



ARCHITETTURA CARBON NEUTRAL: METODO LCA “DALLA CULLA ALLA CULLA” PER LA PROGETTAZIONE A “ZERO EMISSIONI” DEGLI EDIFICI IN LEGNO

CARBON NEUTRAL ARCHITECTURE: LCA METHOD "FROM THE CRADLE TO THE CRADLE" FOR THE "ZERO EMISSIONS" DESIGN OF TIMBER BUILDINGS

Ludovica Amorelli, Giacomo Di Ruocco
Department of Civil Engineering - University of Salerno - Italy

INTRODUZIONE

Oggetto di studio di tesi è sondare la potenzialità dell'uso del legno nell'industria delle costruzioni, materia prima naturale e rinnovabile, la cui principale proprietà è lo stoccaggio di CO₂, essendo costituito per metà da carbonio: un m3 di legno assorbe circa una tonnellata di CO₂. Pertanto, il legno se viene utilizzato come materiale edile o come prodotto legnoso, il carbonio rimane assorbito per l'intera durata di vita del prodotto. Si affronterà una prima fase relativa al lavoro pratico in cui si delinea una metodologia strutturata secondo l'approccio LCA (UNI EN 15978:2011), con particolare riferimento alla fase C2C (from Cradle to Cradle - dalla culla alla culla), con l'obiettivo di azzerare le emissioni di edifici con sistema costruttivo prevalentemente in legno. Sarà, quindi, sviluppato un modello che preveda, rispetto ad un dato iniziale, opportune azioni strategiche per la riduzione della quantità di emissioni, stimate per incidenza di "credito di carbonio" per ciascuna fase del ciclo di vita. L'approccio metodologico delineato nella prima fase, sarà applicato a due edifici in legno (opere realizzate) aventi due sistemi costruttivi differenti: una struttura portante in pannelli X-Lam e una in legno lamellare intelaiata. Seguirà nella terza ed ultima fase, un'analisi ed una attenta elaborazione dei risultati ottenuti. Obiettivo di questa tesi è quello di evidenziare le potenzialità dei sistemi costruttivi in legno, dell'uso proficuo e consapevole, il cui obiettivo primario è l'azzeramento delle emissioni da gas serra, nella prospettiva della totale neutralità di emissioni.

INTRODUCTION

The subject of this thesis is to explore the potential of using timber in the construction industry, a natural and renewable raw material, whose main property is the storage of CO₂, being half made up of carbon: one m3 of timber absorbs about one ton of CO₂. Therefore, if timber is used as a building material or as a timber product, the carbon remains absorbed for the entire life of the product. A first phase will be addressed relating to practical work in which a methodology structured according to the LCA approach (UNI EN 15978:2011) will be outlined, with particular reference to the C2C phase (from Cradle to Cradle), with the aim of eliminating emissions from buildings with a predominantly timber construction system. A model will therefore be developed that provides, with respect to an initial data, appropriate strategic actions for the reduction of the quantity of emissions, estimated by incidence of "carbon credit" for each phase of the life cycle. The methodological approach outlined in the first phase will be applied to two timber buildings (completed works) with two different construction systems: a load-bearing structure in CLT panels and a framed laminated timber structure. In the third and final phase, an analysis and careful processing of the results obtained will follow. The aim of this thesis is to highlight the potential of timber construction systems, of their profitable and conscious use, whose primary objective is the elimination of greenhouse gas emissions, in the perspective of total emission neutrality.

METODOLOGIA

1) Definizione dell'ambito di indagine: basandosi sulla norma europea BS EN 15978:2001, l'analisi riguarda l'impatto ambientale (emissioni di CO₂) della fase di fine vita dei sistemi costruttivi in legno, includendo: Modulo C (fine vita), suddiviso in: C1: Demolizione; C2: Trasporto rifiuti; C3: Trattamento rifiuti per riciclo/riuso; C4: Smaltimento rifiuti; Modulo D: Benefici e carichi legati al riuso e riciclo potenziale.

2) Caratterizzazione tecnologica dell'opera: Basata sulla norma UNI 8290-1:1981, divide l'edificio in unità tecnologiche (struttura portante, fondazione, chiusure, partizioni interne/esterne, ecc.) e nei relativi elementi tecnici.

3) Stima delle emissioni di CO₂: le emissioni sono calcolate come somma di cinque componenti: demolizione, sfridi, trasporto, trasformazione, e credito di stoccaggio CO₂ nel materiale: $\Sigma CO_2 = CO_{2,1} + CO_{2,2} + CO_{2,3} + CO_{2,4} + CO_{2,5}$

4) Valutazione del livello di disassemblabilità (LID): utilizzando la norma UNI 11277:2008 e un metodo integrato, si calcola la capacità dei materiali di essere smontati e riutilizzati. Si considerano parametri come tecnologia di posa, danni da trasporto e trasformazioni, assegnando punteggi (LID) basati su potenzialità di recupero e pesi specifici.

LID = Σ potenzialità di recupero(indicatore i-esimo) x peso(indicatore i-esimo)

5) Stima di rifiuti e verifica parametri CAM: Classificazione e destinazione dei rifiuti (riutilizzo, riciclo, smaltimento) tramite il Codice Europeo dei Rifiuti (CER), distinguendo tra materiali pericolosi e non pericolosi, secondo la Direttiva 2008/98/CE e il DM 11/10/2017.

METHODOLOGY

1) Definition of the scope of investigation: based on the European standard BS EN 15978:2001, the analysis concerns the environmental impact (CO₂-eq emissions) of the end-of-life phase of wooden construction systems, including: Module C (end of life), divided into: C1: Demolition; C2: Waste transport; C3: Waste treatment for recycling/reuse; C4: Waste disposal; Module D: Benefits and loads related to reuse and potential recycling.

2) Technological characterization of the work: based on the UNI 8290-1:1981 standard, it divides the building into technological units (load-bearing structure, foundation, closures, internal/external partitions, etc.) and the related technical elements.

3) CO₂ emissions estimation: emissions are calculated as the sum of five components: demolition, waste, transport, transformation, and CO₂ storage credit in the material: $\Sigma CO_2 = CO_{2,1} + CO_{2,2} + CO_{2,3} + CO_{2,4} + CO_{2,5}$

4) Assessment of the level of disassemblability (LID): using the UNI 11277:2008 standard and an integrated method, the ability of materials to be dismantled and reused is calculated. Parameters such as installation technology, transport damage and transformations are considered, assigning scores (LID) based on recovery potential and specific weights: $LID = \Sigma$ recovery potential (i-th indicator) x weight (i-th indicator)

5) Waste estimation and verification of CAM parameters: classification and destination of waste (reuse, recycling, disposal) through the European Waste Code (CER), distinguishing between hazardous and non-hazardous materials, according to Directive 2008/98/EC and Ministerial Decree 11/10/2017.

APPLICAZIONE AI CASI STUDIO

Come casi studio sono stati scelti due edifici in legno, situati in Italia, nella stessa zona climatica (zona E), con due tecnologie costruttive differenti: Villa singola (BG) con una struttura in telaio e Casa BN (PD) con una struttura in X-LAM. E' stata fatta una verifica pre- demolizione, andando a definire le varie unità tecnologiche di entrambi i casi studio. Successivamente sono state individuate le 5 aliquote di CO₂ generate da un processo di disassemblaggio e demolizione selettiva di entrambi gli edifici in legno. E' stato definito il livello di disassemblabilità applicando sia il metodo UNI 11277:2008, sia il metodo sperimentale integrato (sebbene più accurato, visto che considera anche le fasi successive allo smontaggio, è un metodo che ha diversi margini di errore). Lo studio si conclude con la stima di generi e quantità di rifiuti, andando ad assegnare il codice europeo dei rifiuti (CER) a ciascun materiale prevalente, ai sensi della direttiva 2008/98/CE e assegnando una destinazione futura ad ogni materiale prevalente, in funzione della natura del materiale.

APPLICATION TO CASE STUDIES

Two timber buildings were chosen as case studies, located in Italy, in the same climate zone (zone E), with two different construction technologies: Single Villa (BG) with a frame structure and House BN (PD) with a CLT structure. A pre-demolition check was carried out, defining the various technological units of both case studies. Subsequently, the 5 rates of CO₂ generated by a process of disassembly and selective demolition of both timber buildings were identified. The level of disassembly was defined by applying both the UNI 11277:2008 method and the integrated experimental method (although more accurate, since it also considers the phases following disassembly, it is a method that has different margins of error). The study concludes with the estimation of waste types and quantities, assigning the European Waste Code (EWC) to each prevalent material, pursuant to Directive 2008/98/EC and assigning a future destination to each prevalent material, based on the nature of the material.

RISULTATI E DISCUSSIONI

VILLA SINGOLA:	
Aliquota di emissioni di CO _{2,1} prodotte dall'attività di demolizione	663,42 +
Aliquota di emissioni di CO _{2,2} prodotte dallo sfrido conseguente le operazioni di demolizione	440,02 +
Aliquota di emissioni di CO _{2,3} prodotte dal trasporto fuori dal sito	321,35 +
Aliquota di emissioni di CO _{2,4} prodotte dall'attività di trasformazione/trattamento per successivo riutilizzo	134,62 +
Aliquota negativa di CO _{2,5} quale credito compensativo di emissioni per stoccaggio nel materiale	-9400,9 =
TOTALE	-7841,49 kg CO₂

CASA BN:	
Aliquota di emissioni di CO _{2,1} prodotte dall'attività di demolizione	701,79 +
Aliquota di emissioni di CO _{2,2} prodotte dallo sfrido conseguente le operazioni di demolizione	601,11 +
Aliquota di emissioni di CO _{2,3} prodotte dal trasporto fuori dal sito	346,96 +
Aliquota di emissioni di CO _{2,4} prodotte dall'attività di trasformazione/trattamento per successivo riutilizzo	229,88 +
Aliquota negativa di CO _{2,5} quale credito compensativo di emissioni per stoccaggio nel materiale	-11.742,4 =
TOTALE	-9862,66 kg CO₂

Sono state calcolate le emissioni totali per unità di volume e le emissioni riferite ad ogni aliquota, per entrambi i casi studio:
The total emissions per unit of volume and the emissions referred to each rate were calculated, for both case studies:

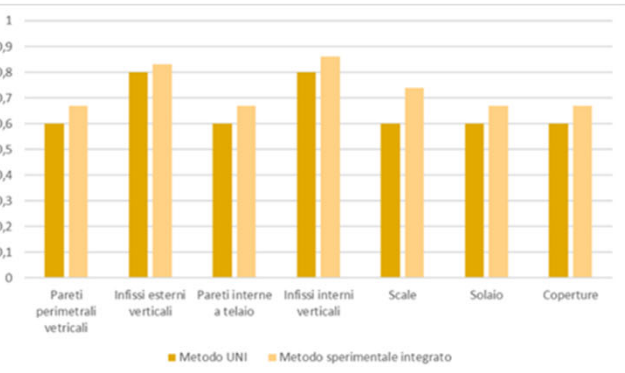
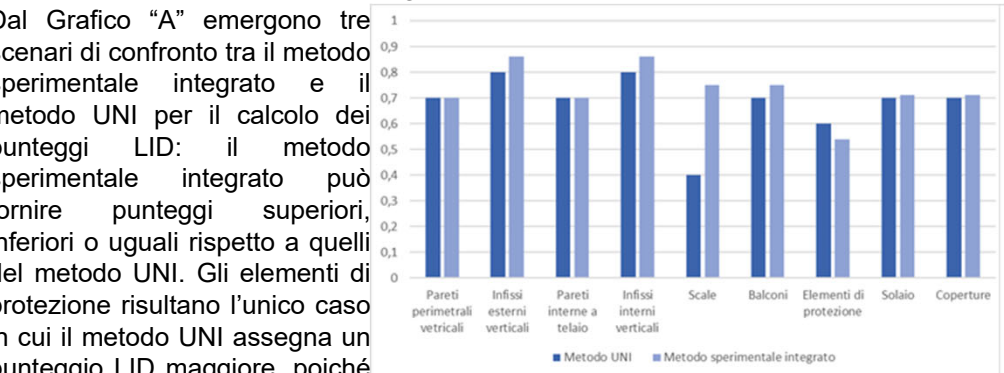
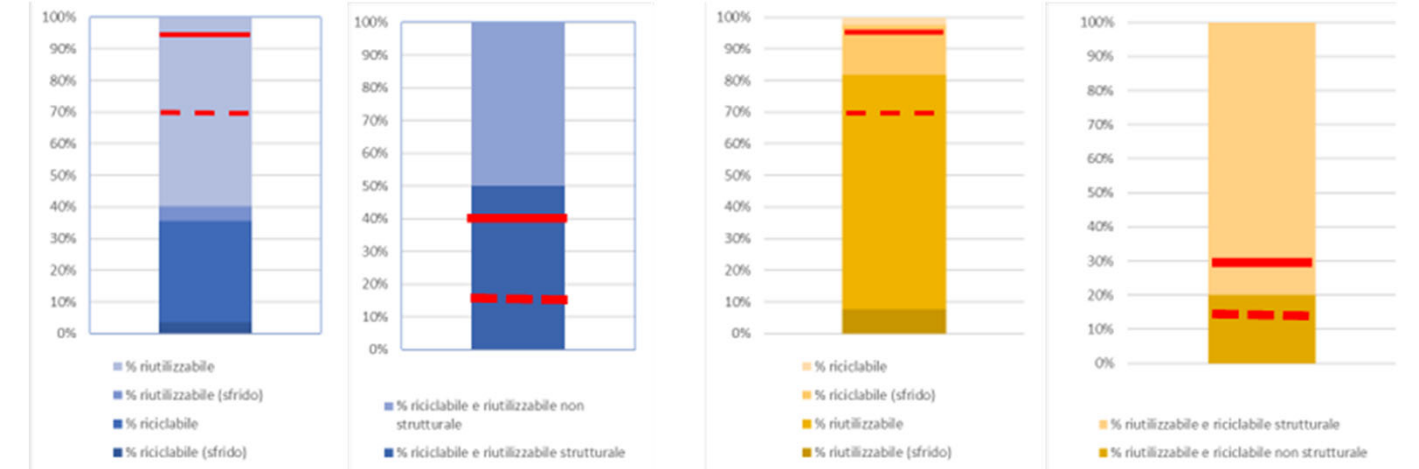
Totale Total	Caso studio	Totale [kg CO ₂]	Volume [m ³]	[kg CO ₂ / m ³]
	Villa Singola	-7841,49	950	-8,25
	Casa BN	-9862,66	850	-11,60
Demolizione Demolition	Caso studio	Demolizione [kg CO ₂]	Volume [m ³]	[kg CO ₂ / m ³]
	Villa Singola	663,42	950	0,69
	Casa BN	701,79	850	0,83
Sfrido Waste	Caso studio	Sfrido [kg CO ₂]	Volume [m ³]	[kg CO ₂ / m ³]
	Villa Singola	440,02	950	0,47
	Casa BN	601,11	850	0,71
Trasporto Transport	Caso studio	Trasporto [kg CO ₂]	Volume [m ³]	[kg CO ₂ / m ³]
	Villa Singola	321,35	950	0,34
	Casa BN	346,96	850	0,41
Trasformazione/ Trattamento Transformation/ Treatment	Caso studio	Trasf/Tratt [kg CO ₂]	Volume [m ³]	[kg CO ₂ / m ³]
	Villa Singola	134,62	950	0,15
	Casa BN	229,88	850	0,27
Stoccaggio Storage	Caso studio	Stoccaggio [kg CO ₂]	Volume [m ³]	[kg CO ₂ / m ³]
	Villa Singola	-9400,9	950	-9,89
	Casa BN	-11742,4	850	-13,81

L'analisi valuta la capacità di opere edilizie, componenti e materiali di essere smontati e reintrodotti nel ciclo produttivo, favorendo la sostenibilità tra fine vita e nuova produzione.

È stata condotta tramite il Metodo sperimentale integrato e il Metodo UNI (11277:2008), confrontando i risultati ottenuti in termini di punteggi LID, espressi in percentuale, per entrambi i casi studio. Identificate le unità tecnologiche di ciascun caso studio, e valutate le emissioni di CO₂ durante l'intero ciclo di vita finale dei due casi studio scelti, è stata eseguita un'analisi del livello di disassemblabilità di ogni materiale predominante e di ciascuna unità tecnologica. The analysis evaluates the ability of building works, components and materials to be dismantled and reintroduced into the production cycle, promoting sustainability between end of life and new production. It was conducted using the Integrated Experimental Method and the UNI Method (11277:2008), comparing the results obtained in terms of LID scores, expressed as a percentage, for both case studies. Once the technological units of each case study were identified, and the CO₂ emissions during the entire final life cycle of the two chosen case studies were assessed, an analysis of the level of disassemblability of each predominant material and of each technological unit was performed.

L'ultima fase è la stima di generi e quantità di rifiuti e la verifica del criterio di "disassemblabilità" (decreto CAM- DM 23/06/2022). Con riferimento alla fase di fine vita di un organismo edilizio, come visto, risulta di particolare interesse il criterio di "disassemblabilità" del DM 11/10/2017: "Almeno in il 50% in peso dei componenti edilizi e degli elementi prefabbricati, escludendo gli impianti, dev'essere sottoponibile, a fine vita, a demolizione selettiva ed essere riciclabile o riutilizzabile. Di tale percentuale, almeno il 15% dev'essere costituito da materiali non strutturali." Per verificare il raggiungimento dell'obiettivo fissato, per entrambi i casi studio, ci si è serviti della stima dei generi e quantità di rifiuti prodotti durante l'intero processo di disassemblaggio e demolizione selettiva. Come si può notare dai grafici sopra riportati, entrambi i casi studio superano le due soglie stabilite dal Decreto Ministeriale. Come già evidenziato, in entrambi i casi studio, sia per il sistema costruttivo a telaio che per il sistema Xlam, il bilancio finale di CO₂ è negativo; il processo di disassemblaggio e demolizione selettiva si è quindi svolto a zero emissioni, grazie al credito compensativo di emissioni derivante dallo stoccaggio nel legno.

The last phase is the estimate of types and quantities of waste and the verification of the "disassemblability" criterion (CAM decree - Ministerial Decree 23/06/2022). With reference to the end-of-life phase of a building organism, as seen, the "disassemblability" criterion of the Ministerial Decree 11/10/2017 is of particular interest: "At least 50% by weight of the building components and prefabricated elements, excluding the systems, must be subject, at the end of their life, to selective demolition and be recyclable or reusable. Of this percentage, at least 15% must consist of non-structural materials." To verify the achievement of the established objective, for both case studies, we used the estimate of the types and quantities of waste produced during the entire disassembly and selective demolition process. As can be seen from the graphs above, both case studies exceed the two thresholds established by the Ministerial Decree. As already highlighted, in both case studies, both for the frame construction system and for the CLT system, the final CO₂ balance is negative; the disassembly and selective demolition process therefore took place with zero emissions, thanks to the offsetting credit of emissions resulting from storage in timber.



VILLA SINGOLA		
Elemento tecnico	LID - metodo UNI	LID- metodo sperimentale integrato
Pareti perimetri verticali	0,70	0,70
Infissi esterni verticali	0,80	0,86
Pareti interne a telaio	0,7	0,70
Infissi interni verticali	0,8	0,86
Scale	0,4	0,75
Balconi	0,7	0,75
Elementi di protezione	0,6	0,54
Solaio	0,7	0,71
Coperture	0,7	0,71

CASA BN		
Elemento tecnico	LID - metodo UNI	LID- metodo sperimentale integrato
Pareti perimetri verticali	0,60	0,67
Infissi esterni verticali	0,80	0,83
Pareti interne in XLAM	0,60	0,67
Infissi interni verticali	0,80	0,86
Scale	0,60	0,74
Solaio	0,60	0,67
Coperture	0,60	0,67