

# IL FINE VITA DEL LEGNO LAMELLARE

## un confronto tra ricerca e pratica industriale

*Giovanni Perrucci, Dario Trabucco, Lu Lin - Dipartimento di Culture del Progetto, Università Iuav di Venezia*

### Introduzione

L'Accordo di Parigi (UNFCCC, 2016) ha segnato una svolta cruciale contro il cambiamento climatico globale, fissando l'ambizioso obiettivo di limitare l'aumento della temperatura media globale ben sotto i 2°C. Riconoscendo l'urgenza di un'azione multilaterale, l'Unione Europea ha successivamente emanato il Green Deal Europeo (dal 2021), definendo obiettivi più stringenti per la decarbonizzazione, tra cui l'abbattimento delle emissioni di gas serra (-55% entro il 2030) e la neutralità climatica entro il 2050. Per raggiungere questi ambiziosi propositi, il quadro normativo europeo propone il modello di un'economia circolare basata su riduzione risorse, estensione vita prodotti, riuso, riciclo efficiente e fonti

rinnovabili. Il settore edile, responsabile di circa il 37% delle emissioni globali, richiede l'adozione di strategie di mitigazione che orientino le scelte progettuali verso una maggiore sostenibilità. Supportate dall'analisi del ciclo di vita (LCA), tali strategie possono contribuire in modo significativo a ridurre l'impronta ambientale di materiali e edifici.

In questo contesto di crescente attenzione alla sostenibilità ambientale, il legno lamellare, nelle sue diverse configurazioni, emerge come un materiale costruttivo di primaria importanza per il mercato globale ed europeo in particolare. Nello specifico, i pannelli in legno lamellare incrociato (Cross Laminated Timber, CLT) e il legno lamellare incollato



Un'azienda di produzione di legname, dove si conclude la fase A3. Credit: Ernesta Vala, via Unsplash.com

(Glued Laminated Timber, Glulam, GLT) rappresentano circa il 70% del legno utilizzato nel settore delle costruzioni europeo. L'impiego di legno lamellare può comportare una significativa riduzione delle emissioni di gas serra, stimata fino al 40% rispetto all'utilizzo di materiali tradizionali come il calcestruzzo (EEA, 2022). Questa riduzione è dovuta al processo di produzione ad assorbimento energetico contenuto, e principalmente alla capacità degli alberi di assorbire anidride carbonica durante la loro crescita e di stoccarla nel legno, e al minor fabbisogno energetico per la lavorazione rispetto a materiali come il cemento e l'acciaio. La quantità di anidride carbonica immagazzinata nel legno, e in qualunque altro materiale di origine vegetale, è definita "carbonio biogenico". Una valutazione efficace del suo impatto richiede il tracciamento del flusso di CO<sub>2</sub> lungo l'intero ciclo di vita dei materiali di origine vegetale, come ad esempio il legno lamellare. Di conseguenza, oltre alla fase di produzione, è fondamentale analizzare il fine vita, poiché è in questa fase che, a seconda dello scenario adottato, l'anidride carbonica precedentemente stoccata può in alternativa passare al sistema successivo o essere rilasciata nell'ambiente.

Questo articolo propone di esplorare in modo approfondito il tema del fine vita del legno lamellare, fornendo una panoramica sullo stato attuale della ricerca e sulle pratiche industriali esistenti. Attraverso una revisione critica della letteratura scientifica disponibile e un'analisi dettagliata delle Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (EPD) relative ai prodotti in legno lamellare commercializzati in Europa, lo studio mira a fornire spunti e raccomandazioni per la corretta contabilizzazione dei flussi dell'anidride carbonica durante la vita del legno lamellare, con un focus specifico sul fine vita.

### **Analisi della letteratura sul fine vita del legno lamellare**

L'interesse scientifico per la fase di fine vita del legno lamellare è in costante crescita: dei 169 studi analizzati, il 72% è stato pubblicato nell'ultimo decennio, e il 58% solo negli ultimi cinque anni. Nonostante ciò, la base di conoscenze su questo tema resta sorprendentemente limitata, soprattutto se confrontata con l'ampia mole di ricerche dedicate ad altri aspetti del legno lamellare, come la selvicoltura, la costruzione e le fasi iniziali dell'LCA (moduli A). Questa disparità evidenzia come il fine vita del legno rappresenti ancora un ambito poco esplorato, aperto a numerose ipotesi e soggetto a significative incertezze.

Un trend che si rileva è che il fine vita del legno lamellare è



Tavole in legno che vengono incollate per produrre CLT e GLT. Credit: Patrick Robert Doyle, via Unsplash.com

fortemente connotato dalla variabilità dei confini di sistema utilizzati negli studi LCA: dal cradle-to-gate (A1–A3) al cradle-to-grave (A1–C4) e al cradle-to-cradle (A1-D), le fasi del ciclo di vita analizzate sono molto eterogenee. Questa eterogeneità metodologica complica notevolmente il confronto della fase C (fine vita), non sempre presente nei vari lavori analizzati. Questo porta a risultati e interpretazioni che possono differire significativamente a seconda dell'approccio adottato per i confini del sistema. Un punto di svolta è rappresentato dall'introduzione della versione A2 (2019) della norma EN 15804, che a partire da luglio 2022 ha reso obbligatoria la dichiarazione degli impatti del fine vita nelle EPD. Questo impone un approccio cradle-to-grave, fatta eccezione per la fase B, la cui variabilità legata all'utilizzo la rende non vincolante per il produttore di materiali da costruzione.

Al fine di applicare principi di coerenza globale negli studi LCA, varie ricerche sottolineano che è importante che la valutazione adotti confini cradle-to-cradle comparabili nel tempo per prodotti durevoli come il legno lamellare. Un sistema pienamente circolare, infatti, include tutte le fasi e considera il reimpiego a fine vita. La fase di fine vita è ritenuta cruciale per quantificare accuratamente il carbonio biogenico immagazzinato nei prodotti in legno lamellare. Alcuni studiosi, in contrapposizione, ritengono che includere fasi oltre i moduli A1-A3 possa introdurre incertezza nella metodologia, a causa delle ipotesi necessarie sugli scenari futuri (ciò vale in particolare proprio per la fase C).

Ulteriore elemento di complessità nella valutazione degli impatti del ciclo di vita è introdotto dalla disparità negli orizzonti temporali e dalla diversità di normative e metodologie tra Paesi. Un aspetto fondamentale che si rileva in letteratura è la considerazione della tempistica delle emissioni. Levasseur (2010) propone un approccio "dinamico" all'LCA, in sostanza sottolineando l'importanza di monitorare le emissioni nel tempo e tener conto sia della loro manifestazione temporale che della cinetica dei loro effetti. Contrariamente all'LCA statica, che presuppone che le emissioni si manifestino simultaneamente durante la vita del prodotto, l'LCA dinamica valuta gli impatti nel loro contesto temporale, includendo fattori come i cicli di rotazione forestale.

### Il principio "a cascata"

La fase di fine vita del legno lamellare può seguire quattro percorsi: riutilizzo, riciclo, incenerimento (con o senza recupero energetico) e smaltimento in discarica. Le pratiche sostenibili si ispirano al principio dell'uso a cascata (Vis et al., 2016), che dà priorità al riutilizzo e al riciclo per massimizzare l'efficienza delle risorse e prolungare lo stoccaggio del carbonio. Lo scenario ideale è il riutilizzo adattivo dell'edificio, che evita la demolizione e prolunga la vita utile del legno, ma tale possibilità non è considerata dalle attuali EPD, in quanto limitate a una prospettiva di prodotto. Nella gerarchia a cascata, riciclo e recupero energetico seguono il riutilizzo, mentre la discarica resta l'opzione meno auspicabile (figura 3).

Tuttavia, integrare i principi dell'uso a cascata nella LCA rimane un concetto complesso, soprattutto per quanto riguarda lo scenario del riuso. Le sfide più significative per il riuso del legno lamellare sono rappresentate da elevati costi di riutilizzo - rappresentati dallo smontaggio, traspor-

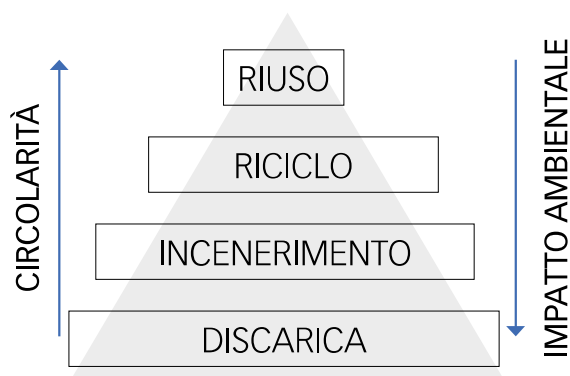
to e necessità di nuova certificazione - domanda limitata e barriere normative e procedurali. Anche la percezione pubblica gioca un ruolo importante, con l'Europa centro meridionale che ha meno familiarità con il concetto di riuso, che invece è più sviluppato e consolidato nei Paesi centro-settentrionali. Svezia, Danimarca e Francia, infatti, hanno già emanato disposizioni legislative che obbligano al rispetto di determinate soglie di Potenziale di Riscaldamento Globale (Global Warming Potential, GWP) per i nuovi edifici, aprendo la strada a strategie più circolari nell'industria delle costruzioni. Inoltre l'efficacia delle strategie di Design for Deconstruction and Reuse (DfD&R) che sono alla base del riuso, è limitata dall'attuale incapacità delle norme di attribuire in maniera equa ai vari sistemi i crediti di carbonio derivanti da pratiche vantaggiose dal punto di vista ambientale. L'espansione dei confini di sistema nella LCA per includere cicli di vita multipli (e quindi eventuali "secondo vite" dei materiali) potrebbe fornire un quadro più chiaro dei benefici dell'uso a cascata. Affrontare queste incoerenze sarà fondamentale per rendere il legno lamellare un materiale veramente circolare.

### Il legno è sempre un serbatoio di carbonio?

Nella fase A1 dell'LCA (estrazione della materia prima legnosa), il carbonio biogenico assorbito dagli alberi durante la crescita viene registrato come un credito, ovvero con un valore negativo in chilogrammi di CO<sub>2</sub> equivalente. Questa quantità di carbonio, sottratta all'atmosfera, rappresenta un vantaggio ambientale del legno lamellare rispetto ad altri materiali da costruzione nel calcolo degli impatti ambientali. Ciononostante, l'attribuzione di un credito al legno lamellare rimane controversa, poiché il carbonio da esso immagazzinato può essere rilasciato durante la fase di fine vita, attraverso processi come la combustione o la decomposizione. Tuttavia, le EPD omettono spesso di considerare questa perdita di carbonio biogenico, riportando così un valore positivo non sempre giustificato. La prassi frequente di omettere gli impatti della fase C negli studi LCA, infatti, rende incompleto il calcolo del carbonio biogenico, e molti studi sottolineano la necessità di includere sempre la fase di fine vita (C) per completezza e coerenza, oltre che per garantire comparabilità tra prodotti.

### Analisi delle EPD del legno lamellare

Tra gli argomenti trattati dalla letteratura sul fine vita del legno, trova un posto rilevante l'analisi delle EPD. In letteratura emerge la presenza di numerose ipotesi e limitazioni che compromettono la capacità di questi documenti di riflette-



Principio a cascata del fine vita del legno.



Un edificio in legno durante la sua demolizione. *Credit: Seiya Maeda, via Unsplash.com*

re pienamente i vantaggi ambientali del materiale. Un nodo cruciale risiede nel trattamento semplificato del sequestro di carbonio biogenico, che spesso trascura variabili fondamentali come il tempo di stoccaggio, la specie legnosa, le condizioni di crescita e le pratiche di gestione forestale. Ulteriori imprecisioni derivano da confini di sistema non uniformi e dall'impiego di dati di impatto generici provenienti da database LCA, che possono non riflettere adeguatamente le specificità regionali e i processi produttivi locali.

Le EPD sono solitamente redatte semplificando gli scenari di fine vita, con l'adozione di modelli di smaltimento o riciclo generici che non considerano le effettive pratiche locali di gestione dei rifiuti o l'efficacia dei sistemi di riciclo esistenti. Come evidenziato da diversi studi, le variazioni nella densità del legno e nelle pratiche di fine vita introducono incertezze significative nei valori di GWP, che sono in larga parte conseguenza di una mancanza di standardizzazione.



Un edificio in legno lamellare in costruzione. *Credit: UBC Media Relations, via Flickr.com*

Alla luce delle diverse interpretazioni rilevate nell'analisi della letteratura, lo studio ha successivamente analizzato 60 documenti EPD disponibili per prodotti in legno lamellare, tra cui CLT, GLT, Laminated Veneer Lumber (LVL) e altri prodotti in legno. Per indagare sull'incoerenza e l'incomparabilità delle EPD evidenziate nella letteratura, lo studio ha avuto come obiettivo l'analisi del contenuto di carbonio biogenico dichiarato nelle EPD.

All'interno delle 60 EPD, i confini di sistema variano significativamente nel campione, con un totale di 12 diverse tipologie di approccio alle fasi del ciclo di vita (vedi Tabella 1). Gli scenari di fine vita ipotizzati sono 81, posto che in alcuni casi all'interno dell'EPD viene ipotizzato più di uno scenario. Mentre 39 scenari su 81 hanno considerato tutte le fasi da A1 a C4, seguendo un approccio cradle-to-grave,

MODULI RIPORTATI							EPD
A1-A3	A4	A5	C1	C2	C3	C4	39
A1-A3			C1	C2	C3	C4	16
A1-A3		A5	C1	C2	C3	C4	6
A1-A3	A4			C2	C3		4
A1-A3	A4	A5	C1	C2	C3		3
A1-A3	A4	A5		C2	C3	C4	3
A1-A3		A5		C2	C3		3
A1-A3	A4		C1	C2	C3	C4	2
A1-A3	A4			C2	C3	C4	2
A1-A3			C1	C2	C3		1
A1-A3							1
A1-A3	A4						1

Le differenti combinazioni di confini del sistema emerse dall'analisi degli 81 scenari di fine vita (nessuna EPD riporta la fase B in quanto facoltativa per la norma EN 15804; il modulo D è qui omissso perché non concorre al calcolo del GWP totale).

i restanti 42 scenari hanno escluso alcune fasi, creando, in alcuni casi, notevoli incoerenze tra le EPD.

In due casi, inoltre, solo le fasi del ciclo di vita all'interno dei moduli A sono state considerate, riportando solo il CO<sub>2</sub> biogenico incorporato nella fase A1. Tale ipotesi rappresenta una valutazione irrealistica del flusso di GWP, in quanto viene totalmente ignorato il rilascio di anidride carbonica durante la fase di fine vita (C).

In 18 casi alcuni moduli della fase C non sono stati dichiarati, il che potrebbe portare a interpretazioni errate del bilancio di CO<sub>2</sub> biogenica e complicare i confronti del GWP lungo l'intero ciclo di vita. In aggiunta, altre 15 EPD riportano un valore nullo per la fase C1 (Demolizione/Decostruzione), uno scenario in pratica non realistico.

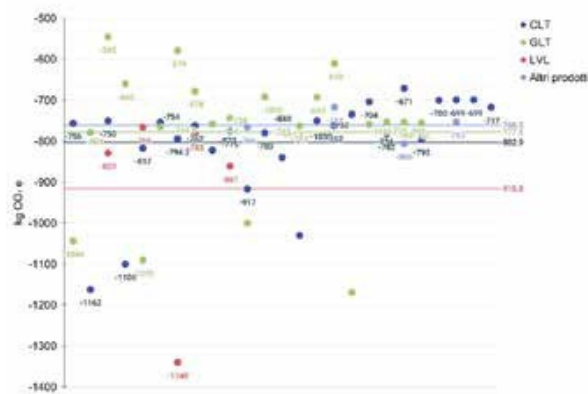
Queste discrepanze sono state in parte rese possibili dalla norma EN 15804, che solo a partire da luglio 2022 (entrata in vigore dell'aggiornamento A2) richiede obbligatoriamente che le EPD riportino, oltre alle fasi A1-A3 anche le fasi C1-C4. Fino a quella data la norma richiedeva ai produttori di dichiarare soltanto le fasi A1-A3 all'interno delle EPD. I moduli relativi alla fase B restano facoltativi, mentre la fase D deve essere riportata, pur non concorrendo al calcolo complessivo degli impatti ambientali.

### Confronto dei valori di carbonio biogenico nelle EPD

La quantità di anidride carbonica immagazzinata nei prodotti in legno lamellare è fondamentale per valutare il loro impatto ambientale. Tuttavia, le differenze nel modo in cui il CO<sub>2</sub> biogenico viene riportato nelle EPD complicano questa valutazione.

All'interno delle 60 EPD analizzate, i valori di CO<sub>2</sub> biogenico incorporato variano generalmente da -500 a -1000 kg CO<sub>2</sub>, con alcune eccezioni che superano i -1000 kg CO<sub>2</sub>, tra cui un prodotto a -1340 kg CO<sub>2</sub> (Figura 5). La maggior parte dei prodotti CLT e GLT mostra un contenuto medio di CO<sub>2</sub> biogenico compreso tra -805 e -766 kg CO<sub>2</sub>, mentre i prodotti LVL hanno una media leggermente superiore (-870 kg CO<sub>2</sub>), influenzata da valori estremi come -1340 kg CO<sub>2</sub> e -1040 kg CO<sub>2</sub>. Il maggior contenuto di carbonio biogenico nei prodotti in LVL è diretta conseguenza della loro maggior densità rispetto a CLT e GLT.

Ai fini della verifica e convalida dei valori di CO<sub>2</sub> biogenico dichiarati nelle EPD, si è fatto riferimento a un valore teorico standardizzato, dettato dalla norma EN 16449. Il contenuto teorico di carbonio biogenico del legno è stato calcolato mediante una formula che utilizza il peso secco del legno e il rapporto tra il peso molecolare del carbonio



Valori di carbonio biogenico dichiarati negli 81 scenari di fine vita.

e della CO<sub>2</sub> ( $44/12 = 3,67$ ). Questa formula si basa sul presupposto di un contenuto di carbonio del 50% nel legno secco, dato valido per un livello di umidità del legno intorno al 12%, che può considerarsi valore medio dell'umidità dei legni lamellari.

$$CO_2 \text{ biogenica (kg)} = \text{peso secco (kg)} * 50\% * 3,67$$

Calcolo del contenuto di carbonio biogenico nel legno, basato sul suo peso secco. Fonte: EN 16449

Il confronto tra i valori teorici di CO<sub>2</sub> biogenica, calcolati a partire dalla densità umida e dal contenuto di umidità, e i valori dichiarati negli 81 scenari, ha rivelato una discrepanza del 5% o superiore nel 21% dei casi analizzati. In particolare il 70% dei prodotti con i più alti valori di CO<sub>2</sub> biogenica dichiarata hanno riportato deviazioni significative rispetto al valore teorico. Questo sottolinea la necessità per l'utilizzatore finale, di verificare i valori dichiarati nelle EPD.

### Analisi dei valori di GWP lungo il ciclo di vita nelle EPD

Lo studio ha confrontato le emissioni di gas serra (GWP) nei moduli della fase C delle EPD, evidenziando variazioni tra i diversi scenari di fine vita. Nei casi di riutilizzo, riciclo, recupero energetico e incenerimento, le emissioni aumentano progressivamente fino alla fase di trattamento (C3), per poi stabilizzarsi. Al contrario, nello scenario discarica, l'aumento è minimo fino a C3, con un picco solo nella fase finale (C4). Nonostante le differenze, tutti gli scenari convergono verso valori simili alla fine della fase C4 (775 kg CO<sub>2</sub>e in media). Dalla valutazione dei flussi GWP totali (da A1 a C4) si indi-

viduano alcune anomalie. Secondo la norma EN 15804+A2 (CEN, 2019), il CO<sub>2</sub> biogenico sequestrato durante la crescita dovrebbe essere bilanciato dalle emissioni nella fase di fine vita. Dall'analisi delle EPD, tuttavia, in cinque casi i GWP totali hanno riportato valore negativo, contraddicendo la norma e la realtà, e sono quindi stati esclusi in quanto valori anomali.

### Confronto dei valori della fase D

La quasi totalità delle EPD (58 su 60) include la fase D, nella quale si valutano i benefici e i carichi oltre il confine del sistema. In generale si può affermare che i valori dichiarati nella fase D riflettono i benefici derivanti dal fine vita del prodotto e sono allineati con le strategie circolari e il principio a cascata. Tuttavia, definizioni incoerenti di "incenerimento" e "recupero energetico" possono decretare differenze sostanziali: alcune EPD mostrano valori negativi della fase D per l'incenerimento, mentre altri riportano valori positivi per il recupero energetico, entrambe casistiche irrealistiche. Attualmente non sono stati condotti studi sufficienti per collegare gli scenari teorici e le reali condizioni di fine vita del legno lamellare; pertanto, non è possibile verificare quantitativamente i benefici dei diversi scenari di fine vita.

### Conclusioni

Lo studio ha esaminato il fine vita del legno lamellare sia nella ricerca scientifica che nelle pratiche industriali, rilevando ampie lacune e incongruenze nelle EPD, dovute soprattutto all'uso di dati non localizzati. È emersa la necessità di armonizzare le metodologie e integrare dati regionali per rendere le dichiarazioni ambientali più accurate e utili. Inoltre, persistono difficoltà nella quantificazione condivisa dello stoccaggio temporaneo del carbonio, influenzata da fattori temporali e politici. Di conseguenza, le EPD, pur concepite per guidare verso scelte a basso impatto ambientale, spesso risultano poco chiare e inefficaci. Lo studio sottolinea quindi l'urgenza di standardizzare la fase di fine vita del legno lamellare.

Lo studio propone linee guida sintetiche per orientare gli operatori del settore nella selezione dei materiali attraverso le EPD. Tali linee guida, che hanno lo scopo di aiutare a verificare il contenuto di carbonio biogenico e a controllare i flussi lungo l'intera vita del prodotto, comprendono:

1. l'analisi del carbonio biogenico: verificare il contenuto di carbonio biogenico dichiarato nell'EPD. Utilizzare la Formula 1 per calcolare il valore teorico e confrontarlo con il dato riportato, assicurandosi della coerenza con densità e umidità del legno specificato.

2. il controllo del parametro GWP della fase C: esaminare i valori del GWP per la fase C (fine vita). I flussi di anidride carbonica dovrebbero essere indicati chiaramente per garantire l'accuratezza e l'adesione ai principi di circolarità del prodotto.
3. il rilevamento di anomalie: accertarsi della coerenza del valore del GWP totale. Valori negativi ingiustificati potrebbero derivare da una contabilizzazione errata del carbonio biogenico, mentre valori positivi nella fase D potrebbero segnalare errori o imprecisioni. Qualora il GWP totale non sia fornito, calcolarlo sommando i valori delle singole fasi del ciclo di vita.

Queste linee guida rappresentano solo un primo tentativo di affrontare le incoerenze del sistema EPD per il legno lamellare, ma non risolvono completamente i problemi metodologici. Lo studio evidenzia la necessità di sviluppare una metodologia LCA più uniforme e comparabile, che consideri anche gli altri materiali presenti negli edifici (come acciaio, calcestruzzo e vetro) per una valutazione ambientale completa. È fondamentale promuovere politiche per il prolungamento della vita utile del legno, il suo riuso e riciclo, e standardizzare dati e metodi nelle PCR. La crescente diffusione del legno lamellare richiede approcci più coerenti e trasparenti per superare le attuali limitazioni delle EPD e massimizzare il potenziale ambientale di questo materiale.

### Bibliografia

CEN - Comitato Europeo di Normazione (2019). Sostenibilità delle costruzioni - Dichiarazioni ambientali di prodotto - Regole quadro di sviluppo per categoria di prodotto. EN 15804+A2

European Environment Agency. (2022). Synergies, energy efficiency and circularity in the renovation wave (ETC/CM Report 2022/01). European Topic Centre on Climate change mitigation.

Levasseur, A., Lesage, P., Margni, M., Deschênes, L. and Samson, R. (2010). Considering Time in LCA: Dynamic LCA and Its Application to Global Warming Impact Assessments. *Environmental Science & Technology* 44, no. 8: 3169–74. <https://doi.org/10.1021/es9030003>.

United Nations Framework Convention on Climate Change (2015). Paris Agreement. [https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf)

Vis, M., Mantau, U., Allen, B. (Eds.) (2016). Study on the optimised cascading use of wood. No 394/PP/ENT/RCH/14/7689. Final report. Brussels. <http://dx.doi.org/10.2873/827106>