



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
FACOLTÀ DI AGRARIA**

Dipartimento Territorio e sistemi agro-forestali

TESI DI LAUREA IN TECNOLOGIE E INDUSTRIE DEL LEGNO

*ANALISI COMPARATIVA DELL'IMPATTO AMBIENTALE DI ALCUNE TIPOLOGIE DI  
EDIFICI IN LEGNO*

THE ENVIROMENTAL IMPACT OF DIFFERENT WOODEN BUILDINGS: A  
COMPARATIVE ANALYSIS

Relatore:

Prof. Mirto Antonei

Correlatore:

Dott. Michele Brunetti

Laureando:

Silvia Antoniazzi

Matricola n. 562677

ANNO ACCADEMICO 2009- 2010

## **Sommario**

<a href="#">1.Premessa</a>	7
<a href="#">2.Obiettivi</a>	9
<a href="#">3.Riassunto</a>	10
<a href="#">4.Summary</a>	11
<a href="#">5. Edilizia sostenibile</a>	13
<a href="#">6.Scegliere il legno</a>	17
<a href="#">6.1 Conifere</a>	19
<a href="#">6.2 Latifoglie</a>	19
<a href="#">6.3 Caratteristiche chimiche del legno</a>	19
<a href="#">6.4 Caratteristiche fisiche del legno e confronto con altri materiali</a>	21
<a href="#">7. Normativa</a>	25
<a href="#">8. Tipologie costruttive per edifici in legno</a>	27
<a href="#">8.1 Struttura a pannelli portanti</a>	29
<a href="#">8.2 Strutture a travi e pilastri</a>	37
<a href="#">8.3 Strutture Platform frame</a>	39
<a href="#">8.4 Strutture a blocchi massicci</a>	42
<a href="#">9. Caratteristiche delle strutture in legno</a>	45
<a href="#">9.1 Durabilità</a>	45
<a href="#">9.2 Resistenza al fuoco</a>	49
<a href="#">9.3 Resistenza sismica</a>	52
<a href="#">9.4 Isolamento termico</a>	55
<a href="#">9.5 Isolamento acustico</a>	63
<a href="#">10. LCA</a>	67
<a href="#">10.1 Altri metodi utilizzati per il calcolo dell’impatto ambientale</a>	68
<a href="#">11.LCÆDIL</a>	73
<a href="#">12. Progetti a confronto</a>	79
<a href="#">12.1 Edificio residenziale in legno.</a>	81
<a href="#">12.1.1 Assegnazione risultati dell’edificio residenziale in legno</a>	88
<a href="#">12.2 Progetto equivalente: edificio residenziale in laterizio</a>	95
<a href="#">12.2.1 Assegnazioni risultati dell’edificio residenziale in laterizio</a>	99
<a href="#">12.3 Confronto dell’edificio residenziale</a>	102

<u>13. Secondo confronto</u>	105
<u>13.1 Asilo nido con struttura in legno</u>	105
<u>13.1.1 Assegnazione risultati dell'asilo nido in legno</u>	110
<u>13.2 Progetto equivalente: asilo nido in laterizio</u>	116
<u>13.2.1 Assegnazione risultati dell'asilo nido in laterizio</u>	119
<u>13.3 Confronto asilo nido</u>	122
<u>14. Conclusioni</u>	125
<u>15. Bibliografia</u>	129
<u>16. Ringraziamenti</u>	131
<u>ALLEGATI</u>	133
<u>Allegato A</u>	135
<u>Allegato B</u>	147

# 1.





# Premessa

Oggi il riscaldamento globale e l'inquinamento preoccupano tutta la popolazione per questo si cercano sempre modi per contrastare il cambiamento climatico. L'edilizia è uno dei settori che causa maggiori emissioni per questo motivo è nata l'analisi del ciclo di vita.

LCA (Life Cycle Assessment) è lo studio su un certo materiale, componente costruttivo o edificio che parte dall'estrazione della materia prima fino allo smaltimento dell'oggetto. Questa analisi diventa necessaria quando si intendono realizzare costruzioni che abbiano basso impatto ambientale. Agevola quindi le scelte progettuali dei progettisti.

Il legno ha ottime caratteristiche come materiale da costruzione e utilizzandolo non si hanno emissioni di anidride carbonica, per questi motivi dovrebbe essere maggiormente utilizzato.

## 2.



# Obiettivi

L'obiettivo di questa tesi è quello di contribuire ad approfondire alcuni aspetti dell'uso del legno come materiale da costruzione, raffrontandolo con altri materiali tradizionali. In particolare lo studio ha riguardato la messa a punto di un nuovo programma, LCÆDIL, in grado di calcolare l'impatto ambientale causato dai materiali utilizzati per la costruzione di edifici.

Grazie a questo software saranno rese più agevoli le scelte dei progettisti finalizzate alla riduzione dell'impatto ambientale, dal momento che è noto che il settore edilizio incide enormemente sull'impatto ambientale.

In questo elaborato verranno inoltre richiamate le qualità del legno come materiale da costruzione e i vantaggi che le strutture realizzate con esso possono avere.

Sarà illustrata la normativa in materia, i metodi costruttivi offerti dal mercato, le diverse tipologie di materiali per la costruzione, e saranno infine confrontati due tipologie di edifici in base all'impatto ambientale dei materiali utilizzati.

## 3.

# Riassunto

Il legno è un materiale per molti aspetti adatto alle costruzioni perché ha ottimi valori di resistenza, paragonabili a molti materiali tradizionali da costruzioni. Ha poi notevoli vantaggi poiché non causa emissioni di CO<sub>2</sub> anzi durante la sua formazione l'assorbe e ne trattiene per questo motivo è un materiale ideale per contrastare il cambiamento climatico e non aggravare l'effetto serra. Inoltre è facilmente reperibile grazie alla gestione sostenibile delle foreste, che in Europa aumentano ogni anno la loro superficie.

I vantaggi derivati da questi edifici sono diversi, come la semplicità e velocità di esecuzione, la facilità di montaggio grazie alla leggerezza del materiale e l'elevato grado di prefabbricazione degli elementi. Qualsiasi tipologia di costruzione in legno risponde bene alle principali prestazioni richieste. Come la durabilità nel tempo, può avere problemi di conservazione solo con la presenza di ristagni idrici. L'umidità al di sotto del 20% e l'uso di vernici naturali salvaguardano la struttura da attacchi biotici quali funghi, muffe. La resistenza al fuoco è buona perché anche se è un materiale che contribuisce all'incendio ha un comportamento prevedibile e non muta le sue caratteristiche, può essere inoltre trattato per aumentare la resistenza al fuoco. Per quanto riguarda la resistenza sismica, il legno è il materiale adatto, leggero, deformabile e per questo può dissipare molta energia, con giunti duttili le costruzioni in legno sono ideali. L'isolamento termo-acustico è una caratteristica innata nel legno.

Per determinare i benefici di questo materiale si sono confrontate due tipologie di edifici esistenti in legno e riprogettati con metodo tradizionale. Utilizzando il nuovo programma LCÆDIL è stato calcolato l'impatto ambientale dei materiali che compongono la struttura in legno e in seguito quelle in laterizio. I risultati sono simili per molti indicatori ma si ha una grandissima differenza per quanto riguarda il Global Warming Potential (Potenziale Riscaldamento Globale) che indica la quantità di CO<sub>2</sub> liberata e quindi il contributo all'effetto serra. I valori poi sarebbero ancora più favorevoli se si tenesse conto della fase di realizzazione dell'edificio e se la banca dati IBO fosse stata aggiornata poiché valori più recenti sono a favore dei materiali lignei.

4.

# Summary

For many aspects wood is a material suitable for construction because it has very good values of resistance, comparable to many traditional construction materials. It has also remarkable advantage since it doesn't cause any emission of CO<sub>2</sub>, on the contrary during its forming it holds and absorbs it. For this reason wood is an ideal material to contrast the climatic changing and to increase not the greenhouse effect. Besides it is easy to be found thanks to the sustainable administration of the forest yearly increasing in Europe.

The advantage derived from these buildings are different, as simplicity and the execution speed, the easiness of assemblage thanks to the lightness of the material and the high rank of prefabrication of elements. Any type of wood construction answer properly to the main performances requested. As the long term durability, that could have problems only with stagnation. Moisture under 20% and the use of natural points safeguard the structure from biodegradation as fungi. The fire resistance is good because even if it is a material that can contribute to a fire it has a predictable behavior and it doesn't change its characteristics, it also can be treated to increase the fire resistance. Talking about resistance to earthquake wood is the perfect material, light, deformable and for this reason it can dissipate a lot of energy, with ductile joints wood constructions are ideal. Sound and heat insulation are tow innate features.

To determine the benefits of this materials two different kinds of existing building have been compared. Using the new program LCÆDIL it has been calculated the environment impact of the materials used to build the wood construction and then the brick construction. The results are quite similar for many aspect but there is a huge difference talking about the Global Warming Potential, wich indicates the amount of CO<sub>2</sub> released and consequently the greenhouse effect.

The would be made propitious if considering the building have been postponed because the latest values are pro wood materials.



## 5. Edilizia sostenibile

Negli ultimi decenni, a causa dell'uomo, l'effetto serra è aumentato provocando mutamenti climatici. Infatti, l'aumento della temperatura ha causato gravi danni agli ecosistemi che non riescono ad adattarsi così rapidamente ai cambiamenti. In base all'ultima relazione del IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change (Comitato Intergovernativo del Cambiamento climatico) il ventesimo secolo è stato il più caldo da quando si è iniziato a registrare la temperatura. Gli anni novanta sono stati la decade più calda di tutto il XX sec., in particolare il 1998. La combustione di fonti energetiche fossili determina l'emissione di grandi quantità di anidride carbonica che si trasferiscono nell'atmosfera, che avvolgono la terra e intrappolano il calore. Esistono inoltre altri gas efficaci nel trattenere il calore che non si hanno in natura, ma sono generati durante la produzione di schiume e i processi di refrigerazione dell'aria. E' anche vero che la respirazione delle piante, la decomposizione e combustione del legno e altro materiale organico generano dieci volte più anidride carbonica di quella prodotta dall'uomo, ma queste emissioni sono sempre state in equilibrio con le capacità della vegetazione e degli oceani di assorbire tale quantità di anidride carbonica. E' la quantità prodotta dall'uomo a rompere l'equilibrio. Infatti, il ruolo fondamentale del legno nella lotta al cambiamento climatico è riconosciuto anche nel Sesto Programma di azione ambientale dell'UE nel quale si afferma che:

*“l'uso del legno e dei prodotti derivati dovrebbe essere maggiormente sfruttato sia a livello domestico che industriale in virtù della capacità di questo materiale di assorbire il carbonio”.*

Ci sono due metodi per ridurre CO<sub>2</sub> nell'atmosfera, riducendo le emissioni o rimuovendola e immagazzinandola. Il legno ha la caratteristica straordinaria di provvedere a entrambe. Il processo di fotosintesi fa sì che da ogni molecola di CO<sub>2</sub> si producano molecole di ossigeno, intorno al quale gravita tutta la vita animale, e carbonio, necessario a tutti i materiali. Inoltre, gli alberi possono trattenere grandi quantità di anidride carbonica e immagazzinarla, circa 0,9 t di CO<sub>2</sub> è trattenuta in ogni metro cubo di materia prima. Di fatto aumentare l'utilizzo del legno è un modo semplice di rallentare il cambiamento climatico.

### Accumulo di carbonio nella biomassa delle foreste nei paesi dell'UE

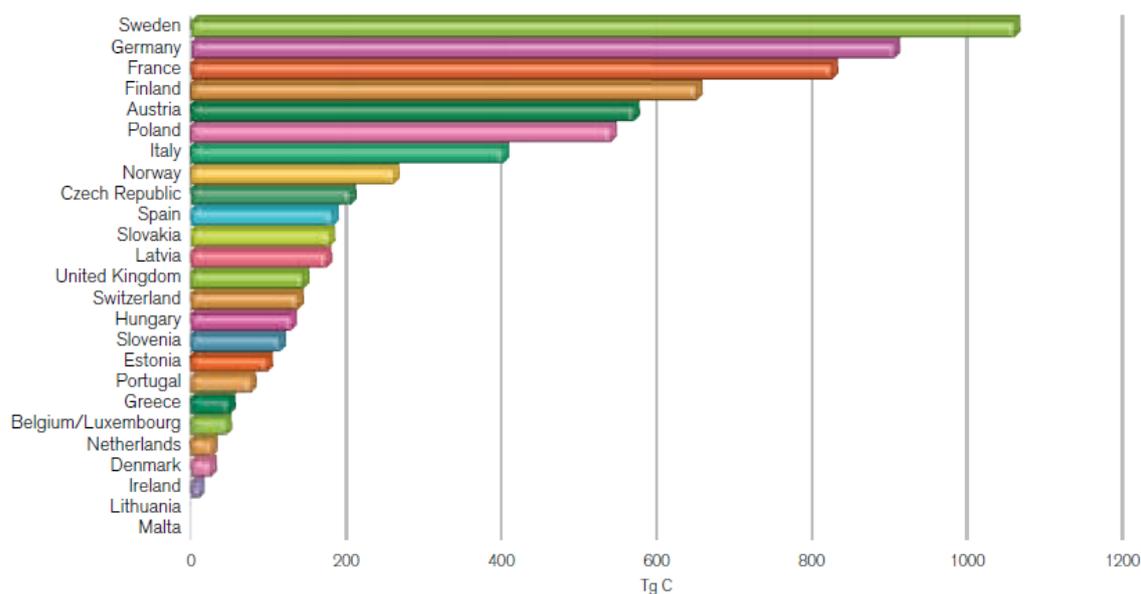


Tabella 5.1 sull'accumulo di carbonio nella biomassa delle foreste nei paesi dell'UE (WWW.CEI-BOIS.ORG, Novembre 2006, Affrontare il cambiamento climatico: Usa il legno)

Oggi si richiede la responsabilizzazione di tutti i soggetti lungo la catena di produzione e consumo. Per questo si accrescono l'interesse e l'attenzione nei confronti del sistema economico-industriale di produzione, uso e consumo che in questi anni ha implicato un'accelerazione e un incremento del prelievo delle risorse e della produzione dell'inquinamento.

Al settore edilizio, in particolare, è imputabile una consistente quota d'impatto ambientale. Gli edifici determinano un consumo di materie prime, energia, l'emissione d'inquinamento in fase di costruzione, produzione dei componenti e soprattutto nella fase d'uso, la produzione di rifiuti da demolizione a fine vita. Per ridurre gli impatti dovuti a questo compartimento, bisogna analizzare il componente lungo il suo ciclo di vita (approvvigionamento materie prime, risorse energetiche, produzione, riciclaggio) ma anche sul fronte della progettazione dell'edificio (risparmio energetico, tecniche

costruttive per la manutenzione e il disassemblaggio, flessibilità e adattabilità per prolungare la vita utile dell'edificio, riqualificazione).

E' importante per avere una visione d'insieme e permette di evitare scelte che, anche se sembrano giuste, perché in una fase diminuiscono l'impatto ambientale, poi possono aumentarla in un'altra.

La valutazione del ciclo di vita (Life Cycle Assessment), diffusa nel 1993 dal SETAC (Society Toxicology and Chemistry), è un metodo di analisi utilizzato per quantificare e quindi valutare l'impatto ambientale provocato da un prodotto durante tutto il suo ciclo di vita. In questo modo vengono quantificati i flussi di materia ed energia in ingresso e delle emissioni inquinanti in uscita nelle fasi di estrazione delle materie prime, trasporto allo stabilimento, produzione, trasporto al cantiere, messa in opera, uso, demolizione e fine vita.

Si possono così confrontare diverse soluzioni, riguardo tecniche costruttive e materiali da utilizzare, e decidere la modalità migliore dal punto di vista ambientale.

Il settore edilizio ha una particolarità, ovvero quella di produrre manufatti con cicli di vita molto lunghi, per questo gli impatti generati da un edificio in fase d'uso, sono notevolmente maggiori di quelli originati in fase di produzione e costruzione, per cui gli aspetti legati alle prestazioni e alla durabilità del componente sono fondamentali.

Compatibilmente all'analisi del ciclo di vita dei materiali e necessaria la realizzazione di edifici energeticamente efficienti. Vanno utilizzate delle strategie nella progettazione, infatti, importante è la forma dell'edificio, che deve essere compatto e con meno sporgenze possibili. L'orientamento dell'edificio è rilevante perché se si commettono errori, si determinano aumenti nei consumi di riscaldamento e raffreddamento. Riguardo le prestazioni energetiche dell'edificio dipendono dall'efficienza "dell'involucro" che deve quindi essere progettato e realizzato in maniera consona. Per questo la qualità dell'isolamento deve essere tale da garantire sia il confort termico e igrometrico sia il contenimento dei consumi energetici. Le strutture edilizie ed i componenti dell'involucro di edifici realizzati in legno permettono il raggiungimento di ragguardevoli prestazioni d'isolamento e spessori contenuti. Risulta essere importante l'inerzia termica soprattutto nel periodo estivo in cui si hanno giornate con valori elevati di temperatura e d'irraggiamento solare. Per inerzia termica s'intende l'effetto combinato dell'accumulo termico e della resistenza termica della struttura, essa è quindi legata alla capacità di

accumulo del calore, proporzionalmente alla massa frontale della parete e alla conduttività dei materiali. Negli edifici ad alta efficienza energetica un ruolo apprezzabile riguarda il controllo dell'energia termica persa per ventilazione, che è stimata dal 40-50%. Questi valori sono elevati per un edificio energeticamente efficiente, quindi la ventilazione viene effettuata tramite un impianto di ventilazione meccanica. In questo modo viene fornito il ricambio d'aria necessario e recuperato il calore dell'aria espulsa.

## **5.**



## Scegliere il legno

Il legno è una risorsa importante per l'economia perché rinnovabile. E oggi la maggior parte delle foreste, soprattutto europee, è gestita in modo sostenibile.

	Land area (x 1000 ha)	Forest area (x 1000 ha)	Forested land %	Population (1999) (x 1000)	Forest cover per capita (ha)	Volume (x M cubic metre)	Growing stock (cubic metre per ha)	Industrial roundwood production (x 1000 cubic metre)	Harvest roundwood (Average cubic metre per ha)	Carbon Stock in Wood Biomass (TgC)
Austria	8 273	3 886	46,97	8 177	0,48	1 110	286	10 416	2,7	580,36
Belgium/Luxembourg	3 282	728	22,18	10 579	0,07	159	218	4 202	5,8	47,80
Czech Republic	7 728	2 632	34,06	10 262	0,26	684	260	13 501	5,1	209,11
Denmark	4 243	455	10,72	5 282	0,09	56	123	2 768	6,1	26,80
Estonia	4 227	2 060	48,73	1 412	1,46	321	156	7 270	3,5	101,25
Finland	30 459	21 935	72,01	5 165	4,25	1 945	89	50 147	2,3	662,59
France	55 010	15 341	27,89	58 886	0,26	2 927	191	43 440	2,8	838,55
Germany	34 927	10 740	30,75	82 178	0,13	2 880	268	51 088	4,8	920,00
Greece	12 890	3 599	27,92	10 626	0,34	163	45	796	0,2	52,04
Hungary	9 234	1 840	19,93	10 076	0,18	320	174	3 305	1,8	132,13
Ireland	6 889	659	9,57	3 705	0,18	49	74	2 600	3,9	11,74
Italy	29 406	10 003	34,02	57 343	0,17	1 450	145	3 649	0,4	409,28
Latvia	6 205	2 923	47,11	2 389	1,22	509	174	12 624	4,3	177,60
Lithuania	6 258	1 994	31,86	3 682	0,54	366	184	4 050	2,0	0,51
Malta	32	0,32	1,00	386	0,00	0	0	0	0,0	0,06
Netherlands	3 392	375	11,06	15 735	0,02	60	160	879	2,3	29,29
Norway	30 683	8 868	28,90	4 442	2,00	785	89	7 478	0,8	265,61
Poland	30 442	9 047	29,72	38 740	0,23	1 930	213	24 489	2,7	550,03
Portugal	9 150	3 666	40,07	9 873	0,37	299	82	10 231	2,8	79,21
Slovakia	4 808	2 177	45,28	5 382	0,40	552	254	5 046	2,3	181,16
Slovenia	2 112	1 107	52,41	1 989	0,56	313	283	1 721	1,6	117,46
Spain	49 945	14 370	28,77	39 634	0,36	632	44	13 160	0,9	186,69
Sweden	41 162	27 134	65,92	8 892	3,05	2 914	107	58 920	2,2	1 077,00
Switzerland	3 955	1 199	30,32	7 344	0,16	404	337	7 612	6,3	140,14
United Kingdom	24 160	2 794	11,56	58 974	0,05	359	128	7 051	2,5	148,00
<b>Total</b>	<b>418 872</b>	<b>149 532</b>	<b>35,70</b>	<b>461 153</b>	<b>0,32</b>	<b>21 187</b>	<b>142</b>	<b>346 443</b>	<b>Average 2,3</b>	<b>6 944,00</b>

Tabella 6.1 dati sulle superfici forestali di ogni paese dell'Europa dei 25 (FAO, Stato delle foreste nel mondo, Roma 2003)

E' stato stimato che nell'Europa dei 25, l'incremento netto annuo di foreste sia nell'ordine di 645 milioni di metri cubi. Il legno può essere ottenuto anche da impianti di arboricoltura appositamente realizzati per una gestione sostenibile. E per evidenziare quest'aspetto è nata la certificazione forestale, che già dagli anni '90 si è accresciuta e permette di verificare se il sistema di gestione sia conforme o meno a determinati requisiti ambientali, sociali ed economici. In Europa si rilasciano certificati su due piani "Il Programma per l'Adesione agli Schemi di Certificazione delle foreste" (PEFC) originariamente sviluppato per rispondere ai bisogni dei proprietari europei delle foreste e l'FSC- Forest Stewardship Council (Consiglio di Gestione delle Foreste) avviato in cooperazione col WWF.

Il legno è un materiale ideale nel settore edilizio perché grazie alle ottime tecnologie di trasformazione è possibile avere scarti minimi. Utilizzando poi il legno lamellare non si hanno limiti dimensionali ed è possibile scartare le parti non adatte.

Il legno massiccio ha molti vantaggi tecnici ed economici:

- Migliore resistenza sismica, dovuta alla sua elasticità.
- Migliore traspirazione e isolamento termico, che consente di ridurre le spese di riscaldamento.
- Minori costi in opera, con un risparmio di circa il 15% rispetto al calcestruzzo
- Maggior leggerezza (un tetto in cls pesa circa quattro volte di più rispetto a un tetto ligneo).
- Maggior resistenza (se si tiene conto del rapporto fra resistenza/peso è pari a quello dell'acciaio e a cinque volte quello del cls, rispetto al quale però resiste anche a trazione).
- Elevata durabilità anche in condizioni climatiche difficili, purché non si abbiano ristagni idrici.
- Possibilità di realizzare ogni tipologia architettonica ed estetica (intonaci, mattoni o pietre a vista...) per adattarsi alle varie esigenze urbanistiche e paesaggistiche.

Uno studio condotto nel 2002 dal dipartimento delle costruzioni in acciaio e legno dell'Università di Lipsia in Germania e basato sul costo complessivo di una casa in legno (costo calcolato sulla durata della casa) ha mostrato come le case di questa tipologia fossero un investimento valido al pari di qualsiasi altro. I costi di manutenzione per gli

edifici di legno non sono maggiori di quelli degli edifici costruttivi in altro materiale e le facciate in legno richiedono semplicemente una manutenzione ordinaria.

La materia prima legno proviene da piante appartenenti alle sottosezioni delle *Gimnosperme* (Conifere) e delle *Angiosperme* (latifoglie), sulla sola classe delle dicotiledoni, poiché l'altra classe, quella delle monocotiledoni, raggruppa solo poche piante a portamento arboreo, fra cui le palme, che però hanno un fusto a struttura nettamente diversa.

## *6.1 Conifere*

Il legno delle gimnosperme è detto “LEGNO OMOXILO” per l'omogeneità degli elementi che lo compongono, che sono per la quasi totalità tracheidi.

Le cellule parenchimatiche sono disposte per la maggior parte radialmente formando raggi uni seriat, cioè formato da una sola fila di cellule. Il legno delle gimnosperme contiene canali resiniferi, posti assialmente ed anche radialmente all'interno dei raggi parenchimatici. Gli anelli di accrescimento sono ben marcati poiché le tracheidi formatesi alla fine del periodo vegetativo (Legno tardivo) hanno pareti più spesse di quelle formatesi in precedenza (Legno primaticcio).

## *6.2 Latifoglie*

Il legno delle Angiosperme è detto “LEGNO ETEROXILO” per la maggior varietà di cellule presenti, poiché più specializzate. Si hanno:

- Vasi, cellule per la conduzione dei liquidi
- Fibre, cellule con funzioni meccaniche di resistenza
- Cellule parenchimatiche, che in questo caso possono formare sia raggi uni seriat sia pluriseriat, anche visibili a occhio nudo.

### *6.3 Caratteristiche chimiche del legno*

Gli alberi sono formati da cellule originate dal tessuto meristemato. Si possono avere tessuti meristemati primari, responsabili dell'accrescimento in lunghezza degli apici. E secondari, responsabili dell'accrescimento del diametro del fusto che avviene con la generazione di xilema e floema.

La composizione chimica elementare del legno è simile per tutte le specie. I principali elementi chimici sono Carbonio (C), Idrogeno (H) e Ossigeno (O), possono essere presenti piccoli quantitativi di Azoto (N). Questi tre importanti elementi si combinano tra loro per formare i principali composti organici del legno cioè lignina, cellulosa, emicellulosa e piccole quantità di sostanze pectiche.

La cellulosa è un polimero naturale definito come polisaccaride. Ha forma filiforme ed è un ottimo materiale strutturale. E' costituita da una catena di molecole di cellobiosio, l'unità base della cellulosa, che è formata da due molecole di glucosio legate fra loro dal legame glicosidico. Le molecole di cellobiosio si associano a formare la cella elementare. Le catene di cellulosa si riuniscono in fasci detti fibrille. In ogni fibrilla coesistono zone cristalline (molto ordinate) e zone amorfe. Gruppi o fasci di fibrille si organizzano in microfibrille. Gruppi o fasci di microfibrille si organizzano in macrofibrille. La cellulosa negli alberi è presente per il 40-45%.

Un altro elemento che compone il legno è l'Emicellulosa, cioè catene eteropolimeriche (zuccheri+acidi). Queste si legano alle fibrille circondandole e si lega anche con la lignina. Le Emicellulose rappresentano il 20% nelle latifoglie e il 15-35% nelle latifoglie. Importante anche nella struttura del legno è la lignina. Essa è composta da una struttura polimerica di unità fenilpropaniche. E' quindi un polimero la cui molecola, molto complessa è a struttura tridimensionale, è formata da una sola unità, il fenilpropano, ripetuta numerose volte. E' una sostanza idrofobica, termoplastica, con un'alta resistenza alla compressione. Aumenta l'impermeabilità, la resistenza meccanica e la rigidità della parete. Le lignine sono il 25-35% nelle latifoglie e 17-25% nelle conifere.

Il legno di numerose specie contiene inoltre estrattivi, cioè sostanze estranee alle pareti cellulari. Esse sono depositate all'interno dei lumi cellulari e negli spazi esistenti

all'interno delle pareti. Possono essere polifenoli (tannini, chinoni...), terpeni (sono la parte volatile degli acidi grassi delle resine del legno), tropoloni (tipici delle Cupressacee) oppure altri prodotti metabolici e sostanze di riserva.

## *6.4 Caratteristiche fisiche del legno e confronto con altri materiali*

A influenzare le caratteristiche di questo materiale, poiché di origine biologica, è la specie legnosa e il luogo di provenienza. Non solo si possono rilevare variabilità di caratteristiche all'interno della stessa specie ma addirittura all'interno dello stesso fusto. Nel caso dell'uso strutturale è appropriato che i calcoli delle resistenze siano effettuati sui valori caratteristici registrati per le sollecitazioni considerate piuttosto che sulla media dei risultati. I segati vengono, infatti, classificati in diverse categorie, secondo normative, perché non sono tutti adatti all'uso costruttivo. Le norme concernenti la classificazione indicano quali sono le caratteristiche e i difetti ammissibili nelle diverse classi di resistenza, per una specie legnosa o gruppo di specie e per la provenienza geografica. La classificazione può essere eseguita "a vista" oppure "a macchina". Nella pratica commerciale la classe di resistenza viene ancora spesso indicata utilizzando la DIN 4074, ma è preferibile riferirsi alle EN 338 e EN 1194, che saranno le uniche in vigore quando sarà obbligatoria la marcatura CE.

Legno massiccio			Legno lamellare		
DIN 4074:1958	DIN 4074:2003	<b>UNI EN 338:2004</b>	DIN 1052:1988	DIN 1052:1996	<b>UNI EN 1194:2000</b>
III	S7 – MS7	<b>C16</b>	II	BS11	<b>GL24h – GL24c</b>
II	S10 – MS10	<b>C24</b>	I	BS14	<b>GL28h – GL28c</b>
I	S13	<b>C30</b>	non prevista	BS16	<b>GL32h – GL32c</b>
non prevista	MS13	<b>C35</b>	non prevista	BS18	<b>GL36h – GL36c</b>

Tabella 6.4.1 Equivalenza tra le principali classi di resistenza usate in passato e quelle prescritte dalle norme attualmente in vigore (in grassetto)

Una peculiarità del legno è l'anisotropia, a causa o grazie alla sua particolare struttura; ciò significa che le sue caratteristiche anatomiche e morfologiche dipendono dalla sezione esaminata e le sue caratteristiche e proprietà tecnologiche sono influenzate dalla direzione lungo la quale sono rilevate. In direzione parallela alla fibra la rigidità e la resistenza (in particolare la sollecitazione a trazione) sono molto elevate, mentre nel verso perpendicolare si hanno valori molto più bassi.

Un'altra prerogativa che differenzia il legno da altri materiali è la sua elevata igroscopicità. Continua a scambiare umidità con l'atmosfera anche dopo molti anni dall'abbattimento. Anche se è poco sensibile alle variazioni nel breve periodo, nei periodi prolungati si può rischiare di avere variazioni dimensionali che sono differenti a seconda della direzione. Il cambiamento in direzione assiale è molto piccolo in confronto a quello in direzione tangenziale, mentre la variazione in direzione radiale è circa la metà di quella in direzione tangenziale. Queste variazioni avvengono all'interno del campo igroscopico da 0% a 30% di umidità, il punto di saturazione delle pareti cellulari

I fattori che influenzano il ritiro e così il rigonfiamento del legno sono la massa volumica (più il legno è denso e pesante più elevato, sarà il ritiro), gli estrattivi duramificanti (insolubili in acqua mantengono la parete in parziale rigonfiamento e incrostano le pareti cellulari occupando una parte dei gruppi OH) e la composizione chimica (poiché maggiore è la percentuale di lignina minore è il ritiro).

Il legno sottoposto a sollecitazioni ha un comportamento di tipo elastoplastico (anche considerando il legno al netto di difetti), ciò significa che all'aumentare della forza applicata la deformazione aumenta. Quest'aumento è proporzionale fino a raggiungere il limite di proporzionalità dopo la deformazione diviene più che proporzionale e aumenta fino alla rottura. Tale comportamento per il legno strutturale è molto influenzato dai difetti soprattutto nel caso di trazione e flessione, riducono la capacità di resistenza del materiale e innescano prematuramente una rottura.

Questo è il motivo per cui è molto utilizzato il legno lamellare. Questo prodotto risponde anche ad altre problematiche come le limitazioni dimensionali e ha dei vantaggi, come il poter realizzare sezioni variabili ed elementi curvi come archi. In una trave di legno massiccio non si può fare niente per evitare la presenza di difetti che influiscono negativamente sulle resistenze meccaniche dell'elemento come i nodi, se non alcune

pratiche selvicolturali e le potature. Mentre si possono eliminare o ridurre nella formazione delle lamelle, scartando così le tavole con troppi difetti ed eliminando alcuni nodi con la tecnica delle giunzioni di testa (“finger joint”) e pongono le lamelle più “difettose” nei punti meno sollecitati nella sezione dell’elemento strutturale.

Il legno lamellare è diviso in classi di resistenza. Si prenda ad esempio il GL24 il cui peso specifico è di circa  $0,45 \text{ Kg/dm}^3$  e comparando il modulo di resistenza a flessione con il peso specifico si può osservare che il legno lamellare ha valori simili all’acciaio e superiori al calcestruzzo. Un altro vantaggio delle costruzioni in legno è il rapporto tra la resistenza a flessione (E) e la resistenza a compressione (f).

Qui riportiamo i valori confrontando alcuni materiali:

	<b>Modulo di elasticità a flessione</b>	<b>Peso Specifico</b>	<b>Res. a compressione</b>	<b>Rapport o E su f</b>	<b>Rapport o E su Ps</b>
<b>Materiale</b>	<b>E (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ps (Kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>f (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>E/f</b>	<b>E/Ps</b>
acciaio C40	220000	7.87	460	480	28000
Alluminio	70000	2.69	350	200	26000
Calcestruzzo	28000	2.45	23	1250	11500
Lamellare GL24	11600	0.45	24	483	25778

Tabella 6.4.2 Caratteristiche meccaniche del legno lamellare GL24 a confronto con alcuni materiali edili. Normativa DIN 1052

Si nota che il modulo di elasticità del legno lamellare è circa 20 volte più piccolo rispetto a quello dell’acciaio C40. Il rapporto fra resistenza a flessione e peso specifico è dell’92% rispetto a quello dell’acciaio C40. Questo succede perché il peso specifico del legno è circa 18 volte più piccolo.

Osservando il calcestruzzo, il legno lamellare ha una resistenza a flessione inferiore della metà, però il peso specifico è inferiore di circa sei volte. Ciò vuol dire che a parità di peso, il legno ha una resistenza a flessione doppia rispetto al calcestruzzo.

Un’altra peculiarità di questo materiale è di essere un cattivo conduttore di calore e di avere proprietà isolanti.

	<b>Peso specifico</b>	<b>Conducibilità termica</b>
<b>Materiale</b>	<b>Ps (Kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>λ (W/mK)</b>
Acciaio	7,87	60

Alluminio	2,69	200
Calcestruzzo	2,45	1,4
legno di conifere flusso di calore trasversale alle fibre	0,45	0,13
legno di conifere flusso di calore lungo le fibre	0,45	0,22

Tabella 6.4.3 Peso specifico e conducibilità termica di alcuni materiali edili (casaclima, 2008, sezione download, [www.agenziacasaclima.it](http://www.agenziacasaclima.it))

Si può osservare che il legno ha capacità isolanti di molto superiori agli altri materiali. Le case in legno quindi senza eccessivi accorgimenti danno un risparmio energetico, riguardo il riscaldamento, a differenza di edifici con struttura tradizionale. Un altro aspetto da non trascurare riguarda la disponibilità di legno e il suo approvvigionamento. Infatti, la domanda di legno non intacca le riserve mondiali provenienti da foreste e boschi questo perché sono state attuate politiche di sfruttamento sostenibile. Inoltre la trasformazione per farlo diventare materiale da costruzione non incide sull'ambiente come succede per altre materie prime. L'inquinamento prodotto dall'esbosco è causato dai gas di scarico delle macchine per il taglio dei tronchi e per il loro trasporto. Poi per le lavorazioni successive si utilizzano soprattutto macchinari a energia elettrica.

Lo smaltimento del legno può avvenire in due modi, o viene nuovamente immesso nella catena produttiva diventando materiale derivato (pannelli di particelle, MDF, pannelli di fibre, OSB) oppure viene usato come combustibile. Mentre altri materiali come il laterizio non possono essere riutilizzati completamente.

Segue una tabella, dove il legno viene comparato ad altri materiali in base alle emissioni di anidride carbonica per produrlo.

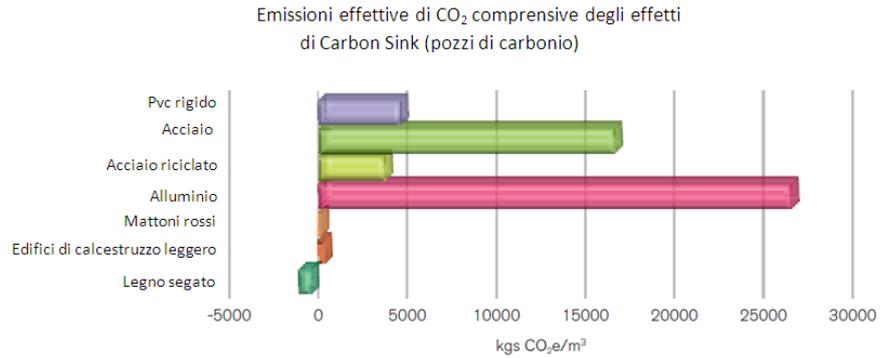


Tabella 6.4.4 Relazione ambientale su materiali da costruzione (RTS 1998-2001)

Si osserva così la grande differenza che si ha tra legno e altri materiali da costruzione. I limiti sono legati alla sua biodegradabilità poiché contiene cellulosa e altre sostanze che possono essere attaccate da batteri, funghi e insetti. Per avere la certezza che ciò non avvenga, si attuano misure di protezione e prevenzione.

Esaminando il confronto con altri materiali ne risulta che il legno è un materiale adatto alle costruzioni ma che necessita di attenzioni perché duri nel tempo e porta vantaggi come maggiore leggerezza, isolamento termico ed è un materiale biocompatibile ed economico.

## 7. Normativa

Attualmente, in Italia è in vigore il DM 14/01/2008 “Norme tecniche per le costruzioni” il quale è di aggiornamento del DM 14/09/2005, sono state emanate nuove norme che costituiscono un netto miglioramento rispetto alla versione precedente, infatti, contengono tre paragrafi riguardanti la progettazione di strutture di legno. Il paragrafo 4.4 “Costruzioni di legno” all’interno del capitolo 4 “costruzioni civili e industriali” dove sono definiti i requisiti generali e le metodologie di valutazione della sicurezza in termini di resistenza, stabilità, funzionalità, robustezza e durabilità secondo il metodo degli stati limite. Il paragrafo 7.7 “Costruzioni di legno” all’interno del capitolo 7 “Progettazione per azioni sismiche” che definisce le tipologie strutturali ammesse e le corrispondenti classi di duttilità oltre alle prescrizioni aggiuntive per le costruzioni di legno in riferimento alla progettazione nei confronti delle azioni sismiche. Il paragrafo 11.7 “Materiali e prodotti a base di legno” all’interno del capitolo 11 “Materiali e prodotti per uso strutturale” dove vengono definite le proprietà dei materiali e prodotti strutturali a base di legno e le relative procedure

Parallelamente si possono utilizzare gli Eurocodici, ossia documenti normativi europei per la progettazione strutturale che, secondo una direttiva della Comunità Europea, dal 2010 dovranno coesistere con le varie normative nazionali degli stati membri e potranno essere utilizzati al pari di queste ultime, considerando che i coefficienti di sicurezza dovranno comunque essere stabiliti dalle Autorità Nazionali. L’Eurocodice 5 è attualmente il documento normativo più completo per la progettazione delle strutture di legno e il loro utilizzo e applicazione. Esso definisce le regole di progettazione, calcolo ed esecuzione delle strutture in legno, relativamente ai requisiti di resistenza meccanica, funzionalità, durabilità e resistenza al fuoco. L’Eurocodice 5 è diviso in tre parti, regole generali e regole per gli edifici, progettazione strutturale contro l’incendio e ponti. Si ha poi l’Eurocodice 8 relativo alle regole specifiche per la progettazione nei confronti delle azioni sismiche.

## *Normativa per LCA*

L'LCA è articolato secondo le norme ISO della famiglia delle 14040. Il Life Cycle Assessment è sviluppato soprattutto in quattro fasi:

1. Definizione dell'obiettivo e campo d'applicazione (ISO 14041).
2. Analisi di inventario del ciclo di vita (ISO 14041).
3. Valutazione dell'impatto del ciclo di vita (ISO 14042).
4. Interpretazione dei risultati (ISO 14043).

Nell'obiettivo è importante sia chiaro il tipo di applicazione e le motivazioni per cui viene realizzato lo studio. In particolare è fondamentale la qualità dei dati iniziali che devono essere chiaramente definiti rispetto ai fattori geografici, temporali e tecnologici dichiarando preventivamente il grado di completezza, precisione, rappresentatività e le fonti di acquisizione. La mancanza di una banca dati italiana ufficiale obbliga a far riferimento a banche dati straniere con inevitabili approssimazioni dovute alla verifica di trasferibilità dei dati nel nostro contesto. La fase dell'analisi d'inventario del ciclo di vita difatti comprende la raccolta dei dati e i procedimenti di calcolo utili a quantificare i flussi di materia ed energia in entrata ed in uscita di un sistema di prodotto. La valutazione dell'impatto del ciclo di vita deve essere sviluppata associando i dati di inventario a specifici impatti ambientali seguendo alcuni passaggi, scelte delle categorie di impatto, indicatori di categoria e modelli di caratterizzazione, attribuzione dei dati d'inventario alle categorie di impatto; calcolo dei risultati per gli indicatori di categorie scelti ed eventualmente aggregazione dei risultati. La fase finale d'interpretazione è necessaria per analizzare i dati, giungere alle conclusioni, spiegare le limitazioni dello studio e fornire le raccomandazioni sulla base degli esiti, comunicare i risultati e fornire le raccomandazioni sulla base degli esiti, comunicare i risultati in modo trasparente.

Come allegati si ha il riassunto di due norme riguardanti l'analisi del ciclo di vita.

## 8. Tipologie costruttive per edifici in legno

I diversi metodi costruttivi adatti al legno e vengono scelti in base a molte variabili tra le quali ci sono l'esigenza del cliente e le limitazioni date ad esempio dai regolamenti edilizi. E' comunque di primaria importanza l'aspetto estetico, soprattutto quando la cultura del territorio non facilita l'introduzione di edifici diversi da quelli tradizionali.

Ogni sistema costruttivo ha le proprie caratteristiche distintive che lo differenziano dagli altri per comportamento strutturale o per gli aspetti estetico-architettonici o ancora per dettagli costruttivi che lo rendono più o meno adatto ai diversi contesti, ma tutti offrono gli stessi vantaggi:

- Semplicità e velocità di esecuzione, grazie alla leggerezza del legno che lo rende un materiale di facile trasporto e maneggevolezza nell'utilizzo in cantiere.
- Semplice montaggio degli elementi strutturali. Poiché una volta realizzata la struttura, sia le componenti impiantistiche sia di finitura possono essere montate a secco direttamente sul supporto ligneo mediante ferramenta. Le dimensioni ridotte degli elementi portanti consentono la realizzazione di vani ed intercapedini porta impianti e di climatizzazione naturale con sezioni non realizzabili con altri materiali. Tutto questo consente anche di avere costi di manutenzione minimi rispetto ad altri sistemi costruttivi.



Fig. 8.1 FAVA G., 2008, Manuale Costruttivo Consorzio Stile 21, Stile 21, Treviso,  
[www.stile21.it](http://www.stile21.it)

- Elevata durata nel tempo e i costi di manutenzione sono in linea con quelli necessari agli edifici tradizionali.
- Buon isolamento termo-acustico, perché il legno è un materiale capace di ottimo isolamento termico e acustico. Avendo in ogni caso cura dei particolari costruttivi per garantire il giusto funzionamento degli elementi isolanti. In questo modo oltre a garantire livelli di comfort termico migliori rispetto agli edifici costruiti con materiali tradizionali, gli elementi a base di legno contribuiscono a migliorare la traspirabilità complessiva dell'involucro migliorando la salubrità dell'edificio.
- Le strutture di legno hanno ottime caratteristiche di resistenza alle azioni sismiche e un comportamento al fuoco prevedibile e addirittura migliore per certi versi rispetto ad altri materiali da costruzione non combustibili.
- Costi contenuti e competitivi rispetto agli altri materiali, principalmente in virtù dei ridotti tempi di realizzazione e quindi dei minori imprevisti in corso d'opera. Le strutture di fondazione, solitamente previste in c.a., sono più leggere rispetto ad

analoghe realizzazioni in materiali tradizionali e pertanto si riducono i costi del materiale da utilizzare e i tempi di realizzazione.

Le tipologie oggi più diffuse sono le strutture a blocchi massicci, Platform frame, a travi e pilastri ed infine strutture a pannelli portanti.

## 8.1 Struttura a pannelli portanti

Oggi giorno la più utilizzata, è basata su pareti pre-assemblate in legno massiccio. In questo modo con un solo elemento rispondono a molte funzionalità come compatibilità con l'ambiente, protezione acustica ottimale, velocità di realizzazione, benessere abitativo. Vengono utilizzati pannelli portanti realizzati tramite l'incollaggio o la chiodatura di lamelle essiccate, incrociate, a formare pannelli di spessori diversi anche a seconda del numero di strati. Il legno utilizzato ha umidità controllata del 12 $\pm$  2% e nel piano del pannello si ha approssimativamente una deformazione di 1 mm per 10 m di lunghezza dell'elemento per ogni 1% di variazione di umidità. E' per questo un materiale con stabilità dimensionale e resistenza alla torsione. Non si hanno limiti dimensionali se non quelli dovuti al trasporto. L'edificio poi può essere rivestito da un cappotto isolante e finito con intonaco. I progetti che saranno trattati in seguito sono costituiti con questo metodo, utilizzando la tecnologia dei pannelli X-lam. Si tratta quindi di un pannello multistrato, composto da strati di tavole di legno di conifera incrociati l'uno sull'altro. Le tavole sono giuntate nella direzione longitudinale tramite giunti incollati a pettine. Nel caso di difetti come i nodi, le tavole possono essere troncate e giuntate, ovviamente i componenti di minor pregio estetico vengono utilizzate internamente per rendere i pannelli più gradevoli esteticamente. Si possono avere due tipi di produzione uno in una sola fase con l'incollaggio del pannello completo o in più fasi con la produzione di strati singoli e successivamente l'incollaggio del pacchetto di più strati.

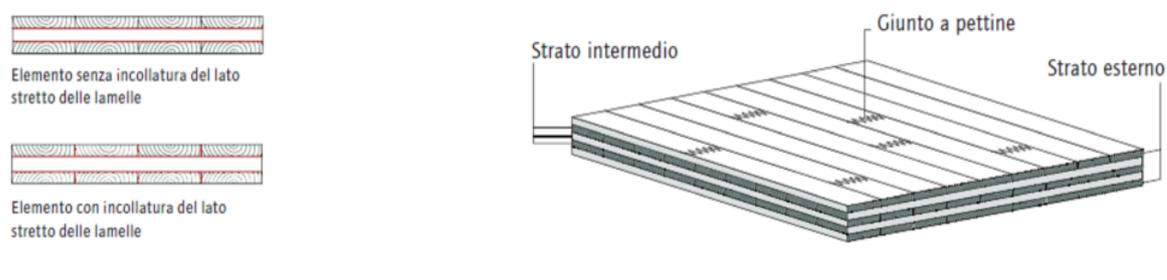


Fig. 8.1.1 Pannello X-Lam (Promolegno)



Fig. 8.1.2 Bernasconi, 2009, convegno L'altro massiccio Caratteristiche e Possibilità D'impiego del Materiale

Il prodotto finito può avere tre caratteristiche diverse. Senza incollaggio con spazio visibile, senza incollaggio a contatto con superficie più o meno continua oppure con incollaggio a contatto e quindi con eventuali fessure da ritiro.

Questa struttura è molto versatile e può essere utilizzato sia per costruzioni mono o bi-famigliare che per condomini multipiano ed anche per strutture pubbliche come asili, scuole, cinema e altro. Tuttavia utilizzando questa tipologia si ha un maggiore impiego di materia prima favore per contro si ha la possibilità di impiegare legname di qualità inferiore e i pannelli in questione soprattutto quelli incollati sono molto rigidi e resistenti.

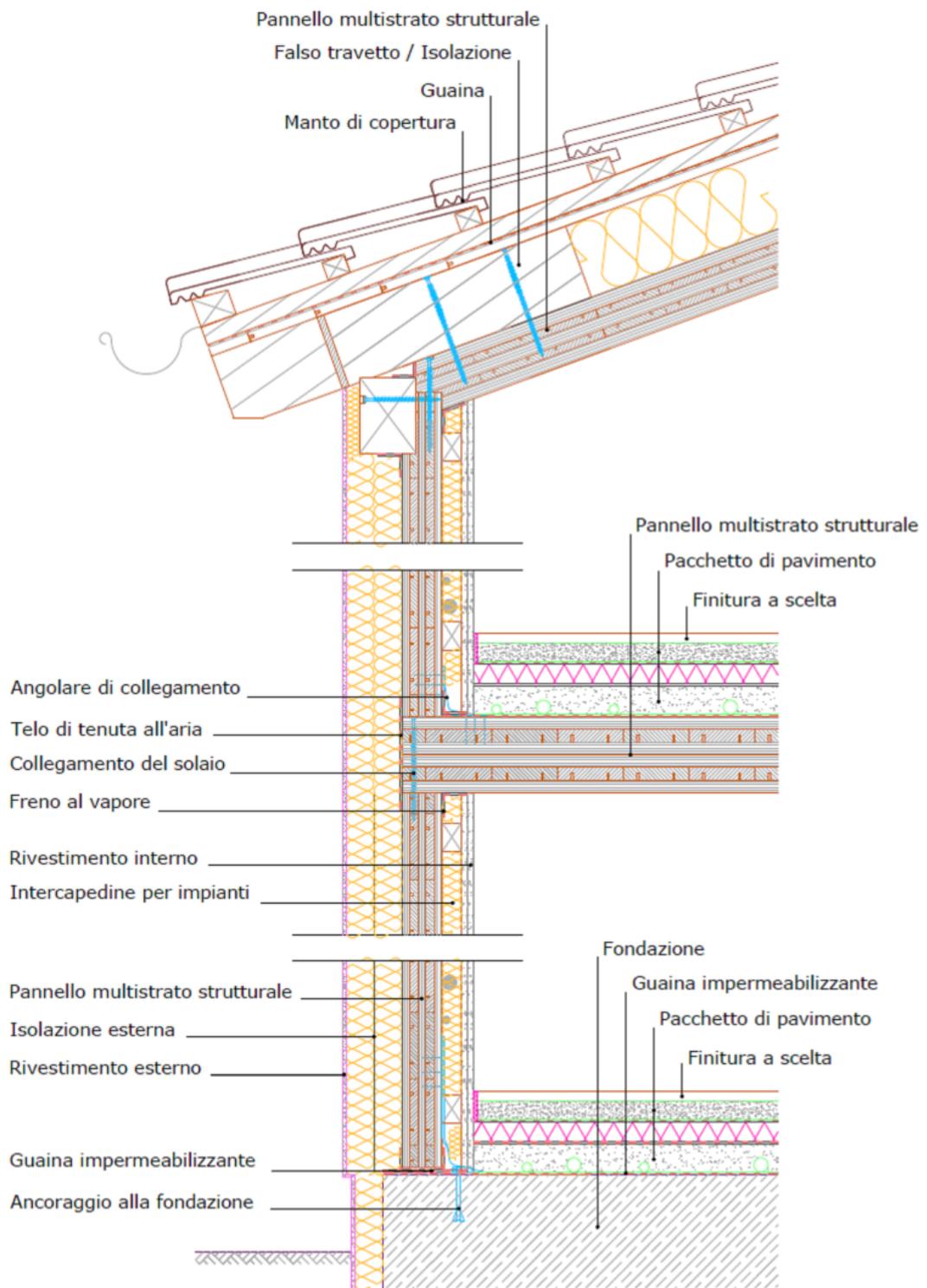


Figura 8.1.3 Struttura generale con pannelli portanti (Fava G., 2008, Manuale Costruttivo Consorzio Stile 21, Stile 21, Treviso)

La costruzione parte ovviamente dalle fondazioni che vengono realizzate con platea oppure con travi rovesce in c.a. In ogni caso, è poi consigliabile costruirci sopra un cordolo in c.a. o in legno per evitare il contatto diretto parete-fondazione, in alternativa viene realizzata una fondazione che fuoriesce dal livello del terreno. E' poi necessario, per evitare la risalita dell'umidità, interporre una guaina bituminosa tra la struttura di legno e la fondazione.

Talvolta al contatto fra la parete e le fondazioni oltre alla guaina viene posto un ulteriore strato di gomma, utilizzato anche in tutte le zone di contatto fra le pareti e solaio per impedire il passaggio d'aria attraverso ma anche come smorzatore acustico. Il collegamento tra parete e fondazione deve assolvere a due compiti, impedire che a causa delle sollecitazioni orizzontali si possa verificare il ribaltamento e lo scorrimento rispetto le fondazioni. Per evitare il ribaltamento vengono utilizzate piastre angolari allungate le quali vengono collegate alle pareti con chiodi o viti e alle fondazioni con barre filettate in acciaio inserite in fori sigillati con malta cementizia. Devono essere posizionati in corrispondenza dei limiti esterni delle pareti in prossimità delle aperture. Lo scorrimento invece può essere evitato in diversi modi, in caso di presenza del cordolo di legno deve essere previsto un doppio collegamento del cordolo alle fondazioni sempre con barre filettate e dalla parete al cordolo un collegamento con viti auto-foranti inserite inclinate sui due lati della parete. Nel caso il cordolo avesse una larghezza minore rispetto allo spessore della parete e si appoggiano in parte sulle fondazioni così le viti di collegamento possono essere inserite orizzontalmente.

Le pareti sono costituite da pannelli interi fino ad una lunghezza massima di 10-12 metri e con un'altezza pari all'altezza del piano, già completi di aperture e preparati in stabilimento mediante il taglio con macchine a controllo numerico. Tuttavia per comodità di montaggio e trasporto spesso vengono utilizzati pannelli di larghezza inferiore. Una volta giunte in cantiere vengono sollevate con mezzi meccanici e collegati fra loro e alle fondazioni. Tra loro i pannelli possono essere uniti da giunti verticali solitamente eseguiti con l'interposizione di una striscia di pannello multistrato a base di legno che può essere inserito in apposite fresature internamente alla parete o su una faccia, certe volte può invece essere realizzato anche un giunto a mezzo legno a tutta altezza. Il collegamento viene sempre eseguito con l'inserimento di viti auto-foranti.

La realizzazione della parete con giunti verticali conferisce all'edificio una maggiore duttilità e quindi maggiore capacità di dissipare l'energia prodotta dal sisma rispetto a pareti realizzate da un unico pezzo. Il collegamento fra pareti ortogonali avviene mediante l'inserimento di viti auto-foranti dove, però bisogna prestare attenzione al posizionamento di queste ultime, non vanno inserite come nell'immagine A e B poiché la vite è infissa in senso parallelo alla fibratura. Il caso C ossia l'infissione in senso perpendicolare alla fibratura è corretto ma difficile da eseguire per questo vengono consigliati i metodi D e E quindi un'infissione diagonale in questo modo si è sicuri di non essere paralleli alla fibratura.

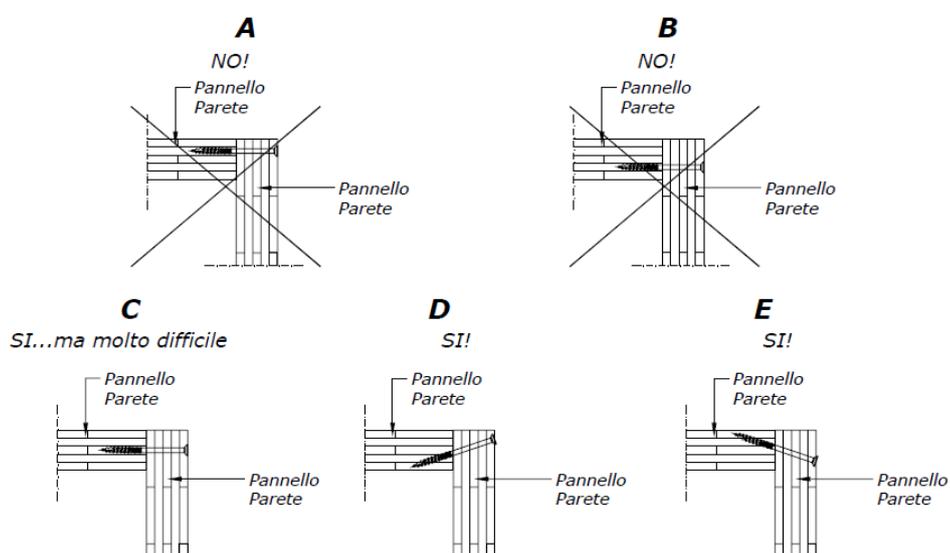


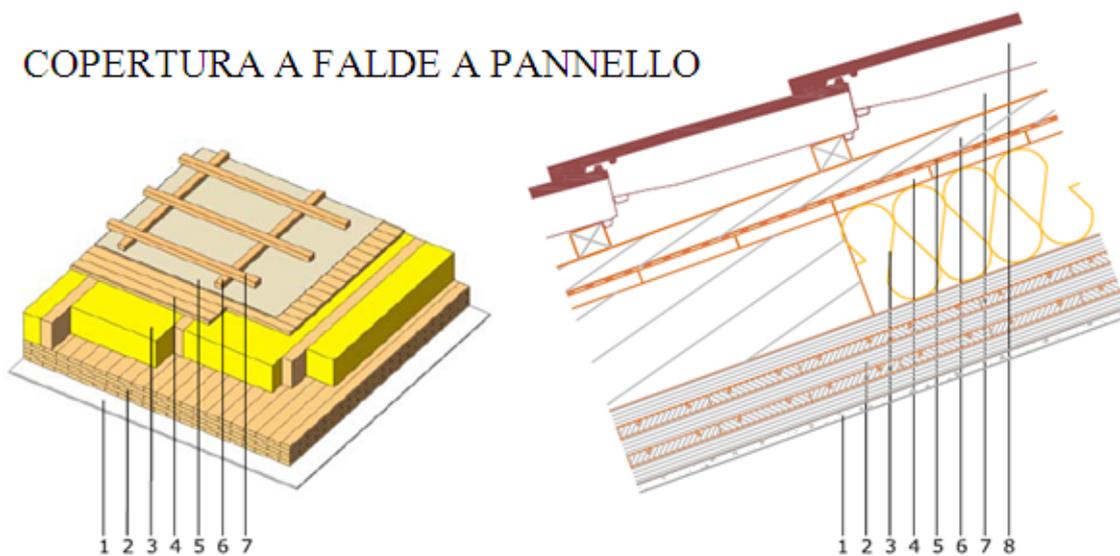
Fig. 8.1.4 Metodo di collegamento fra pareti ortogonali.(FOLLESA M., 2009, Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana, Edizioni Regione Toscana)

Dopo il montaggio delle pareti si può posare il solaio. Quest'ultimo è formato da pannelli a strati incrociati si spessore solitamente maggiore rispetto a quello delle pareti, ovviamente è dimensionato a seconda delle luci e dei carichi che deve sopportare. Anche per il solaio per esigenze di trasporto e montaggio si preferiscono pannelli di larghezza di

tre metri, che poi verranno collegati fra loro con giunti orizzontali realizzati con le stesse tecniche precedentemente descritte per i giunti verticali tra pareti. Tuttavia nel caso di un sisma sarebbe meglio fosse composto da un'unica lastra. I giunti realizzati bene garantiscono comunque un'elevata rigidità. Il collegamento con le pareti sottostanti è sempre realizzato con viti auto-foranti e come precedentemente spiegato è preferibile inserirle con asse leggermente inclinato. Il collegamento fra le pareti ortogonali, in particolar modo agli angoli esterni e l'unione fra i pannelli del solaio e le pareti sottostanti viene effettuato con l'inserimento di viti auto-foranti e deve essere sufficientemente rigido per garantire il corretto comportamento strutturale scatolare dell'intero edificio. Una volta realizzato il primo solaio, il processo costruttivo si ripete, il primo solaio fa da piattaforma per la realizzazione dei piani successivi. Le pareti del primo piano sono collegate al solaio sottostante tramite collegamenti meccanici come piastre metalliche angolari, chiodi e viti con le stesse modalità del collegamento alle fondazioni. La copertura può essere realizzata a pannelli oppure con metodo tradizionale, cioè con travi principali, secondarie e sovrastante tavolato a doppio strato incrociato o pannello a base di legno. Nel caso della copertura a pannelli il collegamento avviene come per i solai, mentre nel caso di una copertura con travi il metodo di prefabbricazione dei pannelli consente di realizzare con estrema precisione le sedi di alloggio per le travi di copertura che poi possono essere più facilmente collegate con l'utilizzo sempre di viti auto-foranti oppure viti a doppio filetto. Una volta terminata la struttura, l'edificio viene completato con i pacchetti costruttivi per pareti e solai. Sulla parte estera della parete viene posto un cappotto isolante solitamente formato da pannelli in fibra di legno, rete porta intonaco e intonaco. Questa non è l'unica scelta d'isolante, si possono usare anche pannelli in lana di legno mineralizzata, fibra di canapa o sughero. Verso l'interno è prevista un'intercapedine, dove far passare gli impianti, generalmente è riempita di lana minerale o lana di legno e rivestita internamente da due lastre in cartongesso. Il solaio invece viene completato sul lato inferiore sempre con una lastra di cartongesso che può essere direttamente unito al supporto ligneo oppure si lascia un'intercapedine, se necessario, mentre nella parte superiore viene posto uno strato di sabbia o altro materiale inerte per aumentare la massa, un massetto porta-impianti in calcestruzzo e la pavimentazione. Alle volte fra lo strato di sabbia e il massetto di calcestruzzo può essere inserito uno strato di composto elastomerico, ossia gomma, come disaccoppiante acustico oppure uno strato

isolante (ad esempio fibra di legno) come isolamento termo-acustico. Il pacchetto costruttivo della copertura varia a seconda della funzione della struttura portante, delle condizioni climatiche e delle tradizioni costruttive. Se la copertura è a pannelli, il pacchetto viene normalmente completato con pannelli d'isolante (generalmente utilizzato fibra di legno), sovrastante tavolato o pannelli in compensato o OSB, guaina traspirante, doppia orditura di listelli per ventilazione e listelli porta tegole e manto di copertura. Sul lato interno viene solitamente posto il cartongesso direttamente fissato al pannello oppure si lascia un'intercapedine per il passaggio degli impianti.

## COPERTURA A FALDE A PANNELLO



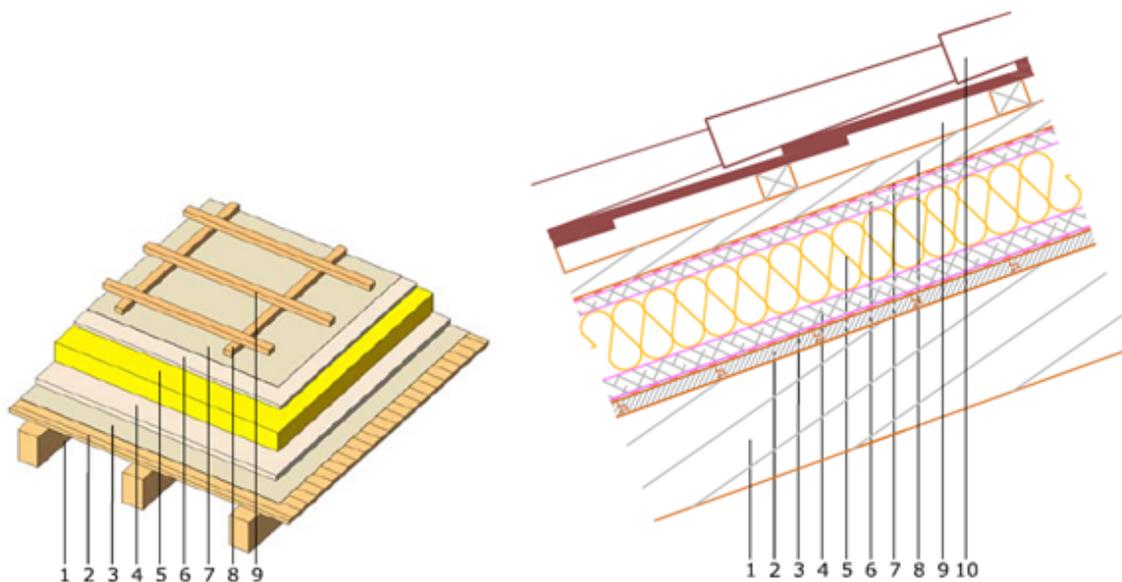
### Stratigrafia

	Materiale	Spessore [mm]
1	Pannello di fibrogesso	10
2	Pannello multistrato strutturale	120
3	Distanzatori / CELENIT FL/45	160
4	Tavolato grezzo	20
5	Barriera radiante	-
6	Controlistelli	40
7	Listelli	40
8	Cotto Possagno Unicoppo	-
		390

Fig. 8.1.5 Fava G., 2008, Manuale Costruttivo Consorzio Stile 21



## COPERTURA A FALDE CON TRAVETTI



### Stratigrafia

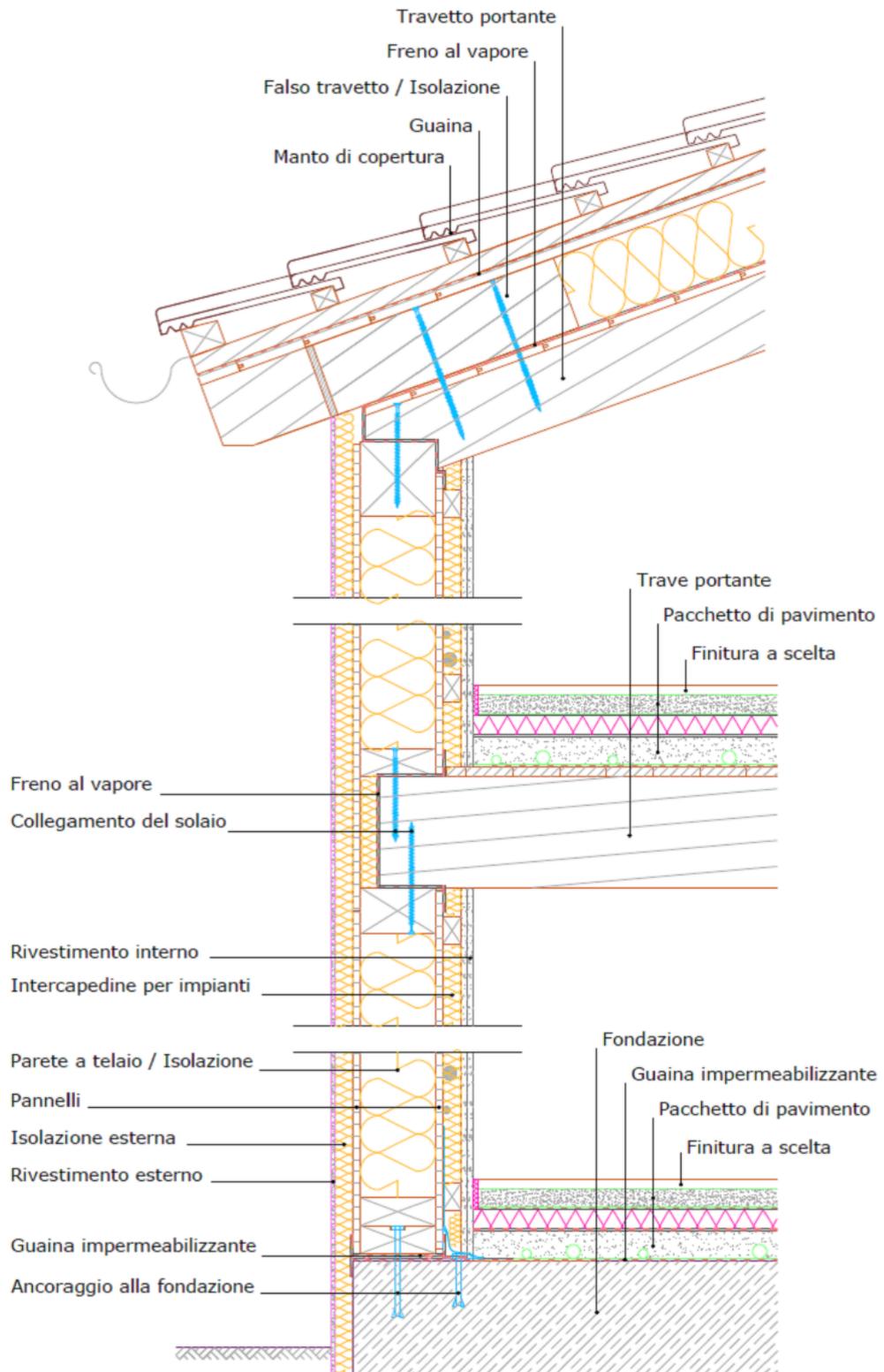
	<b>Materiale</b>	<b>Spessore</b> [mm]
1	Travetto a vista	s. statica
2	Tavolato a vista	22
3	Freno vapore ICOPAL Def'X Multi	-
4	CELENIT N	30
5	CELENIT FL/120	100
6	CELENIT N	20
7	Barriera radiante ICOPAL Therm'X	-
8	Controllistelli	40
9	Listelli	40
10	Cotto Passagno Coppo	-
		252

Fig. 8.1.6 Fava G., 2008, Manuale Costruttivo Consorzio Stile 21

Se invece si sceglie la copertura tradizionale, con le travi solitamente lasciate a vista, sopra di esse è fissato il tavolato semplice o doppio e sopra si ripete lo stesso pacchetto costruttivo prima descritto. Se si decide di non lasciare a vista le travi, l'isolante viene posto nell'intercapedine di altezza pari all'altezza delle travi e il pacchetto viene completato con tavolato, guaina traspirante, listelli, contro listelli e manto.

## *8.2 Strutture a travi e pilastri*

Edifici intelaiati hanno origini antichissime, un esempio di questa tipologia costruttiva è l'architettura tradizionale giapponese e del sud-est asiatico. La moderna versione di questo sistema presuppone la realizzazione di una gabbia strutturale con elementi trave e pilastro collegati fra loro sia attraverso giunti di carpenteria ma sempre più spesso vengono utilizzati elementi meccanici di collegamento come viti, bulloni, spinotti, scarpe metalliche, e piastre in acciaio. Con questo metodo costruttivo si possono realizzare edifici di tre o quattro piani e lascia molta libertà nello gestire gli spazi interni. A differenza delle strutture a telaio con altri materiali, come cemento armato e acciaio, con il legno non si hanno incastri veri e propri a causa della deformabilità e delle variazioni dimensionali del legno. Per questo motivo c'è la necessità di irrigidire la maglia strutturale per rendere la struttura capace di assorbire azioni orizzontali, come il vento e un sisma, per trasmetterle poi alle fondazioni.



Solitamente le fondazioni vengono realizzate con platea di fondazione in c.a., con travi rovesce in c.a. oppure alle volte con plinti di fondazione isolati sotto i pilastri connessi da cordoli di collegamento. Nel piano per irrigidire possono essere utilizzati travi o travetti posti ad interasse ravvicinato e sopra di essi uno o due pannelli strutturali. Sopra di questo alle volte viene posta una soletta di calcestruzzo alleggerito che irrigidisce il solaio e ne migliora l'isolamento acustico. L'irrigidimento verticale si ha con controventi di legno o acciaio oppure mediante pannellature strutturali in compensato o OSB. In questa tipologia costruttiva i particolari costruttivi sono di notevole importanza, soprattutto riguardo alla resistenza al fuoco. E' quindi buona regola proteggere tutti gli elementi di collegamento fra gli elementi strutturali, comprese la parti in acciaio. Per questo sono ottimali le piastre inserite in apposite fresature all'interno del legno oppure vanno protette le unioni con fogli di compensato. Importante inoltre proteggere le giunzioni da ristagni idrici soprattutto nel caso del collegamento fra pilastri e fondazioni evitando di utilizzare scatole o cuffie di metallo che racchiudano il piede del pilastro, è da preferire se possibili dispositivi che prevedano l'inserimento di una piastra in una fresatura.

I pacchetti costruttivi per pareti, solai e copertura sono gli stessi utilizzati per gli altri sistemi costruttivi. La struttura portante verticale e orizzontale viene lasciata a vista all'interno dell'edificio. La parete esterna è spesso rivestita con pareti di tamponamento con intelaiatura in cui è interposto l'isolante e rivestito con pannelli che possono non essere strutturali.

### *8.3 Strutture Platform frame*

Un edificio realizzato con il sistema Platform Frame è formato da pareti e solai costituiti da intelaiature di elementi di legno di piccola sezione (spesso 4X9 o 5X10) posti a interasse costante di 40-60 cm sulle quali da un lato o da entrambi vengono collegati, con

tanti chiodi o viti di piccolo diametro, dei pannelli di legno strutturale, generalmente compensato o OSB.

Il sistema deve il suo nome al metodo costruttivo, infatti, il termine Platform Frame che può essere tradotto dall'Inglese come “sistema intelaiato a piattaforma”, significa che una volta realizzate le strutture del primo solaio, queste fanno da piattaforma per realizzare i piani successivi.

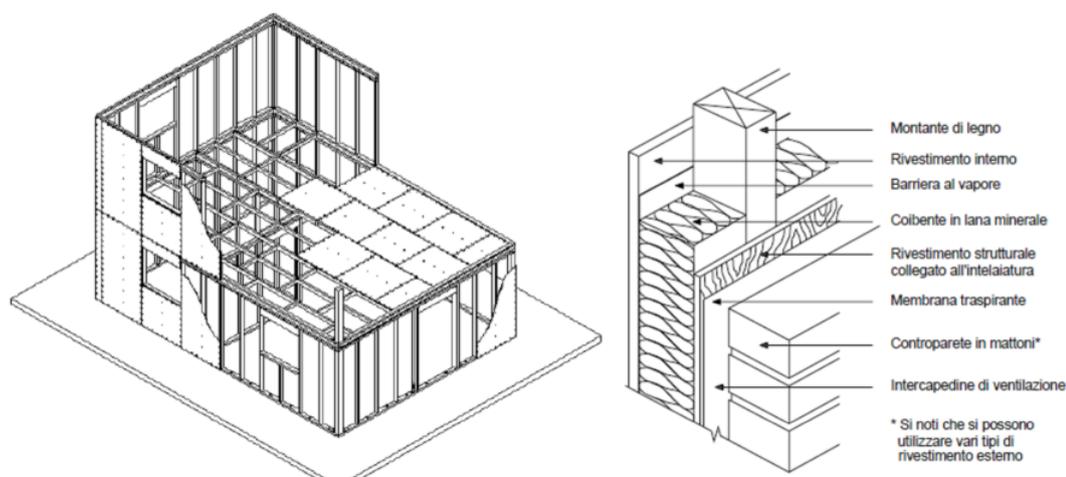


Fig. 8.3.1 Schematizzazione di un edificio a struttura Platform frame e particolare di una parete (FOLLESA M., 2009, Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana, Edizioni Regione Toscana)

Strutture di questo tipo sono costituite da una fondazione a platea in cemento armato o da un piano in scantinato con pareti in cemento armato coperto da un solaio in legno massiccio. Qualunque sia la scelta, le fondazioni saranno di dimensioni ridotte rispetto ad altre tipologie costruttive perché in questo caso si ha una struttura leggera. Sopra le fondazioni si hanno pareti costituite da un'intelaiatura di elementi in legno massiccio. Sul lato esterno dell'intelaiatura, e alle volte da entrambi i lati viene inchiodato un pannello in compensato o OSB. Le aperture per finestre e porte devono essere opportunamente rinforzate raddoppiando i montanti e realizzando architravi. Le pareti sono poi collegate da un ulteriore corrente (travicello quadrangolare). Il rivestimento interno della parete, quando non si preveda per esigenze strutturali la presenza di un secondo foglio di

compensato, è realizzato generalmente con pannelli di cartongesso. Il collegamento fra fondazione e parete deve svolgere il duplice compito di contrastare il ribaltamento e lo scorrimento delle pareti per effetto delle azioni orizzontali. Per il ribaltamento vengono utilizzate piastre angolari allungate collegate alle fondazioni con barre filettate inserite in fori sigillati con malta cementizia o epossidica e ai montanti con chiodi o viti. Lo scorrimento viene impedito sempre con tirafondi che collegano il corrente inferiore della parete alla fondazione. Il solaio è costituito da travetti di legno massiccio equidistanti allo stesso interasse dei montanti delle pareti, viene irrigidito nel proprio piano ancora con il posizionamento di pannelli strutturali collegati all'intelaiatura con chiodi. Lungo tutto il perimetro del solaio va previsto un cordolo di collegamento in grado di riassorbire gli sforzi di trazione che nascono quando lo stesso solaio viene caricato dalle azioni orizzontali nel proprio piano. Il collegamento del solaio alle pareti sottostanti e quello verticale delle pareti andrà realizzato in modo che sia rigido e non rappresenti un punto di debolezza della struttura. Una volta realizzato il solaio costituisce una "piattaforma" per il montaggio delle pareti del piano superiore che saranno realizzate e poi sollevate e inchiodate o avvitate alla parte sottostante. I collegamenti fra solaio e pareti soprastanti vengono sempre realizzati da piastre angolari allungate o bande forate esterne per il ribaltamento e viti di collegamento del corrente inferiore delle pareti superiori al solaio inferiore per lo scorrimento. La copertura può essere realizzata con diverse modalità secondo le esigenze. In queste strutture la resistenza ai carichi verticali è affidata ai montanti, la resistenza a sollecitazioni orizzontali è delegata ai divisori verticali delle pareti. Il pacchetto costruttivo delle pareti viene completato mediante il posizionamento dell'isolante all'interno dell'intercapedine dell'intelaiatura. L'isolante è generalmente costituito da fibra di vetro o lana di roccia; dalla parte calda di quest'ultimo viene posizionata la barriera al vapore. Lo strato isolante posto nell'intercapedine può occupare tutto lo spessore, se si ha la necessità del passaggio d'impianti vengono praticate delle fresature nell'isolante o lasciando libera parte dell'intercapedine. Sul lato freddo viene realizzata una coibentazione a cappotto sempre con lana di legno o sughero e/o con pannelli di lana di legno mineralizzata mentre il rivestimento esterno può essere intonacato o in doghe di legno. I solai vengono completati sopra il pannello di rivestimento strutturale con un massetto in cls porta-impianti, con un eventuale strato d'isolamento acustico in gomma o con pannelli anticalpestio ed infine con la

pavimentazione che può essere posata su un'ulteriore caldana di calcestruzzo. In questo sistema costruttivo, in particolar modo nella realizzazione di edifici a più piani diventa importante l'isolamento acustico nei solai tra i piani, quindi bisogna prestarci attenzione nella fase progettuale.

Questo sistema costruttivo garantisce velocità e facilità nel caso d'interventi integrativi ed eventuali riparazioni d'impianti. Inoltre con tale metodo si ha la possibilità di prefabbricare in stabilimento gli elementi strutturali aumentando così velocità e qualità di esecuzione.

#### *8.4 Strutture a blocchi massicci*



Fig. 8.4.1 Edificio con struttura a blocchi massicci utilizzati anche come finitura esterna. (Federlegno-arredo, 2005, Legno massiccio in edilizia)

Le strutture a blocchi massicci sono case diffuse soprattutto in Europa centro-settentrionale e in alcune zone montate in Italia. Commercialmente sono note come Blockhaus e sono utilizzate per costruire edifici unifamiliari a uno o due piani. Le fondazioni vengono realizzate con platea o con travi rovesce in c.a. Occorre prestare particolare attenzione al contatto parete fondazione prevedendo la costruzione di un cordolo in c.a. e nel caso dell'utilizzo della platea il del posizionamento di uno strato di guaina al contatto con le fondazioni. La particolarità di questo sistema sono le pareti che vengono realizzate con la sovrapposizione di tronchi di legno massiccio tondi o squadrati, questi sono realizzati con una scanalatura femmina nella parte inferiore che aderisce alla parte superiore del blocco sottostante che avrà una scanalatura maschiata.

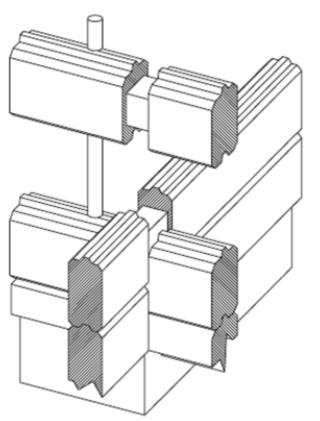


Fig. 8.4.2 Montaggio delle pareti (FOLLESA M., 2009, Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana, Edizioni Regione Toscana)

Viene così creata anche una protezione naturale all'eventuale possibilità di penetrazione dell'acqua meteorica. In aggiunta o in alternativa, il sistema di collegamento tra i tronchi è completato mediante l'inserimento di bielle o tasselli di legno di latifoglia, e sempre mediante l'inserimento di tiranti a vite in acciaio all'interno di appositi fori che hanno la funzione di tenere insieme l'intero pacchetto della parete. E' comunque opportuno inserirne uno in corrispondenza di ogni estremità della parete e in corrispondenza delle

aperture in modo da svolgere anche la funzione di elemento di protezione al ribaltamento. Questo tipo di pareti garantiscono resistenza alle azioni orizzontali grazie alla realizzazione di apposite maschiature tra le pareti ortogonali. L'ancoraggio alle fondazioni è realizzato mediante tirafondi affogati nella stessa fondazione e assicurati contro lo sfilamento nei tronchi da un dado con rotella ed inoltre hanno la funzione di evitare lo scorrimento. I solai intermedi sono costituiti da travi o travetti in legno massiccio o lamellare che appoggiano su due pareti ortogonali. La copertura abitualmente è a due falde con trave di colmo parallela al lato più lungo dell'edificio e travetti che poggiano su quest'ultima e sulle pareti longitudinali parallelamente alla linea di falda. Il pacchetto costruttivo della parete può essere completato in due modi o lasciando il legno a vista all'esterno dell'edificio e quindi inserendo l'isolante dal lato interno e chiudendo internamente con il cartongesso, oppure lasciando il legno a vista internamente e inserendo un cappotto isolante esterno completato dall'intonaco o altro rivestimento. Questo sistema costruttivo non è fra i più economici vista la grande quantità di legno che viene utilizzata. E' però possibile realizzare edifici con un'ottima qualità complessiva dovuta alle caratteristiche intrinseche del materiale e spesso hanno un aspetto estetico molto gradevole.



## 9. Caratteristiche delle strutture in legno

Il legno è un materiale particolare per la sua composizione non omogenea. Le strutture realizzate con esso si comportano in modo diverso rispetto agli edifici tradizionali. Vanno quindi progettate correttamente per sfruttare completamente i vantaggi che il legno può dare.

### *9.1 Durabilità*

Il legno è un materiale naturale per questo soggetto a degrado da parte di funghi e insetti se si creano le condizioni a loro favorevoli. Si parla invece di danno quando i problemi sono causati da variazioni dimensionali dovuti ai cambiamenti di umidità.

Il legno non è molto sensibile alle variazioni di umidità di breve periodo (come quelle giornaliere) ma è molto influenzato dal clima. Per questo motivo per non avere eccessivi movimenti si deve lavorare a umidità di utilizzo. La resistenza che il legno oppone agli agenti che causano il suo biodegradamento è chiamata durabilità naturale e dipende soprattutto dalla presenza di estrattivi. La durata in opera del legno dipende quindi dalla durabilità naturale, dai trattamenti a cui eventualmente è stato sottoposto e le condizioni ambientali nelle quali si trova. Conseguentemente ai maggiori rischi dovuti all'ambiente d'esercizio, si ha la divisione in classi di rischio o di utilizzo.

Classe di utilizzo	Umidità del legno	Agenti biologici	Esempio
1 (coperto all'interno)	Sempre inferiore o al massimo = 20%	Insetti (coleotteri, termiti se localmente presenti)	Mobili, parquet, perlinati, ecc.
2 (coperto all'interno)	Occasionalmente > 20%	<b>Insetti (coleotteri, termiti se localmente presenti)</b> funghi basidiomiceti, funghi cromogeni muffe	Travature, soffitti, serramenti con adeguata copertura.
3.1 (non a contatto con il terreno)	Occasionalmente > 20% Non esposto alla pioggia		Serramenti esterni, infissi esterni, rivestimenti esterni, arredo urbano, mobili da giardino.
3.2 (non a contatto con il terreno)	Frequentemente > 20% esposto alla pioggia		
4.1 (a contatto con il terreno o con acqua dolce)	Prevalentemente o permanentemente > 20%	Insetti ( coleotteri, termiti se localmente presenti, 4.1T, 4.2T), funghi basidiomiceti, funghi cromogeni muffe funghi della carie soffice	Pali, staccionate, arredo urbano, bordi piscine, sponde fluviali, ecc
4.2 (piantato nel terreno con il terreno o immerso in acqua dolce)	Permanentemente > 20%		
5 (immerso in acqua di mare)	Permanentemente > 20%	Funghi della carie soffice organismi marini perforanti, nella parte emersa coleotteri e termiti	Pali di fondazione, pontili pali da ormeggio ecc.

Tabelle 9.1.1 Classi di utilizzo in accordo alla UNI EN 335-1

Le cause del degradamento del legno in opera sono di origine diversa e variano dal deterioramento dovuto ad agenti abiotici come gli agenti chimici, umidità, eccesso di carico all'alterazione dovuta a organismi. Il degrado più rilevante è solitamente causato dall'azione di funghi e insetti, che si nutrono delle sostanze organiche di cui il legno è costituito. Se consideriamo un edificio civile ci dovremmo trovare nelle classi di rischio 1,2 e 3.1 in cui solo occasionalmente sono presenti condizioni di umidità ottimali per lo

sviluppo di funghi. Spesso quindi la formazione di questi ultimi è causata da infiltrazioni di umidità nel tetto, sottotetto o nelle testate delle travi inserite nella muratura.

Un'alta percentuale di umidità può provocare, insieme a rigonfiamento, fenomeni di creep. Ciò si manifesta quando un elemento ligneo viene sottoposto a sollecitazioni e se durante questa fase si hanno variazioni di umidità le deformazioni aumentano a causa dello slittamento delle fibre. Questo fenomeno penalizza il comportamento strutturale ma difficilmente porta al collasso dell'edificio. La possibilità di un'opera di mantenersi nel tempo nelle diverse classi di rischio dipende prima di tutto dalla specie scelta, che deve essere adatta. Molto utilizzato è l'abete rosso, scelta dettata anche dalla disponibilità di questo tipo di legname e con dimensioni adatte. La non eccelsa durabilità naturale viene compensata con l'impregnazione e con la progettazione adatta dei particolari costruttivi. Solitamente per migliorare la durabilità naturale del legno vengono utilizzati dei preservanti. I trattamenti possono essere di diversi tipi, trattamenti preventivi, curativi, con mezzi chimici, con mezzi fisici e senza l'utilizzo di biocidi.

Il trattamento con mezzi chimici indica l'utilizzo di sostanze chimiche biocidi applicate con diverse metodologie, poiché possono essere preventivi o curativi e determinano un'azione protettiva la cui durata nel tempo dipende dalla sostanza usata, dalle modalità di applicazione e naturalmente dalla condizione d'uso dell'elemento. L'applicazione può avvenire a pressione o senza, se a pressione si assicura una buona penetrazione del preservante e vengono eseguiti in autoclave usualmente su elementi che andranno utilizzati in classi di rischio elevate. I trattamenti senza pressione comprendono trattamento a immersione, a spruzzo, e a pannello. I trattamenti con mezzi fisici (ad esempio calore, microonde, atmosfere modificate e controllate, radiazioni, ecc...) possono essere considerati sia curativi sia preventivi ma non durano nel tempo.

La Commissione Europea (European Commission, Guidance Paper F – “Durability and the Construction Products Directive) ha definito *“la vita utile del prodotto”* come *“il periodo di tempo in cui le sue prestazioni si mantengono ad un livello tale da consentire ad un'opera correttamente progettata e mantenuta di rispettare i Requisiti Essenziali (valori minimi accettabili) senza riparazioni o sostituzioni, sempre che la manutenzione sia corretta”*, specifica inoltre che la vita utile non può interpretarsi come una garanzia da parte del produttore e delinea le responsabilità di produttore, progettista e utente.

Prevenire l'ingresso d'acqua e la formazione di condensa è essenziale, ma altrettanto importante prevedere l'areazione e il drenaggio dei particolari costruttivi.

Bastano le situazioni di locale ristagno d'acqua per dare il via a fenomeni di degrado che possono danneggiare o espandersi ad ampie zone della struttura. Serve quindi una progettazione attenta che segua quattro principi cioè la protezione costruttiva se possibile, drenaggio rapido ed efficace, adeguata ventilazione e la scelta della specie di legno più adatta. La buona tecnica costruttiva impone che attorno alla testata delle travi esista uno spazio ventilato in cui l'umidità relativa possa mantenersi a valori compatibili con condizioni di sicurezza per il legno. Esso non dovrebbe essere a contatto diretto con murature in laterizio o conglomerati cementizi. Il legno posto in opera va eventualmente trattato con appositi preservanti, oppure va utilizzato uno strato di materiale preservante attorno alla testa delle travi. Bisogna prestare attenzione anche ai sistemi di protezione perché se non sono correttamente realizzati, possono creare problemi. Normalmente vanno evitate soluzioni che stiano a contatto con il legno senza lasciare la possibilità del riciclo d'aria perché in caso contrario si può avere la formazione di condensa. Nella zona di appoggio in prossimità del terreno oltre a vani di ventilazione occorre assicurarsi un'adeguata distanza da terra per evitare il flusso di umidità dal terreno all'elemento ligneo. Nei casi in cui non è possibile evitare il contatto tra elemento ligneo ed acciaio, cosa che succede spesso, occorre garantire lo smaltimento di acqua eventualmente condensata sulle pareti interne d'acciaio e l'areazione della zona corrispondente. Questo si può ottenere praticando dei fori sulla piastra di fondo dell'appoggio e fresando, sulla trave, scanalature longitudinali che dalla zona coperta si estendano per una certa lunghezza nella zona scoperta. Nel caso di giunti in cui sono previsti connettori passanti, le cui sedi possono costituire vie d'accesso per l'acqua, occorre evitare questo fenomeno ricorrendo all'uso di guarnizioni.

Il caso di travi parzialmente scoperte è molto delicato, soprattutto il punto di transizione fra la parte scoperta e quella coperta e dove si hanno appoggi o momenti d'incastro. In questa situazione si sommano rischi di danno e di degrado. E' quindi necessario essere molto cauti sia nella progettazione sia nell'esecuzione e se necessario si deve privilegiare l'efficacia del sistema all'aspetto estetico.

Si deve anche tenere conto della protezione preventiva rispetto agli insetti, quelli che attaccano anche legno secco, si può attuare una prevenzione con dei comuni prodotti

impregnanti a base di sali di boro, permetrina, ecc... Molto importante è prevedere che l'applicazione sia ripetuta al momento della posa su tutte quelle parti che vengono tagliate o forate per adattare le strutture alle dimensioni reali in cantiere, e che venga rifatta dall'utente finale o da un tecnico della manutenzione nel momento in cui lo sviluppo di fessurazioni da ritiro espone nuove superfici non trattate. Diverso l'approccio nel caso delle termiti, ancora non diffuse in Italia, e che possono provocare danni gravi. Ma esistono diverse soluzioni per la prevenzione e se necessario il monitoraggio del terreno circostante per controllare la nidificazione.

Quindi la durabilità del materiale è strettamente collegata alla progettazione generale dell'edificio, la quale deve essere attenta e adatta.

## *9.2 Resistenza al fuoco*

Il legno brucia lentamente, la carbonizzazione procede dall'esterno verso l'interno della sezione con una velocità determinata. La rottura avviene soltanto quando la sezione sana si riduce troppo da non sopportare i carichi. Nell'acciaio invece si ha un decadimento delle prestazioni meccaniche e perché esso possa resistere al fuoco per più di quindici minuti, è di solito indispensabile che gli elementi siano protetti con rivestimenti o particolari vernici. Per le strutture in cemento armato è invece determinante lo spessore che ricopre le armature, poiché per queste ultime sono valide le considerazioni fatte per l'acciaio.

La resistenza al fuoco di una struttura viene definita dal D.M. Int. 30/11/83 "Termini, definizioni generali e simboli grafici di prevenzione incendi" come "il tempo necessario, dall'inizio della sua esposizione all'incendio, perché si raggiunga una situazione di collasso, parziale o totale, della struttura".



Fig. 9.2.1 Effetti disastrosi di un incendio in stabilimento a muri di mattoni e con struttura portante metallica (American Institute of Timber Construction).

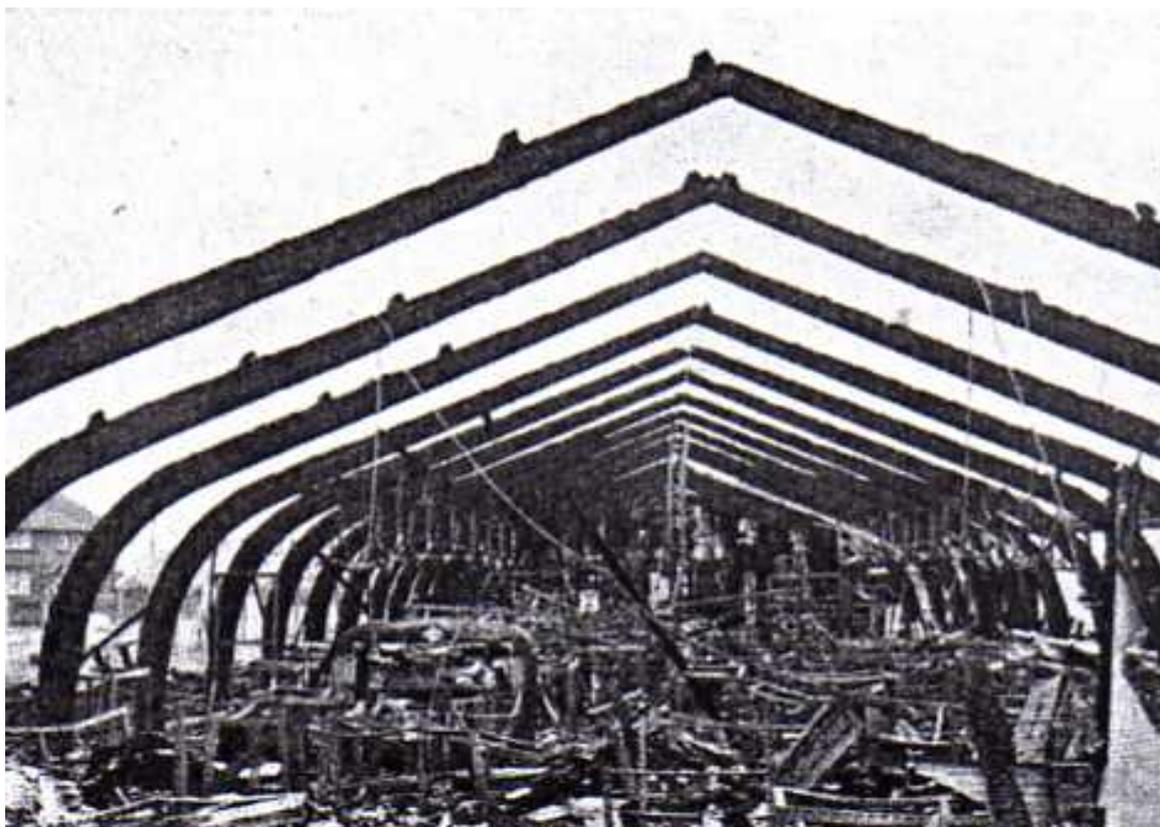


Fig. 9.2.2 Nell'incendio di questo capannone con strutture in legno lamellare le uniche parti crollate sono quelle relative all'ossatura leggera del coperto (Wood)

Le prestazioni richieste agli elementi costruttivi riguardano sia la capacità di conservare la stabilità meccanica, sia la possibilità di opporsi alla propagazione del fuoco e alla trasmissione del calore. In genere la resistenza al fuoco viene definita utilizzando i criteri dell'indice REI, ovvero stabilità al fuoco (R), tenuta al fuoco (E) e isolamento termico (I). La stabilità al fuoco esprime la capacità di conservare la propria resistenza meccanica in corrispondenza di un incendio.

La tenuta al fuoco si riferisce all'attitudine di un elemento divisorio sottoposto all'azione di un incendio su un lato a non lasciare passare né produrre fiamme, vapori o gas caldi sul lato non esposto.

L'isolamento termico esprime la capacità dell'elemento divisorio a mantenere entro livelli prefissati la trasmissione del calore sul lato non esposto all'incendio, usualmente tali livelli sono assunti in corrispondenza della temperatura massima verificata sul lato non esposto ( $\leq 180^{\circ}$ ) e di quella media sul medesimo lato ( $\leq 140^{\circ}$ ). In questo modo viene solo espressa la prestazione dell'elemento strutturale. Essa dipende, oltre che dalle proprietà fisiche e meccaniche del materiale, dai criteri costruttivi e realizzativi della struttura e quindi anche dalle scelte progettuali effettuate. Per questo si devono adottare appropriati criteri di dimensionamento in funzione delle proprietà dei materiali utilizzati.

La reazione al fuoco è invece definita dal già citato D.M. Int.30/11/83 come “il grado di partecipazione di un materiale combustibile al fuoco al quale è sottoposto”. Per questo i materiali sono divisi in classi 0, 1, 2, 3, 4, 5 con l'aumentare della loro combustione, quelli di classe 0 non sono combustibili. Il legno e i suoi prodotti derivati hanno solitamente classe 3 o 4, almeno che non siano ignifugati. I prodotti ignifughi sono delle vernici che applicate al legno ne ritardano l'ignizione cioè rendono il legno meno facilmente infiammabile e quindi lo abbassano alla classe 1. Per questo motivo sarebbe meglio parlare di prodotti igniritardanti. Inoltre riescono anche ad aumentare la resistenza al fuoco, tuttavia di soli dieci minuti. I prodotti ignifughi rivestono il legno limitandone la traspirazione per questo non possono essere applicati su legno massiccio non sufficientemente stagionato altrimenti, non permettono la rapida stagionatura del legno e ne provocano la marcescenza.



Fig. 9.2.2 Pannello a strati incrociati da 85mm sottoposto alla prova d'incendio (FOLLESA M., 2009, Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana, Edizioni Regione Toscana)

La problematica della resistenza al fuoco è sempre stata ed è tuttora presente ai tecnici e progettisti del legno. Essendo il legno materiale organico è combustibile, questo comporta una riduzione della sezione e può contribuire a sviluppare e propagare il fuoco. La combustione del legno non è istantanea ma inizia sulla superficie esterna esposta e continua verso l'interno con una velocità determinata e finita. Questa velocità dipende dalla specie legnosa, dalla temperatura (quindi l'apporto di calore e le condizioni di ventilazione), dall'umidità del legno e dai trattamenti a cui l'elemento può essere stato sottoposto. La profondità di materiale distrutto dall'incendio è proporzionale al tempo di esposizione al fuoco o per meglio dire alla durata del processo di carbonizzazione tuttavia la parte rimasta inalterata risponde in modo normale ai carichi. La demolizione del legno può avvenire sia in presenza che in assenza di aria. Alla presenza di ossigeno si assiste a una combustione viva, in assenza invece si ha il cosiddetto processo di pirolisi tramite il quale si ha la progressiva demolizione chimica del legno in una frazione gassosa ed in un residuo solido più o meno carbonizzato. Entrambi i processi necessitano dell'innesco dovuto a una fonte esterna. Ciò che più interessa il progettista è conoscere la velocità di carbonizzazione così da poter calcolare sia la quantità di calore emessa che l'entità della parte di materiale incombusta, che mantiene inalterate le proprie caratteristiche meccaniche oltre che dimensionali, esclusa la parte esterna.

Per quanto riguarda le giunzioni metalliche, esse hanno una notevole importanza per la stabilità della struttura poiché sono elementi che trasmettono calore anche all'interno

della massa lignea, oppure possono presentare deformazioni a causa del calore. Nei casi di unioni non protette sono ritenute soddisfacenti dalla normativa europea alla classe R 15. Le strutture lignee hanno quindi come punto debole la reazione in caso d'incendio, tuttavia con giusta progettazione e adatti accorgimenti sono sicure quanto gli edifici tradizionali.

### *9.3 Resistenza sismica*

Il legno viene considerato da molti specialisti un materiale non solo adatto, ma addirittura consigliabile per costruire in zona sismica, a patto che si ponga la dovuta attenzione nella progettazione e realizzazione dei dettagli strutturali. Questo perché le strutture in legno hanno caratteristiche particolari come la deformabilità, la buona capacità di dissipare energia e leggerezza.

Le strutture di legno, se confrontate con strutture realizzate con materiali da costruzione tradizionali, sono leggere e pertanto le sollecitazioni indotte dall'azione del sisma sono inferiori. Inoltre la resistenza a compressione del legno in dimensioni strutturali è dello stesso ordine di grandezza di quella del calcestruzzo. Ma a differenza di esso il legno ha una resistenza a trazione simile a quella a compressione. Il legno però se sottoposto a carichi di durata molto breve, quali ad esempio l'azione sismica, incrementa le proprietà di resistenza fino al 10% del valore corrispondente a carichi di durata di cinque minuti e al 50% del corrispondente valore riferito a carichi di lunga durata.

Per quanto riguarda la deformabilità, il valore medio del modulo elastico del legno parallelamente alla fibratura è circa 1/3 rispetto a quello del calcestruzzo. Ma il valore del modulo di elasticità può essere considerato il 20% in più per carichi istantanei, rispetto al valore relativo ai carichi di lunga durata solitamente utilizzati nella progettazione.

Ad oggi è in vigore il D.M. 14/01/2008 “Caratteristiche generali delle costruzioni” in cui è presente un sottoparagrafo molto importante “altezza massima dei nuovi edifici” in cui si specifica:

*Per le tipologie strutturali: costruzioni in legno e in muratura non armata che non accedono a riserve anelastiche delle strutture, ricadenti in zona 1, è fissata un'altezza*

*massima pari a due piani di campagna, ovvero dal ciglio della strada. Il solaio di copertura del secondo piano non può essere calpestio di volume abitabile.*

*Per le altre zone l'altezza massima degli edifici deve essere opportunamente limitata, in funzione delle loro capacità deformative e dissipative e della classificazione sismica del territorio.*

*Per la altre tipologie strutturali (cemento armato, acciaio ecc...) l'altezza massima è determinata unicamente dalle capacità resistenti e deformative della struttura.*

Scompaiono così le limitazioni sulle altezze in funzione della zona sismica per gli edifici in legno che invece erano presenti nell'Ordinanza e nel D.M. del 1996 almeno per le strutture in classe di duttilità alta, anche se permane comunque una distinzione fra edifici a struttura di legno e edifici realizzati in cemento armato ed acciaio.

Il comportamento ottimale nei confronti dell'azione sismica offerto dalle pareti si propaga a tutta la struttura se i giunti sono progettati e realizzati in modo corretto. Tutti i componenti delle pareti e dei solai devono essere adeguatamente collegati in modo che la struttura agisca come un insieme unitario. Infatti, a livello dei solai dovrebbe essere predisposto un cordolo continuo per assorbire le azioni di trazione che si sviluppano quando il solaio è sollecitato da azioni orizzontali. La continuità agli angoli può essere garantita con un collegamento tra i pannelli di compensato oppure OSB. Anche in altezza gli elementi portanti verticali devono essere connessi con continuità in modo da garantire la trasmissione delle azioni verticali. Importante è anche l'unione tra la sovrastruttura e le fondazioni per evitare il sollevamento e slittamento.

Altro accorgimento nella progettazione dell'edificio riguarda la sua regolarità, sia in pianta sia in elevazione. Non vuol dire che debba avere assi di simmetria ma almeno una distribuzione omogenea delle masse e degli elementi strutturali resistenti al sisma. Anche in questo modo non si evitano completamente gli effetti torsionali ma è comunque consigliabile contrastarli con controventi addizionali oppure aumentando lo spessore dei pannelli e diminuendo l'interasse dei chiodi nelle pareti meno rigide. Le costruzioni di legno possono sviluppare deformazioni rilevanti prima di giungere a rottura, riescono quindi a dissipare una grande quantità di energia.

Si possono compiere simulazioni su "tavola vibrante" cioè piattaforme mobili di grandi dimensioni sulle quali è possibile costruire dei modelli su scala reale di singole

componenti strutturali di edifici o addirittura di edifici interi, e alle quali è possibile imprimere la storia di spostamento nel tempo di un terremoto reale avvenuto in passato.



Fig. 9.3.1 Prova su tavola vibrante su un edificio a struttura di legno a pannelli portanti di 3 piani effettuata nel 2006 dal CNR-IVALSA in collaborazione con il National Institute for Earth science and Disaster prevention s Tsukuba, Giappone.

I risultati delle simulazioni effettuate consentono la valutazione dell'effettiva capacità di resistenza nei confronti delle azioni sismiche di edifici realizzati con un dato sistema costruttivo, e soprattutto permettono di ricavare valori e indicazioni costruttive che potranno poi servire da supporto per le norme e in ultima analisi per i progettisti che le

utilizzeranno nella progettazione. Tutte le prove fino ad ora hanno consentito di verificare l'effettivo buon comportamento degli edifici a struttura di legno sotto l'effetto di terremoti reali.

Alla fine gli edifici a struttura lignea possiedono un esemplare comportamento nei confronti del sisma grazie alle caratteristiche intrinseche del materiale e per la duttilità delle unioni meccaniche.

## *9.4 Isolamento termico*

Uno tra i motivi che dovrebbero spingere a scegliere gli edifici in legno è il confort termico che questo materiale è in grado di dare, un aspetto da non sottovalutare. L'isolamento termico equilibrato contribuisce a creare un clima salubre all'interno dell'ambiente abitato, esso è legato anche alla natura dei materiali utilizzati, il legno ha bassa conduttività ed elevata inerzia termica per questo è il materiale ideale.

Per conduttività termica  $\lambda$  (W/mK) s'intende la capacità di un materiale di condurre calore. Il coefficiente  $\lambda$  indica la quantità di calore che fluisce attraverso  $1\text{m}^2$  di materiale dello spessore di 1m, con una differenza di temperatura tra interno ed esterno di 1 K. I materiali considerati isolanti hanno un coefficiente minore di  $\lambda=0,1$  W/mK.

La trasmittanza  $U$  (W/m<sup>2</sup>K) (coefficiente di trasmissione termica globale) indica il flusso di calore che viene ceduto dall'ambiente interno all'aria esterna attraverso una superficie di  $1\text{m}^2$  e con una differenza di temperature di 1 K e viene riferito a temperatura interna ed esterna che rimangono costanti. Minore risulta  $U$  migliore sarà l'isolamento termico e minori saranno le dispersioni termiche.

La trasmittanza  $U$ , di un "pacchetto" di materiali può essere calcolato:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_e} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} \dots + \frac{d_n}{\lambda_n}} = W/m^2 K$$

Dove:

d = spessore di ogni strato (m);

$\lambda$  = conduttività termica di ogni strato (W/mK)

$\alpha_i$  = coefficiente liminare interno

$\alpha_e$  = coefficiente liminare esterno

Elemento	Convenzioni termiche naturali $1/\alpha_i + 1/\alpha_e$ (W/m <sup>2</sup> K)
Parete esterna non ventilata	0,17
Tetto freddo, parete ventilata	0,21
Ambiente verso sotto tetto non riscaldato	0,25
Scantinato riscaldato verso il terreno	0,12

Tabella 9.4.1 Somme dei coefficienti liminari sui lati esterno e interno per alcune situazioni ricorrenti (Federlegno-arredo, 2005, Legno massiccio in edilizia)

I materiali isolanti solitamente hanno aspetto poroso o fibroso in cui è racchiusa aria, un cattivo conduttore. Questi materiali sono igroscopici e l'umidità assunta ne diminuisce le proprietà termoisolanti, per questo motivo devono essere protetti dall'umidità. Questi materiali non devono ricevere trattamenti superficiali impermeabili, potrebbero far perdere questa caratteristica.

Seguono delle tabelle con alcuni materiali e relativi coefficienti di conduttività termica.

Pannelli da costruzione	Lambda	Densità
	(W/mK)	(kg/m <sup>3</sup> )
Cartongesso	0,21	900
P.Ili in fibre di legno porosi	0,06	200
semiduri	0,10	650
duri	0,15	1000
P.Ili in trucioli in legno con collante	0,16	700
mineralizzati	0,26	1250
P.Ili in legno compensato	0,44	600
P.Ili in fibrocemento	0,6	2000
P.Ili in lana di legno mineralizzato	0,093	400
P.Ili in terra cruda	0,14	500
P.Ili in canna	0,055	190
P.Ili in paglia	0,09	340
P.Ili in polistirene con cemento	0,07	140

Materiali isolanti	Lambda	Densità
	(W/mK)	(kg/m <sup>3</sup> )
Cotone	0,04	20 - 40
Vermiculite espansa	0,07	90
Argilla espansa	0,09	350
Polietilene espanso in lastre	0,04	30
Polistirene espanso in lastre	0,04	20
Polistirene estruso in lastre	0,035	35
Materassino in lino	0,04	30
Lana di vetro	0,04	20
Canapa	0,045	25
Trucioli di legno	0,05	100
P.Ili extraporosi in fibra di legno (130)	0,04	130
P.Ili porosi in fibra di legno (190)	0,045	190
P.Ili porosi in fibra di legno con bitume oppure lattice	0,06	270
P.Ili in lana di legno mineralizzati	0,093	400
P.Ili di calcio silicato	0,06	250
Fibra di cocco	0,045	70
Granuli di sughero	0,05	100
P.Ili di sughero espanso	0,045	110
P.Ili in fibre minerale	0,045	115

Perlite espansa	0,05	90
Poliuretano	0,03	30
Lana di pecora	0,04	25
Vetro cellulare (120)	0,041	120
Vetro cellulare (160)	0,050	160
Canneto	0,055	190
Lana di roccia	0,04	30
Paglia	0,09	340
Fiocchi di cellulosa	0,04	50
P.lli di cellulosa	0,04	85

Materia prima	Lambda	Densità
	(W/mK)	(kg/m <sup>3</sup> )
Acciaio	60	7800
Rame	380	8900
Alluminio	200	2800
Vetro	0,8	2500
Vetro acrilico (Plexiglas)	0,19	1180
Guaine di polietilene, bitume, ecc.	0,26	1700
Acciaio Ni-Cr inossidabile	13	7700
Legno di conifere – flusso di calore trasversale alla fibra	0,13	fino a 500
Legno di conifere – flusso di calore lungo la fibra	0,22	fino a 500
Legno di latifoglie	0,18	fino a 800

<b>Pavimentazione</b>	<b>Lambda</b>	<b>Densità</b>
	<b>(W/mK)</b>	<b>(kg/m3)</b>
Massetto in cemento	1,4	2000
Massetto autolivellante a base anidride	1,1	2000
Massetto in asfalto	0,8	2200
Ceramica	1,2	2000
Legno duro	0,22	850
Quadretti di sughero	0,06	300

<b>Intonaci e malte</b>	<b>Lambda</b>	<b>Densità</b>
	<b>(W/mK)</b>	<b>(kg/m3)</b>
Intonaco in cemento	1,4	2200
Intonaco in calce-cemento	1	1800
Intonaco plastico per cappotto	0,9	1200
Intonaco in calce	0,8	1600
Intonaco di gesso (calce/gesso)	0,7	1500
Intonaco termoisolante con perlite, polistirolo < 250 kg/m3	0,09	fino a 250
Intonaco termoisolante con perlite, polistirolo, fino a 450 kg/m3	0,13	fino a 450
Malta di cemento	1,4	2200
Malta di calce/cemento	1	1800
Malta termoisolante < 800 kg/m3	0,28	800

Materiali da Muratura	Lambda	Densità
	(W/mK)	(kg/m <sup>3</sup> )
Blocchi con argilla espansa	0,18	800
Blocchi cavi con argilla espansa	0,22	650
Blocchi cavi con scorie da altoforno, tufo, ecc.	0,6	1500
Blocchi cavi con lana di legno mineral.	0,45	fino a 1500
Blocchi cavi con lana di legno mineral. con isolante	lt. Prüfb.	---
Mattone facciavista Klinker	1	1800
Mattone pieno	0,7	fino a 1600
Mattone forato	0,36	1200
Tramezza in laterizio	0,36	1100
Mattone forato porizzato	0,25	800
Mattone forato porizzato leggero murato con malta isolante	0,18	650
Blocco "cassero" in laterizio	0,55	fino a 1700
Muratura in pietra	2,3	fino a 2600
Blocchi cellulari autoclavati	0,11	fino a 400
Blocchi cellulari autoclavati	0,14	fino a 500
Blocchi cellulari autoclavati	0,16	fino a 600
Blocchi cellulari autoclavati	0,24	fino a 800
Terra cruda tipo Pisè	1	fino a 2000
Terra cruda alleggerita	0,36	fino a 1200
Terra cruda alleggerita 600-800 kg	0,24	fino a 800
Cemento armato	2,3	2400

Calcestruzzo CLS	1,6	1800
CLS alleggerito con argilla esp.	0,45	1100
CLS alleggerito con argilla esp. > 1100 kg	0,7	fino a 1700
Solai con travetti e blocchi in lat. + caldana	(0,8)	1200-1600
Solai con travetti e blocchi cem. + caldana	(0,8)	1200-1600
Solai con travetti e blocchi in lat. por.	(0,67)	900-1200
Solai a pannelli cavi in c.a. 360kg/m <sup>2</sup>	(1,33)	1800
Solai a pannelli cavi in c.a. 280kg/m <sup>2</sup>	(1,0)	1400
Solai a lastre in c.a. con blocchi in polistirene e caldana 4-12-4	0,6	1670
Solai a lastre in c.a. con blocchi in polistirene e caldana 4-8-4	0,64	1670
Solai a lastre in c.a. con blocchi in polistirene e caldana 4-16-4	0,58	1670

Materiali isolanti sfusi	Lambda	Densità
	(W/mK)	(kg/m <sup>3</sup> )
Perlite espansa	0,05	90
Vermiculite espansa	0,07	90
Argilla espansa	0,09	350
Sughero granulare espanso	0,042	80-100
Sughero granulare naturale	0,05	100
Fiocchi di cellulosa	0,04	35
Polistirolo espanso sfuso	0,044	10
Lana minerale sfusa	0,044	15
Segatura di legno	0,1	200
Scorie da altoforno	0,35	750
Granulato di polistirene legato + cemento	0,08	fino a 350
Granulato di polistirene legato + cemento	0,06	fino a 125
Granulato di polistirene legato + cemento	0,05	fino a 125
Granuli di perlite espansa	0,042	80-100

Tabella 9.4.1 [www.agenziacasaclima.it](http://www.agenziacasaclima.it) sezione download conduttività

La capacità di un materiale di accumulare calore è definita attraverso la sua capacità termica specifica  $c$  (J/Kg K). Maggiore è  $c$  più il materiale riesce ad accumulare calore. Il legno ha un'ottima capacità di accumulo, in relazione alla sua limitata massa. Altri materiali efficienti sono il cotto e gli intonaci a base di calce.

La resistenza alla diffusione del vapore ( $\mu$ ) è un valore adimensionale che indica quante volte in meno un certo materiale permette il passaggio di vapore, rispetto a uno strato d'aria dello stesso spessore. L'aria ha quindi  $\mu=1$  mentre i materiali traspiranti hanno  $\mu<10$ . Mediamente, l'attività di una famiglia tipica produce giornalmente una quantità di vapore corrispondente a circa 10 litri d'acqua. Nelle attuali tipologie edilizie, si calcola che circa il 2% del vapore possa essere smaltito per diffusione attraverso le pareti, mentre il restante 98% debba essere eliminato attraverso ricambio d'aria, oppure mediante convezione attraverso le fessure, gli spiragli della struttura. Soprattutto in questo caso il raffreddamento dell'aria umida può essere repentino, determinando la formazione di condensa all'interno degli elementi strutturali. Per prevenire o eliminare questo pericolo occorre una corretta progettazione. La tenuta all'aria e al vento dell'involucro, realizzata con teli o carte permeabili al vapore, è un fattore importante per evitare la condensazione. La ventilazione delle falde di copertura e delle pareti, correttamente realizzata, è un elemento importantissimo per lo smaltimento del vapore proveniente dall'interno e dell'acqua che s'infiltra sotto il rivestimento.

L'isolamento è più efficace se applicato all'esterno perché il calore prodotto dentro la struttura rimane più a lungo all'interno e in estate ne previene l'eccessivo riscaldamento da parte del sole. L'isolamento termico interno non procura mai un completo isolamento (ponti termici), infatti, questa soluzione è utilizzata per migliorare le caratteristiche termiche di edifici esistenti sui quali l'isolamento esterno non è realizzabile.

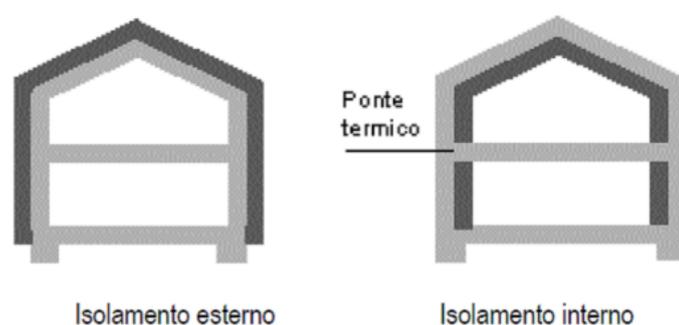


Fig. 9.4.2 due tipologie di isolamento (FOLLESA M., 2009, Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana, Edizioni Regione Toscana)

I ponti termici, che solitamente si presentano in corrispondenza delle giunzioni fra elementi isolanti o di tamponamento ed elementi strutturali, devono essere evitati o almeno limitati.

La seguente tabella riporta i valori consigliati per alcune località italiane.

<b>Località</b>	<b>T<sub>p</sub> (°C)</b>	<b>d (cm)</b>
Ancona	-2	8
Aosta	-10	10
Bari	0	7
Bologna	-5	9
Bolzano	-15	12
Cagliari	3	6
Firenze	0	7
Genova	0	7
L'Aquila	-5	9
Milano	-5	9
Napoli	2	6
Palermo	5	5
Perugia	-2	8
Potenza	-3	8
Reggio Calabria	3	6
Roma	0	7
Torino	-8	10
Trento	-12	11
Venezia	-5	9

Tabella 9.4.2 tabella dei cm d'isolamento per l'inverno in diverse località Italiane (Federlegno-arredo, 2005, Legno massiccio in edilizia)

Per scegliere lo spessore dell'isolamento, l'esperienza suggerisce di aumentare lo spessore dalla legge 10, seguendo questo calcolo:

$$d = (20 - T_p) \times \lambda \times 8,6 = \text{cm}$$

Dove:

d = spessore dell'isolante

$T_p$  = temperatura di progetto della località (L. 10)

$\lambda$  = conduttività termica utile di calcolo dell'isolante

8,6 = coefficiente empirico consigliato

Si deve poi considerare che l'isolamento progettato per il periodo invernale può non essere adatto all'estate. Infatti, il calore proveniente dall'esterno può causare all'interno dei locali un clima sgradevole, in parte per le radiazioni solari, in parte per l'elevata temperatura raggiunta. La capacità di accumulo termico delle coperture, delle pareti e delle componenti interne dell'edificio influisce fortemente sulla temperatura dei locali. La temperatura dell'aria interna varia allo stesso modo della temperatura della superficie interna delle pareti. Lo sfasamento minimo in Italia è di 8-10 ore. La capacità di accumulo termico di un "pacchetto" di materiali deve quindi garantire uno sfasamento di 8 ore. Nella seguente tabella sono indicati gli spessori per avere il giusto sfasamento.

<b>Materiale</b>	<b>Spessore (cm)</b>
Lana di vetro/roccia	54
Polistirene espanso/estruso	34
Poliuretano	27
Lana di pecora	50
Sughero espanso	16
Fibra di legno	12

Tabella 9.4.3 tabella dei cm d'isolamento per l'esterno in diverse località Italiane (Federlegno-arredo, 2005, Legno massiccio in edilizia)

Si nota che questi spessori sono superiori rispetto a quelli minimi richiesti per l'isolamento dal freddo. Inoltre è importante osservare i materiali, infatti, la fibra di legno richiede solo 12 cm di spessore.

E' di notevole importanza negli edifici ad alta efficienza termica il controllo della ventilazione poiché essa può causare lo spreco di energia utilizzata per riscaldare gli ambienti. In questo tipo di edifici la ventilazione dovrebbe avvenire tramite un impianto di ventilazione meccanica, per fornire l'adeguato ricambio d'aria e recuperare il calore dell'aria espulsa.

## 9.5 Isolamento acustico

La progettazione dell'isolamento acustico si effettua in base a misurazioni sperimentali anziché per via analitica.

Il suono è inteso come un fenomeno vibratorio che si manifesta come una variazione periodica di pressione che si propaga attraverso tutti i mezzi materiali, in particolare nell'aria.

I rumori sono classificati in due categorie principali:

- I rumori aerei, che si propagano nell'aria;
- I rumori da impatto, che si propagano attraverso i corpi solidi;

La velocità del suono varia in funzione del materiale nel quale si propaga.

Nella seguente tabella sono riportate le velocità medie del suono in alcuni materiali.

<b>Materiale</b>	<b>Velocità del suono (m/s)</b>
Aria	340
Acciaio	5100
Calcestruzzo	4000
Mattone	3000
Legno, parallelo alla fibratura	5000
Legno, perpendicolare alla fibratura	2400

Tabella 9.5.1 indicante la velocità dei suoni in diversi materiali (Federlegno-arredo, 2005, Legno massiccio in edilizia)

Tutti i materiali da costruzione sono dei conduttori acustici. A causa dell'anisotropia del legno si ha una più bassa velocità di propagazione in direzione perpendicolare alla fibratura, per questo motivo è un buon isolante.

L'energia sonora incidente su una parete può essere assorbita, riflessa oppure trasmessa. Se viene assorbita si ha una riduzione di rumore all'interno dell'ambiente. Le pareti che dividono gli ambienti devono essere in grado di produrre un'attenuazione del rumore, la cui grandezza (R) è indice della qualità della parete dal punto di vista acustico.

Il potere fonoassorbente (R) di una parete è definito come:

$$R = (L_{p1} - L_{p2}) + C$$

Dove  $L_{p1}$  e  $L_{p2}$  rappresentano il livello sonoro negli ambienti 1 e 2, mentre il fattore C dipende dalla parete divisoria e dai materiali di rivestimento interni agli ambienti.

L'impiego di pareti a più strati determina una maggiore attenuazione del rumore. L'effetto del materiale smorzante è di aumentare l'isolamento senza aggiungere troppa massa e/o spessore. Un errore progettuale da non fare nell'uso delle doppie pareti è l'accoppiamento meccanico rigido dei pannelli che compongono la parete. Infatti, collegandoli rigidamente si crea un ponte acustico, che riduce così l'attenuazione globale.

La scelta della soluzione costruttiva adeguata viene effettuata valutando alcuni parametri come le prestazioni acustiche che si vogliono raggiungere, la facilità di messa in opera, il grado di manutenzione nel tempo e il rapporto prestazioni/costo. Esistono poi nuove tecnologie e materiali progettati per le strutture di legno, che consistono per esempio in materiali composti smorzanti per pannelli, in supporti smorzanti per le partizioni, in sistemi di pavimentazione galleggiante e in supporti elastici per controsoffitti.



## 10. LCA

Il ciclo di vita di un prodotto ha inizio con l'estrazione delle risorse naturali e la produzione di energia, sono poi parte delle fasi di produzione trasporto e uso così come lo sono della fase di riciclo, riuso e dismissione. Utilizzare un approccio Life Cycle significa acquisire consapevolezza del danno o delle potenzialità ambientali dovute a ciò che avviene in ognuna di queste fasi operando per bilanciare e rendere positivi gli impatti ambientali, economici e sociali attraverso la definizione dei rischi e delle opportunità ambientali di un prodotto. LCA è anche utilizzato come metodo base per la definizione dei criteri di assegnazione dell'ecolabel a materiali edili, per lo sviluppo di banche dati di materiali e componenti edilizi, come supporto alla definizione di metodi di valutazione dell'ecocompatibilità di manufatti architettonici.

La valutazione d'impatto ambientale e la valutazione LCA forniscono quindi uno strumento oggettivo e scientifico che permette di scegliere durante la fase di progettazione le soluzioni e i materiali più adatti per l'edificio.

Il metodo per la valutazione dell'impatto ambientale inizia con la fase di LCIA, descritta nella norma 14042. Ha lo scopo di trasformare i dati precedentemente elaborati sui materiali e relativi processi in potenziali danni ambientali, attraverso procedimenti tecnici di tipo tecnico-qualitativo. In questo modo vengono valutati e quantificati gli effetti negativi sulla salute e sull'ambiente causati dall'oggetto di analisi. Il procedimento si organizza in sei fasi:

1. Definizione delle categorie d'impatto, secondo cui vengono identificate le tipologie d'impatto indagate dal sistema di valutazione.
2. Classificazione, dei dati raccolti precedentemente nell'inventario.
3. Caratterizzazione delle emissioni e delle risorse nelle categorie d'impatto: i dati presenti nell'inventario vengono ora convertiti in contributo relativo alle categorie d'impatto. Il fattore di caratterizzazione misura l'intensità dell'effetto della sostanza sul problema ambientale considerato, ed è stabilito da una autorità sulla base di considerazioni di carattere scientifico. Il risultato della fase di caratterizzazione è il profilo ambientale del prodotto.

4. Caratterizzazione delle categorie d'impatto nelle categorie di danno: i valori del danno dovuto alle categorie d'impatto vengono moltiplicati per i fattori di damage assessment (valutazione di danno) e sommati nelle rispettive categorie di danno.
5. Normalizzazione: i valori delle due fasi di caratterizzazione vengono "normalizzati", cioè divisi per valori di riferimento rappresentati dai dati medi elaborati su scala mondiale, regionale o europea, e riferiti ad un determinato periodo di tempo. Attraverso la normalizzazione è possibile stabilire l'intensità dell'impatto ambientale del sistema studiato rispetto alla media dell'impatto generato dall'uomo nell'area geografica prescelta come riferimento: i fattori di normalizzazione sono relativi alle categorie di danno.
6. Valutazione: avviene una pesatura per categoria di danno delle quantità d'impatto prodotte dall'oggetto, rese confrontabili per effetto della normalizzazione.

### *10.1 Altri metodi utilizzati per il calcolo dell'impatto ambientale*

Esistono diversi programmi con lo scopo di eseguire l'analisi del ciclo di vita. Tra questi ci sono molte differenze e alle volte approcci completamente diversi. Di seguito saranno presentati quattro metodi, attualmente i più usati. Di questi solamente uno, IMPACT 2002+, ha qualche punto in comune all'LCÆDIL.

#### *Metodo olandese ECO-INDICATOR 99*

Il metodo Eco-indicator 99 è stato sviluppato dalla Pré (Product Ecology Consultants) per conto del ministero dell'Ambiente Olandese. E' uno strumento molto efficace per i progettisti poiché consente di aggregare i risultati di un LCA in grandezza o parametri facilmente comprensibili ed utilizzabili, chiamati Eco-indicatori.

La peculiarità di questo metodo è la possibilità di assumere delle sfumature diverse, specialmente per quanto riguarda la valutazione, a seconda degli atteggiamenti e delle

convinzioni di ogni persona. Per consentire una rappresentazione più sfaccettata dei risultati, esso è stato pensato in tre distinte versioni, ognuna delle quali rappresenta una certa tipologia d'individui. Per definire le "classi di persone" si è fatto uso della Cultural Theory, la quale distingue cinque principali sistemi di valori, ma ne vengono considerate solamente tre in questo contesto perché si fondano su valide prospettive. Tale teoria è stata elaborata da Michael Thompson (1990). I tre archetipi sono:

- Individualista, è una persona libera da qualsiasi legame, nella sua visione tutto è provvisorio.
- Egualitario, possiede un forte attaccamento al gruppo, ma non alle sue imposizioni.
- Gerarchico, è un soggetto che possiede forti legami sia con il gruppo sia con le sue regole.

L'uso della Cultural Theory permette di sviluppare, per ciascuno dei tre archetipi prescelti, un'ampia gamma di atteggiamenti e convinzioni che vanno a costituire una base importante per lo sviluppo della modellizzazione delle scelte personali. Non si ha un unico modello, ma tre distinte versioni dello stesso modello. I progettisti di questo programma consigliano di utilizzare la versione gerarchica perché questa prospettiva si trova in maggiore accordo con tutti gli altri modelli.

Il programma richiede in primo luogo un inventario di tutte le emissioni e di tutti i consumi di risorse da attribuire al prodotto nel suo intero ciclo di vita, si ha così un elenco di emissioni, consumi di risorse e di impatti di altro tipo che inserito in una tabella, prende il nome di inventory result. Il metodo valuta esclusivamente tre tipi di danno ambientale:

- Human Health (Salute Umana)
- Ecosystem Quality (Qualità dell'ecosistema)
- Resources (Esaurimento delle risorse)

Ogni categoria di danno è suddivisa in categorie d'impatto. Per la valutazione del danno occorre confrontare fra loro valori ottenuti per le tre categorie. Poiché essi sono caratterizzati da differenti unità di misura (DALY, PDF, MJ, Surplus), per questo motivo è necessaria la fase di normalizzazione, nella quale i risultati saranno rapportati ad un valore di riferimento.

La fase di valutazione consente di esprimere l'impatto prodotto dall'oggetto analizzato attraverso un indice ambientale finale. I valori degli effetti normalizzati vengono moltiplicati per i fattori di peso di valutazione relativi alle varie categorie di danno e sommati in modo da ottenere un unico valore, l'Eco-indicator (espresso in punti) che quantifica l'impatto associato al prodotto.

### *Il metodo svedese EPS 2000*

Lo sviluppo del sistema EPS cominciò in Svezia nel 1989 su richiesta della azienda automobilistica Volvo, come cooperazione tra la stessa, lo Swedish Environmental Research Institute (IVL) e la Swedish Federation of Industries. Da allora è stato modificato e migliorato molte volte, grazie alla collaborazione di molte altre aziende. L'ultima versione risale al 2000. Quello che distingue questo modello dagli altri è il metodo diverso di misura del fattore di caratterizzazione delle categorie d'impatto, basato su un criterio di valutazione di tipo economico, e quindi l'assenza della fase di normalizzazione. La peculiarità di EPS 2000 è quella di stimare il danno in base alla buona volontà da parte della società a pagare WTP (Willingness to pay) per evitare un peggioramento delle condizioni considerate, o per rimediare al danno creato, attribuendo un valore economico al danno. E' chiaro che il limite principale di questo tipo di approccio sta nel fatto che gli intervistati debbano essere a piena conoscenza delle problematiche in questione. Nel caso di approcci indiretti la WTP degli individui si deduce traendo conclusioni dal loro comportamento.

Anche in questo caso in ogni categoria di danno sono comprese una o più categorie d'impatto, ciascuna univocamente determinata da una propria unità di misura. In EPS 2000, dalla fase di damage assessment si passa direttamente alla valutazione, senza passare attraverso la normalizzazione.

### *Il metodo danese EDIP*

Questo metodo è stato sviluppato in Danimarca all'interno del più ampio progetto nel 1991, con l'obiettivo di sviluppare una metodologia che permettesse di considerare gli aspetti ambientali nello sviluppo dei prodotti industriali. Il progetto è nato da una collaborazione tra il pubblico e il privato e i soggetti coinvolti sono Danish Environmental Protection Agency, Technical University of Denmark (Institute for Product Development and Department of Technology and Social Sciences), Confederation of Danish Industries e cinque importanti aziende Bang & Olufsen A/S, Danfoss A/S, Gram A/S, Grundfos A/S e KEW A/S. Il metodo comprende le seguenti generali categorie di danno:

- Impatto ambientale.
- Consumo delle risorse.
- Impatto nell'ambiente di lavoro.

Gli impatti interni a queste categorie principali sono ulteriormente divisi a seconda della loro estensione geografica in impatto globale, impatto regionale, impatto locale. Questo risulta importante per la parte finale della valutazione, dove i contributi alle varie categorie d'impatto sono normalizzati e pesati, perché il carattere e il modo dell'azione ha effetti diversi per estensioni geografiche differenti. Ciò che distingue EDIP sono le diverse categorie d'impatto le cui unità di misura non riguardano mai gli effetti ma solo le cause (emissioni equivalenti, m<sup>3</sup> di fluido inquinanti e Kg di rifiuti prodotti), un sistema diverso di misura del fattore di normalizzazione (inverso del danno subito da una singola persona nel 1990), e valutazione del danno (rapporto tra il danno subito da una singola persona nel 1990 e quello che si ammette possa essere subito da una persona in un anno futuro).

Come fattori di caratterizzazione si utilizzano degli indici proposti per le varie categorie da CML, nell'ottobre 1992 come ad esempio il Potenziale per il Riscaldamento Globale (Global Warming Potential, GWP) per valutare la modificazione dell'effetto serra e il Potenziale di Riduzione dell'Ozono stratosferico (Ozone Depletion Potential, ODP) per l'impovertimento dell'ozono.

La normalizzazione permette di valutare quali tra i potenziali impatti sono grandi e quali piccoli, mettendoli in relazione agli impatti a cui era soggetta una persona nel 1990.

Per tutte le categorie di danno, escluso l'esaurimento delle risorse, il fattore di valutazione rappresenta il rapporto tra il danno per persona nel 1990 e il danno che si è stabilito di ammettere in un anno futuro. Per l'esaurimento delle risorse, la valutazione è data dal

rapporto tra il consumo per persona nel 1990 e la disponibilità attuale per persona della singola risorsa.

#### *Il metodo svizzero IMPACT 2002+*

Realizzato dallo Swiss Federal Institute of Technology di Losanna, il metodo di valutazione ambientale denominato Impact 2002+ offre una soluzione intermedia tra gli approcci visti in precedenza, i risultati vengono ricondotti ricavati dalle analisi d'inventario a quattordici categorie d'impatto, a loro volta riconducibili a quattro categorie di danno. Le categorie di danno utilizzate in questo contesto sono:

- Human Health
- Ecosystem Quality
- Climate Change
- Resources

I fattori di caratterizzazione per le diverse categorie d'impatto sono basati su un principio di equivalenza quindi i punteggi assegnati alle diverse sostanze sono espressi in Kg equivalenti di una sostanza di riferimento. Obiettivo principe comune a tutte le categorie di impatto è la determinazione degli effetti a lungo termine, ottenuta con l'utilizzo di un orizzonte temporale infinito o approssimato a 500 anni. La categoria di impatto Human Toxicity (che fa a capo alla categoria di danno Human Health) costituisce uno dei principali aspetti di novità introdotto da Impact 2002+. Questa risponde all'esigenza di stimare il rischio tossicologico cumulativo e i potenziali impatti associati a una determinata quantità di sostanza liberata nell'ambiente. I fattori di danno delle sostanze vengono ottenuti moltiplicando i fattori di caratterizzazione per quelli di danno delle sostanze di riferimento.

Il fattore di normalizzazione è il rapporto tra l'impatto specifico per unità di emissione e l'impatto totale relativo all'Europa delle sostanze della specifica categoria, per persona e in un anno. L'unità di misura di tutti i fattori delle categorie di impatto è pers\*year/unità di misura del danno. In questo modo vengono espresse le valutazioni finali nelle diverse categorie.



## 11.LCÆDIL

LCÆDIL è un programma di ricerca cofinanziato dalla Regione Toscana con lo scopo di rispondere all'esigenza già diffusa nel settore edilizio di una migliore qualità scientifica e di una maggiore oggettività nella valutazione delle implicazioni ambientali delle scelte progettuali, pur limitando l'analisi ai soli parametri per i quali sono disponibili banche dati pubbliche e affidabili.

Al momento viene calcolato l'impatto ambientale causato dal materiale in se stesso, la sua produzione, non vengono invece considerate le emissioni causate dalla costruzione, vita e smaltimento dell'edificio. In ogni caso fornisce un grande aiuto ai progettisti nelle scelte durante la progettazione per rendere minimo l'impatto ambientale della struttura.

Il metodo LCÆDIL è stato progettato per essere oggettivo e dare una valutazione imparziale quantificando gli impatti ambientali provocati. Per questo motivo i risultati vengono espressi in MJ per la energie e Kg eq di sostanze emesse per gli altri indicatori. In questo modo è più semplice confrontare la diverse quantità di materiali utilizzati nella costruzione.

Le relazioni che verranno esplicitate di seguito sono state elaborate mediante questo programma LCÆDIL, sviluppato al fine di rendere agevole per i tecnici del settore edile l'analisi e la valutazione del ciclo di vita degli edifici e/o di loro componenti, applicando il metodo LCA (Life Cycle Assessment), in conformità alle seguenti norme:

ISO 14040:2006 Gestione ambientale. Valutazione del ciclo di vita. Principi e quadro di riferimento.

ISO 14044:2006 Gestione ambientale. Valutazione del ciclo di vita. Requisiti e linee guida.

LCÆDIL, anche se di uso semplice e intuitivo, fa riferimento a procedure convalidate scientificamente e attinge a banche dati indipendenti, autorevoli e pubbliche:

ELCD (European Reference Life Cycle Data System) e IBO (Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie).

La ISO 14044:2006 specifica i requisiti e fornisce linee guida per la valutazione del ciclo di vita (LCA), comprendendo varie fasi:

a) la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dell'LCA;

- b) l'inventario del ciclo di vita (LCI);
- c) la valutazione dell'impatto del ciclo di vita (LCIA);
- d) l'interpretazione del ciclo di vita;
- e) la rendicontazione e la revisione critica dell'LCA;
- f) le limitazioni dell'LCA;
- g) le correlazioni tra le fasi dell'LCA;
- h) le condizioni per l'utilizzo delle scelte dei valori e degli elementi facoltativi.

Il programma LCÆDIL, un supporto informatico per l'analisi delle emissioni e dell'efficienza energetica nel ciclo di vita degli edifici, è pertanto articolato in modo conforme ai punti a), b) e c) della ISO 14044:2006, ma non copre le attività di cui ai punti d) - h). La fase di cui al punto d) "interpretazione del ciclo di vita" compare tra i requisiti considerati obbligatori nella ISO 14044:2006 per condurre una analisi del ciclo di vita completa (paragrafo 4.1 "Requisiti generali"), tuttavia tale attività non è compresa nel campo di applicazione del programma LCÆDIL dal momento che lo scopo di questa fase implica delle attività di tipo soggettivo, chiaramente riconducibili alla discrezionalità e professionalità di uno specialista del settore ambientale, non demandabili ad un supporto informatico e/o a un tecnico del settore edile. Le fasi di cui ai punti e) - h) non sono invece obbligatorie. La valutazione dell'impatto di un edificio e/o componente costruttivo effettuata con il supporto di LCÆDIL è pienamente coerente con i principi delle Linee guida per la valutazione della qualità energetica ed ambientale degli edifici in Toscana (Del. G. Reg. N.322 del 28-02-2005), anche se può risultare profondamente diversa. In particolare, è necessario sottolineare due aspetti: il metodo usato da LCÆDIL è più evoluto rispetto agli schemi che sviluppano la valutazione con una serie di "punteggi" assegnati su base parzialmente soggettiva e la condensano in un singolo numero. Tra i requisiti generali della ISO 14044:2006, al citato paragrafo 4.1, si esplicita che "non c'è alcuna base scientifica che consenta di ridurre ad un singolo punteggio o numero i risultati di una LCA"; le caratteristiche considerate nelle Linee Guida della Regione Toscana, o in strumenti analoghi, sono molto più ampie rispetto a quelle gestibili attraverso LCÆDIL. ed includono anche aspetti di tipo sociale che concorrono a definire ciò che può essere percepita come la "sostenibilità" di un intervento edilizio.

L'obiettivo fondamentale di LCÆDIL, sviluppato nell'ambito di un sostegno alla ricerca, è di andare oltre la normativa attuale, per rispondere all'esigenza già diffusa nel settore edile

di migliore qualità scientifica e maggiore oggettività nella valutazione delle implicazioni ambientali delle scelte progettuali, pur limitando l'analisi ai soli parametri per i quali sono disponibili banche dati pubbliche ed affidabili.

Prima del calcolo con il programma si esegue una raccolta dei dati.

I dati sono di due tipologie, con origini diverse:

- dati descrittivi del progetto - da analizzare (località, tipologia e dimensioni dell'edificio, tipologia e quantità dei componenti...), che vengono inseriti dall'utente del programma LCÆDIL;
- dati relativi agli impatti - dei vari componenti e alle relative procedure di allocazione, che derivano direttamente dalle fonti (banche dati) scelte come supporto di LCÆDIL, e non sono modificabili dall'utente.

### **Valutazione secondo IBO**

La valutazione si basa sugli indicatori ambientali CML 2001 per costruzioni ed edifici ed è sviluppata sulla base della banca dati dell'IBO (Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie) specificamente riferita ai materiali da costruzione, che comprende attualmente oltre 500 voci, ciascuna con 30 diversi indici ambientali, e viene aggiornata e arricchita continuamente. Il bilancio dei materiali viene realizzato gradualmente fino al punto di "uscita dalla fabbrica". In questo modo vengono considerati tutti i processi che interessano il prodotto fino alla sua consegna. Per ogni fase di processo vengono calcolati gli impieghi di materiali, trasporti ed energia, così come le emissioni nell'aria, nel terreno e nell'acqua, e la produzione di scarti e rifiuti.

Nella valutazione vengono considerati i seguenti indicatori ecologici:

- Potenziale di riscaldamento globale (GWP)
- Acidificazione potenziale (AP)
- Consumo di risorse energetiche rinnovabili e non (PEC r, PEC nr)
- Creazione di ossidanti fotochimici (POCP)
- Eutrofizzazione (EP)

- Indice ecologico OI3Kon calcolato

Di seguito, una sintetica descrizione degli indicatori usati.

#### GWP (Global Warming Potential)

Per le sostanze con effetto serra più utilizzate viene definito un parametro sotto forma di potenziale di riscaldamento globale GWP in relazione alla sostanza guida anidride carbonica (CO<sub>2</sub>). Questo potenziale di riscaldamento globale definisce il contributo di una sostanza all'effetto serra rispetto al contributo di una quantità equivalente di anidride carbonica.

#### AP (Acidification Potential)

L'acidificazione è causata principalmente dall'interazione fra gas di ossido di azoto (NO<sub>x</sub>) e gas di biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>) con altri elementi presenti nell'atmosfera come il radicale ossidrile. La misura della tendenza di un elemento a diventare acidificante corrisponde al suo potenziale di acidificazione AP (Acidification Potential). Per ogni sostanza acidificante viene indicato il valore in rapporto al potenziale di acidificazione del biossido di zolfo.

#### PEC r e PEC nr (Primary Energy Consumption – renewable/not renewable)

Per “consumo di energia primaria” si intende il fabbisogno di risorse energetiche necessarie per la fornitura di un prodotto o di un servizio. L'indicatore è suddiviso in risorse energetiche rinnovabili (r) e non rinnovabili (nr). Le risorse energetiche non rinnovabili comprendono petrolio, gas metano, carbone e uranio. Le risorse energetiche rinnovabili sono legno, energia idrica, energia solare ed energia eolica.

Il consumo di energia primaria non rinnovabile viene calcolato in base al potere calorifico massimo di tutte le risorse energetiche non rinnovabili, mentre il consumo di energia primaria rinnovabile viene ricavato dalle risorse energetiche rinnovabili che sono state impiegate nella catena di realizzazione del prodotto.

#### POCP (Photo-Chemical Oxydation Potential)

Sotto il nome di ossidanti fotochimici (o smog fotochimico) vengono raggruppati tutti i gas organici nocivi che portano alla formazione fotochimica (in presenza di radiazione solare) di ozono troposferico, in particolare composti di ossido di azoto e anidridi carboniche dai gas di scarico. L'ozono è il prodotto più rilevante di questa reazione fotochimica.

#### EP (Eutrophication Potential)

Il potenziale di eutrofizzazione EP quantifica il contributo di una sostanza contenente azoto o fosforo alla produzione di biomassa.

#### OI3Kon (Indicatore ecologico IBO)

L'indice ecologico delle costruzioni edilizie OI3Kon viene ricavato dai tre indicatori ecologici PEC nr (consumo di risorse energetiche non rinnovabili), GWP (potenziale di riscaldamento globale) e AP (potenziale di acidificazione). L'intervallo di valori dell'indice OI3Kon varia per le costruzioni abituali da -30 a 120 punti circa. Maggiore è il valore OI3Kon, maggiore è il costo ecologico della costruzione. I punteggi negativi si ottengono solo con costruzioni particolarmente ottimizzate sotto il profilo ecologico.

OI(tgh)AP è un indicatore ricavato da Acidification Potential si tratta quindi di Kg di SO<sub>2</sub> Equivalenti su m<sup>2</sup>. I punteggi vanno da 0 a 100 nell'intervallo da 0,21 a 0,46 Kg di SO<sub>2</sub> eq/m<sup>2</sup> al di sotto va attribuito 0 e sopra sono comunque 100.

OI(tgh)GWP è ricavato da Global Warming Potential ed i punteggi vengono assegnati come per il precedente. Si considera un intervallo da -50 a 150 Kg CO<sub>2</sub> eq/m<sup>2</sup> dove il punteggio va da 0 a 100.

OI(tgh)PEI(ne) riguardante i consumi energetici non rinnovabili e come per i due indici precedente vengono dati punteggi da 0 a 100 per valori reali tra 50 a 150 MJ.

OI3(tgh) è calcolato come media ponderata dei tre indicatori precedenti cioè OI(tgh)AP,

OI(tgh)GWP, OI(tgh)PEI(ne) è quindi una valutazione di massima dell'oggetto.

OI3S(tgh) è calcolato come:

$$OI3(tgh) * 0,75 * 1 - (Vita\ utile / 80)$$

OI3(tgh)-I(c) calcolato:

$$3 * \frac{OI3(tgh)}{(2 + I_c)}$$

Dove  $I_c$  è il rapporto tra volume lordo e superficie utile viene quindi tenuta in considerazione la grandezza dell'edificio.

OI3(tgh)-BGF viene calcolato sulle basi di OI3(tgh) cioè

$$IO3(tgh) * \frac{kof}{BGF}$$

Dove kof è la superficie utile e BGF è la superficie lorda. Tiene quindi conto della bontà distributiva degli ambienti, dipende per questo del frazionamento.

OI3S(tgh)-I(c) viene calcolato su base dell'OI3(tgh)-I(c) cioè:

$$3 * \frac{IO3S(tgh)}{(2 + I_c)}$$

OI3S(tgh)-BGF viene calcolato al seguente modo:

$$OI3S(tgh) - BGF * \frac{kof}{BGF}$$

OI(tgh)AP, OI(tgh)GWP, OI(tgh)PEI(ne) sono indicatori basati sulle emissioni principali. OI3(tgh) indica invece una valutazione di massima dell'edificio. OI3(tgh)-I(c) da un'indicazione tenendo conto delle dimensioni dell'edificio. Gli altri indicatori danno valutazioni in base alla vita utile della costruzione.

## 12. Progetti a confronto

Per impiegare il programma LCÆDIL e quindi per determinare l'impatto ambientale causato da diverse tipologie di edifici vengono di seguito riportate due tipologie di progetti. Prima uno realizzato in legno, successivamente viene presentato un progetto ipotetico equivalente non solo come dimensioni ma anche come trasmittanza di pareti perimetrali e coperture ma costruito con metodi e materiali tradizionali. Saranno quindi calcolati gli impatti delle due strutture in base ai sei indicatori utilizzati dal programma e confrontati per comprendere quali siano le soluzioni migliori.

Gli edifici in legno sono realmente realizzati Service legno di Spresiano (TV), un'azienda che nasce negli anni novanta e fin dall'inizio rivolge la propria attenzione alle necessità del mondo delle costruzioni.



Fig. 12.1 FAVA R., 2008, Brochure Service Legno, Service Legno, Treviso,  
[www.servicelegno.it](http://www.servicelegno.it)

L'area tecnica è composta da dieci unità comprendenti ingegneri, architetti e geometri. La moderna tecnologia software permette una simultanea progettazione esecutiva e programmazione di un avanzato centro di taglio, al fine di snellire i tempi di realizzazione delle varie strutture ed eseguire le opere a regola d'arte. I tecnici eseguono studi di fattibilità, ricerca, consulenza e progettazione delle più svariate opere. Service Legno è strutturata per far fronte a tutte le richieste della clientela come la prevenzione, la

progettazione (accompagnata su richiesta dalla relazione dei calcoli ufficiali), la produzione interna delle travature necessarie e il montaggio.

Inoltre la service legno fa parte del consorzio Stile 21 il quale ha come impegno principale quello di fornire costruzioni con elevate performance termiche e acustiche, resistenza al fuoco e al sisma, durata nel tempo e rispetto per l'ambiente lasciando invariata la libertà espressiva del progettista e la velocità di costruzione.

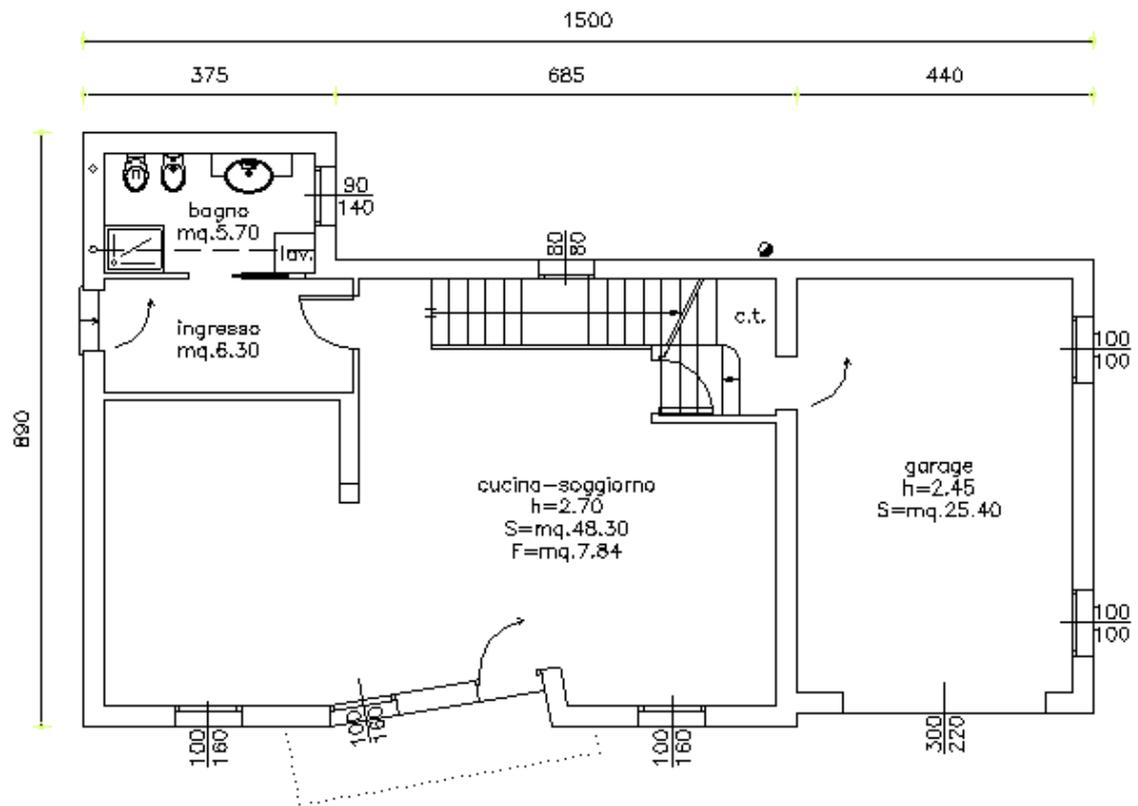


Fig. 12.2 FAVA G., 2008, Manuale Costruttivo Consorzio Stile 21, Stile 21, Treviso, [www.stile21.it](http://www.stile21.it)

L'espansione di Stile 21 rientra in una logica di crescita tramite l'integrazione e la collaborazione interaziendale tra i Soci Costruttori. La flessibilità e l'affidabilità si manifestano con la disponibilità dei Soci Costruttori a collaborare con i progettisti per la realizzazione di soluzioni personalizzate, secondo standard costruttivi condivisi e materiali certificati, concepiti per durare nel tempo. Le attività del consorzio puntano a migliorare le capacità produttive e organizzative dei soci promuovendo percorsi di formazione tramite l'organizzazione di seminari e convegni e sviluppare progetti di marketing comuni. E' anche costante l'attività di collaborazione di Stile 21 con le Università, i parchi scientifici e tecnologici, i laboratori e gli Enti di certificazione.

## *12.1 Edificio residenziale in legno.*

Si tratta di un edificio residenziale, situato nel comune Zero Branco nella provincia di Treviso. Si sviluppa su una superficie lorda di 98 m<sup>2</sup> e su due piani. E' composto da due bagni, cucina-soggiorno, garage, un ripostiglio, due camere e uno studio.



PIANO TERRA

Fig. 12.1.1 Piano terra dell'abitazione residenziale singola

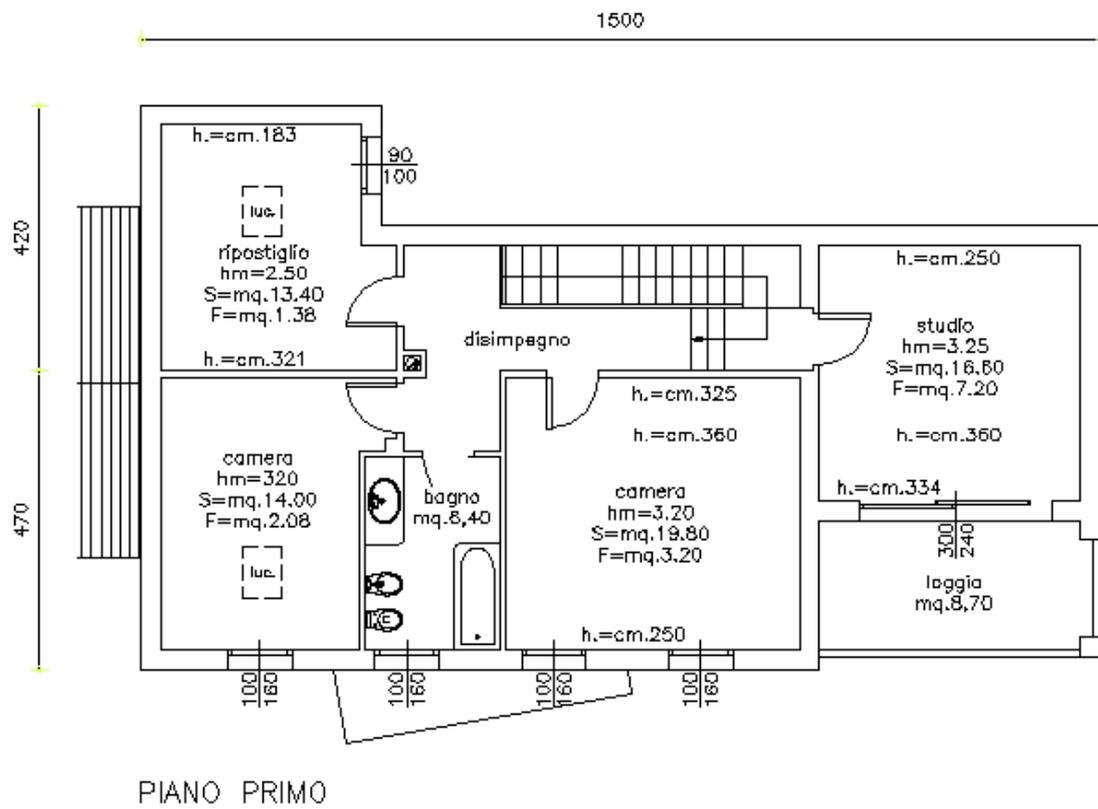


Fig. 12.1.2 Primo piano dell'abitazione residenziale singola



Fig. 12.1.3 Foto abitazione

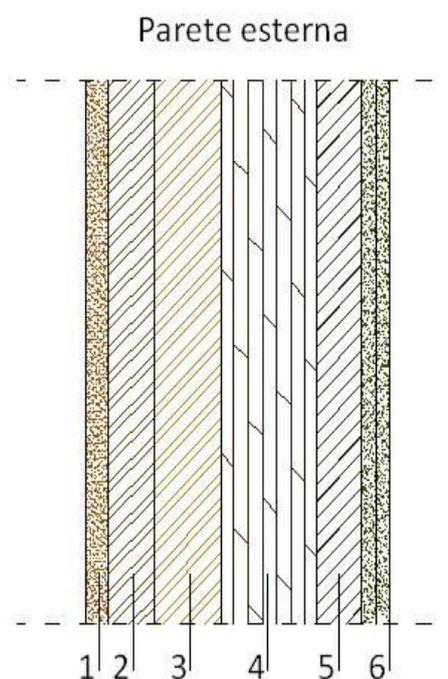
Le pareti portanti sono composte da un pannello di tavole di abete rosso certificato SFC, composto da tavole incrociate e incollate tra di esse a cinque strati con colle in resina melamminica, esente da isocianato, prive di solventi e formaldeide, di spessore 85 mm. Su tutto il perimetro e per un'altezza di 50 cm da terra è disposta una membrana impermeabilizzante. In tutta la parete esterna viene utilizzato un isolamento a cappotto un pacchetto è composto da un doppio strato di pannelli rigidi naturali in fibra di legno. Lo spessore complessivo è di 100 mm, il pannello più esterno ha spessore 40mm e densità 240 Kg/m<sup>3</sup> il secondo invece ha spessore 60 mm e densità 150 Kg/m<sup>3</sup>. Le parte esterna

viene poi finita con intonaco traspirante ai silicati. La parte interna delle pareti perimetrali è costituita da un'ossatura metallica e l'intercapedine è riempita di lana di roccia, su cui sono fissate due lastre in cartongesso di spessore dodici mm ciascuna.

N	Descrizione	Spessore m	coeff $\lambda=W/mK$
1	Intonaco traspirante civile ai silicati	0,015	0,7
2	Isolamento termico pannelli rigidi naturali in fibra di legno densità 240 Kg/m <sup>3</sup>	0,04	0,06
3	Isolamento termico pannelli rigidi naturali in fibra di legno densità 150 Kg/m <sup>3</sup>	0,06	0,04
4	Pannelli di multistrato in Abete rosso 5 strati	0,085	0,13
5	Intercapedine costituita da ossatura metallica e lana di roccia	0,04	0,04
6	Due pannelli in gesso fissati alla parete di legno	0,024	0,21

Spessore parete 0,26 m

Trasmittanza parete  $U= 0,22 W/m^2K$

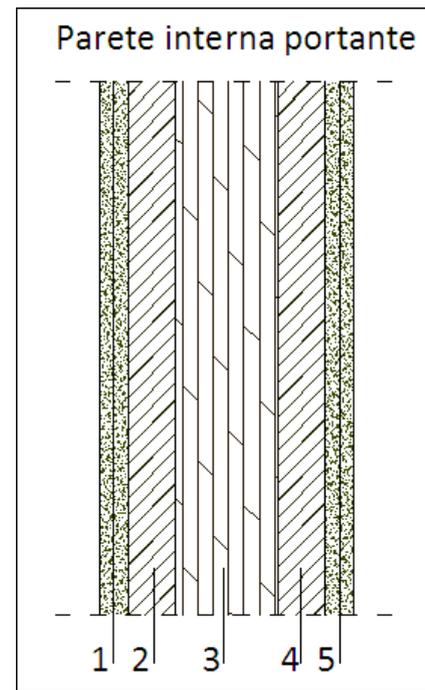


Le pareti portanti interne sono sempre costituite da pannelli in multistrato di abete rosso di 85 mm. A questo deve essere fissata un'ossatura di metallo a cui è interposta lana di roccia. Esternamente da entrambi i lati vengono fissati due pannelli di cartongesso da entrambi i lati.

N	Descrizione	Spessore e m	coeff $\lambda=W/mK$
1	Due pannelli in cartongesso fissati alla parete di legno	0,024	0,21
2	Intercapedine costituita da ossatura metallica e lana di roccia	0,04	0,04
3	Pannelli di multistrato in Abete rosso 5 strati	0,085	0,13
4	Intercapedine costituita da ossatura metallica e lana di roccia	0,04	0,04
5	Due pannelli in cartongesso fissati alla parete di legno	0,024	0,21

Spessore parete 0,21 m

Trasmittanza parete  $U= 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$

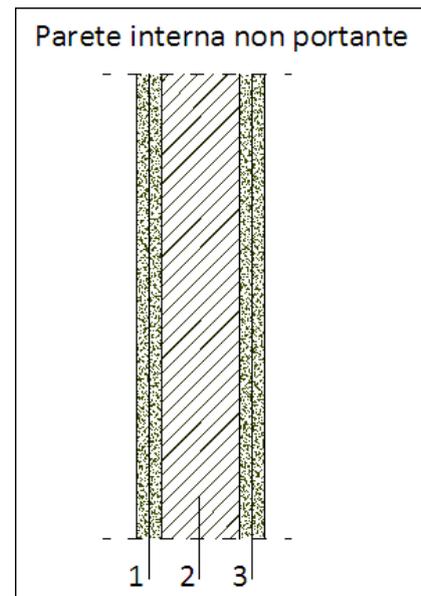


Le pareti divisorie interne sono composte internamente da un'ossatura metallica in acciaio zincato, dove negli spazi vuoti si ha lana di roccia. Esternamente all'ossatura sono fissate due lastre di cartongesso.

N	Descrizione	Spessore e m	coeff $\lambda=W/mK$
1	Doppia lastra in cartongesso	0,024	0,21
2	Intercapedine con ossatura metallica e lana di roccia	0,075	0,04
3	Doppia lastra in cartongesso	0,024	0,021

Spessore parete 0,12 m

Trasmittanza parete  $U=0,3 W/m^2K$



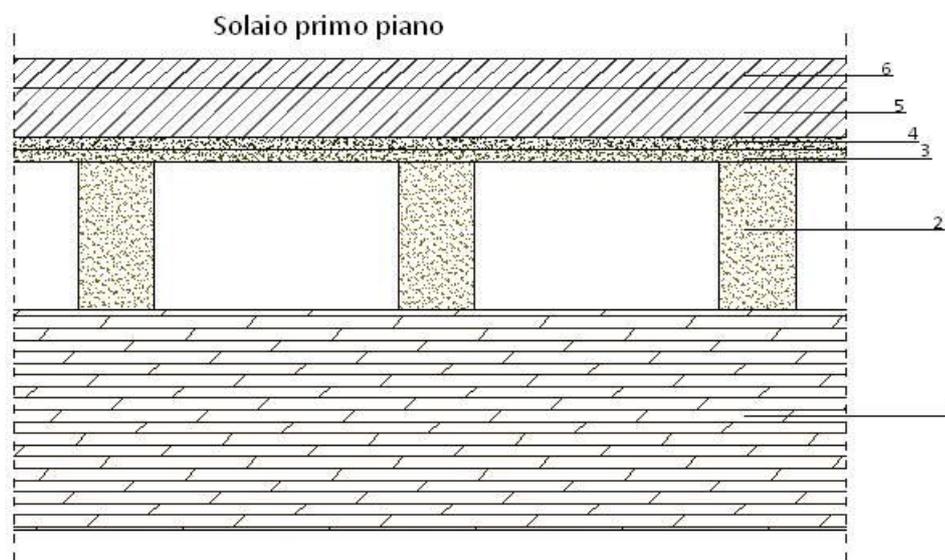
Il solaio piano primo è composto da travi in legno lamellare fissate con staffe in acciaio e angolari, struttura principale e secondaria, perlinatura da 20 mm, il tutto sagomato e impregnato. Travi portanti 22X36 cm, travi secondarie 12X24 cm con interasse 50cm. Si ha poi un pacchetto fonoassorbente composto da: fibra di legno spessore 20mm e densità 240 Kg/m<sup>3</sup>, alleggerito tipo leca, massetto in sabbia e cemento per posa dei pavimenti, sulla terrazza si hanno guaine aggiuntive.

N	Descrizione	Spessore m	coeff $\lambda=W/mK$
1	Trave principale lamellare	0,22x0,36	0,13
2	Travi secondarie	0,12X0,24	0,13
3	Perlinatura	0,02	0,13
4	Fibra di legno densità 240Kg/m <sup>3</sup>	0,02	0,06
5	Alleggerito tipo leca	0,016	0,33
6	Massetto sabbia e cemento per posa di pavimento	0,05	0,29

---

Spessore solaio 0,7 m

Trasmittanza solaio  $U = 0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$



La copertura è un tetto ventilato e traspirante ideale per l'abitabilità del sottotetto. Il pacchetto è composto da travi in legno lamellare di abete rosso prodotte da uno stabilimento in possesso del certificato d'incollaggio tipo A rilasciato dall'Otto – Graf Institut di Stoccarda in conformità alle norme DIN 1052. Perline, poste sopra le travi secondarie, sono in abete rosso da 20 mm impregnate con prodotti fungo battericida-antimuffa alle resine vegetali e sali di boro in soluzione acquosa, esente da biocidi e derivati del petrolio. L'isolante è composto da pannello rigido in fibra di legno con spessore 140 mm (60+40+40). Doppia membrana traspirante Service legno –Siplast sotto e sopra l'isolante composto da fibra di legno. Listellatura con sezione 4X5 cm per il contenimento del secondo strato di isolante e sezione 5X6 cm per la creazione della camera di ventilazione. Tavolato grezzo di chiusura in abete rosso spessore 25mm. Segue poi la membrana bitume polimero elastomerico, armata in tessuto non tessuto di poliestere, spessore 4 mm, incollata a freddo. La copertura è naturalmente dimensionata

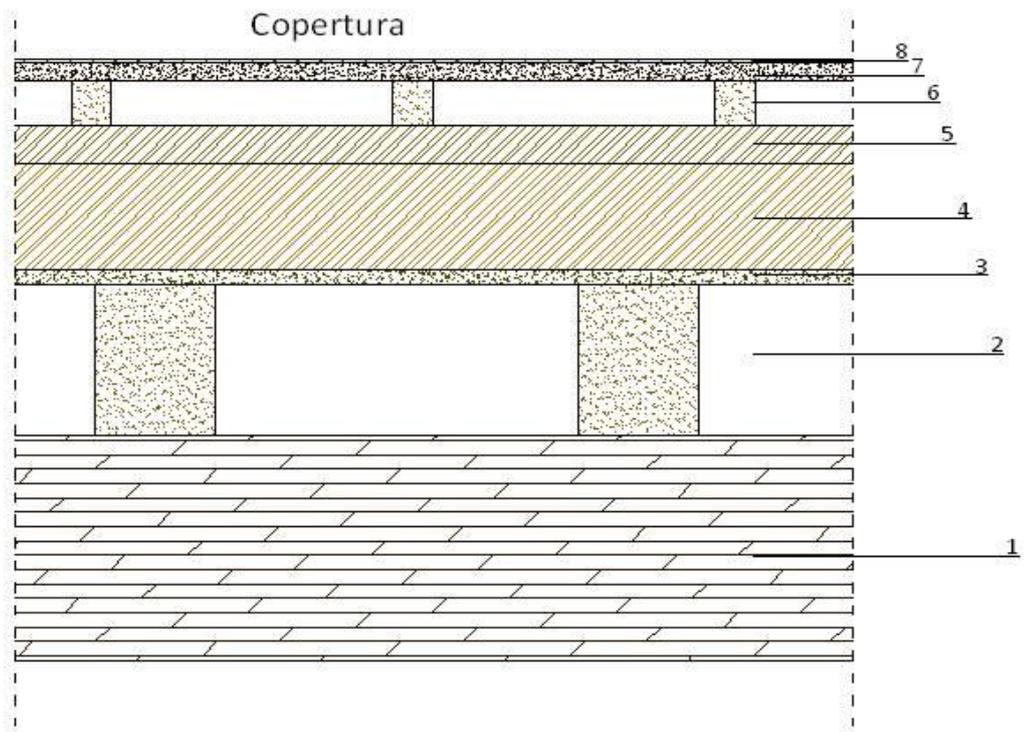
per sostegno di pannelli fotovoltaici e/o idrico sanitari, senza eventuali serbatoi di accumulo acqua.

Il manto di copertura è poi composto di coppi in terracotta fissato a gancio nei colori chiaro e rosso. Si ha poi una griglia di ventilazione per un'ulteriore ventilazione della falda e funzione parapassero. Areazione del colmo effettuata con sottocolmo ventilato, con bandelle in piombo plissettato a reti antintrusione rinforzato in fibra di vetro, di particolare forma atta ed idoneo a realizzare un'efficace ventilazione del colmo stesso.

N	Descrizione	Spessore m	coeff $\lambda=W/mK$
1	Trave principale lamellare	0,20x0,30	0,13
2	Travi secondaria	0,20X0,30	0,13
3	Perlinatura	0,02	0,13
4	Fibra di legno	0,14	0,038
5	Listellatura sez 4X5	0,04X0,05	0,13
6	Listellatura sez 5x6	0,05X0,06	0,13
7	Tavolato grezzo di chiusura	0,025	0,13
8	Membrana bitume polimero elastomerico	0,004	0,15

Spessore copertura 0,9 m

Trasmittanza copertura  $U= 0,24 W/m^2K$



## 12.1.1 Assegnazione risultati dell'edificio residenziale in legno

Vengono qui presentati i valori rappresentanti l'impatto ambientale provocato dall'edificio. Sono suddivisi prima per materiali per capire dove la soluzione può essere migliorata, quale materiale provoca i danni maggiori. Successivamente è presentato il calcolo globale degli indicatori per considerare l'intera struttura.

### Dati generali del progetto

Tipo lavoro : Nuova costruzione

Vita utile : 50 anni

Categoria edificio : E.1.1 - Edificio adibito a residenza con occupazione continuativa

Località : Zero Branco

Provincia : TV

Superficie lorda :	235,00 m <sup>2</sup>	Superficie netta :	191,00 m <sup>2</sup>
Superficie utile :	187,00 m <sup>2</sup>	Superficie aggiuntiva :	44,00 m <sup>2</sup>
Volume lordo :	1.328,00 m <sup>3</sup>	Coefficiente di forma :	0,18 m <sup>-1</sup>
Ricambi orari :	0,50 m <sup>2</sup>	Temperatura interna invernale :	20,00 °C
Generatori :	Singolo	Carichi estivi gestiti :	No

OI(tgh)AP :	100,000	OI(tgh)GWP :	
OI(tgh)PEI(ne) :	100,000	OI3(tgh) :	66,000
OI3S(tgh) :	35,063	OI3(tgh)-I(c) :	6,153
OI3(tgh)-BGF :	7,683	OI3S(tgh)-I(c) :	3,269
OI3S(tgh)-BGF :	4,081		

<b>Calcestruzzo per pavimento</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
1.1	Eutrophixation	0.5775	Kg PO4 Eq.
1.2	Acidification	4.7355	Kg SO2 Eq.
1.3	Consumi energetici non rinnovabili	9240	MJ
1.4	Consumi energetici rinnovabili	0	MJ
1.5	Global warming	1501.5	Kg CO2 Eq.
1.6	Photo oxidation	0.1155	Kg C2H2

Si può osservare che non si hanno consumi energetici rinnovabili, i consumi sono solo non rinnovabili. Inoltre si ha un alto valore di Global Warming Potential.

<b>Freno del vapore</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
2.1	Consumi energetici rinnovabili	1609.748	MJ
2.2	Acidification	15.585919999999999	Kg SO2 Eq.
2.3	Global warming	1673.8399999999999	Kg CO2 Eq.
2.4	Photo oxidation	9.164959999999999	Kg C2H2
2.5	Eutrophixation	0.609168	Kg PO4 Eq.
2.6	Consumi energetici non rinnovabili	55319.03999999999	MJ
2.7	Consumi energetici rinnovabili	2359.8399999999999	MJ
2.8	Global warming	1141.798	Kg CO2 Eq.
2.9	Photo oxidation	6.251812	Kg C2H2
2.10	Acidification	10.631824	Kg SO2 Eq.
2.11	Eutrophixation	0.4155396	Kg PO4 Eq.
2.12	Consumi energetici non rinnovabili	37735.488	MJ

Questo è uno dei materiali che incide maggiormente sul valore della creazione di ossidanti fotochimici. Infatti, il freno vapore solitamente è un foglio metallico o semi-metallico, i processi chimici di lavorazione e il bagno ionizzante a cui è sottoposto inducono alla formazione di ossidanti fotochimici.

<b>pannello di cartongesso</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
3.1	Photo oxidation	0.0901	Kg C2H2
3.2	Acidification	5.7664	Kg SO2 Eq.
3.3	Eutrophixation	0.40545	Kg PO4 Eq.
3.4	Consumi energetici non rinnovabili	22795.3	MJ
3.5	Consumi energetici rinnovabili	3333.7	MJ
3.6	Eutrophixation	0.6988275	Kg PO4 Eq.
3.7	Global warming	1708.245	Kg CO2 Eq.
3.8	Photo oxidation	0.155295	Kg C2H2
3.9	Acidification	9.93888	Kg SO2 Eq.
3.10	Consumi energetici non rinnovabili	39289.635	MJ
3.11	Consumi energetici rinnovabili	5745.915	MJ
3.12	Global warming	991.1	Kg CO2 Eq.

Il cartongesso è il secondo materiale che incide sulla creazione di ossidanti fotochimici e ha valori alti anche riguardo il potenziale di acidificazione. Gli ossidanti fotochimici in questo materiale derivano dalla lavorazione della fibra di cellulosa, che viene trattata con colle resinose.

<b>Pannello impermeabile in bitume polimerico</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
4.1	Consumi energetici rinnovabili	431.2	MJ
4.2	Global warming	714.56	Kg CO2 Eq.
4.3	Photo oxidation	0.25256	Kg C2H2
4.4	Acidification	4.47216	Kg SO2 Eq.
4.5	Eutrophixation	0.2772	Kg PO4 Eq.
4.6	Consumi energetici non rinnovabili	31477.6	MJ

<b>pannello di carton gesso (impregnato)</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
5.1	Eutrophixation	0.0738	Kg PO4 Eq.
5.2	Consumi energetici non rinnovabili	4214.8	MJ
5.3	Photo oxidation	0.0164	Kg C2H2
5.4	Global warming	180.4	Kg CO2 Eq.
5.5	Consumi energetici rinnovabili	606.8	MJ
5.6	Acidification	1.0742	Kg SO2 Eq.

<b>Pannello di fibra dura</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
6.1	Consumi energetici non rinnovabili	225792	MJ
6.2	Eutrophixation	9.8784	Kg PO4 Eq.
6.3	Photo oxidation	0.000882	Kg C2H2
6.4	Global warming	-29988	Kg CO2 Eq.
6.5	Consumi energetici rinnovabili	479808	MJ
6.6	Acidification	34.2216	Kg SO2 Eq.

L'indicatore Global warming è negativo e la maggior parte dei consumi energetici sono rinnovabili. Inoltre il valore di Photo oxidation è molto basso. Mentre i valori di acidificazioni sono abbastanza alti perché le colle usate nella produzione dei pannelli di fibra hanno un alto rilascio di radicali liberi, questi sono necessari nel processo di cristallizzazione della colla durante la lavorazione di pressione degli strati dei pannelli.

<b>Pannello di fibra di legno, poroso 250 kg/m3</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
7.1	Consumi energetici rinnovabili	13340.25	MJ
7.2	Eutrophixation	0.3239775	Kg PO4 Eq.
7.3	Consumi energetici rinnovabili	68607	MJ
7.4	Acidification	5.50935	Kg SO2 Eq.
7.5	Photo oxidation	0.000028875	Kg C2H2
7.6	Global warming	-51.975	Kg CO2 Eq.
7.7	Consumi energetici non rinnovabili	10337.25	MJ
7.8	Global warming	-267.3	Kg CO2 Eq.
7.9	Acidification	28.3338	Kg SO2 Eq.
7.10	Eutrophixation	1.66617	Kg PO4 Eq.
7.11	Photo oxidation	0.0001485	Kg C2H2
7.12	Consumi energetici non rinnovabili	53163	MJ

Si hanno risultati simili al pannello di fibra dura.

<b>Pannello di legno massiccio a 3 strati</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
8.1	Consumi energetici non rinnovabili	57812.4	MJ
8.2	Photo oxidation	0.00022896	Kg C2H2
8.3	Acidification	25.87248	Kg SO2 Eq.
8.4	Consumi energetici rinnovabili	65955.384	MJ
8.5	Consumi energetici non rinnovabili	31873.176	MJ
8.6	Eutrophixation	2.6192808	Kg PO4 Eq.
8.7	Acidification	14.2640352	Kg SO2 Eq.
8.8	Eutrophixation	4.75092	Kg PO4 Eq.
8.9	Global warming	-3250.4328	Kg CO2 Eq.
8.10	Photo oxidation	0.0001262304	Kg C2H2
8.11	Photo oxidation	0.0006048	Kg C2H2
8.12	Eutrophixation	12.5496	Kg PO4 Eq.
8.13	Consumi energetici non rinnovabili	152712	MJ
8.14	Consumi energetici rinnovabili	119631.6	MJ
8.15	Global warming	-15573.6	Kg CO2 Eq.
8.16	Global warming	-5895.72	Kg CO2 Eq.
8.17	Acidification	68.3424	Kg SO2 Eq.
8.18	Consumi energetici rinnovabili	316008	MJ

Il pannello di legno massiccio è il materiale portante dell'edificio, di questo si può notare che i consumi energetici sono per la maggior parte rinnovabili, le emissioni di anidride carbonica sono negative e sono molto basse anche le emissioni di C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>.

<b>Legno da taglio ruvido, essiccato artificialmente 500 kg/m3</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
9.1	Photo oxidation	0.2975	Kg C2H2
9.2	Acidification	1.4	Kg SO2 Eq.
9.3	Eutrophixation	0.1225	Kg PO4 Eq.
9.4	Consumi energetici non rinnovabili	4200	MJ
9.5	Consumi energetici rinnovabili	37800	MJ
9.6	Global warming	-2957.5	Kg CO2 Eq.

<b>Legno da taglio essiccato artificialmente, piallato 500 kg/m3</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
10.1	Eutrophixation	0.1128	Kg PO4 Eq.
10.2	Consumi energetici non rinnovabili	2256	MJ
10.3	Acidification	1.06455	Kg SO2 Eq.
10.4	Photo oxidation	0.1974	Kg C2H2
10.5	Global warming	-1149.15	Kg CO2 Eq.
10.6	Consumi energetici rinnovabili	19881	MJ

<b>Legno da taglio essiccato artificialmente, piallato 630 kg/m3</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
11.1	Consumi energetici non rinnovabili	4762.8	MJ
11.2	Global warming	-2928.24	Kg CO2 Eq.
11.3	Acidification	3.91608	Kg SO2 Eq.
11.4	Photo oxidation	0.67032	Kg C2H2
11.5	Eutrophixation	0.5292	Kg PO4 Eq.
11.6	Consumi energetici rinnovabili	66326.4	MJ

<b>Pannello di fibra morbida</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
12.1	Consumi energetici non rinnovabili	57448.26	MJ
12.2	Eutrophixation	1.797264	Kg PO4 Eq.
12.3	Acidification	30.617676	Kg SO2 Eq.
12.4	Photo oxidation	0.00016047	Kg C2H2
12.5	Global warming	-288.846	Kg CO2 Eq.
12.6	Consumi energetici rinnovabili	74137.14	MJ

<b>Lana di roccia 33 kg/m3</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
13.1	Consumi energetici non rinnovabili	6058.602	MJ
13.2	Global warming	436.656	Kg CO2 Eq.
13.3	Acidification	2.810973	Kg SO2 Eq.
13.4	Eutrophixation	0.1228095	Kg PO4 Eq.
13.5	Photo oxidation	0.0409365	Kg C2H2
13.6	Consumi energetici non rinnovabili	10707.68159999999	MJ
13.7	Global warming	771.7247999999999	Kg CO2 Eq.
13.8	Photo oxidation	0.0723492	Kg C2H2
13.9	Acidification	4.9679784	Kg SO2 Eq.
13.10	Eutrophixation	0.2170476	Kg PO4 Eq.
13.11	Consumi energetici rinnovabili	136.455	MJ
13.12	Consumi energetici rinnovabili	241.1639999999999	MJ

La lana di roccia è l'isolante utilizzato all'intercapedine per il passaggio degli impianti e non ha dei valori particolarmente positivi.

<b>Intonaco silicato</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
14.1	Consumi energetici rinnovabili	3530.34	MJ
14.2	Global warming	3530.34	Kg CO2 Eq.
14.3	Consumi energetici non rinnovabili	57608.73	MJ
14.4	Eutrophixation	0.96282	Kg PO4 Eq.
14.5	Photo oxidation	0.80235	Kg C2H2
14.6	Acidification	21.50298	Kg SO2 Eq.

L'alto valore di Acidificazione potenziale causato dall'intonaco deriva dalla facilità con cui questo materiale a contatto con gli agenti atmosferici rilascia radicali liberi, questa deperibilità è necessaria per aumentare la resistenza alle piogge.

Argilla leggera 600-800 kg			
	Elemento	Quantità	U.M.
15.1	Consumi energetici non rinnovabili	24393.6	MJ
15.2	Eutrophixation	0.66528	Kg PO4 Eq.
15.3	Acidification	4.21344	Kg SO2 Eq.
15.4	Photo oxidation	0.22176	Kg C2H2
15.5	Global warming	-3917.76	Kg CO2 Eq.
15.6	Consumi energetici rinnovabili	0	MJ

Si osserva che tutti gli elementi a base di legno hanno l'indicatore Global warming negativo ciò significa che è un materiale che non contribuisce all'effetto serra, anzi aiutano ad evitare questo fenomeno. Questo si ha perché durante la crescita l'albero assorbe CO<sub>2</sub> e trattiene il carbonio rilasciando l'ossigeno.

- Calcolo globale degli indicatori

Emissioni IBO			
	Elemento	Quantità	U.M.
1.1	Consumi energetici non rinnovabili	899197.3626	MJ
1.2	Consumi energetici rinnovabili	1279489.936	MJ
1.3	Global warming	-53618.36	Kg CO2 Eq.
1.4	Photo oxidation	18.3514225354	Kg C2H2
1.5	Acidification	299.2422266	Kg SO2 Eq.
1.6	Eutrophixation	39.3755545	Kg PO4 Eq.

Riassumendo tutti i materiali e prendendo in esame i sei indicatori globali si nota prima di tutto il valore negativo dell'indicatore Global warming nonostante l'utilizzo di materiali diversi dal legno come la lana di roccia, freno vapore ecc.. Quindi questo tipo di edificio non contribuisce all'effetto serra anzi è un "serbatoio" di C trattenuto fino a che il legno non sarà degradato o bruciato.

## *12.2 Progetto equivalente: edificio residenziale in laterizio*

Il progetto ha le stesse superfici del precedente, la stessa forma e distribuzione degli spazi interni.

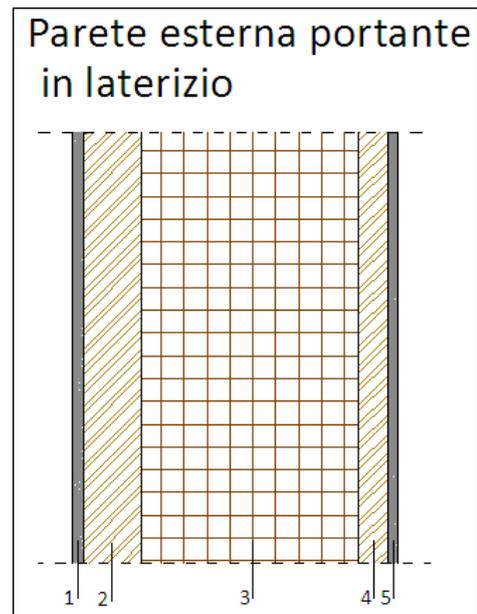
Le pareti e le coperture sono state progettate per avere lo stesso valore di trasmittanza che ha il progetto precedente. Le pareti e il solaio interni sono concepite seguendo le modalità più utilizzate nelle strutture in laterizio trascurando l'isolamento termico. Poiché muri portanti interni e pareti divisorie anche se più isolate non incidono sul consumo energetico globale dell'edificio.

Le pareti perimetrali sono composte di intonaco plastico per cappotto sulla facciata esterna. Il mattone forato porizzato di spessore 30cm assolve alla funzione strutturale e l'isolamento viene realizzato con lana di roccia. Nella parte interna si ha un'intercapedine per il passaggio degli impianti. Lo spessore complessivo della parete è di 45 cm per avere una trasmittanza pari a  $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ , mentre per la parete di legno servono solamente 26 cm per raggiungere lo stesso valore.

N	Descrizione	Spessore m	coeff $\lambda=W/mK$
1	Intonaco esterno	0,015	0,9
2	Lana di roccia	0,08	0,04
3	Mattone forato porizzato	0,3	0,25
4	Intercapedine con ossatura metallica e lana di roccia	0,04	0,04
5	Intonaco interno	0,015	0,9

Spessore totale 0,45 m

Trasmittanza parete  $U= 0,22 W/m^2K$



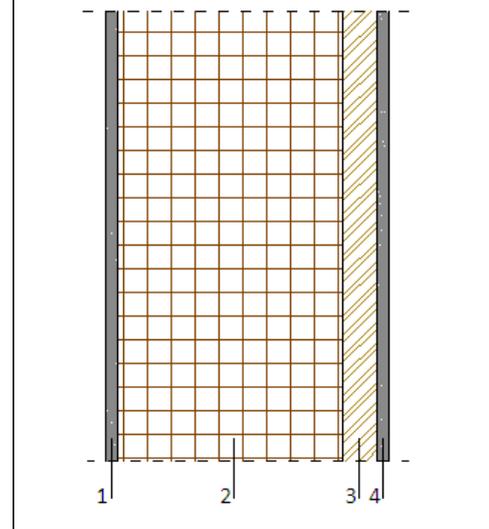
Le pareti portanti sono sempre composte da mattone porizzato di spessore 30 cm. Su un lato si ha la presenza di un'intercapedine realizzata per il passaggio degli impianti. Non si dà importanza all'isolamento termico perché si tratta di una parete interna. La trasmittanza ricavata da questa parete è  $0,38 W/m^2K$  con uno spessore complessivo di 38 cm. Mentre nella struttura di legno si ha un valore di  $0,32 W/m^2K$  per 22 cm di spessore totale.

N	Descrizione	Spessore e m	coeff $\lambda=W/mK$
1	Intonaco interno	0,015	0,9
2	Mattone forato porizzato	0,3	0,25
3	Intercapedine costituita da un ossatura metallica e lana di roccia	0,04	0,04
4	Intonaco interno	0,015	0,9

Spessore parete 0,38 m

Trasmittanza parete  $U= 0,38 W/m^2K$

### Parete interna portante in laterizio

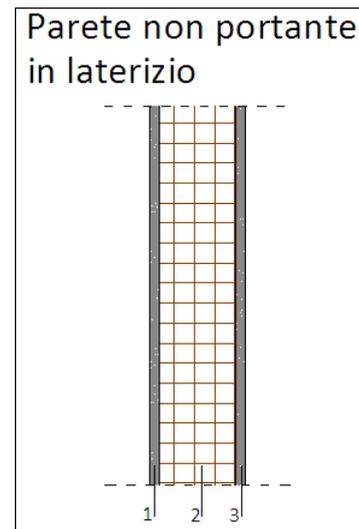


Le pareti divisorie interne sono costituite da mattoni forati predisposti anche al passaggio di impianti dello spessore di 12 cm, vengono poi intonacati da entrambi i lati. Hanno la semplice funzione di dividere gli spazi interni dell'abitazione.

N	Descrizione	Spessore e m	coeff $\lambda=W/mK$
1	Intonaco	0,015	0,7
2	Mattone forato porizzato	0,12	0,22
3	Intonaco	0,015	0,7

Spessore parete 0,15 m

Trasmittanza parete  $U= 1,31W/m^2K$

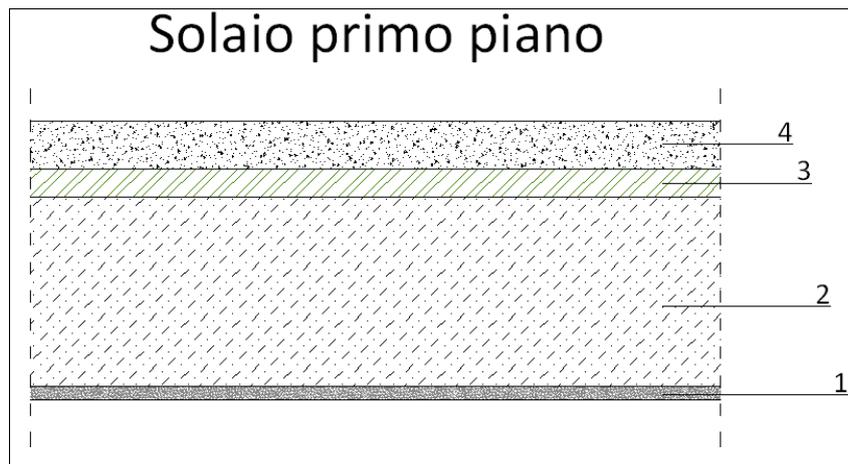


Il solaio al piano primo è composto da intonaco, da un solaio in latero cemento con funzione portante. Sopra viene posto un massetto alleggerito dello spessore di 5 cm per permettere il passaggio di impianti. Infine la sistemazione di massetto in sabbia e cemento per la posa del pavimento. Lo spessore totale è di 32 cm e una trasmittanza di 1,62  $W/m^2K$ . Il solaio di legno ha uno spessore di 70 cm, elevato per la presenza di una trave principale e travi secondarie, e con una trasmittanza di 0,65  $W/m^2K$ .

N	Descrizione	Spessore m	coeff $\lambda=W/mK$
1	Intonaco tradizionale	0,015	0,9
2	Solaio latero cemento	0,2	0,72
3	Massetto alleggerito per impianti	0,05	0,05
4	Massetto per posa pavimento	0,05	0,29

Spessore solaio 0,32 m

Trasmittanza solaio  $U= 1,62 W/m^2K$



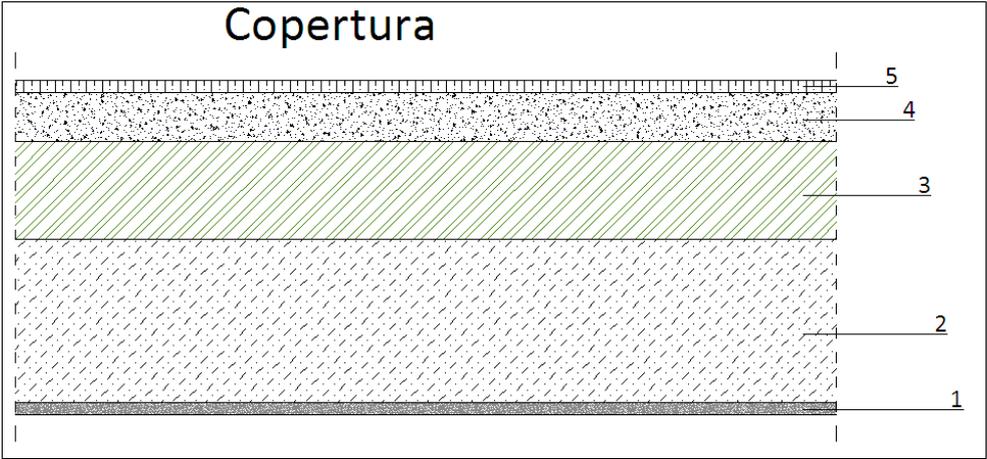
La copertura è composta da un solaio in latero cemento per la funzione portante, lana di roccia per isolamento. Ancora sopra massetto in calcestruzzo e manto impermeabile. Lo spessore complessivo è di 40 cm per avere un valore di trasmittanza pari a 0,24 W/m<sup>2</sup>K. La stessa trasmittanza è realizzata nella copertura di legno ma con spessore molto più elevata perché realizzata a falde con travi.

N	Descrizione	Spessore m	coeff $\lambda=W/mK$
1	Intonaco tradizionale	0,015	0,9
2	Solaio latero cemento	0,2	0,72
3	Lana di rocia	0,14	0,04
4	Massetto in calcestruzzo	0,05	0,45
5	Manto impermeabile	0,0025	0,18

Spessore copertura 0,4 m

Trasmittanza solaio U = 0,24 W/m<sup>2</sup>K

# Copertura



## *12.2.1 Assegnazioni risultati dell'edificio residenziale in laterizio*

Qui sono rappresentati gli impatti ambientali causati dai materiali costituenti l'edificio in laterizio e di seguito si ha il calcolo globale degli indicatori.

### **Dati generali del progetto**

Tipo lavoro : Nuova costruzione

Vita utile : 50 anni

Categoria edificio : E.1.1 - Edificio adibito a residenza con occupazione continuativa

Località : Zero Branco

Provincia : TV

Superficie lorda :	235,00 m <sup>2</sup>	Superficie netta :	191,00 m <sup>2</sup>
Superficie utile :	187,00 m <sup>2</sup>	Superficie aggiuntiva :	44,00 m <sup>2</sup>
Volume lordo :	1.328,00 m <sup>3</sup>	Coefficiente di forma :	0,18 m <sup>-1</sup>
Ricambi orari :	0,50 m <sup>2</sup>	Temperatura interna invernale :	20,00 °C
Generatori :	Singolo	Carichi estivi gestiti :	No

OI(tgh)AP :	100,000	OI(tgh)GWP :	97,054
OI(tgh)PEI(ne) :	100,000	OI3(tgh) :	98,028
OI3S(tgh) :	52,077	OI3(tgh)-I(c) :	9,138
OI3(tgh)-BGF :	11,411	OI3S(tgh)-I(c) :	4,855
OI3S(tgh)-BGF :	6,062		

<b>Calcestruzzo per pavimento</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
1.1	Acidification	4.756	Kg SO2 Eq.
1.2	Consumi energetici rinnovabili	0	MJ
1.3	Consumi energetici non rinnovabili	9280	MJ
1.4	Global warming	1508	Kg CO2 Eq.
1.5	Eutrophixation	0.58	Kg PO4 Eq.
1.6	Photo oxidation	0.116	Kg C2H2

<b>Elemento cavo di mattoni con calcestruzzo di copertura</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
2.1	Acidification	47.524022	Kg SO2 Eq.
2.2	Consumi energetici non rinnovabili	117182.52	MJ
2.3	Global warming	12369.266	Kg CO2 Eq.
2.4	Consumi energetici rinnovabili	0	MJ
2.5	Eutrophixation	3.906084	Kg PO4 Eq.
2.6	Photo oxidation	0.651014	Kg C2H2

Sia calcestruzzo per pavimento che l'elemento cavo di mattoni con calcestruzzo di copertura utilizzano solo energie e risorse non rinnovabili.

<b>Mattone intramurario</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
3.1	Consumi energetici rinnovabili	4303	MJ
3.2	Consumi energetici non rinnovabili	21515	MJ
3.3	Acidification	4.64724	Kg SO2 Eq.
3.4	Photo oxidation	0.17212	Kg C2H2
3.5	Global warming	1635.14	Kg CO2 Eq.
3.6	Eutrophixation	0.4303	Kg PO4 Eq.

<b>Freno del vapore</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
4.1	Global warming	1046.15	Kg CO2 Eq.
4.2	Consumi energetici rinnovabili	1474.9	MJ
4.3	Photo oxidation	5.7281	Kg C2H2
4.4	Acidification	9.7412	Kg SO2 Eq.
4.5	Eutrophixation	0.38073	Kg PO4 Eq.
4.6	Consumi energetici non rinnovabili	34574.4	MJ

<b>Lana di roccia con colla e tassello 30-35 cm.</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
5.1	Global warming	10799.222	Kg CO2 Eq.
5.2	Consumi energetici rinnovabili	3233.3	MJ
5.3	Consumi energetici non rinnovabili	147438.48	MJ
5.4	Eutrophixation	3.039302	Kg PO4 Eq.
5.5	Acidification	68.22263	Kg SO2 Eq.
5.6	Photo oxidation	1.034656	Kg C2H2

<b>Intonaco di calce</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
6.1	Consumi energetici rinnovabili	1436.4	MJ
6.2	Consumi energetici non rinnovabili	37107	MJ
6.3	Eutrophixation	0.4788	Kg PO4 Eq.
6.4	Acidification	5.5062	Kg SO2 Eq.
6.5	Photo oxidation	0.2394	Kg C2H2
6.6	Global warming	4548.6	Kg CO2 Eq.

<b>Lana di roccia 33 kg/m3</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
7.1	Consumi energetici rinnovabili	218.625	MJ
7.2	Consumi energetici non rinnovabili	9706.95	MJ
7.3	Eutrophixation	0.1967625	Kg PO4 Eq.
7.4	Acidification	4.503675	Kg SO2 Eq.
7.5	Photo oxidation	0.0655875	Kg C2H2
7.6	Global warming	699.6	Kg CO2 Eq.

<b>Mattone traforato</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
8.1	Consumi energetici rinnovabili	39760	MJ
8.2	Consumi energetici non rinnovabili	198800	MJ
8.3	Eutrophixation	3.976	Kg PO4 Eq.
8.4	Acidification	42.9408	Kg SO2 Eq.
8.5	Photo oxidation	1.5904	Kg C2H2
8.6	Global warming	15108.8	Kg CO2 Eq.

<b>Calcestruzzo leggero</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
9.1	Consumi energetici non rinnovabili	72192	MJ
9.2	Eutrophixation	1.6896	Kg PO4 Eq.
9.3	Acidification	57.1392	Kg SO2 Eq.
9.4	Photo oxidation	4.1472	Kg C2H2
9.5	Global warming	6758.4	Kg CO2 Eq.
9.6	Consumi energetici rinnovabili	1536	MJ

Grazie all'utilizzo di mattoni forati anziché di cemento armato i valori non sono elevati, con valori bassi soprattutto riguardo Photo oxidation-

- Calcolo globale degli indicatori

<b>Emissioni IBO</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
1.1	Consumi energetici non rinnovabili	647796.35	MJ
1.2	Consumi energetici rinnovabili	51962.225	MJ
1.3	Global warming	54473.178	Kg CO2 Eq.
1.4	Photo oxidation	13.7444775	Kg C2H2
1.5	Acidification	244.980967	Kg SO2 Eq.
1.6	Eutrophixation	14.6775785	Kg PO4 Eq.

I valori sono tutti leggermente minori rispetto all'edificio di legno, ma nell'ordine delle unità o decine, tuttavia si ha grande differenza per quanto riguarda l'emissione di anidride carbonica, nell'ordine delle decine di migliaia.

### *12.3 Confronto dell'edificio residenziale*

Vengono di seguito confrontati i risultati degli indicatori globali calcolati precedentemente. Il raffronto è rappresentato come percentuali dei sei indicatori globali.

**Progetto base:**

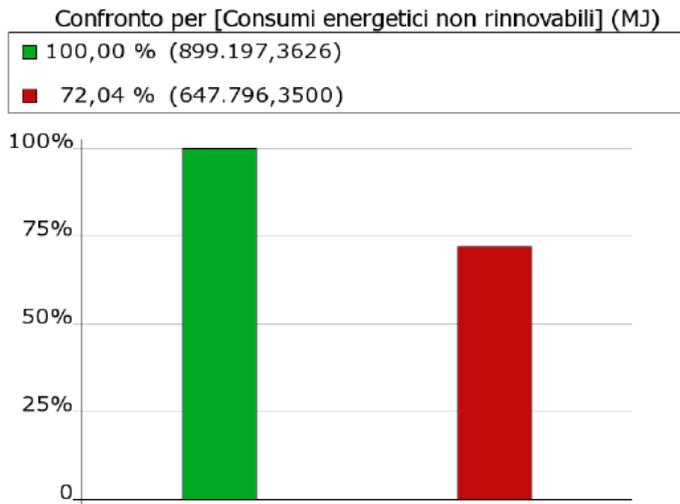


EDIFICIO RESIDENZIALE IN LEGNO

**Progetti confrontati:**

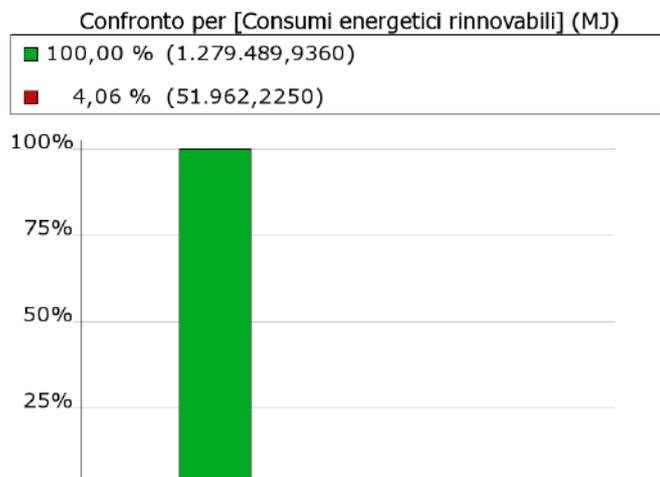


EDIFICIO RESIDENZIALE IN LATERIZIO

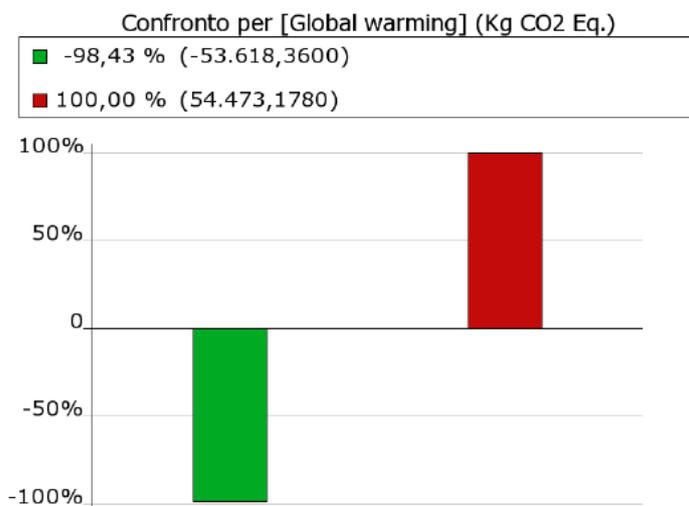


Il 100% indicato nella colonna dell'edificio in legno indica il valore raggiunto da quest'ultimo e in base a questo si rapportano i MJ consumati nell'edificio in laterizio. Il valore risulta maggiore nell'edificio in legno perché si tratta solo dei materiali utilizzati, la situazione potrebbe essere diversa se fosse

conteggiata anche la costruzione dell'edificio che è sicuramente meno dispendiosa.

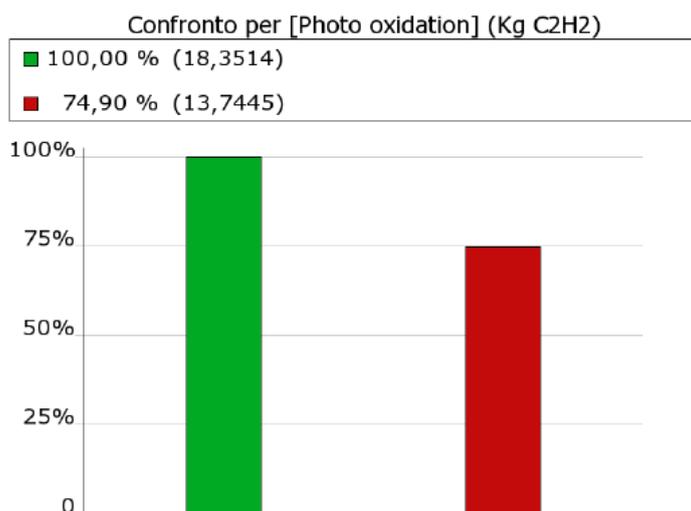


I consumi energetici rinnovabili sono ovviamente molto sbilanciati dalla parte della struttura lignea poiché nell'indicatore è considerato anche il legno.



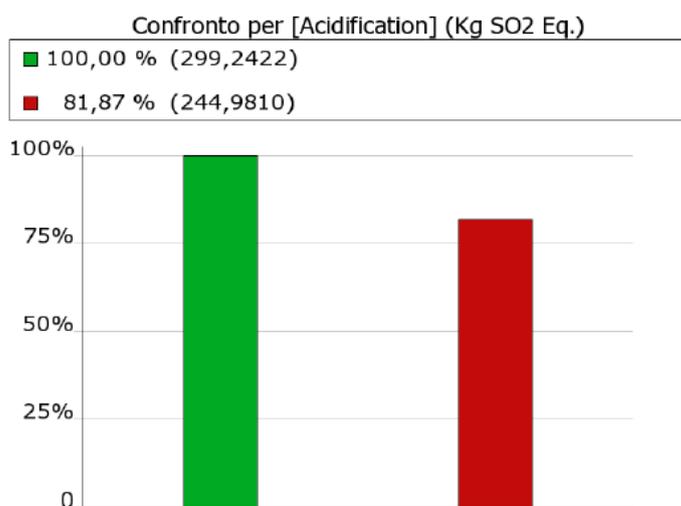
Il Global warming è il dato più significativo, l'unico per molto tempo ad essere tenuto in considerazione. In questo caso la differenza è netta l'edificio in legno non solo non immette CO<sub>2</sub> ma addirittura ne assorbe. Si nota che la quantità assorbita durante la crescita dell'albero è di poco minore rispetto a quella

emessa per la produzione dei materiali utilizzati dalla struttura in laterizio.



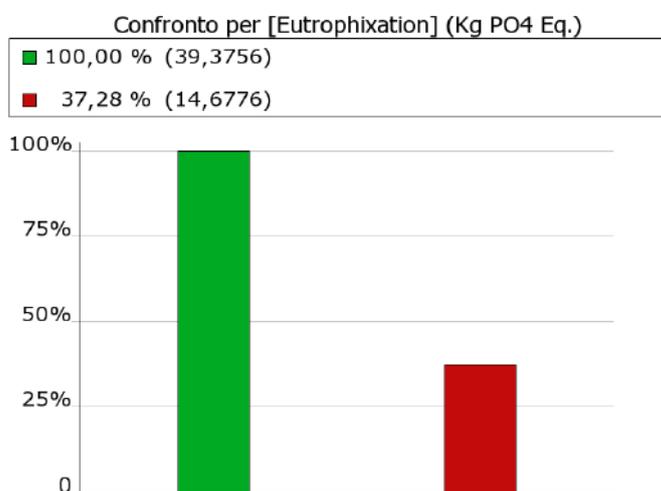
La differenza fra i due valori nonostante dal grafico sembri notevole è di soli 4,6 Kg C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>.

I materiali presenti nell'edificio di legno che incidono maggiormente su questo indicatore sono il freno vapore e i pannelli di cartongesso.



Anche in questo l'emissione di SO<sub>2</sub> è maggiore per l'edificio ligneo ma per valori esigui.

I materiali che nell'edificio di legno che incidono su questo indicatore sono per la maggior parte i pannelli in fibra di legno a causa delle colle utilizzate.



Un valore è così alto da parte della struttura lignea è causato dalla natura propria del materiale legno che contribuisce alla produzione di biomassa.



## 13. Secondo confronto

Di seguito il confronto avverrà partendo da un edificio pubblico, un asilo nido. Prima viene descritta la struttura realizzata in legno successivamente il progetto equivalente in laterizio. Seguirà quindi il confronto degli indicatori globali degli edifici.

### *13.1 Asilo nido con struttura in legno*

Questo progetto è quello utilizzato da Treviso x l'Aquila, che ha lo scopo di donare un asilo nido al comune di Poggio Picenze (AQ). Un comune che fa parte di un comprensorio di cinque località e che a causa del sisma ha perso completamente l'edificio pre-esistente.

Quest'asilo è progettato per ospitare quaranta bambini di un'età compresa tra i tre mesi e i tre anni, prevede una struttura di elevato livello qualitativo dove ovviamente saranno rispettati tutti i requisiti di sicurezza e antisismicità e compatibilità con i moderni parametri di sostenibilità ambientale e di risparmio energetico.



Fig. 13.1.1 Foto Asilo do Poggio Pienze, [www.servicelegno.it](http://www.servicelegno.it)

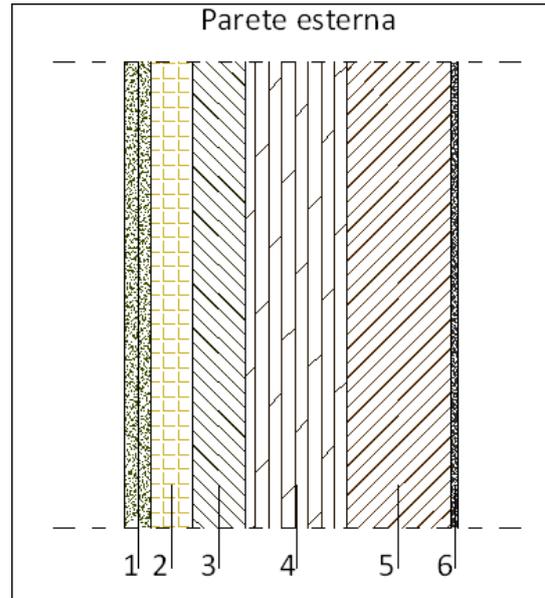
Il cordolo di base è realizzato in travatura di legno lamellare di larice fissato alla platea con idonei tasselli, impermeabilizzando con guaina sulla faccia inferiore a contatto con il calcestruzzo, il tutto a protezione delle pareti. Il fissaggio della parete stessa è fatto mediante staffe di acciaio zincato alla platea ed ai cordoli.

La parete esterna portante è composta da una parete non a vista costituite da pannelli in multistrato di abete rosso. Questi sono realizzati sovrapponendo e incollando a strati incrociati tavole di legno, lo spessore complessivo è di 97 mm con tre strati. L'isolamento termico continuo sulle pareti esterne è costituito da pannelli rigidi in lana di roccia di spessore 100 mm. L'isolamento alla base della parete è composto da pannelli di polistirene di densità  $30 \text{ Kg/m}^3$  posizionato su tutto il perimetro fino a 50 cm da terra per uno spessore 100mm. Il rivestimento interno delle pareti portanti è costituito da pannelli in lana di legno dello spessore di 50 mm fissati alla struttura in legno con apposita ferramenta, si hanno poi dei montanti tra i quali si ha lana di roccia, ancora più verso l'interno vengono applicate due lastre di cartongesso.

N	Descrizione	Spessore m	coeff $\lambda=W/mK$
1	Doppia lastra di cartongesso	0,025	0,21
2	Intercapedine costituita da un'ossatura metallica e lana di roccia	0,05	0,042
3	Rivestimento del lato interno delle pareti perimetrali portanti costituito da pannelli in lana di legno	0,05	0,06
4	Pannello portante in legno massiccio	0,097	0,13
5	Cappotto esterno in lana di roccia	0,10	0,03
6	Intonaco	0,007	0,7

Spessore parete 0,33 m

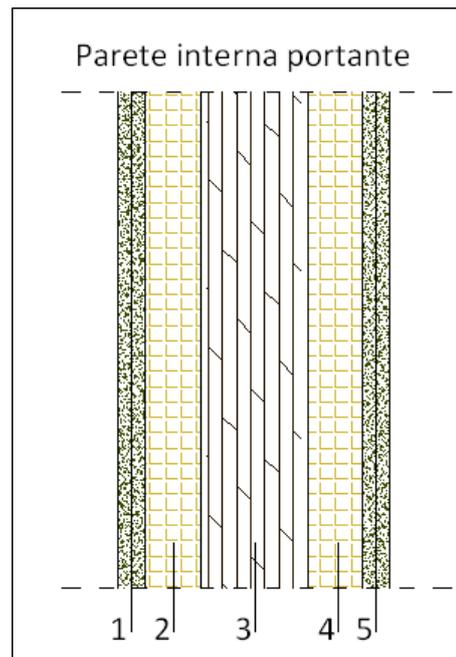
Trasmittanza parete perimetrale  $U= 0,22$   
 $W/m^2K$



Le pareti portanti interne sono sempre costituite da pannelli multistrato di abete rosso di spessore 97 mm. Da entrambi i lati si ha un'intercapedine costituita da un'ossatura metallica tra i cui montanti si ha lana di roccia, si hanno poi due lastre di cartongesso.

N	Descrizione	Spessore m	coeff $\lambda=W/mK$
1	Doppia lastra di cartongesso	0,025	0,21
2	Intercapedine costituita da un'ossatura metallica e lana di roccia	0,05	0,042
3	Pannello portante in legno massiccio	0,097	0,13
4	Intercapedine costituita da un'ossatura metallica e lana di roccia	0,05	0,042
5	Doppia lastra di cartongesso	0,025	0,21

Spessore parete 0,25 m  
Trasmittanza parete  $U= 0,28 W/m^2K$

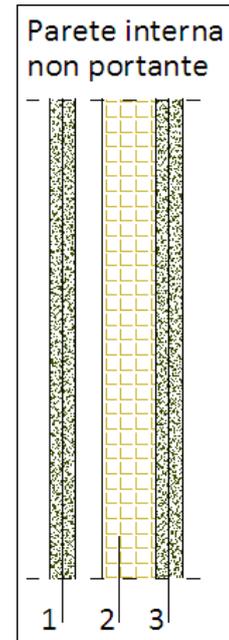


Le pareti divisorie sono di due tipi costituite in modo quasi identico, cambia lo spessore dell'ossatura metallica con l'interposizione di lana di roccia, nel primo caso ha spessore 75 mm del secondo 100 mm. Tutte poi sono ricoperte su entrambi i lati da due lastre in cartongesso.

N	Descrizione	Spessore m	coeff $\lambda=W/mK$
1	Doppia lastra di cartongesso	0,024	0,21
2	Intercapedine costituita da un'ossatura metallica e lana di roccia per uno spessore di 0,05 m	0,075	0,042
3	Doppia lastra di cartongesso	0,024	0,13

Spessore parete 0,125 m

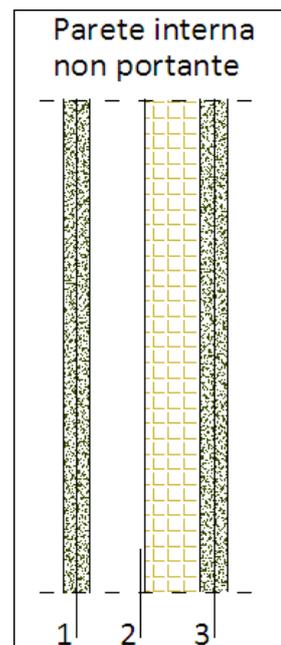
Trasmittanza parete  $U= 0,63 \text{ W/m}^2\text{K}$



N	Descrizione	Spessore m	coeff $\lambda=W/mK$
1	Doppia lastra di cartongesso	0,024	0,21
2	Intercapedine costituita da un ossatura metallica e lana di roccia per uno spessore di 0,05 m	0,1	0,042
3	Doppia lastra di cartongesso	0,024	0,13

Spessore parete 0,15 m

Trasmittanza parete  $U= 0,63 W/m^2K$



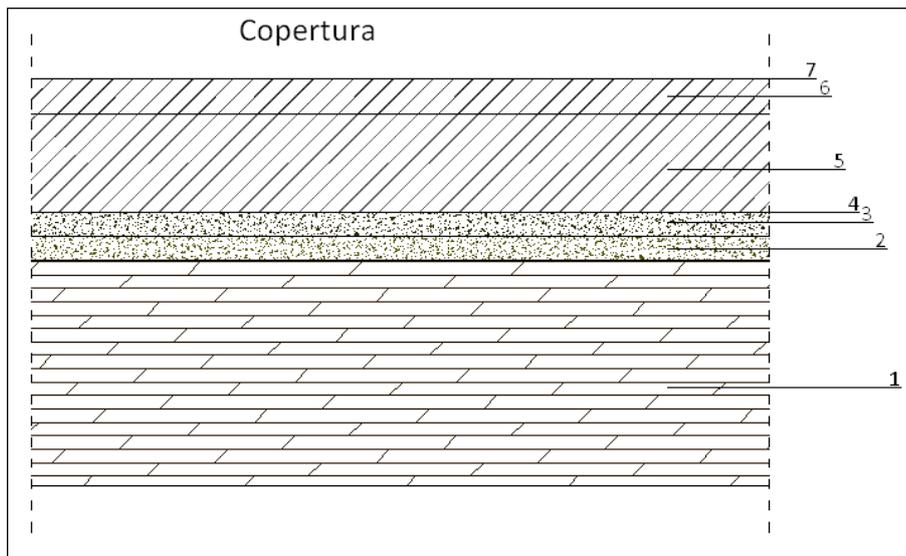
La copertura è a falda inclinata, composta di travature principali e secondarie in legno lamellare di abete rosso. Le perline in abete rosso hanno uno spessore di 34 mm. Il tutto tagliato a misura, impregnato con prodotto fungo battericida-antimuffa alle resine vegetali e Sali di boro in soluzione acquosa, esente da biocidi e derivati del petrolio. Secondo tavolato grezzo spessore 34 mm di controventatura. Si ha poi il pacchetto per copertura costituito da membrana freno al vapore, isolamento in pannelli di fibra di lana di roccia di spessore 140mm e pannello in lana di legno mineralizzata spessore 50mm per chiusura doppia guaina, la prima adesiva la seconda a fiamma.

N	Descrizione	Spessore m	coeff $\lambda=W/mK$
1	Travi in legno lamellare	0,16x0,32	0,13
2	Perline a vista	0,034	0,13
3	Tavolato incrociato	0,034	0,13

4	Barriere o freno vapore	0,0025	0,15
5	Lana di roccia	0,14	0,03
6	Cenelit N	0,05	0,06
7	Doppia guaina	0,004	0,15

Spessore copertura 0,58 m

Trasmittanza copertura  $K = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$



### 13.1.1 Assegnazione risultati dell'asilo nido in legno

Sono di seguito riportati i risultati degli indicatori dei materiali utilizzati per realizzare l'Asilo di Poggio Picenze (AQ) e il calcolo complessivo degli impatti.

#### Dati generali del progetto

Tipo lavoro : Nuova costruzione

Vita utile : 50 anni

Categoria edificio : E.7 - Edificio adibito ad attività scolastiche e tutti i livelli od assimilabili

Località : Poggio Picenze

Provincia : AQ

Superficie lorda :	448,00 m <sup>2</sup>	Superficie netta :	398,00 m <sup>2</sup>
Superficie utile :	391,00 m <sup>2</sup>	Superficie aggiuntiva :	50,00 m <sup>2</sup>
Volume lordo :	1.245,00 m <sup>3</sup>	Coefficiente di forma :	0,36 m <sup>-1</sup>
Ricambi orari :	1,00 m <sup>2</sup>	Temperatura interna invernale :	21,00 °C
Generatori :	Singolo	Carichi estivi gestiti :	No

Ol(tgh)AP :	100,000	Ol(tgh)GWP :	31,364
Ol(tgh)PEI(ne) :	100,000	Ol3(tgh) :	76,350
Ol3S(tgh) :	40,561	Ol3(tgh)-I(c) :	8,515
Ol3(tgh)-BGF :	4,838	Ol3S(tgh)-I(c) :	4,524
Ol3S(tgh)-BGF :	2,570		

<b>Freno del vapore</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
1.1	Consumi energetici non rinnovabili	167932.8	MJ
1.2	Eutrophixation	1.84926	Kg PO4 Eq.
1.3	Acidification	47.3144	Kg SO2 Eq.
1.4	Photo oxidation	27.8222	Kg C2H2
1.5	Global warming	5081.3	Kg CO2 Eq.
1.6	Consumi energetici rinnovabili	7163.8	MJ
1.7	Global warming	2989	Kg CO2 Eq.
1.8	Photo oxidation	16.366	Kg C2H2
1.9	Acidification	27.832	Kg SO2 Eq.
1.10	Eutrophixation	1.0878	Kg PO4 Eq.
1.11	Consumi energetici non rinnovabili	98784	MJ
1.12	Consumi energetici rinnovabili	4214	MJ

<b>pannello di carton gesso</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
2.1	Photo oxidation	0.0799	Kg C2H2
2.2	Acidification	5.1136	Kg SO2 Eq.
2.3	Consumi energetici non rinnovabili	20214.7	MJ
2.4	Consumi energetici rinnovabili	2956.3	MJ
2.5	Consumi energetici rinnovabili	5094.9	MJ
2.6	Global warming	878.9	Kg CO2 Eq.
2.7	Photo oxidation	0.1377	Kg C2H2
2.8	Acidification	8.8128	Kg SO2 Eq.
2.9	Eutrophixation	0.61965	Kg PO4 Eq.

2.10	Consumi energetici non rinnovabili	34838.1	MJ
2.11	Global warming	1514.7	Kg CO2 Eq.
2.12	Consumi energetici non rinnovabili	10752.5	MJ
2.13	Consumi energetici rinnovabili	1572.5	MJ
2.14	Consumi energetici rinnovabili	6101.3	MJ
2.15	Eutrophixation	0.19125	Kg PO4 Eq.
2.16	Acidification	2.72	Kg SO2 Eq.
2.17	Photo oxidation	0.0425	Kg C2H2
2.18	Photo oxidation	0.1649	Kg C2H2
2.19	Consumi energetici non rinnovabili	41719.7	MJ
2.20	Eutrophixation	0.74205	Kg PO4 Eq.
2.21	Acidification	10.5536	Kg SO2 Eq.
2.22	Global warming	467.5	Kg CO2 Eq.
2.23	Eutrophixation	0.35955	Kg PO4 Eq.
2.24	Global warming	1813.9	Kg CO2 Eq.

Gli ossidanti fotochimici e l'Acidificazione Potenziale in questo materiale sono elevati e derivano dalla lavorazione della fibra di cellulosa, che viene trattata con colle resinose.

<b>Pannello impermeabile in bitume polimerico</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
3.1	Photo oxidation	9.6063	Kg C2H2
3.2	Consumi energetici rinnovabili	16401	MJ
3.3	Global warming	27178.8	Kg CO2 Eq.
3.4	Acidification	170.1018	Kg SO2 Eq.
3.5	Consumi energetici non rinnovabili	1197273	MJ
3.6	Eutrophixation	10.5435	Kg PO4 Eq.

<b>Lastre di schiuma dura di poliuretano</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
4.1	Consumi energetici rinnovabili	668.8	MJ
4.2	Consumi energetici non rinnovabili	15519.2	MJ
4.3	Eutrophixation	0.2432	Kg PO4 Eq.
4.4	Acidification	10.1536	Kg SO2 Eq.
4.5	Photo oxidation	0.07296	Kg C2H2
4.6	Global warming	2082.4	Kg CO2 Eq.

<b>Pannello di fibra di legno, poroso 270 kg/m3</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
5.1	Consumi energetici rinnovabili	132848.1	MJ
5.2	Consumi energetici non rinnovabili	102942.9	MJ
5.3	Eutrophixation	3.226311	Kg PO4 Eq.
5.4	Acidification	54.86454	Kg SO2 Eq.
5.5	Photo oxidation	0.00028755	Kg C2H2
5.6	Global warming	-517.59	Kg CO2 Eq.

Come già osservato nel precedente progetto in legno tutti i materiali utilizzati a base di legno hanno bassi valori di Photo oxidation e risultati negativi di Global warming. I risultati di Acidificazione Potenziale sono abbastanza alti. Questo avviene perché le colle usate nella produzione dei pannelli di fibra hanno un alto rilascio di radicali liberi, poiché necessari nel processo di cristallizzazione della colla durante la lavorazione di pressione degli strati dei pannelli.

<b>Pannello da costruzione leggero in lana di legno fissato con magnesite</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
6.1	Acidification	70.26165	Kg SO2 Eq.
6.2	Eutrophixation	12.5064	Kg PO4 Eq.
6.3	Consumi energetici rinnovabili	76428	MJ
6.4	Photo oxidation	0.0008685	Kg C2H2
6.5	Global warming	7642.8	Kg CO2 Eq.
6.6	Consumi energetici non rinnovabili	187596	MJ

<b>Pannello di legno massiccio a 3 strati</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
7.1	Photo oxidation	0.00015984	Kg C2H2
7.2	Photo oxidation	0.00122256	Kg C2H2
7.3	Acidification	138.14928	Kg SO2 Eq.
7.4	Eutrophixation	25.36812	Kg PO4 Eq.
7.5	Consumi energetici non rinnovabili	308696.4	MJ
7.6	Consumi energetici rinnovabili	638787.6	MJ
7.7	Global warming	-31480.92	Kg CO2 Eq.
7.8	Consumi energetici rinnovabili	58687.2	MJ
7.9	Eutrophixation	3.31668	Kg PO4 Eq.
7.10	Consumi energetici non rinnovabili	40359.6	MJ
7.11	Global warming	-2892.24	Kg CO2 Eq.
7.12	Global warming	-4115.88	Kg CO2 Eq.
7.13	Photo oxidation	0.00011232	Kg C2H2
7.14	Acidification	12.69216	Kg SO2 Eq.
7.15	Eutrophixation	2.33064	Kg PO4 Eq.
7.16	Consumi energetici non rinnovabili	28360.8	MJ
7.17	Consumi energetici rinnovabili	83516.4	MJ
7.18	Acidification	18.06192	Kg SO2 Eq.

I pannelli di legno massiccio a tre strati formano la struttura portante dell'edificio e sono uno dei materiali con i valori migliori.

<b>Legno da taglio ruvido, essiccato artificialmente 500 kg/m3</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
8.1	Global warming	-12252.5	Kg CO2 Eq.
8.2	Acidification	5.8	Kg SO2 Eq.
8.3	Eutrophixation	0.5075	Kg PO4 Eq.
8.4	Consumi energetici non rinnovabili	17400	MJ
8.5	Photo oxidation	1.2325	Kg C2H2
8.6	Consumi energetici rinnovabili	156600	MJ

<b>Legno da taglio essiccato artificialmente, piallato 630 kg/m3</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
9.1	Photo oxidation	3.4713	Kg C2H2
9.2	Global warming	-15164.1	Kg CO2 Eq.
9.3	Acidification	20.2797	Kg SO2 Eq.
9.4	Eutrophixation	2.7405	Kg PO4 Eq.
9.5	Consumi energetici non rinnovabili	24664.5	MJ
9.6	Consumi energetici rinnovabili	343476	MJ

<b>Lana di roccia 150 kg/m3</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
10.1	Consumi energetici rinnovabili	2835	MJ
10.2	Eutrophixation	2.5515	Kg PO4 Eq.
10.3	Acidification	58.401	Kg SO2 Eq.
10.4	Photo oxidation	0.8505	Kg C2H2
10.5	Global warming	9072	Kg CO2 Eq.
10.6	Consumi energetici rinnovabili	4473	MJ
10.7	Consumi energetici non rinnovabili	125874	MJ
10.8	Consumi energetici non rinnovabili	198601.2	MJ
10.9	Eutrophixation	4.0257	Kg PO4 Eq.
10.10	Acidification	92.1438	Kg SO2 Eq.
10.11	Photo oxidation	1.3419	Kg C2H2
10.12	Global warming	14313.6	Kg CO2 Eq.

Lana di roccia 33 kg/m3			
	Elemento	Quantità	U.M.
11.1	Global warming	137.28	Kg CO2 Eq.
11.2	Consumi energetici non rinnovabili	11868.12	MJ
11.3	Consumi energetici rinnovabili	267.3	MJ
11.4	Global warming	242.88	Kg CO2 Eq.
11.5	Photo oxidation	0.02277	Kg C2H2
11.6	Acidification	1.56354	Kg SO2 Eq.
11.7	Eutrophixation	0.06831	Kg PO4 Eq.
11.8	Consumi energetici non rinnovabili	3369.96	MJ
11.9	Consumi energetici rinnovabili	75.9	MJ
11.10	Consumi energetici rinnovabili	42.89999999999999	MJ
11.11	Consumi energetici non rinnovabili	1904.7599999999999	MJ
11.12	Eutrophixation	0.03861	Kg PO4 Eq.
11.13	Acidification	0.88374	Kg SO2 Eq.
11.14	Eutrophixation	0.24057	Kg PO4 Eq.
11.15	Acidification	5.50638	Kg SO2 Eq.
11.16	Photo oxidation	0.01287	Kg C2H2
11.17	Photo oxidation	0.08019	Kg C2H2
11.18	Acidification	6.56007	Kg SO2 Eq.
11.19	Consumi energetici rinnovabili	318.44999999999999	MJ
11.20	Consumi energetici non rinnovabili	14139.179999999999	MJ
11.21	Eutrophixation	0.286605	Kg PO4 Eq.
11.22	Photo oxidation	0.095535	Kg C2H2
11.23	Global warming	1019.04	Kg CO2 Eq.
11.24	Global warming	855.36	Kg CO2 Eq.

La quantità di lana di roccia utilizzata, la quale non ha risultati particolarmente buoni, incide sui valori globali dell'edificio soprattutto per quanto riguarda il Global warming.

Intonaco silicato			
	Elemento	Quantità	U.M.
12.1	Consumi energetici rinnovabili	1176.12	MJ
12.2	Consumi energetici non rinnovabili	19192.14	MJ
12.3	Eutrophixation	0.32076	Kg PO4 Eq.
12.4	Acidification	7.16364	Kg SO2 Eq.
12.5	Photo oxidation	0.2673	Kg C2H2
12.6	Global warming	1176.12	Kg CO2 Eq.

Si nota un elevato valore di Acidificazione potenziale causato dall'intonaco. Questo si ha per la facilità con cui questo materiale a contatto con gli agenti atmosferici rilascia radicali liberi, questa deperibilità è necessaria per aumentare la resistenza alle piogge.

- Calcolo globale degli indicatori

Emissioni IBO			
	Elemento	Quantità	U.M.
1.1	Consumi energetici non rinnovabili	2672003.56	MJ
1.2	Consumi energetici rinnovabili	1543704.57	MJ
1.3	Global warming	10042.35	Kg CO2 Eq.
1.4	Photo oxidation	61.66997577	Kg C2H2
1.5	Acidification	774.93322	Kg SO2 Eq.
1.6	Eutrophixation	73.164466	Kg PO4 Eq.

I risultati così alti sono dovuti alla dimensione dell'edificio, un asilo nido che deve contenere quaranta bambini. Importante notare che la CO<sub>2</sub> assorbita dai materiali lignei non basta a portare a zero le emissioni per la produzione degli altri materiali. Questo anche a causa dei Km di trasporto che in questo caso sono molti perché è una struttura regalata al comune di Poggio Pienze dopo il terremoto dell'aprile 2009 infatti i materiali arrivano dalle aziende che generosamente hanno offerto il loro aiuto.

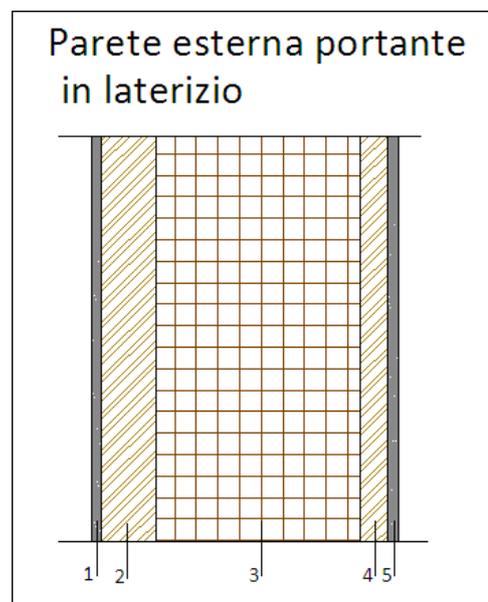
## 13.2 Progetto equivalente: asilo nido in laterizio

Come il precedente caso analizzato si ha il progetto equivalente rispetto l'Asilo nido sopra esposto. Vengono considerate le stesse forme, dimensioni, superfici e volumi per rendere più oggettivo il confronto. Si avrà l'involucro con le identiche caratteristiche di isolamento termico mentre le parti interne sono progettate secondo criteri tradizionali. Le pareti perimetrali sono costituite esternamente da un isolamento a cappotto in lana di roccia. La struttura portante è costituita da mattoni forati dello spessore di 30 cm. All'interno si ha un'intercapedine realizzata con ossatura metallica con interposizione di lana di roccia. La parete raggiunge una trasmittanza pari a  $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$  con uno spessore di 46 cm mentre per la struttura in legno servono solamente 33 m di spessore.

N	Descrizione	Spessore m	coeff $\lambda=\text{W/mK}$
1	Intonaco esterno	0,015	0,9
2	Isolamento cappotto in lana di roccia	0,08	0,04
3	Mattone forato porizzato	0,3	0,25
4	Intercapedine con ossatura metallica e lana di roccia	0,05	0,04
5	Intonaco interno	0,015	0,9

Spessore parete 0,46 m

Trasmittanza parete  $U= 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$



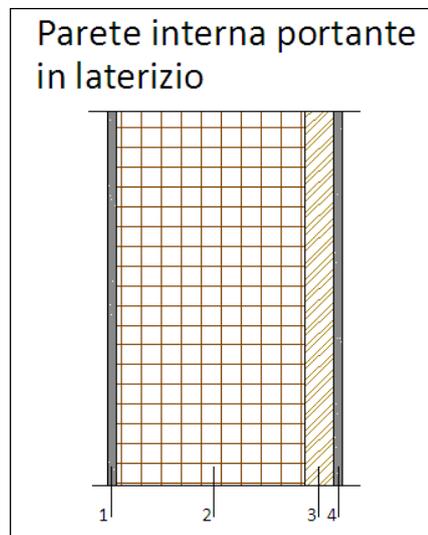
Le pareti portanti interne sono sempre costituite da un mattone forato dello spessore di 30 cm. Su un lato viene posta un'intercapedine che permette il passaggio degli impianti, composta da un'ossatura metallica e interposizione di lana di roccia. Si costituisce cos'

uno spessore di 38 cm avente trasmittanza pari a  $0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Nella struttura di legno le pareti portanti hanno spessore di 25 cm e trasmittanza  $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

N	Descrizione	Spessore m	coeff $\lambda = \text{W/mK}$
1	intonaco esterno	0,015	0,9
2	Mattone forato porizzato	0,3	0,25
3	Intercapedine costituita da un ossatura metallica e lana di roccia	0,05	0,04
4	Intonaco esterno	0,015	0,9

Spessore parete 0,38 m

Trasmittanza parete  $K = 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$

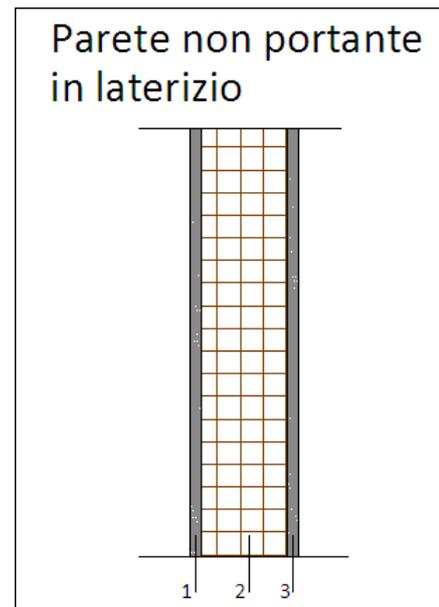


Le pareti divisorie interne sono costruite utilizzando semplicemente mattoni forati dello spessore di 12 cm e predisposti per l'eventuale passaggio d'impianti. Mentre la struttura di legno a parità di spessore ha una trasmittanza di  $0,63 \text{ W/m}^2\text{K}$ , in questo modo non solo si ha un migliore isolamento termico ma anche acustico.

N	Descrizione	Spessore m	coeff $\lambda=W/mK$
1	Intonaco	0,015	0,7
2	Mattone forato porizzato	0,12	0,22
3	intonaco	0,015	0,7

Spessore parete 0,15 m

Trasmittanza parete U 1,31W/m<sup>2</sup>K



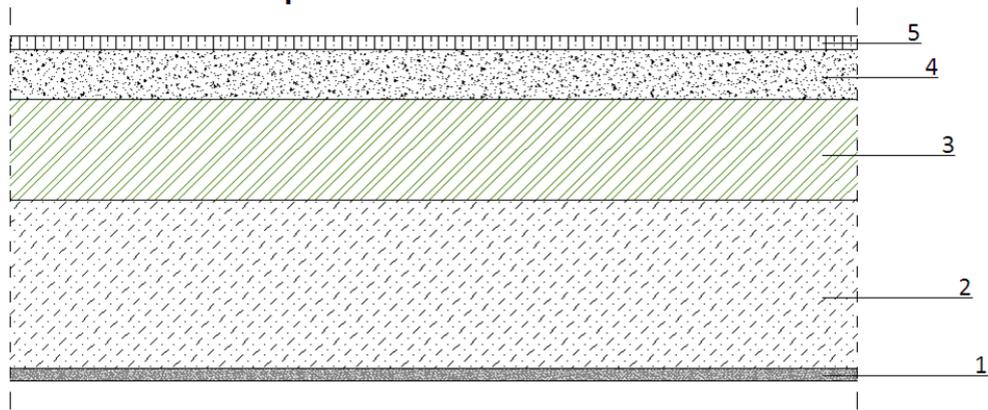
La copertura è costituita da un solaio in latero cemento di spessore 20 cm, l'isolamento si realizza grazie a pannelli di lana di roccia. Al di sopra viene posto un massetto in calcestruzzo e un manto impermeabile su cui vengono posti a coppi. Complessivamente la trasmittanza risulta 0,24 W/m<sup>2</sup>K con uno spessore complessivo di 40 cm.

N	Descrizione	Spessore m	coeff $\lambda=W/mK$
1	Intonaco tradizionale	0,015	0,9
2	Solaio latero cemento	0,2	0,72
3	Lana di roccia	0,14	0,04
4	Massetto in calcestruzzo	0,05	0,45
5	Manto impermeabile	0,0025	0,18

Spessore copertura 0,4 m

Trasmittanza solaio K = 0,24 W/m<sup>2</sup>K

# Copertura



### 13.2.1 Assegnazione risultati dell'asilo nido in laterizio

Vengono espressi i valori determinanti l'impatto ambientale causato dai materiali utilizzati nel progetto sopra spiegato.

#### Dati generali del progetto

Tipo lavoro : Nuova costruzione

Vita utile : 50 anni

Categoria edificio : E.7 - Edificio adibito ad attività scolastiche e tutti i livelli od assimilabili

Località : Poggio Picenze

Provincia : AQ

Superficie lorda :	448,00 m <sup>2</sup>	Superficie netta :	398,00 m <sup>2</sup>
Superficie utile :	391,00 m <sup>2</sup>	Superficie aggiuntiva :	50,00 m <sup>2</sup>
Volume lordo :	1.245,00 m <sup>3</sup>	Coefficiente di forma :	0,36 m <sup>-1</sup>
Ricambi orari :	1,00 m <sup>2</sup>	Temperatura interna invernale :	21,00 °C
Generatori :	Singolo	Carichi estivi gestiti :	No

OI(tgh)AP :	97,319	OI(tgh)GWP :	79,099
OI(tgh)PEI(ne) :	87,105	OI3(tgh) :	86,963
OI3S(tgh) :	46,199	OI3(tgh)-I(c) :	9,698
OI3(tgh)-BGF :	5,511	OI3S(tgh)-I(c) :	5,152
OI3S(tgh)-BGF :	2,928		

<b>Calcestruzzo</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
1.1	Consumi energetici non rinnovabili	2802	MJ
1.2	Eutrophixation	0.175125	Kg PO4 Eq.
1.3	Acidification	1.5411	Kg SO2 Eq.
1.4	Photo oxidation	0.035025	Kg C2H2
1.5	Global warming	525.375	Kg CO2 Eq.
1.6	Consumi energetici rinnovabili	0	MJ

<b>Elemento cavo di mattoni con calcestruzzo di copertura</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
2.1	Photo oxidation	1.085448	Kg C2H2
2.2	Acidification	79.237704	Kg SO2 Eq.
2.3	Eutrophixation	6.512688	Kg PO4 Eq.
2.4	Consumi energetici non rinnovabili	195380.64	MJ
2.5	Consumi energetici rinnovabili	0	MJ
2.6	Global warming	20623.512	Kg CO2 Eq.

Per entrambi i materiali precedenti consumano solamente energie e risorse non rinnovabili, un dato da non sottovalutare.

<b>Mattone intramurario</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
3.1	Consumi energetici rinnovabili	5850	MJ
3.2	Consumi energetici non rinnovabili	29250	MJ
3.3	Eutrophixation	0.585	Kg PO4 Eq.
3.4	Acidification	6.318	Kg SO2 Eq.
3.5	Photo oxidation	0.234	Kg C2H2
3.6	Global warming	2223	Kg CO2 Eq.

<b>Freno del vapore</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
4.1	Consumi energetici rinnovabili	4508.979999999999	MJ
4.2	Consumi energetici non rinnovabili	105698.87999999999	MJ
4.3	Eutrophixation	1.163946	Kg PO4 Eq.
4.4	Acidification	29.780239999999999	Kg SO2 Eq.
4.5	Photo oxidation	17.511619999999999	Kg C2H2
4.6	Global warming	3198.2299999999999	Kg CO2 Eq.

<b>Lana di roccia con colla e tassello 30-35 cm.</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
5.1	Global warming	23141.19	Kg CO2 Eq.
5.2	Consumi energetici rinnovabili	6928.5	MJ
5.3	Photo oxidation	2.21712	Kg C2H2
5.4	Acidification	146.19135	Kg SO2 Eq.
5.5	Consumi energetici non rinnovabili	315939.6	MJ
5.6	Eutrophixation	6.51279	Kg PO4 Eq.

<b>Intonaco di calce</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
6.1	Global warming	7514.5	Kg CO2 Eq.
6.2	Photo oxidation	0.3955	Kg C2H2
6.3	Acidification	9.0965	Kg SO2 Eq.
6.4	Eutrophixation	0.791	Kg PO4 Eq.
6.5	Consumi energetici non rinnovabili	61302.5	MJ
6.6	Consumi energetici rinnovabili	2373	MJ

<b>Lana di roccia 33 kg/m3</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
7.1	Consumi energetici rinnovabili	478.5	MJ
7.2	Photo oxidation	0.14355	Kg C2H2
7.3	Acidification	9.8571	Kg SO2 Eq.
7.4	Global warming	1531.2	Kg CO2 Eq.
7.5	Eutrophixation	0.43065	Kg PO4 Eq.
7.6	Consumi energetici non rinnovabili	21245.4	MJ

<b>Mattone traforato</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
8.1	Photo oxidation	2.80112	Kg C2H2
8.2	Global warming	26610.64	Kg CO2 Eq.
8.3	Consumi energetici rinnovabili	70028	MJ
8.4	Consumi energetici non rinnovabili	350140	MJ
8.5	Eutrophixation	7.0028	Kg PO4 Eq.
8.6	Acidification	75.63024	Kg SO2 Eq.

- Calcolo globale degli indicatori

<b>Emissioni IBO</b>			
	<b>Elemento</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>
1.1	Consumi energetici non rinnovabili	1081759.02	MJ
1.2	Consumi energetici rinnovabili	90166.98	MJ
1.3	Global warming	85367.647	Kg CO2 Eq.
1.4	Photo oxidation	24.4233829999999	Kg C2H2
1.5	Acidification	357.652234	Kg SO2 Eq.
1.6	Eutrophixation	23.173999	Kg PO4 Eq.

Sono valori buoni considerata la grandezza dell'edificio ed in relazione alla struttura in legno.

### 13.3 Confronto asilo nido

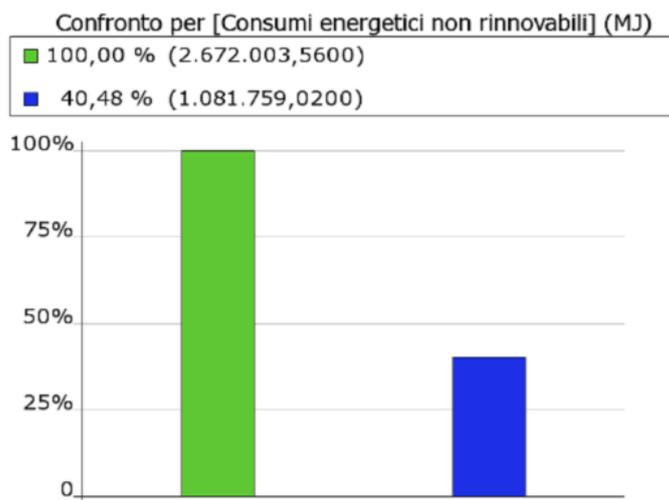
Di seguito vengono valutate le differenze tra i due progetti in base ai sei indicatori presi in considerazione dal programma LCÆDIL.

#### Progetto base:

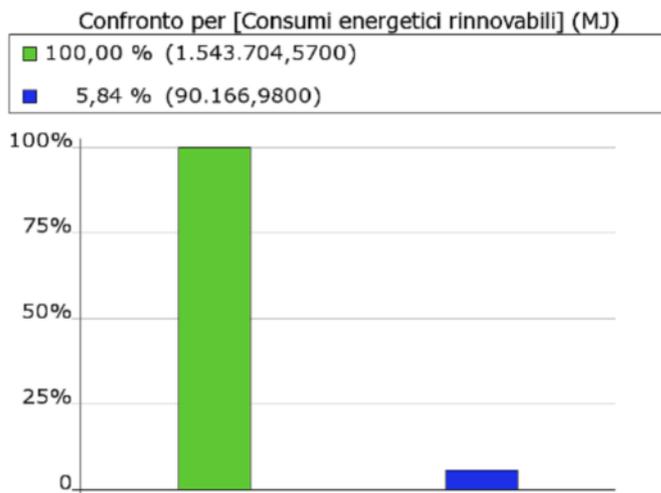
 ASILO CON STRUTTURA IN LEGNO

#### Progetti confrontati:

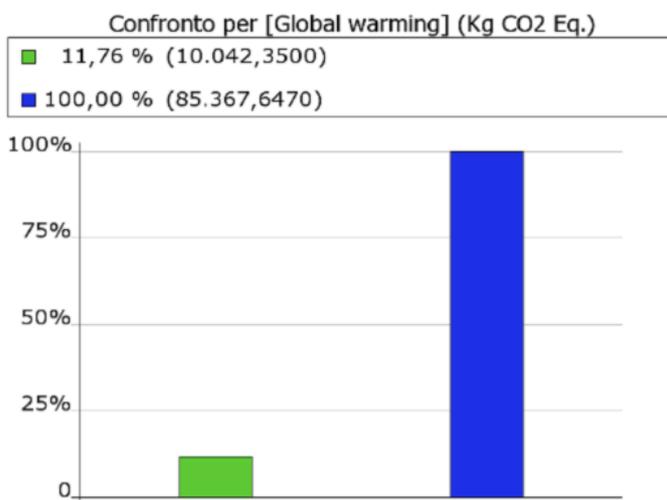
 ASILO CON STRUTTURA IN LATERIZIO



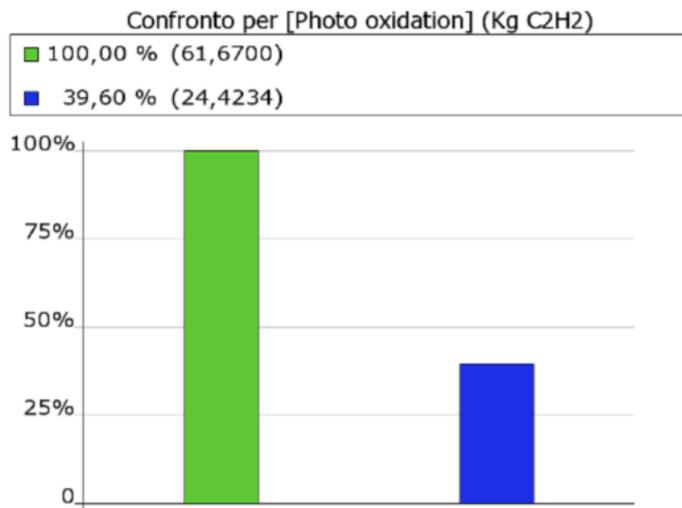
I dati in percentuale indicano 100% al valore massimo dell'edificio di legno. In questo caso in dispendio di energie e risorse non rinnovabili è due volte quello necessario per la produzione dei materiali per la struttura in laterizio.



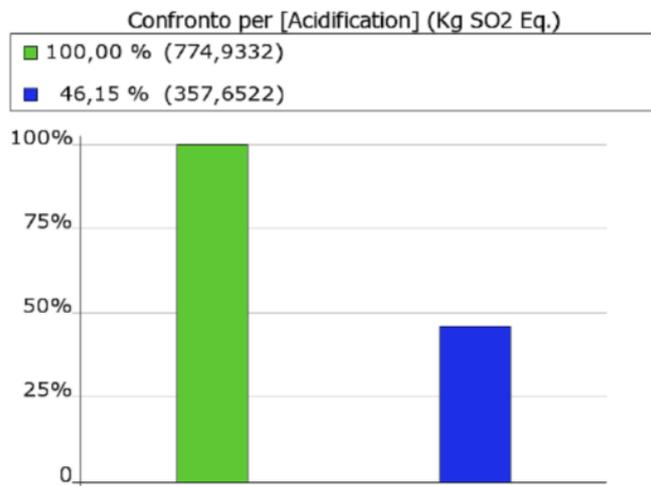
Da questo grafico s'intuisce che le risorse utilizzate per l'edificio di legno sono per la maggior parte rinnovabili. Il risultato è elevato perché tra le energie rinnovabili è compreso il legno.



Qui si ha la differenza più grande, proprio nell'indicatore che per molto tempo è stato l'unico considerato ossia le emissioni di anidride carbonica. In questo caso l'edificio di legno emette 1/8 dell'anidride carbonica rispetto a quella emessa dalla struttura in laterizio.

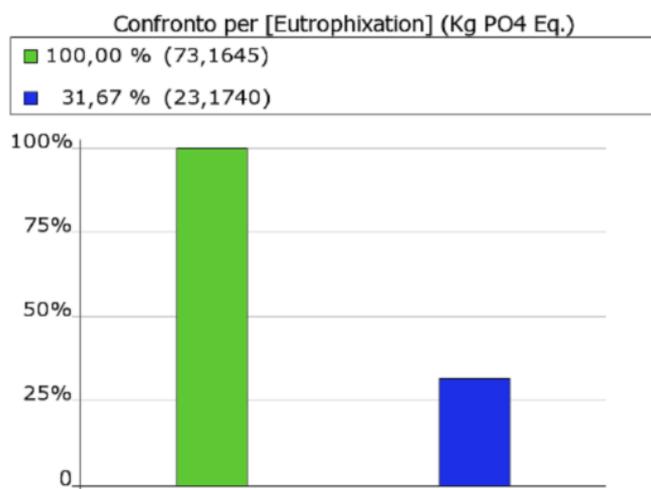


Questo valore indica l'ozono prodotto dalla reazione fotochimica. E questo valore è elevato da parte della struttura lignea a causa di materiali come freno vapore e il pannello impermeabile di bitume polimerico.



Anche l'emissione di SO<sub>2</sub> data dall'asilo di legno è doppia rispetto a quella causata dalla struttura in laterizio.

Nell'edificio in legno incidono i pannelli in cartongesso e la lana di roccia.



L'emissione di PO<sub>4</sub> dell'edificio in legno risulta molto maggiore rispetto al risultato dato dall'asilo costruito in laterizio.



## 14. Conclusioni

LCÆDIL è un programma di facile utilizzo e velocità di calcolo e di confronto. Nei progetti visti sopra i risultati hanno evidenziato valori molto differenti per il GWP (Global Warming Potential); indica i Kg di CO<sub>2</sub> equivalenti liberati dai materiali che compongono la struttura. Il valore negativo conseguito dagli edifici di legno si realizza grazie al materiale che durante la sua formazione assorbe e trattiene l'anidride carbonica durante tutto il ciclo di vita. Viene così dimostrato che durante l'esbosco e le lavorazioni non si hanno significative emissioni.

Per quanto riguarda i consumi energetici risultano sempre maggiori nel edificio in legno. Nel caso di energie rinnovabili la differenza è notevole perché all'interno dell'indice è considerato anche il legno, materiale base negli edifici in legno.

Gli altri indicatori, AP (Acidification Potential), POCP (Photo-Chemical Oxydation Potential) e EP (Euthrophization Potential) sono minori nella struttura tradizionale ma la differenza è piccola. Queste disparità sono dovute al tipo di calcolo che si ferma alla produzione e trasporto in cantiere del materiale. Inoltre la banca dati utilizzata IBO (Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie) non è ancora stata aggiornata.

Categorie di impatto Riferite: a tonnellata secca	Legno lamellare
Risorse abiotiche [g Sb eq]	1660
Potenziale riscaldamento globale [kg CO <sub>2</sub> eq]*	-571
Potenziale riscaldamento globale [kg CO <sub>2</sub> eq]	202
Fotosmog [g C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ]	210
Acidificazione [g SO <sub>2</sub> eq]	1750
Sovrafertilizzazione [g PO <sub>4</sub> <sup>---</sup> eq]	173
PEC non rinnovabili [MJ]	3335
PEC rinnovabili [MJ]	19640

\* ... tenendo conto dell'immagazzinamento di carbonio nel legno

Tabella 14.1

Categorie di impatto Riferite: a tonnellata secca	Compensato di tavole (colla UF)	Compensato di tavole (colla PF)
Risorse abiotiche [g Sb eq]	2244	2538
Potenziale riscaldamento globale [kg CO <sub>2</sub> eq]*	-810	-775
Potenziale riscaldamento globale [kg CO <sub>2</sub> eq]	236	271
Fotosmog [g C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ]	310	307
Acidificazione [g SO <sub>2</sub> eq]	1674	1818
Sovrafertilizzazione [g PO <sub>4</sub> <sup>---</sup> eq]	148	148
PEC non rinnovabili [MJ]	4602	5339
PEC rinnovabili [MJ]	21742	21740

\* ... tenendo conto dell'immagazzinamento di carbonio nel legno

Tabella 14.2

Categorie di impatto Riferite: a tonnellata secca	Abete rosso, piallato, essiccato artificial- mente	Larice piallato, essiccato artificial- mente
Risorse abiotiche [g Sb eq]	628	721
Potenziale riscaldamento globale [kg CO <sub>2</sub> eq]*	-701	-911
Potenziale riscaldamento globale [kg CO <sub>2</sub> eq]	95	107
Fotomog [g C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ]	120	211
Acidificazione [g SO <sub>2</sub> eq]	649	1221
Sovrafertilizzazione [g PO <sub>4</sub> <sup>---</sup> eq]	70	162
PEC non rinnovabili [MJ]	1381	1483
PEC rinnovabili [MJ]	12125	20676

\* ... tenendo conto dell'immagazzinamento di carbonio nel legno

Tabelle 14.3 In conformità al documento “Ökologische Kennwerte von Holz und Holzwerkstoffen in Österreich”, Österreichisches Institut für Baubiologie und-ökologie GmbH 2002 (dataholz, Catalogo di materiali di legno o a base di legno, materiali da costruzione, componenti da costruzione e collegamenti per componenti da costruzione con proprietà di fisica tecnica ed ecologiche verificate e/o certificate, approvati per le costruzioni di legno da istituti di verifica accreditati)

### DATI IBO

Materiale	Kg CO <sub>2</sub> eq	g C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	g SO <sub>2</sub> eq	g PO <sub>4</sub>	MJ	MJ
<b>Legno lamellare standard</b>	-1260	0,03	3410	640	8000	24800
<b>Compensato di tavole incollaggio fenolico</b>	-1290	510	3030	250	8900	36200
<b>Legno segato di Abete essiccato artificialmente, piallato</b>	-1630	280	1510	160	3200	28200

Tabella 14.4

Nei dati recenti (tabelle 14.1 14.2 14.3) i Kg CO<sub>2</sub> eq sono valori maggiori, questi avrebbero diminuito la differenza tra le due tipologie di edificio. Molto minori sono i valori attribuiti agli altri indicatori, aggiornati avrebbero favorito la struttura in legno.

Tenendo conto di tutto si può desumere che LCÆDIL è un programma valido con una grafica intuitiva, di facile consultazione e velocità di calcolo può quindi dare risultati sulle diverse soluzioni costruttive in poco tempo. Tuttavia rimane da parte dell'IBO l'aggiornamento dei dati e il calcolo completo del ciclo di vita perché il sostegno ai progettisti sia completo.



## 15. Bibliografia

BELLICINI L., 1994, Il legno e le costruzioni negli anno '90, Osservatori CRESME

BERNASCONI A., 5 Febbraio 2009, L'altro massiccio, Seminario specialistico  
promo\_legno, Milano

[www.promolegno.com](http://www.promolegno.com)

DATAHOLZ, 2002, Catalogo di materiali di legno o a base di legno, materiali da costruzione, componenti da costruzione e collegamenti per componenti da costruzione con proprietà di fisica tecnica ed ecologiche verificate e/o certificate, approvati per le costruzioni di legno da istituti di verifica accreditati

FAVA G., 2008, Manuale Costruttivo Consorzio Stile 21, Stile 21, Treviso,

[www.stile21.it](http://www.stile21.it)

FAVA R., 2008, Brochure Service Legno, Service Legno, Treviso,

[www.servicelegno.it](http://www.servicelegno.it)

FEDERLEGNO-ARREDO, 2003, Legno massiccio in edilizia, Milano

FOLLESA M., 2009, Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana, Edizioni Regione Toscana

GIORDANO G., 1971, Tecnologia del legno, Torino, UTET

LANTSCHNER N., Brochure CasaClima, CasaClima, Bolzano,

[www.agenziacasaclima.it](http://www.agenziacasaclima.it)

LEGNO DOC e cyber-project, 2007, LCÆDIL, Prato

NARDI B. R., Ristampa 2006, La struttura anatomica del legno ed il riconoscimento dei legnami italiani di più corrente impiego, CNR-IVALSA, Sesto Fiorentino.

NERI P., 2008, Verso la valutazione ambientale degli edifici, Firenze

SCHRENTEWEIN T., 10 Ottobre 2008, Stabilità e Sicurezza degli edifici in Legno in Zona Sismica, Convegno “Vivere il Legno” di Vedelago (TV)

TAMBURINI V., 10 Ottobre 2008, La protezione del legno, Convegno “Vivere il Legno” di Vedelago (TV)

WWW.CEI-BOIS.ORG , Novembre 2006, Affrontare il cambiamento climatico: Usa il legno

## **16. Ringraziamenti**

Ringrazio tutte le persone che mi hanno sostenuto durante tutto il percorso universitario. Sono grata alla Legno Doc. in particolare Paolo Lavisca e Lorenzo Berti per avermi permesso di utilizzare il programma LCÆDIL e per il supporto nell'utilizzo. Sono riconoscente alla Service Legno per la disponibilità che hanno dimostrato nel lasciarmi analizzare i progetti da loro realizzati.



# ALLEGATI

Entrambi gli allegati A e B sono il riassunto della normativa riguardante l'analisi del ciclo di vita.



# *Allegato A*

*UNI EN ISO 14041*

*GESTIONE AMBIENTALE – VALUTAZIONE DEL CICLO DI VITA – DEFINIZIONE  
DELL’OBIETTIVO E DEL CAMPO DI APPLICAZIONE E ANALISI DELL’INVENTAZIO*

## INDICE

-Premessa

-Introduzione

1. Scopo e campo d’applicazione
2. Riferimento Normativo
3. Termini e definizioni
4. Componenti dell’LCI
  - 4.1. Esempio di sistema di prodotti ai fini dell’analisi d’inventario del ciclo di vita
  - 4.2. Esempio di determinate unità di processi all’interno di un sistema di prodotti
5. Definizione dell’obiettivo e campo d’applicazione
6. Analisi dell’inventario
  - 6.1. Procedimento semplificato per l’analisi d’inventario
  - 6.2. Differenze fra una descrizione tecnica di un sistema di prodotti e i procedimenti di allocazione per il riciclaggio
7. Limitazione dell’LCI (interpretazione dei risultati dell’LCI)
8. Relazione sullo studio

Appendice A Esempio di scheda per la raccolta dei dati

Appendice B Esempio di differenti procedimenti di allocazione

### **Scopo e campo di applicazione**

La presente norma specifica i requisiti e le procedure necessarie per compilare e preparare la definizione dell’obiettivo e del campo d’applicazione di una valutazione del ciclo di vita (LCA), nonché per condurre, interpretare e riportare un’analisi d’inventario del ciclo di vita (LCI).

## **Componenti dell'LCI**

Di seguito vengono riportate la terminologia fondamentale e i componenti di un'analisi dell'inventario del ciclo di vita.

### *Sistema di prodotti*

Un sistema di prodotti è un insieme di unità di processo interconnesso da flussi di prodotti intermedi, che rappresentano una o più funzioni definite. La descrizione di un sistema di prodotti comprende le unità di processo, i flussi elementari o i flussi di prodotti che oltrepassano i confini del sistema, nonché i flussi dei prodotti intermedi dentro il sistema. La proprietà essenziale che caratterizza un sistema di prodotti è la sua funzione, essa non può essere definita unicamente in termini di prodotti finali.

### *Unità di processo*

I sistemi di prodotti si dividono in unità di processo, le quali sono collegate con altri sistemi di prodotti da flussi di prodotti intermedi e/o da rifiuti da trattare, sono collegate con altri sistemi di prodotti da flussi di prodotti e con l'ambiente da flussi elementari. Dividere un sistema di prodotti nelle sue entità di processo componenti rende più facile l'identificazione delle identità in ingresso e in uscita. Il confine di un'unità di processo è determinato dal livello di dettaglio della modellizzazione che è richiesto per soddisfare l'obiettivo dello studio.

Poiché il sistema è un sistema fisico, ogni unità di processo deve soddisfare alle leggi di conservazione della massa e dell'energia. I bilanci di massa e di energia permettono un controllo utile sulla validità della descrizione di un'unità di processo.

## **Categorie di dati**

I dati raccolti sono utilizzati per quantificare i flussi in ingresso e in uscita di una unità di processo. Le macrocategorie, nelle quali i dati possono essere classificati, comprendono:

- Energia, materie prime, materiali ausiliari o altre entità fisiche in ingresso;
- Prodotti;
- Emissioni nell'aria, nelle acque, nel suolo, altri aspetti ambientali;

All'interno di queste macrocategorie, singole categorie di dati devono essere specificate per soddisfare l'obiettivo dello studio.

### **Modellizzazione di sistemi di prodotti**

Gli studi di LCA sono condotti mediante lo sviluppo di modelli che descrivono gli elementi chiave dei sistemi fisici. Spesso non è pratico studiare tutte le relazioni fra tutte le unità di processo in un sistema di prodotti, o tutte le relazioni fra un sistema di prodotti e il sistema ambiente. La scelta degli elementi del sistema fisico da introdurre nel modello dipende dalla definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dello studio. I modelli utilizzati, dovrebbero essere descritti e le ipotesi che sottintendono alle scelte effettuate dovrebbero essere identificate.

### **Definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione**

L'obiettivo di uno studio di LCA deve stabilire senza ambiguità l'applicazione, le ragioni per le quali lo studio viene effettuato e il destinatario previsto, cioè coloro ai quali saranno comunicati i risultati.

Uno studio LCA è una tecnica iterativa, per cui, man mano che si raccolgono dati e informazioni, vari aspetti del campo di applicazione possono richiedere di essere modificati allo scopo di soddisfare l'obiettivo originale dello studio. In certi casi, lo stesso obiettivo può essere modificato a causa di limitazioni o impedimenti nelle informazioni.

### *Funzione, unità funzionale e flusso di riferimento*

Quando si definisce il campo di applicazione di uno studio di LCA, deve essere chiaramente indicato il requisito delle funzioni (caratteristiche prestazionali) del prodotto. L'unità funzionale si definisce la quantificazione delle funzioni identificate. Uno degli scopi principali di un'unità funzionale è di fornire un riferimento al quale i dati in ingresso o in uscita sono normalizzati (in senso matematico). Pertanto l'unità funzionale deve essere chiaramente definita e misurabile. Avendo definito l'unità funzionale, deve essere quantificato il prodotto necessario per soddisfare la funzione. Il risultato di questa quantificazione è il flusso di riferimento. Il flusso di riferimento è poi utilizzato per calcolare i flussi in ingresso e in uscita del sistema. Confronti fra sistemi, devono essere

effettuati sulla base della medesima funzione, quantificati attraverso la medesima unità funzionale, nella forma dei loro flussi di riferimenti.

### *Confini iniziali del sistema*

I confini del sistema definiscono le unità di processo da includere nel sistema di cui di costituisce il modello. Si deve decidere quali unità di processo comporranno il modello e il livello di dettaglio con cui queste unità di processo dovranno essere studiate. I confini del sistema definiti inizialmente dovranno essere successivamente ridefiniti sulla base dei risultati del lavoro preliminare. I criteri utilizzati nella scelta dei flussi in ingresso e in uscita dovrebbero essere chiaramente compresi e descritti. Qualunque decisione di eliminare fasi del ciclo di vita, processi o flussi in ingresso/uscita deve essere chiaramente indicata e giustificata.

E' utile per descrivere il sistema utilizzare un diagramma del flusso di processo che indichi le unità di processo e le loro interrelazioni. Ciascuna unità di processo dovrebbe essere descritta inizialmente, allo scopo di definire

- dove l'unità di processo ha inizio, in termini di ricevimento di materie prime o prodotti intermedi;
- la natura delle trasformazioni delle operazioni che si svolgono entro l'unità di processo;
- dove l'unità di processo finisce, intesa come determinazione del prodotto intermedio o finale.

Dovrebbe essere deciso quali dati in ingresso e in uscita dovrebbero essere ricondotti ad altri sistemi di prodotti, comprende le decisioni circa la loro allocazione. Il sistema dovrebbe essere descritto con sufficiente chiarezza e dettaglio, tale da permettere a un altro esecutore di riprodurre l'analisi dell'inventario.

### *Descrizione delle categorie di dati*

I dati richiesti dipendono dall'obiettivo e possono essere raccolti cominciando dai siti di produzione associati alle unità di processo entro i confini del sistema, oppure ottenendoli o calcolandoli da fonti pubblicate. Le macrocategorie di flussi in ingresso e in uscita, che

sono quantificate per ciascuna unità di processo entro i confini del sistema dovrebbero essere prese in considerazione quando si decide quali di queste categorie saranno utilizzate nello studio. I vari tipi di flussi di energia in ingressi e in uscita devono comprendere i flussi entranti e uscenti collegati alla produzione e alla distribuzione di combustibili, di energia di alimentazione e di energia di processo, utilizzati entro il sistema di cui si realizza il modello.

Le emissioni nell'aria, nelle acque e nel suolo spesso rappresentano scarichi da sorgenti puntuali o diffuse, a valle dei dispositivi di controllo delle emissioni. Questa categoria dovrebbe inoltre includere, se significative, le emissioni di fuga. Altre categorie di dati, per le quali possono essere raccolti dati in ingresso e in uscita, comprendono per esempio, rumore e vibrazioni, uso del suolo, radiazioni, odore dispersione del valore.

#### *Criteri per la scelta iniziale dei flussi in ingresso e in uscita*

Durante la definizione del campo di applicazione è selezionato l'insieme iniziale dei flussi in ingresso e in uscita per l'inventario. I criteri e le assunzioni, su cui ci si è basati, devono essere chiaramente descritti. L'effetto potenziale sui risultati dello studio dei criteri prescelti deve essere inoltre valutato e descritto nel rapporto finale. Per i materiali in ingresso, l'analisi inizia con una scelta di quelli da studiare. Questa scelta dovrebbe essere basata su un'identificazione dei flussi di materiale in ingresso associati con ciascuna delle unità di processo da modellizzare. Ciò può essere fatto partendo da dati raccolti da siti specifici o da fonti pubblicate. L'obiettivo è quello di identificare i flussi in ingresso significativi associati con ciascuna unità di processo.

Nella pratica dell'LCA, per decidere quali flussi in ingresso studiare, sono utilizzati diversi criteri:

- a. massa: si richiede in questo caso l'inclusione di tutti i flussi in ingresso, che cumulativamente contribuiscono, più di una percentuale definita, al flusso di massa in ingresso del sistema di prodotti da modellizzare;
- b. energia: in questo caso si richiede l'inclusione nello studio di quei flussi in ingresso che, cumulativamente contribuiscono più di una percentuale definita del flusso di energia in ingresso del sistema di prodotti;
- c. rilevanza ambientale: decisioni sui criteri di rilevanza ambientale dovrebbero essere prese, per includere le entità in ingresso che contribuiscono, più di una

percentuale aggiuntiva definita, alla quantità stimata di ciascuna categoria individuale di dati del sistema di prodotti;

Solitamente non viene utilizzato solo un criterio perché potrebbe portare a delle omissioni.

Questi criteri possono inoltre essere adottati per identificare quali flussi in uscita dovrebbero avere influenza sull'ambiente, cioè includendo i processi di trattamento finale dei rifiuti.

Se lo studio ha lo scopo di supportare una dichiarazione una dichiarazione comparativa destinata al pubblico, l'analisi di sensibilità finale dei dati in ingresso e in uscita deve comprendere i criteri di massa, energia e rilevanza ambientale. Tutti i flussi in ingresso scelti e identificati con questo processo dovrebbero essere modellizzati come flussi elementari.

#### *Requisiti di qualità dei dati*

La descrizione della qualità dei dati è importante per capire l'affidabilità dei risultati dello studio e per interpretare correttamente le sue risultanze. Si devono quindi specificare dei requisiti sulla qualità dei dati, al fine di rispettare l'obiettivo e il campo di applicazione dello studio. La qualità dei dati dovrebbe essere caratterizzata sia attraverso aspetti qualitativi e quantitativi sia attraverso i metodi utilizzati per raccogliere e integrare tali dati.

I requisiti di qualità dei dati dovrebbero includere i seguenti parametri:

- fattori temporali: l'anzianità desiderata dei dati e la minima estensione di tempo rispetto ai quali dovrebbero essere raccolti;
- geografia: la zona geografica nella quale dovrebbero essere raccolti i dati relativi alle unità di processo, per soddisfare l'obiettivo dello studio;
- tecnologia: combinazione di tecnologie

In tutti gli studi, i seguenti requisiti aggiuntivi di qualità dei dati devono essere presi in considerazione, con un livello di dettaglio che dipende dalla definizione di obiettivo e campo di applicazione:

- precisione
- completezza
- rappresentatività

- coerenza
- riproducibilità

Quando uno studio è utilizzato per supportare una dichiarazione comparativa aperta al pubblico, tutti i requisiti di qualità dei dati citati precedentemente devono essere inclusi nello studio.

### **Analisi dell'inventario**

L'analisi dell'inventario del ciclo di vita (LCI) riguarda la raccolta dei dati e i procedimenti di calcolo.

#### *Preparazione per la raccolta dei dati*

La definizione del campo di applicazione dello studio di LCA stabilisce l'insieme iniziale delle unità di processo e le categorie di dati associate. Per conseguire una compressione uniforme e coerente del sistema di prodotti da modellizzare, servono numerose fasi.

Queste fasi dovrebbero comprendere:

- tracciatura di diagrammi di flusso specifici del processo, che descrivano tutte le unità di processo da inserire nel modello, con le loro interrelazioni;
- descrizioni in dettaglio di ciascuna unità di processo ed elencazione delle categorie di dati associate a ciascuna unità di processo;
- sviluppo di una lista che specifichi le unità di misura, con la loro definizione;
- descrizioni delle tecniche di raccolta dei dati e delle tecniche di calcolo per ciascuna categoria di dati, al fine di assistere il personale addetto alla raccolta dei dati e comprendere quali informazioni siano necessarie per lo studio di LCA.
- Fornitura di istruzioni alle fonti di comunicazione per documentare chiaramente tutti i casi particolari, le irregolarità e altre questioni associate con i dati forniti.

#### *Raccolta dei dati*

I procedimenti da utilizzare variano con ciascuna unità di processo nei differenti sistemi di cui si costituisce il modello attraverso uno studio di LCA. La raccolta dei dati presuppone la completa conoscenza di ciascuna unità di processo. Perciò serve la descrizione qualitativa e quantitativa dei flussi in ingresso e in uscita necessari per determinare dove il processo inizia e dove termina e della funzione dell'unità di processo. Quando l'unità di processo ha molti flussi in ingresso, o in uscita, i dati relativi ai

procedimenti di attribuzione devono essere documentati e riportati. I flussi devono essere quantificati usando le unità di misura energetiche. Dove applicabile, dovrebbe inoltre essere registrata la massa o il volume del combustibile.

Quando i dati sono raccolti da quelli pubblicati in letteratura, si deve fare riferimento alla fonte. Per quei dati raccolti dalla letteratura, che sono significativi per le conclusioni dello studio, si deve fare riferimento alla letteratura pubblicata che fornisce dettagli circa i procedimenti di raccolta dei dati relativi, il periodo nel quale i dati sono stati raccolti o ulteriori indicatori della qualità dei dati. Se tali dati non soddisfano i requisiti iniziali di qualità dei dati, ciò deve essere dichiarato.

#### *Procedimenti di calcolo*

Effettuata la raccolta dei dati, è necessario fare dei calcoli per produrre i risultati d'inventario del sistema definito, per ciascuna unità di processo e per l'unità funzionale definita del sistema di prodotti di cui si costituisce il modello.

Quando si determinano i flussi elementari concernenti la produzione di elettricità, si deve prendere in considerazione la composizione delle fonti di produzione e l'efficienza di combustione, conversione, trasmissione e distribuzione. Per quanto possibile, si dovrebbe utilizzare la composizione reale delle fonti di produzione, in modo da riflettere i vari tipi di combustibile consumati.

#### *Validazione dei dati*

Durante il processo di raccolta dei dati, deve essere effettuato un controllo di validità dei dati. L'apparenza di anomalie nei dati, derivanti dalle procedure di validazione, richiede valori dei dati alternativi che siano conformi ai requisiti di qualità dei dati.

Per ogni categoria di dati e per ogni fonte di comunicazione dove si sono individuati dati mancanti, il trattamento dei dati mancanti o trascurati dovrebbe determinare in alternativa:

- Un dato con valore “non-zero” che sia giustificato;
- Un dato con valore “zero” se giustificato;
- Un valore calcolato sulla base di valori conosciuti provenienti da unità di processo che impiegano una tecnologia simile.

La modalità di dei dati mancanti deve essere documentata.

#### *Correlazione dei dati all'unità di processo*

Per ciascuna unità di processo, si deve determinare un appropriato flusso di riferimento. I dati quantitativi dei flussi in ingresso e in uscita dell'unità di processo devono essere calcolati in relazione a tale flusso di riferimento.

#### *Correlazione dei dati all'unità funzionale e loro aggregazione*

Basandosi sul digramma di flusso e sui confini del sistema, si interconnettono le unità di processo per effettuare i calcoli del sistema completo. Ciò si ottiene normalizzando i flussi di tutte le unità di processo nel sistema rispetto all'unità funzionale. Il risultato dei calcoli dovrebbe condurre a riferire tutti i dati dei flussi in ingresso e in uscita dal sistema all'unità funzionale.

#### *Correzione dei confini del sistema*

I confini iniziali del sistema di prodotti devono essere convenientemente revisionati in accordo con i criteri oggettivi stabiliti quando si è definito il campo di applicazione.

L'analisi di sensibilità può dare origine a:

- Esclusione di fasi del ciclo di vita o di unità di processo, quando la carenza di significatività può essere evidenziata dall'analisi di sensibilità;
- Esclusione dei flussi in ingresso e in uscita che non hanno significatività per i risultati dello studio;
- Inclusione di nuove unità di processo, flussi in ingresso e in uscita che mostrano essere significativi nell'analisi di sensibilità.

I risultati di questo procedimento di correzione e l'analisi di sensibilità devono essere documentati. Quest'analisi ha il compito di limitare la successiva manipolazione dei dati per quei dati in ingresso e in uscita che sono significativi per l'obiettivo dello studio di LCA.

#### **Allocazione dei flussi e dei rilasci**

L'analisi d'inventario del ciclo di vita si basa sulla capacità di essere in grado di correlare le unità di processo all'interno del sistema di prodotti con flussi semplici di materiale e energia. Nella realtà, pochi processi industriali producono un singolo flusso in uscita o

sono fondati su una linearità fra materie prime in ingresso ed entità in uscita. Infatti, la maggioranza dei processi industriali ha più di un prodotto e ricicla i prodotti intermedi o di scarti come fossero materie prime. Pertanto, i flussi di materiali e di energia, come pure i rilasci nell'ambiente ad essi associati, devono essere allocati ai differenti prodotti secondo procedure chiaramente definite.

### *Principi di allocazione*

L'inventario è fondato sul bilancio fra l'entrata e l'uscita dei materiali. I procedimenti di allocazione dovrebbero pertanto approssimare quanto più possibile tali relazioni e caratteristiche fondamentali dei flussi in ingresso e in uscita. I seguenti principi sono applicabili alle coproduzioni, all'allocazione dell'energia interna, ai servizi, al riciclaggio sia esso a ciclo aperto o ciclo chiuso:

- Lo studio deve identificare i processi condivisi con altri sistemi di prodotti e trattarli secondo le procedure di seguito indicate.
- La somma dei flussi allocati in ingresso e in uscita di un'unità di processo deve essere uguale ai flussi in ingresso e in uscita non allocati dell'unità di processo.
- Ovunque appaiono applicabili diverse procedure di allocazione alternative, un'analisi di sensibilità deve essere effettuata per illustrare le conseguenze dello scostamento dall'approccio selezionato.

Il procedimento di allocazione utilizzato per ciascuna unità di processo della quale i flussi in entrata e in uscita sono stati allocati deve essere documentato e giustificato.

### *Procedimento di allocazione*

Sulla base dei principi sopra menzionati, deve essere applicato il seguente procedimento a fasi:

- a. Fase 1: Ovunque è possibile, dovrebbe essere evitato di effettuare l'allocazione mediante:
  1. Divisione dell'unità di processo da allocare in due o più sottoprocessi e collegamento dei dati in ingresso e in uscita relativi a tali sottoprocessi;
  2. Espansione del sistema di prodotti per includere funzioni aggiuntive relative ai coprodotti.

- b. Fase 2: Ove l'allocazione non può essere evitata, i flussi in ingresso e in uscita dal sistema dovrebbero essere ripartiti tra i suoi differenti prodotti e funzioni in modo che riflettano il modo in cui i flussi in ingresso e in uscita sono modificati, con trasformazioni quantitative, nei prodotti o nelle funzioni fornite dal sistema. L'allocazione risultante non sarà necessariamente proporzionale ad ogni semplice misura quale quella dei flussi massicci o molari di coprodotti.
- c. Fase 3: Ove le relazioni fisiche da sole non possono essere stabilite o utilizzate come base per l'allocazione, i flussi in ingresso dovrebbero essere allocati tra i prodotti e le funzioni in modo che riflettano le altre relazioni fra loro.

I procedimenti di allocazione devono essere applicati uniformemente ai flussi in ingresso ed in uscita corrispondenti del sistema considerato.

#### *Procedimenti di allocazione per il riutilizzo e il riciclaggio*

Queste situazioni richiedono un'elaborazione aggiuntiva per le seguenti ragioni:

- a. Il riutilizzo e il riciclaggio possono implicare che i flussi in ingresso e in uscita associati alle unità di processo per l'estrazione e il trattamento delle materie prime e lo smaltimento finale dei prodotti siano condivisi da più di un sistema di prodotti;
- b. Il riutilizzo e il riciclaggio possono cambiare le proprietà inerenti ai materiali nel loro utilizzo successivo;
- c. È necessaria una cura particolare nella definizione dei confini del sistema riguardante i processi di recupero.

Diversi procedimenti di allocazione sono applicabili al riutilizzo e al riciclaggio. I cambiamenti nelle proprietà inerenti ai materiali, devono essere tenute in conto. Alcuni procedimenti sono commentati qui di seguito per suggerire come le restrizioni accennate possono essere superate:

- Ai sistemi di prodotti a ciclo chiuso si applica un procedimento di allocazione a ciclo chiuso. Esso si applica anche ai sistemi di prodotti a ciclo aperto, ove non si abbiano cambiamenti nelle proprietà inerenti al materiale riciclato. Tuttavia, l'utilizzo iniziale di materiali vergini nei sistemi di prodotti applicabili a ciclo aperto può seguire un procedimento di allocazione a ciclo aperto descritto qui di seguito;

- Ai sistemi di prodotti a ciclo aperto, ove il materiale è riciclato in altri sistemi di prodotti e il materiale subisce un cambiamento delle sue proprietà, si applica un procedimento di allocazione a ciclo aperto.

Per i processi di recupero situati fra il sistema di prodotti originale e quello successivo, i confini del sistema devono essere identificati e giustificati, assicurando che i principi dell'allocazione siano rispettati.

### **Limitazioni dell'LCI (interpretazione dei risultati dell'LCI)**

I risultati dell'LCI devono essere interpretati in accordo all'obiettivo ed al campo di applicazione dello studio. L'interpretazione deve comprendere una valutazione della qualità dei dati e analisi di sensibilità dei flussi in ingresso e in uscita significativi delle scelte metodologiche, al fine di valutare l'incertezza dei risultati. L'interpretazione di un'analisi d'inventario deve anche considerare in relazione all'obiettivo dello studio, gli aspetti seguenti:

- a. Se le definizioni delle funzioni del sistema e dell'unità funzionale sono appropriate;
- b. Se le definizioni dei confini del sistema sono appropriate;
- c. Limitazioni identificate mediante valutazione della qualità dei dati e analisi di sensibilità.

I risultati di uno studio LCI, da solo non devono essere usati come base per confronti.

Un'incertezza è introdotta nei risultati di un LCI, a causa degli effetti cumulati delle incertezze sui flussi in ingresso e della variabilità dei dati. L'analisi di incertezza applicata all'LCI è una tecnica ancora agli albori. Tuttavia potrebbe essere di aiuto il caratterizzare l'incertezza dei risultati con l'uso degli scarti e/o delle distribuzioni statistiche, al fine di determinare l'incertezza nei risultati e nelle conclusioni dell'LCI. Ovunque sia fattibile, una tale analisi dovrebbe essere condotta, per spiegare e sostenere meglio le conclusioni dell'LCI.

La valutazione delle qualità dei dati, l'analisi di sensibilità, le conclusioni e tutte le raccomandazioni conseguenti ai risultati dell'LCI devono essere documentate.

### **Relazione sullo studio**

I risultati di uno studio di LCI devono essere comunicati ai destinatari in modo semplice corretto, completo e accurato.

## *Allegato B*

*UNI EN ISO 14043:2001*

*GESTIOE AMBIENTALE – VALUTAZIONE DEL CICLO DI VITA –  
INTERPRETAZIONE DEL CICLO DI VITA*

### INDICE

#### -Introduzione

1. Scopo e campo d'applicazione
2. Riferimenti normativi
3. Termini e abbreviazioni
4. Descrizione generale dell'interpretazione del ciclo di vita
5. Identificazione dei fattori significativi
  - 5.1. Relazione fra gli stadi della fase di interpretazione e le altre fasi dell'LCA
6. Valutazione
7. Conclusioni e raccomandazioni
8. Redazione di un rapporto
9. Altre investigazioni

Appendice A Esempi di interpretazione del ciclo di vita

#### **Scopo e campo di applicazione**

Questa norma internazionale fornisce i requisiti e le raccomandazioni per condurre l'interpretazione del ciclo di vita negli studi di LCA e LCI.

Questa norma però non descrive metodologie specifiche per la fase di interpretazione del ciclo di vita degli studi di LCA e LCI.

#### **Descrizione generale dell'interpretazione del ciclo di vita**

L'interpretazione del ciclo di vita si prefigge gli obiettivi di analizzare i risultati, giungere alla conclusioni, spiegare le limitazioni e fornire le raccomandazioni sulla base delle risultanze delle fasi precedenti dello studio di LCA o LCI, e di riportare i risultati dell'interpretazione del ciclo di vita in modo trasparente.

L'interpretazione del ciclo di vita si prefigge inoltre di presentare i risultati dello studio di LCA o LCI in modo facilmente comprensibile, completo e coerente, in conformità con la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dello studio.

Le caratteristiche essenziali dell'interpretazione del ciclo di vita sono:

- L'uso di un procedimento sistematico per identificare, qualificare, verificare, valutare e presentare le conclusioni sulla base delle risultanze dello studio di LCA e LCI, allo scopo di soddisfare i requisiti dell'applicazione come descritto nell'obiettivo e campo di applicazione dello studio;
- L'uso di un procedimento iterativo sia all'interno della fase di interpretazione che nelle altre fasi di uno studio di LCA e LCI;
- L'individuazione di collegamenti tra l'LCA e altre tecniche di gestione ambientale, sottolineando i punti di forza e i limiti di uno studio di LCA o LCI in relazione alla definizione del suo obiettivo e campo di applicazione.

La fase di interpretazione del ciclo di vita di uno studio di LCA o LCI comprende i tre stadi seguenti:

- Identificazione dei fattori significativi sulla base dei risultati delle fasi di LCI ed LCIA dell'LCA.
- Valutazione, comprensiva dei controlli di completezza, sensibilità e coerenza;
- Conclusioni, raccomandazioni e redazione di un rapporto.

Le fasi di definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione e di interpretazione della valutazione del ciclo di vita costituiscono la struttura portante dello studio, mentre le altre fasi dell'LCA (LCI ed LCIA) forniscono informazioni sul sistema di prodotto.

### **Identificazione dei fattori significativi**

L'obiettivo di questo studio è strutturare i risultati delle fasi LCI o LCIA allo scopo di determinare i fattori significativi, in conformità con la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione e interagendo con lo stadio di valutazione.

#### *Identificazione e strutturazione delle informazioni*

Esistono quattro tipi di informazioni richieste a partire dalle risultanze delle fasi precedenti dello studio LCA e LCI:

- a. Le risultanze delle fasi precedenti (LCI e LCIA), che devono essere raggruppate e strutturate unitamente alle informazioni sulla qualità dei dati.
- b. Scelte metodologiche, quali le regole di allocazione e i confini del sistema di prodotto usati nell'LCI, non che gli indicatori di categoria e i modelli impiegati nell'LCIA;
- c. Le scelte dei valori adottate nel corso dello studio come determinato dalla definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione;
- d. Il ruolo e le responsabilità delle diverse parti interessate come determinato dalla definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione in relazione all'applicazione, nonché i risultati di un processo di revisione critica concomitante, se eseguito.

#### *Determinazione dei fattori significativi*

La determinazione dei fattori significativi di un sistema di prodotto può essere semplice o complessa. La presente norma internazionale non fornisce linee guida sulle motivazioni per cui un fattore può essere pertinente o meno in uno studio, o sulle motivazioni che possono portare a considerare significativo un fattore nel contesto di un sistema di prodotto. Per individuare fattori ambientali e determinare la loro significatività sono disponibili diversi approcci, metodi e strumenti specifici.

#### **Valutazione**

Gli obiettivi dello stadio di valutazione consiste nella definizione e nel miglioramento dell'affidabilità e dell'attendibilità dei risultati dello studio di LCA o LCI. Inclusi i fattori significativi individuati nel primo stadio dell'interpretazione. I risultati dovrebbero essere presentati in modo da offrire al committente e a qualsiasi altra parte interessata una visione chiara o comprensibile dell'esito dello studio.

Durante la valutazione, deve essere preso in considerazione l'utilizzo delle seguenti tre tecniche:

- a. Controllo di completezza
- b. Controllo di sensibilità
- c. Controllo di coerenza

Questi controlli dovrebbero essere affiancati dai risultati dell'analisi d'incertezza e dalla valutazione della qualità dei dati.

#### *Controllo di completezza*

L'obiettivo del controllo di completezza è garantire che tutte le informazioni e i dati pertinenti necessari all'interpretazione, siano disponibili e completi.

Se qualsiasi informazione pertinente risulta assente o incompleta, si deve vagliare se tale informazione è necessaria per soddisfare l'obiettivo e campo di applicazione dello studio.

Se questa informazione non è considerata necessaria la ragione dovrebbe essere registrata, quindi è possibile procedere alla valutazione. Se qualsiasi informazione assente è considerata necessaria per la determinazione dei fattori significativi, le fasi precedenti dovrebbero essere riesaminate, o, in alternativa, dovrebbe essere ratificata la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione.

#### *Controllo di sensibilità*

L'obiettivo del controllo di sensibilità è valutare l'attendibilità dei risultati finali e delle conclusioni, determinando se sono influenzati dalle incertezze nei dati, dai metodi di allocazione o dal calcolo dei risultati degli indicatori di categoria ecc. Questa valutazione deve includere i risultati dell'analisi di sensibilità e dell'analisi d'incertezza, se eseguite nelle fasi precedenti, e può indicare l'esigenza di un'ulteriore analisi di sensibilità.

Il livello di dettaglio richiesto nel controllo di sensibilità dipende principalmente dalle risultanze dell'analisi d'inventario e dalla valutazione di impatto.

In un controllo di sensibilità devono essere presi in considerazione:

- a. I fattori predeterminati dall'obiettivo e dal campo di applicazione dello studio di LCA e LCI;
- b. I risultati di tutte le altre fasi dello studio di LCA e LCI
- c. Il giudizio degli esperti e le esperienze precedenti

L'esito di tale controllo di sensibilità determina l'esigenza di un'analisi di sensibilità più estesa e/o più precisa oltre agli effetti apparenti sui risultati dello studio.

Quando un LCA viene utilizzato a supporto di una asserzione comparativa da divulgare al pubblico, lo stadio di valutazione deve includere dichiarazioni interpretative basate su analisi di sensibilità dettagliate.

#### *Controllo di coerenza*

L'obiettivo del controllo di coerenza è determinare se le ipotesi, i metodi e i dati siano coerenti con l'obiettivo e campo di applicazione.

#### **Conclusioni e raccomandazioni**

L'obiettivo è trarre conclusioni e fare raccomandazioni per il pubblico destinatario dello studio di LCA o LCI.

Il trarre conclusioni da uno studio dovrebbe essere fatto in maniera interattiva con gli altri stadi della fase di interpretazione del ciclo di vita. Una sequenza logica di questo processo è quella che segue:

- a. Identificare i fattori significativi;
- b. Valutare la metodologia e i risultati per i controlli di compattezza, sensibilità e coerenza;
- c. Trarre conclusioni preliminari e controllare che siano coerenti con i requisiti dell'obiettivo e del campo di applicazione dello studio, ad inclusione, in particolare, dei requisiti di totalità dei dati, delle ipotesi e dei valori predefiniti, nonché dei requisiti orientati alle applicazioni;
- d. Se le conclusioni sono coerenti, redigere un rapporto conclusivo. In caso contrario ritornare ai precedenti passi a), b) e c) a seconda della situazione.

Le raccomandazioni devono essere basate sulle conclusioni finali dello studio, e devono rappresentare una conseguenza logica e ragionevole delle conclusioni.

#### **Redazione di un rapporto**

Nella redazione di un rapporto per la fase di interpretazione, deve essere strettamente rispettata la massima trasparenza in termini di scelta dei valori, deduzioni logiche e giudizi di esperti.