POLITECNICO DI TORINO

Corso di laurea magistrale in Ingegneria Edile

Tesi di Laurea Magistrale

LCA Life Cycle Assessment comparativa tra tre sistemi costruttivi: legno *Xlam*, acciaio e C.A

Applicazione del software *eTool* come strumento di valutazione ambientale

Relatore:

Prof. Carlo Caldera

Correlatore:

Prof. Francesca Thiébat

Candidato:

Nicola Ordonselli

(S224299)

A.A. 2018 / 2019

Sessione di laurea Marzo 2019

Indice

Abstract 1

Premessa 3

Parte I - Descrizione del caso studio e riprogettazione dell'edificio in acciaio e C.A 5

1 – Analisi del contesto 5

Contesto storico-culturale 5

Contesto geografico 6

Sviluppo territoriale 7

2 – Edificio di progetto 9

Individuazione della ditta costruttrice 9

Sistemi costruttivi aziendali 10

Progetto casa Fiemme 10

Brief di progetto 12

Piante architettoniche 14

Stratigrafie e prestazioni dell'involucro edilizio 18

3 – Sistema costruttivo in C.A – alternativa 1 25

Ipotesi progettuale 25

Analisi sismica 26

Predimensionamento strutturale 28

Piante architettoniche 31

Stratigrafie e prestazioni dell'involucro edilizio 34

4 – Sistema costruttivo in acciaio – alternativa 2 39

Ipotesi progettuale 39

Predimensionamento strutturale 40

Piante architettoniche 43

Stratigrafie e prestazioni dell'involucro edilizio 46

Parte II – Valutazione ambientale del caso studio 51

5 - Valutazione del ciclo di vita in ambito edilizio 51

Le origini e lo sviluppo dell'LCA 51

Sostenibilità nel mondo delle costruzioni 52

Normative di riferimento 53
Obiettivi e struttura di una LCA 54
Le fasi di un LCA 56
Potenzialità e limiti di un'analisi LCA 60
LCA in Italia 62
6 – Obiettivi e ambito della valutazione del caso studio di Bellaria Igea-Marina 63
Definizione degli obiettivi 63
Definizione dell'unità funzionale 64
7 – Analisi dell'inventario rispetto al caso studio 67
Descrizione del software eTool 69
8 – Analisi degli impatti ambientali rispetto al caso studio 71
Definizione degli indicatori di impatto ambientale 72
Metodi di caratterizzazione 76
Valori di impatto ambientale dell'edificio in legno Xlam 77
Valori di impatto ambientale dell'edificio in C.A 87
Valori di impatto ambientale dell'edificio in acciaio 97
Considerazioni generali - indicatori di impatto ambientale dei singoli edifici 107
Confronto finale fra i sistemi costruttivi analizzati - fase di produzione 108
Confronto parametrico tra edifici 110
9 – Analisi conclusiva e sviluppi futuri 113
Analisi conclusiva relativa alla valutazione LCA Life Cycle Assessment 113
Analisi conclusiva relativa al Software eTool LCD 114
Sviluppi futuri - Integrazione con piattaforme BIM 115
Sviluppi futuri - Metodi e strumenti univoci di valutazione della sostenibilità ambientale 117
Sviluppi futuri - Metodi e strumenti di valutazione economico ambientale (modello €CO) 117
Conclusioni 121
Bibliografia 123

Sitografia 125
Software utilizzati 127
Ringraziamenti 128
Allegati 130
Allegato 1: Analisi sismica 130
Allegato 2: Software eToolLCD – struttura in Xlam (schermata iniziale) 134
Allegato 3: Analisi dell'inventario LCA 137

Abstract

Nel corso degli ultimi vent'anni in Europa gli aspetti di uno sviluppo sostenibile, con particolare attenzione al settore edilizio che incide significativamente sugli impatti ambientali, hanno rappresentato un fattore fondamentale.

A tal proposito, la tesi affronta il tema dell'integrazione di strumenti tecnologici e metodologici all'interno del processo di progettazione, con il fine della salvaguardia ambientale.

In quest'ottica, è stata intrapresa un'analisi LCA *life cycle assessment* applicata ad un caso studio di un edificio residenziale situato nel comune di Bellaria-Igea Marina, costruito utilizzando la tecnologia Xlam prodotta dall'azienda *Rasom Wood Techonology.* L'oggetto della tesi è stata la riprogettazione dell'edificio con due alternative tecnologiche differenti: acciaio e C.A, inoltre tali soluzioni sono state messe a confronto con la soluzione esistente, utilizzando un programma di valutazione ambientale denominato *eTool*, con l'obiettivo di quantificare i maggiori impatti ambientali e le fasi del ciclo di vita dell'edificio più impattanti.

Con il percorso intrapreso, si è inoltre analizzata la validità del *software eTool* e la sua integrazione e utilità nelle fasi della progettazione, valutando sviluppi futuri.

Premessa

Oggigiorno le tematiche ambientali e dello sviluppo sostenibile risultano essere di centrale importanza all'interno del settore edilizio. "Solo attraverso la sinergia tra aspetti economici, sociali e ambientali è possibile offrire dei servizi di base a tutti i membri di una comunità, senza minacciare l'operatività del sistema naturale edificato e sociale, da cui dipende la fornitura degli stessi servizi" (Giordano et al., 2008).

Il lavoro in esame pone l'attenzione a queste tematiche con il fine di una valutazione energetico-ambientale di un caso studio relativo ad un edificio costruito a Bellaria Igea-Marina (RN). L'elaborato è stato suddiviso in 2 parti:

-Parte I: Nella prima parte è stato esaminato il contesto del caso studio e l'edificio in progetto (sistema costruttivo *Xlam*) reso disponibile dall'azienda *Rasom Wood Technology*, mettendo in evidenza le caratteristiche dell'involucro edilizio. Oltre ciò segue una descrizione della progettazione effettuata da parte del candidato congiunto allo studio di progettazione FLM *engineering* (operante nel settore da oltre trent'anni) relativa ai due sistemi costruttivi in acciaio e C.A, in rapporto alle loro caratteristiche strutturali e tecnologiche.

-Parte II: Nella seconda parte viene presentata l'analisi LCA *Life Cycle Assessment* (UNI EN ISO 14040) del caso studio, in seguito alla descrizione dei principi di tale valutazione, sono stati descritti: gli obiettivi e lo scopo dell'analisi, i confini del sistema e l'unità funzionale. Per ogni sistema costruttivo è stato determinato: l'inventario dei dati, l'analisi degli impatti ambientali e l'interpretazione dei risultati. Inoltre grazie ai dati ottenuti è stato possibile: confrontare i tre sistemi costruttivi dal punto di vista del potenziale impatto ambientale e sviluppare un confronto parametrico con altri casi studio. Infine nell'ultimo capitolo sono stati descritti gli sviluppi futuri riferiti alla valutazione LCA.

Parte I - Descrizione del caso studio e riprogettazione dell'edificio in acciaio e C.A

1 – Analisi del contesto

Contesto storico-culturale

Si narra che il Comune di Bellaria Igea Marina, in Provincia di Rimini (Emilia Romagna), prese il nome da una residenza costruita in una zona adiacente alla Chiesa di Santa Margherita, nella località di Bellaria Monte, denominata fin dal 1311 dalla famiglia Malatesta "Bellaere". Il nome Igea Marina, dea greca simbolo di salute e benessere, risale invece al 1905, quando un intellettuale e medico dell'epoca, Vittorio Belli, iniziò le opere di urbanizzazione di un tratto di dune sabbiose, estese dalla sponda del fiume Uso alla città di Torre Pedrera. L'obiettivo era quello di fondare un villaggio vacanza immerso nel verde con un tessuto urbano ortogonale come il preesistente. A seguito dell'affermazione in Italia ed Europa della "moda dei bagni", con la scoperta dell'aria di mare e le virtù terapeutiche dell'acqua, all'inizio del '900, molte famiglie facoltose del Nord cominciarono a trascorrere le vacanze in questi luoghi, nelle casette affittate dai pescatori, che durante il periodo estivo si trasferivano in dei capanni costruiti in legno. In questo periodo gli abitanti del luogo fondarono le prime attività e servizi che completavano l'accoglienza e la vita in spiaggia ed in breve tempo il turismo divenne la principale risorsa economica del paese (Fonte:www.bellariaigeamarina.org).

Contesto geografico

Bellaria Igea Marina è un Comune italiano esteso su una superficie di 18.17km^2, popolato da 19.580 abitanti e possiede una densità di 1 077,6 ab./km^2 . Il Comune è localizzato a 3m s.l.m e affacciandosi sull'alto Adriatico, risente di un clima mediato tra clima mediterraneo e continentale temperato, caratterizzato da estati molto calde ma ventilate e poco piovose e da inverni con caratteristiche padane. L'economia del paese è definita da: pesca, turismo ed artigianato con una prevalenza di produzione di maioliche (Fonte:www.comune.bellaria-igea-marina.rn.it).

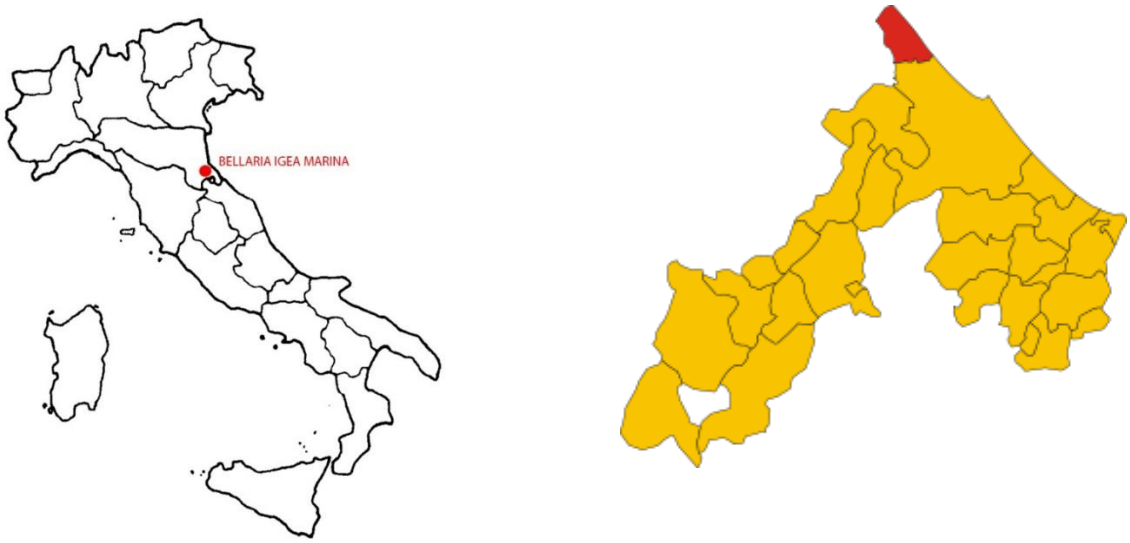


Fig.1 Collocazione territoriale del caso studio: Bellaria Igea-Marina (RN) (elaborazione personale)

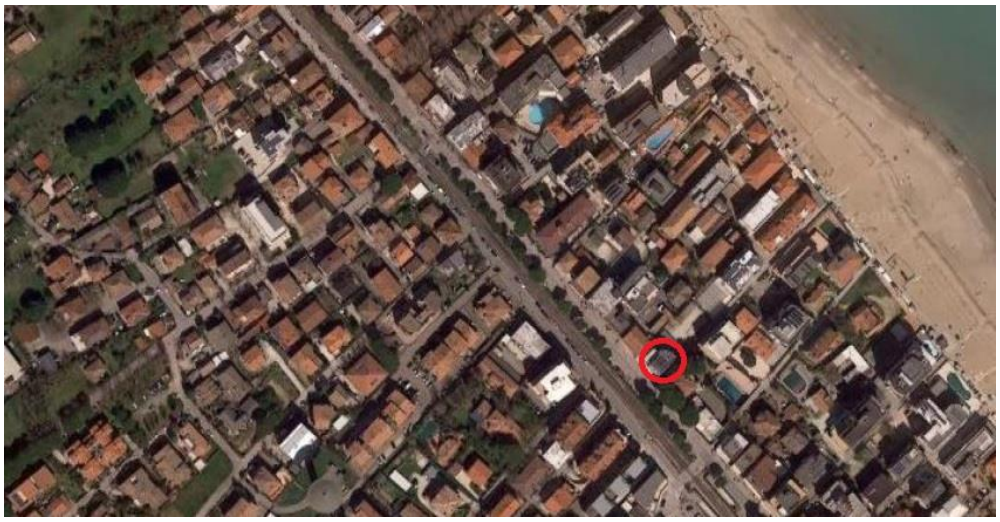


Fig.2 Collocazione territoriale del caso studio: orto foto Bellaria Igea-Marina (RN) (Fonte:www.google.com/maps)

Sviluppo territoriale

La storia dello sviluppo territoriale della riviera romagnola è stato fortemente influenzato dalle colonie marine, circa 245 edifici dislocati tra Cattolica e Marina di Ravenna. Questo fenomeno rappresenta un valore simbolico ed architettonico, definendo un paesaggio in cui le componenti ambientali assumono rilievo ed i rapporti spaziali si dilatano. Il paesaggio costiero di Rimini nella zona nord, nello specifico da Bellaria Igea Marina a Torre Pedrera, è stato caratterizzato negli anni seguenti da trasformazioni insediative del turismo di massa e a causa della mancanza di centri urbani storici mostra una minore densità di quello fra Rimini e Riccione. Seppur meno dinamico, l'evoluzione della città di costa ha seguito lo stesso processo di sviluppo, non risparmiando il degrado ambientale ed urbanistico (Boschi et al., 2009).

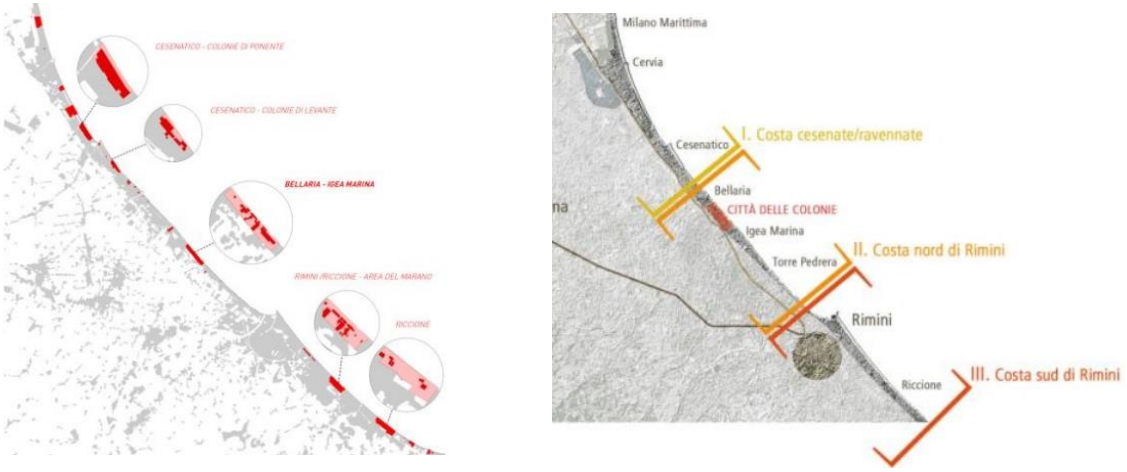


Fig.3 Sviluppo della costa romagnola (Boschi et al., 2009)

Alcune barriere infrastrutturali, quali la linea ferroviaria ed il corso deviato della Marecchia, hanno limitato lo sviluppo insediativo nella zona di Rimini Nord. In tempi più recenti, anche la zona in considerazione ha sviluppato fenomeni di crescita e di consumo di suolo, grazie alla maggiore infrastrutturazione stradale ma a seguito di un'urbanizzazione molto differenziata non possiede uno schema ordinatore generale (Boschi et al., 2009).

2 – Edificio di progetto

Individuazione della ditta costruttrice

Fig.4 Logo dell'azienda costruttrice, Rasom Wood Technology (Fonte: www.rasom.it)

L'azienda *Rasom Wood Technology* nasce nella zona della Val di Fassa come falegnameria, poi nel tempo, a seguito delle prime lavorazioni (carpenteria evoluta), si è trasformata in azienda fornitrice di case in legno complete (Fonte: www.rasom.it).

Grazie agli oltre 30 anni di esperienza nello sviluppo tecnologico e nella lavorazione del legno, l'azienda riesce a costruire seguendo i canoni: del benessere, del rispetto ambientale e della massima qualità costruttiva. Ogni fase della lavorazione ha un controllo completo, dalla prima fase della progettazione fino alla costruzione dell'opera. Nella prima fase di progettazione, il team tecnico aziendale ricerca le soluzioni più ottimali per la prestazione energetica ed elevati standard architettonici, attraverso l'ingegnerizzazione del progetto e la futura realizzazione dei vari componenti della costruzione. A seguito di questa fase, vi è la produzione, dove l'azienda attraverso il controllo del ciclo produttivo da parte di tecnici esperti, riesce a garantire la precisione in ogni fase della lavorazione. L'ultima fase, quella della posa in opera (costruzione), viene seguita da squadre qualificate, coordinate e formate all'interno dell'azienda, per assicurare il massimo della qualità costruttiva, in ogni fase dell'assemblaggio dell'opera (Fonte: www.rasom.it).

Inoltre, il continuo sviluppo tecnologico aziendale, ha permesso di costruire edifici con un'ottima resistenza alle sollecitazioni sismiche. In questo campo, è stato sviluppato un progetto, in collaborazione con il CNR, denominato Progetto Sofie, il quale ha portato alla costruzione di un edificio prototipo in legno *Xlam*, di 7 piani, in grado di resistere a fortissime sollecitazioni sismiche e di superare brillantemente tutti i test.

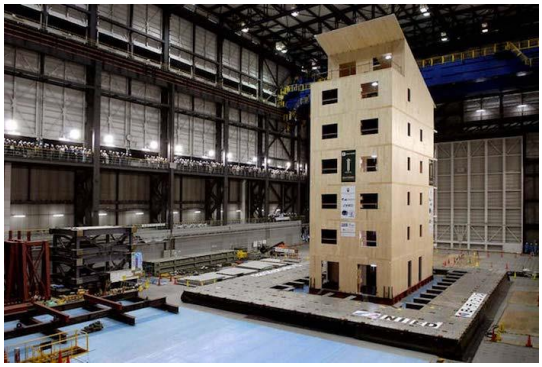


Fig.5 prototipo in legno per l'analisi sismica delle strutture in Xlam, Progetto Sofie (Fonte: www.ivalsa.cnr.it)

Di conseguenza, questo test ha dimostrato che una casa Rasom assicura un'ottima tenuta in caso di sisma.

Sistemi costruttivi aziendali

Le opere realizzate dall'azienda sono suddivise per tipologia costruttiva, nello specifico è possibile individuare quattro sistemi costruttivi: sistema Casa Fiemme, sistema Tetto Fassa, sistema Comunità ed il sistema Industria. L'unità edilizia presa in esame è stata costruita seguendo gli standard del sistema costruttivo Casa Fiemme, il progetto è stato commissionato dalla famiglia Mazzini alla ditta *Rasom Wood Technology* nell'anno 2013, con l'obiettivo di realizzare una struttura che potesse rimanere attuale nel tempo e che rispettasse elevati standard dal punto di vista: ambientale, energetico, acustico e di benessere (Fonte:www.rasom.it).

Progetto casa Fiemme

L'azienda RASOM è riuscita ad ottenere il riconoscimento europeo ETA, sull'intero sistema costruttivo, una struttura realizzata con questo sistema, è costruita esclusivamente con legname proveniente dalla Val di Fiemme da professionisti scelti e formati all'interno dell'azienda (Fonte: www.rasom.it).

I vari fattori che influenzano questo sistema costruttivo sono: rispetto dell'ambiente, ridotto consumo energetico e ridotte emissioni di CO_2 e elevato comfort acustico.

Esempi progetti realizzati con sistema costruttivo Sistema Casa Fiemme, di Rasom Wood technology

Fig.6 Eco villa, Padova
(Fonte: www.rasom.it)

Fig.7 Villa privata, Bassano del Grappa (Vicenza)
(Fonte: www.rasom.it)

Fig.8 Villa a due piani, Forte dei Marmi (LU)
(Fonte: www.rasom.it)

Fig.9 Villa privata, Val di Non
(Fonte: www.rasom.it)

Fig.10 Villa privata, Gambugliano (VI)
(Fonte: www.rasom.it)

Fig.11 Villa privata ,Piovene Rocchette(VI)
(Fonte: www.rasom.it)

Brief di progetto

Il progetto del caso studio in esame riguarda un edificio situato in Via Prosecco-Via Panzini nel Comune di Bellaria Igea Marina (RN). L'edificio residenziale preso in esame è stato commissionato nell'anno 2013 dalla famiglia Mazzini all'azienda *Rasom Wood technology* con l'intento di costruire una struttura che racchiudesse varie funzioni, suddivise sui quattro piani: zona commerciale al piano terra (non considerato nell'analisi), primo piano con appartamenti per affittuari estivi, secondo e terzo piano con appartamento privato dei proprietari. La struttura è stata realizzata in legno, secondo lo schema a pannello, mediante l'ausilio di pareti portanti e solai in legno lamellare a fibre incociate (Xlam) e travi in acciaio per l'irrigidimento della struttura stessa. Sulla struttura portante sono stati agganciati portali in acciaio per la realizzazione della terrazza (non considerata nell'analisi). L'intento della famiglia Mazzini era quello di realizzare un edificio che potesse rimanere attuale nel tempo, ponendo grande attenzione nei confronti della natura e avvalendosi di tecnologie costruttive innovative in grado di ottenere alte prestazioni: energetiche e termico-acustiche. L'edificio in esame si estende per una superficie utile di 230,47 m^2, suddiviso in tre appartamenti, di cui due al primo piano ed il terzo sul secondo e terzo piano.

Destinazioni	**PIANO PRIMO**				**PIANO SECONDO**		**PIANO TERZO**	
	App.1		App.2		App.3		App.3	
Camere	23.81	m^2	9.03	m^2	/	m^2	18.09	m^2
Bagni	3.89	m^2	3.89	m^2	2.06	m^2	8.68	m^2
Sogg-cucina	20.73	m^2	16.96	m^2	69.8	m^2	/	m^2
Disimpegno	1.30	m^2	1.69	m^2	/	m^2	4.8	m^2
Ripostiglio	/	m^2	/	m^2	8.23	m^2	13.39	m^2
Vano scala	15.52	m^2	4.5	m^2	4.5	m^2	2.60	m^2
Sup.utile parziale	**65.25**	**m^2**	**36.07**	**m^2**	**84.59**	**m^2**	**47.56**	**m^2**
S.u. TOTALE	**230.47**	**m^2**						

Tabella.1 Tabella rappresentante le destinazioni d'uso dell'edificio e le relative metrature (Fonte: elaborazione personale)

L'edificio è dotato di un sistema a cappotto esterno, realizzato con isolante in fibra naturale di legno, mentre all'interno sono stati utilizzati pannelli in lana di roccia per isolamento termico ed acustico. Per quanto riguarda il sistema delle finiture, l'edificio all'esterno è dotato di un intonaco a base di calce , mentre all'interno è rifinito mediante gesso rivestito. I serramenti (non considerati nell'analisi) ed i pavimenti sono stati realizzati in legno di produzione trentina.

L'autore della tesi non ha direttamente partecipato alla progettazione dell'edificio preso in esame, ma si è occupato unicamente di valutare le prestazioni dell'involucro edilizio e di analizzare gli impatti ambientali dell'immobile in confronto ad altre due soluzioni tecnologiche: acciaio e C.A, in riferimento alle loro performance ambientali ed energetiche.

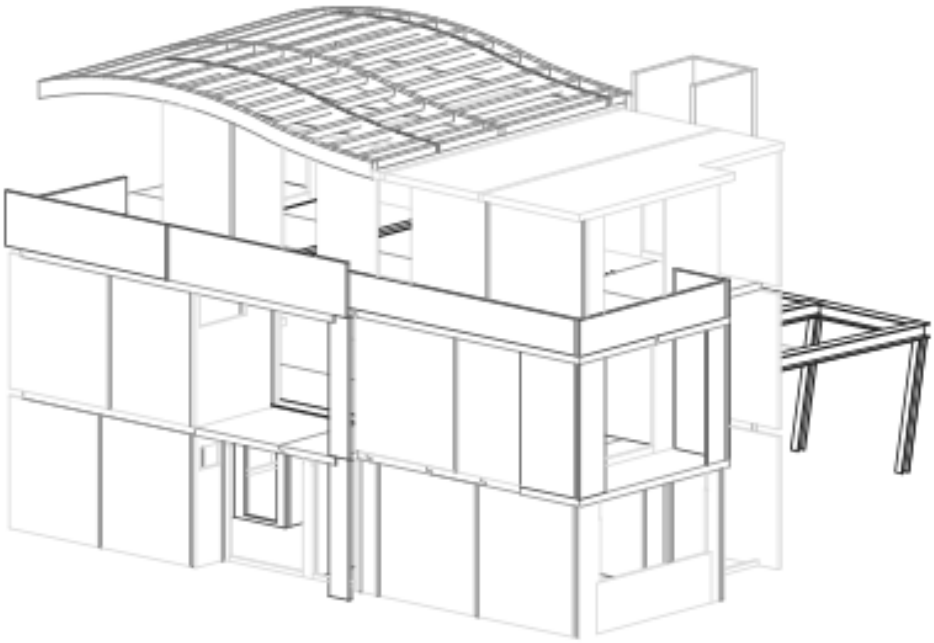


Fig.12 Illustrazione tridimensionale dell'edificio in esame (Fonte: studio tecnico Rasom Wood Technology)

Piante architettoniche

-Piano terra

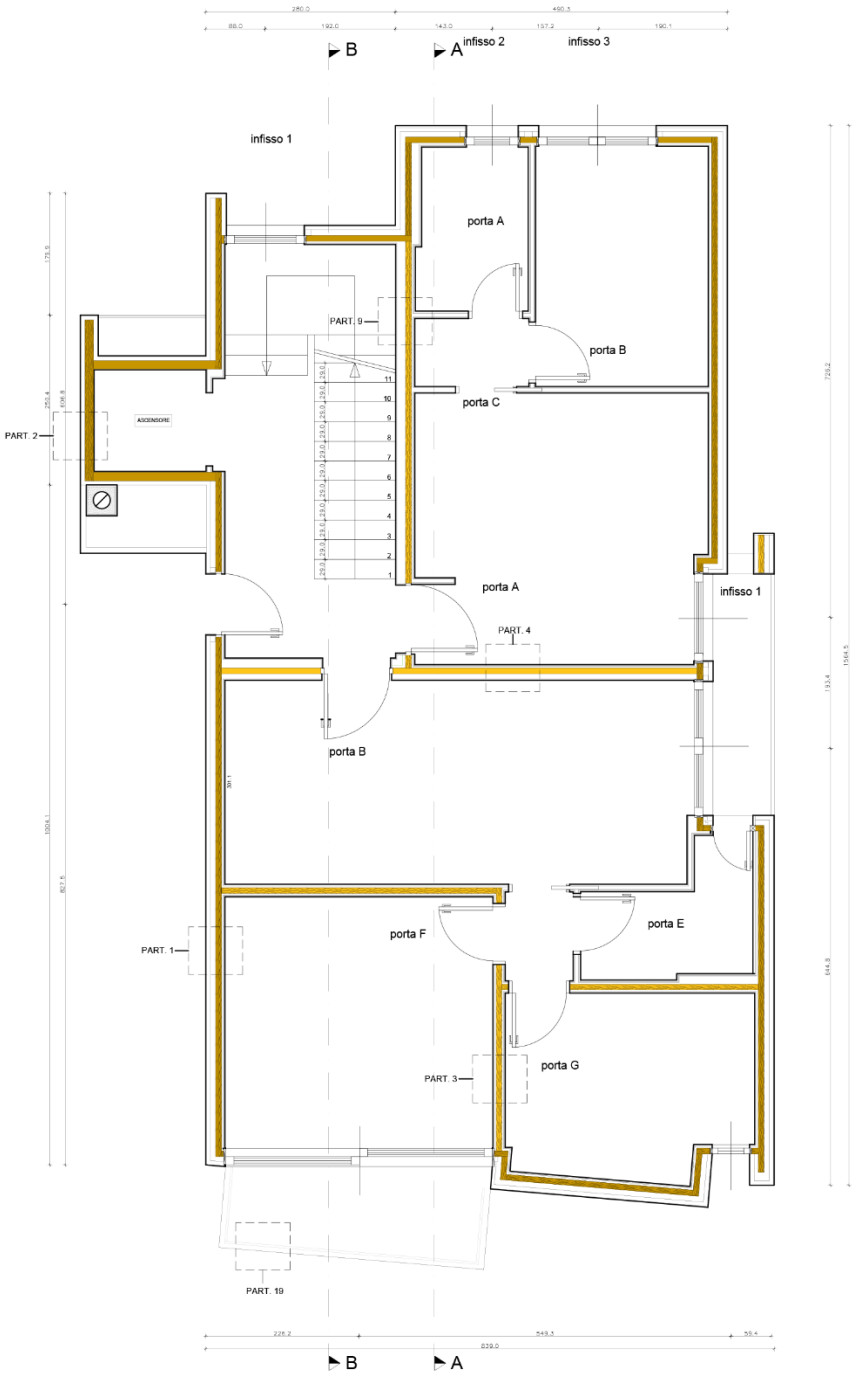


Fig.13 Pianta architettonica, piano terra, struttura in legno xlam (Fonte: studio tecnico Rasom Wood Technology)

-Piano primo

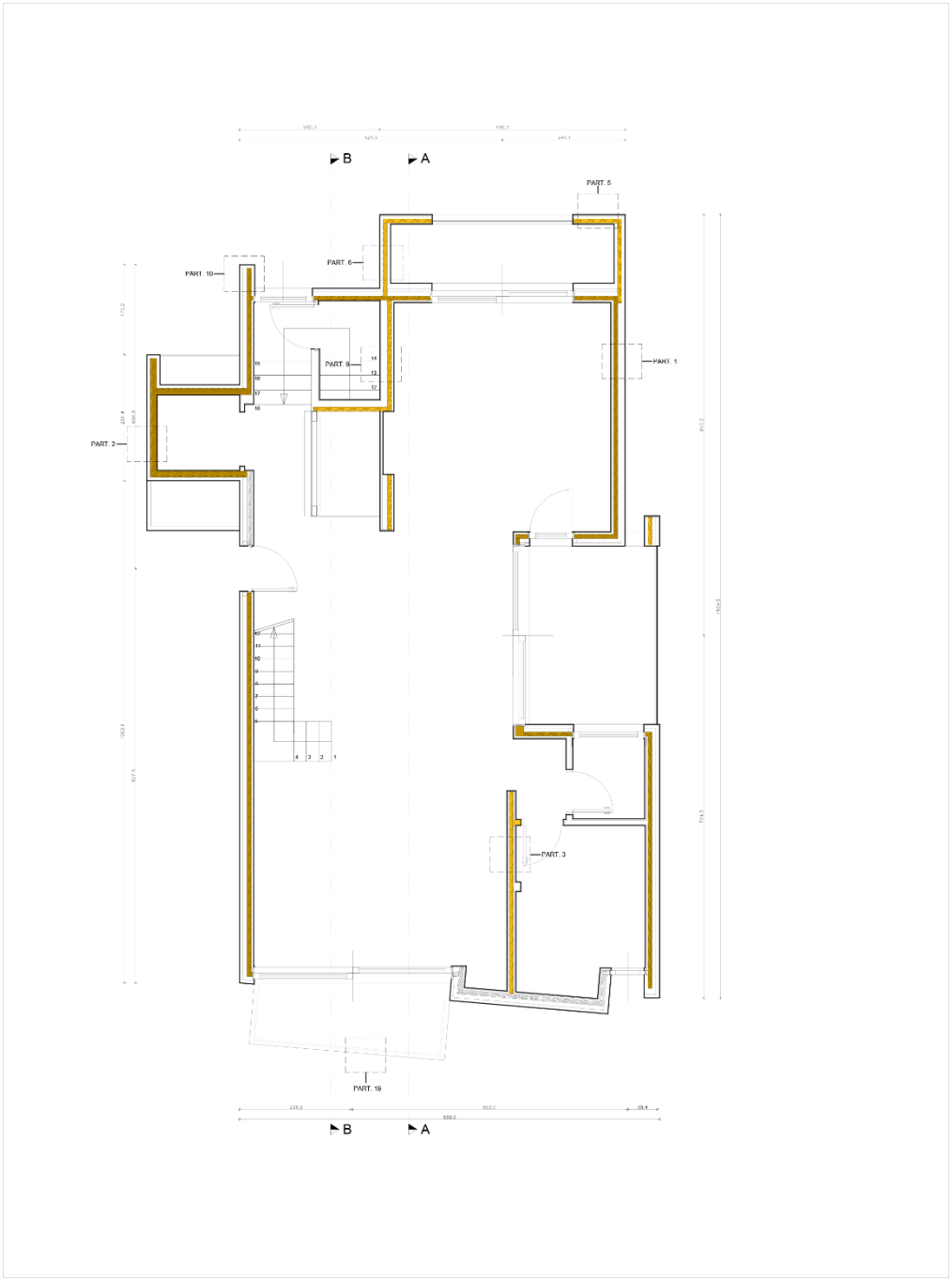


Fig.14 Pianta architettonica, piano primo, struttura in legno xlam (Fonte: studio tecnico Rasom Wood Technology)

-Piano secondo

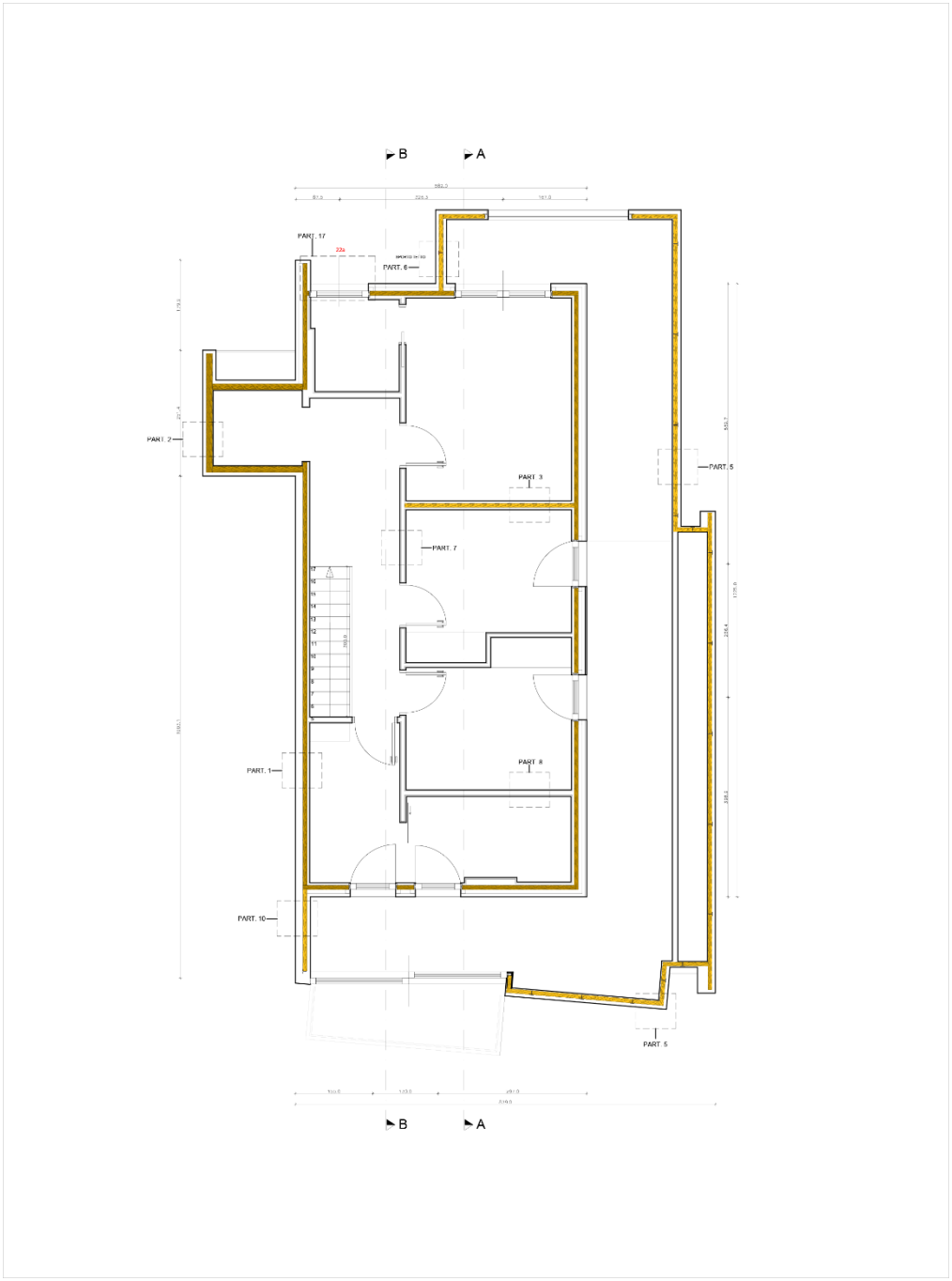


Fig.15 Pianta architettonica, piano secondo, struttura in legno xlam (Fonte: studio tecnico Rasom Wood Technology)

-Sezione verticale AA

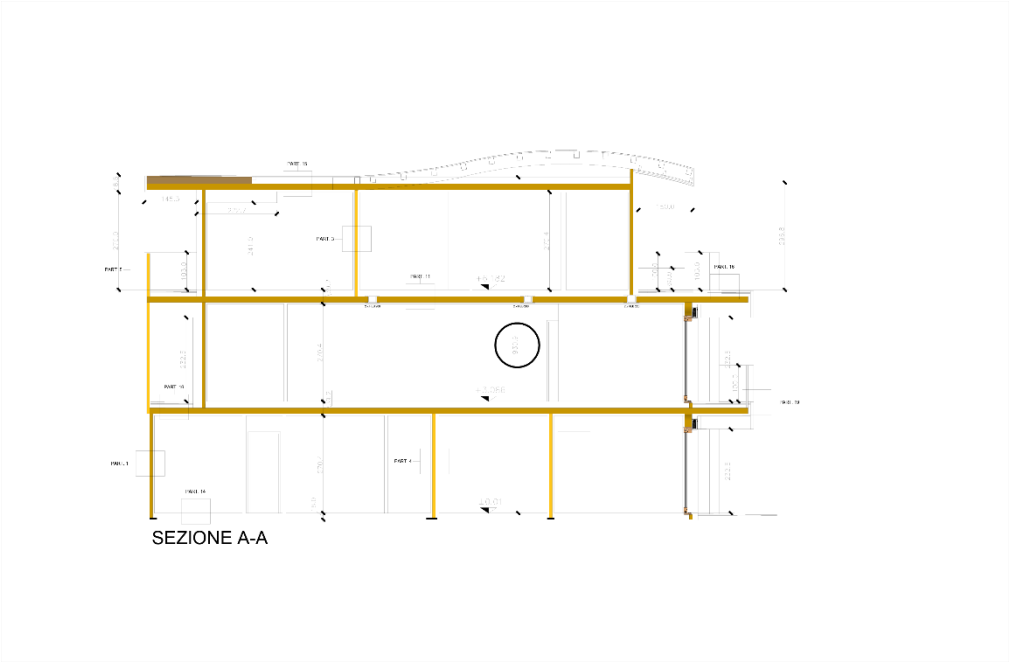


Fig.16 Sezione verticale AA, struttura in legno xlam (Fonte: studio tecnico Rasom Wood Technology)

-Sezione verticale BB

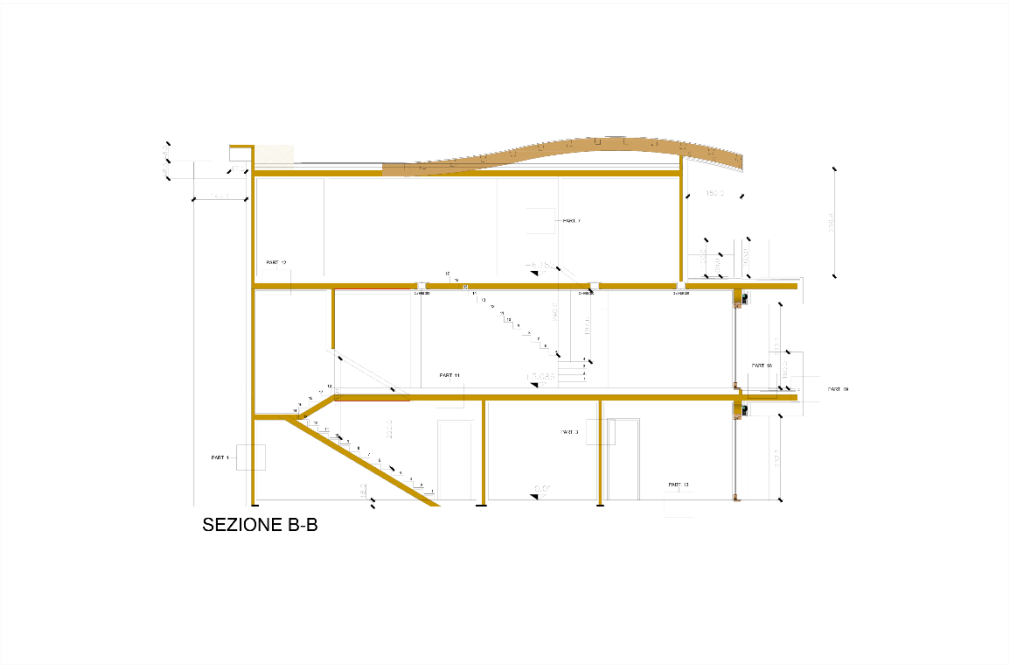


Fig.17 Sezione verticale BB, struttura in legno xlam (Fonte: studio tecnico Rasom Wood Technology)

Stratigrafie e prestazioni dell'involucro edilizio

Le prestazioni termiche dei componenti dell'involucro edilizio, sono state determinate attraverso un programma denominato Edilclima, mettendo in evidenza i parametri termici e delle prestazioni termoigrometriche dei componenti edilizi (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016). Inoltre è stata effettuata la verifica della condensa interstiziale in riferimento alla norma DM 26.06.2015 che risulta positiva per tutti i componenti edilizi.

Part.1 Parete esterna

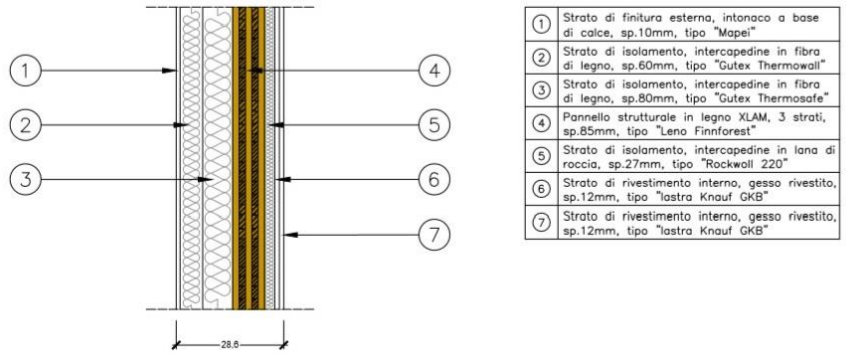


Fig.18 Composizione stratigrafica della parete esterna (Elaborazione personale).

-Tipologia di struttura: struttura verticale opaca

-Valore calcolato di trasmittanza: U=0,19 W/m^{2}K

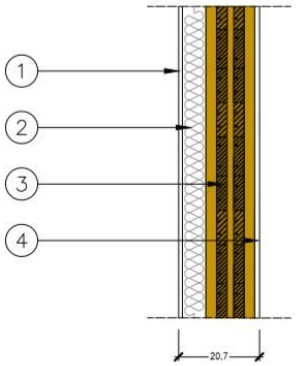
-Fattore di attenuazione= 0,08

-Sfasamento d'onda termica= -15,66 h

-Capacità termica areica= 23,33 kJ/ *m^{2}K*

-Normativa di riferimento: (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016), DM 26.06.15

Part.2 Parete esterna vano ascensore



1	Strato di finitura esterna, intonaco a base di calce, sp.10mm, tipo "Mapei"
2	Strato di isolamento, intercapedine in fibra di legno, sp.60mm, tipo "Gutex Thermowall"
3	Pannello strutturale in legno XLAM, 5 strati, sp.125mm, tipo "Leno Finnforest"
4	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.12mm, tipo "lastra Knauf GKB"

Fig.19 Composizione stratigrafica della parete esterna vano ascensore (Elaborazione personale).

-Tipologia di struttura: struttura verticale opaca

-Valore calcolato di trasmittanza: U=0,19 W/m^{2}K

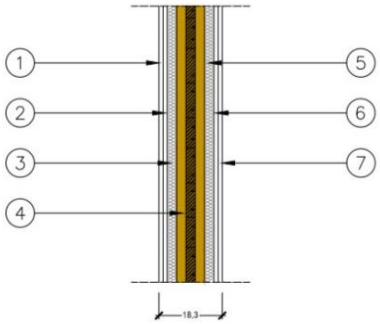
-Fattore di attenuazione= 0,08

-Sfasamento d'onda termica= -15,66 h

-Capacità termica areica= 23,33 kJ/ *m^{2}K*

-Normativa di riferimento: (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016), DM 26.06.15

Part.3 Parete divisoria unità immobiliari



1	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.12mm, tipo "lastra Knauf GKB"
2	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.12mm, tipo "lastra Knauf GKB"
3	Strato di isolamento, intercapedine in lana di roccia, sp.27mm, tipo "Rockwoll 220"
4	Pannello strutturale in legno XLAM, 3 strati, sp.81mm, tipo "Leno Finnforest"
5	Strato di isolamento, intercapedine in lana di roccia, sp.27mm, tipo "Rockwoll 220"
6	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.12mm, tipo "lastra Knauf GKB"
7	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.12mm, tipo "lastra Knauf GKB"

Fig.20 Composizione stratigrafica della parete divisoria unità immboliari (Elaborazione personale).

-Tipologia di struttura: struttura verticale opaca

-Valore calcolato di trasmittanza: U=0,25 W/m^{2}K

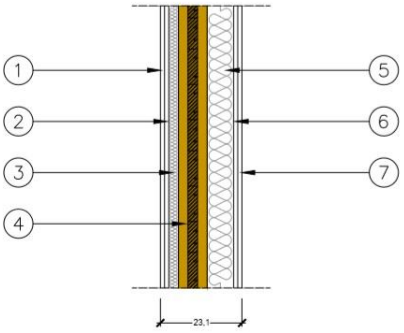
-Fattore di attenuazione= 0,22

-Sfasamento d'onda termica= -9,55 h

-Capacità termica areica= 24,23 kJ/ *m^{2}K*

-Normativa di riferimento: (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016), DM 26.06.15

Part.4 Parete divisoria interna



①	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.12mm, tipo "lastra Knauf GKB"
②	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.12mm, tipo "lastra Knauf GKB"
③	Strato di isolamento, intercapedine in lana di roccia, sp.27mm, tipo "Rockwoll 220"
④	Pannello strutturale in legno XLAM, 3 strati, sp.81mm, tipo "Leno Finnforest"
⑤	Strato di isolamento, intercapedine in lana di roccia, sp.75mm, tipo "Rockwoll 220"
⑥	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.12mm, tipo "lastra Knauf GKB"
⑦	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.12mm, tipo "lastra Knauf GKB"

Fig.21 Composizione stratigrafica della parete divisoria interna (Elaborazione personale).

-Tipologia di struttura: struttura verticale opaca

-Valore calcolato di trasmittanza: U=0,25 W/m^{2}K

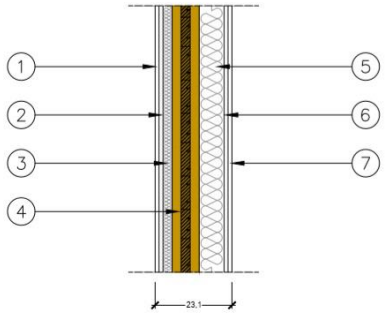
-Fattore di attenuazione= 0,22

-Sfasamento d'onda termica= -9,55 h

-Capacità termica areica= 24,23 kJ/ *m^{2}K*

-Normativa di riferimento: (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016), DM 26.06.15

Part.5 Parete esterna



①	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.12mm, tipo "lastra Knauf GKB"
②	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.12mm, tipo "lastra Knauf GKB"
③	Strato di isolamento, intercapedine in lana di roccia, sp.27mm, tipo "Rockwoll 220"
④	Pannello strutturale in legno XLAM, 3 strati, sp.81mm, tipo "Leno Finnforest"
⑤	Strato di isolamento, intercapedine in lana di roccia, sp.75mm, tipo "Rockwoll 220"
⑥	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.12mm, tipo "lastra Knauf GKB"
⑦	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.12mm, tipo "lastra Knauf GKB"

Fig.22 Composizione stratigrafica della parete esterna (Elaborazione personale).

-Tipologia di struttura: struttura verticale opaca

-Valore calcolato di trasmittanza: U=0,36 W/m^{2}K

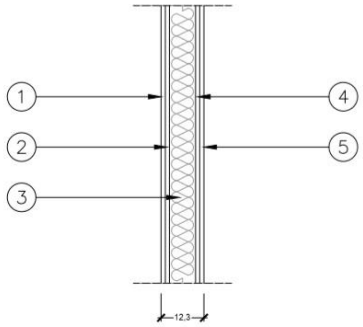
-Fattore di attenuazione= 0,36

-Sfasamento d'onda termica= -9,28 h

-Capacità termica areica= 36,71 kJ/ *m^{2}K*

-Normativa di riferimento: (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016), DM 26.06.15

Part.6 Tramezzi interni



①	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.12mm, tipo "lastra Knauf GKB"
②	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.12mm, tipo "lastra Knauf GKB"
③	Strato di isolamento, intercapedine in lana di roccia, sp.75mm, tipo "Rockwoll 220"
④	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.12mm, tipo "lastra Knauf GKB"
⑤	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.12mm, tipo "lastra Knauf GKB"

Fig.23 Composizione stratigrafica dei tramezzi interni (Elaborazione personale).

-Tipologia di struttura: struttura verticale opaca

-Valore calcolato di trasmittanza: U=0,38 W/m²K

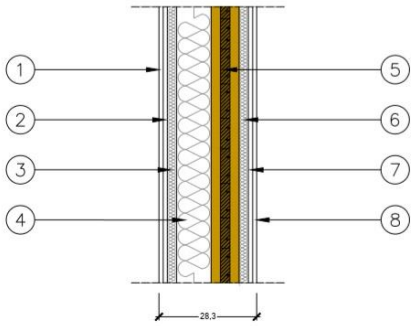
-Fattore di attenuazione= 0,92

-Sfasamento d'onda termica= -2,69 h

-Capacità termica areica= 23,37 kJ/ *m²K*

-Normativa di riferimento: (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016), DM 26.06.15

Part.7 Parete interna vano scala



①	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.12mm, tipo "lastra Knauf GKB"
②	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.12mm, tipo "lastra Knauf GKB"
③	Strato di isolamento, intercapedine in lana di roccia, sp.27mm, tipo "Rockwoll 220"
④	Strato di isolamento, intercapedine in lana di roccia, sp.100mm, tipo "Rockwoll 220"
⑤	Pannello strutturale in legno XLAM, 3 strati, sp.81mm, tipo "Leno Finnforest"
⑥	Strato di isolamento, intercapedine in lana di roccia, sp.27mm, tipo "Rockwoll 220"
⑦	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.12mm, tipo "lastra Knauf GKB"
⑧	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.12mm, tipo "lastra Knauf GKB"

Fig.24 Composizione stratigrafica della parete interna vano scala (Elaborazione personale).

-Tipologia di struttura: struttura verticale opaca

-Valore calcolato di trasmittanza: U=0,18 W/m²K

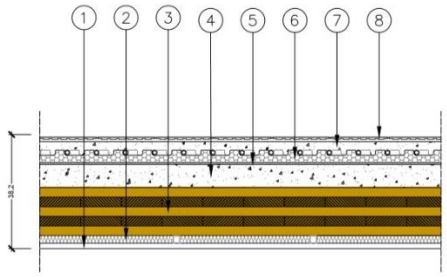
-Fattore di attenuazione= 0,18

-Sfasamento d'onda termica= -10,77 h

-Capacità termica areica= 23,69 kJ/ *m²K*

-Normativa di riferimento: (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016), DM 26.06.15

Part.8 Solaio interpiano



①	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.18mm, tipo "lastra Knauf GKB"
②	Strato di isolamento, intercapedine in lana di roccia, sp.27mm, tipo "Rockwoll 220"
③	Pannello strutturale in legno XLAM, 5 strati, sp.165mm, tipo "Leno Finnforest"
④	Massetto alleggerito per impianti,sp.100mm, tipo "Lecacem mini– Leca"
⑤	Strato di isolamento acustico, gomma EPDM, sp.8mm, tipo "Upgrei – Isolgomma"
⑥	Strato di isolamento termoacustico per pannelli radianti (EPS), sp.20+25mm, tipo "Forma duopor – Isolconfort"
⑦	Massetto pavimento, sp.30mm, tipo "Sottofondo 2–3– Leca"
⑧	Strato di finitura interno, pavimentazione in legno sp.25mm,

Fig.25 Composizione stratigrafica del solaio interpiano (Elaborazione personale).

-Tipologia di struttura: struttura orizzontale/inclinata opaca

-Valore calcolato di trasmittanza: U=0,26 W/m^{2}K

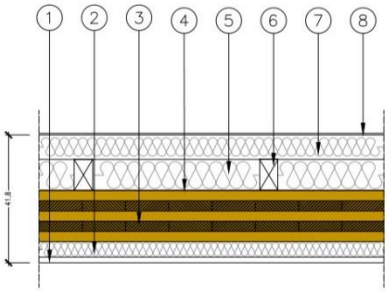
-Fattore di attenuazione= 0,07

-Sfasamento d'onda termica= -14,92 h

-Capacità termica areica= 71,31 kJ/ *m^{2}K*

-Normativa di riferimento: (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016), DM 26.06.15

Part.9 Solaio copertura



①	Strato di rivestimento interno, gesso rivestito, sp.18mm, tipo "lastra Knauf GKB"
②	Strato di isolamento, intercapedine in lana di roccia, sp.50mm, tipo "Rockwoll 220"
③	Pannello strutturale in legno XLAM, 5 strati, sp.165mm, tipo "Leno Finnforest"
④	Strato di impermeabilizzazione, barriera al vapore, sp.2mm, tipo "APP– Laribit"
⑤	Strato di isolamento, intercapedine in fibra di legno, sp.100mm,tipo"Gutex Thermosafe"
⑥	Struttura in legno per sagomatutra del tetto, dim.100x60mm
⑦	Strato di isolamento, intercapedine in fibra di legno, sp.80mm,tipo"Gutex Thermosafe"
⑧	Strato di finitura esterna, lamierino di copertura, sp5mm,

Fig.26 Composizione stratigrafica del solaio di copertura (Elaborazione personale).

-Tipologia di struttura: struttura orizzontale/inclinata opaca

-Valore calcolato di trasmittanza: U=0,14 W/m^{2}K

-Fattore di attenuazione= 0,015

-Sfasamento d'onda termica= -22,21 h

-Capacità termica areica= 27,17 kJ/ *m^{2}K*

-Normativa di riferimento: (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016), DM 26.06.15

Part.10 Solaio terrazzi e poggioli

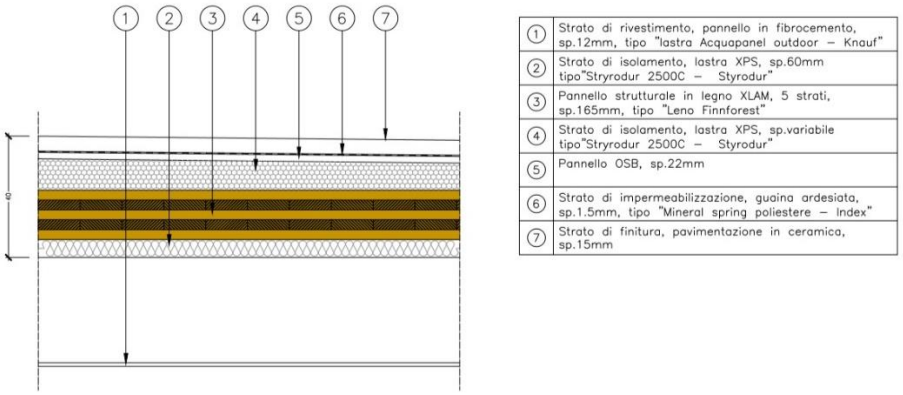


Fig.27 Composizione stratigrafica del solaio terrazzi e poggioli (Elaborazione personale).

-Tipologia di struttura: struttura orizzontale/inclinata opaca

-Valore calcolato di trasmittanza: U=0,25 W/m^{2}K

-Fattore di attenuazione= 0,08

-Sfasamento d'onda termica= -14,17 h

-Capacità termica areica= 81,25 kJ/ *m^{2}K*

-Normativa di riferimento: (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016), DM 26.06.15

3 – Sistema costruttivo in C.A – alternativa 1

Ipotesi progettuale

L'edificio realizzato in cemento armato C.A è stato costruito in modo da avere la medesima superficie utile e lo stesso sviluppo in altezza dell'edificio costruito in Xlam. Per quanto riguarda le stratigrafie, sono stati utilizzati dei pacchetti stratigrafici (a norma di legge) che lo studio di progettazione FLM *engineering* (studio che ha collaborato per la fase di progettazione dei nuovi edifici in C:A e acciaio) è di abitudine utilizzare per questo tipo di struttura. Per quanto riguarda le pareti esterne è stato utilizzato un sistema di isolamento a cappotto in EPS, mentre in riferimento alla parete divisoria tra le unità immobiliari si è scelto un materiale isolante in lana di roccia. Dal punto di vista della struttura portante è stato effettuato un predimensionamento strutturale, in grado di ottenere delle sezioni resistenti pari a 50x30 cm e 30x30 cm per i pilastri e 30x40 per le travi.

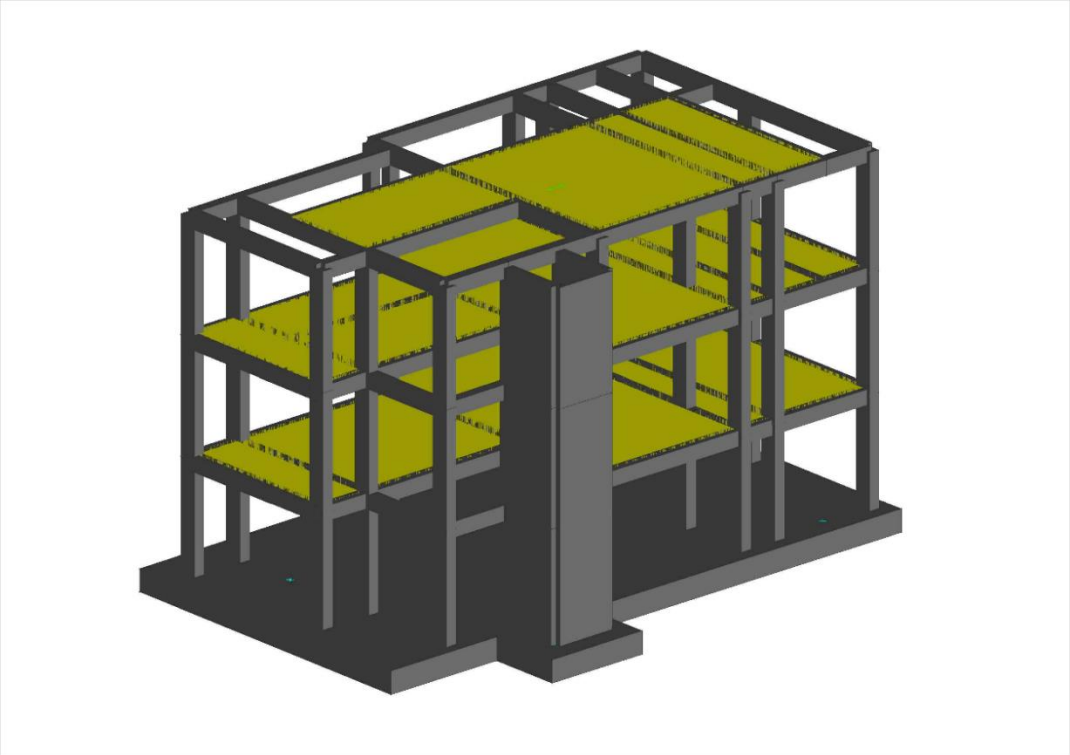


Fig.28 Illustrazione tridimensionale dell'edificio in C.A (Fonte: elaborazione personale tratto dal programma Sismicad Concrete)

Analisi sismica

E' stata effettuata un'analisi sismica con il fine di verificare che i parametri utilizzati (valori di spettro e accelerazione del terreno) siano tali da far sì che la struttura agisca in favore di sicurezza rispetto ai parametri forniti dalla NTC. A tal fine è stato utilizzato un software fornito dal Ministero e denominato "Spettri NTC versione 1.0.3".

Nella prima fase è avvenuta la collocazione dell'edificio, visualizzando così i quattro nodi del reticolo che circoscrivono il sito in analisi. Dopo aver scelto la modalità di interpolazione, nel caso specifico, la superficie rigata, il programma determina in modo analizza la correttezza dell'interpolazione. Gli output della prima fase sono (allegato 1): spettri di risposta in corrispondenza dei nove periodi di ritorno in S1, grafici riferiti alla variabilità dei parametri ag, Fo e Tc* e una tabella riassuntiva degli stessi parametri.

Fig.29 Illustrazione Fase I, Analisi sismica (Fonte: software Spettri NTC versione 1.0.3)

Nella seconda fase è stata ipotizzata una vita nominale di 50 anni dell'edificio (classe d'uso II), con un conseguente Cu (coefficiente d'uso)=1. Attraverso questi dati è stato calcolato il periodo di riferimento Vr=50 anni e i valori dei periodi di ritorno (allegato 1).

Fig.30 Illustrazione Fase II, Analisi sismica (Fonte: software Spettri NTC versione 1.0.3)

In conclusione nell'ultima fase (fase III) è stata determinata l'azione corrispondente a ciascun stato limite, inserendo due parametri: q= fattore di struttura e la regolarità in altezza della struttura (allegato 1).

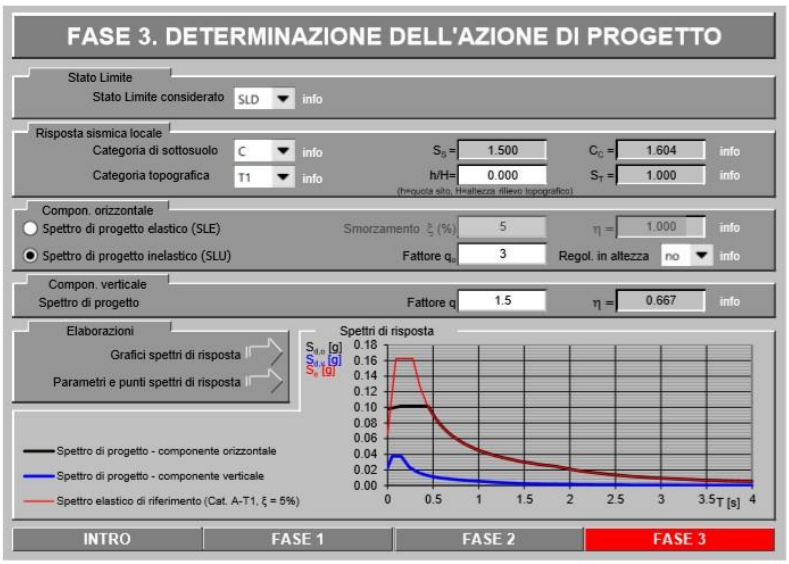


Fig.31 Illustrazione Fase II, Analisi sismica (Fonte: software Spettri NTC versione 1.0.3)

Predimensionamento strutturale

Dati input per la progettazione strutturale:

-Localizzazione: Bellaria Igea-Marina, Via Prosecco-Panzini (RN);

-Coordinate: 44° 09'N 12°27'E;

-Altitudine: 3 m s.l.m.;

-Superficie: 18,17 km$^{2;}$

-Zona sismica: zona sismica 2 (Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti), (Fonte: https://www.tuttitalia.it).

Analisi dei carichi

SOLAIO INTERPIANO CIVILE ABITAZIONE				
CARICHI				
Permanenti strutturali	**G_1**			
Solaio in latero cemento (20+4)		=	273	kg/m^2
Totale permanenti strutturali	**G_1**	=	**273**	**kg/m^2**
peso.perm non strutt.	**G_2**			
intonaco (15mm)		=	14,5	kg/m^2
massetto alleggerito (100mm)		=	60	kg/m^2
guaina EPDM (100mm)		=	0.0013	kg/m^2
isolante termoacustico (45mm)		=	1.17	kg/m^2
massetto pavimento (30mm)		=	19.5	kg/m^2
pavimentazione in legno (15mm)		=	9.75	kg/m^2
Totale permanenti non strutturali	**G_2**	=	**90.421**	**kg/m^2**
Totale G_1+G_2		=	**3.6342**	**kN/m^2**
car.variabile		=	0.00	kN/m^2
car.d'esercizio	**Q**	=	2.00	kN/m^2

Tabella.2 Analisi dei carichi solaio interpiano (Fonte: elaborazione personale tratto dal programma Excel)

SOLAIO DI COPERTURA CIVILE ABITAZIONE				
CARICHI				
Permanenti strutturali	**G_1**			
Solaio in latero cemento (20+4)		=	273	kN/m^2
Totale permanenti strutturali	**G_1**	=	**273**	**kg/m^2**
peso.perm non strutt.	**G_2**			
intonaco (15mm)		=	14.5	kg/m^2
barriera al vapore (18mm)		=	0.9	kg/m^2
isolante in fibra di legno (180mm)		=	27	kg/m^2
lamierino di copertura (3mm)		=	8.1	kg/m^2
Totale permanenti non strutturali	**G_2**	=	**50.5**	**kg/m^2**
Totale G_1+G_2		=	**3.235**	**kN/m^2**
car.variabile		=	0.00	kN/m^2
car.neve	**Q**	=	1.20	kN/m^2

Tabella.3 Analisi dei carichi solaio di copertura (Fonte: elaborazione personale tratto dal programma Excel)

SOLAIO TERRAZZI E POGGIOLI CIVILE ABITAZIONE				
CARICHI				
Permanenti strutturali	**G_1**			
Solaio in latero cemento (20+4)		=	273	kg/m^2
Totale permanenti strutturali	**G_1**	=	**273**	**kg/m^2**
peso.perm non strutt.	**G_2**			
intonaco (15mm)		=	14.5	kg/m^2
barriera al vapore (18mm)		=	0.9	kg/m^2
isolante xps (50mm)		=	1.65	kg/m^2
massetto pavimento (60mm)		=	39	kg/m^2
pavimentazione in gres (15mm)		=	30	kg/m^2
Totale permanenti non strutturali	**G_2**	=	**86.05**	**kg/m^2**
Totale G_1+G_2		=	**3.5905**	**kN/m^2**
car.variabile	**Q_1**	=	4.00	kN/m^2
car.neve	**Q_2**	=	1.20	kN/m^2

Tabella.4 Analisi dei carichi solaio terrazzi (Fonte: elaborazione personale tratto dal programma Excel)

CHIUSURE VERTICALI CIVILE ABITAZIONE (pareti esterne)				
CARICHI				
Permanenti strutturali	**G_1**			
Parete a blocchi singoli		=	255	kg/m^2
Totale permanenti strutturali	**G_1**	=	**255**	**kg/m^2**
peso.perm non strutt.	**G_2**			
intonaco (10mm)		=	14.5	kg/m^2
isolante in EPS (10mm)		=	2.6	kg/m^2
intonaco (10mm)		=	14.5	kg/m^2
lastra di gesso Pregyplac (12mm)		=	9	kg/m^2
Totale permanenti non strutturali	**G_2**	=	**40.6**	**kg/m^2**
Totale G_1+G_2		=	**2.956**	**kN/m^2**

Tabella.5 Analisi dei carichi Parete esterne (Fonte: elaborazione personale tratto dal programma Excel)

CHIUSURE VERTICALI CIVILE ABITAZIONE (pareti divisoria U.I)				
CARICHI				
Permanenti strutturali	**G_1**			
Parete a blocchi singoli		=	139	kg/m^2
Totale permanenti strutturali	**G_1**	=	**139**	**kg/m^2**
peso.perm non strutt.	**G_2**			
lastra di gesso Pregyplac (12mm)		=	9	kg/m^2
intonaco (10mm)		=	14.5	kg/m^2
isolante in lana di roccia (40mm)		=	2.8	kg/m^2
isolante in lana di roccia (40mm)		=	2.8	kg/m^2
intonaco (10mm)		=	14.5	kg/m^2
lastra di gesso Pregyplac (12mm)		=	9	kg/m^2
Totale permanenti non strutturali	**G_2**	=	**52.6**	**kg/m^2**
Totale G_1+G_2		=	**1.916**	**kN/m^2**

Tabella.6 Analisi dei carichi Parete divisorie U.I (Fonte: elaborazione personale tratto dal programma Excel)

TRAMEZZI INTERNI CIVILE ABITAZIONE				
CARICHI				
peso.perm non strutt.	**G_2**			
lastra di gesso Pregyplac (12mm)		=	9	kg/m^2
blocchi in laterizio (80mm)		=	79.6	kg/m^2
lastra di gesso Pregyplac (12mm)		=	9	kg/m^2
Totale permanenti non strutturali	**G_2**	=	**97.6**	**kg/m^2**
Totale G_1+G_2		=	**0.976**	**kN/m^2**

Tabella.7 Analisi dei carichi Tramezzi interni (Fonte: elaborazione personale tratto dal programma Excel)

SCALA INTERNA CIVILE ABITAZIONE(USO COMUNE)				
CARICHI				
Permanenti strutturali	**G_1**			
profilo upn 200		=	25.3	kg/m^2
grigiato 30*40mm, spessore 4mm		=	0.37	kN/m^2
Totale permanenti strutturali	**G_1**	=		**kN/m^2**
peso.perm non strutt.	**G_2**			
materiale di rivestimento in legno (2cm)		=	0.13	kN/m^2
parapetto		=	26.4	kg/m
Totale permanenti non strutturali	**G_2**	=	**26.53**	**kN/m^2**
car.variabile	**Q**	=	4.00	kN/m^2

Tabella.8 Analisi dei carichi scala ad uso comune (Fonte: elaborazione personale tratto dal programma Excel)

SCALA INTERNA CIVILE ABITAZIONE(USO INTERNO)				
CARICHI				
Permanenti strutturali	**G_1**			
profilo upn 200		=	25.3	Kg/m
grigiato 30*40mm, spessore 4mm		=	0.37	kN/m^2
Totale permanenti strutturali	**G_1**	=		**kN/m^2**
peso.perm non strutt.	**G_2**			
materiale di rivestimento in legno (2cm)		=	0.13	kN/m^2
parapetto		=	26.4	kg/m
Totale permanenti non strutturali	**G_2**	=		**kN/m^2**
car.variabile	**Q**	=	4.00	kN/m^2

Tabella.9 Analisi dei carichi scala ad uso interno (Fonte: elaborazione personale tratto dal programma Excel)

ANALISI DEL CARICO NEVE				
$q_s=q_{sk}*C_e*C_t*\mu_i$				
val.di riferimento carico neve al suolo	q_{sk}	=	1.5	kN/m^2
coeff.di forma della copertura	μ_i	=	0.8	
coeff.di esposizione	C_e	=	1	
coeff.termico	C_t	=	1	
carico neve	**q_s**	=	**1.2**	**kN/m^2**

Tabella.10 Analisi del carico neve (Fonte: elaborazione personale tratto dal programma Excel)

ANALISI DEL CARICO VENTO						
velocità base di riferimento						
$v_b=v_{b,0}*c_a$						
vel.base di riferimento al livello del mare	$v_{b,o}$	=	25	m/s		
coefficiente di altitudine	c_a	=	1			
velocità base di riferimento	**v_b**	=	**25**	**m/s**		
velocità di riferimento						
$v_r=v_b*c_r$						
velocità base di riferimento	v_b	=	25	m/s		
coefficiente di ritorno	c_r	=	1			
velocità di riferimento	**v_r**	=	**25**	**m/s**		
pressione del vento						
$P=q_r*c_e*c_p*c_d$						
pressione cinetica di riferimento	q_r	=	0.02	kN/m^2		
coefficiente di esposizione	c_e	=	1.77			
coefficiente dinamico	c_d	=	1			
coefficiente di forma	**c_p**					
			cpe	cpi	Pressione del vento	
par.sopravento			0.8	0.2	27.66	kN/m^2
par.sottovento			-0.4	-0.2	-16.59	kN/m^2
par.sottovento			-0.4	-0.2	-16.59	kN/m^2
par.sopravento			-0.4	-0.2	-16.59	kN/m^2
falda.sopravento			-0.4	-0.2	-16.59	kN/m^2
falda.sottovento			-0.4	-0.2	-16.59	kN/m^2

Tabella.11 Analisi del carico vento (Fonte: elaborazione personale tratto dal programma Excel)

A seguito dell'analisi dei carichi, attraverso i valori ottenuti e grazie all'elaboratore Sismicad concrete è stato possibile effettuare un predimensionamento della stuttura, con l'ottenimento delle sezioni resistenti pari a 50x30 cm e 30x30 cm per i pilastri e 30x40 per le travi. Mentre per quanto riguarda i solai di interpiano e di copertura sono stati ipotizzati dei solai in latero cemento (20+4cm) con travetti precompressi.

Piante architettoniche

-Piano terra

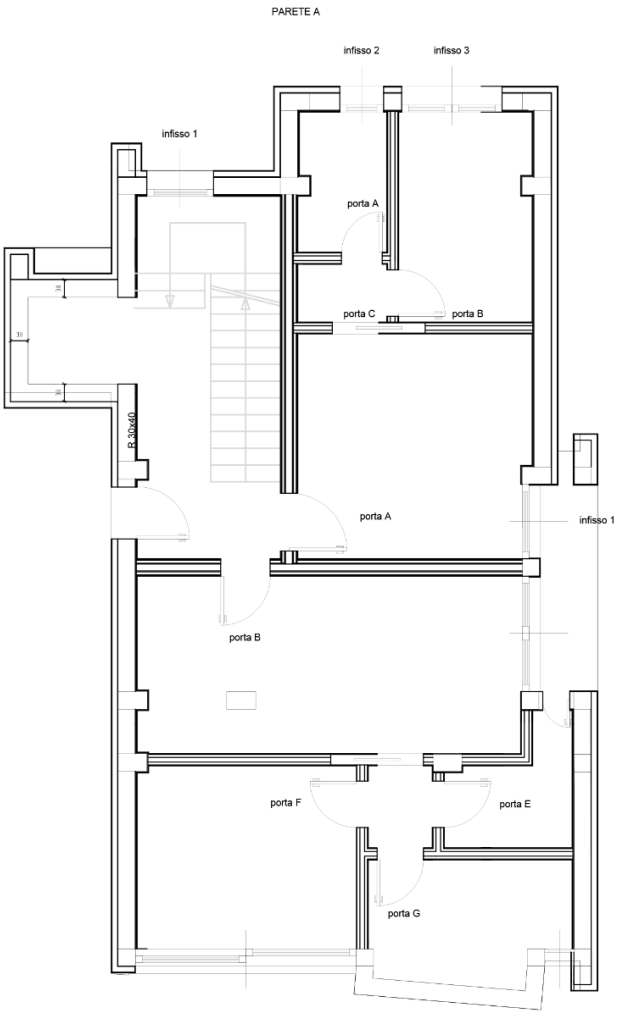


Fig.32 Pianta architettonica, piano terra, struttura in C.A (Fonte: elaborazione personale)

-Piano primo

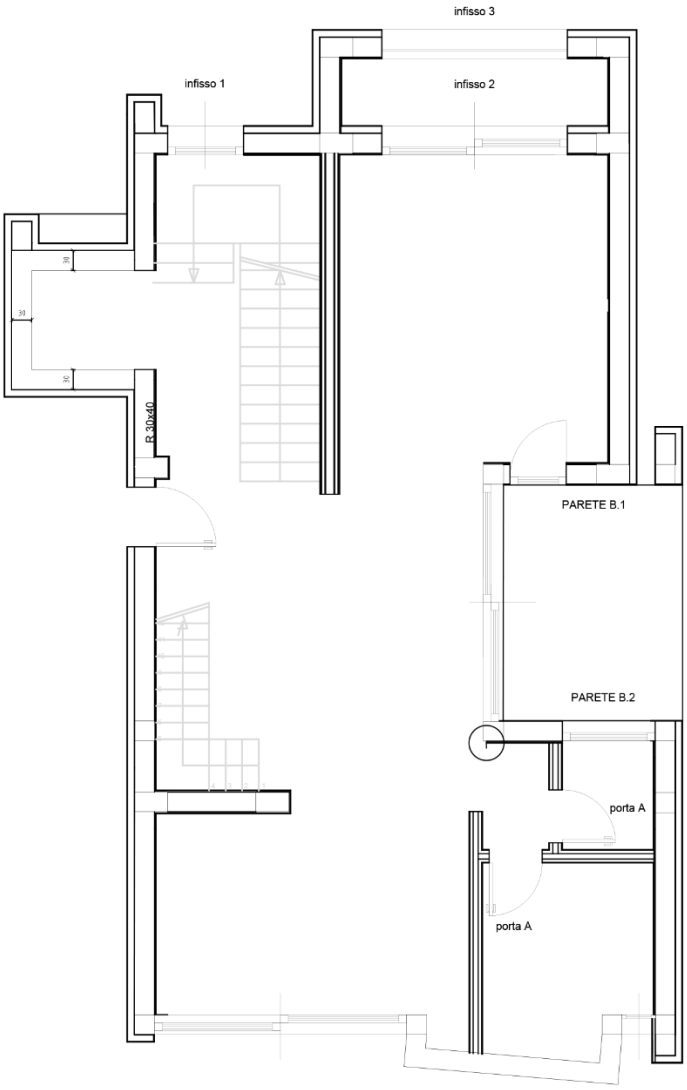


Fig.33 Pianta architettonica, piano primo, struttura in C.A (Fonte: elaborazione personale)

-Piano secondo

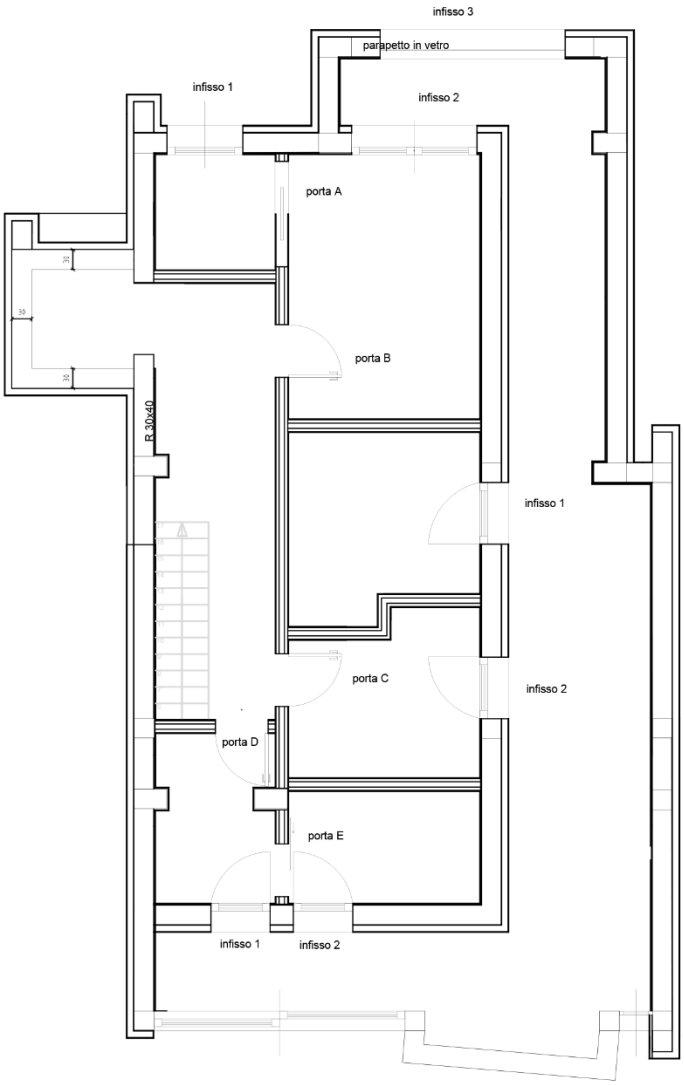


Fig.34 Pianta architettonica, piano secondo, struttura in C.A (Fonte: elaborazione personale)

Stratigrafie e prestazioni dell'involucro edilizio

Le prestazioni termiche dei componenti dell'involucro edilizio, sono state determinate attraverso un programma denominato Edilclima, mettendo in evidenza i parametri termici e delle prestazioni termoigrometriche dei componenti edilizi (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016). Inoltre è stata effettuata la verifica della condensa interstiziale in riferimento alla norma DM 26.06.2015 che risulta positiva per tutti i componenti edilizi.

Part.11 Parete esterna

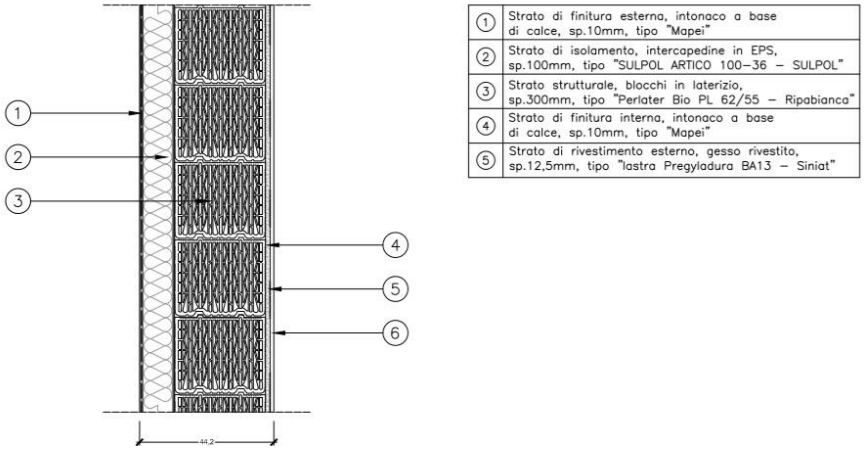


Fig.35 Composizione stratigrafica della parete esterna (Elaborazione personale).

-Tipologia di struttura: struttura verticale opaca

-Valore calcolato di trasmittanza: U=0,25 W/m^{2}K

-Fattore di attenuazione= 0,13

-Sfasamento d'onda termica= -11,65 h

-Capacità termica areica= 8,38 kJ/ *m^{2}K*

-Normativa di riferimento: (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016), DM 26.06.15

Part.12 Parete divisoria unità immobiliari

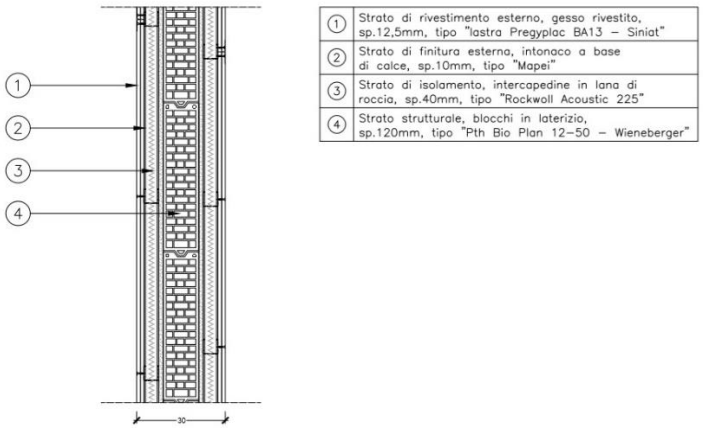


Fig.36 Composizione stratigrafica della parete divisoria unità immboliari (Elaborazione personale).

-Tipologia di struttura: struttura verticale opaca

-Valore calcolato di trasmittanza: U=0,31 W/m^{2}K

-Fattore di attenuazione= 0,18

-Sfasamento d'onda termica= -8,81 h

-Capacità termica areica= 18,25 kJ/ *m^{2}K*

-Normativa di riferimento: (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016), DM 26.06.15

Part.13 Tramezzi interni

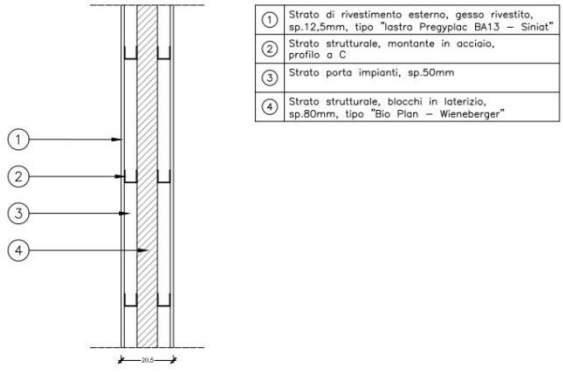


Fig.37 Composizione stratigrafica dei tramezzi interni (Elaborazione personale).
-Tipologia di struttura: struttura verticale opaca

-Valore calcolato di trasmittanza: U=0,89 W/m^{2}K

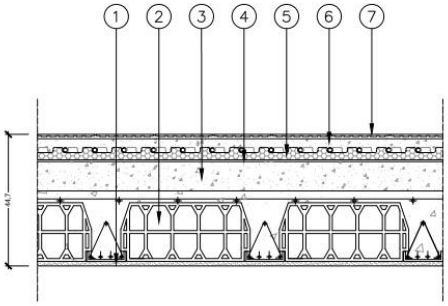
-Fattore di attenuazione= 0,63

-Sfasamento d'onda termica= -4,90 h

-Capacità termica areica= 29,42 kJ/ *m^{2}K*

-Normativa di riferimento: (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016), DM 26.06.15

Part.14 Solaio interpiano



①	Strato di finitura esterna, intonaco a base di calce, sp.15mm, tipo "Mapei"
②	Strato strutturale, solaio in latero cemento, sp.240mm, pignatte 200m, Wieneberger
③	Massetto alleggerito per impianti,sp.100mm, tipo "Lecacem mini– Leca"
④	Strato di isolamento acustico, gomma EPDM, sp.8mm, tipo "Upgrei – Isolgomma"
⑤	Strato di isolamento termoacustico per pannelli radianti (EPS), sp.20+25mm, tipo "Forma duopor – Isolconfort"
⑥	Massetto pavimento, sp.30mm, tipo "Sottofondo 2–3– Leca"
⑦	Strato di finitura interno, pavimentazione in legno sp.25mm,

Fig.38 Composizione stratigrafica del solaio interpiano (Elaborazione personale).

-Tipologia di struttura: struttura orizzontale/inclinata opaca

-Valore calcolato di trasmittanza: U=0,63 W/m^{2}K

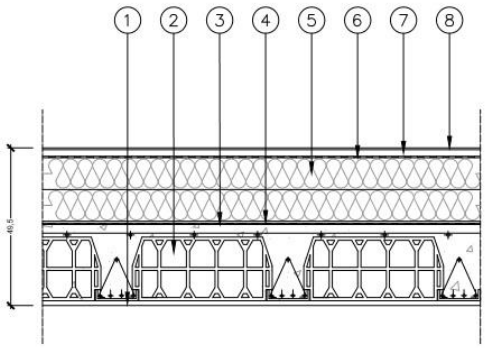
-Fattore di attenuazione= 0,10

-Sfasamento d'onda termica= -13,21 h

-Capacità termica areica= 79,05 kJ/ *m^{2}K*

-Normativa di riferimento: (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016), DM 26.06.15

Part.15 Solaio copertura



①	Strato di finitura esterna, intonaco a base di calce, sp.15mm, tipo "Mapei"
②	Strato strutturale, solaio in latero cemento, sp.240mm, pignatte 200m, Wieneberger
③	Strato di impermeabilizzazione, barriera al vapore, sp.2mm, tipo "DS 188 ALU– Riwerga"
④	Strato di isolamento acustico, gomma EPDM, sp.8mm, tipo "Upgrei – Isolgomma"
⑤	Strato di isolamento, lastra XPS, sp.200mm tipo"Styrodur 30–35CS – Styrodur"
⑥	Strato di impermeabilizzazione, guaina mega blu, sp.1.5mm
⑦	Strato di rivestimento, tavolato in legno, sp.15mm
⑧	Strato di finitura esterna, lamierino di copertura, sp5mm

Fig.39 Composizione stratigrafica del solaio di copertura (Elaborazione personale).

-Tipologia di struttura: struttura orizzontale/inclinata opaca

-Valore calcolato di trasmittanza: U=0,16 W/m^{2}K

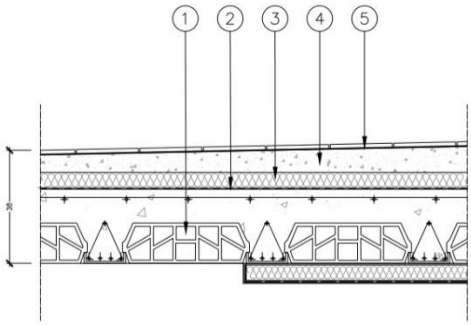
-Fattore di attenuazione= 0,01

-Sfasamento d'onda termica= -19,28 h

-Capacità termica areica= 27,18 kJ/ *m^{2}K*

-Normativa di riferimento: (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016), DM 26.06.15

Part.16 Solaio terrazzi e poggioli



①	Strato strutturale, solaio in latero cemento, sp.240mm, pignatte 200m, Wieneberger
②	Strato di impermeabilizzazione, barriera al vapore, sp.2mm, tipo "DS 188 ALU– Riwerga"
③	Strato di isolamento, lastra XPS, sp.50mm tipo"Stryrodur 30–35CS – Styrodur"
④	Massetto alleggerito per pendenze, sp.40mm, tipo "Lecacem mini– Leca"
⑤	Strato di finitura esterna, pavimenazione in ceramica, sp15mm

Fig.40 Composizione stratigrafica del solaio terrazzi e poggioli (Elaborazione personale).

-Tipologia di struttura: struttura orizzontale/inclinata opaca

-Valore calcolato di trasmittanza: U=0,63 W/m^2K

-Fattore di attenuazione= 0,10

-Sfasamento d'onda termica= -13,21 h

-Capacità termica areica= 79,05 kJ/ *m^2K*

-Normativa di riferimento: (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016), DM 26.06.15

4 – Sistema costruttivo in acciaio – alternativa 2

Ipotesi progettuale

L'edificio con scheletro portante in acciaio è stato costruito in modo da avere la medesima superficie utile e lo stesso sviluppo in altezza dell'edificio costruito in Xlam. Per quanto riguarda le stratigrafie, sono stati utilizzati dei pacchetti stratigrafici che lo studio di progettazione FLM *engineering* (studio che ha collaborato per la fase di progettazione dei nuovi edifici in C:A e acciaio) è di abitudine utilizzare per questo tipo di struttura. Per quanto riguarda le pareti esterne e quelle divisorie delle unità immobiliari è stato utilizzato un sistema di pareti stratificate a secco, con l'utilizzo di due tipologie di materiale isolante: EPS e lana di roccia. Dal punto di vista della struttura portante è stato effettuato un predimensionamento strutturale, in grado di ottenere delle sezioni resistenti pari a: HEA240 e HEA300 per i pilastri,HEA240 per le travi principali e IPE240 per le travi secondarie.

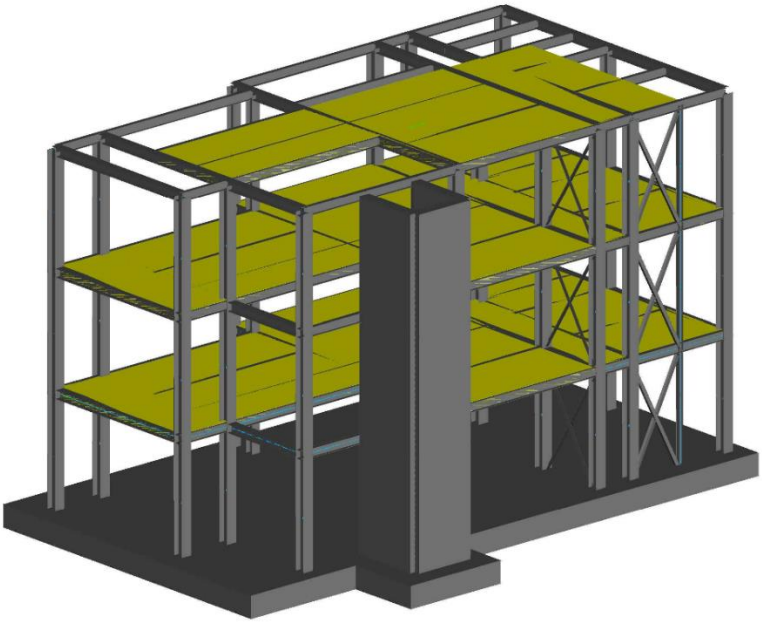


Fig.41 Illustrazione tridimensionale dell'edificio in acciaio (Fonte: elaborazione personale tratto dal programma Sismicad Concrete)

Predimensionamento strutturale

Dati input per la progettazione strutturale:

-Localizzazione: Bellaria Igea-Marina, Via Prosecco-Panzini (RN);

-Coordinate: 44° 09'N 12°27'E;

-Altitudine: 3 m s.l.m.;

-Superficie: 18,17 $km^{2;}$

-Zona sismica: zona sismica 2 (Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti), (Fonte: https://www.tuttitalia.it).

Analisi dei carichi

SOLAIO INTERPIANO CIVILE ABITAZIONE				
CARICHI				
Permanenti strutturali	**G_1**			
Solaio in lamiera grecata con getto collaborante (HI BOND 55A)		=	215	kg/m^2
Totale permanenti strutturali	**G_1**	=	**215**	**kg/m^2**
peso.perm non strutt.	**G_2**			
intonaco (15mm)		=	14,5	kg/m^2
massetto alleggerito (100mm)		=	60	kg/m^2
guaina EPDM (100mm)		=	0.0013	kg/m^2
isolante termoacustico (45mm)		=	1.17	kg/m^2
massetto pavimento (30mm)		=	19.5	kg/m^2
pavimentazione in legno (15mm)		=	9.75	kg/m^2
Totale permanenti non strutturali	**G_2**	=	**90.42**	**kg/m^2**
Totale G_1+G_2		=	**3.05**	**kN/m^2**
car.variabile		=	0.00	kN/m^2
car.d'esercizio	**Q**	=	2.00	kN/m^2

Tabella.12 Analisi dei carichi solaio interpiano (Fonte: elaborazione personale tratto dal programma Excel)

SOLAIO DI COPERTURA CIVILE ABITAZIONE				
CARICHI				
Permanenti strutturali	**G_1**			
Solaio in lamiera grecata con getto collaborante (HI BOND 55A)		=	215	kg/m^2
Totale permanenti strutturali	**G_1**	=	**215**	**kg/m^2**
peso.perm non strutt.	**G_2**			
intonaco (15mm)		=	14.5	kg/m^2
barriera al vapore (18mm)		=	0.9	kg/m^2
isolante in fibra di legno (180mm)		=	27	kg/m^2
lamierino di copertura (3mm)		=	8.1	kg/m^2
Totale permanenti non strutturali	**G_2**	=	**50.5**	**kg/m^2**
Totale G_1+G_2		=	**2.66**	**kN/m^2**
car.variabile		=	0.00	kN/m^2
car.neve	**Q**	=	1.20	kN/m^2

Tabella.13 Analisi dei carichi solaio di copertura (Fonte: elaborazione personale tratto dal programma Excel)

SOLAIO TERRAZZI E POGGIOLI CIVILE ABITAZIONE				
CARICHI				
Permanenti strutturali	G_1			
Solaio in lamiera grecata con getto collaborante (HI BOND 55A)		=	215	kg/m^2
Totale permanenti strutturali	G_1	=	**215**	**kg/m^2**
peso.perm non strutt.	G_2			
intonaco (15mm)		=	14.5	kg/m^2
barriera al vapore (18mm)		=	0.9	kg/m^2
isolante xps (50mm)		=	1.65	kg/m^2
massetto pavimento (60mm)		=	39	kg/m^2
pavimentazione in gres (15mm)		=	30	kg/m^2
Totale permanenti non strutturali	G_2	=	**86.05**	**KN/m^2**
Totale G_1+G_2		=	**3.01**	**kN/m^2**
car.variabile	Q_1	=	4.00	kN/m^2
car.neve	Q_2	=	1.20	kN/m^2

Tabella.14 Analisi dei carichi solaio terra (Fonte: elaborazione personale tratto dal programma Excel)

CHIUSURE VERTICALI CIVILE ABITAZIONE (pareti esterne)				
CARICHI				
peso.perm non strutt.	G_2			
lastra di gesso Pregyplac (12mm)		=	9	kg/m^2
isolante in EPS (80mm)		=	2.08	kg/m^2
lastra acquaboard (12,5mm)		=	11	kg/m^2
2 lastra isolante in lana di roccia (200mm)		=	14	kg/m^2
lastra pregyvapor (12,5mm)		=	10.5	kg/m^2
isolante in EPS (60mm)		=	1.56	kg/m^2
lastra di gesso Pregyplac (12mm)		=	9	kg/m^2
lastra di gesso Pregyladura (12mm)		=	12.8	kg/m^2
Totale permanenti non strutturali	G_2	=	**69.94**	**kg/m^2**
Totale		=	**0.70**	**kN/m^2**

Tabella.15 Analisi dei carichi delle pareti esterne (Fonte: elaborazione personale tratto dal programma Excel)

CHIUSURE VERTICALI CIVILE ABITAZIONE (pareti divisoria U.I)				
CARICHI				
peso.perm non strutt.	G_2			
lastra di gesso Pregyplac (12mm)		=	9	kg/m^2
lastra di gesso Pregyladura (12mm)		=	12.8	kg/m^2
isolante in lana di roccia (40mm)		=	2.8	kg/m^2
lastra di gesso Pregyladura (12mm)		=	12.8	kg/m^2
lastra di gesso Pregyplac (12mm)		=	9	kg/m^2
isolante in lana di roccia (60mm)		=	4.2	kg/m^2
lastra di gesso Pregyplac (12mm)		=	9	kg/m^2
lastra di gesso Pregyladura (12mm)		=	12.8	kg/m^2
isolante in lana di roccia (40mm)		=	2.8	kg/m^2
lastra di gesso Pregyplac (12mm)		=	9	kg/m^2
lastra di gesso Pregyladura (12mm)		=	12.8	kg/m^2
Totale permanenti non strutturali	G_2	=	**97**	**kg/m^2**
Totale		=	**0.97**	**kN/m^2**

Tabella.16 Analisi dei carichi delle pareti divisorie U.I (Fonte: elaborazione personale tratto dal programma Excel)

TRAMEZZI INTERNI CIVILE ABITAZIONE				
CARICHI				
peso.perm non strutt.	G_2			
lastra di gesso Pregyladura (12mm)		=	12.8	kg/m^2
lastra di gesso Pregyplac (12mm)		=	9	kg/m^2
isolante in lana di roccia (60mm)		=	4.2	kg/m^2
lastra di gesso Pregyplac (12mm)		=	9	kg/m^2
lastra di gesso Pregyladura (12mm)		=	12.8	kg/m^2
Totale permanenti non strutturali	G_2	=	**47.8**	**kg/m^2**
Totale		=	**0.48**	**kN/m^2**

Tabella.17 Analisi dei carichi dei tramezzi interni (Fonte: elaborazione personale tratto dal programma Excel)

SCALA INTERNA CIVILE ABITAZIONE(USO COMUNE)				
CARICHI				
Permanenti strutturali	**G_1**			
profilo upn 200		=	25.3	kg/m^2
grigiato 30*40mm, spessore 4mm		=	0.37	kN/m^2
Totale permanenti strutturali	**G_1**	=		**kN/m^2**
peso.perm non strutt.	**G_2**			
materiale di rivestimento in legno (2cm)		=	0.13	kN/m^2
parapetto		=	26.4	kg/m
Totale permanenti non strutturali	**G_2**	=	**26.53**	**kN/m^2**
car.variabile	**Q**	=	4.00	kN/m^2

Tabella.18 Analisi dei carichi scala ad uso comune (Fonte: elaborazione personale tratto dal programma Excel)

SCALA INTERNA CIVILE ABITAZIONE(USO INTERNO)				
CARICHI				
Permanenti strutturali	**G_1**			
profilo upn 200		=	25.3	Kg/m
grigiato 30*40mm, spessore 4mm		=	0.37	kN/m^2
Totale permanenti strutturali	**G_1**	=		**kN/m^2**
peso.perm non strutt.	**G_2**			
materiale di rivestimento in legno (2cm)		=	0.13	kN/m^2
parapetto		=	26.4	kg/m
Totale permanenti non strutturali	**G_2**	=		**kN/m^2**
car.variabile	**Q**	=	4.00	kN/m^2

Tabella.19 Analisi dei carichi scala ad uso interno (Fonte: elaborazione personale tratto dal programma Excel)

ANALISI DEL CARICO NEVE				
$q_s=q_{sk}*C_e*C_t*\mu_i$				
val.di riferimento carico neve al suolo	q_{sk}	=	1.5	kN/m^2
coeff.di forma della copertura	μ_i	=	0.8	
coeff.di esposizione	C_e	=	1	
coeff.termico	C_t	=	1	
carico neve	**q_s**	=	**1.2**	**kN/m^2**

Tabella.20 Analisi del carico neve (Fonte: elaborazione personale tratto dal programma Excel)

ANALISI DEL CARICO VENTO						
velocità base di riferimento						
$v_b=v_{b,0}*c_a$						
vel.base di riferimento al livello del mare	$v_{b,o}$	=	25	m/s		
coefficiente di altitudine	c_a	=	1			
velocità base di riferimento	**v_b**	=	**25**	**m/s**		
velocità di riferimento						
$v_r=v_b*c_r$						
velocità base di riferimento	v_b	=	25	m/s		
coefficiente di ritorno	c_r	=	1			
velocità di riferimento	**v_r**	=	**25**	**m/s**		
pressione del vento						
$P=q_r*c_e*c_p*c_d$						
pressione cinetica di riferimento	q_r	=	0.02	kN/m^2		
coefficiente di esposizione	c_e	=	1.77			
coefficiente dinamico	c_d	=	1			
coefficiente di forma	**c_p**					
			cpe	cpi	Pressione del vento	
par.sopravento			0.8	0.2	27.66	kN/m^2
par.sottovento			-0.4	-0.2	-16.59	kN/m^2
par.sottovento			-0.4	-0.2	-16.59	kN/m^2
par.sopravento			-0.4	-0.2	-16.59	kN/m^2
falda.sopravento			-0.4	-0.2	-16.59	kN/m^2
falda.sottovento			-0.4	-0.2	-16.59	kN/m^2

Tabella.21 Analisi del carico vento (Fonte: elaborazione personale tratto dal programma Excel)

A seguito dell'analisi dei carichi, attraverso i valori ottenuti e grazie all'elaboratore Sismicad concrete è stato possibile effettuare un predimensionamento della stuttura, con l'ottenimento delle sezioni resistenti pari a: HEA240 e HEA300 per i pilastri,HEA240 per le travi principali e IPE240 per le travi secondarie. Mentre per quanto riguarda i solai di interpiano e di copertura sono stati ipotizzati dei solai in lamiera grecata con getto collaborante, del tipo HI BOND 55A .

Piante architettoniche

-Piano terra

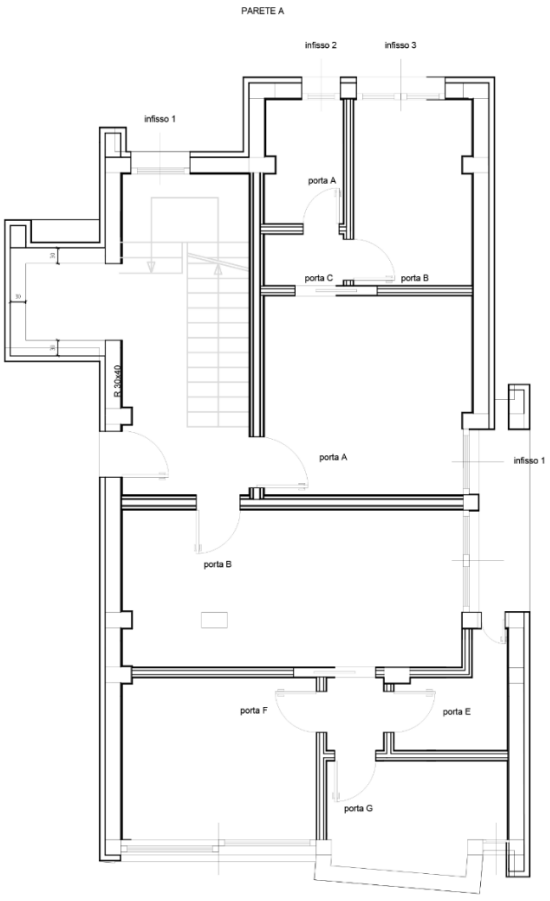


Fig.42 Pianta architettonica, piano terra, struttura in acciaio (Fonte: elaborazione personale)

-Piano primo

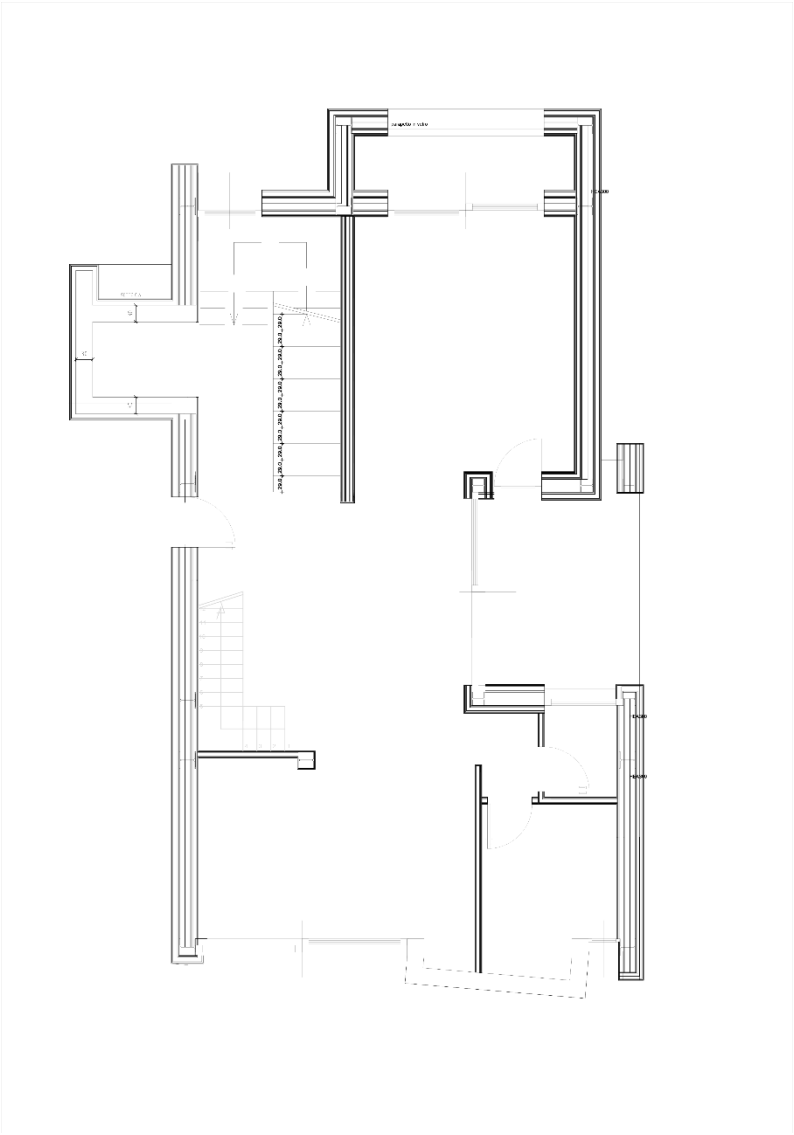


Fig.43 Pianta architettonica, piano primo, struttura in acciaio (Fonte: elaborazione personale)

-Piano secondo

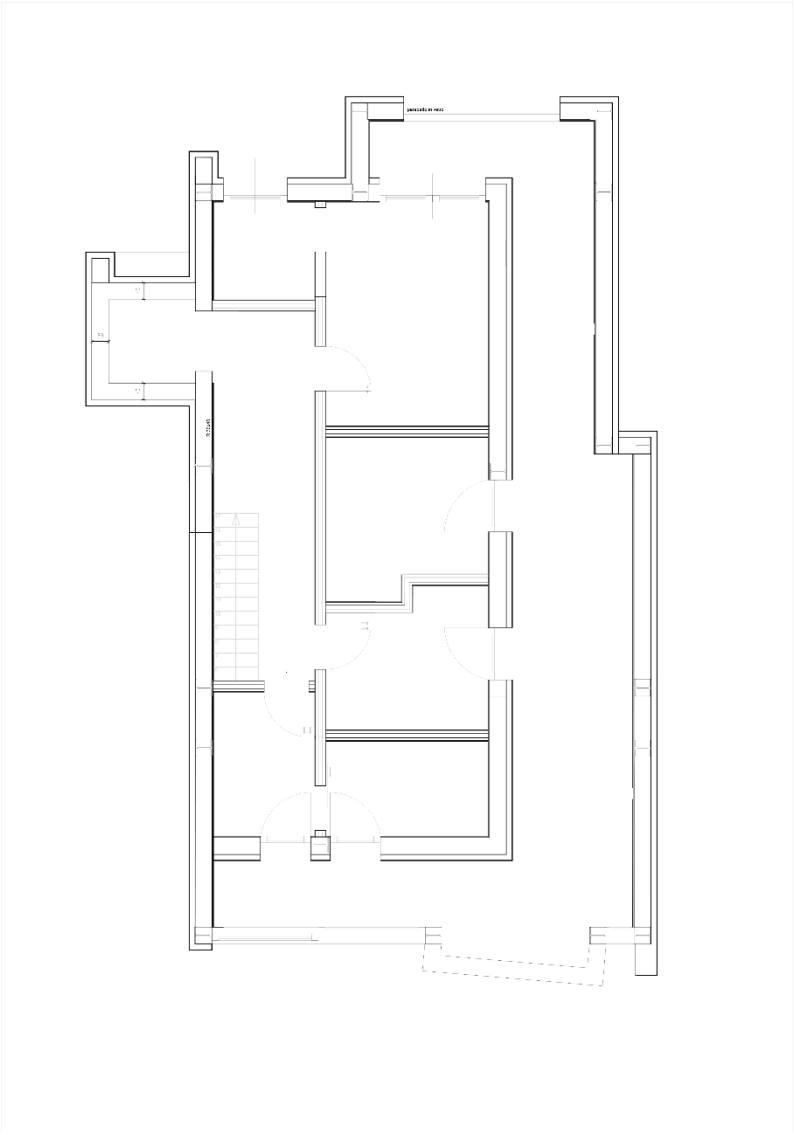
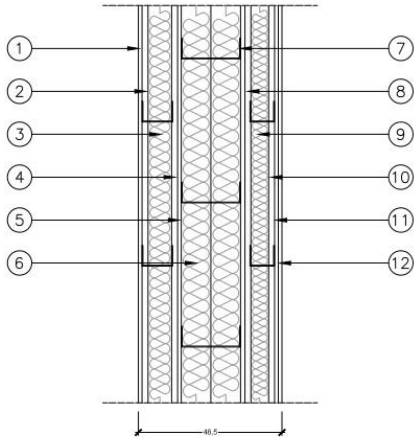


Fig.44 Pianta architettonica, piano secondo, struttura in acciaio (Fonte: elaborazione personale)

Stratigrafie e prestazioni dell'involucro edilizio

Le prestazioni termiche dei componenti dell'involucro edilizio, sono state determinate attraverso un programma denominato Edilclima, mettendo in evidenza i parametri termici e delle prestazioni termoigrometriche dei componenti edilizi (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016). Inoltre è stata effettuata la verifica della condensa interstiziale in riferimento alla norma DM 26.06.2015 che risulta positiva per tutti i componenti edilizi.

Part.17 Parete esterna



①	Strato di rivestimento esterno, gesso rivestito, sp.12,5mm, tipo "lastra Pregyplac BA13 – Siniat"
②	Intercapedine d'aria, sp.20mm
③	Strato di isolamento, intercapedine in EPS, sp.80mm, tipo "Lastra EPS – Fassa Bortolo"
④	Intercapedine d'aria, sp.20mm
⑤	Strato di rivestimento esterno, gesso rivestito, sp.12,5mm, tipo "lastra Pregyacquaboard – Siniat"
⑥	Doppio strato di isolamento, intercapedine in lana di roccia, sp.27mm, tipo "Airrock DD – Rockwool"
⑦	Strato di rivestimento esterno, gesso rivestito, sp.12,5mm, tipo "lastra Pregyacquaboard – Siniat"
⑧	Intercapedine d'aria, sp.20mm
⑨	Strato di isolamento, intercapedine in EPS, sp.60mm, tipo "Lastra EPS – Fassa Bortolo"
⑩	Intercapedine d'aria, sp.20mm
⑪	Strato di rivestimento esterno, gesso rivestito, sp.12,5mm, tipo "lastra Pregyplac BA13 – Siniat"
⑫	Strato di rivestimento esterno, gesso rivestito, sp.12,5mm, tipo "lastra Pregyladura BA13 – Siniat"

Fig.45 Composizione stratigrafica della parete esterna (Elaborazione personale).

-Tipologia di struttura: struttura verticale opaca

-Valore calcolato di trasmittanza: U=0,17 W/m^{2}K

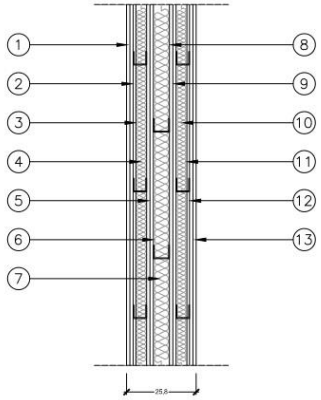
-Fattore di attenuazione= 0,38

-Sfasamento d'onda termica= -7,46 h

-Capacità termica areica= 23,06 kJ/ *m^{2}K*

-Normativa di riferimento: (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016), DM 26.06.15

Part.18 Parete divisoria unità immobiliari



①	Strato di rivestimento esterno, gesso e fibra di legno, sp.12,5mm, tipo "lastra Pregyladura BA13 – Siniat"
②	Strato di rivestimento esterno, gesso rivestito, sp.12,5mm, tipo "lastra Pregyplac BA13 – Siniat"
③	Intercapedine d'aria, sp.20mm
④	Strato di isolamento, intercapedine in lana di roccia, sp.40mm, tipo "Acoustic 225 – Rockwool"
⑤	Strato di rivestimento esterno, gesso e fibra di legno, sp.12,5mm, tipo "lastra Pregyladura BA13 – Siniat"
⑥	Strato di rivestimento esterno, gesso rivestito, sp.12,5mm, tipo "lastra Pregyplac BA13 – Siniat"
⑦	Strato di isolamento, intercapedine in lana di roccia, sp.60mm, tipo "Acoustic 225 – Rockwool"
⑧	Strato di rivestimento esterno, gesso rivestito, sp.12,5mm, tipo "lastra Pregyplac BA13 – Siniat"
⑨	Strato di rivestimento esterno, gesso e fibra di legno, sp.12,5mm, tipo "lastra Pregyladura BA13 – Siniat"
⑩	Strato di isolamento, intercapedine in lana di roccia, sp.40mm, tipo "Acoustic 225 – Rockwool"
⑪	Intercapedine d'aria, sp.20mm
⑫	Strato di rivestimento esterno, gesso rivestito, sp.12,5mm, tipo "lastra Pregyplac BA13 – Siniat"
⑬	Strato di rivestimento esterno, gesso e fibra di legno, sp.12,5mm, tipo "lastra Pregyladura BA13 – Siniat"

Fig.46. Composizione stratigrafica della parete divisoria unità immboliari (Elaborazione personale).

-Tipologia di struttura: struttura verticale opaca

-Valore calcolato di trasmittanza: U=0,19 W/m²K

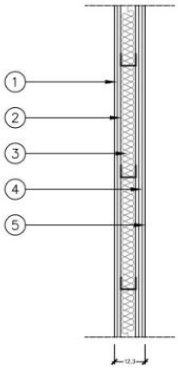
-Fattore di attenuazione= 0,00

-Sfasamento d'onda termica= -12,97 h

-Capacità termica areica= 33,33 kJ/ *m²K*

-Normativa di riferimento: (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016), DM 26.06.15

Part.19 Tramezzi interni



①	Strato di rivestimento esterno, gesso e fibra di legno, sp.12,5mm, tipo "lastra Pregyladura BA13 – Siniat"
②	Strato di rivestimento esterno, gesso rivestito, sp.12,5mm, tipo "lastra Pregyplac BA13 – Siniat"
③	Strato di isolamento, intercapedine in lana di roccia, sp.60mm, tipo "Airrock DD – Rockwool"
④	Strato di rivestimento esterno, gesso rivestito, sp.12,5mm, tipo "lastra Pregyplac BA13 – Siniat"
⑤	Strato di rivestimento esterno, gesso e fibra di legno, sp.12,5mm, tipo "lastra Pregyladura BA13 – Siniat"

Fig.47 Composizione stratigrafica dei tramezzi interni (Elaborazione personale).

-Tipologia di struttura: struttura verticale opaca

-Valore calcolato di trasmittanza: U=0,46 W/m²K

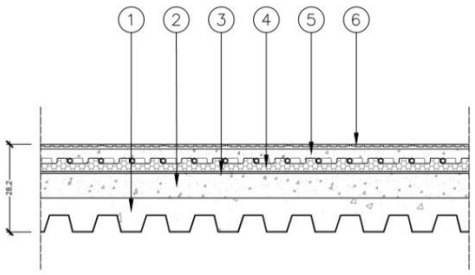
-Fattore di attenuazione= 0,93

-Sfasamento d'onda termica= -2,43 h

-Capacità termica areica= 22,95 kJ/ *m²K*

-Normativa di riferimento: (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016), DM 26.06.15

Part.20 Solaio interpiano



1	Lamiera grecata con getto in cls collaborante, sp.110mm, tipo "HI–BOND A55 – Metecno lamiere"
2	Massetto alleggerito per impianti,sp.100mm, tipo "Lecacem mini– Leca"
3	Strato di isolamento acustico, gomma EPDM, sp.8mm, tipo "Upgrei – Isolgomma"
4	Strato di isolamento termoacustico per pannelli radianti (EPS), sp.20+25mm, tipo "Forma duopor – Isolconfort"
5	Massetto pavimento, sp.30mm, tipo "Sottofondo 2–3– Leca"
6	Strato di finitura interno, pavimentazione in legno, sp.25mm,

Fig.48 Composizione stratigrafica del solaio interpiano (Elaborazione personale).

-Tipologia di struttura: struttura orizzontale/inclinata opaca

-Valore calcolato di trasmittanza: U=0,74 W/m^{2}K

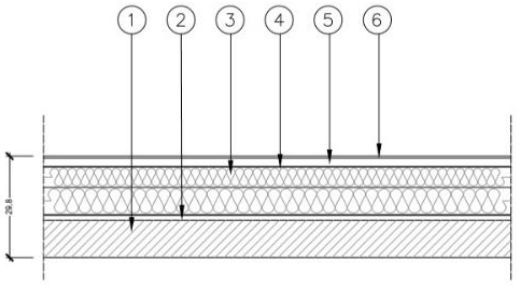
-Fattore di attenuazione= 0,27

-Sfasamento d'onda termica= -8,94 h

-Capacità termica areica= 81,26 kJ/ *m^{2}K*

-Normativa di riferimento: (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016), DM 26.06.15

Part.21 Solaio copertura



1	Lamiera grecata con getto in cls collaborante, sp.110mm, tipo "HI–BOND A55 – Metecno lamiere"
2	Strato di rivestimento, pannello OSB, sp.22mm
3	Strato di isolamento, intercapedine in lana di roccia, sp.80+60mm, tipo "Hardrock Max"
4	Strato di impermeabilizzazione, guaina mega blu, sp.1.5mm
5	Strato di rivestimento, tavolato in legno, sp.15mm
6	Strato di finitura esterna, lamierino di copertura, sp5mm

Fig.49 Composizione stratigrafica del solaio di copertura (Elaborazione personale).

-Tipologia di struttura: struttura orizzontale/inclinata opaca

-Valore calcolato di trasmittanza: U=0,17 W/m^{2}K

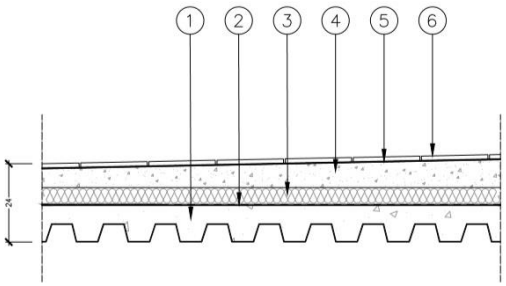
-Fattore di attenuazione= 0,03

-Sfasamento d'onda termica= -15,85 h

-Capacità termica areica= 27,18 kJ/ *m^{2}K*

-Normativa di riferimento: (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016), DM 26.06.15

Part.22 Solaio terrazzi e poggioli



1	Lamiera grecata con getto in cls collaborante, sp.110mm, tipo "HI–BOND A55 – Metecno lamiere"
2	Strato di isolamento, lastra XPS, sp.50mm tipo"Stryrodur 2500C – Styrodur"
3	Strato di impermeabilizzazione, barriera al vapore, sp.2mm, tipo "APP– Laribit"
4	Massetto alleggerito per pendenze, sp.40mm, tipo "Lecacem mini– Leca"
5	Strato di finitura esterna, pavimenazione in ceramica, sp15mm

Fig.50 Composizione stratigrafica del solaio terrazzi e poggioli (Elaborazione personale).

-Tipologia di struttura: struttura orizzontale/inclinata opaca

-Valore calcolato di trasmittanza: U=0,74 W/m^{2}K

-Fattore di attenuazione= 0,27

-Sfasamento d'onda termica= -8,94 h

-Capacità termica areica= 81,26 kJ/ *m^{2}K*

-Normativa di riferimento: (UNI/TS 11300-4 e 5: 2016), DM 26.06.15

Parte II – Valutazione ambientale del caso studio

5 - Valutazione del ciclo di vita in ambito edilizio

Uno degli obiettivi di questa tesi è quello di illustrare l'applicazione della metodologia LCA in riferimento ad un caso studio di un edificio costruito a Bellaria Igea Marina in legno *Xlam,* riprogettato in un secondo momento dal candidato con due alternative tecnologiche differenti: acciaio e C.A, con il fine di valutare gli impatti ambientali prodotti e esaminare le fasi maggiormente impattanti, utilizzando un programma di valutazione ambientale denominato *eTool*.

Le origini e lo sviluppo dell'LCA

Le origini di questa metodologia possono essere collocate verso la fine degli anni 60, quando alcuni ricercatori a seguito di studi scientifici riguardanti il problema del consumo delle risorse e della generazione dei reflui nei processi industriali, si convinsero che uno studio mirato dei materiali a partire dalla loro estrazione attraverso tutti i processi di trasformazione e di trasporto, fino al loro ritorno alla terra sotto forma di rifiuti, potesse essere l'unica strada per studiare i sistemi produttivi dal punto di vista ambientale (Baldo et al., 2008).

A seguito delle prime analisi, prese luogo uno slogan "*from cradle to grave*", "dalla culla alla tomba", raffigurando il processo di analisi sopra descritto. Questo tipo di approccio si basa sul soddisfacimento delle funzioni proprie di ogni settore produttivo, tendendo a sviluppare una analisi completa dell'intero processo.

A cavallo tra gli anni 60 e 70 l'azienda "*Coca Cola Company*" intraprese delle ricerche con l'intento di analizzare gli effetti ambientali sui vari tipi di contenitori, negli stessi anni la "*Midwest Research Institute*" analizzò i fogli di polistirene utilizzati per incartare gli alimenti (Baldo et al., 2008). Nel periodo in cui si stavano affermando le ricerche sopra citate, il processo di standardizzazione della metodologia LCA si concretizzò con la pubblicazione del manuale di Analisi Energetica di *Boustead e Hancock*, che forniva le

basi per il procedimento di una LCA, strumento tutt'ora utilizzato dagli operatori del settore (*Boustead* et al., 1979).

Il campo di applicazione di uno studio LCA è molto ampio, dalla gestione della piccola azienda ai sistemi socioeconomici nazionali. La redazione di una serie di analisi LCA risulta essere un valido strumento per un monitoraggio continuo dell'impatto ambientale e la sua evoluzione nel tempo.

Sostenibilità nel mondo delle costruzioni

Le applicazioni dell'LCA nel settore delle costruzioni sono tra quelle più interessanti, in quanto permettono la valutazione: delle prestazioni dei materiali, delle tecniche costruttive e degli impianti di servizio, dal punto di vista del loro ciclo di vita utile e della salvaguardia ambientale.

Anche in questo settore sono state sviluppate delle norme armonizzate per la valutazione delle performance ambientali e dell'intero ciclo di vita, attraverso la formazione di un comitato tecnico europeo il "CEN TC 350, *Sustenability of Construction*". Il programma d'azione è stato suddiviso in tre parti: performance dell'edificio e standard per la valutazione dell'impatto ambientale, dichiarazioni ambientali dei prodotti da costruzione, descrizione del ciclo di vita dell'edificio (Baldo et al., 2008).

L'LCA è uno strumento di valutazione basato su un approccio *life cycle,* l'edificio preso in esame è considerato come dinamico e mutevole nel tempo, richiedendo una valutazione completa degli impatti generati nel corso della suo ciclo di vita, tenendo in considerazione tre aspetti: sociale, economico ed ambientale (Simonen, 2014). Occorre evidenziare che nel settore edilizio possono essere individuati due ambiti fondamentali: biologia ed ecologia dell'edificio, rappresentanti la base per un approccio olistico alla progettazione.

Nella biologia dell'edificio uno degli aspetti principali è il benessere dell'occupante, dunque il compito principale è quello di considerare fattori riguardanti: la tossicità e l'inquinamento che un materiale potrebbe produrre, con lo scopo di valutare l'impatto dei prodotti sulla salute dell'uomo (El khouli et al., 2015).

L'Ecologia è invece basata sullo studio dell'interazione tra ambiente naturale e corpi viventi e non viventi, permettendo di valutare l'impatto che i materiali e gli edifici hanno sull'ambiente. Infatti, l'Ecologia dell'edificio *Building Ecology* consente di stimare in modo quantitativo gli impatti prodotti dalle emissioni e i consumi energetici, offrendo una potenziale riduzione dei consumi di: energia, suolo e materiali, essendo il settore delle costruzioni responsabile del 30% delle emissioni globali di CO_2 e dei consumi globali di energia primaria (40%) (El khouli et al., 2015).

Normative di riferimento

Nel campo della tutela ambientale, a livello internazionale, le norme ISO hanno adottato l'LCA come una valida metodologia di analisi del ciclo di vita. Le normative ISO 14000 costituiscono una base per il monitoraggio degli impatti ambientali. La natura di questo standard tecnico risulta di tipo volontaristico, dunque le imprese si impegnano di iniziativa propria a sviluppare politiche ambientali sostenibili, cercando di migliorare l'efficienza nei processi. Le ISO 14000 sono basate su tre strumenti:

-LCA: life Cycle Assessment
-EPE: Environmental Performance Evaluation
-EL: Environmental Labelling

L'ISO 14001 (recepita dal regolamento EMAS II) definisce l'LCA come uno strumento scientificamente valido per identificare gli aspetti ambientali, inoltre possono essere individuate: la ISO 14030 per la valutazione delle prestazioni ambientali e la ISO 14063 per la comunicazione ambientale. Mentre la ISO 14020 regolamenta dichiarazioni ambientali e diversi tipi di etichette, standardizzando le informazioni al pubblico, in

relazione agli impatti ambientali di prodotti e servizi. Infine l'esecuzione degli studi LCA è regolamentato dalla ISO 14040 "Gestione ambientale, valutazione del ciclo di vita, Principi e quadro di riferimento" mentre la ISO 14044 fornisce le linee guida per la valutazione di un LCA. Per il settore delle costruzioni settore sono state sviluppate delle norme armonizzate per la valutazione delle performance ambientali e dell'intero ciclo di vita, attraverso la formazione di un comitato tecnico europeo il "CEN TC 350, *Sustenability of Construction*", con l'obiettivo di garantire l'applicazione di strumenti e metodi per la sostenibilità di opere nuove o esistenti, utilizzando come supporto le norme ISO già esistenti nel mondo delle costruzioni (Baldo et al., 2008).

Obiettivi e struttura di una LCA

La norma ISO14040 definisce l'LCA come " una compilazione e valutazione attraverso tutto il ciclo di vita dei flussi in entrata ed in uscita, nonché i potenziali impatti ambientali, di un sistema di prodotto", uno studio LCA ha come obiettivi principali: da una parte la salvaguardia della salute dell'uomo e dell'ambiente e dall'altra il risparmio delle risorse, indirizzando le sue prime applicazione nell'industria e nello studio dei prodotti industriali (Baldo et al., 2008).

Nel corso degli anni questa metodologia è stata applicata nella valutazione dei materiali e dei prodotti da costruzione ma soprattutto nell'analisi completa di edifici dal punto di vista del ciclo di vita utile *Life Cycle*. Nella valutazione vengono incluse tutte le fasi del ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime fino alla dismissione, attraverso tre tipologie di analisi: "*cradle-to-gate*" che include gli impatti derivanti dai processi di manifattura del prodotto (dall'estrazione delle materie prime fino al cancello dell'impianto di produzione), "*gate-to-gate*" fa riferimento agli impatti associati alla sola manifattura del prodotto, "*cradle-to-grave"* include tutti gli impatti fino alla dismissione e smaltimento del prodotto (Simonen, 2014).

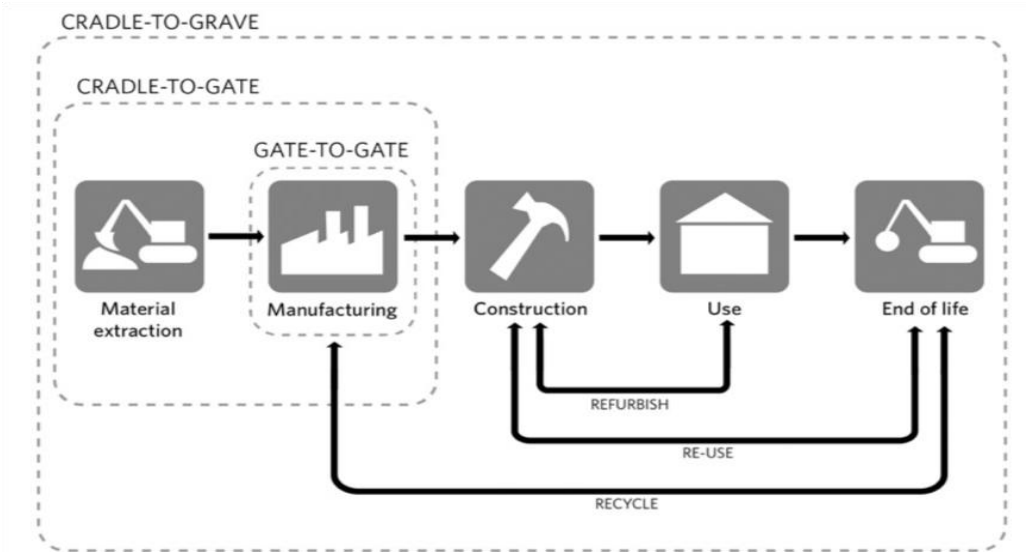


Fig.51 Schema indicante i confini del sistema per la valutazione di tipo cradle-to-gave e cradle-to-gate (Simonen, 2014).

Uno studio LCA risulta molto importante per figure quali ingegneri e architetti, come supporto della progettazione e di un processo decisionale nella scelta dei materiali da costruzione. Cercando di rispondere nel miglior modo possibile al "life cycle", selezionando varie alternative, comparando tecnologie e particolari costruttivi, per una valutazione degli impatti potenziali sull'ambiente.

All'interno di queste analisi possiamo trovare a volte delle incertezze dovute a vari aspetti, tra i quali: banche dati, metodi di allocazione, confini del sistema e unità funzionale. Inoltre a seguito di uno studio sviluppato su un ipotetico edificio è stato dimostrato che gli impatti relativi ai materiali *embodied impact* incidano il 20% dell'impatto globale dell'edificio, mentre gli impatti associati alla fase d'uso *operational impact* ammontino all'80-90% (Basbagill, 2013).

Le fasi di un LCA

In uno studio LCA *life cycle assessesmet* è possibile individuare quattro principali fasi:

01 Definizione degli scopi e degli obiettivi (Goal and Scope Definition), ISO 14044;
02 Analisi di inventario (Life Cycle Inventory Analysis, LCI), ISO 14044;
03 Analisi degli impatti (Life Cycle Impact assessment, LCIA , ISO 14044;
04 Interpretazione e miglioramento (Life Cycle Interpretation), ISO 14044.

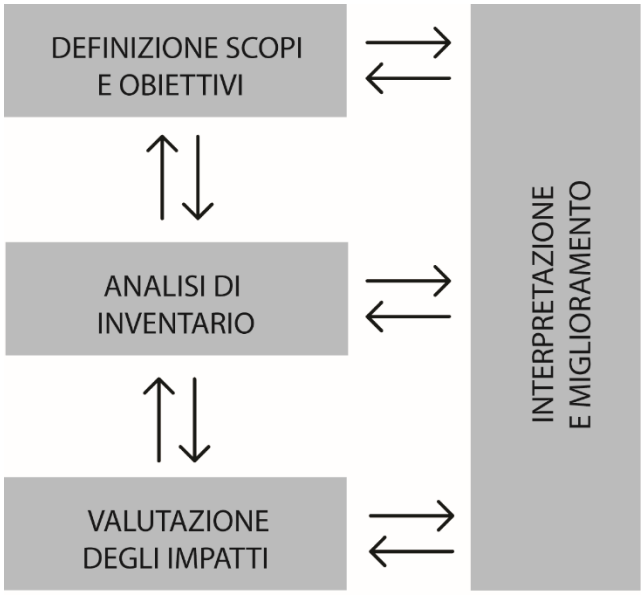


Fig.52 Schema relativo alle fasi di una valutazione LCA (elaborazione personale, adattata da: Baldo et al., 2008).

01 *Definizione degli scopi e degli obiettivi (Goal and Scope Definition)*

In questa prima fase vengono definite: le finalità e gli obiettivi dello studio LCA, il campo di applicazione, l'unità funzionale e i confini del sistema. Gli scenari di una valutazione LCA possono essere differenti a seconda degli obiettivi prefissati e della destinazione dell'analisi. In tal modo verranno delineati i confini della ricerca e l'oggetto di studio, con l'obiettivo di esprimere in modo opportuno i risultati.

02 Analisi di inventario (Inventory Analysis)

L'analisi di inventario rappresenta la fase dell'LCA in cui avviene la costruzione di un modello analogico della realtà, con il fine di rappresentare tutti gli scambi tra le singole operazioni relative alla catena produttiva effettiva (Baldo et al., 2008). In aggiunta vengono analizzate e pesate: le richieste di materie prime, di fonti energetiche e di emissioni associati ad ogni fase di ciclo di vita. I dati forniti dall'inventario sono dei dati oggettivi e solamente in un secondo momento potranno essere commentati ed elaborati in base allo scopo e gli obiettivi della valutazione. Oltre a ciò, l'interpretazione di dati così numerosi e complessi non è immediata, infatti risulta difficoltoso relazionare questa serie di dati ai loro effetti ambientali (Masoni et al., 1999).

03 Analisi degli impatti (Life Cycle Impact assessment, LCIA)

L'obiettivo dell'analisi degli impatti è quello di evidenziare le modificazioni ambientali generate dalle emissioni in ambiente e i consumi delle risorse associate ad una attività produttiva (Baldo et al., 2008). In tale ottica, tutti i dati raccolti precedentemente saranno convertiti in una serie di impatti, per valutarne gli effetti sull'ambiente. Una LCIA *Life Cycle Impact assessment* risulta così composta (ISO 14040 e ISO 14044):

- Definizione delle categorie di impatto
- Classificazione
- Caratterizzazione
- Normalizzazione dei risultati e pesatura

- *Definizione delle categorie di impatto*

Nella prima fase di una LCIA vengono classificate le categorie di impatto sui quali sarà basata la valutazione, le categorie scelte dovranno essere facilmente identificabili. In aggiunta la ricerca degli effetti ambientali da inserire è fatta tenendo conto che la significatività del risultato diminuisce, passando da effetti globali ad effetti locali (Baldo et al., 2008). Gli impatti più frequentemente analizzati risultano essere: GWP (effetto

serra), AP (acidificazione potenziale), POCP (smog fotochimico), ODP (riduzione dell'ozono stratosferico) e EP (eutrofizzazione potenziale).

-*Classificazione*

In questa fase, si passa all'organizzazione dei dati dell'inventario, distribuendo tutti i valori dei vari impatti ambientali (analisi qualitativa). Mentre la valutazione quantitativa verrà svolta nella fase successiva della caratterizzazione, considerando il fatto che ogni fattore di stress potrà avere effetti su più categorie di impatto (Baldo et al., 2008).

-*Caratterizzazione*

Dopo aver completato il processo di classificazione degli effetti ambientali, si passa alla determinazione in modo quantitativo ed omogeneo del contributo di ogni singola emissione. Riportando delle tabelle con l'elenco delle sostanze e dei rispettivi coefficienti di standardizzazione. Successivamente attraverso delle operazioni di raggruppamento e classificazione, viene assegnato un valore numerico ad ogni impatto, tenendo in considerazione: i fattori di caratterizzazione ed il livello di dettaglio desiderato (Baldo et al., 2008).

-*Normalizzazione dei risultati e pesatura (fasi opzionali)*

La normalizzazione dei risultati rappresenta un processo nel quale i valori ottenuti dalle fasi precedenti saranno ponderati attraverso la divisione per un valore di riferimento o "effetto normale", generalmente rappresentato da dei dati medi su scala: mondiale, regionale o europea. Inoltre attraverso questa procedura è possibile stabilire l'entità dell'impatto ambientale del sistema analizzato in riferimento a quello prodotto nell'area geografica in esame. Mentre nella fase di pesatura i valori precedentemente ottenuti vengono moltiplicati per fattori peso in relazione alle varie categorie di danno, infine sommando i valori ottenuti si determina un valore univoco "l'eco-indicatore" che indica l'impatto associato al prodotto nel suo ciclo di vita utile (Neri, 2008).

04 Interpretazione e miglioramento (Life Cycle Interpretation)

Gli obiettivi di un'analisi del ciclo di vita possono variare tra: sviluppo di strategie di politica e comunicazione ambientale, miglioramenti nei processi di innovazione nel prodotto secondo standard sostenibili, scelta tra alternative ecc. La norma ISO14044 definisce questa fase come "il momento in cui realizzare una valida correlazione tra i risultati dell'analisi di inventario e di quella degli impatti, per proporre utili raccomandazioni in conformità con gli scopi e gli obiettivi dello studio" (Baldo et al., 2008).

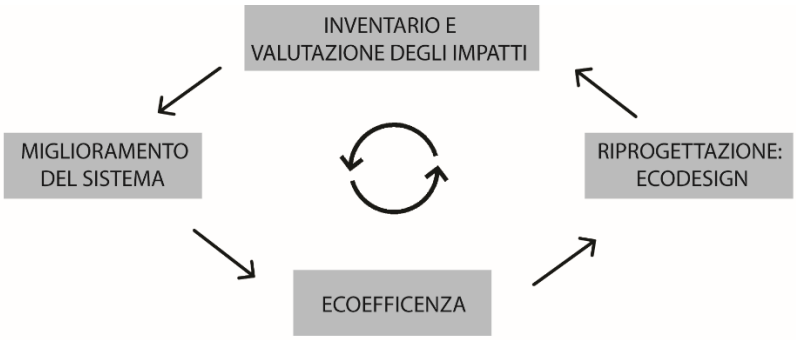


Fig.53 Schema relativo alla fase di interpretazione e miglioramento in relazione ad altre fasi di una LCA (elaborazione personale, adattata da: Baldo et al., 2008).

La norma ISO 14044 individua le fasi operative che possono essere così suddivise:

1.individuazione degli aspetti principali della valutazione, noti dalle fasi precedenti;

2.sviluppo di un'analisi di sensibilità per un ulteriore controllo;

3.conclusioni, limiti e raccomandazioni.

Potenzialità e limiti di un'analisi LCA

Potenzialità di un'analisi LCA

L'LCA può rappresentare un valido strumento di valutazione per determinare le criticità e i possibili miglioramenti ambientali di un certo elemento oggetto di studio (edificio, prodotto, ecc.). Per quanto riguarda i progettisti questo strumento è tipicamente utilizzato per scegliere tra soluzioni tecniche alternative, mentre i produttori usano la valutazione per determinare l'impatto del proprio prodotto e determinare azioni di miglioramento ambientale nelle catene di fornitura o nel processo di produzione (Lavagna, 2018).

Questo sistema di valutazione unisce il concetto di eco-compatibilità al tempo, analizzando gli impatti ambientali nell'intero ciclo di vita di un edificio, cercando di focalizzare l'attenzione sulle categorie e le fasi di maggior impatto. Attraverso queste analisi, possono essere effettuate da parte di progettisti ed aziende, delle scelte consapevoli, in riferimento a diverse tecnologie e materiali, con l'obiettivo di raggiungere la performance ottimale dal punto di vista energetico-ambientale. In tale ottica, un altro aspetto rilevante da considerare nell'applicazione di questo strumento risulta essere la possibilità di un confronto, già in fase preliminare, tra diverse soluzioni equivalenti, come nel caso preso in esame, permettendo una valutazione ambientale di ciascuna soluzione (Neri, 2008).

Punti di forza dell'LCA

1.Approccio globale di tipo *life cycle*: analisi degli impatti durante tutto il ciclo di vita del materiale, garantendo una visione più estesa degli effetti ambientali;
2.Quantificazione dei risultati: gli indicatori analizzati permettono una quantificazione degli impatti sull'ambiente;
3.Comparazione di risultati: possibilità di comparare i risultati dell'analisi con casi equivalenti, confrontando diverse ipotesi progettuali o materiali;
4.Stimolare miglioramenti: grazie a queste analisi i produttori/consumatori stimolano un miglioramento del prodotto, con il fine di ottenere la soluzione ambientalmente ed energeticamente ottimale.

Criticità di un'analisi LCA

1.Scarsa qualità degli input: talvolta vengono impiegati dati in ingresso non specifici e ricavati da contesti diversi, a causa di dati mancanti;
2.Scelte soggettive: necessità di documentare ogni fase della valutazione, con il rischio di dare giudizi soggettivi influenzando i risultati dell'analisi;
3.*Time consuming*: richiesta di molte risorse per lo sviluppo dell'analisi: dal reperimento dei dati di input, all'accesso del database finoall'interpretazione finale dei risultati;
4.Imprecisione dei risultati: in alcuni casi gli utenti potrebbero attribuire dati medi globali a risultati di precisione superiore (Simonen, 2014).

LCA in Italia

I possibili scenari di applicazione di questo strumento in ambito edilizio sono vari:

1.Analisi dei processi di produzione dei materiali e dei vari componenti dell'edificio;
2.Confronto tra soluzioni alternative (materiali e sistemi costruttivi);
3.Determinazione di etichettature ambientali di prodotto (esempio *EPDs Environmental Product Declarations*);

Nel 2006 fu sviluppata la Rete Italiana LCA, dal comitato ENEA, con l'obiettivo di creare un network per lo scambio di dati ed informazioni utili per l'analisi, cercando di coordinare i lavori di ricerca in modo settoriale per rispondere alle specifiche esigenze del contesto produttivo nazionale. In Italia attualmente le valutazioni LCA più attendibili sono state sviluppate a partire da dati di input prelevati direttamente dal mercato, anche se con delle difficoltà: costi elevati, informazioni disomogenee e segreto industriale.

In tale ottica, un altro limite è relativo alle banche dati e la loro affidabilità, infatti in alcuni casi vengono desunte informazioni da banche dati di altri paesi, con il problema del mix energetico tra un paese e l'altro. Inoltre vi è una scarsa quantità di dati provenienti da ambienti locali, per questo motivo sarebbe auspicabile una maggior diffusione di etichettature ambientali per migliorare ed implementare le banche dati nazionali. In questo caso le banche dati dovrebbero essere collegate al settore edilizio, esistono ad oggi banche dati sviluppate da ricercatori ed utenti che richiedono una specifica validazione prima dell'utilizzo. Uno studio in questo campo è stato effettuati dal gruppo di lavoro Enea (140 studi LCA), con l'obiettivo di creare una banca dati in grado di coprire il maggior numero di servizi e settori produttivi (Masoni et al., 1999).

6 – Obiettivi e ambito della valutazione del caso studio di Bellaria Igea-Marina

Definizione degli obiettivi

Gli obiettivi di questo studio LCA sono sintetizzabili in 3 punti fondamentali:

1.Analisi degli indicatori di impatto ambientale relativi alle tre soluzioni tecnologiche: legno *Xlam,* acciaio e C.A;
2.Confronto degli impatti ambientali associati ai tre edifici;
3.Determinazione dei valori di impatto ambientale in riferimento ai m^2 di superficie utile delle tre soluzioni costruttive, con il fine di un confronto parametrico con future soluzioni progettuali.

A tal proposito, la valutazione relativa al punto 1 è stata sviluppata calcolando l'incidenza delle fonti energetiche rinnovabili rispetto al fabbisogno globale dell'edificio, con il fine di calcolare il fabbisogno da fonti rinnovabili FER (*Embodied Energy- Abiotic Depletion Potential*). Il confronto degli impatti ambientali dei tre edifici ha permesso di determinare la miglior soluzione dal punto di vista ambientale. Infine tali impatti sono stati indicati con riferimento alla s.u dell'edificio, da cui è stato possibile il confronto parametrico con altri edifici di riferimento.

Definizione dei confini del sistema

Per l'analisi LCA della palazzina residenziale costruita nella città di Bellaria Igea Marina, sono state prese in considerazione alcune fasi del ciclo di vita utile dell'edificio. Facendo riferimento alle raccomandazioni della UNI EN15978 (2011) "Sostenibilità delle costruzioni" e del CEN/TC 350 "Sostenibilità in edilizia", si è effettuata una schematizzazione delle fasi prese in esame:

A.Preuso: in questa fase, sono state prese in considerazione: l'estrazione e l'approvvigionamento delle materie prime, il trasporto negli stabilimenti di produzione, la produzione dei materiali e il trasporto in cantiere. Mente sono state escluse: la costruzione e l'installazione in sito (esclusione di manodopera ed attrezzature).

B.Uso: nella fase d'uso dell'edificio è stato considerato un arco temporale di 50 anni (vita nominale di un edificio, NTC 2018 – Norme tecniche delle costruzioni), includendo eventuali sostituzioni dei materiali, dall'altra escludendo opere di riparazione e pulizia. Inoltre non è stata considerata la fase di esercizio riferita al fabbisogno di energia.

C.Fine vita: in questa fase è stato considerato il trasporto dei rifiuti in discarica e il loro trattamento e smaltimento, con l'esclusione: del riciclo dei materiali e dei consumi energetici dovuti alla fase di demolizione o decostruzione dell'edificio.

Definizione dell'unità funzionale

L'unità funzionale presa in considerazione è la palazzina residenziale costruita a Bellaria Igea Marina (RN), con riferimento ad una durata temporale di 50 anni e una estensione spaziale di 1m^2 di superficie utile. Dunque è stato possibile determinare come unità funzionale – u.f.= unità di misura/m^2 s.u.*anno.

Fig.54 Schema relativo ai confini fisici del sistema considerato per l'analisi LCA (elaborazione personale).

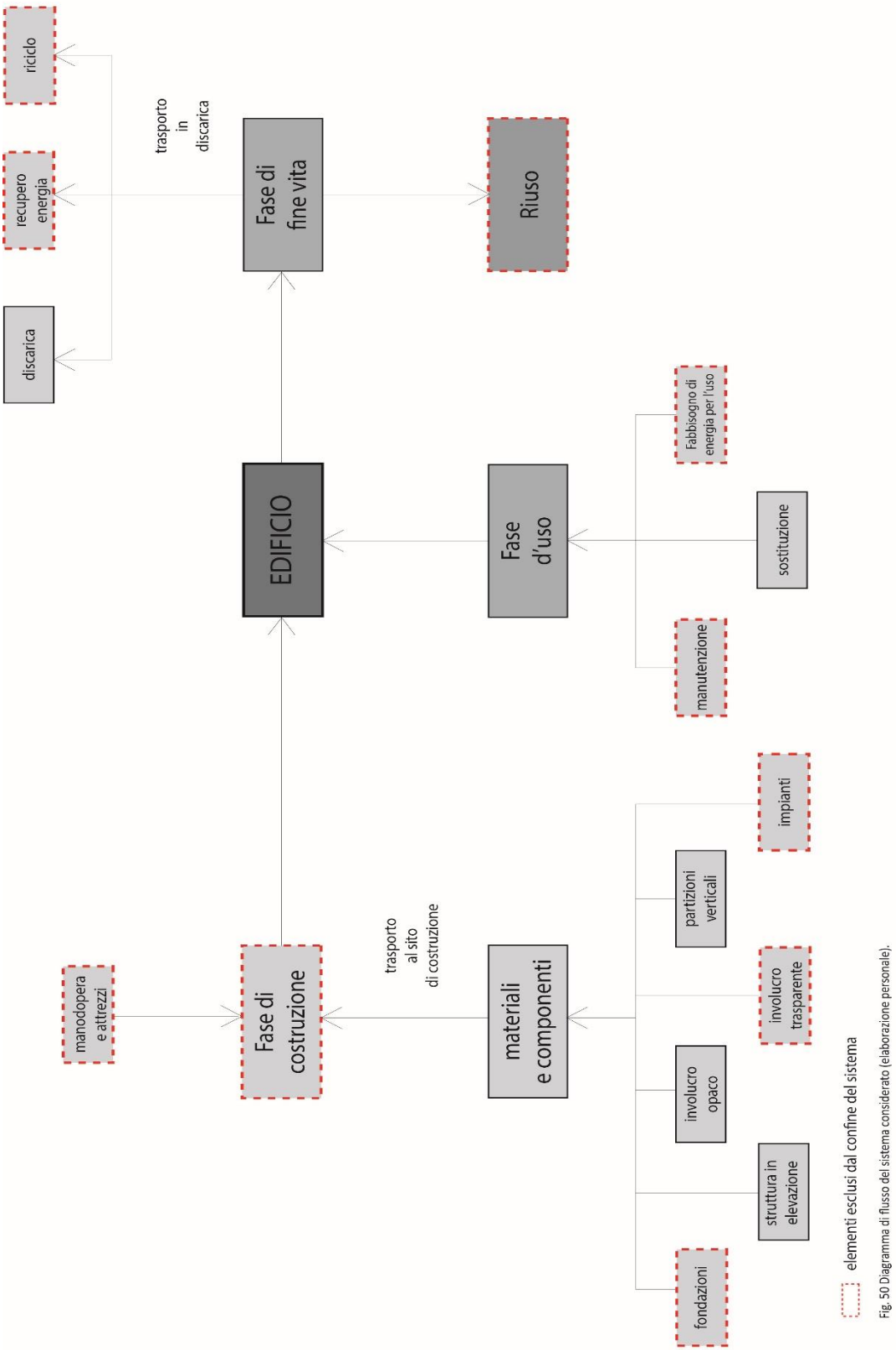


Fig. 50 Diagramma di flusso del sistema considerato (elaborazione personale).

7 – Analisi dell'inventario rispetto al caso studio

In questa fase avviene il reperimento di tutti i dati e le informazioni necessarie per lo svolgimento della valutazione LCA. Nella Tab., sono indicati per ciascuna fase del ciclo di vita i metodi di raccolta dei dati e le relative fonti, con il fine di precisare: il consumo di energia e risorse e le emissioni di inquinanti. I dati relativi a questa tabella derivano in parte dal progettista, in parte ricavati dalla letteratura e dai database inseriti nello strumento di calcolo. Si è inoltre eseguito un computo metrico relativo ai tre edifici, con lo scopo di individuare le quantità dei materiali da inserire nel programma di calcolo. Per ogni edificio è stato eseguito un calcolo delle quantità di materiale relativo ad ogni pacchetto stratigrafico (allegato), tenendo conto della percentuale di aperture (serramenti ed infissi). Il Programma utilizzato per la modellazione, denominato *eTool*, ha permesso la definizione qualitativa e quantitativa di tutti i materiali relativi all'inventario precedentemente svolto. Per i trasporti è stato previsto l'utilizzo di una voce generica *rigid truck* cioè camion merci (trasporto su gomma), sia per i trasporti in cantiere, sia per quelli relativi alla discarica.

Fase ciclo di vita	Sotto fase	Unità di processo intermedio	Dato	Voce	Risorse
A.PRE USO	Produzione	Estrazione materie prime	input	Consumo di energia (fonti rinnovabili e non rinnovabili), derivante dall'estrazione delle materie prime	Banca dati eTool
			output	Consumo di acqua derivante dall'estrazione delle materie prime	Banca dati eTool
		Trasporto delle materie prime negli stabilimenti di produzione	input	Consumo di carburante per il trasporto delle materie verso gli stabilimenti di produzione	Banca dati eTool
			output	Emissioni derivanti dal trasporto agli stabilimenti di produzione	Banca dati eTool

		Manifattura e trasformazione delle materie prime	input	Consumo di energia (fonti rinnovabili e non rinnovabili), per la trasformazione delle materie prime	Banca dati eTool
			output	Consumo di acqua per la trasformazione delle materie prime	Banca dati eTool
A.USO	Manutenzione	Manutenzione straordinaria	input	Consumo di energia (fonti rinnovabili e non rinnovabili), per lla sostituzione dei materiali	Banca dati eTool
			output	Consumo di acqua per la sostituzione	Banca dati eTool
		Trasporto, manodopera e attrezzature per la manutenzione	input	Consumo di carburante per il trasporto delle: attrezzature, materiali e manodopera	Banca dati eTool
			output	Emissioni derivanti ai trasporti	Banca dati eTool
C.FINE VITA	Smaltimento dei rifiuti	Processo di smaltimento	input	Consumo di energia (fonti rinnovabili e non rinnovabili), per: il trattamento e lo smaltimeto dei rifiuti	Banca dati eTool
			output	Emissioni legate al trattamento e smaltimento dei rifiuti in discatica	Banca dati eTool
		Trasporto dei rifiuti	input	Consumo di carburante per il trasporto in discarica	Banca dati eTool
			output	Emissioni legate al trasporto il discarica	Banca dati eTool

Tabella.22 Metodi reperimento dati inventario. (elaborazione personale).

Descrizione del software eTool

Il software *eTool* è una piattaforma online gratuita, utilizzata per valutare a livello energetico-ambientale gli edifici e i loro componenti, nel ciclo di vita . Questo strumento può essere utilizzato in qualsiasi fase della progettazione, consentendo agli utenti di apportare modifiche e migliorie anche in corso d'opera.

Il concetto di ciclo di vita è alla base del programma, facendo riferimento a tutti gli aspetti coinvolti nel ciclo di vita utile dell' edificio. Il *dataset* di *eTool* deriva da 3 database differenti:

-*AusLCI*: database principale per il software

-*Australian Database*: utilizzato per i processi non contemplati in *AusLCI*

-*Ecoinvent*: riferito ai flussi di energia e materia dei processi minori

Per i dati di output il software elabora i dati in modo coerente agli standard internazionali, come definiti dalla ISO 14044 e la EN 15978, mentre dal punto di vista della modalità di approccio il programma include aspetti: ambientali, sociali ed economici (visione olistica della sostenibilità). L'obiettivo primario del software è quello di ridurre l'inquinamento prodotto dall'edificio nel suo ciclo di vita utile, questo è reso possibile grazie ad una serie di indicatori ambientali, descritti nel cap.8.

Per lo svolgimento della valutazione possono essere individuati 4 passaggi:

1-Individuazione del progetto

2-Definizione della libreria riferita ai materiali e i componenti

3-Inserimento dei *template* nel progetto

4-Sviluppo di *Report* per la visualizzazione e analisi dei risultati

Analisi dell'inventario fase di pre-uso

Per quanto riguarda questa fase, sono stati inseriti in una tabella tutti i dati relativi ai materiali ed alle loro caratteristiche, aggiungendo il trasporto dei materiali in cantiere (trasporto su gomma generica *rigid truck,* camion merci) e le relative distanze (allegato).

Analisi dell'inventario fase d'uso

Nella fase d'uso sono stati inseriti in tabella tutti i dati relativi alla durata di vita dei materiali (ricavati da testi specifici) e in relazione a questo il numero di sostituzioni necessarie riferite all'arco temporale della seguente analisi (50 anni) (allegato.3).

Analisi dell'inventario fase di fine vita

In questa fase è stata riportata una tabella con i dati relativi: ai materiali, alla loro percentuale di riciclo, al mezzo di trasporto in discarica e al chilometraggio necessario per le tratte stradali in esame (allegato). A tal proposito si è scelto di considerare la discarica di come centro di raccolta di tutti i materiali in seguito al loro fine vita, sempre facendo riferimento ad un trasporto su gomma generica *rigid truck* cioè camion merci con una distanza della discarica dal sito dove è collocato l'edificio di 30km per tutti i materiali da costruzione.

8 – Analisi degli impatti ambientali rispetto al caso studio

I dati raccolti nella fase di inventario forniscono un punto di partenza per l'analisi degli impatti ambientali, questa fase specifica dell'LCA è denominata LCIA *Life Cycle Impact Assessment.* L'obiettivo è una valutazione dei consumi e delle emissioni in rifermento a specifiche categorie di impatto del sistema in esame. A tal proposito, le norme ISO 14040 e ISO14044 definiscono la struttura di un LCIA e i passaggi da cui è composta:

1.Definizione delle categorie di impatto ambientale e degli indicatori per ciascuna categoria;
2.Assegnazione delle categorie di impatto ad ogni dato di inventario (Classificazione);
3. Attribuzione dei fattori di caratterizzazione per il calcolo dell'impatto ambientale degli indicatori (Caratterizzazione);
4.Confronto dei indicatori ambientale con dei valori nominali di riferimento e individuazione delle categorie più impattanti (Normalizzazione);
5.Conferimento dei pesi ai risultati ottenuti per ogni categoria di impatto (Pesatura).

Per quanto riguarda la presente valutazione le fasi di classificazione e caratterizzazione sono state analizzate grazie al programma *eTool* mentre le fasi di normalizzazione e pesatura, sono state escluse dall'analisi, in quanto non obbligatorie dalla norma ISO 14040.

Definizione degli indicatori di impatto ambientale

Ai fini della presente ricerca si è scelto di analizzare gli indicatori di impatto ambientale della metodologia CML-IA, essendo uno dei metodi più utilizzati. Partendo da tale metodo sono stati selezionati alcuni indicatori, più altri due indicatori: EE *Embodied Energy* e WF *Water Footprint,* ritenuti significativi ai fini della valutazione.

1.GWP *Global Warming Potential*: indica i quantitativi di gas serra immessi in ambiente, misurando il potenziale contributo che una sostanza arreca all'effetto serra;
2.EE *Embodied Energy*: esprime il fabbisogno di energia primaria necessaria al prodotto durante il suo ciclo di vita (realizzazione, utilizzo e smaltimento);
3.ADPF *Abiotic Depletion Potential of Fossil Fuels*: fornisce l'indicazione del consumo di combustibili fossili riferiti all'*Embodied Energy*;
4.AP *Acidification Potential*: indica l'aumento di acidità causato dall'emissione in aria di sostanze acidificanti (ossido di azoto e ossido di zolfo) con il conseguente deposito al suolo;
5.EP *Eutrophication Potential*: indica la riduzione della qualità dell'acqua riferita all'ecosistema locale, dovuta alla sovrabbondanza a livello acquatico di sostanze nutrienti responsabili della proliferazione delle alghe e piante;
6.POCP *Photochemical Ozone Creation potential*: definito anche smog, esprime l'inquinamento dell'aria prodotto da una reazione tra: raggi solari, calore e composti organici volatili VOCs.
7.ODP *Ozone Depletion potential*: determina il valore di degrado della fascia di ozono che può causare un composto chimico;
8.ARD *Abiotic Resource Depletion*: fornisce l'indicazione sul consumo combinato delle risorse abiotiche minerarie a quelle derivanti da fonti fossili;
9.WF *Water Footprint*: indica il consumo delle fonti di acqua dolce, in particolare relazionate alle fonti energetiche non rinnovabili.

A tal proposito, si è deciso di separare il contributo energetico derivante da fonti fossili da quello derivante da fonti rinnovabili, analizzando entrambi gli indicatori energetici: EE e ADPF. D'altra parte la scelta di considerare l'indicatore GWP ha permesso di valutare l'emissione della CO_2. Inoltre sono stati inclusi gli indicatori AP Potenziale di acidificazione e EP Eutrofizzazione con l'obiettivo di esaminare l'immissione di nutrienti in natura, spesso collegata all'uso di fertilizzanti. La valutazione del potenziale inquinamento prodotto dai trasporti in tutto il ciclo di vita, è risultato possibile grazie all'indicatore POCP Smog Fotochimico. Infine è stato incluso un ultimo indicatore *Water Footprint*, relativo al consumo d'acqua, indicatore particolarmente importante poiché vi è un interesse sempre crescente rispetto all'esaurimento di questa risorsa.

In tale ottica la determinazione degli indicatori sopra descritti è in linea con le norme ISO 14040, in aggiunta tali indici si ritengono sufficienti nella descrizione del grado di compatibilità ambientale riferito ai tre sistemi costruttivi riferiti al caso studio in esame.

Categoria di impatto ambientale	Scala	Indicatori (mid point)		Cause di impatto ambientale	Effetti ambientali
Consumo di fonti energetiche	Globale	Embodied Energy	EE	Consumo dei combustili fossili dovuti ai processi di: produzione, trasporto e smaltimento dei materiali; Consumo di fonti energetiche: rinnovabili e non rinnovabili	Esaurimento delle fonti energetiche rinnovabili e non rinnovabili presenti in natura
Consumo di fonti energetiche	Globale	Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels	ADPF	Consumo dei combustili fossili dovuti ai processi di: produzione, trasporto e smaltimento dei materiali	Esaurimento delle fonti energetiche non rinnovabili presenti in natura
Consumo di risorse	Globale	Water Footprint	WF	Utilizzo d'acqua per la produzione e l'irrigazione dei campi	Riduzione delle risorse idriche in natura

Categoria di impatto ambientale	Scala	Indicatori (mid point)	Simbologia	Emissioni e sostanze dannose	Fonti emissioni e sostanze dannose	Effetti ambientali
Riscaldamento globale potenziale	Globale	Global Warming potential	GWP	Gas a effetto serra GHG: CH_2, N_2O, CO_2 ecc..	Produzione materiali edili; Processi biologici; Processi di generazione di energia	Effetto serra
Acidificazione	Regionale Locale	Acidification Potential	AP	So_x (ossido di zolfo), No_x (ossido di azoto), NH_3 (ammoniaca)	Trasporti; Energia; Processi industriali; Produzione e consumo di energia; Pratiche agricole	Acidificazione del suolo e dell'acqua; Corrosione edifici; Pioggie acide
Smog fotochimico	Regionale Locale	Photochemical Ozone Creation Potential	POCP	N (azoto), P (fosforo)	Deflussi agricoli, urbani che apportano nutrienti in acqua	Sviluppo di ozono dannoso; Riduzione della qualità dell'aria
Eutrofizzazione	Regionale Locale	Eutrophication Potential	EP	N (azoto), P (fosforo)	Utilizzo di materiali, solventi con rilascio di VOCs	Sovrabbondanza nell'attività biologica negli ecosistemi acquatici
Consumo di risorse	Globale	Abiotic Resource Depletion Minerals and Energy	ARD	Consumo di fonti energetiche: rinnovabili e non rinnovabili; Consumo di risorse minerarie		Riduzione di risorse abiotiche minerarie e di fonti energetiche non rinnovabili

Tabella.23 Tabella categorie e indicatori di impatto ambientale riferiti all'emissione di sostanze inquinanti (elaborazione personale).

Categoria di impatto ambientale	Scala	Metodologia di calcolo	Indicatore	Simbolo	u.m.
Riscaldamento globale potenziale	Globale	CML-IA baseline 4.5	Global Warming Potential	GWP	$kgCO_2eq$
Consumo di fonti energetiche	Globale	CML-IA baseline 4.5	Embodied Energy	EE	MJ
			Abiotic Depletion Potential of fossil fuel	ADPF	MJ
Consumo di risorse	Globale	CML-IA baseline 4.5	Water Footprint	WF	m^3 deprived
			Abiotic Resource Depletion-Minerals and Energy	ARD	kg Sb eq
Acidificazione	Regionale, locale	CML-IA baseline 4.5	Acidification potential	AP	kg SO_2 eq
Eutrofizzazione	Regionale, locale	CML-IA baseline 4.5	Eutrophication Potential	EP	kg PO_4 eq
Smog fotochimico	Regionale, locale	CML-IA baseline 4.5	Photochemical Ozone	POCP	kg ethylene

Tabella.24 Tabella rappresentante: le categorie di impatto ambientale, i software e i relativi metodi di calcolo, (elaborazione personale).

Metodi di caratterizzazione

I metodi di caratterizzazione utilizzati per l'analisi, riferiti al software e*Tool* sono:

1.*L'Australian indicator set* (versione 6)

2.CML-IA *baseline* (versione 4.5)

Australian Indicator Set

L'*Australian indicator set* è caratterizzato da 11 categorie di impatto, relative a indicatori ambientali (*mid point*), come descritto in Tab. Il metodo è basato su un solo fattore di pesatura *weithing factor*, in rapporto al potenziale di riscaldamento-GWP (t CO_2 eq), costituendo così uno dei limiti del metodo di valutazione.

CML-IA baseline

Il metodo CML è stato sviluppato a Leiden (Olanda) nel 1992 dal cento CML *Centre of Environmental Science.* Tale sistema di valutazione è caratterizzato da un approccio di tipo *midpoint* che permette di analizzare gli impatti e i relativi indici, comunemente utilizzati nell'LCA. All'interno di tale metodo sono state individuate tali categorie di impatto:

1.Categorie di impatto comunemente utilizzate in una valutazione LCA (obbligatorie);
2.Categorie di impatto nel quale non risulta possibile individuare i valori di caratterizzazione (non obbligatorie);
3.Altri tipi di impatto per cui non risulta possibile individuare i valori di caratterizzazione (non obbligatorie).

Inoltre tale metodo fornisce una serie di fattori di normalizzazione che consentono la comparazione dei singoli contributi di impatto con i valori di riferimento. Questi fattori sono di seguito elencati: World (1990), World (1995), World (2000), EU25, EU25+3 (2000), West Europe (1995) e The Netherlands (1997).

Valori di impatto ambientale dell'edificio in legno Xlam

Dal punto di vista degli impatti ambientali derivanti dall'edificio in legno Xlam, con un tempo di riferimento di 50 anni, sono state determinate le fasi di ciclo di vita con maggiore incidenza, in rapporto ad ogni indicatore ambientale. A tal proposito è possibile designare le fasi di produzione e trasporto come le fasi con maggiore impatto, mentre la fase di fine vita risulta la meno impattante. Di seguito sono riportante le singole analisi riferite ai singoli indicatori di impatto ambientale.

Impatti ambientali struttura in Xlam	Fasi						Totale impatto
	Produzione	Trasporto	Recurring	Energia utile	Fine vita	Riutilizzo prodotto	
Global Warming potential - GWP (kg CO2 eq / m^2 s.u.*anno)	6.01	8.00E-01	5.00	/	3.12	-5.08E-01	**14.42**
Ozone Depletion Potential - ODP (kg CFC-11 eq / m^2 s.u.*anno)	2.48E-03	9.19E-02	4.40E-02	/	3.15E-02	-6.91E-04	**1.69E-01**
Acidification Potential for Soil and Water - AP (kg SO_2 eq. / m^2 s.u.*anno)	2.46E-02	5.85E-03	1.02E-02	/	1.21E-03	-2.52E-03	**3.93E-02**
Eutrophication Potential - EP (kg PO_4--- eq / m^2 s.u.*anno)	5.36E-03	1.29E-03	2.03E-03	/	2.72E-04	-3.97E-04	**8.57E-03**
Photochemical Ozone Creation Potential - POCP (kg ethylene / m^2 s.u.*anno)	6.10E-03	1.71E-04	1.61E-03	/	6.27E-04	-3.58E-04	**8.15E-03**
Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF (MJ / m^2 s.u.*anno)	107.23	2.21E-01	69.19	50.04	2.75E-01	-5.63E+00	**221.33**
Embodied Energy - EE (MJ NCV / m^2 s.u.*anno)	157.88	4.80E-01	74.59	50.04	2.90E-01	-5.80E+00	**277.48**
Water Footprint (m3 deprived / m2 s.u.*anno)	4.14E-02	1.04E-03	0.03	/	1.34E-03	-2.20E-03	**0.07**

*Tabella.25 Edificio in legno Xlam: valori di impatto ambientale nel ciclo di vita dell'edificio, espressi in m^2 di s.u.*anno (elaborazione personale).*

GWP-Global Warming Potential

Fasi	Global Warming potential - GWP (kg CO_2 eq / m^2 s.u.*anno)
Produzione	6.01
Trasporto	0.80
Recurring	5.00
Fine vita	3.12
Riutilizzo prodotto	-5.08E-01
Totale	**14.43**

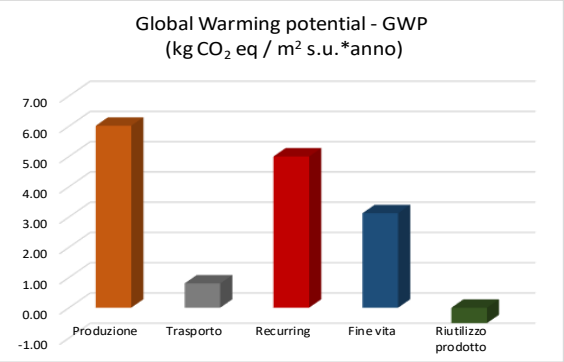


Fig.56 Grafico GWP Global Warming Potential per l'edificio in legno Xlam, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

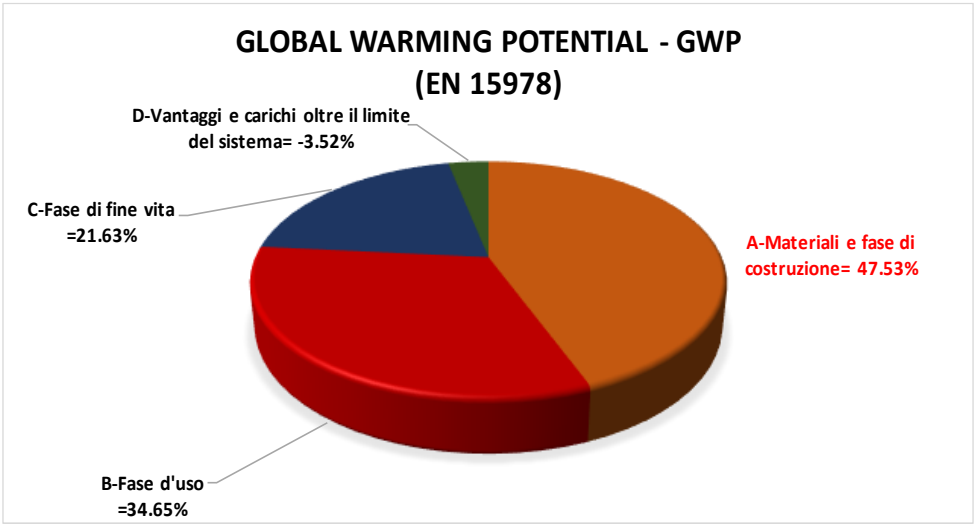


Fig.57 Grafico GWP Global Warming Potential per l'edificio in legno Xlam, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Dall'analisi dell'indicatore ambientale GWP *Global Warming Potential* si desume come la fase di produzione dei materiali (6,01 kg CO_2 eq / m^2 s.u.*anno) e la fase di recurring (5,00 kg CO_2 eq / m^2 s.u.*anno) siano le operazioni più impattanti dal punto di vista di kg di CO_2 immessa in ambiente. Inoltre come si evince dal grafico in fig. in riferimento alla norma EN 15978, la fase A (materiali e fasi di costruzione), incide circa il 48% rispetto al consumo globale di kg CO_2 eq.

EE - *Embodied Energy*

Fasi	Embodied Energy - EE (MJ NCV / m² s.u.*anno)
Produzione	157.88
Trasporto	4.80E-01
Recurring	74.59
Energia utile $Q_{H,nd}$	5.00E+01
Fine vita	2.90E-01
Riutilizzo prodotto	-5.80E+00
Totale	**277.48**

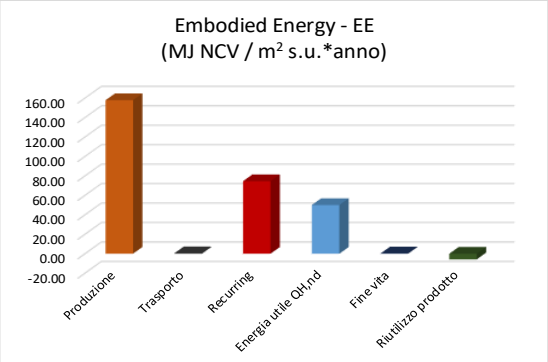


Fig.58 Grafico EE Embodied Energy per l'edificio in legno Xlam, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

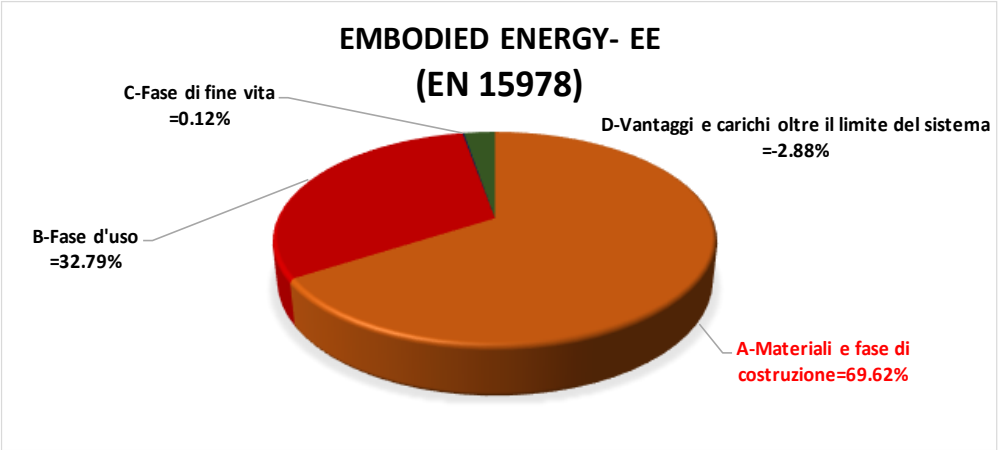


Fig.59 Grafico EE Embodied Energy per l'edificio in legno Xlam, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Il grafico riportato in fig. mostra per l'indicatore ambientale EE *Embodied Energy* una predominanza degli effetti ambientali in riferimento alla fase di produzione dei materiali (157,88 MJ NCV / m² s.u.*anno). In aggiunta si evince che la fase A (materiali e fasi di costruzione), riferita alla norma EN 15978, incide circa l'70% dell'impatto globale.

ADPF - *Abiotic Depletion Potential of Fossil Fuels*

Fasi	Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF (MJ / m^2 s.u.*anno)
Produzione	107.23
Trasporto	2.21E-01
Recurring	69.2
Energia utile Q_H,nd	5.00E+01
Fine vita	2.75E-01
Riutilizzo prodotto	-5.63E+00
Totale	**221.33**

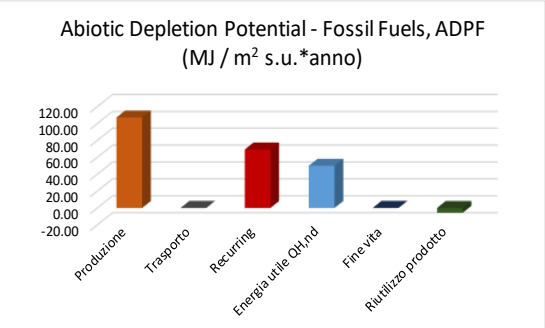


Fig.60 Grafico ADPF Abiotic Depletion Potential of fossil fuel per l'edificio in legno Xlam, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

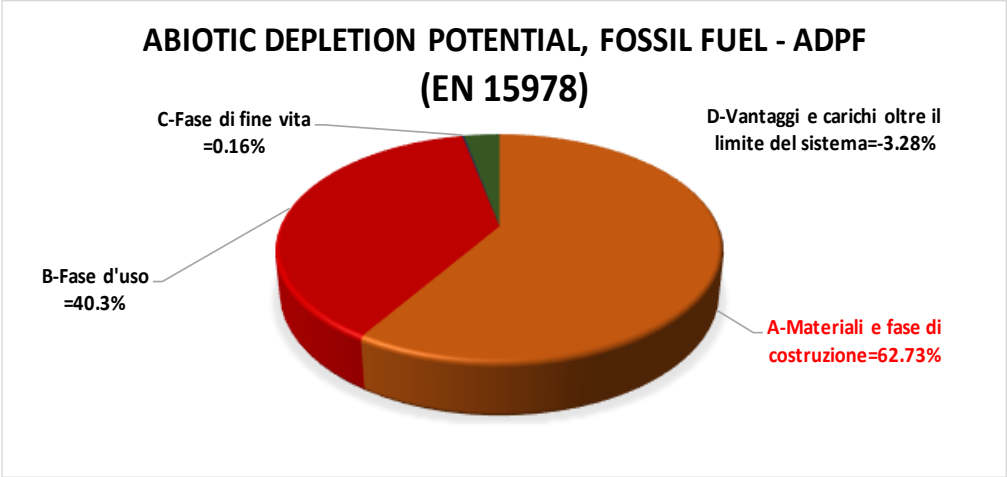


Fig.61 Grafico ADPF Abiotic Depletion Potential of fossil fuel per l'edificio in legno Xlam, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Per l'indicatore ADPF *Abiotic Depletion Potential of Fossil Fuels* la fase di maggior impatto ambientale risulta essere la fase di produzione dei materiali (107,23 MJ NCV / m^2 s.u.*anno). In aggiunta si evince che la fase A (materiali e fasi di costruzione), riferita alla norma EN 15978, incide circa l'63% dell'impatto globale.

AP - *Acidification Potential*

Fasi	Acidification Potential for Soil and Water - AP (kg SO_2 eq. / m^2 s.u.*anno)
Produzione	0.02
Trasporto	5.85E-03
Recurring	1.02E-02
Fine vita	1.21E-03
Riutilizzo prodotto	-2.52E-03
Totale	**3.93E-02**

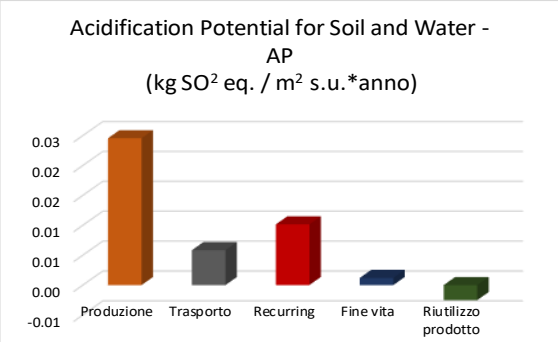


Fig.62 Grafico AF Acidification Potential per l'edificio in legno Xlam, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

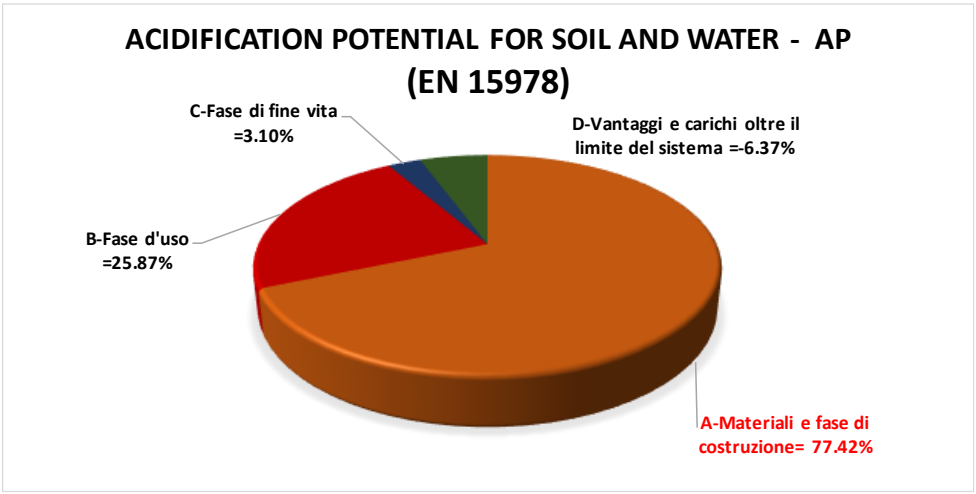


Fig.63 Grafico ADPF Abiotic Depletion Potential of fossil fuel per l'edificio in LEGNO Xlam, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Il grafico riportato in fig. mostra per l'indicatore ambientale AP *Acidification Potential* una predominanza degli effetti ambientali in riferimento alla fase di produzione dei materiali (0.02 kg SO_2 eq / m^2 s.u.*anno). In aggiunta si evince che la fase A (materiali e fasi di costruzione), riferita alla norma EN 15978, incide circa IL 78% dell'impatto globale.

EP - *Eutrophication Potential*

Fasi	Eutrophication Potential - EP (kg PO_4 eq / m^2 s.u.*anno)
Produzione	0.01
Trasporto	1.29E-03
Recurring	2.03E-03
Fine vita	2.72E-04
Riutilizzo prodotto	-3.97E-04
Totale	**8.57E-03**

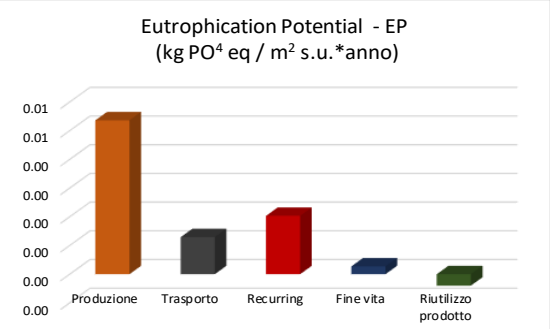


Fig.64 Grafico EP Eutrophication Potential per l'edificio in legno Xlam, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

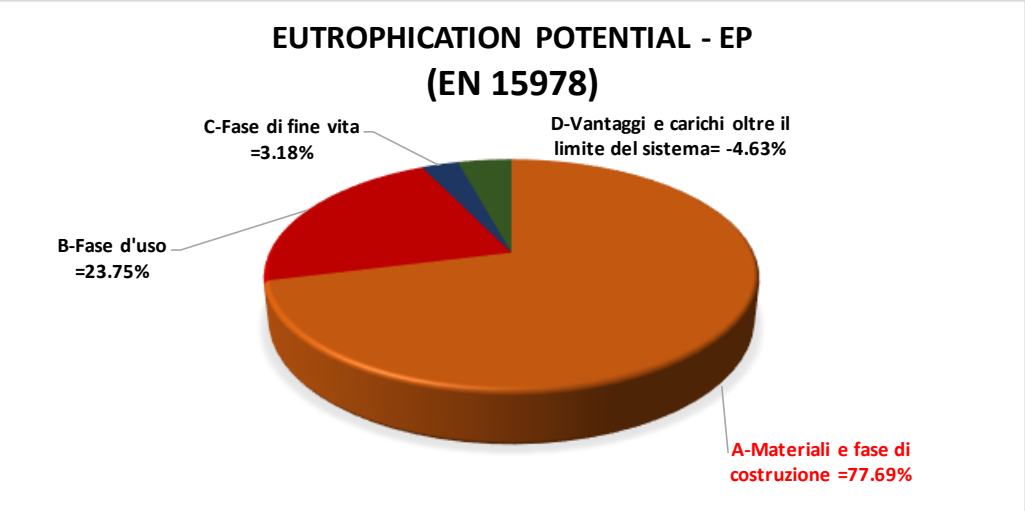


Fig.65 Grafico EP Eutrophication Potential per l'edificio in legno Xlam, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Il grafico riportato in fig. mostra per l'indicatore ambientale EP *Eutrophication Potential* una predominanza degli effetti ambientali in riferimento alla fase di produzione dei materiali (0,01 kg PO_4 eq/ m^2 s.u.*anno). In aggiunta si evince che la fase A (materiali e fasi di costruzione), riferita alla norma EN 15978, incide circa il 78% dell'impatto globale.

POCP - *Photochemical Ozone Creation potential*

Fasi	Photochemical Ozone Creation Potential - POCP (kg ethylene / m^2 s.u.*anno
Produzione	0.006
Trasporto	1.71E-04
Recurring	1.61E-03
Fine vita	6.27E-04
Riutilizzo prodotto	-3.58E-04
Totale	**8.15E-03**

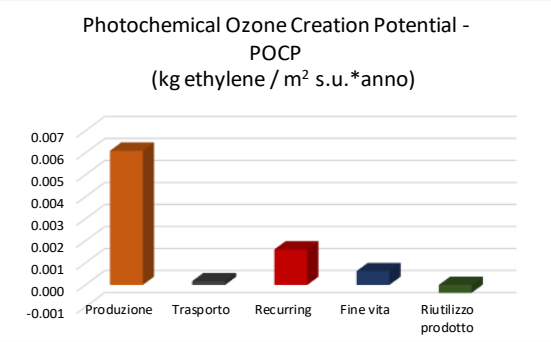


Fig.66 Grafico POCP Photochemical Ozone Creation Potential per l'edificio in legno Xlam, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

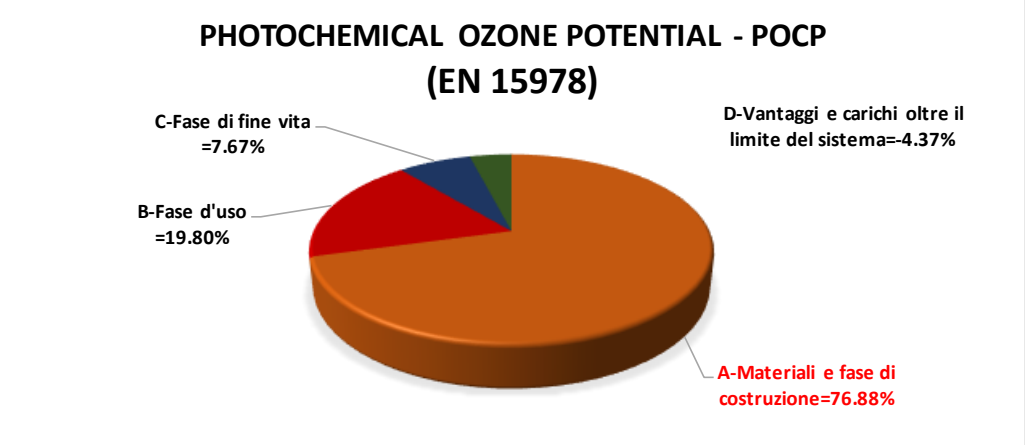


Fig.67 Grafico POCP Photochemical Ozone Creation Potential per l'edificio in legno Xlam, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Per quanto concerne l'indicatore POCP *Photochemical Ozone Creation potential* la fase di maggior impatto ambientale risulta essere la fase di produzione (0,006 kg ethylene / m^2 s.u.*anno). In aggiunta si evince che la fase A (materiali e fasi di costruzione), riferita alla norma EN 15978, incide circa l'77% dell'impatto globale.

ODP - *Ozone Depletion potential*

Fasi	Ozone Depletion Potential - ODP (kg CFC-11 eq / m² s.u.*anno
Produzione	2.48E-03
Trasporto	9.19E-02
Recurring	4.40E-02
Fine vita	3.15E-02
Riutilizzo prodotto	-6.91E-04
Totale	**1.69E-01**

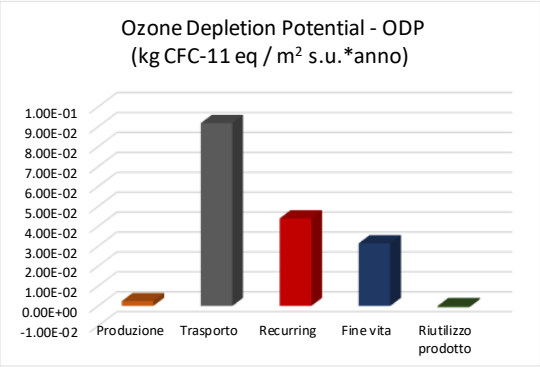


Fig.68 Grafico ODP - Ozone Depletion potential per l'edificio in legno Xlam, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

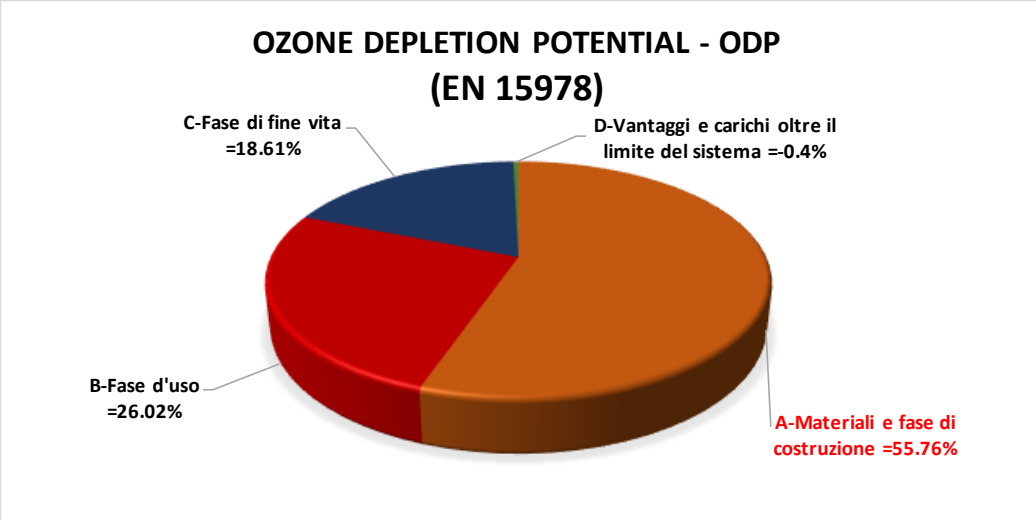


Fig.69 Grafico ODP Ozone Depletion Potential per l'edificio in legno Xlam, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Dal punto di vista dell'indicatore ambientale ODP *Ozone Depletion potential* si evince come la fase di trasporto sia l'operazione più impattante dal punto di vista di kg di CFC-11eq immessa in ambiente (9,19E-02 kg di CFC-11eq /m² s.u.*anno), a danno dello strato di ozono. Inoltre come si evince dal grafico in fig. in riferimento alla norma EN 15978, la fase A (materiali e fasi di costruzione), incide circa il 56% rispetto al consumo globale di kg di CFC-11eq.

ARD - *Abiotic Resource Depletion*

Fasi	Abiotic Resource Depletion Minerals and Energy (kgSbe / m² s.u.*anno)
Produzione	0.05
Trasporto	8.50E-05
Recurring	3.23E-02
Fine vita	1.37E-04
Riutilizzo prodotto	-3.20E-03
Totale	**7.46E-02**

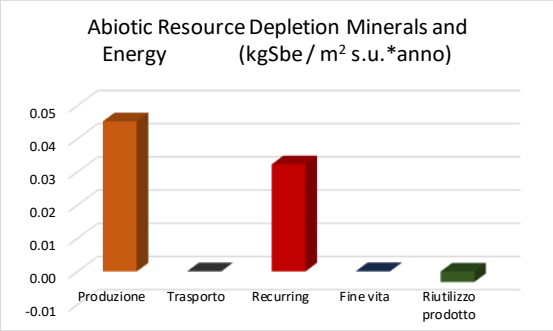


Fig.70 Grafico ARD Abotic Resource Depletion Minerals and Energy per l'edificio in legno Xlam, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

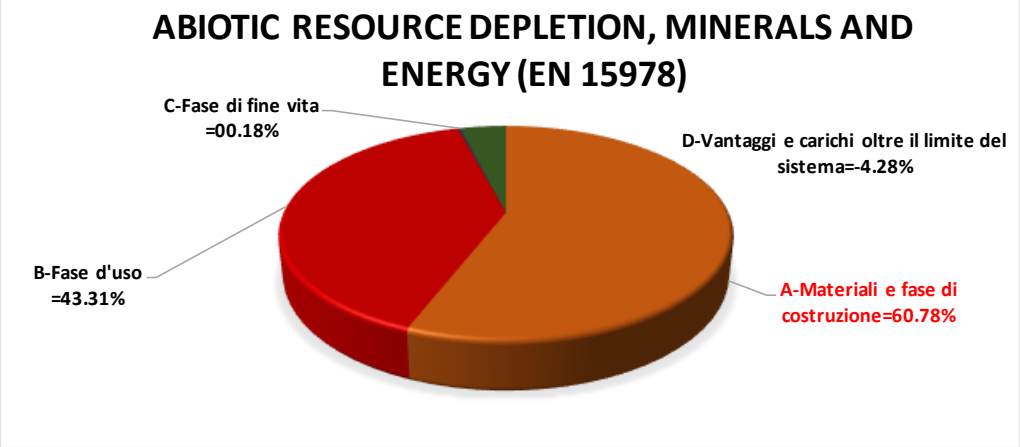


Fig.71 Grafico ARD Abotic Resource Depletion Minerals and per l'edificio in legno Xlam, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Il grafico riportato in fig. mostra per l'indicatore ambientale EP *Eutrophication Potential* una predominanza degli effetti ambientali in riferimento alla fase di produzione dei materiali (0,05 kgSbe/ m² s.u.*anno) e alla fase di recurring (3,23E-02 kgSbe/ m² s.u.*anno) . In aggiunta si evince che la fase A (materiali e fasi di costruzione), riferita alla norma EN 15978, incide circa l'60% dell'impatto globale.

WF - *Water Footprint*

Fasi	Water Footprint (m^3 deprived / m^2 s.u.*anno
Produzione	0.04
Trasporto	1.04E-03
Recurring	3.32E-02
Fine vita	1.34E-03
Riutilizzo prodotto	-2.20E-03
Totale	**7.47E-02**

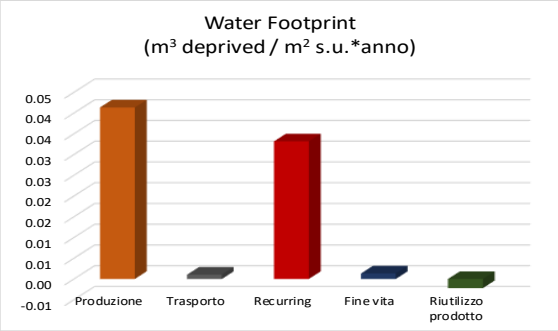


Fig.72 Grafico WF Water footprint per l'edificio in legno Xlam, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

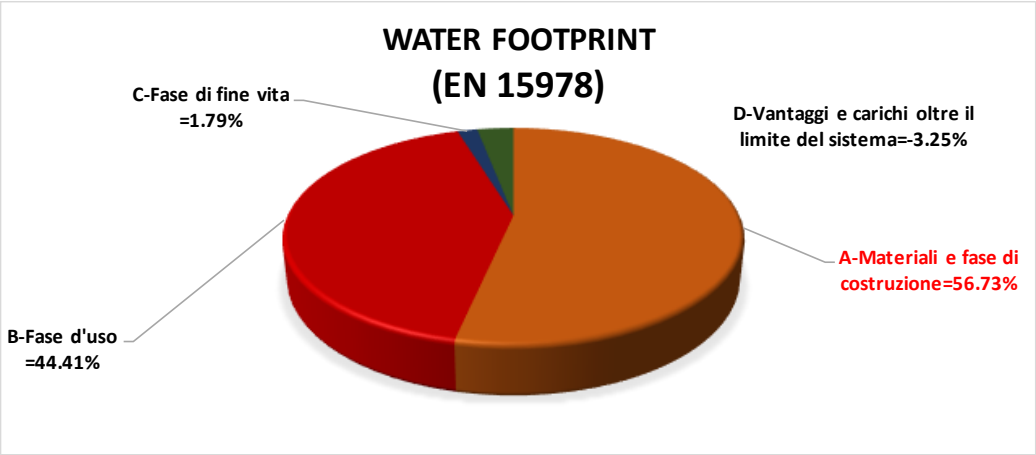


Fig.73 Grafico WF Water footprint per l'edificio in legno Xlam, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Il grafico riportato in fig. mostra per l'indicatore ambientale WF *Water Footprint* una predominanza degli effetti ambientali in riferimento alla fase di produzione dei materiali (0,04 m^3/ m^2 s.u.*anno) e alla fase di recurring (1,34E-03 m^3/ m^2 s.u.*anno). In aggiunta si evince che la fase A (materiali e fasi di costruzione), riferita alla norma EN 15978, incide circa il 57% dell'impatto globale.

Valori di impatto ambientale dell'edificio in C.A

Dal punto di vista degli impatti ambientali derivanti dall'edificio in legno Xlam, con un tempo di riferimento di 50 anni, sono state determinate le fasi di ciclo di vita con maggiore incidenza, in rapporto ad ogni indicatore ambientale. A tal proposito è possibile designare le fasi di produzione e trasporto come le fasi con maggiore impatto, mentre la fase di fine vita risulta la meno impattante. Di seguito sono riportante le singole analisi riferite ai singoli indicatori di impatto ambientale.

Impatti struttura in C.A	Fasi						Totale impatto
	Produzione	Trasporto	Recurring	Energia utile	Fine vita	Riutilizzo prodotto	
Global Warming potential - GWP (kg CO2 eq / m^2 s.u.*anno)	15.84	2.30	5.60	/	1.50	-7.76E-01	**24.47**
Ozone Depletion Potential - ODP (kg CFC-11 eq / m^2 s.u.*anno)	5.33E-02	2.64E-01	5.77E-02	/	1.41E-01	-1.30E-03	**5.15E-01**
Acidification Potential for Soil and Water - AP (kg SO_2 eq. / m^2 s.u.*anno)	4.27E-02	1.67E-02	1.57E-02	/	5.24E-03	-4.36E-03	**7.60E-02**
Eutrophication Potential - EP (kg PO_4--- eq / m^2 s.u.*anno)	7.64E-03	3.70E-03	2.87E-03	/	1.18E-03	-5.68E-04	**1.48E-02**
Photochemical Ozone Creation Potential - POCP (kg ethylene / m^2 s.u.*anno)	5.06E-03	4.38E-04	2.02E-03	/	3.17E-04	-1.29E-03	**6.54E-03**
Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF (MJ / m^2 s.u.*anno)	172.24	5.47E-01	86.95	57.38	2.19	-1.40E+01	**3.05E+02**
Embodied Energy - EE (MJ NCV / m^2 s.u.*anno)	186.78	6.75E-01	91.29	57.38	2.27	-1.42E+01	**3.24E+02**
Water Footprint (m^3 deprived / m^2 s.u.*anno)	1.39E-01	3.28E-03	4.46E-02	/	6.63E-03	-2.17E-03	**1.92E-01**

*Tabella.26 Edificio in C.A: valori di impatto ambientale nel ciclo di vita dell'edificio, espressi in m^2 di s.u.*anno (elaborazione personale).*

GWP-Global Warming Potential

Fasi	Global Warming potential - GWP (kg CO_2 eq / m^2 s.u.*anno)
Produzione	15.84
Trasporto	2.30E+00
Recurring	5.60
Fine vita	1.50
Riutilizzo prodotto	-7.76E-01
Totale	**24.47**

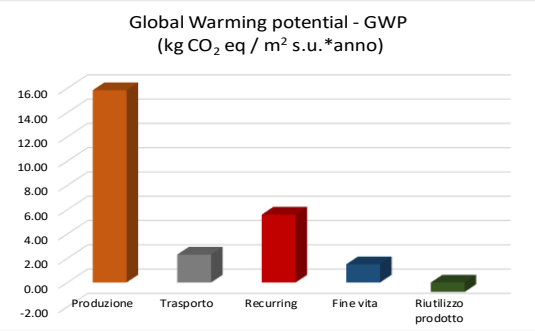


Fig.74 Grafico GWP Global Warming Potential per l'edificio in legno C.A, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

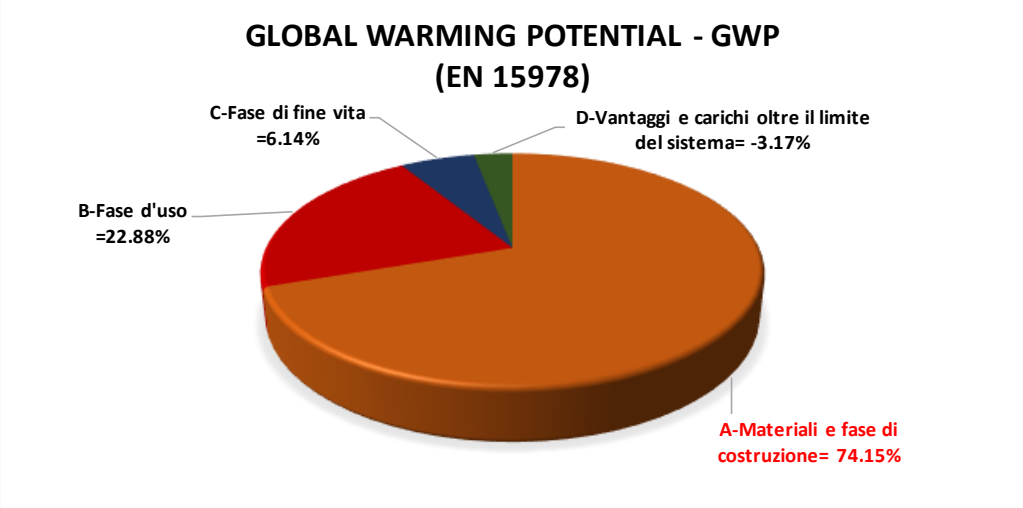


Fig.75 Grafico GWP Global Warming Potential per l'edificio in C.A, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Dall'analisi dell'indicatore ambientale GWP *Global Warming Potential* si desume come la fase di produzione dei materiali sia l'operazione più impattante dal punto di vista di kg di CO_2 immessa in ambiente (15,84 kg CO_2 eq / m^2 s.u.*anno). Inoltre come si evince dal grafico in fig. in riferimento alla norma EN 15978, la fase A (materiali e fasi di costruzione), incide circa il 75% rispetto al consumo globale di kg CO_2 eq.

EE - *Embodied Energy*

Fasi	Embodied Energy - EE (MJ NCV / m² s.u.*anno)
Produzione	186.78
Trasporto	6.75E-01
Recurring	91.29
Energia utile $Q_{H,nd}$	5.74E+01
Fine vita	2.27E+00
Riutilizzo prodotto	-1.42E+01
Totale	**324.16**

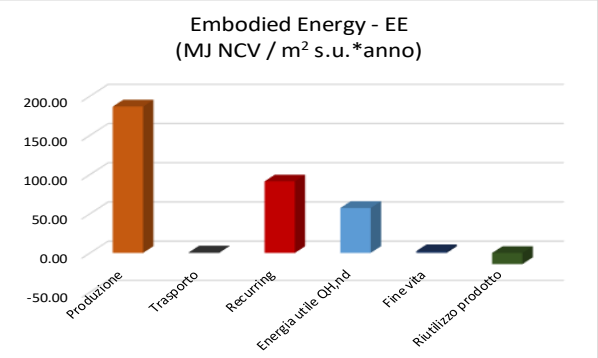


Fig.76 Grafico EE Embodied Energy per l'edificio in C.A, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

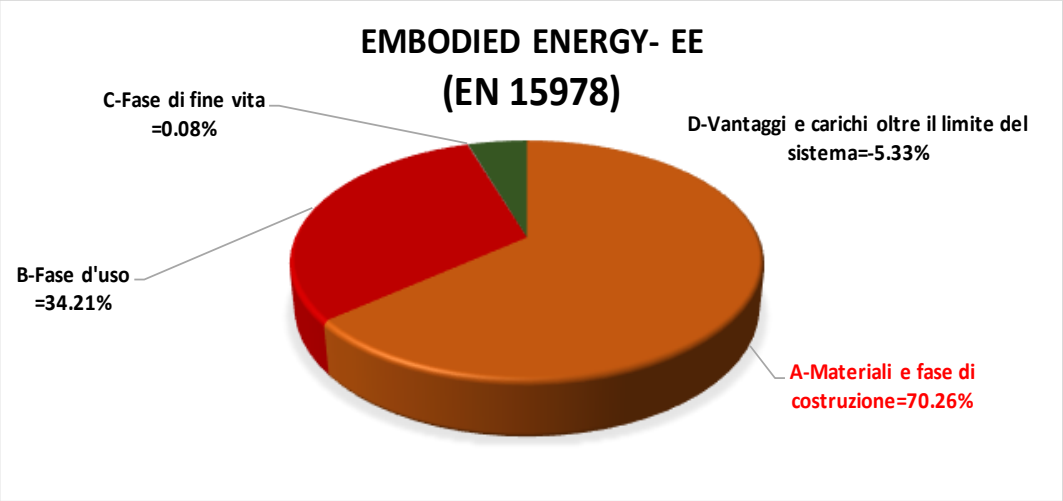


Fig.77 Grafico EE Embodied Energy per l'edificio in legno Xlam, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Il grafico riportato in fig. mostra per l'indicatore ambientale EE *Embodied Energy* una predominanza degli effetti ambientali in riferimento alla fase di produzione dei materiali (400,29 MJ NCV / m² s.u.*anno). In aggiunta si evince che la fase A (materiali e fasi di costruzione), riferita alla norma EN 15978, incide circa l'70% dell'impatto globale.

ADPF - *Abiotic Depletion Potential of Fossil Fuels*

Fasi	Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF (MJ / m^2 s.u.*anno)
Produzione	172.24
Trasporto	5.47E-01
Recurring	87.0
Energia utile $Q_{H,nd}$	5.74E+01
Fine vita	2.19E+00
Riutilizzo prodotto	-1.40E+01
Totale	**305.28**

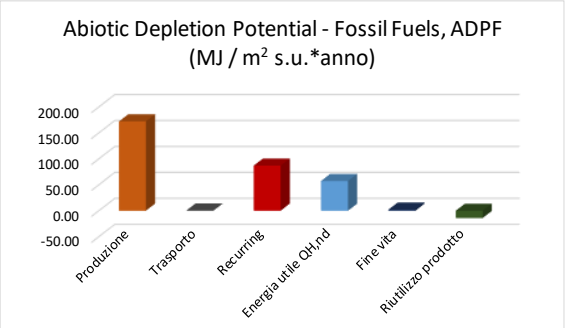


Fig.78 Grafico ADPF Abiotic Depletion Potential of fossil fuel per l'edificio in C.A, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

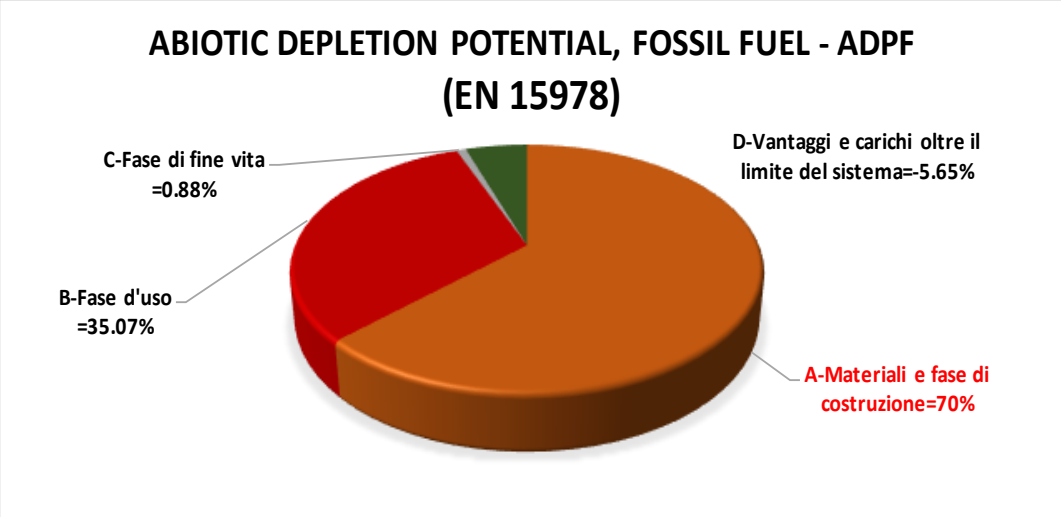


Fig.79 Grafico ADPF Abiotic Depletion Potential of fossil fuel per l'edificio in C.A, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Per l'indicatore ADPF *Abiotic Depletion Potential of Fossil Fuels* la fase di maggior impatto ambientale risulta essere la fase di produzione dei materiali (381 MJ NCV / m^2 s.u.*anno). In aggiunta si evince che la fase A (materiali e fasi di costruzione), riferita alla norma EN 15978, incide circa l'70% dell'impatto globale.

AP - *Acidification Potential*

Fasi	Acidification Potential for Soil and Water - AP (kg SO_2 eq. / m^2 s.u.*anno)
Produzione	4.27E-02
Trasporto	1.67E-02
Recurring	1.57E-02
Fine vita	5.24E-03
Riutilizzo prodotto	-4.36E-03
Totale	**7.60E-02**

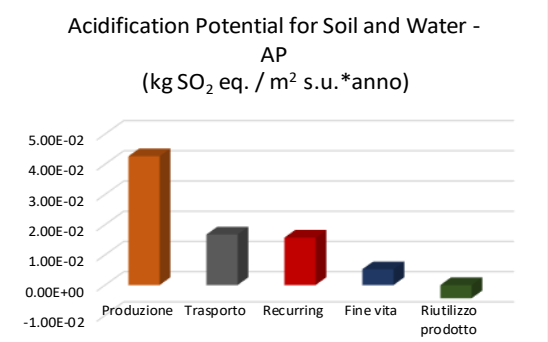


Fig.80 Grafico AF Acidification Potential per l'edificio in C.A, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

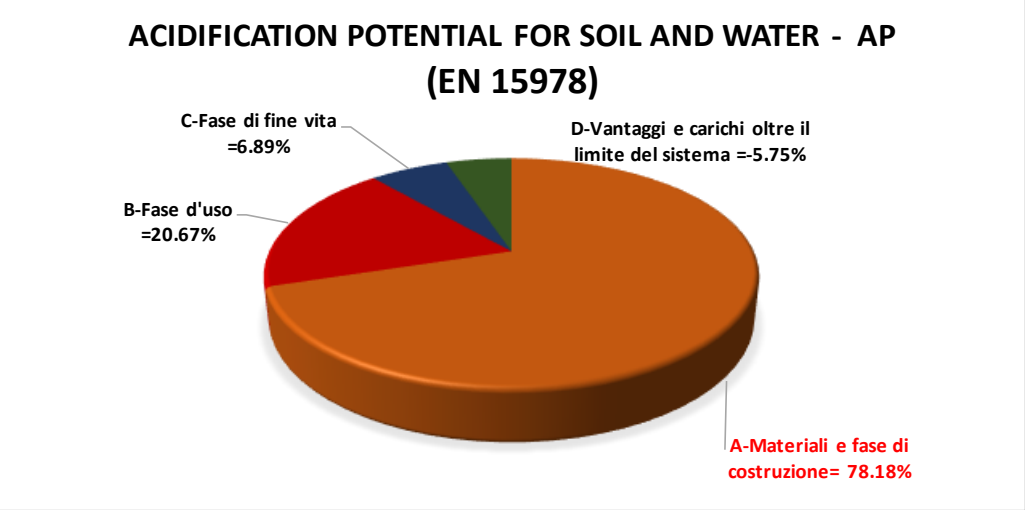


Fig.81 Grafico ADPF Abiotic Depletion Potential of fossil fuel per l'edificio in C.A, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Il grafico riportato in fig. mostra per l'indicatore ambientale AP *Acidification Potential* una predominanza degli effetti ambientali in riferimento alla fase di produzione dei materiali (4,27E-02 kg SO_2 eq / m^2 s.u.*anno) mentre la fase di trasporto risulta avere un impatto pari a 1,67E-02 kg SO_2 eq / m^2 s.u.*anno e la fase di recurring 1,57E-02 kg SO_2 eq / m^2 s.u.*anno . In aggiunta si evince che la fase A (materiali e fasi di costruzione), riferita alla norma EN 15978, incide circa l'78% dell'impatto globale.

EP - *Eutrophication Potential*

Fasi	Eutrophication Potential - EP (kg PO_4 eq / m^2 s.u.*anno)
Produzione	0.01
Trasporto	3.70E-03
Recurring	2.87E-03
Fine vita	1.18E-03
Riutilizzo prodotto	-5.68E-04
Totale	**1.48E-02**

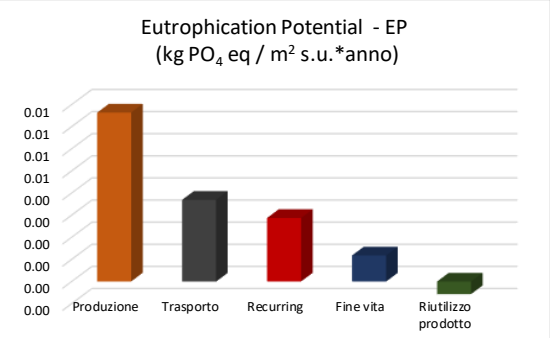


Fig.82 Grafico EP Eutrophication Potential per l'edificio in C.A, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

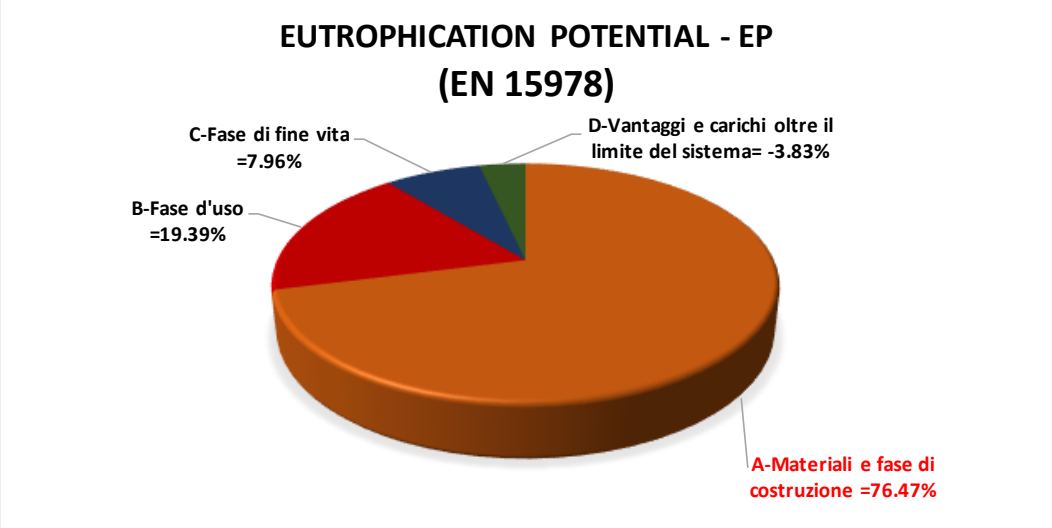


Fig.83 Grafico EP Eutrophication Potential per l'edificio in C.A, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Il grafico riportato in fig. mostra per l'indicatore ambientale EP *Eutrophication Potential* una predominanza degli effetti ambientali in riferimento alla fase di produzione dei materiali (0,01 kg PO_4 eq/ m^2 s.u.*anno) mentre la fase di trasporto risulta avere un impatto pari a 3,70E-03 kg PO_4 eq / m^2 s.u.*anno e la fase di recurring 2,87E-03 kg PO_4 eq / m^2 s.u.*anno. In aggiunta si evince che la fase A (materiali e fasi di costruzione), riferita alla norma EN 15978, incide circa il 77% dell'impatto globale.

POCP - *Photochemical Ozone Creation potential*

Fasi	Photochemical Ozone Creation Potential - POCP (kg ethylene / m^2 s.u.*anno
Produzione	0.01
Trasporto	4.38E-04
Recurring	2.02E-03
Fine vita	3.17E-04
Riutilizzo prodotto	-1.29E-03
Totale	**0.01**

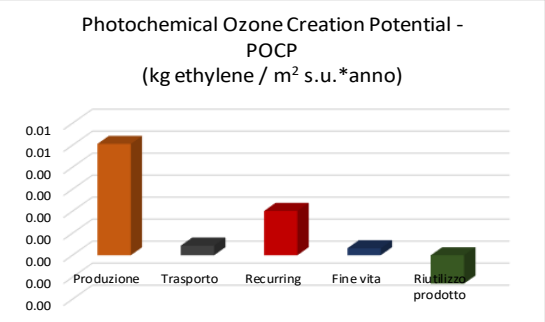


Fig.84 Grafico POCP Photochemical Ozone Creation Potential per l'edificio in C.A, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

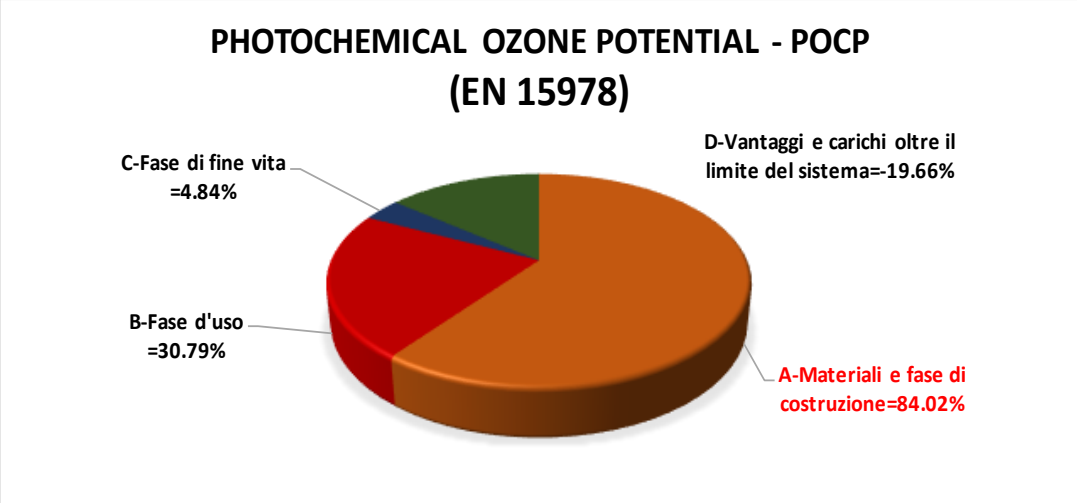


Fig.85 Grafico POCP Photochemical Ozone Creation Potential per l'edificio in C.A, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Per l'indicatore POCP *Photochemical Ozone Creation potential* la fase di maggior impatto ambientale risulta essere la fase di fine vita (0,01 kg ethylene / m^2 s.u.*anno). In aggiunta si evince che la fase A (materiali e fasi di costruzione), riferita alla norma EN 15978, incide circa l'84% dell'impatto globale.

ODP - *Ozone Depletion potential*

Fasi	Ozone Depletion Potential - ODP (kg CFC-11 eq / m² s.u.*anno
Produzione	0.05
Trasporto	2.64E-01
Recurring	5.77E-02
Fine vita	1.41E-01
Riutilizzo prodotto	-1.30E-03
Totale	**5.15E-01**

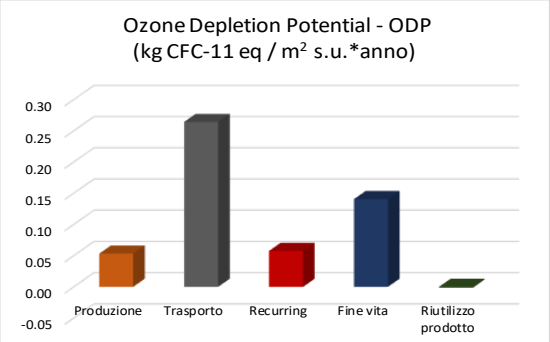


Fig.86 Grafico ODP - Ozone Depletion potential per l'edificio in C.A, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

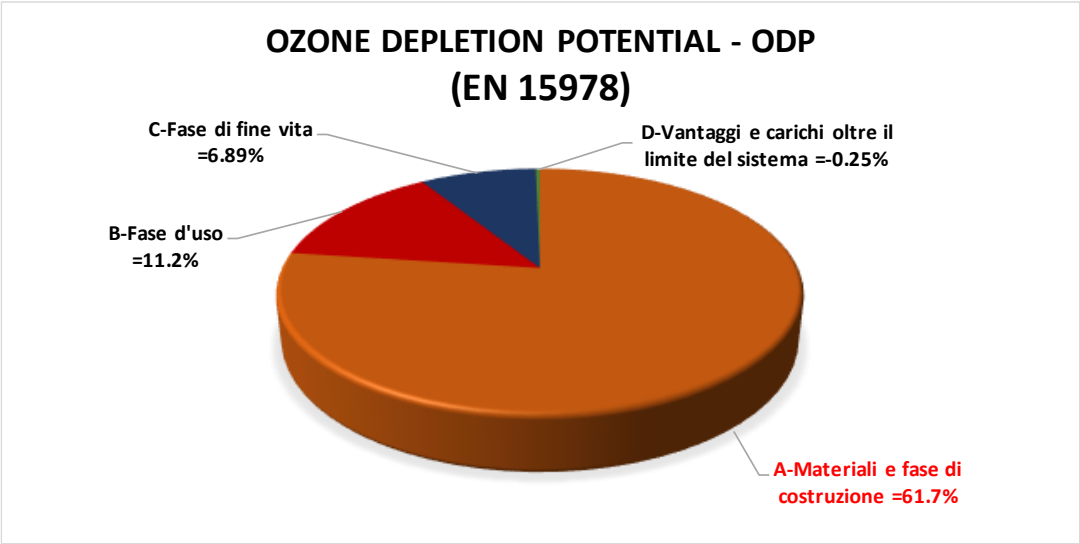


Fig.87 Grafico ODP Ozone Depletion Potential per l'edificio in C.A, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Dal punto di vista dell'indicatore ambientale ODP *Ozone Depletion potential* si evince come la fase di trasporto (0,05 kg di CFC-11eq / m² s.u.*anno) e la fase di fine vita (1,41E-01 kg di CFC-11eq / m² s.u.*anno) siano le operazioni più impattanti dal punto di vista di kg di CFC-11eq immessa in ambiente, a danno dello strato di ozono. Inoltre come si evince dal grafico in fig. in riferimento alla norma EN 15978, la fase A (materiali e fasi di costruzione), incide circa il 61% rispetto al consumo globale di kg di CFC-11eq.

ARD - *Abiotic Resource Depletion*

Fasi	Abiotic Resource Depletion Minerals and Energy (kgSbe / m^2 s.u.*anno)
Produzione	0.08
Trasporto	2.43E-04
Recurring	3.99E-02
Fine vita	1.10E-03
Riutilizzo prodotto	-7.47E-03
Totale	**1.10E-01**

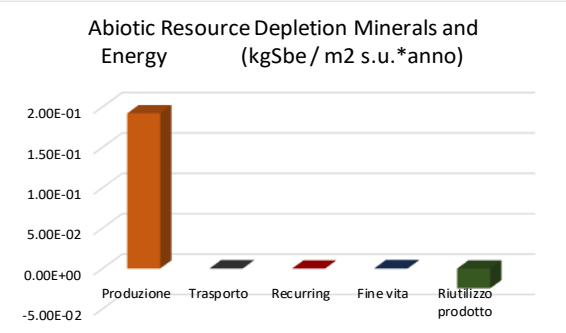


Fig.88 Grafico ARD Abotic Resource Depletion Minerals and Energy per l'edificio in C.A, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

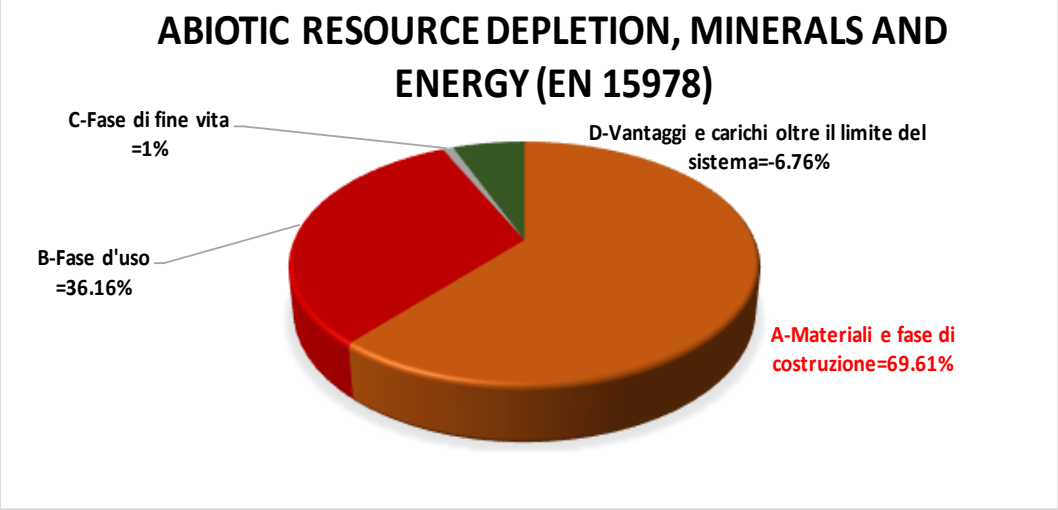


Fig.89 Grafico ARD Abotic Resource Depletion Minerals and per l'edificio in C.A, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Il grafico riportato in fig. mostra per l'indicatore ambientale EP *Eutrophication Potential* una predominanza degli effetti ambientali in riferimento alla fase di produzione dei materiali (0,08 kgSbe/ m^2 s.u.*anno). In aggiunta si evince che la fase A (materiali e fasi di costruzione), riferita alla norma EN 15978, incide circa IL 70% dell'impatto globale.

WF - *Water Footprint*

Fasi	Water Footprint (m^3 deprived / m^2 s.u.*anno
Produzione	0.14
Trasporto	3.28E-03
Recurring	4.46E-02
Fine vita	6.63E-03
Riutilizzo prodotto	-2.17E-03
Totale	**0.19**

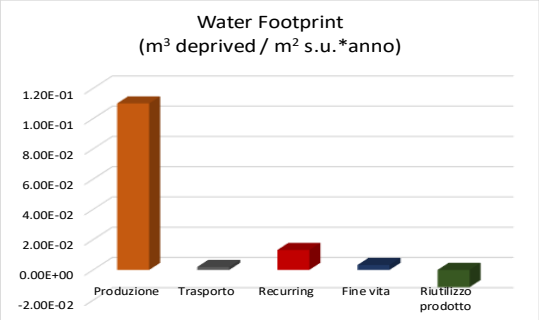


Fig.90 Grafico WF Water footprint per l'edificio in C.A, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

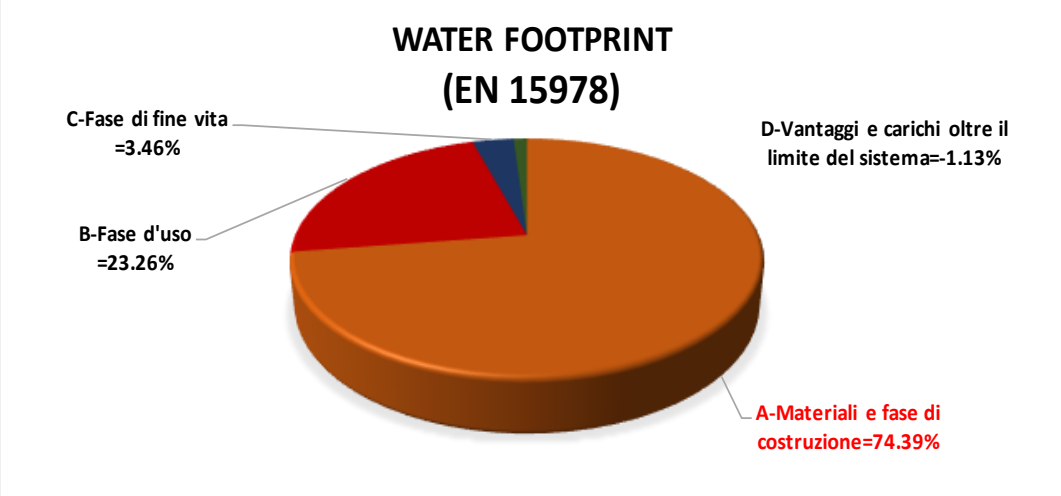


Fig.91 Grafico WF Water footprint per l'edificio in C.A, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Il grafico riportato in fig. mostra per l'indicatore ambientale EP *Eutrophication Potential* una predominanza degli effetti ambientali in riferimento alla fase di produzione dei materiali (0,14 m^3 / m^2 s.u.*anno). In aggiunta si evince che la fase A (materiali e fasi di costruzione), riferita alla norma EN 15978, incide circa il 75% dell'impatto globale.

Valori di impatto ambientale dell'edificio in acciaio

Dal punto di vista degli impatti ambientali derivanti dall'edificio in legno Xlam, con un tempo di riferimento di 50 anni, sono state determinate le fasi di ciclo di vita con maggiore incidenza, in rapporto ad ogni indicatore ambientale. A tal proposito è possibile designare le fasi di produzione e trasporto come le fasi con maggiore impatto, mentre la fase di fine vita risulta la meno impattante. Di seguito sono riportante le singole analisi riferite ai singoli indicatori di impatto ambientale.

Impatti ambientali struttura in Xlam	Fasi						Totale impatto
	Produzione	Trasporto	Recurring	Energia utile	Fine vita	Riutilizzo prodotto	
Global Warming potential - GWP (kg CO2 eq / m^2 s.u.*anno)	32.24	1.51E+00	1.07	/	0.95	-2.97E+00	**32.79**
Ozone Depletion Potential - ODP (kg CFC-11 eq / m^2 s.u.*anno)	2.97E-02	1.72E-01	3.22E-03	/	8.24E-02	-4.72E-03	**2.82E-01**
Acidification Potential for Soil and Water - AP (kg SO_2 eq. / m^2 s.u.*anno)	7.94E-02	1.09E-02	2.10E-03	/	3.49E-03	-1.34E-02	**8.26E-02**
Eutrophication Potential - EP (kg PO_4--- eq / m^2 s.u.*anno)	1.70E-02	2.41E-03	4.63E-04	/	7.81E-04	-1.77E-03	**1.89E-02**
Photochemical Ozone Creation Potential - POCP (kg ethylene / m^2 s.u.*anno)	8.87E-03	2.83E-04	3.87E-04	/	1.95E-04	-3.05E-03	**6.70E-03**
Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF (MJ / m^2 s.u.*anno)	380.77	5.14E-01	25.77	44.89	1.02E+00	-4.41E-02	**452.92**
Embodied Energy - EE (MJ NCV / m^2 s.u.*anno)	400.29	6.20E-01	26.85	44.89	1.06E+00	-4.52E+01	**428.55**
Water Footprint (m3 deprived / m2 s.u.*anno)	1.10E-01	1.95E-03	0.01	/	3.28E-03	-1.14E-02	**0.12**

*Tabella.27 Edificio in acciaio: valori di impatto ambientale nel ciclo di vita dell'edificio, espressi in m^2 di s.u.*anno (elaborazione personale).*

GWP-Global Warming Potential

Fasi	Global Warming potential - GWP (kg CO_2 eq / m^2 s.u.*anno)
Produzione	32.24
Trasporto	1.51
Recurring	1.07E+00
Fine vita	9.47E-01
Riutilizzo prodotto	-2.97E+00
Totale	**32.79**

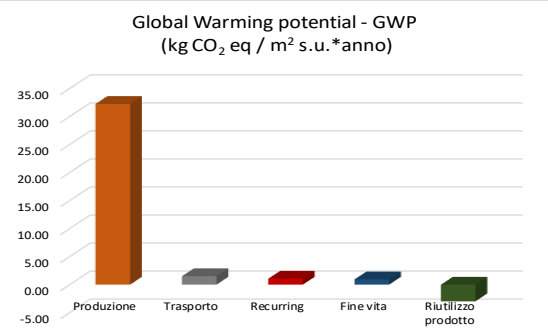


Fig.92 Grafico GWP Global Warming Potential per l'edificio in acciaio, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

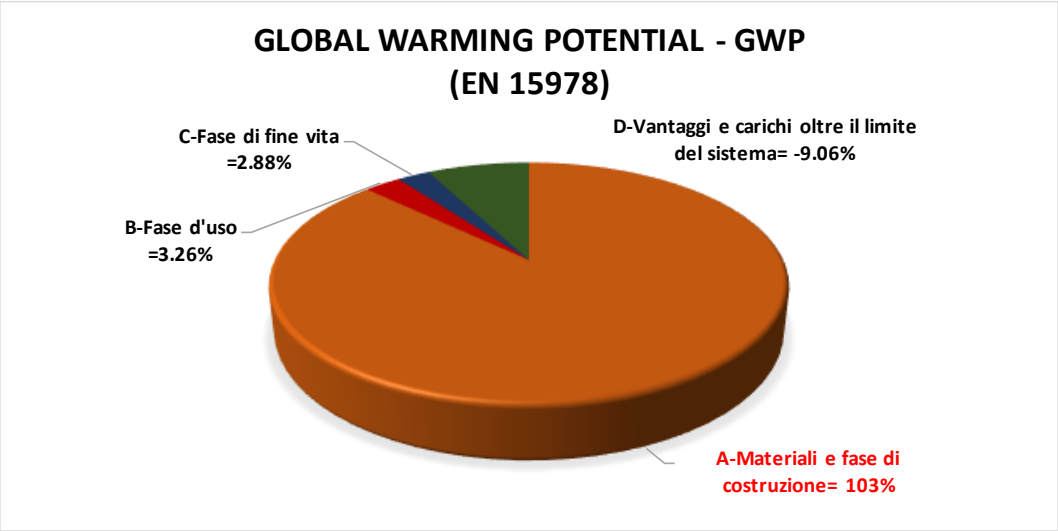


Fig.93 Grafico GWP Global Warming Potential per l'edificio in acciaio, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Dall'analisi dell'indicatore ambientale GWP *Global Warming Potential* si desume come la fase di produzione dei materiali sia l'operazione più impattante dal punto di vista di kg di CO_2 immessa in ambiente (32,24 kg CO_2 eq / m^2 s.u.*anno). Inoltre come si evince dal grafico in fig. in riferimento alla norma EN 15978, la fase A (materiali e fasi di costruzione), incide circa il 98% rispetto al consumo globale di 103 kg CO_2 eq.

EE - *Embodied Energy*

Fasi	Embodied Energy - EE (MJ NCV / m² s.u.*anno)
Produzione	400.29
Trasporto	6.20E-01
Recurring	2.69E+01
Energia utile $Q_{H,nd}$	4.49E+01
Fine vita	1.06
Riutilizzo prodotto	-4.52E+01
Totale	**428.55**

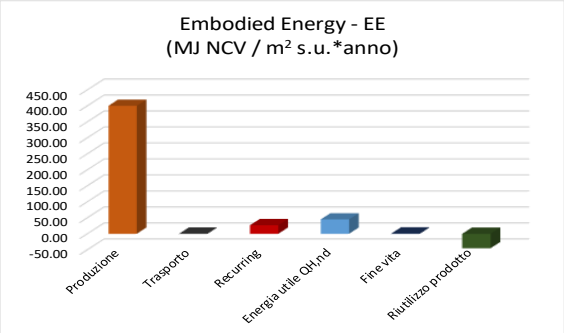


Fig.94 Grafico EE Embodied Energy per l'edificio in acciaio, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

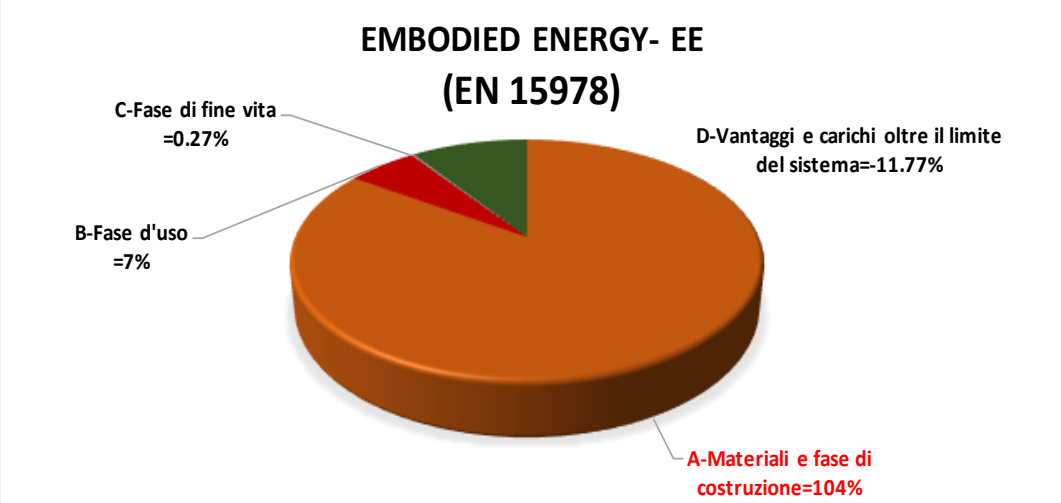


Fig.95 Grafico EE Embodied Energy per l'edificio in acciaio, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Il grafico riportato in fig. mostra per l'indicatore ambientale EE *Embodied Energy* una predominanza degli effetti ambientali in riferimento alla fase di produzione dei materiali (488,67 MJ NCV / m^2 s.u.*anno). In aggiunta si evince che la fase A (materiali e fasi di costruzione), riferita alla norma EN 15978, incide circa l'104% dell'impatto globale.

ADPF - *Abiotic Depletion Potential of Fossil Fuels*

Fasi	Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF (MJ / m^2 s.u.*anno)
Produzione	3.81E+02
Trasporto	5.14E-01
Recurring	2.58E+01
Energia utile $Q_{H,nd}$	4.49E+01
Fine vita	1.02E+00
Riutilizzo prodotto	-4.41E-02
Totale	**4.53E+02**

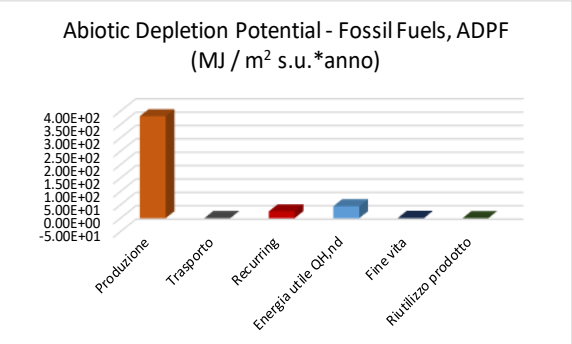


Fig.96 Grafico ADPF Abiotic Depletion Potential of fossil fuel per l'edificio in acciaio, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

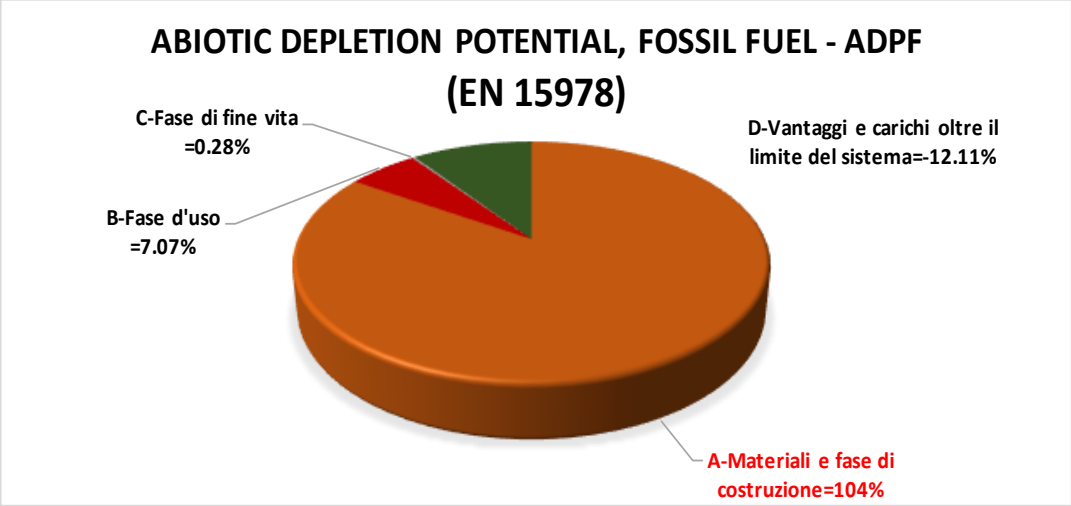


Fig.97 Grafico ADPF Abiotic Depletion Potential of fossil fuel per l'edificio in acciaio, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Per l'indicatore ADPF *Abiotic Depletion Potential of Fossil Fuels* le fasi di maggior impatto ambientale risultano essere la fase di trasporto (7,11E-01 MJ / m^2 s.u.*anno) e la fase di fine vita (1,05 MJ / m^2 s.u.*anno) . In aggiunta si evince che la fase A (materiali e fasi di costruzione), riferita alla norma EN 15978, incide circa l'104% dell'impatto globale.

AP - *Acidification Potential*

Fasi	Acidification Potential for Soil and Water - AP (kg SO_2 eq. / m^2 s.u.*anno)
Produzione	7.94E-02
Trasporto	1.09E-02
Recurring	2.10E-03
Fine vita	3.49E-03
Riutilizzo prodotto	-1.34E-02
Totale	**8.26E-02**

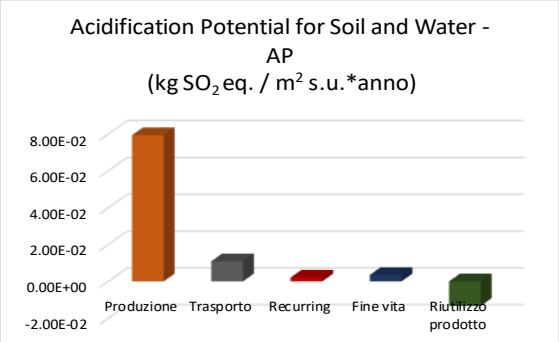


Fig.98 Grafico AF Acidification Potential per l'edificio in acciaio, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

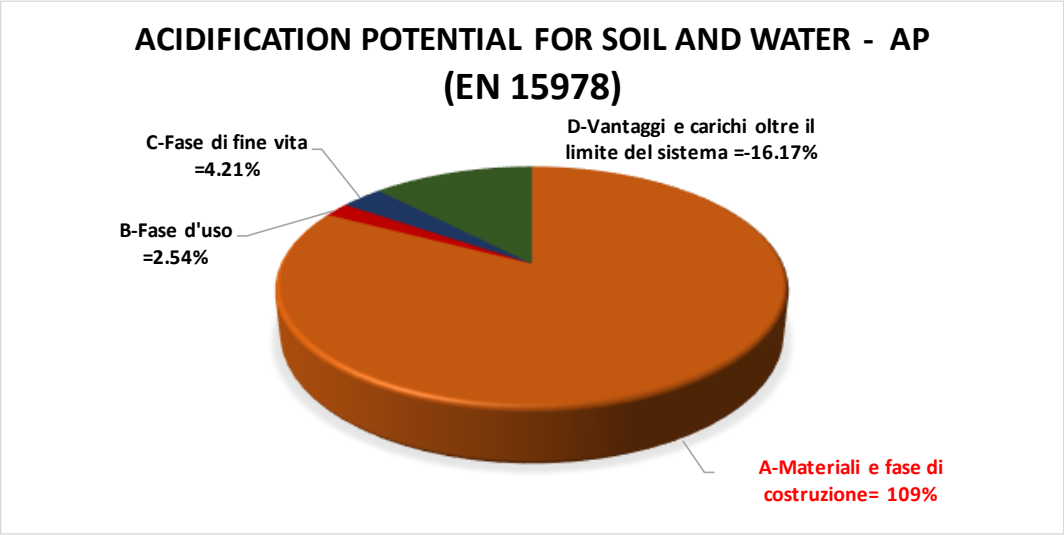


Fig.99 Grafico ADPF Abiotic Depletion Potential of fossil fuel per l'edificio in acciaio, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Il grafico riportato in fig. mostra per l'indicatore ambientale AP *Acidification Potential* una predominanza degli effetti ambientali in riferimento alla fase di produzione dei materiali (7,94E-02 kg SO_2 eq / m^2 s.u.*anno). In aggiunta si evince che la fase A (materiali e fasi di costruzione), riferita alla norma EN 15978, incide circa l'109% dell'impatto globale.

EP - *Eutrophication Potential*

Fasi	Eutrophication Potential - EP (kg PO_4 eq / m^2 s.u.*anno)
Produzione	1.70E-02
Trasporto	2.41E-03
Recurring	4.63E-04
Fine vita	7.81E-04
Riutilizzo prodotto	-1.77E-03
Totale	**1.89E-02**

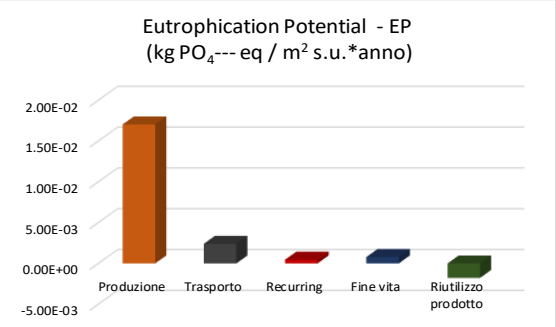


Fig.100 Grafico EP Eutrophication Potential per l'edificio in acciaio, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

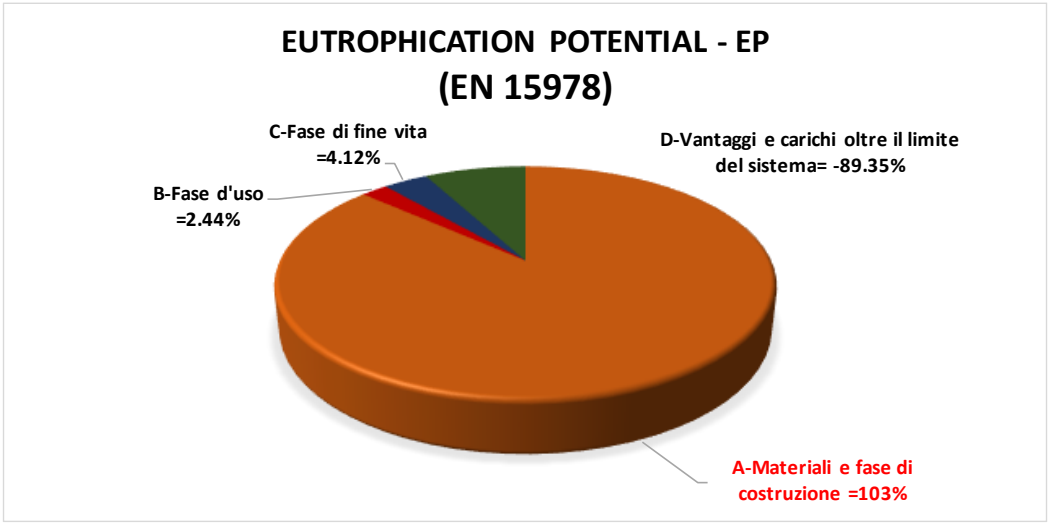


Fig.101 Grafico EP Eutrophication Potential per l'edificio in acciaio, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Il grafico riportato in fig. mostra per l'indicatore ambientale EP *Eutrophication Potential* una predominanza degli effetti ambientali in riferimento alla fase di produzione dei materiali (1,70E-02 kg PO_4 eq/ m^2 s.u.*anno). In aggiunta si evince che la fase A (materiali e fasi di costruzione), riferita alla norma EN 15978, incide circa l'103% dell'impatto globale.

POCP - *Photochemical Ozone Creation potential*

Fasi	Photochemical Ozone Creation Potential - POCP (kg ethylene / m^2 s.u.*anno
Produzione	8.87E-03
Trasporto	2.83E-04
Recurring	3.87E-04
Fine vita	1.95E-04
Riutilizzo prodotto	-3.05E-03
Totale	**6.70E-03**

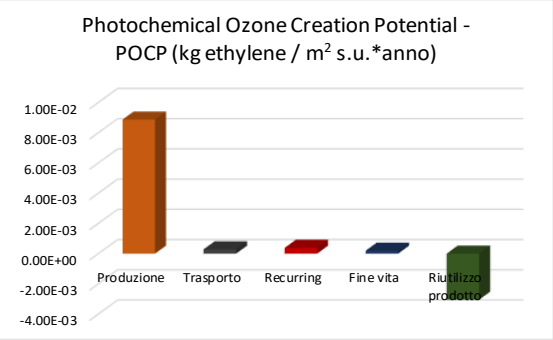


Fig.102 Grafico POCP Photochemical Ozone Creation Potential per l'edificio in acciaio, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

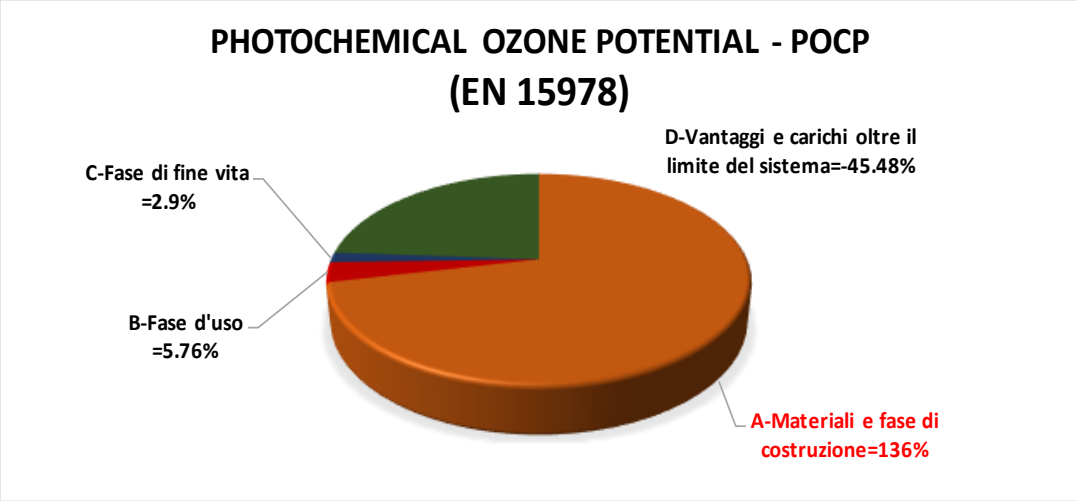


Fig.103 Grafico POCP Photochemical Ozone Creation Potential per l'edificio in acciaio, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Per l'indicatore POCP *Photochemical Ozone Creation potential* la fase di maggior impatto ambientale risulta essere la fase di fine vita (8,87E-03 kg ethylene / m^2 s.u.*anno). In aggiunta si evince che la fase A (materiali e fasi di costruzione), riferita alla norma EN 15978, incide circa l'136% dell'impatto globale.

ODP - *Ozone Depletion potential*

Fasi	Ozone Depletion Potential - ODP (kg CFC-11 eq / m² s.u.*anno
Produzione	2.97E-02
Trasporto	1.72E-01
Recurring	3.22E-03
Fine vita	8.24E-02
Riutilizzo prodotto	-4.72E-03
Totale	**2.82E-01**

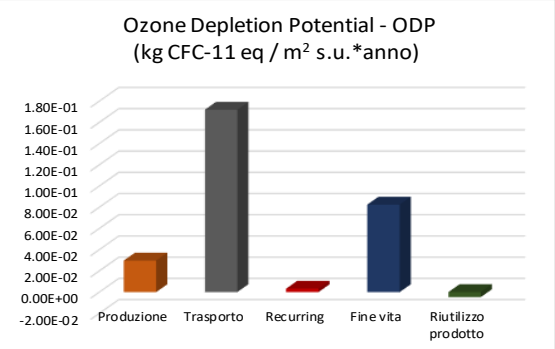


Fig.104 Grafico ODP Ozone Depletion Potential per l'edificio in acciaio, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

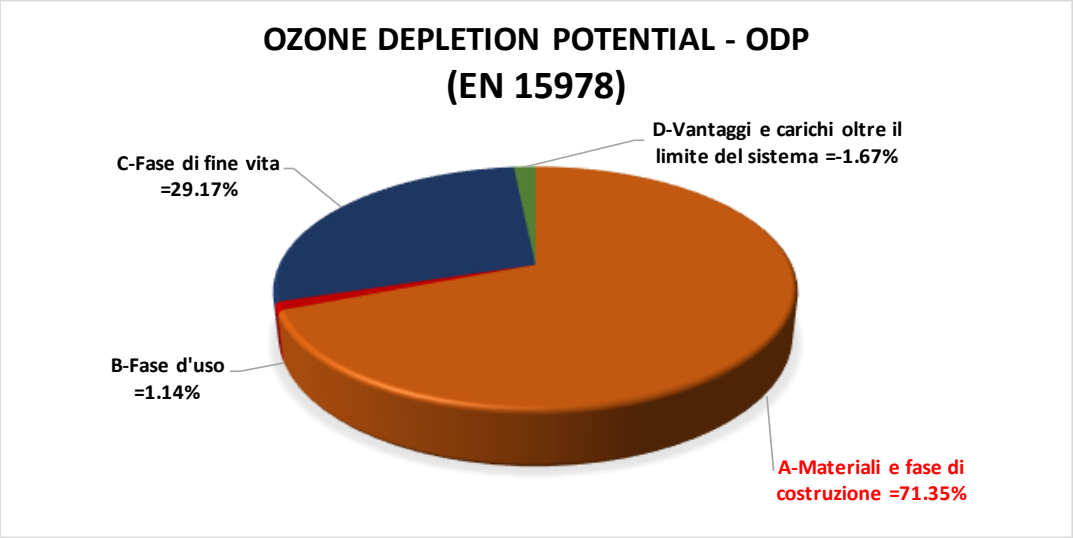


Fig.105 Grafico ODP Ozone Depletion Potential per l'edificio in acciaio, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Il grafico riportato in fig. mostra per l'indicatore ambientale ODP *Ozone Depletion potential* una predominanza degli effetti ambientali in riferimento alla fase di trasporto (1,72E-01 kg CFC-11 eq / m² s.u.*anno) e la fase di fine vita (8,24E-02 kg CFC-11 eq / m² s.u.*anno) . In aggiunta si evince che la fase A (materiali e fasi di costruzione), riferita alla norma EN 15978, incide circa IL 73% dell'impatto globale.

ARD - *Abiotic Resource Depletion*

Fasi	Abiotic Resource Depletion Minerals and Energy (kgSbe / m^2 s.u.*anno)
Produzione	0.19
Trasporto	2.96E-04
Recurring	6.94E-06
Fine vita	5.22E-04
Riutilizzo prodotto	-2.45E-02
Totale	**1.68E-01**

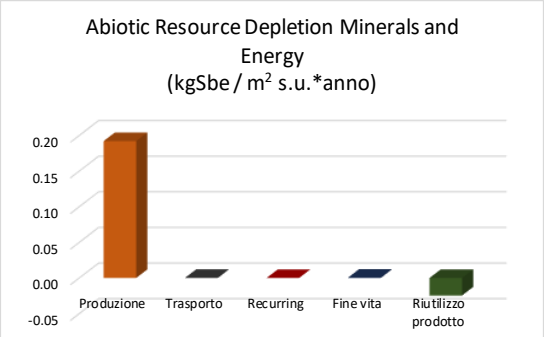


Fig.106 Grafico ARD Abotic Resource Depletion Minerals and Energy per l'edificio in acciaio, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

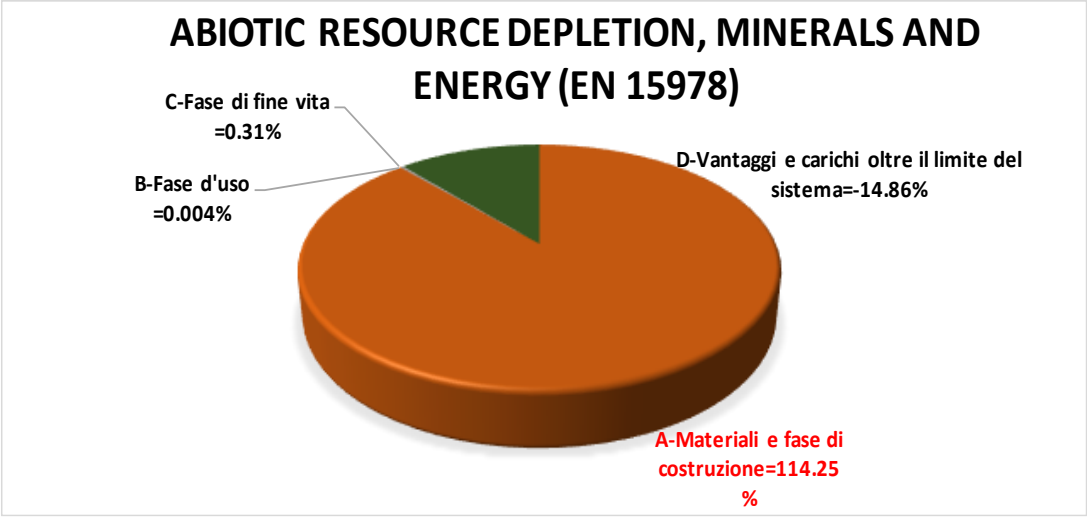


Fig.107 Grafico ARD Abotic Resource Depletion Minerals and per l'edificio in acciaio, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Il grafico riportato in fig. mostra per l'indicatore ambientale EP *Eutrophication Potential* una predominanza degli effetti ambientali in riferimento alla fase di produzione dei materiali (0,19 kgSbe/ m^2 s.u.*anno). In aggiunta si evince che la fase A (materiali e fasi di costruzione), riferita alla norma EN 15978, incide circa l'115% dell'impatto globale.

WF - *Water Footprint*

Fasi	Water Footprint (m^3 deprived / m^2 s.u.*anno
Produzione	0.19
Trasporto	2.37E-03
Recurring	8.68E-07
Fine vita	3.35E-03
Riutilizzo prodotto	-1.14E-02
Totale	**1.81E-01**

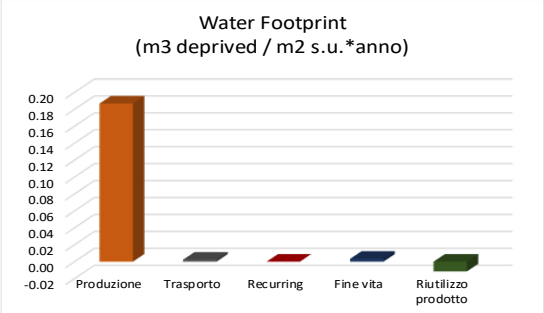


Fig.108 Grafico WF Water footprint per l'edificio in acciaio, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

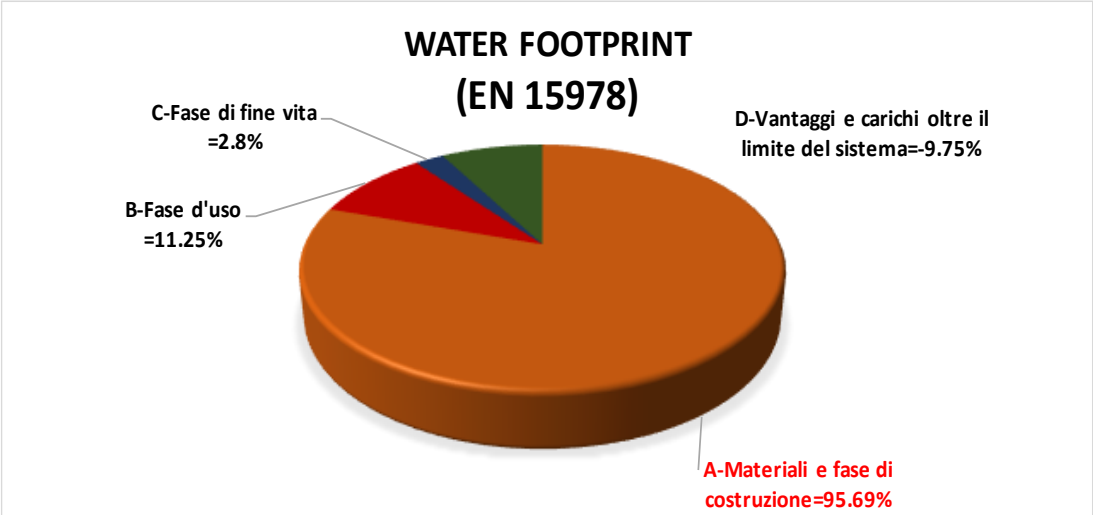


Fig.109 Grafico WF Water footprint per l'edificio in acciaio, in relazione alle fasi di ciclo di vita (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Il grafico riportato in fig. mostra per l'indicatore ambientale EP *Eutrophication Potential* una predominanza degli effetti ambientali in riferimento alla fase di produzione dei materiali (0,19 m^3 / m^2 s.u.*anno). In aggiunta si evince che la fase A (materiali e fasi di costruzione), riferita alla norma EN 15978, incide circa l'95% dell'impatto globale.

Considerazioni generali - indicatori di impatto ambientale dei singoli edifici

01-Edificio in legno Xlam

Dopo aver analizzato i dati per ciascun indicatore, è possibile evidenziare un'indiscutibile predominanza degli impatti in fase di produzione, nel quale è stata considerata anche la fase di estrazione e lavorazione del materiale. Oltre a questa attività, anche la fase di fine vita risulta avere un notevole impatto ambientale, in particolare negli indicatori GWP e ODP, questo poiché il legno è un materiale potenzialmente riciclabile o riutilizzabile però le attività di riciclo e riuso del materiale non sono state incluse nel confine del sistema ma soltanto la fase di smaltimento in discarica (degrado del legno, con la produzione di metano e CO_2). Oltre a ciò, avendo considerato un arco temporale di 50 anni, una parte di impatto è generata dalla fase di *Recurring*, dove è stata inclusa la sostituzione dei materiali a fine vita utile.

02-Edificio in C.A

Come nel caso della struttura in Xlam, anche in quella costruita in C.A, la fase più impattante risulta essere quella della produzione. Si evince inoltre in riferimento all'indicatore ODP un impatto derivante principalmente dalla fase di trasporto e fine vita, in questo case occorre evidenziare che a differenza del legno il calcestruzzo armato non risulta essere un materiale riciclabile o riutilizzabile.

03-Edificio in acciaio

Infine anche nell'edificio in acciaio si nota una prevalenza di impatto ambientale dovuto alla fase di produzione, nel caso specifico di due indicatori: ADPF e ODP, risulta invece avere un notevole impatto ambientale la fase di fine vita, in quanto come nel legno anche l'acciaio risulta essere un materiale riutilizzabile al 100% nel caso delle strutture o riciclabile.

Confronto finale fra i sistemi costruttivi analizzati - fase di produzione

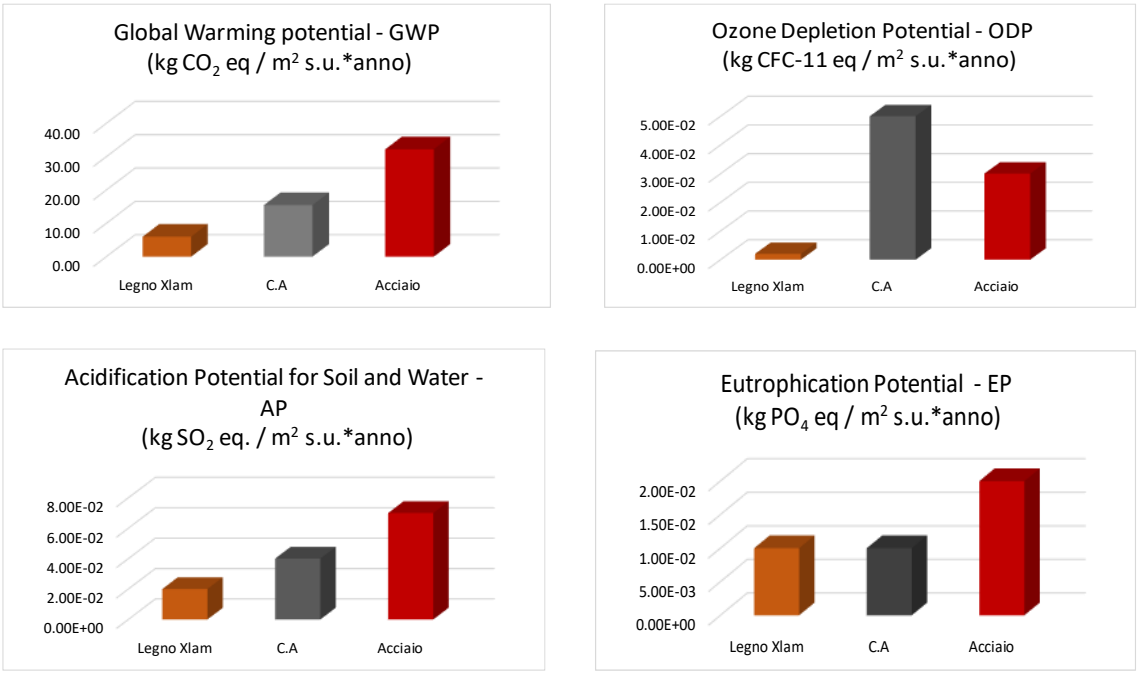


Fig.109 Rappresentazione del confronto degli indicatori di impatto ambientale fra i tre sistemi costruttivi (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Dai risultati ottenuti dal confronto degli impatti ambientali relativi ai tre sistemi costruttivi in fase di produzione, si evidenzia la maggior compatibilità ambientale della soluzione costruttiva in legno *Xlam*. Per quanto riguarda l'indicatore GWP (effetto serra), l'acciaio risulta avere dei valori molto elevati di emissione di CO_2 in atmosfera, dovuto alle elevate temperature (principalmente dei forni) in fase di purificazione e raffinamento del materiale, passando dalla fase minerale a quella metallica. Mentre nel caso degli indicatori: AP e EP (acidificazione e eutrofizzazione), i fattori che incidono di più risultano essere: l'estrazione dei materiali e l'utilizzo di fertilizzanti, in questo caso le strutture in: Xlam e C.A, indicano valori simili, mentre quella in acciaio evidenzia dei valori superiori. Infine nel caso dell'indicatore ODP (assottigliamento della fascia dell'ozono), la struttura in C.A, ha un maggior impatto rispetto alla struttura in acciaio e Xlam.

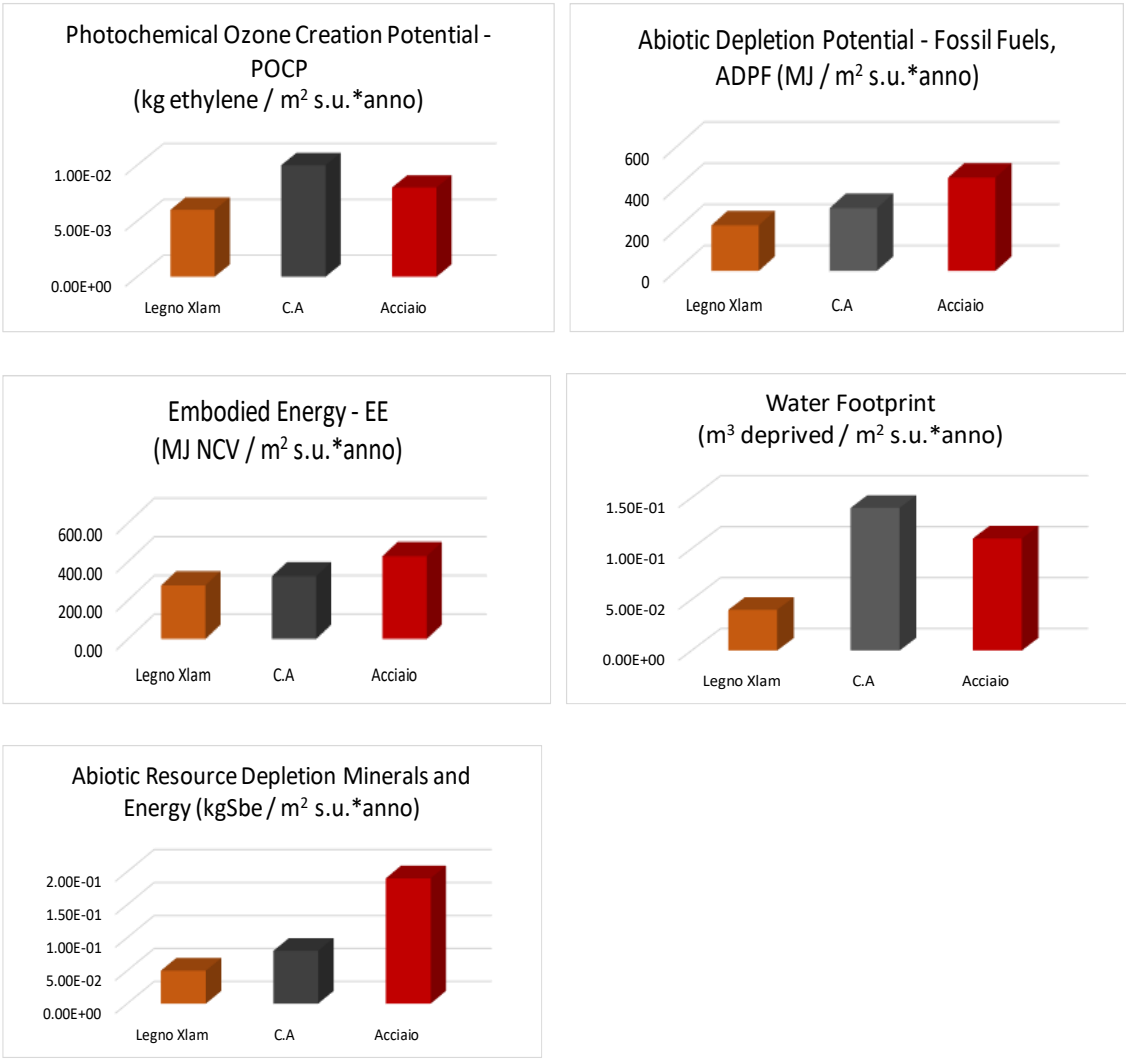


Fig.110 Rappresentazione del confronto degli indicatori di impatto ambientale fra i tre sistemi costruttivi (Fonte: elaborazione personale, dati tratti dal programma eTool)

Per l'indicatore POCP (smog fotochimico), la struttura in C.A è la più impattante, Mentre per gli indicatori: EE e ADPF (energia incorporata durante tutte le fasi del ciclo di vita del materiale e utilizzo di fonti fossili), lo studio indica che l'acciaio risulta avere un maggiore impatto. In conclusione, per quanto riguarda l'indicatore WF (consumo di fonti di acqua dolce), il C.A determina valori di impatto maggiori e l'indicatore l'ARD (consumo combinato delle risorse abiotiche minerarie a quelle derivanti da fonti fossili), dimostra che la struttura in acciaio risulta essere la più impattante.

Confronto parametrico tra edifici

Il confronto parametrico tra edifici rappresenta uno strumento di applicazione progettuale dei dati ottenuti dall'analisi energetico-ambientale. I parametri utilizzati per la definizione del confronto includono: la localizzazione del manufatto, la zona climatica, il sistema costruttivo, le fasi considerate nella valutazione LCA e gli elementi tecnici considerati nell'analisi. Inoltre è importante specificare che risulta difficile Identificare edifici con le medesime caratteristiche di quello preso in esame nel caso studio (destinazione, uso, superficie, fasi LCA, elementi costruttivi inclusi nel confine del sistema).

Di seguito l'edificio preso in esame con sistema costruttivo in C.A è stato messo a confronto con altri due edifici:

1-Edificio residenziale a Chamois

2-Edificio industriale a Villenouve

Nello specifico, confrontando edifici distinti da localizzazioni diverse, la fase di trasporto è stata esclusa dalla valutazione, inoltre nella tab. sono state evidenziate le fasi del ciclo di vita non considerate per ciascun edificio. Sulla base di tale considerazione sono stati confrontati per ogni edificio vari indicatori di impatto ambientale: GWP *Global Warming Potential,* AP *Acidification Potential,* EP *Eutrophication Potential,* EE *Embodied Energy*, POCP *Photochemical Ozone Depletion Potential e ARD Abiotic Resource Minerals and Energy, ADPF Abiotic depletion of fossil fuel e WF Water Footprint* (tab).

Edificio caso studio	Localizzazione	Zona climatica	Tipologia edificio	Superficie utile (m^2)	Vita utile	Struttura
Edificio a Bellaria Igea-Marina	Bellaria Igea-Marina (RN)	E	Residenziale plurifamiliare	230.47	**50**	telaio in C.A
Edificio a Chamois	Chamois (AO)	F		140		latero cemento
Edificio industriale	Villenouve (AO)	E	Edificio industriale	625	**50**	muro in pietra e capriate lignee

Tabella 28 Dati per il confronto parametrico tra edifici (elaborazione personale).

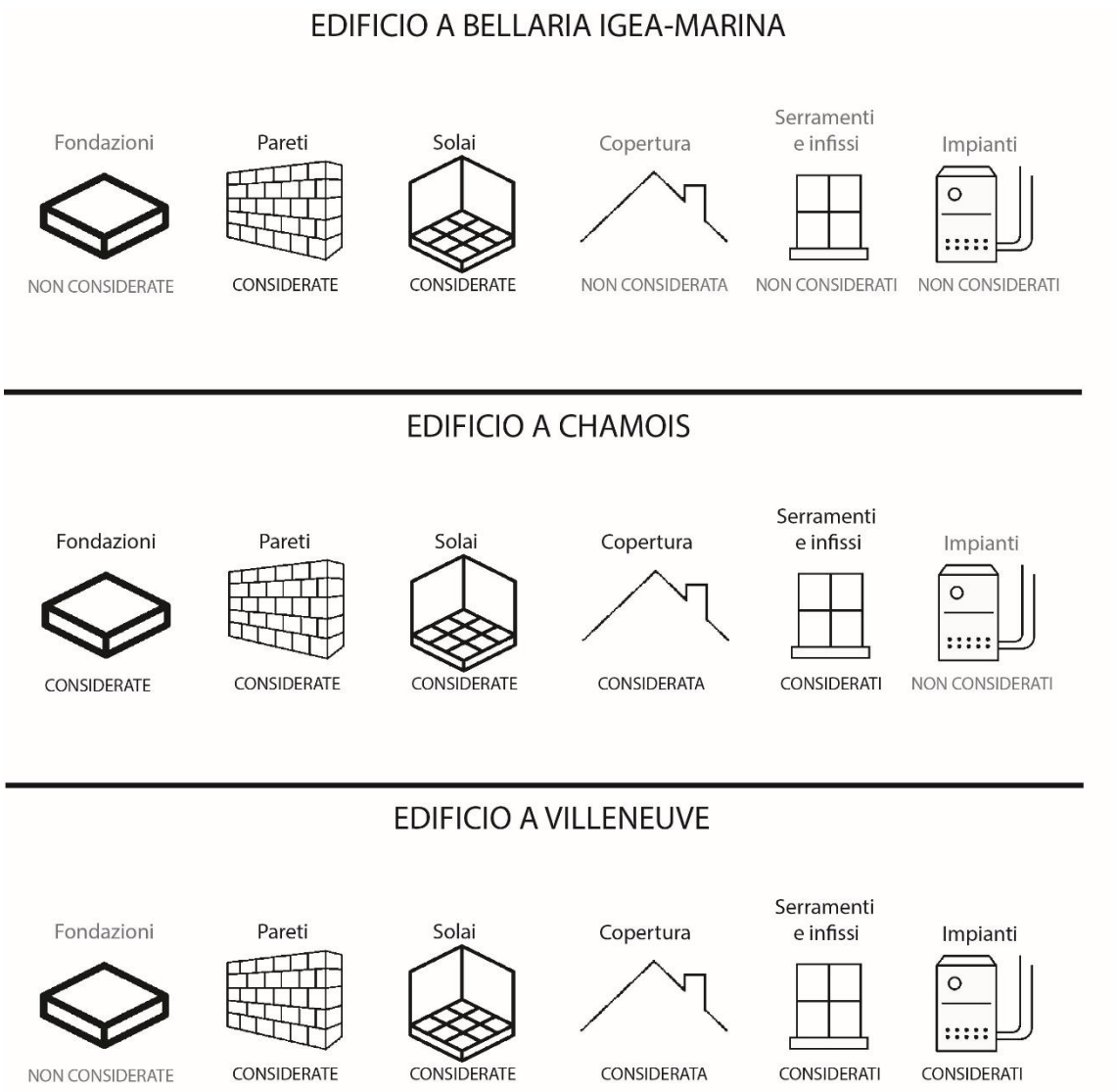


Fig..112 Elementi inclusi nella valutazione (elaborazione personale).

In seguito alla classificazione delle fasi e degli elementi tecnici nei tre edifici, nel caso specifico dei due edifici messi a confronto, sono state escluse le fasi di: trasporto, costruzione, manutenzione, riciclo e riuso, così da rendere il confronto attendibile. Di seguito sono stati inseriti in tabella gli indicatori di impatto ambientale e i loro valori, in riferimento ai 3 edifici messi a confronto.

	Edificio a Bellaria Igea-Marina	**Edificio a Chamois**	**Edificio industriale a Villeneuve**
Global Warming potential - GWP (kg CO2 eq / m² s.u.*anno)	24.47	26.72	18
Acidification Potential - AP (kg SO_2 eq. / m² s.u.*anno)	0.07	0.07	0.04
Eutrophication Potential - EP (kg PO_4 eq / m² s.u.*anno)	0.02	0.01	0.14
Photochemical Ozone Creation Potential - POCP (kg ethylene / m² s.u.*anno)	0.01	0.01	/
Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF (MJ / m² s.u.*anno)	411	237.38	/
Embodied Energy - EE (MJ NCV / m² s.u.*anno)	386	289.73	/
Water Footprint (m3 deprived / m² s.u.*anno)	0.19	0.3	/
Abiotic Resource Depletion Minerals and Energy (kgSbe / m² s.u.*anno)	0.11	0.1	/

Tabella.29 Confronto parametrico degli edifici (elaborazione personale).

Dopo aver confrontato gli edifici è stato possibile notare come i risultati ottenuti siano comparabili tra loro, con differenze non significative e dovute alle differenti condizioni di partenza, in particolare in riferimento: alla superficie utile degli edifici, alle condizioni climatiche e agli elementi tecnici considerati.

9 – Analisi conclusiva e sviluppi futuri

Analisi conclusiva relativa alla valutazione LCA Life Cycle Assessment

Nel presente lavoro di tesi è stata svolta un'analisi LCA *Life Cycle Assessment* su tre edifici progettati con tre soluzioni tecnologiche differenti: legno *Xlam*, acciaio e C.A, attraverso l'ausilio di un programma denominato *eTool LCD*. La valutazione ha preso in considerazione nove indicatori di impatto ambientale, in relazione alle fasi di: pre-uso, uso (solo sostituzione dei materiali) e fine vita (solo discarica e non riutilizzo dei materiali).

Come evidenziato dai risultati delle analisi dei singoli indicatori (cap.), la struttura in legno *Xlam* è risultata essere la meno impattante dal punto di vista ambientale, in particolare per gli indicatori: GWP *Global Warming Potential,* AP *Acidification Potential,* EP *Eutrophication Potential e* ODP *Ozone Depletion Potential.* Mentre per quanto riguarda gli altri due sistemi costruttivi, l'acciaio risulta essere più impattante rispetto al C.A, ad esclusione degli indicatori ODP *Ozone Depletion Potential* e WF *Water Footprint.*

Grazie all'analisi svolta è stato possibile determinare i valori di impatto ambientale relazionati ad un'unità di misura di riferimento (m^2 s.u.*anno), a tal proposito i valori ottenuti potranno essere una base di confronto parametrico per future valutazioni. Inoltre lo studio svolto, potrà essere implementato in futuro, inserendo le fasi del ciclo di vita non considerate, attraverso l'inclusione di tutti i materiali e componenti dell'edificio, in particolar modo: gli impianti ed il loro fabbisogno energetico in fase d'uso e la percentuale di riciclo degli stessi, includendo la fase di riciclo nel fine vita.

Analisi conclusiva relativa al Software eTool LCD

Lo strumento di valutazione è una piattaforma online gratuita che include la possibilità di analisi di tutte le fasi del ciclo di vita edilizio. Il software segue lo standard internazionale BREEAM IMPACT dal 2016, conferendo così l'attendibilità e la scientificità delle analisi. In seguito all'uso del software *eTool LCD* è stato possibile esaminare i tre edifici sotto un profilo energetico - ambientale, determinando i possibili impatti sull'ambiente.

Uno dei vantaggi di tale strumento è la possibilità di utilizzo del software da parte di utenti professionisti e utenti non professionisti, in qualsiasi stadio della progettazione. Inoltre all'interno della piattaforma è presente una community composta da professionisti *eTool LCD* in grado di aiutare e guidare l'utente nella valutazione. D'altra parte, Il limite indiscutibile dell'analisi è stato il reperimento dei dati, in quanto ha richiesto tempi lunghi di ricerca in banche dati e testi di letteratura, essendo dati molto specifici. Inoltre ad oggi gli operatori (progettisti e costruttori) che sviluppano una LCA di un edificio utilizzano banche dati estere, in assenza di una banca dati nazionale (Lavagna, 2018). Nel caso specifico, il software è basato su dati medi internazionali, riferiti al sistema energetico australiano, non perfettamente adattabile al contesto italiano. Avendo utilizzato la versione gratuita del software non è stato possibile accedere alla libreria relativa alle certificazioni EPD dei prodotti da costruzione, anche se non disponibili per tutti i materiali. A tal proposito i produttori hanno interesse a mettere a disposizione i dati relativi ai loro prodotti e la costruzione di una banca dati italiana incentiverebbe le aziende a sviluppare EPD ed LCA (Lavagna, 2018).

In conclusione, l'utilizzo da parte del candidato del software *eTool LCD* è risultato essere un'esperienza positiva, anche grazie all'aiuto della community *eTool LCD*, in particolare nelle prime fasi di utilizzo del software. Inoltre attraverso l'ausilio di una licenza del programma potrebbe essere sviluppata una valutazione ancora più accurata disponendo di certificazioni EPD. . Infine avendo definito all'interno del programma dei

sistemi di elementi costruttivi, sarà possibile in modo semplificato per i professionisti effettuare una classificazione e confrontare i risultati.

Sviluppi futuri - Integrazione con piattaforme BIM Building Information Modeling

L'integrazione del *BIM Building Information Modeling* e *LCA Lyfe Cycle Assessment* risulta essere un approccio interessante per una valutazione energetico-ambientale, in particolar modo attraverso la riduzione dei tempi nell'acquisizione dei dati e l'ottimizzazione delle informazioni. A tal proposito, i dati di input sono riferiti alle caratteristiche fisiche di un modello virtuale 3D e tali informazioni verranno trasferite all'interno di un software di valutazione ambientale.

Un aspetto molto importante risulta essere quello del processo di trasferimento dei dati e dell'effettiva integrazione dei database. In questa fase diversi aspetti devono essere considerati come in tab.3, dove sono stati definiti dei casi studio riferiti all'integrazione dei software BIM ai software dedicati all'LCA (Bernadette et al., 2016).

Table 3
Software integration and data exchange summary.

Reference	BIM software	Energy consumption calculation	Data exchange procedure	LCA tool
Ajayi et al. [33]	Autodesk Revit Architecture	Green Building Studio (GBS)	From BIM to Excel sheet	ATHENA Impact Estimator
Basbagill et al. [49]	DProfiler	eQUEST	From BIM to Excel sheet	SimaPro, ATHENA EcoCalculator
Georges et al. [66]	Autodesk Revit Architecture	SIMIEN	From BIM to Excel sheet	SimaPro version 7.3
Houlihan et al. 2014	Autodesk Revit Architecture	SIMIEN	From BIM to Excel sheet	SimaPro version 7.3
Iddon & Firth [65]	–	Standard Assessment Procedure for energy rating of dwellings 2009 version 9.9 [75]	From BIM to Excel sheet	–
Jalaei & Jrade [57]	Autodesk Revit Architecture	Autodesk Ecotect, Integrated Environmental Solutions	From BIM trough ODBC exporting format	Athena Impact Estimator
Jrade & Jalaei [58]	Autodesk Revit Architecture	Autodesk Ecotect	From BIM to external database	ATHENA Impact Estimator
Lee et al. [59]	Autodesk Revit Architecture	–	Database link to BIM	–
Peng [64]	Autodesk Revit Architecture	Ecotect	From BIM to Excel sheet	–
Shafiq et al. [70]	Autodesk Revit Architecture	–	From BIM to Excel sheet	–
Shin et al., 2015	ArchiCAD 15	EcoDesigner	From BIM to Excel sheet	–

Fig.113 Tabella rappresentante casi studio riferiti all'integrazione di software BIM e software LCA (Fonte: Bernadette et al., 2016).

Una limitazione in edilizia delle valutazioni LCA sono le tempistiche riguardanti l'inserimento dei dati di input (*LCI Life Cycle Inventory*), infatti l'integrazione ad una piattaforma BIM dovrebbe migliorare l'efficienza nell'immissione dei dati. In tale ottica

i risultati dei dati di input sono organizzati in: dati input del modello fisico (software BIM) e dati input delle caratteristiche ambientali (software LCA), che dovranno integrarsi per sviluppare l'analisi.

Il livello di dettaglio del modello 3D definisce il livello di dettaglio che sarà sviluppato nella valutazione LCA. Nei casi studio analizzati in Tab.3 i dati di input del modello BIM sono poi stati trasferiti in un foglio Excel, prima della valutazione. Per esempio nel caso di Georges et al. E Houli-han, sono state esportati i dati dimensionali dei materiali (lunghezza, area e volume) dal software Revit ad Excel, utilizzando le quantità per calcolare le emissioni della fase di produzione. Altri progettisti hanno elaborato un metodo automatizzato per collegare i database dei materiali al modello BIM anche se alcune informazioni dovranno essere inserite manualmente (Bernadette et al., 2016).

Una delle problematiche in questa integrazione risulta essere la difficile inclusione di tutte le fasi del ciclo di vita, come dimostrato nei casi studio analizzati, è stato confermato che i dati contenuti nel database BIM non sono sufficienti per sviluppare una valutazione LCA, infatti alcuni dati input sono stati modificati manualmente dall'operatore in una fase successiva. Dunque per migliorare questo scambio di dati tra BIM e LCA, i modelli BIM dovrebbero includere maggiori informazioni sulle proprietà dei materiali e sulle caratteristiche costruttive degli edifici, adattando i loro database a quelli dell'LCA.

Essendo ancora scarsa la letteratura riguardo questo argomento specifico, si dimostra il crescente interesse per l'integrazione del BIM e con i metodi di calcolo dell'impatto ambientale. Per la maggior parte dei casi l'integrazione è stata sviluppata per nuovi edifici/progetti, meno per edifici esistenti e si notano delle limitazioni in diverse fasi quali: l'uso, la ristrutturazione, la manutenzione, la riparazione e le fasi di fine vita, nonché il potenziale di riciclaggio e riutilizzo. Inoltre si è notato che i plug-in sviluppati per i software BIM collegati ai software LCA hanno il vantaggio di risultati immediati e lo svantaggio dell'utilizzo limitato a solo poche fasi del ciclo di vita. Per gli utenti finali, l'integrazione di BIM-LCA dovrebbe aiutare i progettisti e gli ingegneri a ottenere risultati

rapidi e affidabili sulle prestazioni ambientali degli edifici, sin dalle prime fasi della progettazione. Per gli sviluppatori di software, una delle maggiori sfide consiste nel migliorare l'interoperabilità tra entrambi gli strumenti, pertanto, dovrebbero essere sviluppati strumenti che possano essere compatibili con le specifiche di formato di file aperti come il formato dei dati IFC piuttosto che lo sviluppo di plug-in per specifici software BIM. Questo perché la prima soluzione consente una valutazione più completa durante il ciclo di vita dell'edificio e facilita inoltre l'ambito dell'applicazione del metodo LCA nel settore AEC (Bernadette et al., 2016). Di conseguenza si sottolinea la necessità di sviluppi futuri al fine di migliorare e standardizzazione di una metodologia di integrazione.

Sviluppi futuri - Metodi e strumenti univoci di valutazione della sostenibilità ambientale

In alcuni casi risulta difficile sviluppare una valutazione ambientale, poichè Il progettista si trova di fronte ad una grande vastità di strumenti, caratterizzati da indicatori e aspetti diversi. In quest'ottica occorrebbe normalizzare le procedure di analisi, in quanto lo strumento LCA risulta essere uno strumento oggettivo di valutazione. Inoltre gli operatori del settore hanno difficoltà nella scelta di una banca dati e anche in questo caso si dovrebbero istituire delle regole per l'identificazione di banche dati attendibili. Ad oggi le banche dati più affidabili risultano essere: Ecoinvent, Okobaudat, INIES, e occorrebbe una banca dati destinata a progettisti e utenti del settore riferita non solo ai prodotti edilizi ma anche ad altre fasi del ciclo di vita (consumi di acqua, consumi di energia in fase d'uso ecc..), (Lavagna, 2018).

Sviluppi futuri - Metodi e strumenti di valutazione economico ambientale (modello €CO)

Ad oggi esistono strumenti per determinare l'efficienza economico ambientale degli edifici e dei loro componenti edilizi, uno di questi è denominato modello €CO, sviluppato dalla Prof. Francesca Thiebat con sede al Politecnico di Torino. Questo modello di valutazione è stato basato su tre temi della sostenibilità: *l'environmental LCC* (SETAC 2003), *Life Cycle Costing* (ISO 15686-5: 2008), *LCA Life Cycle Assessment* (ISO 14040/44:2006).

La struttura del modello è composta da 4 fasi, designate dalla norma ISO 14040, per la valutazione degli aspetti ambientali (LCA) e degli aspetti economici (LCC). Questo strumento si basa sui valori ottenuti dall'analisi: tot LCC, tot $LCA_{(GWP)}$ e tot $LCA_{(GER)}$, rappresentando i dati di input per il calcolo del fattore di efficienza energetico-ambientale (Thiébat, 2013).

$$X_{j(LCC)} = \frac{\text{tot } LCC_b - \text{tot } LCC_j}{\text{tot LCCb}}$$

$$X_{j(GWP)} = \frac{\text{tot } LCA_{b(GWP)} - \text{tot } LCA_{j(GWP)}}{\text{tot } LCA_{b(GWP)}}$$

$$X_{j(GER)} = \frac{\text{tot } LCA_{b(GER)} - \text{tot } LCA_{j(GER)}}{\text{tot } LCA_{b(GER)}}$$

Fig.114 Tabella rappresentante la performance economica (LCC) e la performance ambientale(GWP e GER) di una soluzione usuale con una alternativa (Fonte: Thiébat, 2013).

Il modello €CO ha lo scopo di confrontare tecnologie costruttive rappresentanti uno standard tecnologico con alternative più ecocompatibili ed innovative. Costruttori e progettisti a volte preferiscono adottare tecniche costruttive abituali, per il quale sono noti: i modi dell'approvvigionamento e la messa in opera, scegliendo la soluzione economicamente più vantaggiosa. Questo strumento permette di attribuire dei pesi a tutti gli impatti, calcolando successivamente un fattore di sintesi che relaziona ogni soluzione alternativa come :

$$€CO=(X_{LCC} * \eta_{LCC}) + (X_{GWP} * \eta_{GWP}) + (X_{GER} * \eta_{GER})$$

dove:

X_{LCC} = Performance economica

X_{GWP} = Performance ambientale in relazione all'impatto GWP

X_{GER} = Performance ambientale in relazione all'impatto GER

$\eta_{LCC}\ \eta_{GWP}\ \eta_{GER}$ = Pesi relativi ai tre indicatori di impatto

Fig.115 Formula €CO (Fonte: Thiébat, 2013).

Il valore ottenuto è adimensionale e compreso tra 0 e 1, più l'indice si avvicina al valore 1 e migliore risulta essere la performance dell'edificio.

In conclusione, lo strumento analizzato, risulta essere un valido strumento integrato alla progettazione, in grado di valutare e confrontare soluzioni tecnologiche differenti ed innovative.

Conclusioni

Gli obiettivi della tesi sono raggiunti:

-Nella prima parte del lavoro di tesi è stata effettuata la progettazione dei due edifici relativi ai sistemi costruttivi in: Xlam e acciaio, attraverso uno studio delle strutture e un'analisi delle caratteristiche prestazionali dell'involucro edilizio.

-Nella seconda parte è stata sviluppata un'analisi LCA *Life Cycle Assessment,* in relazione ad ogni singolo edificio, grazie ai dati raccolti dalle singole analisi è stato possibile confrontare i tre sistemi costruttivi dal punto di vista del potenziale impatto ambientale. Grazie a questo lavoro è stato valutato il programma eTool LCD per il calcolo degli impatti ambientali.

Il lavoro potrebbe essere un modello replicabile per progettisti o esperti del settore per prendere importanti decisioni in fase di progettazione di un edificio e valutare gli impatti energetico-ambientali. Inoltre, avendo definito all'interno del programma di calcolo degli impatti ambientali, delle categorie di elementi costruttivi, sarà possibile per i professionisti confrontare i risultati.

Bibliografia

- Baldo, Marino, Rossi; 2008; Analisi del ciclo di vita LCA; Edizione ambiente.

- Basbagill, J.R; 2013; *Integration of life cycle assessment and conceptual building design;* Università di Stanford.

- Bernadette Soust-Verdaguer, Carmen Llatas, Antonio Garcìa-Martinez; 2016; Critical review of bim-based LCA method to buildings; Science Direct.

- Boschi Filippo e gruppo di lavoro; 2009; Una nuova città per le colonie di Bellaria Igea Marina;

- Dodd Nicholas, Cordella Mauro, Traverso Marzia, Donatello Shane; 2017; *A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings; Joint Research Centre.*

- El khouli., V. John e M. Zeumer; 2015; Sustanaible Construction Techniques, From structural design to interior fit-out: Assessing and improving the environmental impact of building; Detail green books.

- Giordano Roberto, Thiébat Francesca, Serra Valentina, Budau Ema Madalina; 2018; Metodologie integrate di valutazione applicate ai materiali di un edificio ad alta quota; Techne 16

- Grosso Mario, Thiébat Francesca; 2015; *Life cycle environmental assessment of temporary building constructions*; *Science Direct.*

- I. Boustead and G. F. Hancock; 1979; andbook of industrial energy analysis; Halsted press.

- Lavagna Monica; 2018; *Life cycle assessment* in edilizia; Politecnico di Milano.

- Masoni, P ed E. Scimia; 1999; *Life cycle assessment:* sviluppo di indicatori specifici per l'Italia per la fase di valutazione di impatto; Roma; ENEA.

- Neri.P; 2008; Verso la valutazione ambientale degli edifici - *Life cycle assessment* a supporto della progettazione eco sostenibile; Firenze; Alinea Editrice.

- Roberto Giordano; 2010; I prodotti per l'edilizia sostenibile, lacompatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio; Gruppo editoriale Esselibri.

- Simonen Kathrina; 2014; Life cycle assessment; Washington; Routledge.

- Swiss Ecoinvent Centre, Frischknecht R, Jungbluth N (eds) Althaus HJ, Doka G, Dones R, Heck T, Hellweg S, Hischier R, NemeceK T, Rebitzer G, Spielmann M, Wernet G (authors) (2007); Ecoinvent report no 1:overview and methodology for the ecoinvent database v.2.0; DÜbendorf.

- Thiébat Francesca; 2013; Progettazione sostenibile nel ciclo di vita; Politecnico di Torino; Dipartimento di Architettura e Design.

- Thiébat Francesca; 2016; Uno strumento di analisi a supporto di valutazioni strategiche per il recupero e la rifunzionalizzazione di aree dismesse; Techne 12.

- Thiébat Francesca; Andrea Veglia; Valentina Porceddu; 2016; *Sustainability strategies for the reuse of dismissed industrial architecture - Life-cycle design in an Italian case study;* Los Angeles; PLEA

Sitografia

-www.bellariaigeamarina.org/it/tradizione/La_storia_di_bellaria_igea_marina.html, consultato il 05.01.2019

-www.comune.bellaria-igea-marina.rn.it/citta/cms/page/territorio-conoscere_città, consultato il 05.01.2019

-www.google.com/maps

-www.rasom.it/l-azienda/i-valori, consultato il 25.11.2018

-www.ivalsa.cnr.it/news-eventi/dettaglio-news/article/la-casa-di-legno-di-sette-piani-che-resiste-ai-sismi.html, consultato il 22.11.2018

-www.tuttitalia.it/emilia-romagna/95-bellaria-igea-marina, consultato il 07.01.2019

-www.etoollcd.com/Design/Index/17108, consultato il 11.12.2018

-www.ecoinvent.org, consultato il 10.12.2018

-www.edilclima.com, consultato il 21.01.2019

-www.cslp.it, consultato il 2.02.2019

Software utilizzati

-Adobe Photoshop

-Adobe Illustrator

-Autodesk Autocad

-Edilclima

-eTool LCD

-Microsoft Excel

-Microsoft Word

-Microsoft Power Point

-Sismicad concrete

-Spettri NTC 1.0.3, Consiglio superiore dei lavori pubblici

Ringraziamenti

Desidero innanztutto ringraziare il Professor Caldera e la Professoressa Thiébat per avermi affiancato e aver dedicato numerose ore per la mia tesi, rendendosi sempre disponibili a rispondere ad ogni mio dubbio durante la stesura del lavoro. Un grazie particolare allo studio FLM, che mi ha aiutato e seguito in questo percorso di tesi, un grazie a tutti i membri dello studio: Romeo, Paolo, Giacomo e Valentina.

Grazie ai miei genitori, che per primi mi hanno aiutato nella scelta di questo percorso, rendendolo possibile e sostenendomi in ogni situazione, senza di loro non sarei arrivato a questo traguardo. Poi come non ringraziare mio fratello Luca e la sua famiglia che mi ha supportato e aiutato in questi anni di studio, una spalla su cui posso sempre contare, e per questo ve ne sono molto grato.

Un grazie speciale a te, Lara, la persona che è stata capace di capirmi e sostenermi sempre, anche nei momenti più difficili, grazie per avermi trasmesso: la tua carica, la tua energia, la tua voglia di vivere. La settimana a Torino non era mai facile, lezioni, esami e laboratori, poi quando tornavo a casa nel Weekend avevo te, pronta ad aspettarmi sempre con nuove esperienze che mi hanno reso felice e spensierato e mi hanno fatto amarti sempre di più.

Dedico questo traguardo anche a tutti i miei amici di Fossombrone, amici di una vita, i regaz, che nonostante gli anni che passano mi son sempre stati vicini supportandomi e condividendo con me momenti bellissimi, e i nuovi amici di corso di Torino con cui ho condiviso attimi di: gioia, tristezza, ansia durante gli esami, tutti momenti bellissimi che rimarranno sempre con me. In questi anni ho avuto vicine delle persone fantastiche che in ogni modo hanno cercato di aiutarmi e rendermi felice.

Allegati

Allegato 1: Analisi sismica

Fase I

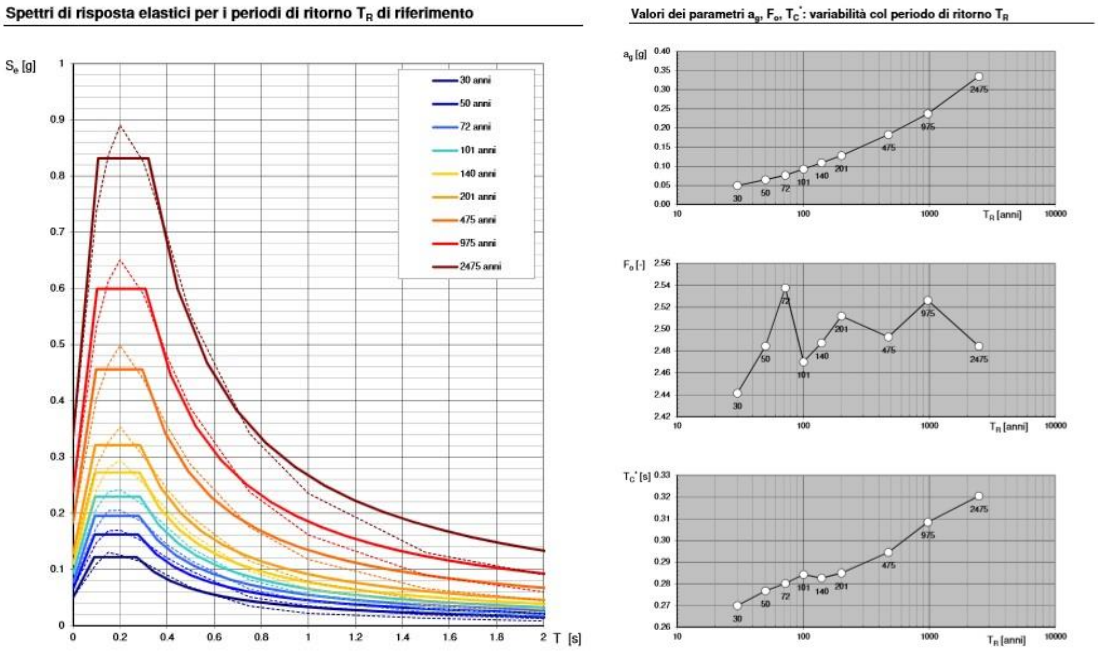


Fig.106 Spettri di risposta elastici e valori dei parametri: a_g, Fo e Tc (Fonte: software Spettri NTC versione 1.0.3).*

Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0.050	2.442	0.270
50	0.065	2.485	0.277
72	0.077	2.538	0.280
101	0.093	2.470	0.284
140	0.110	2.487	0.283
201	0.128	2.512	0.285
475	0.183	2.493	0.295
975	0.237	2.526	0.308
2475	0.335	2.484	0.320

Fig.106 Tabella riassuntiva dei parametri: a_g, Fo e Tc (Fonte: software Spettri NTC versione 1.0.3).*

Fase II

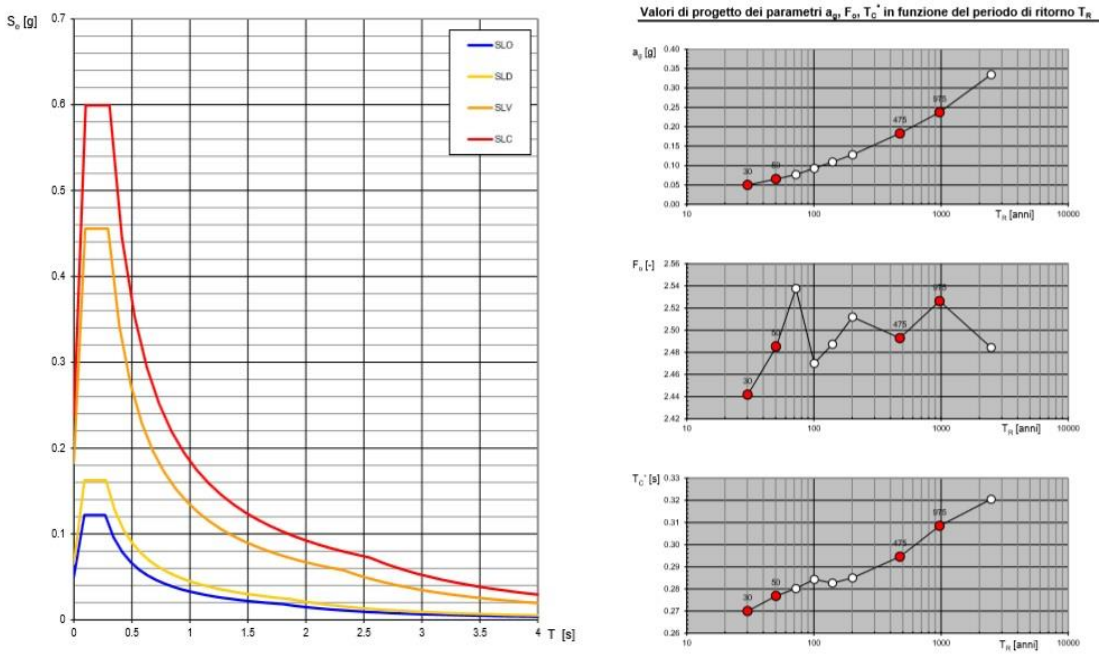


Fig.106 Spettri di risposta elastici e valori dei parametri: a_g, Fo e Tc (Fonte: software Spettri NTC versione 1.0.3).*

Valori dei parametri a_g, F_o, T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0.050	2.442	0.270
SLD	50	0.065	2.485	0.277
SLV	475	0.183	2.493	0.295
SLC	975	0.237	2.526	0.308

Fig.106 Tabella riassuntiva dei parametri: a_g, Fo e Tc (Fonte: software Spettri NTC versione 1.0.3).*

Fase III

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.183 g
F_o	2.493
T_C^*	0.295 s
S_S	1.427
C_C	1.572
S_T	1.000
q	2.400

Parametri dipendenti

S	1.427
η	0.417
T_B	0.154 s
T_C	0.463 s
T_D	2.331 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$S = S_S \cdot S_T$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0{,}55;\ \eta = 1/q$ (NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)

$T_B = T_C / 3$ (NTC-07 Eq. 3.2.8)

$T_C = C_C \cdot T_C^*$ (NTC-07 Eq. 3.2.7)

$T_D = 4{,}0 \cdot a_g / g + 1{,}6$ (NTC-07 Eq. 3.2.9)

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$0 \leq T < T_B$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$

$T_B \leq T < T_C$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$

$T_C \leq T < T_D$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$

$T_D \leq T$ $\quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right)$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con 1/q, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.261
T_B ←	0.154	0.271
T_C ←	0.463	0.271
	0.552	0.227
	0.641	0.196
	0.730	0.172
	0.819	0.153
	0.908	0.138
	0.997	0.126
	1.086	0.115
	1.175	0.107
	1.264	0.099
	1.353	0.093
	1.441	0.087
	1.530	0.082
	1.619	0.077
	1.708	0.073
	1.797	0.070
	1.886	0.066
	1.975	0.063
	2.064	0.061
	2.153	0.058
	2.242	0.056
T_D ←	2.331	0.054
	2.411	0.050
	2.490	0.047
	2.569	0.044
	2.649	0.042
	2.728	0.039
	2.808	0.037
	2.887	0.037
	2.967	0.037
	3.046	0.037
	3.126	0.037
	3.205	0.037
	3.285	0.037
	3.364	0.037
	3.444	0.037
	3.523	0.037
	3.603	0.037
	3.682	0.037
	3.762	0.037
	3.841	0.037
	3.921	0.037
	4.000	0.037

Fig.106 Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per SLV (Fonte: software Spettri NTC versione 1.0.3).

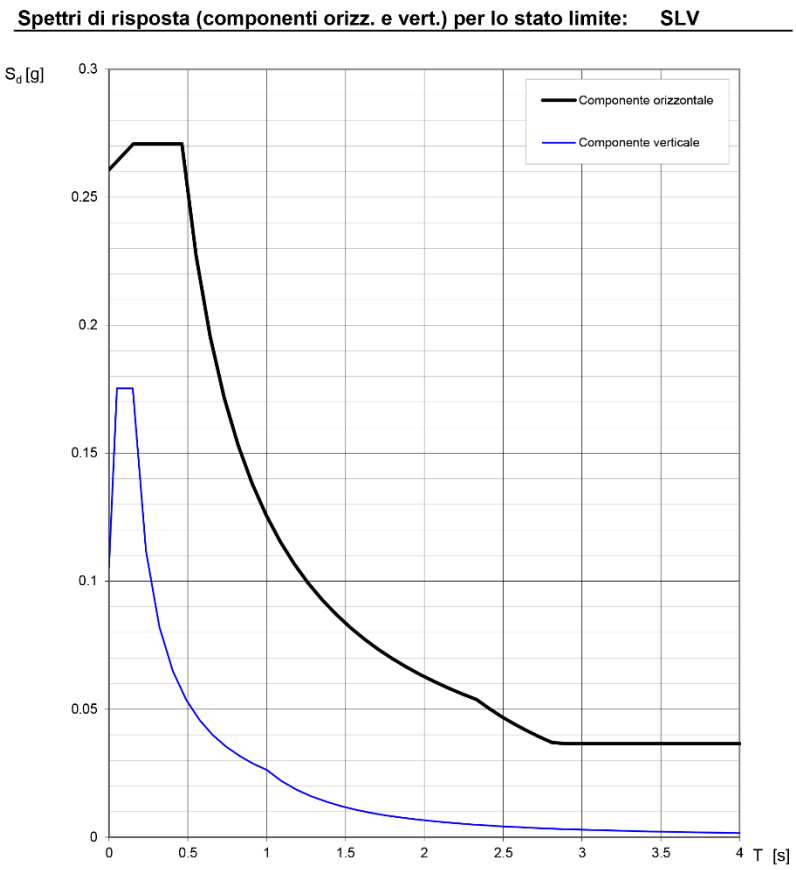


Fig.106 Spettri di risposta per SLV(Fonte: software Spettri NTC versione 1.0.3).

Allegato 2: Software eToolLCD – struttura in Xlam (schermata iniziale)

Scelta indicatori
Impact Summary
Global Warming Potential, GWP
Products
Recurring
End of Life
Transport
Construction
Other
-10k
0k
10k
20k
30k
40k
50k
60k
Global Warming Potential, GWP (kg CO2 eq)
Products 53.850
Transport 7.200
Construction 0
Recurring 50.571
End of Life 32.117
Product Reuse -5.851
EPD 0
Total 137.887
CASA MAZZOTTI STRUTTURA IN LEGNO > CASA MAZZOTTI STRUTTURA IN LEGNO > base design
Superstructure
Schermata inserimento dati inventario
Inserimento dati inventario
+ Add Template
+ Add Superstructure
Category
Description
Quantity
Product Life
GWP(kg CO2 eq)
HEB 200, MAZZOTTI
Steel | Coated Sheet | Enamelled | Industry Average
Roof structure
Rinforzo solaio HEB 200
2.004.5 kg
50 yrs
11.604.42
Edit Custom Template
Edit
HEB 220, MAZZOTTI
Steel | Coated Sheet | Enamelled | Industry Average
Roof structure
Rinforzo solaio HEB 220
786.5 kg
50 yrs
4.550.29
Edit Custom Template
Edit
HEB 240, MAZZOTTI
Steel | Coated Sheet | Enamelled | Industry Average
Roof structure
Rinforzo solaio HEB 240
482.56 kg
50 yrs
2.791.85
Edit Custom Template
Edit
Isolante fibra di legno, thermowall 60, PART.1 (parete. est)
Insulation | Rigid Foams and Boards | Woodfibre Insulation Board | Density 140 | Industry Average
Insulation
ISOLANTE FIBRA DI LEGNO 60mm
18.66 m3
45 yrs
8.082.86
Edit Custom Template
Edit
Isolante fibra di legno, thermoscafe 80, PART.1 (parete.est)
Insulation | Rigid Foams and Boards | Woodfibre Insulation Board | Density 140 | Industry Average
Insulation
ISOLANTE FIBRA DI LEGNO 80mm
24.88 m3
45 yrs
10.777.15
Edit Custom Template
Edit

eToolLCD
Schermata EN 15978
Home
Library
Dialogue
Request Quote
Help
Sign out
Projects
Reports
CASA MAZZOTTI STRUTTURA IN LEGNO > CASA MAZZOTTI STRUTTURA IN LEGNO > base design
Action
Fasi secondo EN 15978
Scelta indicatori
Bulk Swap
Add Template
Add EPD
Categories
Templates
EPDs
Details
Functions
Reports
Recommendations
EN 15978
Alerts
Docs
Quality Checks
Scale Costs
Import
Collapse Tabs
Life Cycle Stage
Detail Description
Code
Global Warming Potential, GWP (kg CO2 eq)
Materials and Construction Stage
Product Stage
A1-A3
69.313
Transport of Equipment and Materials
A4
9.254
Construction
A5
MNA
Use Stage
Use of Products
B1
0
Maintenance
B2
0
Repair
B3
0
Replacement
B4
0
Refurbishment
B5
57.622
Integrated Operational Energy Use
B6
0
Other Operational Energy Use
B6+
0
Operational Water Use
B7
0
End of Life Stage
Deconstruction / Demolition
C1
0
Transport of Waste Offsite
C2
1.202
Waste Processing
C3
0
Disposal
C4
34.786
Benefits and Loads Beyond The System Boundary
Operational Energy Exports
D1
0
Closed Loop Recycling
D2
-5.991
Open Loop Recycling
D3
0
Materials Energy Recovery
D4
133
Impact Summary
Global Warming Potential, GWP
Environmental
Global Warming Potential, GWP
Ozone Depletion Potential, ODP
Acidification Potential for Soil and Water, AP
Eutrophication potential, EP
Photochemical Ozone Creation Potential, POCP
Abiotic Depletion Potential - Elements, ADPE
Abiotic Depletion Potential - Fossil Fuels, ADPF
Embodied Energy
Other
-20k
0k
20k
40k
60k
80k
Global Warming Potential, GWP (kg CO2 eq)
Products
69.313
Transport
9.254
Construction
0

Allegato 3: Analisi dell'inventario LCA

-Struttura in legno Xlam

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce database	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
Intonaco a base di calce	Parete esterna (Part.1)	0.01	3,11 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Cements and Limes | Mortars and Renders | Lime : 3 sand | Industry Average |	169 1	Camion (Rigid truck)	32	1	10
Isolante in fibra di legno, Gutex Thermowall	Parete esterna (Part.1)	0.06	18,66 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Rigid Foams and Woodfibre Boards | Insulation Board | Density 140 | Industry Average	319	Camion (Rigid truck)	45	1	15
Isolante in fibra di legno, Gutex Thermosafe	Parete esterna (Part.1)	0.08	24,88 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Rigid Foams and Woodfibre Boards | Insulation Board | Density 140 | Industry Average	319	Camion (Rigid truck)	45	1	15
Xlam 85mm	Parete esterna (Part.1)	0.085	311 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Timber | Cross Laminated Timber | Industry Average	423	Camion (Rigid truck)	50	0	15
Chiodi di fissaggio (parete Xlam)	Parete esterna (Part.1) ferramenta parete Xlam	/	31 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	423	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Isolamento in lana di roccia	Parete esterna (Part.1)	0.027	270 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Blankets and Batts | Mineral Wool | Blanket | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	45	1	2
Doppia lastra in gesso rivestito	Parete esterna (Part.1)	0.012	540 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Fissaggi lastra di gesso	Parete esterna (Part.1)	/	2,7 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Intonaco a base di calce	Parete esterna (Part.2) Vano ascensore	0.01	0,52 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Cements and Limes | Mortars and Renders | Lime : 3 sand | Industry Average |	169 1	Camion (Rigid truck)	32	1	10

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce datebase	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
Isolante in fibra di legno, Gutex Thermowall	Parete esterna (Part.2) Vano ascensore	0.06	3,12 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Rigid Foams and Boards | Woodfibre Inslation Board | Density 140 | Industry Average	319	Camion (Rigid truck)	45	1	15
Xlam 125 mm	Parete esterna (Part.2) Vano ascensore	0.125	52 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Timber | Cross Laminated Timber | Industry Average	423	Camion (Rigid truck)	50	0	15
Chiodi di fissaggio (parete Xlam)	Parete esterna (Part.2) Vano ascensore ferramenta parete Xlam	/	5,2 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	423	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Lastra in gesso rivestito	Parete esterna (Part.2) Vano ascensore	0.012	52 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Fissaggi lastra di gesso	Parete esterna (Part.2) Vano ascensore fissaggi	/	0,26 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Lastra in gesso rivestito	Parete interna (Part.3) Divisorio camere	0.012	192 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Fissaggi lastra di gesso	Parete interna (Part.3) Divisorio camere	/	0,96 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Isolamento in lana di roccia	Parete interna (Part.3) Divisorio camere	0.027	48 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Blankets and Batts | Mineral Wool | Blanket | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	45	1	2

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce datebase	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
Xlam 81mm	Parete interna (Part.3) Divisorio camere	0.081	48 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Timber | Cross Laminated Timber | Industry Average	423	Camion (Rigid truck)	50	0	15
Chiodi di fissaggio (parete Xlam)	Parete interna (Part.3) Divisorio camere ferramenta parete Xlam	/	4,8 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	423	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Isolamento in lana di roccia	Parete interna (Part.3) Divisorio camere	0.027	48 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Blankets and Batts | Mineral Wool | Blanket | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	45	1	2
Lastra in gesso rivestito	Parete interna (Part.4) Divisorio U.I	0.012	64 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Fissaggi lastra di gesso	Parete interna (Part.4) Divisorio U.I	/	0,32 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Isolamento in lana di roccia	Parete interna (Part.4) Divisorio U.I	0.075	17 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Blankets and Batts | Mineral Wool | Blanket | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	45	1	2
Xlam 81mm	Parete interna (Part.4) Divisorio U.I	0.081	17 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Timber | Cross Laminated Timber | Industry Average	423	Camion (Rigid truck)	50	0	15
Chiodi di fissaggio (parete Xlam)	Parete interna (Part.4) Divisorio U.I	/	1,7 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	423	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Isolamento in lana di roccia	Parete interna (Part.4) Divisorio U.I	0.027	17 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Blankets and Batts | Mineral	320	Camion (Rigid truck)	45	1	2

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce database	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
					Wool | Blanket | Unspecified | Industry Average					
Intonaco a base di calce	Parete esterna (Part.5)	0.01	0,38 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Cements and Limes | Mortars and Renders | Lime : 3 sand | Industry Average | 1	169	Camion (Rigid truck)	32	1	10
Pannello Acquaboard	Parete esterna (Part.5)	0.012	0,46 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Fibre Board | Fibre Cement | Medium Density. 1250 kg/t | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Xlam 81mm	Parete esterna (Part.5)	0.081	38 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Timber | Cross Laminated Timber | Industry Average	423	Camion (Rigid truck)	50	0	15
Chiodi di fissaggio (parete Xlam)	Parete esterna (Part.5) ferramenta parete Xlam	/	3,8 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	423	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Isolante in fibra di legno, Gutex Thermowall	Parete esterna (Part.5)	0.08	3,04 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Rigid Foams and Woodfibre Boards | Insulation Board | Density 140 | Industry Average	319	Camion (Rigid truck)	45	1	15
Intonaco a base di calce	Parete esterna (Part.5)	0..01	0,38 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Cements and Limes | Mortars and Renders | Lime : 3 sand | Industry Average | 1	169	Camion (Rigid truck)	32	1	10
Lastra in gesso rivestito	Parete interna (Part.6) tramezzi	0.012	332 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Fissaggi lastra di gesso	Parete interna (Part.6) tramezzi	/	1,6 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce datebase	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
Isolamento in lana di roccia	Parete interna (Part.6) tramezzi	0.075	83 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Blankets and Batts | Mineral Wool | Blanket | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	45	1	2
Lastra in gesso rivestito	Parete divisoria scala interna (Part.7)	0.012	60 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Fissaggi lastra di gesso	Parete divisoria scala interna (Part.7)	/	0,3 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Isolamento in lana di roccia	Parete divisoria scala interna (Part.7)	0.127	15 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Blankets and Batts | Mineral Wool | Blanket | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	45	1	2
Xlam 81mm	Parete divisoria scala interna (Part.7)	0.081	15 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Timber | Cross Laminated Timber | Industry Average	423	Camion (Rigid truck)	50	0	15
Chiodi di fissaggio (parete Xlam)	Parete divisoria scala interna (Part.7) ferramenta parete Xlam	/	1,5 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	423	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Isolamento in lana di roccia	Parete divisoria scala interna (Part.7)	0.027	15 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Blankets and Batts | Mineral Wool | Blanket | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	45	1	2
Lastra in gesso rivestito	Solaio interpiano (Part.8)	0.012	2,86 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster | Unspecified | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	7,5

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce database	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
Fissaggi lastra di gesso	Solaio interpiano (Part.8)	/	1,19 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Isolamento in lana di roccia	Solaio interpiano (Part.8)	0.027	238 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Blankets and Batts | Mineral Wool | Blanket | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	45	1	2
Xlam 165mm	Solaio interpiano (Part.8)	0.165	238 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Timber | Cross Laminated Timber | Industry Average	423	Camion (Rigid truck)	50	0	15
Chiodi di fissaggio (parete Xlam)	Solaio interpiano (Part.8) ferramenta parete Xlam	/	23.8 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	423	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Guaina EPDM	Solaio interpiano (Part.8)	0.0013	0.31 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Roofing | Membranes | EPDM | Industry Average	253	Camion (Rigid truck)	18	2	10
Massetto alleggerito cls	Solaio interpiano (Part.8)	0.08	19,04 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Concrete | Unreinforced | 40 MPa | Industry Average	169	Camion (Rigid truck)	50	0	10
Guaina anticalpestio	Solaio interpiano (Part.8)	0.008	1,9 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Roofing | Membranes | EPDM | Industry Average	260	Camion (Rigid truck)	18	2	10
Isolante termoacustico, riscaldamento a pavimento	Solaio interpiano (Part.8)	0.04	9,52 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Rigid Foams and Boards | Polystyrene | 0% Recycled EPS | Industry Average	200	Camion (Rigid truck)	45	1	15
Massetto pavimento	Solaio interpiano (Part.8)	0.03	7,14 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Concrete | Light Weight | Autoclaved Aerated (density 700kg/m3) | Industry Average	169	Camion (Rigid truck)	50	0	10

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce datebase	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
Pavimento in legno	Solaio interpiano (Part.8)	0.02	4.76 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Timber | Recycled | Industry Average	50	Camion (Rigid truck)	35	1	15
Fissaggi pavimento	Solaio interpiano (Part.8)	/	11,9 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	75	Camion (Rigid truck)	35	1	5
Lastra in gesso rivestito	Solaio copertura (Part.9)	0.012	60 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Fissaggi lastra di gesso	Solaio copertura (Part.9)	/	0,3 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	5
Isolamento in lana di roccia	Solaio copertura (Part.9)	0.05	60 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Blankets and Batts | Mineral Wool | Blanket | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	45	1	2
Xlam 165mm	Solaio copertura (Part.9)	0.165	60 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Timber | Cross Laminated Timber | Industry Average	423	Camion (Rigid truck)	50	0	15
Chiodi di fissaggio (pareta Xlam)	Solaio copertura (Part.9) ferramenta parete Xlam	/	6 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	423	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Barriera al vapore	Solaio copertura (Part.9)	0.0022	0.13 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plastics | Polyurethane | Unspecified | Industry Average	253	Camion (Rigid truck)	18	2	20
Isolante in fibra di legno, Gutex Thermosafe	Solaio copertura (Part.9)	0.18	10,8 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Rigid Foams and Boards | Woodfibre Insulation Board | Density 140 | Industry Average	319	Camion (Rigid truck)	45	1	15

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce database	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
Lamierino di chiusura	Solaio copertura (Part.9)	0.003	0,18 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Aluminium | Extruded | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	1
Pannello in fibrocemento	Solaio terrazzi (Part.10)	0.012	1,09 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Fibre Board | Fibre Cement | Compressed 1750kg/m3 | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Isolante in XPS	Solaio terrazzi (Part.10)	0.06	5,46 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plastics | Polystyrene | Expanded Polystyrene | Industry Average	285	Camion (Rigid truck)	45	1	20
Xlam 165mm	Solaio terrazzi (Part.10)	0.165	91 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Timber | Cross Laminated Timber | Industry Average	423	Camion (Rigid truck)	50	0	15
Chiodi di fissaggio (parete Xlam)	Solaio terrazzi (Part.10)	/	9,1 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	423	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Isolante in XPS	Solaio terrazzi (Part.10)	0..08	7,28 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plastics | Polystyrene | Expanded Polystyrene | Industry Average	285	Camion (Rigid truck)	45	1	20
Pannello OSB	Solaio terrazzi (Part.10)	0.022	2 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Timber | Oriented Stand Board (OSB) | Industry Average	423	Camion (Rigid truck)	40	1	15
Membrana PVC	Solaio terrazzi (Part.10)	0.0015	0.14 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Carpets and Floor Coverings | Vynal (PVC) | Unspecified | Industry Average	450	Camion (Rigid truck)	18	2	20
Guaina ardesiata	Solaio terrazzi (Part.10)	0.0015	0.14 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Roofing | Membranes | Polyester bitumen | Industry Average	253	Camion (Rigid truck)	18	2	10
Rivestimento in piastrelle	Solaio terrazzi (Part.10)	0.015	1.37 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Ceramics | Ceramic Tiles | Industry Average	50	Camion (Rigid truck)	33	1	15

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce database	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
Fissaggio piastrelle	Solaio terrazzi (Part.10)	/	1,82 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Resins and Adhesives | Urea Formaldehyde | Industry Average	50	Camion (Rigid truck)	33	1	15
HEB 200	Struttura	0.015	2,004.5 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | Coated Sheet | Enamelled | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	5
HEB 220	Struttura	0.016	786,5 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | Coated Sheet | Enamelled | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	5
HEB 240	Struttura	0.017	482,56 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | Coated Sheet | Enamelled | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	5

-Struttura in C.A

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce database	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
Lastra in gesso rivestito	Parete esterna (Part.11)	0.0125	331 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Fissaggi lastra di gesso	Parete esterna (Part.11)	/	1,65 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Intonaco a base di calce	Parete esterna (Part.11)	0.015	4,97 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Cements and Limes | Mortars and Renders | 1 Lime : 3 sand | Industry Average |	169	Camion (Rigid truck)	32	1	10
Muro blocchi singoli	Parete esterna (Part.11)	0.3	74,4 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Bricks, Blocks and Pavers | Clay Bricks and Pavers | Unspecified | Industry Average	85	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Isolante EPS	Parete esterna (Part.11)	0.1	33,1 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Rigid Foams and Boards | Polystyrene | 0% Recycled EPS | Industry Average	50	Camion (Rigid truck)	45	1	
Intonaco a base di calce	Parete esterna (Part.11)	0.015	4,97 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Cements and Limes | Mortars and Renders | 1 Lime : 3 sand | Industry Average |	169	Camion (Rigid truck)	32	1	10
Intonaco a base di calce	Parete esterna (Part.12) Vano ascensore	0.015	0,8 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Cements and Limes | Mortars and Renders | 1 Lime : 3 sand | Industry Average |	169	Camion (Rigid truck)	32	1	10
Isolante EPS	Parete esterna (Part.12) Vano ascensore	0.1	5,3 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Rigid Foams and Boards | Polystyrene | 0% Recycled EPS | Industry Average	50	Camion (Rigid truck)	45	1	

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce datebase	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
Intonaco a base di calce	Parete esterna (Part.12) Vano ascensore	0.015	0,8 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Cements and Limes | Mortars and Renders | 1 Lime : 3 sand | Industry Average |	169	Camion (Rigid truck)	32	1	10
Lastra in gesso rivestito	Tramezzi (Part.13)	0.0125	126 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Fissaggi lastra di gesso	Tramezzi (Part.13)	/	0,63 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Blocchi tramezzi	Tramezzi (Part.13)	0.08	10,08 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Bricks, Blocks and Pavers | Clay Bricks and Pavers | Unspecified | Industry Average		Camion (Rigid truck)	50	0	
Cemento blocchi	Tramezzi (Part.13)	/	0,17 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Cements and Limes | Mortars and Renders | 1 cement : 4 sand | Industry Average		Camion (Rigid truck)	50	0	
Lastra in gesso rivestito	Tramezzi (Part.13)	0.0125	126 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Fissaggi lastra di gesso	Tramezzi (Part.13)	/	0,63 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Lastra in gesso rivestito	Parete interna (Part.14) Divisorio U.I	0.0125	90 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce datebase	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
Fissaggi lastra di gesso	Parete interna (Part.14) Divisorio U.I	/	0,45 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Isolamento in lana di roccia	Parete interna (Part.14) Divisorio U.I	0.04	1,8 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Blankets and Batts | Mineral Wool | Blanket | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	45	1	2
Intonaco a base di calce	Parete interna (Part.14) Divisorio U.I	0.015	0,68 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Cements and Limes | Mortars and Renders | 1 Lime : 3 sand | Industry Average |	169	Camion (Rigid truck)	32	1	10
Blocchi tramezzi	Parete interna (Part.14) Divisorio U.I	0.12	5,4 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Bricks, Blocks and Pavers | Clay Bricks and Pavers | Unspecified | Industry Average		Camion (Rigid truck)	50	0	
Cemento blocchi	Parete interna (Part.14) Divisorio U.I	/	0,1 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Cements and Limes | Mortars and Renders | 1 cement : 4 sand | Industry Average		Camion (Rigid truck)	50	0	
Intonaco a base di calce	Parete interna (Part.14) Divisorio U.I	0.015	0,68 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Cements and Limes | Mortars and Renders | 1 Lime : 3 sand | Industry Average |	169	Camion (Rigid truck)	32	1	10
Isolamento in lana di roccia	Parete interna (Part.14) Divisorio U.I	0.04	1,8 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Blankets and Batts | Mineral Wool | Blanket | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	45	1	2
Lastra in gesso rivestito	Parete interna (Part.14) Divisorio U.I	0.0125	90 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce datebase	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
Fissaggi lastra di gesso	Parete interna (Part.14) Divisorio U.I	/	0,45 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Intonaco a base di calce	Solaio interpiano (Part.15)	0.015	3,38 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Cements and Limes | Mortars and Renders | 1 Lime : 3 sand | Industry Average |	169	Camion (Rigid truck)	32	1	10
Blocchi solaio interpiano	Solaio interpiano (Part.15)	0.2	869 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Bulk Aggregates Sands and Soils | Light Weight Aggregates | ClinkaFill (Europe) | Clinka Europe	85	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Travetti precompressi-solaio	Solaio interpiano (Part.15)	0.126	2163 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Concrete | Reinforced | Prefabricated Concrete Panels | Unspecified | Industry Average	85	Camion (Rigid truck)	50	0	10
Getto completamento solaio	Solaio interpiano (Part.15)	0.04	9 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Concrete | Reinforced | 1.0% Reinforcement | 25 MPa | Industry Average	85	Camion (Rigid truck)	50	0	10
Rete elettrosaldata	Solaio interpiano (Part.15)	0.01	810 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Guaina EPDM	Solaio interpiano (Part.15)	0.0013	0.3 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Roofing | Membranes | EPDM | Industry Average	253	Camion (Rigid truck)	18	2	10
Massetto alleggerito cls	Solaio interpiano (Part.15)	0.08	18 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Concrete | Unreinforced | 40 MPa | Industry Average	169	Camion (Rigid truck)	50	0	10
Guaina anticalpestio	Solaio interpiano (Part.15)	0.008	1,8 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Roofing | Membranes | EPDM | Industry Average	260	Camion (Rigid truck)	18	2	10

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce datebase	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
Isolante termoacustico, riscaldamento a pavimento	Solaio interpiano (Part.15)	0.04	9 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Rigid Foams and Boards | Polystyrene | 0% Recycled EPS | Industry Average	200	Camion (Rigid truck)	45	1	15
Massetto pavimento	Solaio interpiano (Part.15)	0.03	6,75 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Concrete | Light Weight | Autoclaved Aerated (density 700kg/m3) | Industry Average	169	Camion (Rigid truck)	50	0	10
Pavimento in legno	Solaio interpiano (Part.15)	0.02	4.5 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Timber | Recycled | Industry Average	50	Camion (Rigid truck)	35	1	15
Fissaggi pavimento	Solaio interpiano (Part.15)	/	0,16 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	75	Camion (Rigid truck)	35	1	5
Intonaco a base di calce	Terrazzi (Part.16)	0.015	1,8 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Cements and Limes | Mortars and Renders | 1 Lime : 3 sand | Industry Average |	169	Camion (Rigid truck)	32	1	10
Blocchi solaio interpiano	Terrazzi (Part.16)	0.2	242 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Bulk Aggregates Sands and Soils | Light Weight Aggregates | ClinkaFill (Europe) | Clinka Europe	85	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Travetti precompressi-solaio	Terrazzi (Part.16)	0.126	861 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Concrete | Reinforced | Prefabricated Concrete Panels | Unspecified | Industry Average	85	Camion (Rigid truck)	50	0	10
Getto completamento solaio	Terrazzi (Part.16)	0.04	4,8 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Concrete | Reinforced | 1.0% Reinforcement | 25 MPa | Industry Average	85	Camion (Rigid truck)	50	0	10
Rete elettrosaldata	Terrazzi (Part.16)	0.01	432 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	5

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce datebase	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
Barriera al vapore	Terrazzi (Part.16)	0.0022	0.22 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plastics | Polyurethane | Unspecified | Industry Average	253	Camion (Rigid truck)	18	2	20
Isolante in XPS	Terrazzi (Part.16)	0.05	6 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plastics | Polystyrene | Expanded Polystyrene | Industry Average	285	Camion (Rigid truck)	45	1	20
Massetto pavimento	Terrazzi (Part.16)	0.06	7,2 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Concrete | Light Weight | Autoclaved Aerated (density 700kg/m3) | Industry Average	169	Camion (Rigid truck)	50	0	10
Rivestimento in piastrelle	Terrazzi (Part.16)	0.015	6 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Ceramics | Ceramic Tiles | Industry Average	50	Camion (Rigid truck)	33	1	15
Fissaggio piastrelle	Terrazzi (Part.16)	/	2,4 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Resins and Adhesives | Urea Formaldehyde | Industry Average	50	Camion (Rigid truck)	33	1	15
Intonaco a base di calce	Solaio copertura (Part.17)	0.015	0,9 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Cements and Limes | Mortars and Renders | 1 Lime : 3 sand | Industry Average |	169	Camion (Rigid truck)	32	1	10
Blocchi solaio interpiano	Solaio copertura (Part.17)	0.2	415 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Bulk Aggregates Sands and Soils | Light Weight Aggregates | ClinkaFill (Europe) | Clinka Europe	85	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Travetti precompressi-solaio	Solaio copertura (Part.17)	0.126	777 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Concrete | Reinforced | Prefabricated Concrete Panels | Unspecified | Industry Average	85	Camion (Rigid truck)	50	0	10
Getto completamento solaio	Solaio copertura (Part.17)	0.04	2,4 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Concrete | Reinforced | 1.0% Reinforcement | 25 MPa | Industry Average	85	Camion (Rigid truck)	50	0	10

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce datebase	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
Rete elettrosaldata	Solaio copertura (Part.17)	0.01	216 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Barriera al vapore	Solaio copertura (Part.17)	0.0022	0.11 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plastics | Polyurethane | Unspecified | Industry Average	253	Camion (Rigid truck)	18	2	20
Isolante in fibra di legno, Gutex Thermosafe	Solaio copertura (Part.17)	0.18	10,8 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Rigid Foams and Boards | Woodfibre Inslation Board | Density 140 | Industry Average	319	Camion (Rigid truck)	45	1	15
Lamierino di chiusura	Solaio copertura (Part.17)	0.003	0,18 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Aluminium | Extruded | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	1
Calcestruzzo	Colonna strutturale (30cmx30cm)	0.3	1,7 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Concrete | Unreinforced | 30 MPa | Industry Average	169	Camion (Rigid truck)	50	0	10
barre di rinforzo	Colonna strutturale (30cmx30cm)	0.010	374 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	5
cassaforma di contenimento	Colonna strutturale (30cmx30cm)	0.018	14 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Timber | Softwood | Industry Average	169	Camion (Rigid truck)	50	0	15
Calcestruzzo	Colonna strutturale (50cmx30cm)	0.3	22 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Concrete | Unreinforced | 30 MPa | Industry Average	169	Camion (Rigid truck)	50	0	10
barre di rinforzo	Colonna strutturale (50cmx30cm)	0.010	5500 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	5
cassaforma di contenimento	Colonna strutturale (50cmx30cm)	0.018	182 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Timber | Softwood | Industry Average	169	Camion (Rigid truck)	50	0	15

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce datebase	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
Calcestruzzo	Setti C.A	0.15	19 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Concrete | Unreinforced | Blast Furnace Slag Blends | 50 MPa | 25% BFS | Industry Average	169	Camion (Rigid truck)	50	0	10
barre di rinforzo	Setti C.A	0.010	1980 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	5
cassaforma di contenimento	Setti C.A	0.018	180 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Timber | Softwood | Industry Average	169	Camion (Rigid truck)	50	0	15
Calcestruzzo	Travi (30cmx40cm)	0.3	35 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Concrete | Unreinforced | 40 MPa | Industry Average	169	Camion (Rigid truck)	50	0	10
barre di rinforzo	Travi (30cmx40cm)	0.010	7700 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	5

-Struttura in acciaio

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce datebase	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
Lastra in gesso rivestito (Pregyplac)	Parete esterna (Part.17)	0.0125	310 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Fissaggi lastra di gesso	Parete esterna (Part.17)	/	0.02 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Isolante EPS	Parete esterna (Part.17)	0.08	24.8 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Rigid Foams and Boards | Polystyrene | 0% Recycled EPS | Industry Average	50	Camion (Rigid truck)	45	1	
Pannello Acquaboard	Parete esterna (Part.17)	0.0125	3.88 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Fibre Board | Fibre Cement | Medium Density. 1250 kg/t | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Doppio strato di lana di roccia	Parete esterna (Part.17)	0.2	280 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Blankets and Batts | Mineral Wool | Blanket | Unspecified | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	45	1	2
Lastra pregyvapor	Parete esterna (Part.17)	0.0125	280 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Fissaggi lastra di gesso	Parete esterna (Part.17)	/	1.4 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Isolante EPS	Parete esterna (Part.17)	0.06	16.8 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Rigid Foams and Boards | Polystyrene | 0% Recycled EPS | Industry Average	50	Camion (Rigid truck)	45	1	
Lastra in gesso rivestito (Pregyplac)	Parete esterna (Part.17)	0.0125	280 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce datebase	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
Fissaggi lastra di gesso	Parete esterna (Part.17)	/	1.4 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Lastra in gesso rivestito (Pregyladura)	Parete esterna (Part.17)	0.0125	280 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Fissaggi lastra di gesso	Parete esterna (Part.17)	/	1.4 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Intonaco a base di calce	Parete vano ascensore (Part.18)	0.015	0,8 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Cements and Limes | Mortars and Renders | 1 Lime : 3 sand | Industry Average |	169	Camion (Rigid truck)	32	1	10
Isolante EPS	Parete vano ascensore (Part.18)	0.08	4.24 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Rigid Foams and Boards | Polystyrene | 0% Recycled EPS | Industry Average	50	Camion (Rigid truck)	45	1	
Lastra in gesso rivestito	Parete vano ascensore (Part.18)	0.0125	53 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Fissaggi lastra di gesso	Parete vano ascensore (Part.18)	/	0.26 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Intonaco a base di calce	Parete vano ascensore (Part.18)	0.015	0,8 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Cements and Limes | Mortars and Renders | 1 Lime : 3 sand | Industry Average |	169	Camion (Rigid truck)	32	1	10
Lastra in gesso rivestito (Pregyladura)	Tramezzi interni (Part.19)	0.0125	126 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Fissaggi lastra di gesso	Tramezzi interni (Part.19)	/	0.63 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce datebase	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
Lastra in gesso rivestito (Pregyplac)	Tramezzi interni (Part.19)	0.0125	126 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Fissaggi lastra di gesso	Tramezzi interni (Part.19)	/	0.63 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Isolante di lana di roccia	Tramezzi interni (Part.19)	0.06	126 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Blankets and Batts | Mineral Wool | Blanket | Unspecified | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	70	0	2
Lastra in gesso rivestito (Pregyplac)	Tramezzi interni (Part.19)	0.0125	126 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Fissaggi lastra di gesso	Tramezzi interni (Part.19)	/	0.63 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Lastra in gesso rivestito (Pregyladura)	Tramezzi interni (Part.19)	0.0125	126 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Fissaggi lastra di gesso	Tramezzi interni (Part.19)	/	0.63 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Lastra in gesso rivestito (Pregyladura)	Parete interna (Part.20) Divisorio U.I	0.0125	90 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Fissaggi lastra di gesso	Parete interna (Part.20) Divisorio U.I	/	0.45 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Lastra in gesso rivestito (Pregyplac)	Parete interna (Part.20) Divisorio U.I	0.0125	90 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board |	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce datebase	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
					12mm Sheets | Industry Average					
Fissaggi lastra di gesso	Parete interna (Part.20) Divisorio U.I	/	0.45 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Isolante in lana roccia (Airrok DD)	Parete interna (Part.20) Divisorio U.I	0.04	135 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Blankets and Batts | Mineral Wool | Blanket | Unspecified | Industry Average	222	Camion (Rigid truck)	45	1	2
Lastra in gesso rivestito (Pregyplac)	Parete interna (Part.20) Divisorio U.I	0.0125	90 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Fissaggi lastra di gesso	Parete interna (Part.20) Divisorio U.I	/	0.45 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Lastra in gesso rivestito (Pregyladura)	Parete interna (Part.20) Divisorio U.I	0.0125	90 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plaster and Gypsum Derived Products | Plaster Board | 12mm Sheets | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Fissaggi lastra di gesso	Parete interna (Part.20) Divisorio U.I	/	0.45 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	320	Camion (Rigid truck)	70	0	15
Lamiera grecata, HI BOND 55A	Solaio interpiano (Part.21)	0.006	2943 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | Coated Sheet | Enamelled | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Ferramenta lamiera grecata	Solaio interpiano (Part.21)	/	29.43 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | Stainless | Unspecified | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Getto di completamento solaio	Solaio interpiano (Part.21)	0.055	48375 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Concrete | Reinforced | 1.0% Reinforcement | 25 MPa | Industry Average	169	Camion (Rigid truck)	50	0	10

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce datebase	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
Guaina EPDM	Solaio interpiano (Part.21)	0.0013	0.29 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Roofing | Membranes | EPDM | Industry Average	253	Camion (Rigid truck)	18	2	10
Massetto alleggerito cls	Solaio interpiano (Part.21)	0.08	18 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Concrete | Unreinforced | 40 MPa | Industry Average	169	Camion (Rigid truck)	50	0	10
Guaina anticalpestio	Solaio interpiano (Part.21)	0.008	1,8 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Roofing | Membranes | EPDM | Industry Average	260	Camion (Rigid truck)	18	2	10
Isolante termoacustico, riscaldamento a pavimento	Solaio interpiano (Part.21)	0.04	9 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Rigid Foams and Boards | Polystyrene | 0% Recycled EPS | Industry Average	200	Camion (Rigid truck)	45	1	15
Massetto pavimento	Solaio interpiano (Part.21)	0.03	6.75 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Concrete | Light Weight | Autoclaved Aerated (density 700kg/m3) | Industry Average	169	Camion (Rigid truck)	50	0	10
Pavimento in legno	Solaio interpiano (Part.21)	0.02	3.38 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Timber | Recycled | Industry Average	50	Camion (Rigid truck)	35	1	15
Fissaggi pavimento	Solaio interpiano (Part.21)	/	0.169 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Average	75	Camion (Rigid truck)	35	1	5
Lamiera grecata, HI BOND 55A	Solaio terrazzi (Part.22)	0.006	1570 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | Coated Sheet | Enamelled | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Ferramenta lamiera grecata	Solaio terrazzi (Part.22)	/	15.7 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | Stainless | Unspecified | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Getto di completamento solaio	Solaio terrazzi (Part.22)	0.055	25800 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Concrete | Reinforced | 1.0% Reinforcement | 25 MPa | Industry Average	169	Camion (Rigid truck)	50	0	10

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce datebase	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
Barriera al vapore	Solaio terrazzi (Part.22)	0.0022	0.26 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plastics | Polyurethane | Unspecified | Industry Average	253	Camion (Rigid truck)	18	2	20
Isolante in XPS	Solaio terrazzi (Part.22)	0.05	6 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plastics | Polystyrene | Expanded Polystyrene | Industry Average	285	Camion (Rigid truck)	45	1	20
Massetto per pavimento	Solaio terrazzi (Part.22)	0.06	7.2 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Concrete | Unreinforced | 40 MPa | Industry Average	169	Camion (Rigid truck)	50	0	10
Rivestimento in piastrelle	Solaio terrazzi (Part.22)	0.015	6 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Ceramics | Ceramic Tiles | Industry Average	50	Camion (Rigid truck)	33	1	15
Fissaggio piastrelle	Solaio terrazzi (Part.22)	/	2.4 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Resins and Adhesives | Urea Formaldehyde | Industry Average	50	Camion (Rigid truck)	33	1	15
Lamiera grecata, HI BOND 55A	Solaio copertura (Part.23)	0.006	785 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | Coated Sheet | Enamelled | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Ferramenta lamiera grecata	Solaio copertura (Part.23)	/	7.85 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | Stainless | Unspecified | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Getto di completamento solaio	Solaio copertura (Part.23)	0.055	12900 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Concrete | Reinforced | 1.0% Reinforcement | 25 MPa | Industry Average	169	Camion (Rigid truck)	50	0	10
Barriera al vapore	Solaio copertura (Part.23)	0.0022	0.13 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Plastics | Polyurethane | Unspecified | Industry Average	253	Camion (Rigid truck)	18	2	20
Isolante in fibra di legno, Gutex Thermosafe	Solaio copertura (Part.23)	0.18	10,8 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Insulation | Rigid Foams and Boards | Woodfibre Inslation Board | Density 140 | Industry Average	319	Camion (Rigid truck)	45	1	15

Materiale	Destinazione d'uso	Spessore (m)	Quantità	Database	Voce datebase	Fase Preuso Distanza (km)	Fase Preuso Mezzo di trasporto	Vita del materiale (anni)	Fase d'uso Numero di sostituzioni	Fase di Fine vita Rifiuti (%)
Lamierino di chiusura	Solaio copertura (Part.23)	0.003	0,9 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Aluminium | Extruded | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	1
Pilastri HEA 300	Solaio copertura (Part.23)	0.014	12445 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | Coated Sheet | Enamelled | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Travi primarie HEA240	Solaio copertura (Part.23)	0.012	9200 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | Coated Sheet | Enamelled | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Travi secondarie IPE240	Solaio copertura (Part.23)	0.009	6759 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | Coated Sheet | Enamelled | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Pilastri controventi HEA120	Solaio copertura (Part.23)	0.008	187 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | Coated Sheet | Enamelled | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Angolari controventi HEA120	Solaio copertura (Part.23)	0.008	500 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | Coated Sheet | Enamelled | Industry Average	130	Camion (Rigid truck)	50	0	5
Calcestruzzo	Setti C.A	0.15	19 m^3	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Concrete | Unreinforced | Blast Furnace Slag Blends | 50 MPa | 25% BFS | Industry Average	169	Camion (Rigid truck)	50	0	10
barre di rinforzo	Setti C.A	0.010	435.29 kg	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Steel | General | Unspecified | Industry Averag	130	Camion (Rigid truck)	50	0	5
cassaforma di contenimento	Setti C.A	0.018	45 m^2	Libreria materiali eTool (AustralianLCI)	Timber | Softwood | Industry Average	169	Camion (Rigid truck)	50	0	5