e alla possibile attivazione di strategie di valorizzazione di rifiuti e MPS. Con riferimento a tali aspetti, il ricorso alle valutazioni di Life Cycle Assessment consente di sviluppare una mappatura dettagliata delle variabili concorrenti nella determinazione dell'impatto finale; per il settore delle costruzioni in particolare, si ritiene che, in relazione all'esperienza maturata su numerosi casi di studio, tale approccio consenta di specificare gli attributi dei prodotti e processi edilizi responsabili degli impatti delle attività di costruzione, uso/manutenzione/trasformazione e dismissione e di orientare, così, le strategie di miglioramento del livello di sostenibilità complessivo dell'oggetto in analisi verso specifici ambiti di azione.

Tali aspetti possono essere sintetizzati come di esposto nella Tabella 1 per un'unità funzionale in analisi.

PRODUCTION
Resource extraction location
Raw materials/resources/second materials invested, nature and dosages
Morphological and performance characteristics
Production site location
Employed machinery for the production, power and time of use
Reference Service Life
Emissions and wastes coming from the production phase
CONSTRUCTION
Installation/assembly technique
Additional materials and components required for the installation (formworks, etc.).
Machinery used for the construction, power and time of use
Construction site location
Emissions and waste during the construction phase
USE
Energy and water consumption
Flows (input and output) of maintenance and transformation activities, as the sum of disposal and new construction activities on involved parties
Emissions and wastes from the use phase
DISPOSAL
Disassembly/demolition technique
Additional materials and components required for the demolition
Machinery used in the disassembly/disposal process, power and time of use
Types of treatment at end of life, in relation to the assembly technique and the use and the end of life approach (attributinal vs consequential)
Percentage of the product to be allocated to the various treatments at the end of life
End of life treatment site location
Emissions and wastes from the disposal phase

Tabella 1. Attributi caratterizzanti l'impatto ambientali delle varie fasi del ciclo di vita degli organismi edilizi

Le informazioni derivanti dall'approfondimento di tali requisiti vengono ulteriormente articolate in relazione alle possibili ricadute, prestazionali e ambientali, sulla fase di esercizio e dismissione finale; questo si traduce, pertanto, nello studio della durabilità dei prodotti, delle necessità manutentive per il contesto di installazione, della loro potenziale riusabilità e/o riciclabilità in rapporto alle modalità costruttive, d'uso e di smontaggio, alla natura delle materie prime impiegate e alla capacità prestazionale residua conseguibile a seguito di

interventi di trasformazione/sostituzione in differenti archi temporali. Al fine di gestire in maniera efficace l'ingente flusso di informazioni derivante da tale analisi, è stata sviluppata una matrice che possa guidare il valutatore nella ricerca degli attributi responsabili dell'impatto finale degli organismi edilizi o di loro sistemi e sub-sistemi. La metodologia supporta, in questo modo, la costruzione di uno strumento di sintesi dei numerosi flussi di informazione presi in esame per la definizione delle caratteristiche progettuali degli interventi ma, anche, di scelta di soluzioni in grado di ottimizzare il livello di sostenibilità finale, in relazione alle condizioni di progetto, d'uso e di dismissione. Per ogni fase del ciclo di vita è possibile, quindi, esplicitare i processi e sotto-processi confluenti, nonché le variabili (ad esempio materie prime, consumi, trasporti, rifiuti) concorrenti nella definizione dell'impatto (Figura 1); tali variabili, coerentemente con le vigenti logiche BIM, permettono di identificare precisamente gli attributi elementari del processo in analisi (che per i trasporti, ad esempio, divengono la *tipologia di mezzo* impiegato, la *distanza* e il *peso* dell'oggetto movimentato).

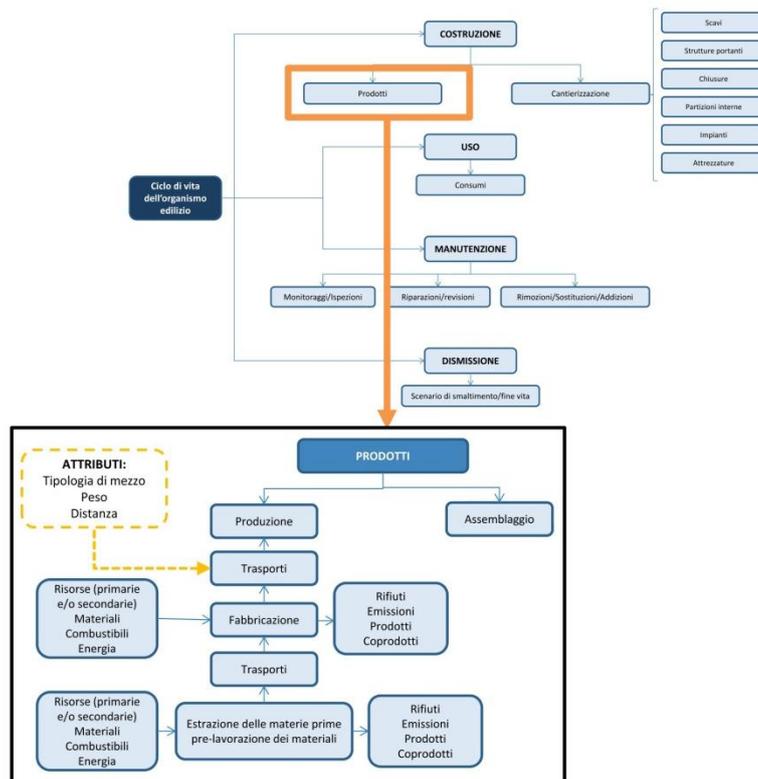


Figura 1. Un esploso esemplificativo del sotto-processo "Produzione" del processo "Prodotti" - fase di costruzione

La matrice, ottenuta mediante la caratterizzazione prestazionale dei componenti e subsistemi edilizi, diviene, così, il fondamento per lo sviluppo di valutazioni di Life Cycle Assessment orientate, da un lato, a quantificare gli impatti connessi alle scelte progettuali e, dall'altro, a proporre alternative materico-tecnologiche innovative tali da ottimizzare il loro comportamento ambientale nel tempo, ovvero secondo cicli di vita multipli e diversificati.

L'approccio della valutazione, seppur di tipo analitico e previsionale, consente, pertanto, di rappresentare una possibile attualizzazione delle conseguenze ambientali delle future azioni di riqualificazione, così come connesse al crescente dinamismo dei profili di utenza e del panorama normativo, e di proporre alternative coerenti con i requisiti di flessibilità d'uso, efficienza energetica, riciclabilità e adattività al contesto [12].

4. RISULTATI

L'applicazione della metodologia di valutazione LCA del ciclo di vita multiplo di materiali e componenti, validata in contesti di analisi differenti – dalla scala del materiale a quella del componente e dei sistemi edilizi – ha confermato che opportune scelte riguardanti la natura dei materiali, le tecniche di assemblaggio/disassemblaggio e il potenziale scenario di smaltimento possono consentire il raggiungimento di risparmi ambientali significativi nelle attività di riconfigurazione e riqualificazione degli edifici [13,14].

In tal senso tale metodologia può risultare orientativa, nella scala della progettazione degli organismi edilizi, per quanto attiene la scelta di materiali e tecnologie costruttive coerenti con tempi e modalità di utilizzo dell'edificio: essa rivela, infatti, nel caso di sostituzione di materiali/componenti in archi temporali ristretti, la possibile convenienza ambientale ottenibile dall'adozione di prodotti da riuso, aventi capacità prestazionale compatibile con i cicli di utilizzo ipotizzati. D'altro canto, nel caso di tecnologie maggiormente durevoli, l'approccio permette di individuare possibili miglioramenti dell'impatto ambientale delle fasi di costruzione e manutenzione, favorendo, ad esempio, l'uso di materie prime seconde e di prodotti da riciclo (così come dimostrato in una ricerca in corso, relativa all'analisi, anche LCA, della produzione di calcestruzzi strutturali contenenti sfondi della lavorazione dell'EPS - progetto di ricerca "Sistema Prefabbricato ad Elevate Prestazioni meccaniche, termo igrometriche ed acustiche per tamponamenti e murature portanti" HPWalls, finanziato dalla Regione Puglia, P.O. PUGLIA FESR 2007-2013 Linea 1.2 - Azione 1.2.4 - Bando "Aiuti a Sostegno dei Partenariati Regionali per l'Innovazione").

Afferiscono a tale categoria, ma con un diverso spettro di potenzialità, anche gli studi condotti sulle tecnologie più promettenti - dal punto di vista dei savings conseguibili, del livello di adattività e reversibilità dell'intervento - in ambito di efficientamento energetico del patrimonio esistente. A tal proposito, infatti, la ricognizione degli impatti derivanti dall'impiego di strategie di tipo convenzionale (quali la coibentazione termica e la sostituzione degli infissi) mostra come queste risentano, comunque, dell'incidenza delle attività manutentive, rispetto ad altre più innovative (come i Building Automation Systems) per le quali l'investimento di risorse ed energie viene ripagato, anche in cicli di vita molto limitati, dal vantaggio energetico conseguibile a seguito della loro installazione [15].

Con riferimento ai numerosi sbocchi dell'approccio qui analizzato, si segnala, inoltre, che, la matrice di analisi dei dati ambientali, prestazionali e di contesto può costituire uno strumento decisionale per l'ottimizzazione della fase del design dei prodotti stessi [16], ovvero permettere di calibrare dettagliatamente il flusso di risorse ed energie per produzione/uso/dismissione in relazione alle performance attese, alla destinazione d'uso e al tempo di utilizzo.

5. CONCLUSIONI

La ricerca definisce un approccio di supporto alla valutazione, su base LCA, degli impatti degli organismi edilizi e, più in particolare, delle scelte progettuali. Lo studio introduce un'architettura di specifici attributi di sostenibilità in grado di contenere le ricadute ambientali delle azioni di trasformazione del costruito attraverso il potenziamento di strategie di valorizzazione dei flussi di risorse ed energie investite, all'interno di possibili cicli di vita multipli successivi al momento della costruzione. La matrice di informazioni e attributi del progetto rappresenta, così, uno strumento di supporto all'individuazione di soluzioni costruttive che possano garantire, congiuntamente, elevati livelli prestazionali e di sostenibilità dell'intero processo edilizio.

6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Regulation (EU) n. 305/2011 of the European Parliament and of the Council.
- [2] A. Pierucci, G. R. Dell'Osso, Valutazioni LCA e Indice di Trasformabilità Sostenibile dell'organismo edilizio, In "Ricerche ISTeA per l'ingegneria dell'architettura", Edizioni Medicea, 2010.
- [3] ANCE, Osservatorio Congiunturale sull'industria delle Costruzioni, Luglio 2014
- [4] A. Grant, R. Ries, C. Kibert, Life Cycle Assessment and Service Life Prediction. A Case Study of Building Envelope Materials, *Journal of Industrial Ecology*, Volume 18, Number 2, 2014.
- [5] I. Blom, L. Itard, A. Meijer, Environmental impact of dwellings in use: Maintenance of façade components, *Building and Environment* 45 (2010) 2526-2538.
- [6] G. Hed, Service life planning carried out in a building project, *Int. Journal of Low Energy and Sustainable Buildings*, Vol 3 (2003).
- [7] G. Finnveden, M. Z. Hauschild, T. Ekvall, J. Guinée, R. Heijungs, S. Hellweg, A. Koehler, D. Pennington, S. Suh, Recent developments in Life Cycle Assessment, *Journal of Environmental Management* 91 (2009) 1–21.
- [8] M. Buyle, J. Braet, A. Audenaerta, Life cycle assessment of an apartment building: comparison of an attributional and consequential approach, *Energy Procedia* 62 (2014) 132 – 140.
- [9] A. Zamagni, J. Guinée, R. Heijungs, P. Masoni, A. Raggi, Lights and shadows in consequential LCA, *Int. Journal of Life Cycle Assessment* (2012) 17, 904–918.
- [10] L. Aye, T. Ngo, R. H. Crawford, R. Gammampila, P. Mendis, Life cycle greenhouse gas emissions and energy analysis of prefabricated reusable building modules, *Energy and Buildings* 47 (2012) 159–168.
- [11] G. Hammond, C. Jones, F. Lowrie, P. Tse, Embodied carbon: the inventory of carbon and energy (ICE), BSRIA, 2011.
- [12] E. Durmisevic, Green design and assembly of buildings and systems: Design for Disassembly a key to Life Cycle Design of buildings and building products, VDM Verlag Dr. Müller, 2010.
- [13] A. Pierucci, G.R. Dell'Osso, G. Ferricelli, Sustainable Design of Efficient Buildings: Analysis of Maintenance Needs of Envelopes in LCA Evaluations, In *Proceedings of the 5th International Conference on Urban Sustainability, Cultural Sustainability, Green Development, Green Structures and Clean Cars*, Series: Energy, Environmental and Structural Engineering Series n.30, 2014.
- [14] G.R. Dell'Osso, A. Pierucci, Performance design of the building envelope in Life Cycle Assessment evaluations, In *atti del 1st Workshop on the State of the Art and Challenges of Research Efforts at POLIBA*, C1 Research contribution, Gangemi Editore, pp. 81-85, 2014.
- [15] A. Pierucci, G.R. Dell'Osso, Comparative LCA Evaluations between Conventional Interventions and Building Automation Systems for Energetic Requalification Activities, In *LNICST, Sensor Systems and Software*, Vol. 122 (2013) 127-142.
- [16] A. Petrella, A. Pierucci, S. Liuzzi, A. Sciotti, M. De Fino, P. Stefanizzi, F. Fatiguso, G. Boghetich, G. De Tommasi, Recycled EPS in the production of cement mortars for the construction industry, In: (a cura di): G. Alaimo, A. Carbonari, A. Ciribini, B. Daniotti, GR Dell'Osso, M.A. Esposito, *Energy, Sustainability and Building Information Modeling and Management*, Maggioli Editore (2013) 477-492.