



Francesca Paoloni - La durabilità dei componenti dell'involucro a base legnosa

La durabilità dei componenti dell'involucro a base legnosa

Indirizzi per il progetto di manutenzione

Francesca Paoloni

Tutor: prof. Arch. Tiziana Ferrante



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Dottorato in Ingegneria dell'Architettura e dell'Urbanistica
Ciclo XXXI

La durabilità dei componenti dell'involucro a base legnosa Indirizzi per il progetto di manutenzione



Dottoranda: Francesca Paoloni
Tutor: prof. Arch. Tiziana Ferrante

Settore Scientifico Disciplinare: Icar 12

Fotografia in copertina: Casa della musica a Castelrotto. Foto dell'autore

INTRODUZIONE	7
Obiettivi della ricerca	11
Metodologia e struttura della ricerca	13
Stato dell'arte e motivazioni dell'interesse di studio	18
Cenni sulla produzione della materia prima legno.....	18
Cenni di sostenibilità ambientale degli edifici in legno	28
Il mercato delle costruzioni in legno in Italia.....	35
Le perplessità legate alla durabilità del legno nelle costruzioni	41
1 DURABILITÀ DEI COMPONENTI DELL'INVOLUCRO A BASE LEGNOSA.....	49
1.1 Caratteristiche della materia prima	51
Schedatura sintetica delle principali specie utilizzate per gli elementi dell'involucro	53
1.2 I principali pretrattamenti utilizzati in edilizia	65
1.3 L'involucro a base di legno: caratteristiche principali delle pareti perimetrali verticali	73
Strato di rivestimento interno ed esterno.....	76
Strato di isolamento	84
Strato di ventilazione	85
Strato di separazione.....	86
Strato di collegamento	86
Strato resistente con componenti discreti	87
Strato resistente con componenti continui.....	95
2 DURABILITÀ E FENOMENI DI DEGRADO RICORRENTI.....	107
2.1 Principali fenomeni di degrado per elementi in legno non trattato	109
2.2 Problematiche relative alle pareti perimetrali verticali	119
PPV e Attacco a terra.....	123
PPV e Chiusure orizzontali su spazi aperti.....	129
PPV e Chiusura superiore	131
3 DURABILITÀ E AFFIDABILITÀ DEI COMPONENTI DEGLI EDIFICI A BASE LEGNOSA	135
3.1 Valutazione della vita utile degli edifici in legno.....	137
La durabilità degli involucri edilizi	141
3.2 La manutenzione come strategia di progetto.....	145
3.3 Metodologie di pianificazione della manutenzione edilizia.....	149
3.4 Il piano di manutenzione	155
3.5 Le diverse ipotesi di fine vita	157
4 INDICAZIONI PER IL PROGRAMMA DI MANUTENZIONE DI EDIFICI CON INVOLUCRI A BASE LEGNOSA	161
4.1 Casi di studio : repertorio del costruito	163
4.2 Analisi critica dei casi studio	259
Involucri con rivestimento esterno con componenti ad andamento orizzontale	260
Involucri con rivestimento esterno con componenti ad andamento verticale	263
Involucri con rivestimento esterno in intonaco	267
Involucri con rivestimento esterno continuo in legno	269
Involucri con rivestimento esterno in legno su strutture miste	271
Rilettura critica del costruito.....	273
4.3 Le strategie di progetto per gli involucri a base legnosa	275
4.4 Indicazioni per la redazione di un piano di manutenzione per edifici a base legno	283
4.5 Specifiche sulle richieste di manutenzione dei trattamenti.....	289

4.6	Gli elaborati di un piano di manutenzione.....	291
	Caso studio: Il manuale di manutenzione dell'edificio di una nuova casa sociale a Caltron (TN)	297
5	CONCLUSIONI	311
	Appendice: interviste	321
	BIBLIOGRAFIA.....	327

“Per crescere un bambino ci vuole un intero villaggio”
Antico proverbio africano

Ringraziamenti

Durante gli anni del percorso dottorale sono molte le figure che mi hanno aiutato a crescere, coltivando le capacità, cercando di limare i difetti e di assecondare le inclinazioni per permettere un’ottima riuscita del lavoro.

Ringrazio i professori del Collegio docenti del Dottorato,
la mia tutor prof.ssa Tiziana Ferrante,
la prof.ssa Teresa Villani

e i colleghi di corso che mi hanno accompagnato lungo il cammino.

Ringrazio anche la mia famiglia che non mi ha mai fatto mancare l’appoggio e la fiducia necessarie.

Obiettivi della ricerca

La ricerca ha l'obiettivo principale di indagare la durabilità dei componenti dell'involucro a base legnosa, valutando le caratteristiche degli stessi in relazione alla richiesta di vita utile dell'edificio.

Lo studio scaturisce dall'esigenza, nazionale e internazionale, di indagare quali siano le migliori strategie manutentive da introdurre nel progetto, per permettere agli edifici con involucri a base legnosa di conservare le proprie caratteristiche prestazionali nel corso del tempo, sia dal punto di vista energetico che estetico.

La tesi si inserisce nell'ambito disciplinare della Tecnologia dell'Architettura, trovando all'interno della disciplina i punti di riferimento per l'articolazione della ricerca.

In particolare riferendosi allo "studio delle scienze applicate relative alla trasformazione della materia in oggetti utili all'uomo", riprendendo la riflessione di Spadolini che affermava che non servisse *solo la scoperta di nuove tecnologie o di nuovi materiali, quanto una logica di gestione e di progettazione tecnologica che possa determinare un corretto uso di determinate tecniche o materiali* (Spadolini, 1974; Spadolini in Zaffagnini, 1981).

Questa ri-scoperta sembra essere necessaria anche per la 'nuova' diffusione del *legno* nelle costruzioni moderne, dove si registrano avarie e problematiche del degrado che evidenziano un uso scorretto dei componenti a base legnosa nonostante la tecnologia tradizionale abbia già fugato da molto tempo i criteri e le norme di buona progettazione con tecnologie a base legno.

L'obiettivo, attraverso *il corretto uso di tecniche, materiali* e della programmazione del processo edilizio, è quello di promuovere una *lucida coscienza critica – ecologica e sociale nella progettazione* (Maldonado, 1970) con elementi a base legno, riflettendo sulle azioni progettuali innovative per permettere una gestione nel tempo dell'edificio, allungandone la vita utile, riprendendo la centralità della gestione, cercando di innescare le conoscenze necessarie a prendere decisioni consapevoli in relazione alle nuove esigenze di sostenibilità economica, ambientale e sociale che gli edifici devono garantire alla collettività.

Questa assenza di *cultura* del legno si rende ancor più evidente nell'uso dei componenti dell'involucro, in particolar modo per le pareti perimetrali verticali, che risultano essere insieme alle coperture, gli elementi tecnici maggiormente sollecitati dalle azioni esterne e gli elementi dove si registrano la maggior parte delle avarie.

Per le pareti perimetrali verticali il controllo dell'obsolescenza controllata è ancora più importante essendo la facciata la rappresentazione pubblica dell'edificio (Molinari, 2002) rafforzando la necessità di articolare *buone pratiche di progettazione* e adeguate previsioni progettuali per agevolare la gestione di questi elementi tecnici.

Il primo obiettivo della ricerca è quello di configurare un quadro di ambio respiro relativo degli elementi d'involucro, più specificamente con riferimento alle pareti perimetrali verticali con componentistica a base legno, che si sono approfondite in dettaglio attraverso l'analisi dei casi studio.

La durabilità è stata analizzata in relazione al materiale utilizzato, sia valutando la peculiarità della specie che del componente, attraverso l'analisi dei meccanismi di degrado che più facilmente si attivano e determinano manutenzioni non programmate e notevoli costi per riparare l'edificio e attraverso l'analisi dei sistemi costruttivi più diffusi, adottando una metodologia che mette in relazione le parti dell'edificio

con le problematiche principali legate alla durabilità, le buone pratiche di progettazione e le più adeguate previsioni di manutenzione.

In relazione alla specificità del “materiale” impiegato, si è articolato uno studio delle specie principalmente utilizzate nelle applicazioni d’involucro e le differenti prestazioni meccaniche, fisiche ed estetiche, dal punto di vista di vita utile e delle richieste future di manutenzione.

Attraverso l’analisi della presenza delle principali specie arboree in Europa e in Italia, sono stati individuate quelle che garantiscono maggiore facilità di reperimento in relazione al contesto di realizzazione e che consentono un ridotto impatto sull’ambiente, innescando auspicabilmente meccanismi di filiera corta che possano essere agevolati da logiche economiche e di valutazione del progetto (sia in fase di assegnazione pubblica che privata).

E’ stato articolato un quadro di conoscenze per correlare le caratteristiche edilizie e gli effetti sulla durabilità. Sono stati esaminati i principali componenti utilizzati in edilizia, osservandone le diverse caratteristiche, le specifiche di prestazione, i consigli per la corretta posa in opera e infine alcune previsioni sul “fine vita”.

Dai componenti si è passato poi allo studio delle soluzioni di dettaglio più utilizzate e quindi all’articolazione di un repertorio di soluzioni tipo, verificate anche mediante l’analisi approfondita dei casi studio.

Questo passaggio ha permesso di verificare che le richieste del componente per garantire la durabilità fossero assicurate dalla soluzione di dettaglio scelta.

Il confronto tra le soluzioni tecniche conformi e le soluzioni di dettaglio ha evidenziato pregi, difetti, potenzialità e fragilità dal punto di vista del possibile degrado per le diverse tecnologie costruttive.

Le conoscenze acquisite sono state rielaborate correlando i diversi aspetti legati agli edifici con componentistica a base legno, come la gestione degli edifici durante il ciclo vita, le caratteristiche che agevolano le possibilità di ispezione e monitoraggio degli elementi tecnici (pareti perimetrali verticali) se previste in fase di progetto, la manutenzione degli strati di involucro e alcune caratteristiche che agevolano la dismissione finale dei componenti dell’edificio.

L’obiettivo è di articolare un bagaglio di conoscenze che possa garantire al progettista di utilizzare questi componenti senza incorrere in erronee pratiche progettuali o gestionali dell’opera, governando mediante il progetto la qualità utile dell’edificio e le esigenze di future implementazioni degli utenti, per arrivare all’ottimizzazione delle risorse.

Attraverso l’osservazione di edifici casi di studio e del repertorio delle soluzioni maggiormente utilizzate, dell’analisi delle caratteristiche in relazione alla durabilità del materiale che dei sistemi e delle possibili attività di monitoraggio, ispezione e manutenzione, sono state delineate delle indicazioni per migliorare la durabilità degli edifici con pareti perimetrali con componenti a base legno, sia dal punto di vista delle strategie da introdurre in fase di progetto in vista della stesura del piano di manutenzione.

Per i componenti di involucro, in particolare in relazione alle pareti perimetrali verticali, sono state osservati i criteri di identificazione delle caratteristiche del sistema e le prestazioni tecniche, le modalità d’uso, le possibilità di fine vita dei componenti e la manutenzione degli edifici articolata mediante le indicazioni progettuali idonee per agevolare l’ispezione ed il monitoraggio, nonché la facile dismissione dell’edificio.

A tal fine, sono state articolate delle schede di sintesi a servizio del progettista per la stesura del piano di manutenzione delle pareti perimetrali verticali, commentate e ampliate rispetto ai contenuti minimi previsti dalla normativa.

Infine, per verificare l'adeguatezza del modello proposto si è effettuata la redazione di un piano di manutenzione delle pareti perimetrali verticali di uno degli edifici caso studio precedentemente analizzato.

Metodologia e struttura della ricerca

Nella tesi la durabilità viene considerata non solo attraverso le caratteristiche materiche legate alla componentistica, ma anche attraverso lo studio dei sistemi di relazione degli strati funzionali e della capacità del sistema di garantire adeguate garanzie nel corso del tempo (B Daniotti & Spagnolo, 2007). Per caratterizzare l'adeguatezza del sistema ai requisiti di uso e gestione, sono state considerate le proprietà di affidabilità (ovvero i cicli di funzionamento assicurati dal produttore del componente senza manifestare danni), i livelli prestazionali medi dei componenti e le operazioni di manutenzione per assicurare che essi possano essere garantiti nel tempo.

Nonostante gli enormi progressi indotti dallo sviluppo delle tecniche e delle conoscenze, la complessità della gestione del fenomeno *dell'obsolescenza* in edilizia rimane un problema di difficile gestione e previsione, dato dalle diverse variabili in campo, che non sono di facile gestione nell'insieme del sistema edilizio (Di Giulio, 1991).

La politica di controllo dell'obsolescenza e di prevenzione dei fenomeni patologici di degrado si basa sostanzialmente sulla programmazione degli interventi manutentivi e sulla pianificazione delle risorse necessarie a mantenere costante nel tempo - o ad adeguare a nuove esigenze - la qualità di un sistema edilizio. Praticare una politica di programmazione dell'obsolescenza è una strategia che comporta l'organizzazione di un assetto programmatico delle fasi di progettazione e la predisposizione di tutti gli strumenti necessari a stabilire, sulla base di un'adeguata conoscenza dei fenomeni di obsolescenza che possono alterare i livelli prestazionali del sistema, quali siano le strategie - di natura sia tecnica che economica - più idonee a garantire nel tempo il massimo livello qualitativo al minor costo.

I fattori di obsolescenza e la valutazione dei componenti della qualità utile dell'edificio vanno messi in relazione non solo con le caratteristiche tecniche 'istantanee' dei componenti stessi, ovvero valutate al momento dell'installazione, ma anche con la qualità delle opere nel tempo e con la valutazione delle operazioni e risorse necessarie affinché tali prestazioni non decadano.

Dal momento che l'efficacia di un singolo elemento non è condizione sufficiente a garantire l'affidabilità del sistema del quale esso fa parte, la definizione dei 'valori soglia' e degli standard qualitativi relativi ai materiali e ai componenti dovrà essere subordinata alla previsione programmatica del comportamento dell'intero sistema (Di Giulio, 1991).

La ricerca si articola in una prima parte di indagine conoscitiva del costruito, mediante schedature di analisi per valutare gli aspetti relativi alle costruzioni con tecnologia costruttiva a base legno, condotta con ricerca bibliografica, con lo studio di articoli scientifici e di lettura critica e con la schedatura di casi di studio di rilievo nazionale e internazionale.

Il principale criterio osservato è la durabilità del costruito, rispetto al quale sono stati valutati i sistemi di montaggio utilizzati, la compatibilità materica interna delle soluzioni tecniche, i pretrattamenti dei materiali e il loro impatto ambientale e l'analisi del *work flow* di progetto e delle soluzioni di dettaglio di realizzazioni, confrontando materiale di base/durabilità attesa in fase di progetto.

Nella seconda fase della ricerca sono stati indentificati i punti critici, dal punto di vista della durabilità negli involucri con componenti a base legnosa, ossia i fenomeni di degrado che più facilmente si attivano e determinano manutenzioni non programmate e notevoli oneri per l'edificio.

Sono state approfondite le caratteristiche delle specie legnose maggiormente durevoli, indagate mediante prove di laboratorio di misura dell'invecchiamento agli agenti atmosferici e/o alla penetrazione dell'umidità e a una sintesi di quelle che possono definirsi le caratteristiche di scelta del progettista.

Con l'obiettivo di studiare le caratteristiche delle costruzioni in legno contemporanee sono stati schedati, analizzati e classificati più di cento edifici: una volta osservate le caratteristiche ricorrenti ne sono stati scelti solo alcuni rappresentativi rispetto al contesto generale, che sono stati indagati approfonditamente negli elementi di pareti perimetrali scelti e nella componentistica utilizzata.

Infine sono state confrontate le caratteristiche comuni tra le varie soluzioni, le discordanze nell'uso dei materiali e le diverse specifiche di prestazione, articolando un repertorio di soluzioni tecniche maggiormente utilizzato nell'edilizia contemporanea.

Con l'osservazione dell'uso dei componenti nei casi studio, la ricerca mediante aziende di settore, il confronto con progettisti e imprese di costruzione è stato possibile schedare i principali componenti a base legno utilizzati in edilizia ponendo l'accento sulle caratteristiche ricorrenti, le corrette modalità d'uso, la presenza di inquinanti nella produzione e il fine vita auspicabile per essi.

Partendo dal modello funzionale, si è articolato un repertorio di casi studio, di materiali utilizzati e di possibili cause di degrado, per cercare di interpretare l'affidabilità dei componenti e le caratteristiche di utilizzo.

Sono state indagate le giuste lavorazioni per garantire che i diversi componenti, attraverso trattamenti superficiali oppure attraverso particolari tecniche di montaggio, possano garantire la vita utile minima dell'edificio in opera, con l'obiettivo di individuare le corrette procedure di progetto, montaggio e manutenzione delle opere in legno, al fine di garantire agli utenti finali un manufatto che possa essere funzionale fino all'eventuale dismissione, o almeno possa garantire di essere pienamente operativo fino al termine di legge, prima di valutare un eventuale smontaggio e dismissione dei pezzi.

Sono state schedate e analizzate le caratteristiche ricorrenti dei principali trattamenti utilizzati per la protezione d'involucro e segnalate le ricorrenze delle necessità di manutenzione, delle modalità di ispezione e delle esigenze di ricerca.

Per valutare la durabilità del costruito e l'effettiva efficienza dei sistemi studiati, sono state approfondite alcune realizzazioni e intervistati i principali 'attori' delle diverse realizzazioni.

Sono stati effettuati dei sopralluoghi per valutare l'effettiva conservazione dell'edificio e sono state rilevate e schedate le problematiche ricorrenti principali, cercando di identificare le non corrette procedure di progetto che le hanno determinate.

Nella fase finale sono state interpretate le analisi, i dati e le impressioni dei professionisti raccolte durante i sopralluoghi, articolando le 'strategie' utili al progettista per valutare in fase di progetto le caratteristiche rilevanti per aumentare la durabilità dell'edificio e fornire indicazioni per l'elaborazione del piano di manutenzione dell'edificio.

Per fornire uno strumento operativo utile, è stato poi individuato uno schema tipo per la stesura di un manuale di manutenzione per edifici con parete perimetrale verticale con componenti a base legnosa, partendo dai contenuti minimi presenti già in normativa, che sono rivolti principalmente agli strati resistenti.

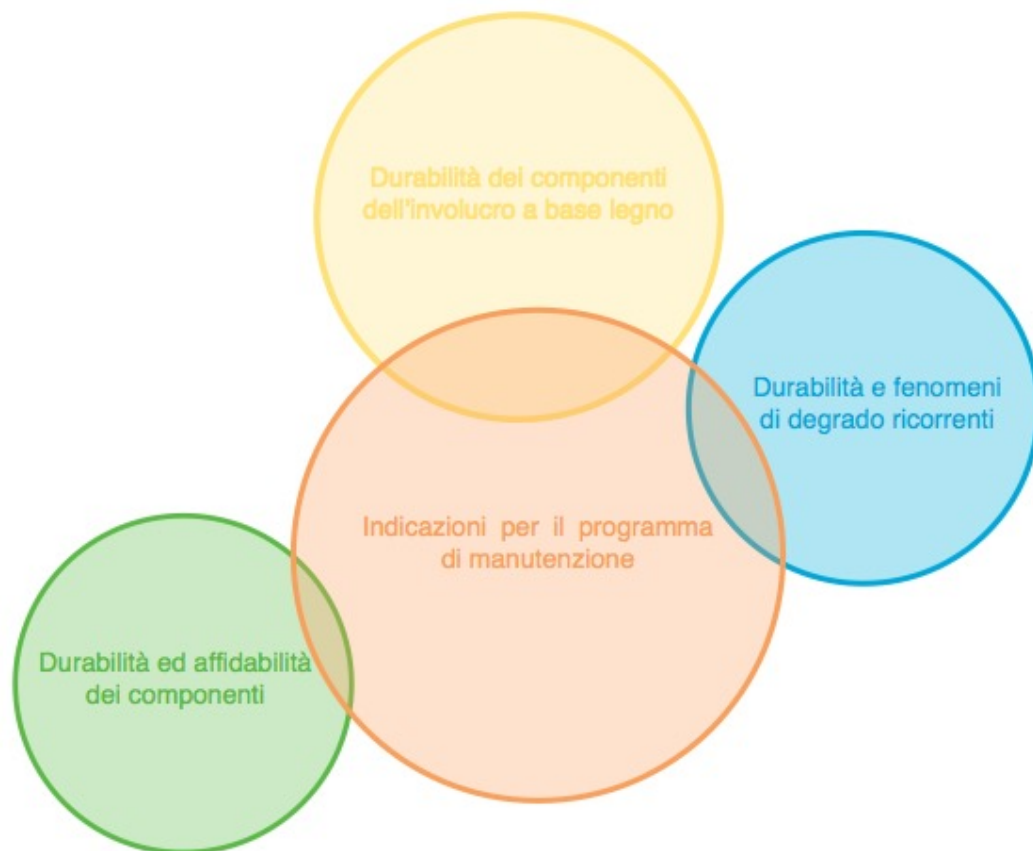
L'obiettivo è quello di agevolare il progettista nella definizione di idonee pratiche di progetto per agevolare il monitoraggio attivo e passivo¹ della struttura, l'ispezione e l'eventuale manutenzione, fornendo chiarezza sui tempi richiesti e sui documenti minimi.

Il progetto della manutenzione di uno degli edifici di caso studio ha permesso poi di validare lo schema pensato per il manuale di manutenzione evidenziando come la gestione delle informazioni relative alle caratteristiche dell'edificio sia l'azione più incisiva per migliorarne la gestione ed allungarne la vita utile, migliorando così la durabilità del costruito.

In relazione alle ipotesi del fine vita dei componenti, grazie al confronto con il progettista, è stato possibile delineare dei possibili scenari di dismissione che valorizzano le caratteristiche tecniche del materiale legno e che cercano di sfruttare appieno le potenzialità della tecnologia costruttiva a base legno per minimizzare l'impatto sull'ambiente.

¹ Si è qui ripresa la dizione utilizzata tipicamente nel monitoraggio strutturale e nella prevenzione incendi, dove viene definito 'attivo' la prevenzione o il monitoraggio effettuato mediante sistemi o impianti che controllano e vigilano sul costruito per evitare le condizioni dannose o gravose per esso, mentre per passivo si intendono tutte quelle misure di progettazione che non prevedono l'intervento dell'uomo o l'azionamento di un impianto.

Struttura della tesi



La tesi si articola attraverso quattro capitoli, che approfondiscono le caratteristiche che connotano la durabilità, intesa come requisito definito dalla UNI 11156, che indica 'la capacità di un componente di svolgere le funzioni richieste durante un periodo di tempo specificato'

Nel primo capitolo è stato affrontato lo studio della materiale legno, soffermandosi sui pretrattamenti necessari per conferirgli *durata* nel tempo.

In questo capitolo sono state poi valutate le principali specie legnose utilizzate in edilizia e confrontati alcuni dei requisiti che connotano la durabilità di esse (Resistenza superficiale, classe di durabilità, durezza, etc.).

E' stato effettuato un approfondimento sulle principali specie presenti in Europa ed in Italia, con l'obiettivo di valutare la sostenibilità della materia prima e quindi valutare in relazione alla durabilità anche l'energia necessaria per la produzione del materiale ed il trasporto.

Nella seconda parte del primo capitolo sono stati analizzati i principali componenti di involucro a base legnosa presenti sul mercato, con riferimento specifico alle pareti perimetrali verticali.

L'obiettivo, con questo studio, è stato di indagare i componenti maggiormente utilizzati negli strati funzionali di parete, caratterizzandoli dal punto di vista delle prestazioni, per approfondire il funzionamento in relazione ai fenomeni di degrado ed alle principali attività di manutenzione da prevedere.

Sono state indagate le specifiche di prestazione attraverso l'osservazione dei criteri di scelta di nuovi prodotti introdotti sul mercato considerati maggiormente durevoli e che sono caratterizzati da modalità d'uso che li discostano dall'utilizzo tradizionale del legno.

Nel secondo capitolo sono state analizzate le principali cause di degrado, indagate attraverso analisi di casi studio e ricerca bibliografica. Sono state articolate le problematiche relative al degrado sia in relazione al materiale sia in relazione al sistema edilizio.

In particolar modo sono state analizzate le problematiche relative alle pareti perimetrali verticali, analizzando i nodi nevralgici dell'edificio, analizzando come sia possibile prevenire il deterioramento attraverso le caratteristiche degli strati funzionali all'interno delle diverse soluzioni tecniche.

Nel terzo capitolo sono stati indagati i concetti di durabilità in relazione alla previsione di vita utile delle costruzioni e quindi delle previsioni di progetto. L'obiettivo è stato quello di valutare le caratteristiche progettuali degli edifici in generale, con particolare attenzione ad edifici con tecnologia costruttiva a base legno.

L'obiettivo di questo capitolo era approfondire i procedimenti di manutenzione edilizia in generale, le stime per valutare i diversi scenari di fine vita e/o la durata degli edifici.

Nell'ultimo capitolo della tesi sono stati analizzati i casi studio di riferimento, per comprendere meglio quale sia il punto di vista dei progettisti e dei costruttori di edifici a base legno.

Il repertorio delle realizzazioni prese in esame ed i sopralluoghi effettuati sono stati la base per articolare gli indirizzi delle attività manutentive e delle specifiche sulle richieste di manutenzione che sono illustrati nell'ultimo capitolo.

Lo strato di rivestimento esterno è stato analizzato essendo considerato molto rilevante per la valutazione della durabilità della soluzione. In particolar modo, sono state considerate le caratteristiche morfologiche, dimensionali e prestazionali del singolo componente, la relazione tra il componente ed il sistema di supporto, la relazione tra gli elementi dello stesso strato, i pretrattamenti utilizzati e, dove sottolineate dal produttore, particolari attività e/o prescrizioni di posa in opera.

Stato dell'arte e motivazioni dell'interesse di studio

Cenni sulla produzione della materia prima legno

Come specificato in premessa di capitolo, la durabilità della materia legno non può esulare ragionamenti riguardo gli effetti sullo sviluppo sostenibile delle costruzioni, sul reperimento del materiale e sulle ipotesi di fine vita in relazione alle possibili trasformazioni effettuabili sulla materia prima.

A livello generale, le superfici forestali garantiscono la produzione di beni essenziali e rivestono un ruolo fondamentale nello sviluppo sostenibile, garantendo alle generazioni future servizi e risorse, (Osservatorio congiunto Fillea CGILL & Legambiente, 2012).

La gestione delle risorse forestali a livello mondiale è fondamentale per le decisioni socio-politiche, per molti equilibri legati alle diverse sfere della società, come conservare la biodiversità e l'integrità ecologica del pianeta, oppure bilanciare i guadagni socio-economici di alcune tra le nazioni più povere, oppure ancora regolare la produzione di anidride carbonica e di ossigeno nell'atmosfera.

Negli ultimi 25 anni la superficie mondiale forestale è diminuita dai 4.1 miliardi ha a sotto i 4 miliardi ha, una perdita di circa il 3.1% e sembra che questa progressiva variazione negativa si sia stabilizzata nell'ultimo decennio (FAO, 2016b)

Le foreste occupano complessivamente una superficie superiore ai 4 miliardi di ha, pari a circa il 31% della superficie totale delle terre emerse equivalente ad una media di 0,6 ha per abitante.

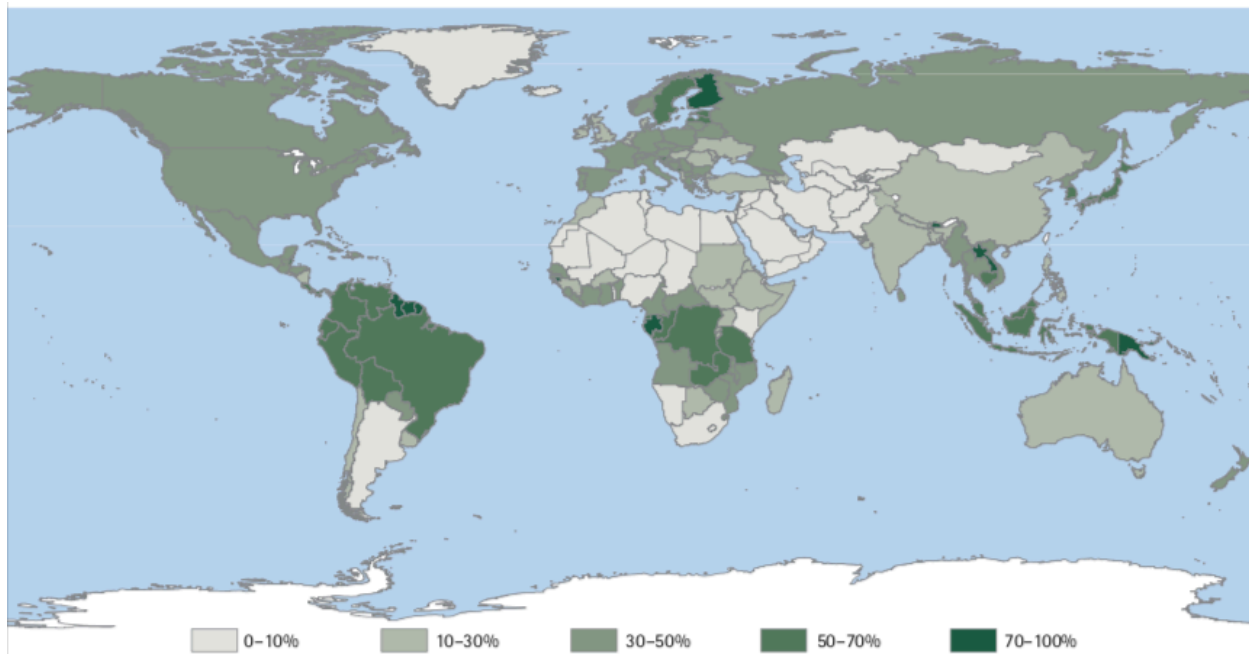


Figura 1 Percentuale di superficie forestale nazionale comparata alla superficie nazionale totale nel 2015, (United Nation's Food and Agriculture Organization, 2015)

La trasformazione della superficie forestale globale è oggetto di riflessione di diverse discipline, legate sia agli ambiti tecnici che alle scienze sociali ed ai fenomeni di sviluppo sostenibile dei popoli (FAO, 2016c).

E' interessante osservare il confronto tra la variazione della presenza di foreste e la fascia climatica delle nazioni dove questa variazione si verifica.

La tendenza attuale osservata rileva che nelle aree con clima tropicale ci sia una rilevante perdita di superficie forestale misurata negli ultimi decenni, mentre nelle aree a clima temperato la presenza di foreste è sempre più in aumento.

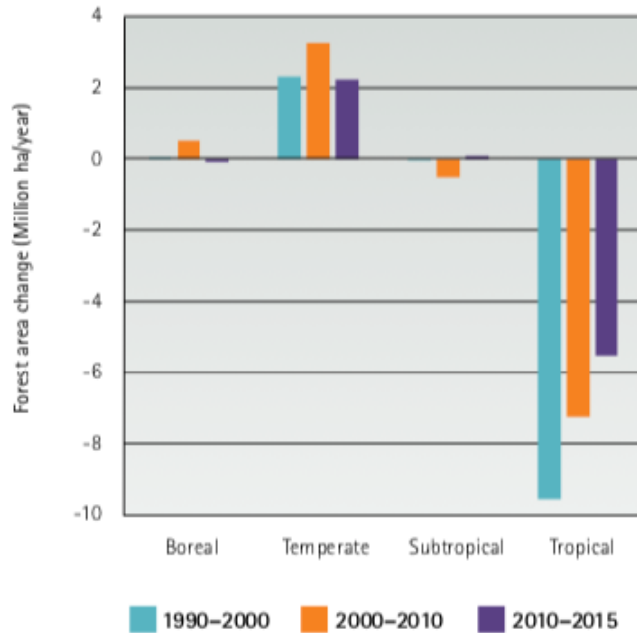


Figura 2 Variazione annuale di superficie forestale in relazione alle zone climatiche, 1990-2015,(United Nation’s Food and Agriculture Organization, 2015)

Lo sviluppo sostenibile della produzione della materia prima rientra anche nei ragionamenti di equità e sostenibilità sociale: in tal senso è rilevante osservare la relazione tra la percentuale di foreste e il reddito medio del paese, che mostra come nelle zone con redditi maggiori la percentuale di superficie forestale sia in aumento, mentre nei paesi con reddito medio o medio-basso, sia in diminuzione.

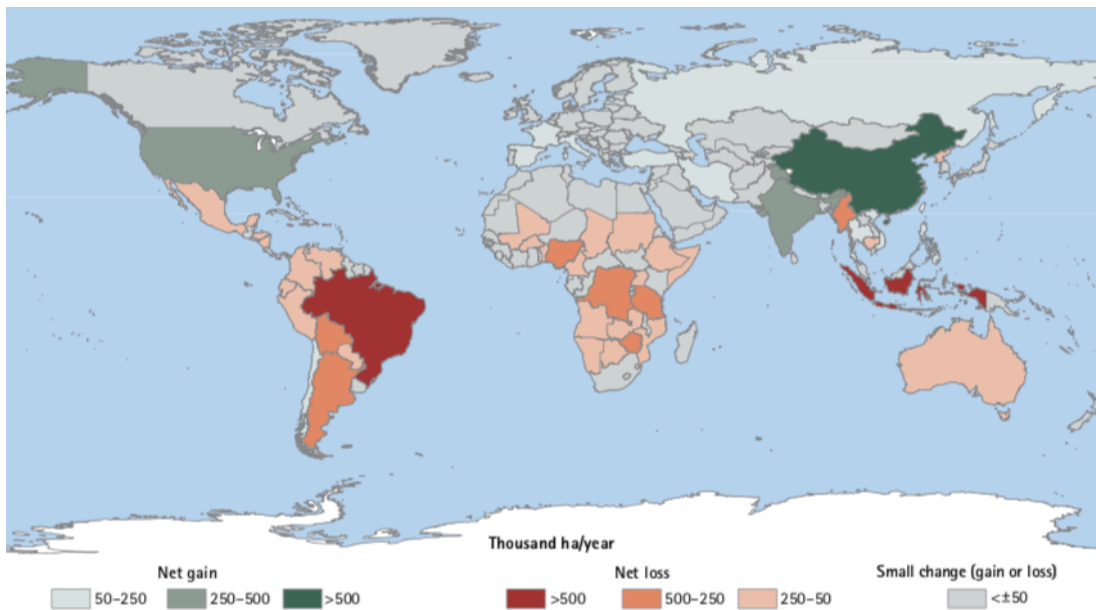


Figura 3 Bilancio della perdita-guadagno di superficie netta di foresta tra il 1990 ed il 2015 (United Nation’s Food and Agriculture Organization, 2015)

Questi andamenti possono ricondursi a diverse cause come ad esempio una maggiore sensibilità rispetto la presenza delle superfici forestali nei paesi a maggiore sviluppo economico che influisce nella scelta delle politiche nazionali con l'aumento di fenomeni di rimboschimento nazionale, con il risultato di registrare un aumento di superficie forestale disponibile.

D'altro canto è possibile osservare fenomeni di *disboscamento selvaggio* in paesi considerati poveri, ad opera di nazioni più ricche che sfruttano la produzione e l'estrazione di specie legnose di prima scelta senza affrontare logiche di piantumazione ciclica o di velocità di crescita e coltivazione delle specie (FAO, 2016c).

L'incremento di superficie forestale è stato positivo negli ultimi 25 anni per i paesi a reddito medio elevato, mentre per i paesi con reddito medio-basso la tendenza è di riduzione della superficie netta totale.

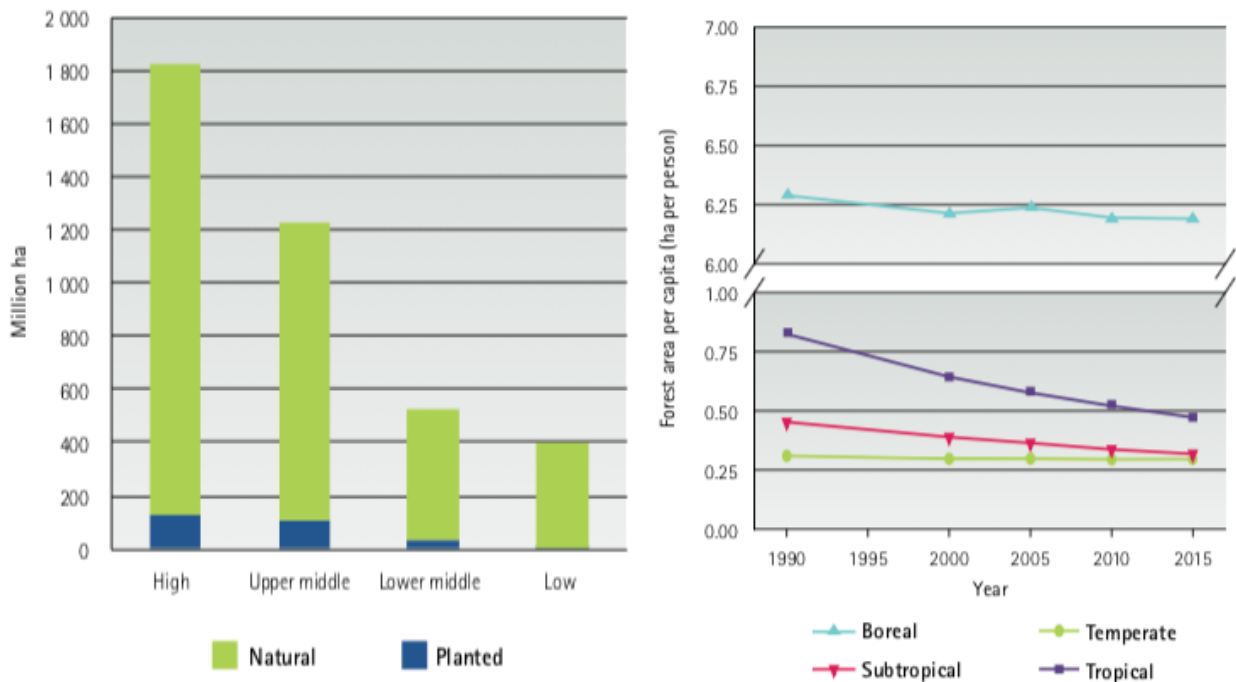


Figura 4 (a sinistra) Confronto tra la presenza di superficie forestale nazionale e reddito medio nazionale, (United Nation's Food and Agriculture Organization, 2015)

Figura 5 (a destra) Superficie forestale pro capite in relazione alla fascia climatica

L'attuale decremento della superficie netta di foresta combinato con le variazioni climatiche registrate nell'ultimo decennio, che vedono l'innalzamento medio delle temperature nelle aree temperate e boreali, suggeriscono che per il futuro il livello di densità forestale in queste zone continuerà a scendere fino a livellarsi. Aumentando il numero della popolazione mondiale, ci sarà sempre più domanda di conversione del terreno da forestale ad uso agricolo e quindi una globale riduzione della presenza di foreste.

La riduzione quindi di percentuale pro capite di foreste combinata con l'aumento della rimozione del legno controllata, suggerisce che nel futuro ci sarà bisogno di più materia prima da meno superficie forestale, con necessità legate alle piantumazioni che vedranno in primo piano politiche legate alla velocità di piantumazioni delle specie e di densità forestale.

Tabella 1: Variazione della superficie forestale e del coefficiente di boscosità							
	1985	1990	2000	2005	2010	2015	Variazione 1985-2015
	ha						%
Bosco	7.200.000	7.589.800	8.369.400	8.759.200	9.028.139	9.297.078	29,1
Altre terre boscate	1.475.100	1.533.408	1.650.025	1.708.333	1.760.785	1.813.237	22,9
Superficie forestale	8.675.100	9.123.208	10.019.425	10.467.533	10.788.924	11.110.315	28,1
Coefficiente di boscosità	28,8	30,3	33,3	34,7	35,8	36,8	

Figura 6 Variazione della superficie forestale e del coefficiente di boscosità, (FAO 2016a)

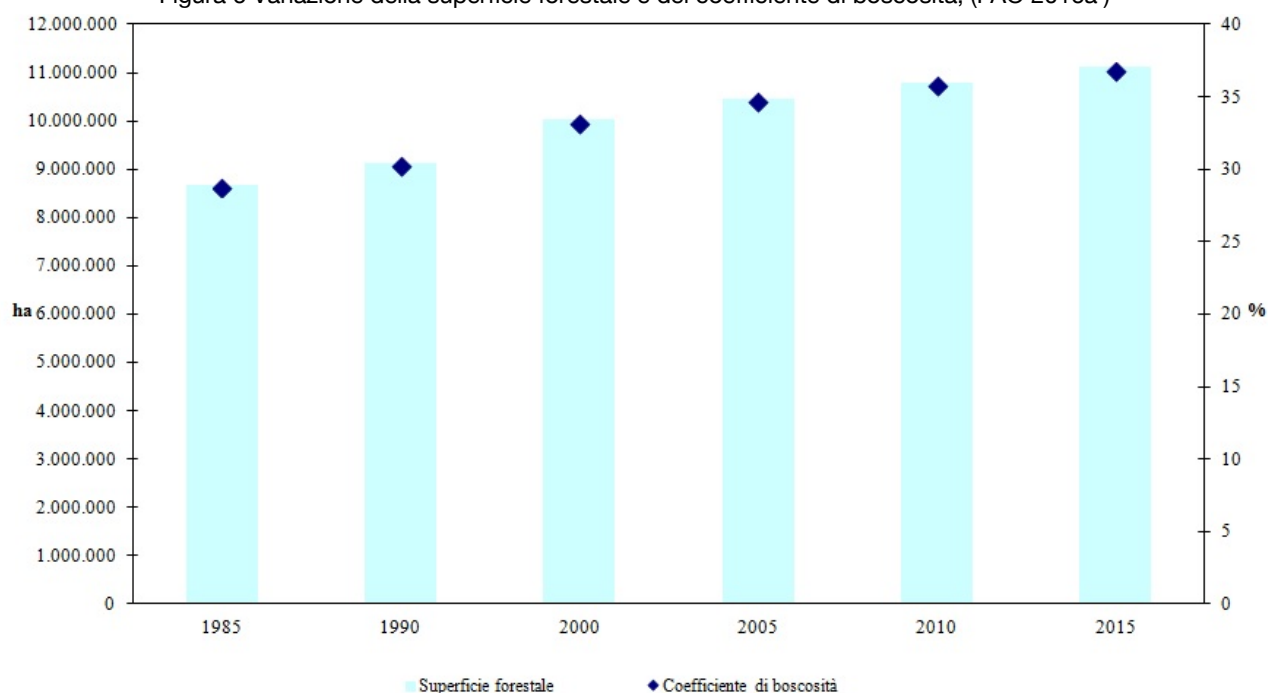


Figura 7 Variazione della superficie forestale e del coefficiente di boscosità, (FAO, 2016b)

Nel grafico, si può notare come sia la superficie forestale che il coefficiente di boscosità, che esprime il rapporto tra la superficie a bosco e la superficie totale, siano in aumento costante negli ultimi 20 anni e le proiezioni future mostrano margini di crescita ulteriori.

Il settore dell'industria del legno è tra i più controllati nella provenienza del materiale e nei passaggi per permettere che non sia intaccato l'ecosistema globale. Il fenomeno che si sta progressivamente affermando in più aree geografiche del mondo vede essa fa sempre più affidamento al legname di provenienza non forestale, ma da coltivazioni controllata e piantumazioni programmate in relazione alla velocità di crescita: il settore dell'arboricoltura da legno ha sempre più ampie aree geografiche di applicazione e sta sviluppando la superficie delle piantagioni utilizzate.

La FAO stima che entro il 2050 il 40% di legno tondo industriale potrebbe essere prodotto da piantagioni e non estratto da foreste, (FAO, 2016 c).

Il problema dell'approvvigionamento della materia prima, in particolar modo il disboscamento e l'incidenza di esso sull'equilibrio naturale, ha portato molte associazioni ad elaborare protocolli relativi a processi virtuosi di estrazione e possibili modalità di controllo della filiera necessaria alla produzione del prodotto in maniera 'sostenibile'.

Le certificazioni più note sono la Forest Stewardship Council (FSC) e Programme for Endorsement of Forest Certification schemes (PEFC).



Figura 8 Tipologie di certificazioni di provenienza del materiale da foreste 'protette'.

A sinistra il logo della certificazione Forest Stewardship Council (FSC) a destra Programme for Endorsement of Forest Certification schemes (PEFC)

La FSC è un'organizzazione non governativa senza scopo di lucro, all'interno della quale troviamo tre sezioni - ambientale, sociale ed economica - con uguale diritto di voto in assemblea.

Questa caratteristica assicura che il fenomeno dell'estrazione del legno sia affrontato prestando attenzione a tutte le componenti legate al fenomeno e a tutte le conseguenze che da esso possono scaturire. I soci all'interno dell'organo di rappresentanza provengono da tutti i paesi del Nord e Sud del mondo, e sono rappresentati in maniera paritaria.

Tra i sostenitori votanti compaiono diverse organizzazioni ambientaliste (WWF, Greenpace) ma anche proprietari forestali o esponenti del settore gestione carta e così via, permettendo di avere una visione complessa legata al fenomeno ed all'incidenza dell'estrazione del legno.

La FSC basa la propria certificazione attraverso un sistema di standard definito con l'azienda interessata, seguendo tutto l'iter della costruzione, dalla progettazione alla consegna del lavoro.

I livelli minimi di accettazione della produzione della materia prima sono uguali in tutto il mondo estraniati quindi dai diversi ambiti culturali, politici e legali.

Principio 1	L'Organizzazione deve rispettare tutte le leggi applicabili, i regolamenti, i trattati, le convenzioni e gli accordi internazionali ratificati a livello nazionale.
Principio 2	L'Organizzazione deve mantenere o migliorare il benessere sociale ed economico dei propri lavoratori.
Principio 3	L'Organizzazione deve riconoscere e tutelare i diritti legali e consuetudinari delle popolazioni indigene relativi alla proprietà, all'uso e alla gestione della terra, dei territori e delle risorse interessate dalle attività di gestione.
Principio 4	L'Organizzazione deve contribuire al mantenimento o al miglioramento del benessere sociale ed economico delle comunità locali.
Principio 5	L'Organizzazione deve gestire efficacemente la varietà dei diversi prodotti e servizi dell'Unità di Gestione e mantenere o migliorare nel lungo periodo la sostenibilità economica e la varietà di benefici ambientali e sociali.
Principio 6	L'Organizzazione deve mantenere, conservare e/o ripristinare i servizi ecosistemici e i valori ambientali dell'Unità di Gestione e deve evitare, sanare o mitigare gli impatti ambientali negativi.
Principio 7	L'Organizzazione deve avere un Piano di Gestione coerente con le proprie politiche ed obiettivi e in proporzione alla scala, all'intensità e al rischio delle proprie attività di gestione. Il Piano di Gestione deve essere realizzato, mantenuto e aggiornato in base alle informazioni del monitoraggio, al fine di promuovere una gestione adattativa. La pianificazione e la documentazione procedurale connesse devono essere sufficienti per guidare lo staff, informare gli stakeholder influenzati e gli stakeholder interessati e giustificare le decisioni della gestione.
Principio 8	L'Organizzazione deve dimostrare che il progresso verso il raggiungimento degli obiettivi di gestione, gli impatti delle attività di gestione e le condizioni dell'Unità di Gestione sono monitorati e valutati in proporzione alla scala, all'intensità e al rischio delle attività di gestione, al fine di attuare una gestione adattativa.
Principio 9	L'Organizzazione deve mantenere e/o migliorare gli Alti Valori di Conservazione nell'Unità di Gestione nel contesto di un approccio precauzionale.
Principio 10	Le attività di gestione condotte da o per conto dell'Organizzazione nell'Unità di Gestione devono essere selezionate e realizzate coerentemente con le politiche economiche, ambientali e sociali e secondo gli obiettivi dell'Organizzazione, in conformità con l'insieme dei Principi e Criteri.

Figura 9 Principi che l'unità forestale deve possedere per ottenere la certificazione FSC (FSC, 2015)

La PECF è un'organizzazione non governativa senza scopo di lucro, con 34 membri ordinari, dove le provenienze non sono strettamente legate al campo di competenza e dove la partecipazione e l'adesione maggiore è di rappresentanti del settore forestale e dell'industria forestale.

La PECF è un sistema che prende in considerazione le diverse esigenze del contesto dell'unità forestale che richiede la certificazione e che quindi si caratterizza per avere diversi standard che variano per categorie di nazioni con le stesse esigenze (ad esempio Europa, Nord America etc).

A titolo esemplificativo, si illustra lo schema di certificazione forestale PEFC in Europa, il quale è fondato su tre principi fondamentali:

- il rispetto dei Criteri e degli Indicatori definiti nelle Conferenze Ministeriali per la protezione delle foreste in Europa (Helsinki 1993, Lisbona 1998) che hanno dato avvio al cosiddetto "Processo pan-europeo";
- l'applicazione a livello regionale o di gruppo (anche se è parimenti possibile un'adesione individuale);
- le verifiche ispettive e la certificazione affidate ad una terza parte indipendente ed accreditata. (PEFC italia, n.d.)

Entrambe le certificazioni assicurano che il materiale sia di origine protetta e che non ci sia uno sfruttamento intensivo o non corretto delle foreste. Il Parlamento Europeo riconosce PEFS e FSC come “ugualmente in grado di fornire garanzia al consumatore che i prodotti certificati a base di legno e carta derivino da gestioni forestali sostenibili”².

In generale, queste tipologie di certificazioni risultano vantaggiose dal punto di vista della sostenibilità, in particolar modo per il vantaggio legato al controllo delle coltivazioni delle foreste, al grado di accrescimento delle diverse specie e al controllo dei meccanismi di filiera.

La situazione italiana

A livello internazionale, gli annuari che articolano lo stato dell'arte sulla situazione forestale sono coordinati da aziende di settore che si occupano di selvicoltura, di rilievi forestali e di protezione del patrimonio forestale; in Italia è *l'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale* ad occuparsi della lavorazione dei dati.

Lo sfruttamento della materia prima ha manifestato da parte di alcune aziende produttrici delle perplessità, visto che tipicamente in edilizia le specie più utilizzate rimangono il larice e l'abete rosso che non sono molto presenti sul territorio italiano.

Nell'ultimo secolo in Europa e più specificatamente in Italia si è registrato un generalizzato aumento della superficie boscata, dovuto essenzialmente alla conversione in superficie forestale di terre agricole e pascolive abbandonate (Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, 2017a). La porzione di territorio occupata dalle foreste di copertura boscata nel tempo ha avuto una graduale e continua espansione: da 8.675.100 ettari del 1985 si è passati a 11.110.315 ettari del 2015, con un incremento pari al 28,1%, in prosecuzione di un trend iniziato a partire già dal secondo dopoguerra (Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale, 2016).

L'aumento percentuale della crescita della superficie dei boschi italiani è stimato intorno allo 0,6% (comprensiva di arbusteti, formazioni rade e boscaglie) e raggiunge l'estensione di circa 11 milioni di ettari, raggiungendo così il 39% della superficie territoriale nazionale.

Nello specifico, la superficie classificata come bosco è di 10.079.483 ha mentre quella classificata come altre terre boscate ricopre 1.698.766 ha.

Il tasso d'incremento che comprende la rigenerazione naturale e l'afforestazione è pari a circa di 42.000 ha/anno, mentre il tasso medio annuale di deforestazione è di circa 16.000 ha/anno.

Si stimava per il 2016 un prelievo intorno ai 12 milioni di m³/anno, che rappresenta appena il 30% rispetto all'incremento complessivo di massa legnosa, pari a 38,4 milioni di m³/anno (FRA 2015).

Un così basso prelievo si giustifica con gli elevati costi di gestione, con i limiti orografici e con le ridotte dimensioni delle 'tagliate'³ su proprietà private, spesso inferiori a un ettaro.

Le proprietà pubbliche sono più ampie e meglio gestite, con una dimensione media di tagliata di poco inferiore a 3 ettari: questo garantisce che i costi di gestione della produzione del 'materiale' siano decisamente minori che il fenomeno di rinnovazione naturale sia più facilmente governabile.

² Risoluzione INI/2005/2054 approvata il 16.2.2006.

³ Per tagliata ci si riferisce al taglio di maturità definito come 'quel taglio fatto alla fine del ciclo economico di un bosco, con lo scopo non solo di raccogliere il prodotto legnoso maturo, ma anche e soprattutto quello di avviare un successivo ciclo innescando il processo di rinnovazione naturale' (Associazione europea ingegneri agronomi e forestali, 2014)

Rimane la problematica della gestione forestale, ovvero di politiche integrate di interventi selvicolturali utilizzati all'implementazione della produzione e della crescita di prodotti a principale utilizzo legnoso, che ad oggi risulta fortemente inadeguato nel sistema di governo forestale italiano.

Nonostante questa carenza, il settore legato alla produzione di materiali legati alla filiera del legno vanta una fiorente industria che appare ancora in crescita, sia come fatturato che come impiegati del settore (Elaborazione Centro Studi Fillea su dati Istat, 2014).

Circa l'80% della superficie nazionale che rientra nella classificazione *bosco* (9,2 milioni di ettari) risulta disponibile al prelievo, ma solo circa 6 milioni di metri cubi ne vengono utilizzati, pari circa al 15% della biomassa prodotta in Italia ogni anno.

Le motivazioni che non rendono economicamente vantaggioso lo sfruttamento delle foreste nazionali sono legati sia all'inadeguata accessibilità di alcuni boschi, ma anche perché nel mercato le aziende del prodotto preferiscono rivolgersi all'estero, dove trovano partner che riescono garantire una migliore qualità del prodotto ad un costo più contenuto in relazione alle quantità e una maggiore costanza dell'offerta.

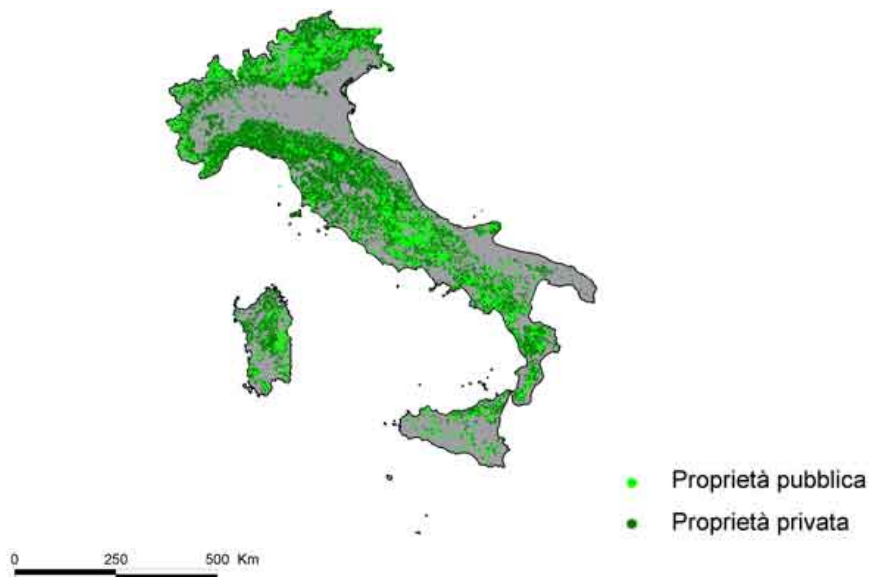


Figura 10 Distribuzione della tipologia di proprietà forestale (Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, 2017b)

Prosegue la contrazione dei prelievi di legname per uso energetico, diminuiti di quasi il 18% in un solo anno e attestatisi sotto i 3,5 milioni di metri cubi.

Le foreste italiane restano al sesto posto nella classifica dei paesi europei (escludendo la Russia) con la maggiore estensione forestale e ricoprono il 5% della superficie forestale totale europea e il 39% della superficie totale nazionale, (Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, 2017a)

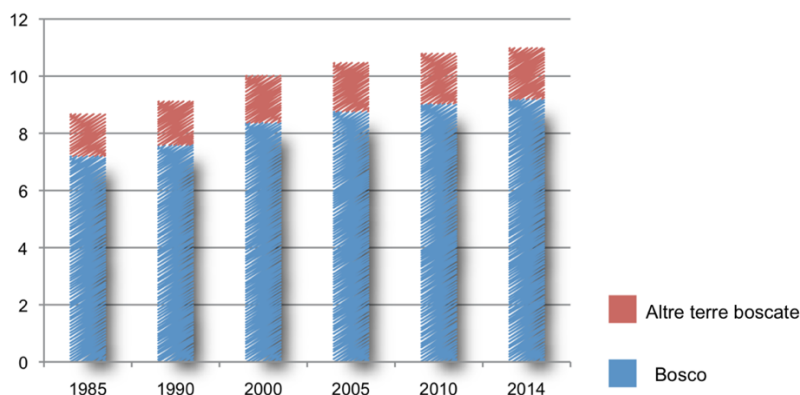


Figura 11 Superficie forestale nazionale,(milioni di ettari, (fonte (Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, 2017b)

In Italia gli ultimi dati disponibili sulla presenza delle specie arboree e la loro diffusione e livello territoriale risalgono all'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio del 2005,(l'inventario del 2015 è ancora in corso, con chiusura e pubblicazioni dei risultati prevista per il 2020).

La presenza delle diverse specie arboree in Italia è fotografata dalle rappresentazione cartografiche dell'Inventario Forestale Nazionale del 2005 (Comando per la tutela forestale, 2005)



Figura 12 A sinistra Distribuzione dei boschi di Larice e Cembro in Italia, al centro Distribuzione dei boschi di abete rosso, a destra Distribuzione dei boschi di abete bianco (Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, 2017b)



Figura 13 A sinistra Distribuzione degli altri boschi di conifere, al centro Distribuzione delle faggete, a destra Distribuzione dei querceti di rovere, roverella e farnia (Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, 2017b)

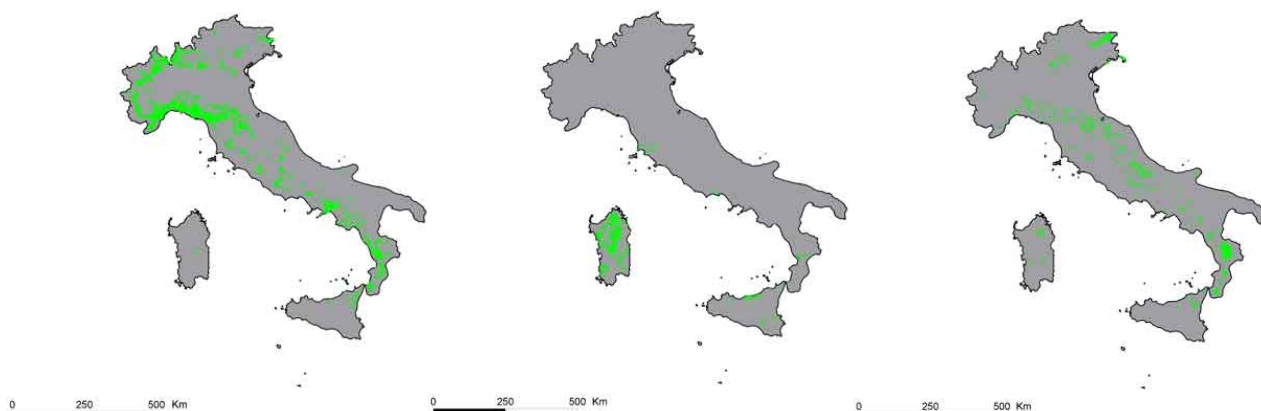


Figura 14 A sinistra, Distribuzione dei castagneti, al centro Distribuzione delle sugherete, a destra distribuzione delle pinete di pino nero, laricio e loricato (Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, 2017b)

Nell'edilizia le principali specie legnose utilizzate, come già detto precedentemente, risultano essere il larice, l'abete bianco e rosso ed il pino cembro.

Queste specie legnose sono presenti diffusamente nel nord Europa, con una superficie che riesce a garantire sia le quantità necessarie sia di tavole con le stesse caratteristiche sia di piante con caratteristiche prestazionali differenti (a rigidità, resistenza etc.).

L'estrazione boschiva e lo sviluppo di mercato hanno innescato meccanismi di filiera consolidati, che permettono di avere un materiale altamente controllato e stabile nelle prestazioni, con lavorazioni controllate e ampie garanzie sotto tutti i punti di vista che concernono la sicurezza edilizia (dal comportamento statico-dinamico strutturale, al comportamento al fuoco, alla caratterizzazione degli effetti di degrado).

Dall'analisi delle cartografie riportate nelle pagine precedenti emerge come le specie presenti diffusamente sul territorio italiano siano diverse da quelle principalmente utilizzate in edilizia.

Esso sono il cedro, il rovere e il castagno, presenti in discrete quantità secondo l'Inventario Forestale Nazionale del 2005 e soprattutto in maniera diffusa del territorio.

L'utilizzo di esse potrebbe essere un valido criterio di scelta del materiale per il progettista con il fine di implementare la sostenibilità del costruito, diminuendo il quantitativo di energia necessario per trasportare il materiale all'interno del territorio, valutando anche attentamente le caratteristiche delle specie (in special modo i fenomeni legati alla durabilità), per individuare il corretto d'uso di componenti con esse prodotti.

I principi di sussidiarietà potrebbero innescare anche nel nostro paese dei principi virtuosi che garantirebbero, stante l'affidabilità del materiale e dei processi di approvvigionamento della materia prima, meno inquinanti scaturiti dal trasporto legato all'utilizzo anche alle nostre latitudini di specie tipicamente nordiche.

Cenni di sostenibilità ambientale degli edifici in legno

Il vantaggio dell'utilizzo del legno in edilizia ha indubbiamente uno dei fondamenti più importanti nell'origine naturale del materiale, che permette di abbattere notevolmente l'inquinamento che scaturisce in generale dal settore delle costruzioni⁴.

Questo fa sì che, nonostante alcune perplessità relative alla durabilità che saranno espresse più avanti nel corpo della tesi, il legno sia al centro di molti dei ragionamenti legati all'edilizia sostenibile e ad un uso ragionevole della materia. Per verificare quanto i trattamenti e le lavorazioni sulla materia prima, legati alla durabilità e alla sostenibilità del componente, influiscano poi nella sostenibilità del sistema in generale, sono state effettuate analisi che relazionavano le caratteristiche del bilancio di produzione di esso, a partire dal reperimento della risorsa fino al momento della sua dismissione "from cradle to grave" (Ximenes, Robinson, & Wright, 2006).

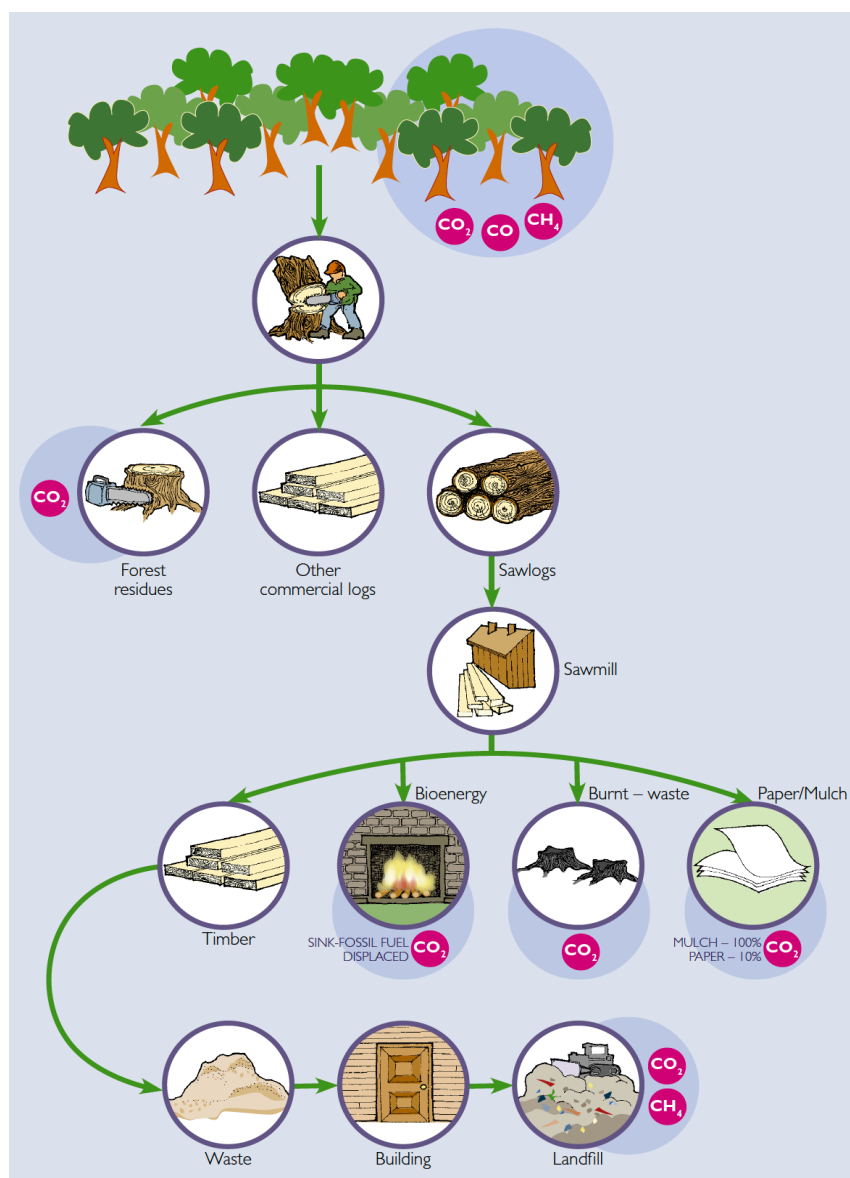


Figura 15 Ciclo vita del legno (Ximenes et al., 2006)

⁴ 'Gli edifici sono responsabili del 40 % del consumo globale di energia nell'Unione (...) la riduzione del consumo energetico e l'utilizzo di energia da fonti rinnovabili sono necessarie per ridurre la dipendenza energetica dell'Unione e le emissioni di gas a effetto serra' Direttiva 2010/31/UE.

Il principale strumento che viene utilizzato oggi per definire l'energia nel ciclo di vita di un edificio è *il Life Cycle Assessment*, definito dall' *International Standard Organization*⁵ nel documento ISO 14040 come "un processo di valutazione degli aspetti ambientali associati ad un prodotto o ad un servizio" e "considera gli impatti ambientali lungo la durata del ciclo di vita del prodotto (dalla culla alla tomba) dall'acquisizione delle materie prime alla produzione, all'uso fino allo smaltimento".

Le 4 fasi di uno studio di LCA sono:

1. Definizione degli obiettivi e campo di applicazione: in questa fase vengono definite le finalità dello studio, l'unità funzionale (misura o quantità di prodotto - in termini di funzione piuttosto che fisici - per la quale si misura l'impatto ambientale), i confini del sistema (ampiezza del sistema considerato), il fabbisogno di dati e le relative assunzioni.
2. Inventario: questa fase comprende la quantificazione dei dati relativi ai flussi in entrata e in uscita (input e output) per ciascun processo del ciclo di vita del prodotto.
3. Valutazione degli impatti: le informazioni ottenute nell'analisi dell'inventario vengono classificate e aggregate nelle diverse categorie d'impatto a seconda degli effetti che possono avere sull'ambiente a livello locale, regionale o su scala globale.
4. Interpretazione dei risultati: le informazioni e i risultati ottenuti vengono interpretati e possono poi tradursi in raccomandazioni per la riduzione dell'impatto ambientale.

Per la stima di LCA sono molto complesse e variabili, legate alle considerazioni assunte in fase iniziale dal progettista redattore dell'analisi. L'analisi definisce un iter chiaro per ipotizzare l'energia necessaria alla costruzione degli edifici, ma la discrezionalità dei criteri da assumere possono portare a risultati molto diverse tra loro, soggetti a discrezionalità e non valevoli della universalità richiesta alle analisi di comparazione.

Per quanto riguarda gli edifici realizzati con tecnologie a base legno, i criteri di osservazione per affrontare e classificare gli edifici si concentrano su:

- l'impatto che hanno queste costruzioni sul ciclo di vita dei materiali, sul processo di approvvigionamento del materiale e sulle eventuali emissioni;
- la domanda della materia, le filiere di approvvigionamento dello stesso e la velocità della crescita delle coltivazioni;
- gli effetti benefici/dannosi che questo materiale ha sul benessere indoor;
- la quantità di materiale utilizzato per la costruzione (anche rispetto a diverse tecnologie costruttive a base legno)

⁵ L'International Standard Organization un'organizzazione internazionale non governativa indipendente con un gruppo di 164 organismi nazionali di normalizzazione. Attraverso i suoi membri riunisce esperti per condividere conoscenze e sviluppare standard internazionali volontari, basati sul consenso e pertinenti al mercato che supportano l'innovazione e forniscono soluzioni alle sfide globali.

- le specifiche di prestazione dei singoli componenti e delle soluzioni tecniche conformi, per determinare se tali tecnologie possano garantire prestazioni adeguate agli standard di emissioni⁶ e degli obiettivi prefissati per i consumi energetici⁷

Diverse ricerche hanno cercato di quantificare questi consumi e classificarne le potenzialità, confrontandoli con altri materiali da costruzione (Benedetti, 2009; Dadswell, Dargavel, & Evans, 2015; S. John, Mulligan, Perez, Love, & Page, 2011; United Nation's Food and Agriculture Organization, 2015; Ximenes et al., 2006).

Le caratteristiche principali che qualificano il materiale per il bilancio LCA sono legate a:

- La possibilità di utilizzare un materiale che sia rinnovabile, lì dove ogni nazione preveda un piano di disboscamento e di ricrescita delle coltivazioni, finalizzato all'uso in edilizia;
- La sussidiarietà dello stesso, ovvero la possibilità di produrre la materia prima a *chilometro zero*, senza quindi incentivare movimentazioni di merci, dannose per l'inquinamento globale;
- Le certificazioni delle provenienze e delle fabbricazioni ovvero la possibilità di controllare le industrie con il certificato di salvaguardia boschiva e di disboscamento controllato per la sostenibilità delle foreste;
- La sottrazione naturale del carbonio che hanno le piante quando sono in vitae che non cessa quando esse vengono tagliate. Infatti, il materiale continua a trattenere il carbonio assunto e la crescita di nuove piantagioni continua ad incentivare invece la sottrazione di anidride carbonica dall'atmosfera;
- energia per la produzione di materiale limitata nel tempo (solo all'inizio nelle modificazioni del materiale) e che non ha un forte impatto nel bilancio energetico.

Una delle discrezionalità più forti nelle analisi su edifici in legno risiede nella previsione del fine vita e di riuso dei componenti dell'edificio.

Gli scenari di fine vita riguardano l'eventuale dismissione e messa a dimora per interrimento, l'incenerimento o il riuso e ovviamente la diversa previsione cambia la quantificazione dell'impatto sul LCA. L'argomento è stato dibattuto in diversi articoli, con risultati a volte molto differenti evidenziando ancora una volta come la discrezionalità di alcuni assunti da parte di chi effettua l'analisi, possa incidere in maniera rilevante sul risultato della stessa.

Tra gli studi più recenti è possibile citare, a titolo esemplificativo, confronto tra l'impatto ambientale dato da un edificio con involucro in laterizio e uno con involucro in pannelli portanti in legno è riportato nell'articolo di Costruzioni In Laterizio n. 143 (Palumbo et al. 2015) nel quale si sottolinea che nonostante ci siano varie normative europee nate per armonizzare la procedura di calcolo del LCA⁸ e della vita utile

⁶ 'Gli edifici sono responsabili del 40 % del consumo globale di energia nell'U.E. (...) la riduzione del consumo energetico e l'utilizzo di energia da fonti rinnovabili sono necessarie per ridurre la dipendenza energetica dell'Unione e le emissioni di gas a effetto serra' (European Commission, 2010)

⁷ 'Articolo 9 – Edifici a energia quasi zero. Gli Stati membri provvedono affinché entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione siano edifici a energia quasi zero.

entro il 31 dicembre 2018 gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici e di proprietà di questi ultimi siano edifici a energia quasi zero.' (European Commission, 2010)

⁸ (European Technical Approval Guides (ETAGs) european Technical Approvals (ETAs), Harmonized Standards (hENs), sono quelle citate dalle autrici nel loro articolo

del manufatto, sono molte le criticità di queste operazioni e quindi di confronto tra diverse tipologie costruttive.

In esse si tiene conto non soltanto delle capacità dei materiali adottati, ma anche dal contesto climatico dell'opera, dalla tecnologia costruttiva proposta, della progettazione del componente o dell'elemento, dalle condizioni di utilizzo, dalle operazioni di manutenzione programmata e così via.

Le analisi quindi possono articolarsi con scenari di utilizzo, che prendono in considerazione diverse variabili sulle tecnologie dei materiali stessi.

L'impatto ambientale nel ciclo di vita esclusa la fase d'uso dei due materiali, considerando la produzione di kg di CO₂ equivalente, privilegia il legno, come materiale con meno impatto sul riscaldamento globale. Considerando invece l'utilizzo di risorse energetiche non rinnovabili (in MJ eq), la parete con maggiore utilizzo di consumi risulta essere quella in legno.

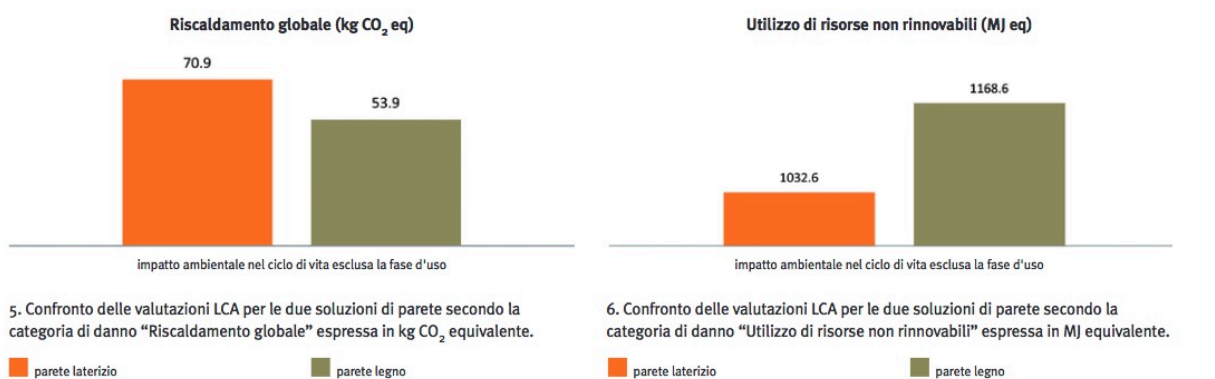


Figura 16 Confronto di utilizzo di risorse energetiche parete in laterizio-parete in legno (Palumbo et al. 2015).

L'analisi prosegue, valutando la durata di vita utile dell'edificio e i profili manutentivi delle differenti soluzioni di involucro. In questa analisi in legno risulta nettamente meno performante: la durabilità finora osservata degli elementi e dei componenti di involucro a base lignea, porta ad una forte taratura della vita media di tutti i componenti utilizzati, verso una minore durata.

Questo determina che nell'analisi effettuata il dispendio della Vita di servizio attesa dell'opera annuo, sia prepotentemente a favore del laterizio come materiale meno impattante sul LCA.

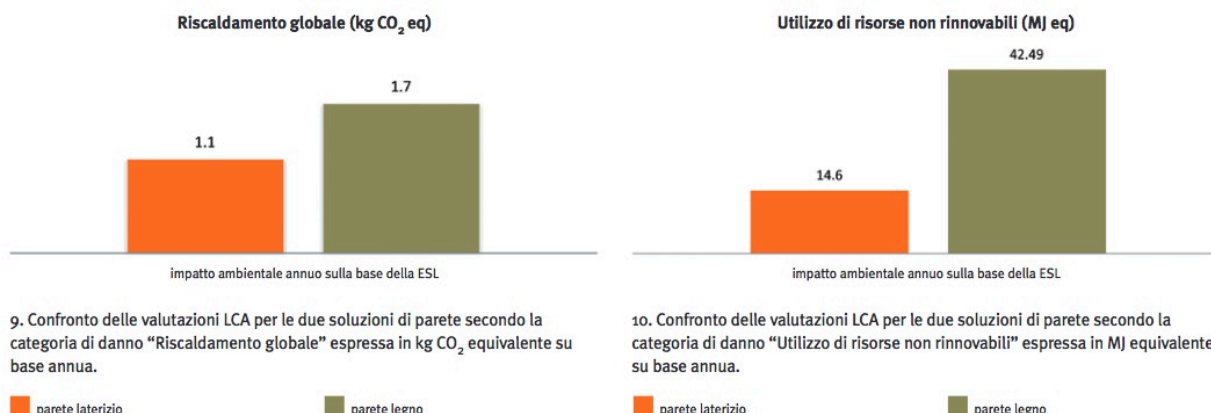


Figura 17 Grafico di studio dell'impatto ambientale di pareti in laterizio e in legno (Palumbo et al. 2015).

Nonostante la validità di questa ricerca e la solidità delle fonti citate, rimane un'ombra di dubbio sui risultati ottenuti. È chiaro che nella cattiva prestazione del legno sul LCA gravino alcune scelte a priori sulle ipotesi di dismissione dell'edificio.

Si aggiunge anche la carenza di dati su edifici che studiano la vita utile del materiale, cioè edifici costruiti interamente in legno nel corso degli ultimi 60 anni che siano stati dismessi per carenze obiettive del materiale stesso.

Alcuni sondaggi effettuati in Canada (Halls, 2015) hanno riportato che non ci sono significativi rapporti tra la durata di vita utile dei materiali e la durabilità degli edifici. In particolare, questo studio effettuato su un'area Minneapolis/st Paul ha evidenziato come nel campione osservato, gli edifici siano stati demoliti per cambio del valore dei terreni o per la variazione dei bisogni degli abitanti rispetto alle prime esigenze di costruzione e quasi mai per mancanza di manutenzione dei sistemi non strutturali.

Solo otto edifici tra quelli analizzati, sono stati abbattuti per evidenti carenze strutturali e per evitare il rischio di crolli.

Nello studio condotto, gli edifici in legno erano solitamente i più vecchi. Al contrario, molti degli edifici dismessi con tecnologie in calcestruzzo armato avevano una vita utile tra i 26 e i 50 anni e solo un terzo di essi con più di 50 anni. Infine, oltre l'80% degli edifici in acciaio demoliti erano costruiti da meno di 50 anni, la metà meno di 25 anni.

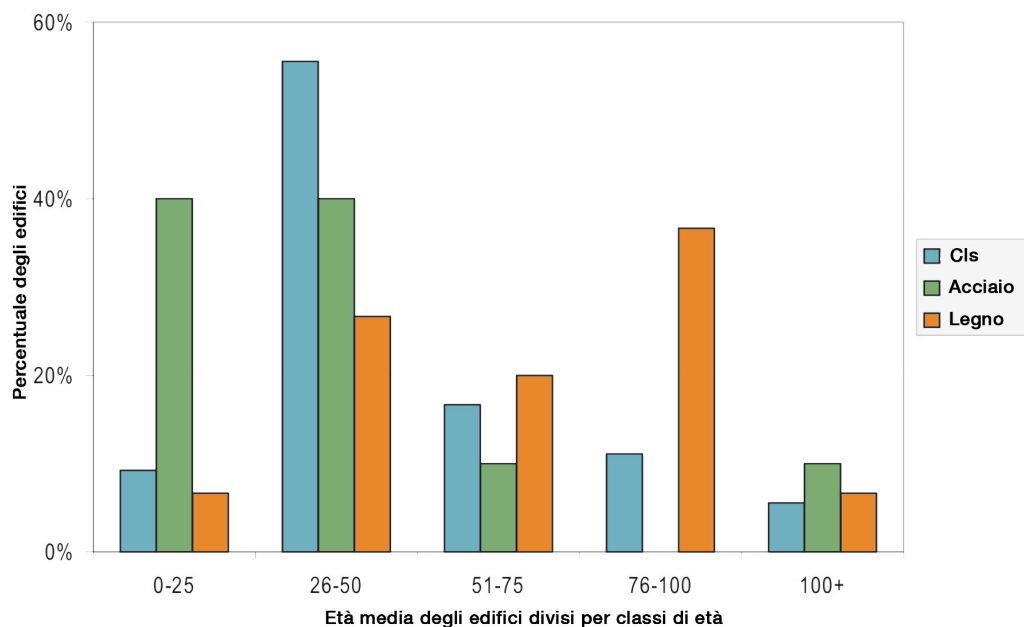


Figura 18 Distribuzione degli edifici non residenziali raggruppati per classi di età e per materiale strutturale (Connor, 2004)

Questo studio, riportato in maniera sommaria, sottolinea il concetto che gli edifici in legno non hanno problemi di durabilità rispetto agli edifici realizzati con le altre tecnologie costruttive e che le problematiche legate al deperimento del materiale sono quasi sempre riconducibili a errori in fase di progettazione e/o carenza di accuratezza nella manutenzione; solitamente le problematiche degli edifici considerati sono relazionabili all'obsolescenza dei componenti e delle partizioni dell'edificio, per quanto concerne il benessere, ma non per quando riguarda la pericolosità degli stessi.

Un progetto di ricerca neozelandese (S. John et al., 2011; Stephen & Buchanan, 2013) commissionato dal ministero dell'agricoltura e dell'ambiente nel 2007e condotto dall'università di Canterbury, la Victoria University e la Scion, ha condotto degli studi approfonditi sul LCA dei diversi materiali.

In questa ricerca si sono modellate le performance di quattro edifici con le stesse fattezze strutturali-architettoniche, per investigare l'influenza dei materiali di costruzione sul LCA e sul riscaldamento globale. Il modello era basato su un edificio di 6 piani di 4250 mq di superficie in pianta, con un sistema di ventilazione mista, che era in costruzione all'università di Canterbury a Christchurch.

L'edificio reale venne costruito in calcestruzzo armato, altre due versioni vennero progettate dove i materiali usati per le strutture erano acciaio e legno.

Infine, venne aggiunto un quarto progetto, che implementava l'uso del legno, non solo per le strutture, ma anche nelle soluzioni di involucro, infissi e basculanti (definito come Timber plus).

Assumendo che tutti i materiali dopo la dismissione vengano interrati, lo studio dimostra che l'edificio in acciaio ha la maggiore percentuale di embodied energy, mentre l'edificio Timber Plus la minore (questo dovuto per la presenza ridotta di alluminio e altri prodotti in acciaio nelle finiture dell'edificio).

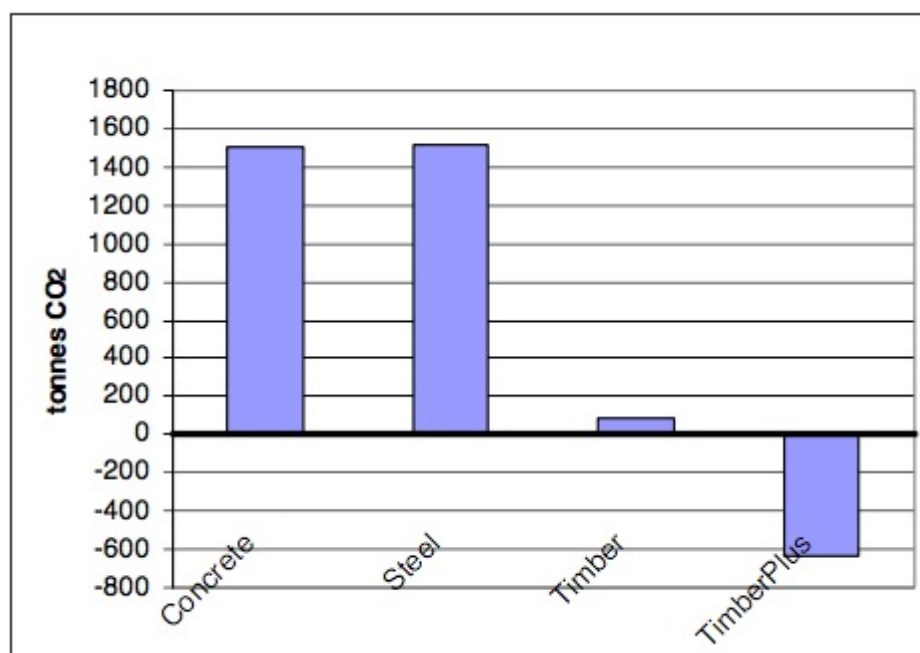


Figura 19 Analisi del bilancio energetico dello stesso edificio, considerando la struttura in calcestruzzo armato, acciaio, legno e tutto legno (Stephen & Buchanan, 2013)

Dal grafico si può notare come gli edifici in legno producano notevoli quantità inferiori di anidride carbonica rispetto agli edifici costruiti utilizzando altre tecnologie costruttive.

Le precisazioni e le raccomandazioni date dagli autori sullo studio, danno una chiara visione del fenomeno. Nella previsione incide infatti sia che il legno ha evidenti vantaggi sul fine vita previsto mediante sotterramento del materiale con formazione di bio-metano, sia sull'azione di cattura del carbonio del materiale nella prima fase del ciclo vita, ovvero durante la crescita iniziale della pianta.

Emerge come a livello internazionale l'utilizzo del materiale sia ben visto in edilizia ed è ampiamente dimostrato (Benedetti, 2009; FAO, 2016a; Stephen & Buchanan, 2013; Zanuttini, 2014) come, nonostante alcune criticità in relazione alla durabilità e quindi della successiva richiesta di manutenzione, possa essere una potenziale risorsa per ripensare il consumo di energia e il riciclo dei materiali per conservare il pianeta per le generazioni future.

Così come evidenziato nelle pagine precedenti, variando il punto di vista (come nel caso dell'articolo sopra citato di CIL 143) dalle caratteristiche del materiale agli scenari di possibile danno, il legno risulta avere un maggiore dispendio di risorse non rinnovabili (nel caso citato, incidono negativamente le considerazioni riguardo la durabilità e sul fine vita previsto per il materiale).

Di fatto le considerazioni sul fine vita e sul degrado non possono essere astratte rispetto al contesto dell'opera ed incidono fortemente sul bilancio dell'analisi.

Nel secondo studio citato (Stephen & Buchanan, 2013) i criteri di osservazione sulla dismissione dell'edificio sono stati più puntuali essendo la ricerca condotta su una costruzione ancora in fase di progetto in stretta relazione con i progettisti dell'opera, con la possibilità di ipotizzare gli scenari previsti e adattare quindi il progetto e l'analisi ottenendo come risultato d'analisi l'impatto ambientale dell'edificio in legno notevolmente inferiore.

Si evidenzia quindi come utilizzare tecnologia a base legno non sia automaticamente garanzia di alti livelli di sostenibilità ambientale di progetto se non vengono pianificate adeguate strategie che tengano in conto le caratteristiche legate alla durata dell'edificio e alla dismissione di esso.

Il mercato delle costruzioni in legno in Italia

Rispetto agli altri materiali da costruzione che per la loro produzione e lavorazione necessariamente richiedono procedure che producono CO₂, il legno permette di produrre componenti che invece 'riducono' l'anidride carbonica presente, grazie alla caratteristica del materiale naturale di immagazzinarla sotto forma di albero e non rilasciarla nelle lavorazioni successive (Laner, 1988).

Il legno nasce incoerente, disomogeneo ed ortotropo, ovvero presenta cavità o spazi vuoti nel suo interno, ha differenze tra un punto e l'altro dello stesso tronco e presenta forti variazioni di comportamento meccanico al variare della direzione di applicazione di una sollecitazione (Giordano, 1999).

I vantaggi dell'utilizzo di questo materiale sono molteplici: è ecologico poiché biologico, quindi risorsa rinnovabile, è completamente biodegradabile e reperibile facilmente in buona parte del pianeta e ha basso impatto sul Life Cycle Assessment, ovvero il ciclo di vita di valutazione dei materiali⁹

Nel progetto globale di una costruzione, la maggior leggerezza del materiale incide positivamente sia a livello strutturale che a quello dei costi indotti essendo il cantiere caratterizzato dall'impiego di elementi più leggeri, quindi facilmente trasportabili e movimentabili, riducendo i costi del noleggio di strumentazioni pesanti e maestranze.

La materia prima 'legno' presenta delle prestazioni fisico meccaniche peculiari e irregolarità di comportamento, che lo rendono molto performante per alcuni usi, ma che ne evidenziano le fragilità per altri. Nonostante i numerosi processi di industrializzazione che oggi l'uomo utilizza per lavorare la materia prima, la provenienza biologica, che differenzia il legno da altri materiali di origine 'artificiale' (quali metalli, o laterizi) ne evidenzia un comportamento non sempre prevedibile.

La spinta iniziale alla 'nuova era' del legno in campo strutturale si deve ad un importante progetto di ricerca denominato *Progetto Sofie* (Ceccotti, 2012) avviato dalla provincia autonoma di Trento per indagare le prestazioni sismiche energetiche e di resistenza al fuoco delle costruzioni a pannelli portanti in legno lamellare, grazie al quale sono stati raggiunti importanti risultati come utilizzo del materiale nelle costruzioni in Italia e all'estero.

La resistenza del legno ai terremoti è stata più volte collaudata in paesi a elevato rischio sismico come America e Giappone, dove si costruisce abitualmente in legno (Connor, 2004; England, 2014).

La concezione dei piani assemblati con legno tondo o con di segheria è apparsa solo negli anni 70 nel Nord America (Giachino, 2013; Giordano, 1999; Merotto, 2016) per erigere la maggior parte dei ponti pedonali con capacità di sopportare grandi carichi, associati in combinazione con varie tecnologie in calcestruzzo strutturale e altri materiali più adeguati a resistere a diversi tipi di coazione.

L'ingresso sul mercato ha portato a sviluppare soluzioni nuove dal punto di vista delle connessioni, della valutazione del sistema, così come lo sviluppo di un nuovo know-how tecnico per la realizzazione di edifici che non fossero necessariamente costituiti con sistema strutturale a telaio.

In seguito alla nascita dell'indotto legato all'industria produttiva/manifatturiera e costruttiva in Italia, sono nate varie associazioni con lo scopo di promuovere la cultura del legno ed elaborare ricerche e rapporti di mercato.

Principale azienda di formazione e informazione è il Centro Studi Federlegno Arredo, che con il Rapporto annuale Case e edifici in legno, traccia lo stato dell'arte e i numeri principali del mercato edilizio in legno con il relativo volume d'affari.

⁹ Si rimanda al paragrafo precedente per la valutazione di questo fattore in relazione al fine vita previsto

RAPPORTO CASE ED EDIFICI IN LEGNO 2015

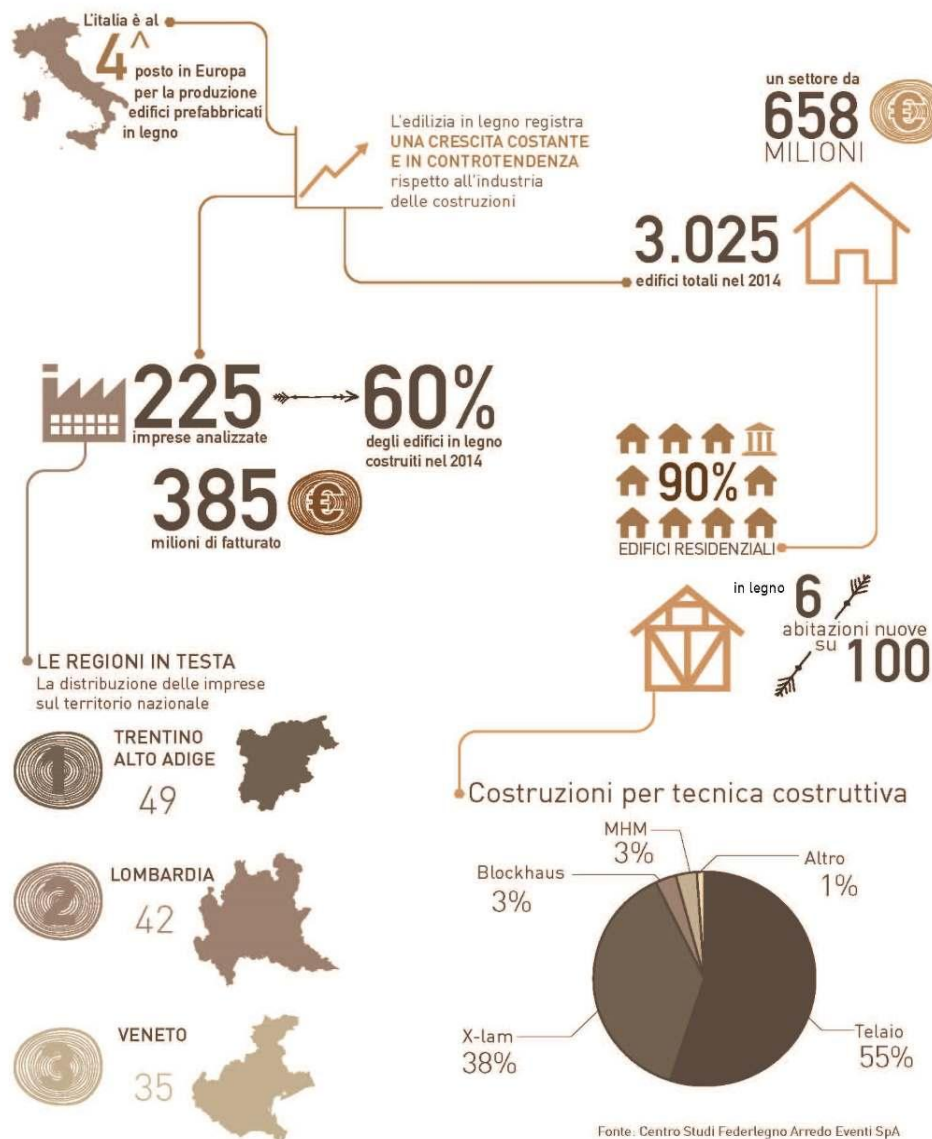


Figura 20 Rapporto case ed edifici in legno 2015, FederlegnoArredo

Nella ricerca è analizzato il numero di edifici realizzati in Italia nell'annata considerata, il fatturato derivante dalla costruzione di edifici in legno e la distribuzione geografica delle aziende sul territorio nazionale.

A partire dal 2015 per arrivare all'ultimo del 2017 emerge che, nonostante il crollo degli investimenti complessivi nell'industria costruttiva, l'edilizia in legno ha registrato un trend con una crescita costante in controtendenza rispetto al contesto nazionale.



2° RAPPORTO CASE ED EDIFICI IN LEGNO

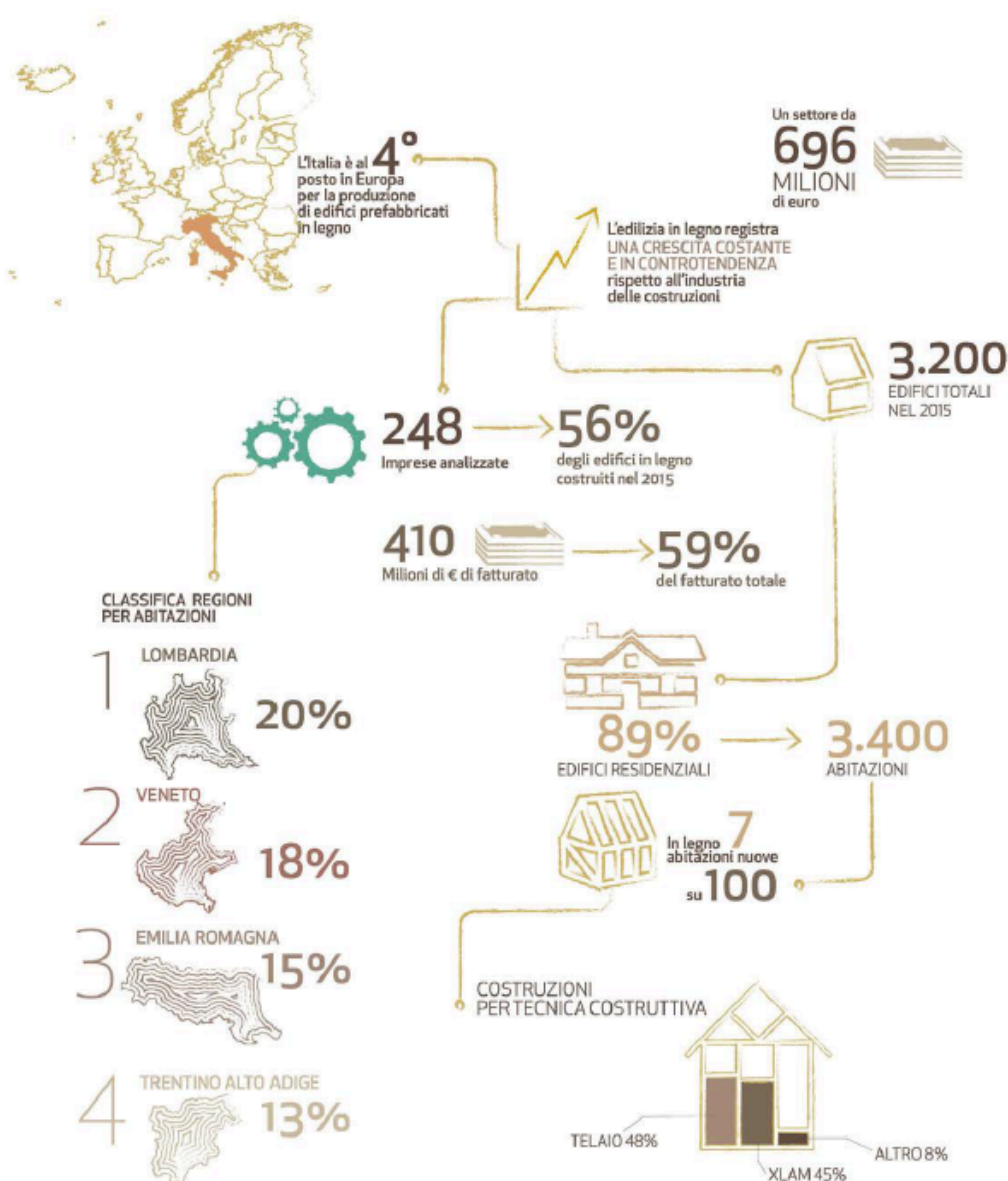


Figura 21 Rapporto case ed edifici in legno, 2017, FederlegnoArredo

«Oggi gli edifici in legno non sono più una nicchia bensì un segmento di mercato. Le imprese italiane hanno un patrimonio di eccellenza tutto da valorizzare, basti pensare alle strutture di Expo 2015, dove il legno ha giocato un ruolo fondamentale: il legno ha garantito ottime tempistiche di realizzazione e ha permesso la costruzione di edifici che non moriranno, come “infinita” è la vita di questo materiale naturale e sostenibile per eccellenza», commenta il presidente di Assolegno Emanuele Orsini.

Il mercato delle costruzioni di case in legno è un settore sempre più in espansione, anche se ancora limitatamente ad alcune zone geografiche, principalmente nelle nell'Italia settentrionale.

Questo trend risulta stabile già dal rapporto *Il mercato italiano delle case in legno* nel 2010e rimane confermato negli anni (Assolegno, 2017; Gardino, 2011; *Rapporto case ed edifici in legno*, 2017)

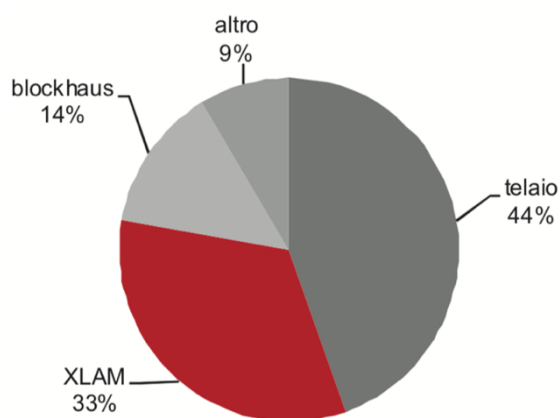


Figura 22 Sistemi costruttivi utilizzati per le costruzioni in legno in Italia (Il mercato italiano delle case in legno nel 2010)

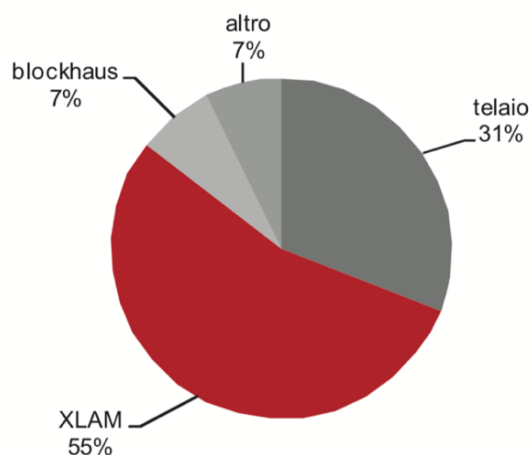


Figura 23 Previsione dei sistemi costruttivi utilizzati nel 2017 (Il mercato italiano delle case in legno nel 2010)

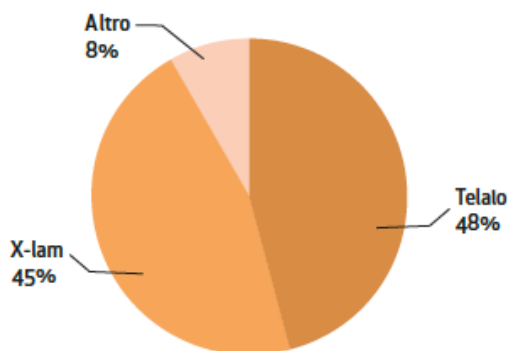


Figura 24 Percentuale di tecniche costruttive utilizzate nel 2016 (Federlegno 2017)

Oltre a varie informazioni legate al valore economico del comparto e alla diffusione, il rapporto illustra anche informazioni sulle principali tecnologie costruttive utilizzate (sistemi a telaio o in Xlam¹⁰).

Il 2015 ha segnato l'inizio di una crescita globale nella produzione di tutti i maggiori prodotti legnosi nel settore dei componenti dell'edilizia, oltre che dell'arredo, grazie alla progressione economica dell'Asia, al rafforzamento della ripresa del mercato immobiliare in America e ovviamente all'attenzione globale più pronunciata sull'utilizzo delle bio-energie, alla costruzione ad edifici ad energia quasi zero e all'uso di materiali con importanti caratteristiche dal punto di vista della componente naturale.

Nonostante la progressione del settore dei prodotti legnosi per arredo ed edilizia sia in crescita, il valore totale del commercio globale dei prodotti principali di legname e carta è sceso da 267 miliardi di dollari nel 2014 a 236 miliardi di dollari nel 2015 a causa del calo dei prezzi dei prodotti legnosi.

Dal 2015 si è assistito alla crescita della produzione globale di tutti i maggiori prodotti legnosi, comprendendo anche il settore dell'arredo.

¹⁰ I sistemi a telaio prevedono delle lavorazioni in cantiere più onerose rispetto ai sistemi in Xlam, dove il grado di prefabbricazione e di costruzione off-site è maggiore

Nel 2015 il volume della produzione di prodotti legnosi ha segnato un aumento tra l'1 e l'8%. Allo stesso tempo il valore totale del commercio globale dei prodotti principali di legname e carta è sceso da 267 miliardi di dollari nel 2014 a 236 miliardi di dollari nel 2015 a causa del calo dei prezzi dei prodotti legnosi. Nel 2015, la FAO (FAO, 2015, 2016a) ha introdotto per la prima volta nel suo database, dati sul mercato globale dei Pannelli di scaglie orientate¹¹ chiamato con l'acronimo inglese OSB, che hanno visto una crescita del 7% in produzione e commercializzazione rispetto all'anno precedente. Il mercato degli edifici prefabbricati in legno è ancora un mercato di nicchia in Italia, seppure in rapida crescita.

	2015 Milioni di euro	2013	2014
COSTRUZIONI	125.348	-7,5%	-5,2%
ABITAZIONI	66.772	-3,3%	-4,2%
nuove	21.038	-12,4%	-14,0%
manutenzione straordinaria	45.734	2,9%	1,5%
NON RESIDENZIALI	58.576	-11,7%	-6,3%
private	34.053	-13,4%	-7,1%
pubbliche	24.523	-9,3%	-5,1%

Fonte: CENTRO STUDI FEDERLEGGNO ARREDO EVENTI SPA SU DATI ANCE

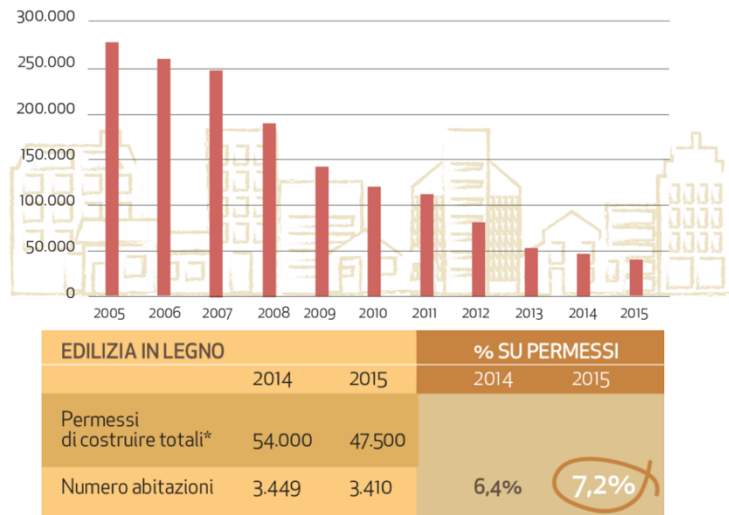


Figura 25 A sinistra in alto il trend negli ultimi anni e la percentuale delle nuove abitazioni in legno (*Rapporto case ed edifici in legno, 2017*)

A destra i dati relativi alle nuove costruzioni nel 2015 (elaborazione del 2017).

La filiera nazionale della produzione del materiale non è ancora competitiva rispetto ai mercati esteri ed in presenza di una domanda crescente la tendenza in atto è di importare i componenti, o addirittura i prodotti finiti, da altri paesi, leader della produzione.

¹¹ I pannelli di legno a scaglie orientate *OSB* (Oriented Strand Board), sono prodotti di seconda lavorazione, ovvero utilizzano dei componenti o dei ricomposti del materiale naturale. Sono composti da scaglie di legno con una giacitura prevalente (orientate da un getto d'aria in fase di produzione del materiale), pressati e incollati tra loro.

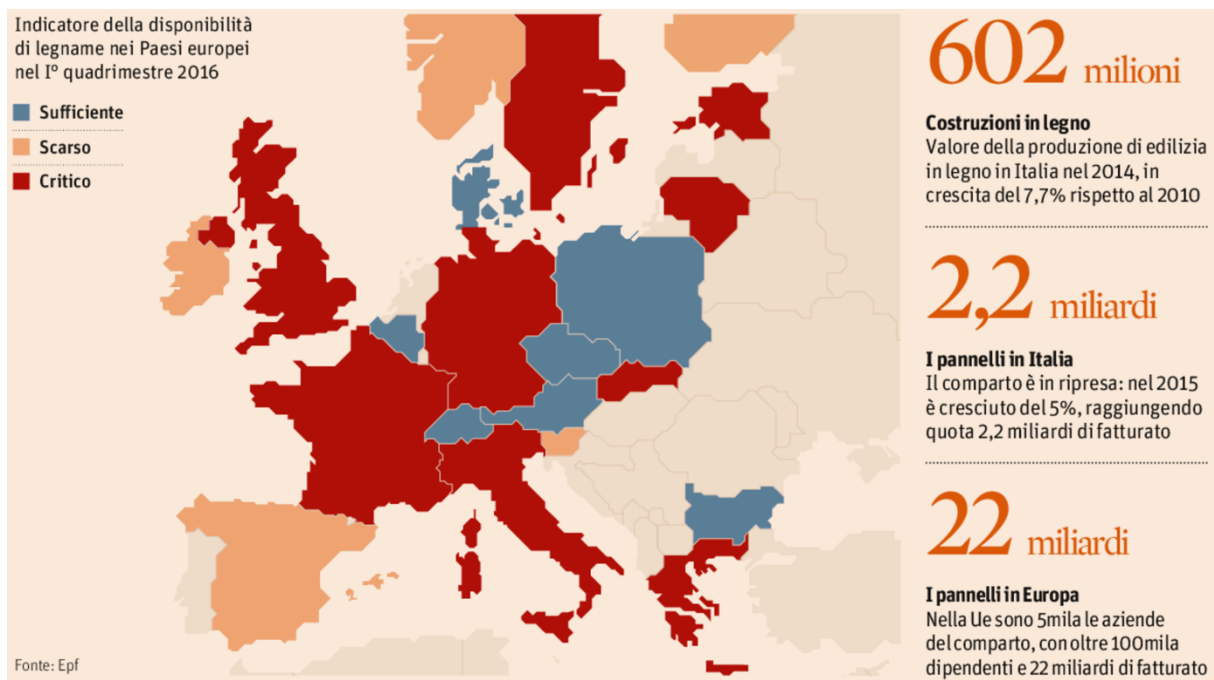


Figura 26 Disponibilità di legname nei diversi paesi nel primo quadrimestre 2016 (Mancini, 2016)

A riprova di questo dato, si osserva sul territorio la presenza di molte aziende che importano i prodotti dall'Austria ed hanno sedi dedicate prevalentemente allo stoccaggio dei materiali in Italia, dove effettuano solo lavorazioni minori, trasportano e assemblano i componenti in cantiere con squadre proprie o esterne (fidelizzate).

Le problematiche di queste dinamiche di mercato, sono controverse non sempre giudicate positivamente nell'ambito del progresso dei mercati finanziari del territorio (Osservatorio congiunto Fillea CGILL & Legambiente, 2012) perché si contribuisce positivamente all'ampliamento di un mercato innovativo e tecnologicamente avanzato, ma non si impianta una filiera diffusa sul territorio, importando il prodotto dall'estero.

Il futuro auspicabile è quello di sviluppare una filiera ed un marchio di provenienza locale del materiale e di lavorazione totalmente italiano, con stabilimenti di produzione e aziende installatrici (Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, 2017b)

Rilevante il ruolo della formazione specifica (sia degli operatori che dei progettisti) che inizialmente era effettuata direttamente in stabilimento, attingendo dalla scuola di carpenteria dell'Alto Adige (unica riconosciuta in Italia) e dalla formazione universitaria specialistica di Trento (Osservatorio congiunto Fillea CGILL & Legambiente, 2012).

Le relazioni tra questi fattori ed il tema della durabilità dei componenti di involucro si possono principalmente rintracciare nella necessità di chiudere della filiera e nella necessità di disporre di adeguate informazioni tecniche.

Infatti, avere un *know how* sul territorio ed una filiera stabile from *cradle to grave*, permetterebbe di avere una migliore consapevolezza delle caratteristiche prestazionali del materiale, sulle prestazioni tecniche e l'affidabilità dei componenti derivati e sugli aspetti legati alla dismissione per quanto riguarda la sostenibilità ambientale.

Le perplessità legate alla durabilità del legno nelle costruzioni

Genericamente, la variazione estetica del legno dopo la messa in opera è una caratteristica molto rilevante ai fini della percezione degli utenti relative alla durabilità e alla tenuta nel tempo del materiale. Le perplessità legate all'utilizzo di esso emergono soprattutto nel corso degli ultimi anni in relazione a defezioni puntuali e ad avarie registrate in alcune costruzioni in Italia e all'estero (FederlegnoArredo, 2014; "L'aquila: partono le demolizioni dei balconi pericolanti al C.A.S.E.," n.d.).

In questo paragrafo si descriveranno quelle che sono genericamente alcune delle perplessità legate alla durata del materiale, utilizzando sondaggi internazionali e quelle che sono le percezioni degli utenti.

La peculiarità del materiale è legata alle variazioni estetiche e prestazionali che ne modificano aspetto nel corso del tempo, definendo nella UNI EN 350 la durabilità come *'quel periodo di tempo in cui il legno non presenta particolari alterazioni estetiche e soprattutto strutturali'*, ammettendo quindi variazioni cromatiche e prestazionali controllate dello stesso.

Sono diversi i sondaggi effettuati tra i professionisti che attribuiscono una maggiore durabilità degli altri materiali da costruzione, in particolar modo vengono percepite come maggiormente durevoli le costruzioni in calcestruzzo armato.

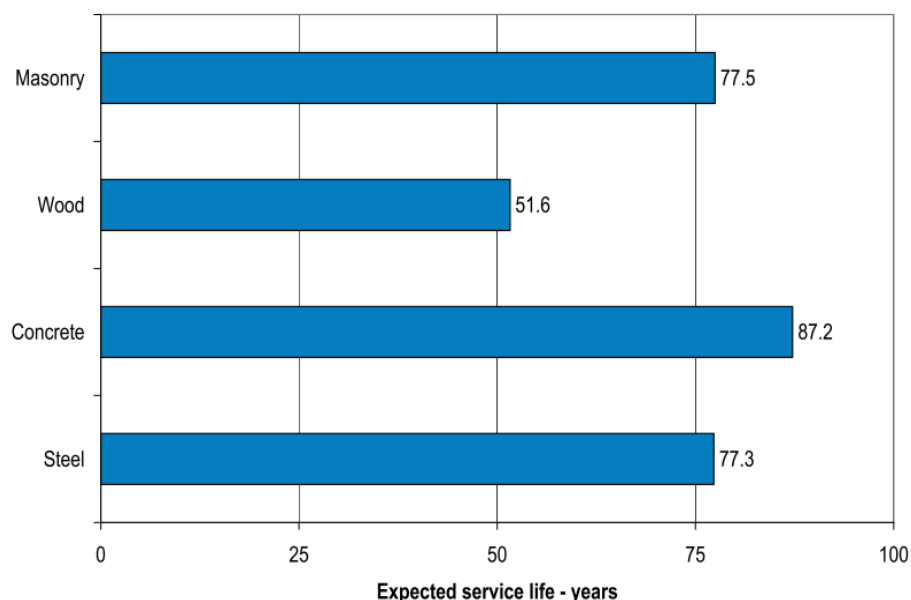


Figura 27 Sondaggio eseguito su un campione di architetti, ingegneri e operatori del legno in Stati Uniti e Canada sulla previsione di vita utile media per edifici non residenziali legata ai materiali utilizzati per la struttura (Connor, 2004)

Lo stesso sondaggio evidenzia anche che molto frequentemente le cause della demolizione dei fabbricati sia legata non tanto a delle avarie o disfunzioni di porzioni di edificio, ma a tutta una serie di fattori molto più incisivi dal punto di vista economico e che difficilmente potevano essere previsti dal progettista in fase progettuale.

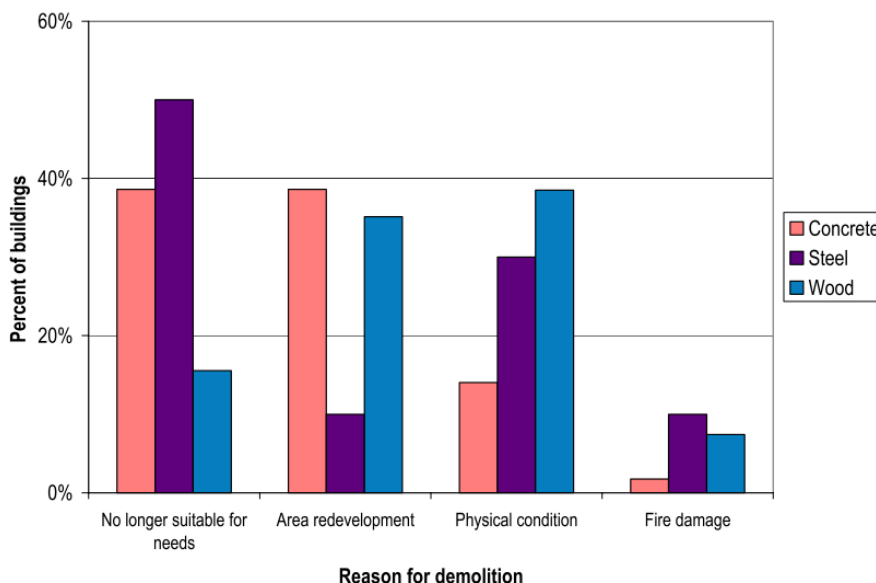


Figura 28 Distribuzione degli edifici per materiale, legato alle quattro più frequenti motivazioni di demolizione (Connor, 2004)

Questa indagine condotta negli Stati Uniti e nel Canada del 2004 ha preso in considerazione un campione di 227 edifici che stavano per essere demoliti con l'obiettivo di analizzare le tempistiche di obsolescenza in generale di un edificio e cercare di capire quali fossero le relazioni con la tecnologia costruttiva applicata.

Il campione comprendeva sia edifici residenziali che di altre destinazioni d'uso, in modo da articolare uno stato dell'arte e un quadro d'insieme delle casistiche.

Nonostante il legno sia ritenuto un materiale meno durevole, vista la suscettibilità al rischio di incendio o le problematiche relative al degrado da agenti fisici esterni, la maggior parte di edifici in legno demoliti avevano un'età media di costruzione superiore ai 75 anni, mentre quelli in calcestruzzo avevano un'età media compresa tra i 26 ed i 50 anni. E' stato chiesto ai progettisti e alle imprese quali siano state le ragioni della demolizione e questo sondaggio ha evidenziato come le più frequenti potessero ricondursi a dinamiche legate alla fluttuazione del valore economico del terreno, oppure del contesto del progetto e quindi di diverse esigenze di ottimizzazione del territorio.

Ad esempio, tra le ragioni più influenti, ci sono i cambiamenti dello sviluppo del quartiere, le condizioni fisiche del terreno, le variate esigenze della committenza e anche la mancanza di manutenzione nel corso del ciclo vita.

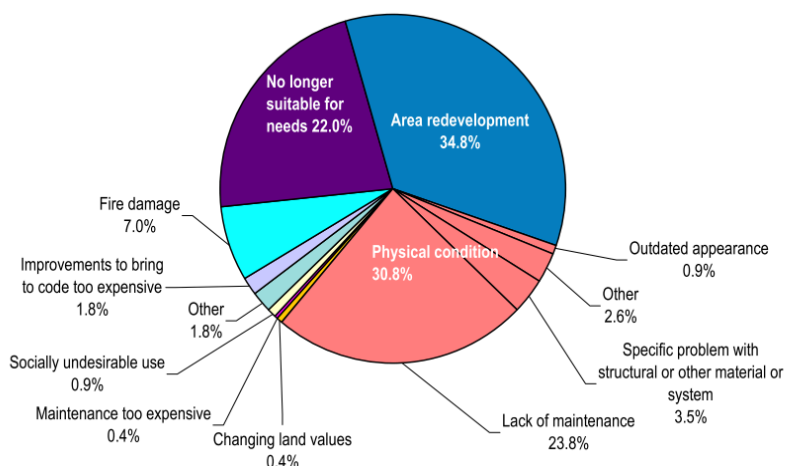


Figura 29 Distribuzione delle cause di demolizione del campione di edifici analizzati (Connor, 2004)

Le caratteristiche che influiscono sulla durabilità in senso lato degli edifici in legno e più in generale nel contesto delle costruzioni sostenibili, spostano l'argomento dalla durabilità del materiale alle caratteristiche che devono fornire gli edifici per garantire:

- Flessibilità rispetto a futuri cambiamenti delle esigenze della committenza;
- Facile dismissibilità dell'edificio e delle sue parti;
- Accurata previsione del fine vita dei materiali, con misure più attente rispetto alla scelta di essi e dei trattamenti-inquinanti ai quali vengono sottoposti in fase iniziale.

I sondaggi e le analisi che osservano il fenomeno della diffusione e della percezione del materiale da costruzione sono diffusi, nonostante la consapevolezza che i dati presentati non siano reali, o meglio, non siano legati a prestazioni specifiche del materiale, quanto a generali opinioni e i preconcetti degli utenti (Connor, 2004; Investment & BSLC, 2014; Rousseau, 1999)

Nel mercato Europeo, in generale, c'è una percezione molto positiva dell'uso del legno in edilizia; viene considerato dagli utenti *"caldo, salutare, di bell'aspetto, semplice da usare e con un ottimo profilo di sostenibilità"* (Investment & BSLC, 2014).

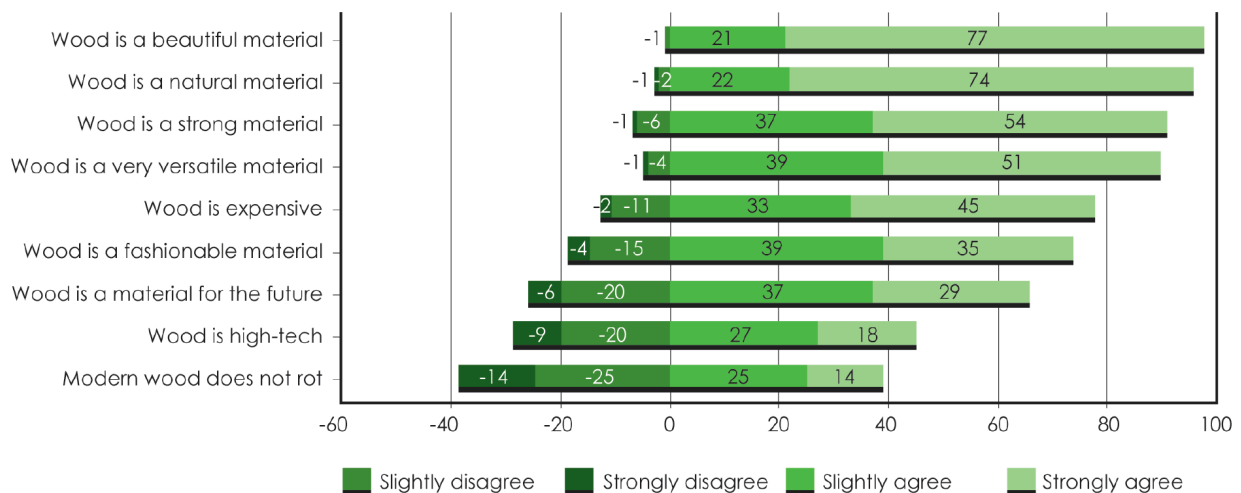


Figura 30 La percezione dell'utilizzo prevalente del legno in Francia (Ewald Rametsteiner, Roland Oberwimmer, 2007)

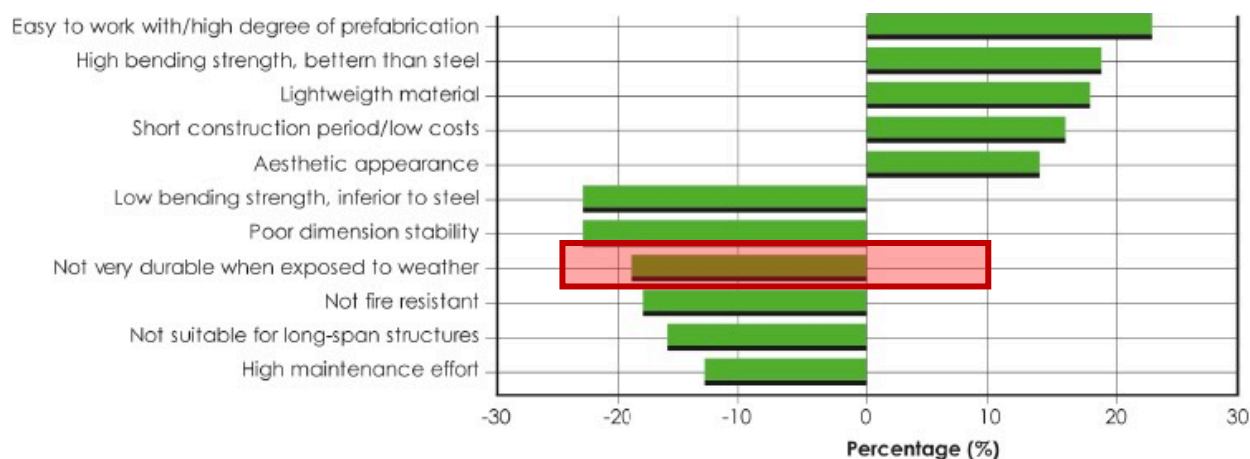


Figura 31 Debolezze e potenzialità del legno percepite da utenti in Germania (Ewald Rametsteiner, Roland Oberwimmer, 2007)

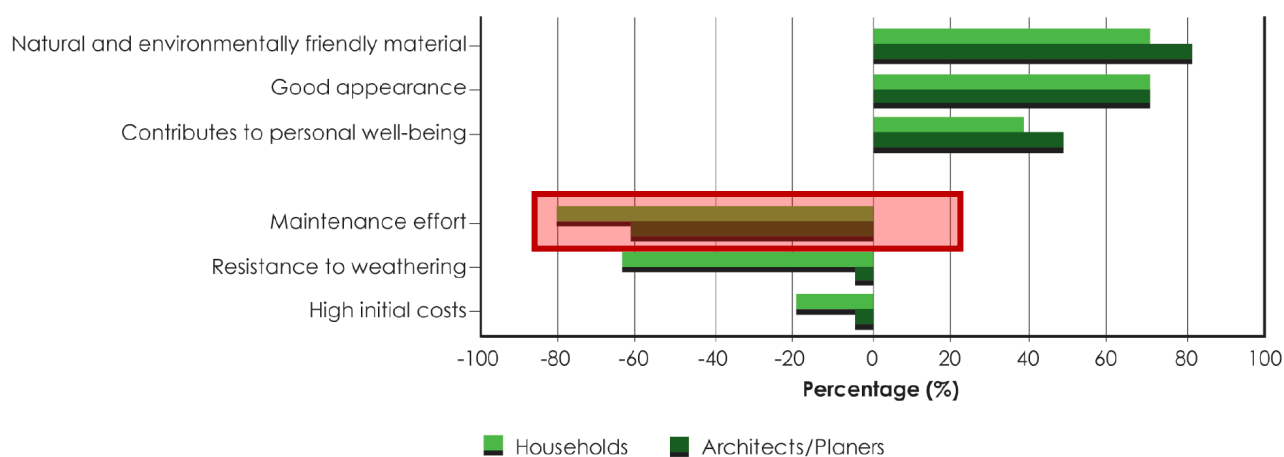


Figura 32 Debolezze e potenzialità del legno percepite da architetti e ingegneri in Germania (Ewald Rametsteiner, Roland Oberwimmer, 2007)

Le nuove modalità d'impiego del legno in edilizia evidenziano come la tradizione del costruire necessiti di nuove ricerche, metodi e valutazioni per garantire la qualità del prodotto attraverso il progetto. Nonostante alcune perplessità connesse all'eventuale impoverimento boschivo legato all'assenza di politiche lungimiranti sulla produzione forestale e selvicoltura¹² (FAO, 2016b; United Nation's Food and Agriculture Organization, 2015), il materiale è percepito da utenti e professionisti non dannoso per la natura, ma anzi foriero di miglioramenti anche in relazione ai cambiamenti ambientali.

In Italia gli edifici in legno vengono considerati poco durevoli e con poche garanzie in riguardo alla durabilità, rispetto alle altre tecnologie costruttive.

¹² Negli ultimi 25 anni la superficie mondiale forestale è diminuita dai 4.1 miliardi ha a sotto i 4 miliardi ha, una perdita di circa il 3.1%. Sembra che questa progressiva variazione negativa si sia stabilizzata nell'ultimo decennio.

Le foreste coprono complessivamente una superficie superiore ai 4 miliardi di ha, pari a circa il 31% della superficie totale delle terre emerse equivalente ad una media di 0,6 ha per abitante. La tendenza attuale osservata rileva che nelle aree con clima tropicale ci sia una rilevante perdita di superficie forestale misurata negli ultimi decenni, mentre nelle aree a clima temperato la presenza di foreste è sempre più in aumento.

Questo preconcetto è anche avvalorato da fatti di cronaca che hanno visto importanti defezioni del materiale¹³, causando danni e crolli parziali di alcune costruzioni.

In seguito a questi eventi, le associazioni dei produttori dei componenti, le associazioni dei produttori e dei consumatori si sono unite insieme per un comunicato che affermava come *'negli appalti pubblici l'obbligo di impiegare maestranze qualificate. Non è più possibile ritenere a qualificazione non obbligatoria la categoria "OS32" "Opere in legno"'* (FederlegnoArredo, 2014)



03 - settembre - 2014

Costruzioni in legno: non c'è più posto per l'improvvisazione

Leggendo le sconcertanti notizie provenienti da L'Aquila, dove da una palazzina del progetto C.A.S.E. si è "staccato" un balcone, si ha la conferma che, sia nell'attuale DPR 207/2010 sia nella futura revisione del testo di legge, diviene indispensabile considerare le opere in legno all'interno delle categorie superspecialistiche e sensibilizzare gli organismi di accreditamento a una seria e reale verifica delle capacità tecnico-organizzative delle aziende...

Scarica il comunicato

 Costruzioni in legno: non c'è più posto per l'improvvisazione
DOC 337 KB

Figura 33 Il comunicato ad opera del consorzio FederlegnoArredo, che raggruppa al suo interno diverse associazioni di consumatori, produttori e costruttori (FederlegnoArredo, 2014)

Non sono molti gli studi che sono stati effettuati sull'affidabilità delle strutture in legno legati a crolli parziali o totali del costruito. Una ricerca approfondita è stata effettuata in Germania (Dröge & Dröge, 2003), dove sono state indagate le cause di 31 crolli di strutture. Da questo articolo di ricerca, le principali defezioni potevano ricondursi a:

- Prestazioni del materiale in legno

intendendo che i componenti utilizzati siano di scarsa qualità in relazione alla classificazione. Un esempio sono i nodi più grandi di quelli consentiti nel legno lamellare;

- Errori di fabbricazione o nella produzione

Ciò riguarda errori di lavorazione del prodotto, che avrebbero dovuto essere rilevati in stabilimento, secondo la pratica e controllo di qualità interno. Un esempio è la scarsa qualità dell'incollaggio delle articolazioni delle dita nel legno lamellare.

- Alterazioni sul sito:

Alterazioni rispetto nella posa in opera di progetto. Lo studio non riporta se queste varianti fossero state concordate con il progettista o fossero variazioni decise sul posto per agevolare le lavorazioni;

- Errori progettuali nel dimensionamento strutturale

¹³ Ci si riferisce in particolare ai fenomeni riportati su diversi quotidiani nazionali relativi alle problematiche emerse negli appartamenti progettati per i terremotati nel progetto C.A.S.E (2015 e 2016).

In relazione agli errori di progetto delle strutture, si sono rilevate varie casistiche di defezioni. A volte ci sono stati errori di valutazione dei pesi amplificati delle strutture o delle combinazioni di essi, altre volte invece l'errore è stato causato da un carico meccanico in combinazione con azioni ambientali (ad esempio essiccazione dei componenti strutturali anomale, formazione di lesioni non monitorate effetti di restringimento e viscosità);

- Scarsa gestione dei fenomeni di umidità durante la costruzione dell'edificio
Cattiva gestione delle variazioni igroscopiche dei materiali, che si erano imbibiti di acqua durante la costruzione e risultavano quindi depotenziati sotto il punto di vista strutturale.

- Altri motivi / sconosciuti

Cause collasso dell'opera	Percentuale (%)
Instabilità	30
Rottura a flessione	15
Rottura per rottura a trazione perpendicolare alla fibratura	11
Rottura a taglio	9%
Fessure da ritiro (delaminazione) ¹	9%
Deformazioni eccessive	7%
Rottura per rottura a trazione	5%
Collegamenti	3%
Rottura a compressione	2
Altro	21

Nota 1: generalmente le fessure da ritiro non costituiscono un elemento di penalizzazione strutturale e devono essere comunque valutate in funzione delle tolleranze espresse all'interno delle applicabili norme di classificazione secondo la resistenza.

Figura 34 Cause e tipologie di collassi totali o parziali delle opere (Assolegno, 2017)

I principali danni osservati sui componenti strutturali possono ricondursi alla fase in cui la costruzione era esposta ad alti tassi di umidità e non erano state previste le giuste misure per proteggere gli elementi strutturali. Il manifestarsi di fessure in prossimità dei nodi è sempre un processo lento che potrebbe portare a defezioni del componente, vista anche la difficoltà di monitorare e verificare ciclicamente l'andamento di questi fenomeni.

Meno rilevanti nelle cause di crollo le problematiche legate alla qualità del materiale. Solo in due casi le cause erano legate alle caratteristiche del materiale.

Nel primo caso il giunto a pettine tra alcune delle lamelle si è sfaldato, danneggiando la stabilità del componente e quindi della copertura che sorreggeva. Nel secondo caso invece è stato sottovalutata la combinazione dell'umidità dell'ambiente di progetto con la presenza di nodi del legno in alcune parti particolarmente sollecitate, che hanno portato all'impoverimento della resistenza del componente e quindi alla rottura.

Un altro dato interessante, rilevato in questa analisi riguarda l'età media in cui si manifestano eventuali problemi, riportato nella tabella.

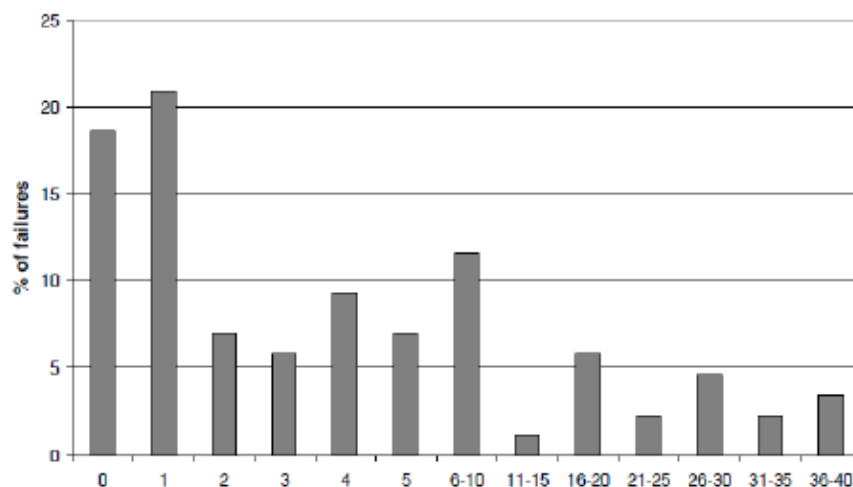


Figura 35 Età della costruzione in relazione al collasso (Frühwald, Serrano, Toratti, Emilsson, & Thelandersson, 2007)

Nei casi studio visionati, la manifestazione dell'errore si è manifestata:

- durante la costruzione nel 18,6% dei casi;
- nell'arco di tre dalla consegna dell'edificio nel 33,7% dei casi;
- dopo i primi tre anni nel 47,7%.

La considerazione rilevante è legata alla 'velocità' con la quale il materiale segnala defezioni, che quindi implicano una particolare attenzione nel monitoraggio delle costruzioni nei primi anni dopo la consegna. Sebbene infatti non sia possibile astrarre e generalizzare un'analisi condotta su un campione ristretto, è possibile affermare che, in relazione al manifestarsi dei danni alle strutture, le costruzioni con tecnologie a base legno devono assicurare ottimi requisiti di durabilità dei singoli componenti, ma anche particolare cura del progettista, perché i fenomeni che potrebbero instaurarsi sono piuttosto dannosi anche per la stabilità del costruito e si innescano molto velocemente se non correttamente diagnosticati e riparati. Solitamente infatti problemi relativi a defezioni del materiale possono riscontrarsi nei primi anni dalla consegna dell'edificio: a questa considerazione si lega l'analisi effettuata sui casi studio, dove il campione degli edifici osservati è stato ristretto edifici tra i 5 e i 10 anni dalla fine dei lavori, con l'obiettivo di valutare il degrado esistente dopo un lasso di tempo significativo dal punto di vista delle problematiche che potrebbero riscontrarsi.



CAPITOLO 1

DURABILITA' DEI COMPONENTI DELL'INVOLUCRO A BASE LEGNO

1.1 Caratteristiche della materia prima

Il legno è un materiale naturale, biologico, frutto della crescita e riproduzione di organismi viventi formati da cellule, che hanno diverse funzioni e si articolano in tessuti.

Il principale è il tessuto *meccanico fondamentale* o di *sostegno*, che ha la funzione di sostenere il fusto durante la sua crescita e che mediamente occupa tra il 60 e l'80 % del volume del fusto stesso. Svolge la funzione di sorreggere la pianta e di rispondere alle sollecitazioni esterne, caratterizzato da delle direzioni 'principali' di sollecitazione, che possono essere legate alla compressione assiale ed alla flessione per effetto del vento.

Esso è composto da cellule allungate distribuite lungo la direzione verticale (Zanuttini, 2014)

- il *tessuto conduttore*, destinato alla conduzione dei succhi e delle sostanze nutritive del fusto stesso. Anch'esso è formato da cellule che sono distribuite lungo la direzione verticali, vicino alle cellule del tessuto meccanico.
- il *tessuto parenchimatico* o di riserva, che contiene cellule necessarie allo sviluppo e ai fenomeni biologici connessi con lo sviluppo della pianta: esse sono disposte in raggi, direzionati in senso orizzontale dal midollo verso la periferia del tronco.

La funzione 'generatrice' delle cellule avviene in uno strato chiamato *cambio*, che è interposto tra legno e corteccia. Questo tessuto generatore, sia per quanto riguarda le conifere che le latifoglie, non ha un'attività continua durante tutto l'anno, ma dopo aver raggiunto un picco di produzione durante la fase estiva, tende a rallentare la produzione per quasi interrompersi d'inverno¹⁴.

Ovviamente, anche la diversa specie legnosa, influenza le caratteristiche fisiche della struttura e quindi la forma e la crescita delle cellule e conseguentemente degli anelli di accrescimento interni (Giordano, 1971).

L'osservazione degli anelli di accrescimento è molto importante per la quantificazione del giudizio di qualità e per quanto riguarda la valutazione del legno a vista, soprattutto per uso strutturale.

Questo meccanismo di sviluppo e di identificazione può essere applicato ad entrambe le categorie principali di piantumazioni, ovvero le *latifoglie* (caratterizzate da presenza di foglie piatte e larghe e dalla presenza di fiori) e le *conifere* (caratterizzate da foglie sottili e appuntite e da pseudofrutti dalla forma conica).

La crescita dell'albero porta alla morte delle cellule parenchimatiche la funzione di trasmissione della linfa di sposta verso gli strati periferici del tronco. La parte centrale quindi del fusto non ha più funzione fisiologica ed inizia a cambiare colore, tipicamente diventando più scura. Questa parte viene definita *durame*.

La parte più esterna, con cellule che assumono la funzione di trasporto della linfa successivo è definita *alburno*.

¹⁴ Questa differenziazione di velocità della proliferazione delle fibre porta a delle disomogeneità nel materiale, che si traduce in una diversa dimensione delle stesse (sia in lunghezza che in spessore), determinando la differente dimensione degli anelli che si può osservare in una sezione trasversale di tronco. L'osservazione specialistica di questi anelli può rivelare caratteristiche interessanti della materia prima, quali la fertilità del suolo di crescita, soleggiamento, temperature e precipitazioni e altre caratteristiche connotanti la natura del materiale.

La differenziazione tra i due tessuti conferisce alle diverse porzioni caratteristiche rilevanti:

- *l'alburno* è generalmente poco durevole, in particolar modo alle azioni di funghi ed insetti (A Bernasconi, Schickhofer, Fr, & Traetta, 2005). Mediamente ha un'estensione ridotta e si caratterizza per un colore più chiaro (Piazza, Tomasi, & Modena, 2005);
- il *durame* è più duro, più pesante e presenta una maggiore resistenza alle alterazioni biologiche. Solitamente è la parte che si utilizza per produrre i componenti delle strutture. La colorazione dipende dalla presenza degli estrattivi naturali nelle singole cellule legnose (sostanze chimiche appartenenti al gruppo dei tannini, fenoli, terpeni e molti altri), che assicurano una protezione chimica alle cellule e alla lignina, soprattutto per quanto riguarda gli attacchi da microrganismi.¹⁵

Per alcune delle specie utilizzate in edilizia, quali l'abete rosso, l'abete bianco, il faggio ed il pero il durame e l'alburno rimangono differenti per le loro funzioni, ma hanno lo stesso colore: sono quindi definite specie a durame indifferenziato (Palanti, 2013).

Quando il durame è di colore nettamente diverso dall'alburno, allora la specie legnosa viene detta "*a durame differenziato*" e viene inserita in una delle classi di durabilità più alte.

Per tutto quanto finora detto, risulta chiaro che la classificazione della durabilità naturale delle specie legnose che si ritrova in letteratura è sempre riferita al solo durame, in quanto l'alburno di qualsiasi specie legnosa è classificato come "non naturalmente durabile".

¹⁵ Nell'alburno, che costituisce la corona circolare più esterna del tronco, una parte delle cellule del tessuto legnoso è ancora vivente e funzionale e in generale tale tessuto svolge funzioni importanti per la fisiologia dell'albero. Per questo, all'interno dell'alburno non sono presenti i biocidi naturali colorati sopra citati e conseguentemente il suo colore è tipicamente biancastro, con tendenza all'avorio o al crema a seconda delle specie legnose (dato dalla mescolanza del bianco della cellulosa con il marroncino della lignina).

Schedatura sintetica delle principali specie utilizzate per gli elementi dell'involucro

Nelle pagine successive, sono illustrate le principali specie legnose utilizzate in edilizia ed alcune delle caratteristiche del materiale utili per una stima sommaria della durabilità e dell'affidabilità del componente col quale vengono realizzate.

Tutte le informazioni presenti sono in relazione alle classi di utilizzo in funzione dell'esposizione alle condizioni ambientali, che sono normate nella UNI 335:2013 "Durabilità del legno e dei prodotti a base legno".

Per questa prima classificazione sommaria si è fatto riferimento ai valori indicati nelle norme, alle considerazioni presenti nella letteratura specialistica e nei siti di promozione d'uso del legno internazionali (Promolegno¹⁶, WoodWisdom¹⁷, FPInnovation¹⁸).

¹⁶ Sito nato per promuovere la cultura dell'uso del legno in Italia, <http://www.promolegno.com/>

¹⁷ Consorzio di oltre 30 aziende con l'obiettivo di "Innovare la bioeconomia basata sulle foreste" è promuovere l'aumento dell'innovazione e della competitività del settore forestale in Europa e sostenere la sua trasformazione da un uso intensivo di risorse ad un uso intensivo di conoscenza, settore produttivo efficiente in termini di risorse e resiliente" (<https://forestvalue.org/>)

¹⁸ FPInnovations è un leader mondiale senza scopo di lucro specializzato nella creazione di soluzioni scientifiche innovative a sostegno della competitività globale del settore forestale canadese e risponde alle esigenze prioritarie dei suoi membri del settore e dei partner governativi.

Abete rosso. Il legno di abete rosso è leggero (massa volumica secca di 410 kg/m³) e tenero (durezza di Brinell di 12 N/mm²). Questa specie è molto stabile essendo caratterizzata da una bassa velocità di stabilizzazione dell'umidità interna del materiale rispetto all'umidità dell'ambiente intorno.

È un legno morbido, quindi di facile lavorazione, che ne permette l'uso in componenti che necessitano di particolari lavorazioni superficiali.

La UNI 350:2018 caratterizza la classe di durabilità della specie come classe 4, perché sia alburno che durame sono attaccabili da tarli ed Hylobius. L'impregnabilità è scarsa per il legno secco. Attacchi batterici (ad es. dopo una lunga permanenza in acqua) possono portare al diverso assorbimento dei prodotti e di conseguenza alla formazione di macchie ("Abete rosso - promo_legno," n.d.)

Utilizzi principali: Molto utilizzato in ambito strutturale, sia come legno massiccio che come componenti per legno lamellare. Si utilizza per rivestimenti interni ed esterni, per gli strati di collegamento e per serramenti (Giordano, 1982).



Figura 36 Abete rosso non laccato ("Abete rosso - promo_legno," n.d.)

Massa volumica media	Kg/m ³	410
Ritiro		Da Medio a basso
Durezza di Brindell	N/mm ²	12
Resistenza a compressione media	N/mm ²	38
Resistenza a flessione media	N/mm ²	73
Modulo di elasticità a flessione	N/mm ²	15000
Resistenza all'urto		Modesta
Conducibilità termica	W/mK	0,126
Classe di durabilità	UNI EN 350:2017	4

Abete bianco: Possiede all'incirca le stesse caratteristiche della specie di abete rosso, soprattutto in relazione al peso (massa volumica secca di 410 kg/m³) e per le prestazioni legate alla resistenza.

È un legno morbido, si presta quindi a diverse lavorazioni ed è solitamente di facile impregnazione.

L'abete bianco, così come il rosso, non rileva particolari problemi nell'essiccazione, ma potrebbe mantenere nel cuore del ramo delle percentuali elevate di umidità, conferendo al componente derivato tutti le problematiche relative alla presenza di essa. Solitamente la parte centrale del tronco viene per questo motivo scartata. La tendenza a scheggiarsi può portare a problemi nella lavorazione di profili con angoli acuti.

La durabilità è definita in classe 4 ed ha una buona resistenza agli acidi e alle basi ("Abete bianco - promo_legno," n.d.).

Utilizzi principali: Date le caratteristiche molto simili all'abete rosso, viene solitamente usato indifferenziatamente rispetto ad esso. Può essere utilizzato per elementi massicci, tavole in lamellare per lo strato resistente, molto utilizzato per rivestimenti interni ed esterni oltre che per gli strati di collegamento.

Esso viene preferito laddove il contenuto di resina dell'abete rosso è indesiderato (Giordano, 1982)



Figura 37 Immagine Abete bianco ("Abete bianco - promo_legno," n.d.)

Massa volumica media	Kg/m ³	410
Ritiro		Da Medio a basso
Durezza di Brindell	N/mm ²	12
Resistenza a compressione media	N/mm ²	35
Resistenza a flessione media	N/mm ²	70
Modulo di elasticità a flessione	N/mm ²	14000
Resistenza all'urto		Modesta
Conducibilità termica	W/mK	0,126
Classe di durabilità	UNI EN 350:2017	4

Larice: Il legno di larice ha buone caratteristiche di resistenza ed è facilmente reperibile in Europa, per questo rimane tra le essenze maggiormente utilizzate in edilizia. Ha una buona densità e un ritiro materico medio, che ne permette diverse applicazioni per i componenti edilizi. La durezza superficiale è media, l'essiccazione non ha particolari problematiche, permettendo di poter utilizzare la quasi totalità del materiale e il grado di lavorabilità è buono. La durabilità ai funghi viene classificata in classe 3-4. L'impregnabilità del durame è molto difficoltosa, quella dell'alburno media ("Larice - promo_legno," n.d.)

Utilizzi principali: Il legno di larice viene impiegato sia nell'ambito di strutture sia come rivestimento interno o esterno. Più diffuso quest'ultimo utilizzo, sia in doghe che in scandole che in listelli, tipicamente non trattati superficialmente. Utilizzato molto spesso anche come strato di collegamento tra rivestimento e struttura portante (Giordano, 1982).

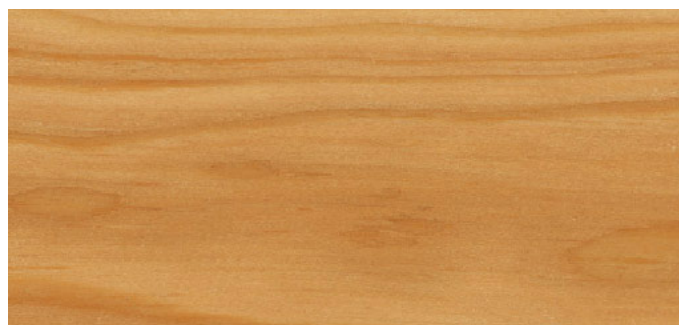


Figura 38 Immagine Larice ("Larice - promo_legno," n.d.)

Massa volumica media	Kg/m3	550
Ritiro		Medio
Durezza di Brindell	N/mm2	19
Resistenza a compressione media	N/mm2	51
Resistenza a flessione media	N/mm2	93
Modulo di elasticità a flessione	N/mm2	10000
Resistenza all'urto	N/mm2	Discreta
Conducibilità termica	W/mK	0,139
Classe di durabilità	UNI EN 350:2017	3-4

Pino Silvestre: Il pino è una specie mediamente dura e con una buona durezza superficiale. La velocità di adattamento con l'umidità ambientale è elevata. È una specie facilmente lavorabile, mediamente resistente, di buona verniciatura e lucidatura superficiale.

Per quanto riguarda la durabilità, il durame rientra nelle classi 3 e 4 (da mediamente a poco durevole). L'alburno è particolarmente attaccabile dai funghi cromogeni, per cui è raccomandabile lavorare il legno appena dopo il taglio. L'alburno si impregna bene, il durame difficilmente ("Pino silvestre - promo_legno," n.d.)

Utilizzi principali: Utilizzato principalmente per i rivestimenti esterni o interni, sia per la facilità di lavorazione che per la buona capacità di verniciatura superficiale.

Specie molto utilizzata per produrne cippatura utilizzata per produrre MDF o pellet per valorizzazione energetica (Giordano, 1982).



Figura 39 Immagine Pino Silvestre ("Pino silvestre - promo_legno," n.d.)

Massa volumica media	Kg/m3	510
Ritiro		Modesto-Medio
Durezza di Brindell	N/mm2	19
Resistenza a compressione media	N/mm2	45
Resistenza a flessione media	N/mm2	97
Modulo di elasticità a flessione	N/mm2	14000
Resistenza all'urto	N/mm2	Bassa
Conducibilità termica	W/mK	0,110
Classe di durabilità	UNI EN 350:2017	3-4

Castagno: Il legno di castagno ha una ricrescita molto legna, che ne ha scoraggiato nel corso del tempo l'utilizzo in edilizia, sebbene negli ultimi anni sia stato riscoperto per le sue elevate caratteristiche relative alla resistenza. È una specie molto pesante rispetto alla media e con una ottima durezza superficiale. Il legno è meno stabile rispetto alle altre specie, ovvero è soggetto a fenomeni di alterazione dimensionale, che ne scoraggiano alcuni usi. È facilmente lavorabile, facilmente lucidabile e di facile essiccazione. La presenza di tannini al suo interno può reagire con a contatto con acqua piovana o con altre fonti di umidità macchiando la superficie con ombre più scure. La durabilità classificata dalla UNI 350:2018, è in classe 2 ("Castagno - promo_legno," n.d.)

Utilizzi principali: Utilizzato principalmente per lo strato resistente (sia tavole, che listelli, che lamelle ricomposte in pannelli) data l'alta resistenza meccanica. Poco utilizzato per rivestimenti esterni (la variabilità dimensionale ne sconsiglia l'uso in ambienti con variazioni di umidità) e mediamente utilizzato per rivestimenti interni (Giordano, 1982).



Figura 40 Immagine Castagno ("Castagno", promo_legno," n.d.)

Massa volumica media	Kg/m ³	530
Ritiro		Medio-Elevato
Durezza di Brindell	N/mm ²	25
Resistenza a compressione media	N/mm ²	22
Resistenza a flessione media	N/mm ²	52
Modulo di elasticità a flessione	N/mm ²	11600
Resistenza all'urto		Bassa-Media
Conducibilità termica	W/mK	0,153
Classe di durabilità	UNI EN 350:2017	2

Cirmolo Il legno di cirmolo è leggero, morbido e quindi è facilmente lavorabile (massa volumica secca di 400 kg/m³, durezza di Brinell 15 N/mm²).

Nella tradizione di settore, questa specie non è stata usata per le costruzioni essendo a ricrescita molto lenta. Ad oggi è invece utilizzata per la buona lavorabilità, l'alta resistenza a flessione e durezza superficiale, oltre alle buone caratteristiche di reazione all'azione antibatterica. ("Pino cembro - promo_legno," n.d.)

Utilizzi principali: Utilizzato principalmente per rivestimenti interni ed esterni, data la facile lavorabilità e la possibilità di intagliare componenti dalle forme articolate. (Giordano, 1982)



Figura 41 Immagine del pino cembro, ("Pino", promolegno," n.d.)

Massa volumica media	Kg/m ³	430
Ritiro		Modesto
Durezza di Brindell	N/mm ²	15
Resistenza a compressione media	N/mm ²	40
Resistenza a flessione media	N/mm ²	75
Modulo di elasticità a flessione	N/mm ²	12000
Resistenza all'urto		Bassa
Conducibilità termica	W/mK	0,13
Classe di durabilità	UNI EN 350:2017	4

Okoumè Legno appartenente alle latifoglie, mediamente resistente e molto stabile a livello dimensionale. Molto resistente superficialmente, particolarmente indicato quindi per ambienti dove c'è l'esigenza di avere una superficie molto dura. Solitamente è utilizzato per la fabbricazione del compensato essendo sufficientemente flessibile e resistente. Le grandi dimensioni dei tronchi di provenienza, fa sì che siano molto basse le superfici di lavorazione perse per articolare i diversi componenti.

Utilizzi principali: Usato principalmente per rivestimenti interni ed esterni e per i serramenti. (Giordano, 1990)

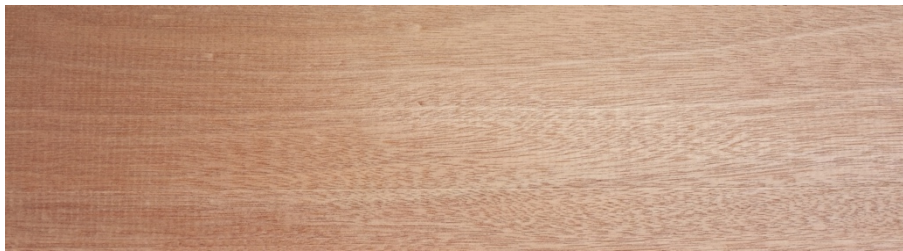


Figura 42 Immagine Okoumè,("Okoumè - promo_legno n.d.)

Massa volumica media	Kg/m ³	450
Ritiro		Medio
Durezza di Brindell	N/mm ²	18
Resistenza a compressione media	N/mm ²	40
Resistenza a flessione media	N/mm ²	80
Modulo di elasticità a flessione	N/mm ²	7500
Resistenza all'urto	N/mm ²	Bassa
Conducibilità termica	W/mK	0,117
Classe di durabilità	UNI EN 350:2017	4-5

Pioppi, specie nostrana leggera e tenera (massa volumica secca di 410 kg/m³, durezza di Brinell di 10 – 11 N/mm²).

La lavorabilità è buona, tuttavia a causa della frequente presenza di legno di reazione, con la piallatura si possono formare superfici ondulate. Si vernicia e lacca bene, ma è difficilmente levigabile. Questo legno è molto attaccabile da funghi ed insetti (classe di durabilità 5).

L'impregnabilità è scarsa, buona solo nell'alburno ("Pioppo - promo_legno," n.d.)

Utilizzi principali: Utilizzato principalmente per produzione di segati per falegnameria, pannelli listellari e truciolari, pannelli MDF difficilmente con funzione resistente, di solito con funzione di rivestimento interno a causa dell'alta variabilità dimensionale e della scarsa durabilità agli insetti.



Figura 43 Immagine Pioppo ("Pioppo - promo_legno," n.d.)

Massa volumica media	Kg/m ³	410
Ritiro		Medio
Durezza di Brindell	N/mm ²	10-11
Resistenza a compressione media	N/mm ²	32
Resistenza a flessione media	N/mm ²	55
Modulo di elasticità a flessione	N/mm ²	7800
Resistenza all'urto		Bassa
Conducibilità termica	W/mK	0,13
Classe di durabilità	UNI EN 350:2017	5

Rovere Il legno di rovere è una delle specie che appartengono alla tipologia di quercia ed alle nostre latitudini è presente principalmente il tipo ‘bianco’, che si differenzia dal ‘rosso’, presente in larga parte nel nord America.

È una essenza particolarmente pesante caratterizzata da un’ottima resistenza superficiale, che lo rende molto utilizzato per mobili, rivestimenti, pavimentazioni. È facilmente lavorabile e viene utilizzato per componenti con particolari fresature e lavorazioni superficiali.

Utilizzi principali Utilizzato principalmente per rivestimenti interni ed esterni o per pavimentazioni. E’ un legno molto pesante rispetto ad altre specie con caratteristiche di durabilità simili e le ottime caratteristiche di durabilità lo rendono molto utile per costruzioni esterne fuori e sottoterra.



Figura 44 Immagine legno di Rovere (“Quercia - promo_legno,” n.d.)

Massa volumica media	Kg/m3	720
Ritiro		Elevato
Durezza di Brindell	N/mm2	34
Resistenza a compressione media	N/mm2	60
Resistenza a flessione media	N/mm2	110
Modulo di elasticità a flessione	N/mm2	12500
Resistenza all’urto		Media-elevata
Conducibilità termica	W/mK	0,185
Classe di durabilità	UNI EN 350:2017	1-2

	Origine	Massa Volumica kN/m3	Ritiro	Dur Brindell	Res compress	Res flessione	E	Res. urto	Conducibilità	Durabilità	Impregnabilità
Conifere										D	A
Abete bianco	EU USA	410	Medio- Basso	12	35	70	14000	Modesta	0,126	4	2-3
Abete rosso	EU	410	Medio- Basso	12	38	73	15000	Modesta	0,126	4	3-4
Larice	EU	550	Medio	19	51	93	10000	Discreta	0,139	3-4	4
Pino Silvestre	EU	510	Modesto- medio	19	45	97	14700	Bassa	0,110	3-4	3-4
Latifoglie											
Castagno	EU	530	Elevato	25	22	52	11600	Bassa- Media	0,153	2	
Cirmolo	AML	400	Media- elevata	15	40	75	12000	Bassa	0,13	4	3
Okoumè	AF	450	Medio	18	40	80	7500	Bassa	0,117	4-5	
Pioppo	EU	410	Bassa	10-11	32	55	7800	Bassa		5	3
Rovere	EU	720	Alta	34	60	110	12500	Media- elevata	0,185	1-2	4

Tabella di dati (Giordano, Palanti, norma DIN)

Classi di impregnabilità:

- 1 -impregnabile
- 2- moderatamente impregnabile
- 3- poco impregnabile
- 4-non impregnabile

Classi di durabilità ai

funghi:

- 1 molto durabile
- 2- durabile
- 3-moderatamente durabile
- 4-poco durabile
- 5-non durabile

Negli ultimi anni si sta cercando di colmare la distanza tra progettisti e conoscenze specifiche del materiale inizia una diffusione di cultura più di sintesi, che mette in relazione dati sintetici sulla biologia delle specie e i possibili utilizzi.

<i>Cl. di utilizzo (EN 335)</i>	<i>Specie legnosa (EN 350)</i>
1 al coperto asciutto	Tutte le specie legnose, durame e alburno
2 al coperto con rischio di inumidimento	Durame di Castagno, Cipresso, Quercia cerro e Quercia rovere non necessitano di trattamento preservante. Alburno e durame di Abete bianco, Abete rosso, Larice, Pino silvestre, Pino nero, Douglasia, Pioppo, nonché alburno di tutte le specie legnose potrebbero necessitare di trattamento preservante se in ambienti frequentemente umidi.
3 esposto alle intemperie	Durame di Castagno, Cipresso e Quercia rovere non necessitano di trattamento preservante. Durame di Larice, Pino silvestre, Douglasia e Quercia cerro potrebbero necessitare di trattamento preservante se in climi umidi e piovosi e/o se non protetti contro i ristagni di umidità e se non è assicurato il rapido deflusso delle acque. Alburno e durame di Abete bianco, Abete rosso, Pino nero, Pioppo, nonché alburno di tutte le specie legnose necessitano di trattamento preservante se non protetti contro i ristagni di umidità e se non è assicurato il rapido deflusso delle acque.
4 a contatto con terreno o acqua dolce	Durame di Castagno, Cipresso e Quercia rovere potrebbero necessitare di trattamento preservante se non protetti contro i ristagni di umidità e se non è assicurato il rapido deflusso delle acque. Durame di Larice, Pino silvestre, Douglasia e Quercia cerro dovrebbero essere sottoposti a trattamento preservante ad eccezione di quegli elementi in cui può essere tollerato il degrado. Alburno e durame di Abete bianco, Abete rosso, Pino nero, Pioppo, nonché alburno di tutte le specie legnose necessitano di trattamento preservante.
5 in acqua di mare	Durame di Larice, Pino silvestre, Douglasia, Castagno, Cipresso, Quercia cerro e Quercia rovere dovrebbero essere sottoposti a trattamento preservante ad eccezione di quegli elementi in cui può essere tollerato il degrado. Alburno e durame di Abete bianco, Abete rosso, Pino nero e Pioppo, nonché alburno di tutte le specie legnose necessitano di trattamento preservante.

Figura 45 Classe di utilizzo e specie legnosa consigliata secondo la EN 350 (Studio Deda, 2011)

Solitamente è l'azienda produttrice dei componenti, o l'impresa di costruzioni in legno, che assiste il progettista per la scelta delle specie e più in generale per tutta l'ingegnerizzazione del progetto.

Questa modalità di processo di lavoro conferisce molta importanza alla collaborazione tra i diversi attori e ne inserisce alcuni che hanno molta più importanza rispetto a progetti con differenti tecnologie costruttive.

L'auspicio è che con una sempre più diffusa cultura delle corrette procedure e dei dettagli di progetto, oltre che delle specifiche di prestazione dei componenti e delle singole essenze, sempre con la stretta collaborazione delle aziende dei prodotti, possa portare i progettisti a sperimentare col materiale forme ed espressività nuove e varie, così come le altre tecnologie costruttive.

1.2 I principali pretrattamenti utilizzati in edilizia

Il legno è un materiale naturale che mantiene delle forti variazioni in relazione alla specie di provenienza, al contesto di estrazione e alla modalità di produzione, nonostante i processi di fabbricazione contemporanei che permettono di ottenere un materiale dalle caratteristiche stabili e con comportamenti affidabili.

L'informazione tecnica presente in relazione alla descrizione delle caratteristiche dei componenti ha avuto una enorme evoluzione nelle modalità di comunicazione dei dati e delle prescrizioni in uso, discostandosi dalla tecnica tradizionale, che prima era esclusiva di esperti del settore bio-agroforestale. Continua a registrarsi una diffusione eccessivamente specialistica di dati di laboratorio o di analisi tecniche per definire le specie, di difficile comprensione per il progettista architettonico, che deve solitamente rivolgersi a imprese specializzate per riuscire a padroneggiare l'intero processo.

L'auspicio per il futuro è che si sviluppino delle conoscenze tecniche, fondate sulle evidenze scientifiche analizzate dal settore agro-forestale, che possano definire dei criteri di massima utili ai progettisti per padroneggiare appieno l'utilizzo delle diverse specie, con una visione d'insieme delle potenzialità e delle criticità dell'utilizzo di tipi differenti.

La prima classificazione che si deve effettuare quando si progetta con componenti a base legno riguarda la classe di utilizzo nel quale il componente andrà inserito, che è descritta nella UNI 335:2013 "Durabilità del legno e dei prodotti a base legno", riportato sinteticamente nella seguente tabella, con una analisi sintetica del rischio associato ad ogni singola classe di utilizzo.

CdU	Ambiente	Esempio	Rischio
1	Situazione in cui il legno è riparato, completamente protetto dagli agenti atmosferici e non esposto all'umidità, non è a contatto con il terreno ed è in ambiente secco.	Ambienti interni con bassa umidità dell'aria (sempre al di sotto dell'85%):	Non c'è rischio di attacco da funghi; rischio di attacco da insetti.
	Umidità del legno inferiore al 20%.	Elementi all'esterno ma riparati dalle intemperie in climi generalmente secchi e lontani da acqua persistente.	
		Strutture di edifici, tettoie, ponti non su corsi d'acqua. Abitazioni, uffici, palestre; coperture di piscine e palazzi del ghiaccio se climatizzati.	
2	Situazione in cui il legno è riparato, completamente protetto dagli agenti atmosferici ma in cui un'elevata umidità ambientale può determinare umidificazione occasionale ma non persistente, non è a contatto con il terreno. Umidità del legno occasionalmente superiore al 20%.	Ambienti interni con umidità dell'aria occasionalmente alte (superiore all'85%): Elementi all'esterno ma riparati dalle intemperie, in climi umidi e occasionalmente in vicinanza ma non a contatto di acqua persistente. Cantine, locali umidi poco areati; coperture di piscine e palazzi del ghiaccio non adeguatamente climatizzati; ponti coperti su corsi d'acqua.	Moderato rischio di attacco da funghi; rischio di attacco da insetti.
3	Situazione in cui il legno non è riparato dagli agenti atmosferici o comunque è soggetto a umidificazione frequente, non è a contatto con il terreno.	Elementi esposti alle intemperie ma non a contatto con acqua stagnante o terreno: Elementi esposti di tettoie e ponti dove comunque l'acqua può defluire e non stagnare. Cantine, locali umidi poco areati, coperture di serbatoi; coperture di piscine e palazzi del ghiaccio non climatizzati.	Rischio di attacco da funghi; rischio di attacco da insetti.
	Umidità del legno frequentemente superiore al 20%.		
4	Situazione in cui il legno si trova a contatto con il terreno o con acqua dolce ed è pertanto permanente esposto all'umidificazione. Umidità del legno permanentemente superiore al 20%.	Elementi a contatto col terreno, elementi a contatto o immersi in acqua dolce: Pali, staccionate, arredo per parchi o giardini sponde fluviali, parti di strutture racchiuse in bicchieri o "trappole di umidità".	Rischio di attacco da funghi; rischio di attacco da insetti.
5	Situazione in cui il legno si trova permanentemente esposto all'acqua salata. Umidità del legno permanentemente superiore al 20%.	Elementi immersi o parzialmente immersi in acqua salata: Pontili, pali da ormeggio.	Rischio di attacco da organismi marini, rischio di attacco da funghi; rischio di attacco da insetti.

Figura 46 Estratto della norma UNI EN 335:2013 "Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno"

Nelle norme tecniche, il termine durabilità ha un ambito di applicazione molto specifico, in quanto esprime la resistenza naturale del durame di una specie legnosa all'azione distruttrice di funghi agenti della carie. Nelle pagine seguenti si farà riferimento con il termine durabilità al valore tabellare indicato nella norma UNI 350:2016 "Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Durabilità naturale del legno massiccio. Guida alla durabilità naturale e trattabilità di specie legnose scelte di importazione in Europa".

Per classificare la durabilità naturale del legno nei confronti dei funghi lignivori viene utilizzato un sistema a 5 classi:

- Classe 1 : molto durabile
- Classe 2 : durabile
- Classe 3 : moderatamente durabile
- Classe 4 : poco durabile
- Classe 5 : non durabile

L'alburno di tutte le specie è da considerare in classe 5 a meno di esplicita diversa indicazione. Le specie a durame non differenziato (v.) sono assegnate alla classe 5.

In relazione ai pretrattamenti che il materiale naturale può subire, è bene fare un richiamo sulla composizione della massa legnosa.

Essa è un materiale eterogeneo costituito da tre componenti strutturali (cellulosa emicellulosa e lignina) e componenti non strutturali in percentuale minore (polisaccaridi di amido estrattivi, proteine, alcune sostanze della famiglia dei materiali solubili inorganici).¹⁹

Gli estrattivi danno al legno il suo caratteristico odore, ne assicurano la durabilità (resistenza alla decomposizione) e sono responsabili della capacità del legno di assorbire poca acqua.

Possono essere rimossi con solventi naturali, anche se in alcuni casi sono necessari anche alcali diluiti. Rimuovere questi componenti aumenta l'asciugatura dei materiali e la stabilità dimensionale; la procedura è però costosa e richiede molto tempo.

L'eterogeneità della composizione chimica degli estrattivi impedisce di ottenere un comportamento comune durante il deperimento termico, poiché la degradazione termica e l'evaporazione degli estrattivi si sovrappone a quella della cellulosa emicellulosa e della lignina.

La lignina è il polimero maggiormente presente e assicura forma, struttura e supporto ai tronchi; contribuisce alla durabilità del legno e alla resistenza agli attacchi biotici, oltre a garantire le proprietà meccaniche del legno in presenza di umidità.

¹⁹ Dal punto di vista chimico il legno è composto dai seguenti componenti:

- **Cellulosa ed emicellulose:** polimeri strutturali, principalmente costituiti da carbonio, idrogeno e ossigeno. La cellulosa è una fibra, la principale componente strutturale del legno ed è il materiale utile per la produzione di carta;
- **Lignina:** è un polimero che conferisce alle piante la loro integrità strutturale. Non è facilmente degradato da microrganismi, quindi la sua presenza limita i processi biologici come la fermentazione, mentre facilita la combustione a causa di un elevato potere calorifico. Va ricordato che la lignina serve come legante naturale mantenendo l'integrità dei pellets e delle bricchette. Questo è il motivo per cui il legno è più adatto per la produzione di tali prodotti rispetto alla biomassa erbacea;
- **Estrattivi:** comprendono zuccheri semplici, grassi, cere, gomme, pectine, terpeni, resine, acidi grassi ecc. Il loro potere calorifico è estremamente alto e la loro maggior presenza (insieme con la lignina) nelle conifere spiega perché le conifere abbiano un più alto potere calorifico rispetto alle latifoglie;
- **Minerali:** sono elementi inorganici quali azoto, zolfo, cloro e metalli pesanti presenti nei tessuti degli alberi vivi come nutrienti. La loro concentrazione si limita a tracce, ma può avere implicazioni grandi per l'utilizzo di combustibile (biomassa) rimanendo nella cenere dopo la combustione.

La quantità dei principali componenti strutturali varia tra le diverse specie di legno, ma anche tra i legnami di provenienze diverse.

Il decadimento termico della lignina parte a basse temperature (110°C) e avviene in un campo ristretto di variazione di temperatura.

L'*igroscopia* è una capacità intrinseca del materiale, che influenza la stabilità dimensionale, le proprietà meccaniche, le proprietà termiche, la densità, la compatibilità con altri materiali e la durabilità.

Il legno può mantenere acqua nella sua parete cellulare o all'interno delle cavità cellulari come acqua libera.

Quando è sottoposto ad ambienti secchi o umidi, il materiale tende a raggiungere l'umidità di equilibrio con l'ambiente circostante, assorbendo e/o rilasciando vapore con l'ambiente.

La produzione e il comportamento dei prodotti in legno sono direttamente influenzati dalla igroscopicità e l'umidità 'di lavoro' è il più importante fattore per agevolarne la durabilità nel tempo.

I pretrattamenti per rimuovere i componenti ad alta igroscopicità sono una strategia per ridurre la quantità di acqua che l'elemento può assorbire.

Di rilevante importanza, relativamente alla protezione della materia da attacchi di agenti esterni, come già specificato precedentemente, sono i pretrattamenti al quale il materiale può essere sottoposto e che sono legati alla caratteristica di impregnabilità dello stesso. Anche questa caratteristica è normata e classificata in quattro categorie così articolate:

1. Legno Impregnabile. Facile da impregnare; i segati possono venire penetrati completamente senza difficoltà mediante trattamento a pressione
2. Legno moderatamente impregnabile. Abbastanza facile da impregnare; normalmente non è possibile una penetrazione completa, ma con un trattamento a pressione di 2-3 ore si può raggiungere una penetrazione laterale di 6 mm nelle conifere e una penetrazione di un'ampia porzione di vasi nelle latifoglie
3. Legno poco impregnabile. Difficile da impregnare; un trattamento a pressione di 3 o 4 ore permette solo una penetrazione laterale compresa tra 3 e 6 mm.
4. Legno non impregnabile. Virtualmente impossibile da impregnare, scarsa quantità di preservante assorbita anche dopo 3-4 ore di trattamento a pressione, penetrazione laterale e longitudinale minima.

Data la diversa caratterizzazione di alborno e durame vengono forniti due dati differenti. Nel caso di specie senza distinzione tra i due, la norma impone di considerare il legno come composto interamente da durame (solo per i dati relativi a questa caratteristica).

Si noti che il durame delle specie a durame differenziato, mentre da un lato presenta caratteristiche di durabilità naturale più o meno elevate, dall'altro lato presenta frequentemente classi di impregnabilità elevate (poco o non impregnabile).

N°	Nome scientifico	Codice secondo la EN 13556	Nome comune	Provenienza	Massa volumica/ kg/m ³ al 12 % di umidità	Durabilità del durame				Impregnabilità		Larghezza alburno	Dati / informazioni aggiuntive quando disponibili
						Funghi	Hylotropes	Anobium	Termiti	Durame	Alburno		
1	<i>Abies alba</i> Mill. (syn. <i>Abies pectinata</i>) <i>A. excelsior</i> Franco (= <i>A. grandis</i> (Dougl.) Lindl) <i>A. procera</i> Rehde	ABAL ABGR APGR	E: Fir F: Sapin D: Tanne, Weißtanne	Europa Nord America	440-460-480	4 (4)	S	S	S	2-3	2v	x	Incline all'azzurramento Non resistente agli organismi marini perforanti
2	<i>Agathis damara</i> (A.B. Lambe) L. C. <i>Fitch</i> [= <i>A. alba</i> Foxw] <i>A. australis</i> (D.Don.) Salisb. <i>A. sp.pl.</i>	AGDM AGAS	X: Agathis E: Kauri F: Agathis D: Agathis	Australia Nuova Zelanda Malaysia Papua Nuova Guinea	430-490-550	3-4	D	D	S	3	n/d	x	Incline all'azzurramento Non resistente agli organismi marini perforanti
3	<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) O. Ktze.	ARAN	X: Pino do Parana E: Parana Pine F: Pin de Parana D: Brasilkiefer	Brasile	500-540-600	4-5	D	D	S	2	1	b	Incline all'azzurramento Non resistente agli organismi marini perforanti
4	<i>Calocedrus decurrens</i> (Torr.) Florin	CCDC	E: Incense cedar F: Libocèdre D: Kalifornische Bleistiftzeder	Nord America		1-2	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	
5	<i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) Manetti ex Carr. <i>C. deodara</i> (D. Don) G. Don <i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) Manetti	CDDX	E: Cedar F: Cèdre D: Echte Zeder	Africa, Asia		1-2	D	D	M	3	n/d	n/d	Non resistente agli organismi marini perforanti
6	<i>Chamaecyparis nootkatensis</i>	CHNT	E: Yellow Cedar F: Yellow Cedar D: Scheinzypresse	Nord America	430-480-530	2-3	D	D	M	3	1	s	

Figura 47 Estratto dalla norma UNI 350:2016, classificazione della durabilità del durame e impregnabilità della specie di conifere

La resistenza del legno agli attacchi di insetti xilofagi non viene in alcun modo quantificata. La norma si limita a dichiarare la possibilità o meno che un certo insetto si insedi a danno di una certa specie legnosa, sussistendo le condizioni ambientali favorevoli.

È opportuno ricordare che gli insetti xilofagi sono organismi adattati a condizioni ambientali naturali tipiche degli ecosistemi forestali, significativamente diverse da quelle riscontrabili nelle opere dell'uomo ben progettate e ben eseguite. Partendo quindi da legname certamente esente da attacchi di insetti, magari essiccato artificialmente a temperature elevate e successivamente lavorato e messo in opera a regola d'arte, l'entità degli attacchi di insetti xilofagi anche sulle specie non resistenti risulta di norma piuttosto ridotta.

I trattamenti ai quali possono essere sottoposti gli elementi in legno per renderli maggiormente durevoli, sono molti e possono essere applicati singolarmente o in maniera combinata (Agbor, Cicek, Sparling, Berlin, & Levin, 2011) e agiscono su componenti fisiche o chimiche o meccaniche del materiale.

Le modalità per trattare il materiale possono essere di tipo **meccanico** (ad esempio segatura, triturazione, molatura, fresatura), **chimico** (ad esempio l'acido neutro o alcalino idrolisi), **biologico**, **fisico-chimiche** (ad esempio, in fibra di ammoniaca / congelare esplosione), **termochimico** (vale a dire, la torrefazione, l'esplosione del vapore e l'estrazione di acqua calda)e/o mediante **essiccazione**.

I **trattamenti termici**, sono dei processi nei quali il materiale viene sottoposto a calore, sotto forma di acqua calda (compresa tra i 180°C e i 240°C) o di vapore (temperatura superiore ai 240°C) (Pelaez-Samaniego, Yadama, Lowell, & Espinoza-Herrera, 2013), con lo scopo di ridurre la grande igroscopia del materiale e quindi tutte le caratteristiche negative dell'interazione di esso con gli agenti esterni (degrado, variabilità dimensionale).

Queste azioni comportano modifiche delle caratteristiche del legno e prevedono delle operazioni che ne causano cambi irreversibili nella struttura e nella composizione chimica.

I **trattamenti di calore** in generale hanno dimostrato aumentare la resistenza all'assorbimento di acqua e migliorare la stabilità dimensionale alle variazioni di umidità, soprattutto nei pannelli composti in legno

(OSB, MDF, WPC). È dimostrato anche che queste azioni aumentino la resistenza all'attacco di funghi e micro-organismi (Hill, 2006). Sono stati condotti studi che hanno accertato una riduzione onerosa sia nel Modulo di elasticità (MOE)²⁰ che nel Modulo di Rottura (MOR)²¹, affermando quindi che le proprietà meccaniche dopo il trattamento risultano inferiori.

La resistenza biologica del legno termicamente modificato è sufficiente contro di più parassiti. Specie legnose a bassa resistenza contro il decadimento fungino (ad esempio con durata classi 4 e 5 secondo EN 350-1) dopo la modifica termica passano da durevoli a molto durevoli (classi di durata 2 a 1).

È generalmente vero che il legno termicamente modificato ha una migliore resistenza biologica principalmente contro i funghi, mentre la sua bio-resistenza aumenta con l'intensità del processo termico (Tjeerdsma & Militz, 2005).

In un normale clima interno a una temperatura di 20 ° C e relativa umidità dell'aria del 60-65%, il contenuto di equilibrio all'equilibrio del legno massiccio è mediamente intorno al 10-12,5%, mentre dopo la modifica termica mediante rettifica si riduce notevolmente essendo solo del 3-5%.

La stabilità è molto buona, visto che la viscosità raggiunge solo il 50% del valore di legno non trattato, Il legno termicamente modificato è principalmente adatto per l'uso dove è necessario ridurre al minimo le deformazioni dimensionali e aumentare la resistenza biologica, come per i parquet in ambiente interni e nel rivestimento di facciate per esterni.

La resistenza agli agenti atmosferici del legno termicamente modificato alle esposizioni meteoriche non è garantita poiché le sue superfici di una tonalità marrone scura si trasformano in grigio in tempi relativamente brevi; risulta quindi vantaggioso applicare un trattamento superficiale (ad esempio usando oli vegetali o rivestimenti pigmentati).

L'infiammabilità del trattamento è solitamente paragonabile a quella del legno non trattato

Il colore del legno termicamente modificato passa dal giallo al marrone ed è simile a diverse specie di legno tropicale (ad esempio teak o cedro): con temperature più elevate e tempi di riscaldamento più lunghi provocano lo sviluppo di un colore più scuro.

I legni trattati termicamente ottengono anche un tipico odore di caramello. In termini di agenti atmosferici resistenza, è stato riportato che la stabilità del colore a breve termine il legno termicamente modificato esposto a radiazioni UV artificiali è migliore che in legno non trattato.

²⁰ Il MOE è il modulo di elasticità e misura il rapporto tra le sollecitazioni del legno rispetto alle deformazioni che il legno mostra sulla sua lunghezza

²¹ Il MOR è un modulo che misura la forza ultima del legno prima della rottura. A differenza del modulo elastico, che indica la relazione tra forza e flessione, il MOR è un'indicazione sulla sua resistenza ultima valida solo sino al limite elastico.

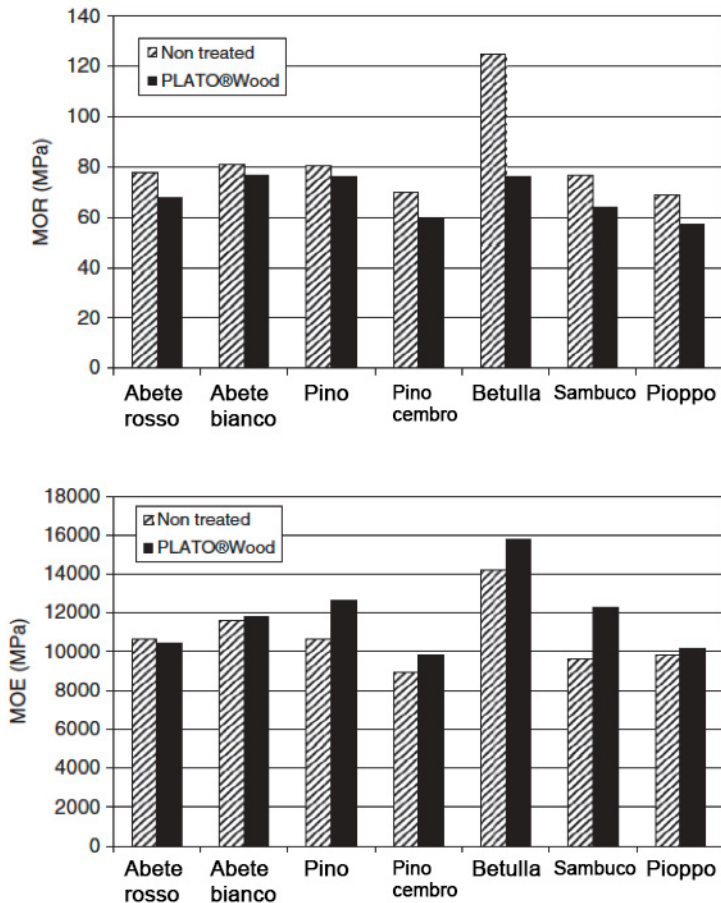


Figura 48 Variazione dei valori di MOR e MOE per legno non trattato e per la stessa specie sottoposta a termotrattamento Plato© (Hill, 2006)

I **trattamenti chimici** sono quelle procedure che modificano il materiale attraverso l'applicazione di uno strato di un prodotto esterno, oppure attraverso l'impregnazione per lunga durata dei componenti. La capacità di impregnazione è direttamente proporzionale alla sua idrofilia, ovvero dalla capacità dell'essenza di assorbire liquidi.

Di solito i trattamenti chimici applicati prevengono la decadenza della performance, migliorano la resistenza all'acqua e migliorano la reazione al fuoco del componente.

Lo svantaggio di questa lavorazione consiste nei possibili effetti dannosi sulla salute umana dei composti chimici e nel fatto che il materiale viene alterato rispetto alle sue condizioni iniziali senza possibilità di reversibilità e quindi a volte precludendo la possibilità di riuso.

I trattamenti chimici dipendono fortemente dal prodotto preservante che viene utilizzato; i preservanti possono essere prodotti oleosi naturali, sostanze sintetiche in solventi organici e sali minerali solubili in acqua.

I processi chimici mediante **verniciatura** si caratterizzano per l'applicazione del preservante lungo la superficie esterna. La caratterizzazione delle proprietà è ricondotta alle vernici utilizzate, che possono essere divise per macro-categorie:

- vernici non pigmentate, trasparenti o incolori
- vernici pigmentate (parzialmente trasparenti)
- vernici coprenti

Maggiore è la pigmentazione, ovvero la presenza di particelle che conferiscono la colorazione del trattamento considerato, maggiore è la protezione che viene conferita al componente trattato. Questi preservanti solitamente vengono applicati con un primo strato di fondo impregnante, che viene assorbito più in profondità e costituisce la protezione chimica di base e poi successivamente una finitura superficiale.

I principali processi chimici mediante **impregnazione** della modificazione del legno sono:

- **acetilazione**, processo chimico che consiste nell'immergere il legno all'interno di ambiente saturo di anidride acetica. I componenti vengono utilizzati principalmente per ambienti outdoor, mantenendo un odore caratteristico piuttosto forte e sgradevole alla percezione umana (Sandberg, Kutnar, & Mantanis, 2017).
I vantaggi sono legati alla grande durabilità che questi componenti assicurano²², alla buona stabilità dimensionale che li caratterizza²³, alla maggiore resistenza²⁴ al maggiore grado di isolamento termico e la immunità agli attacchi di una grande varietà di insetti (la durabilità senza alcuna manutenzione viene garantita per oltre 25 anni).
Le principali applicazioni sono per finestre e porte esterne, pavimentazioni, rivestimenti e applicazioni civili (R. M. Rowell & Dickerson, 2014)
I difetti dei componenti trattati con questa tecnica sono che risultano di difficile verniciatura con materiale a base d'acqua, le essenze utilizzate sono poche (tipicamente il pino radiata e l'ontano).
- legno impregnato con **alcool furfurilico**, un composto sostenibile derivato da processi di riciclo dei materiali (Sandberg et al., 2017) che conferisce alla specie una classe di durabilità 1, migliori stabilità dimensionale e resistenza ai cicli asciutto-bagnato. Le specie più utilizzate sono il Pino e l'acero (Mantanis & Lykidis, 2015)

I trattamenti **meccanici** sono quelle attività che vengono condotte in pre-lavorazione dei componenti, per ridurre la percentuale di umidità presente all'interno del legno.

Studi effettuati soprattutto in Cina e Giappone (Zhao et al., 2015) hanno dimostrato come le differenti velocità di applicazione della forza e le differenti configurazioni di carico rispetto alla fibratura dell'elemento, possano portare a risultati diversi di percentuale di umidità interna, senza alterare in maniera sostanziale MOE e MOR.

Un fattore importante è la velocità di applicazione del carico: infatti essa è inversamente proporzionale alla velocità di abbassamento dell'umidità interna, da cui si evince che carichi applicati in tempo maggiore permettano di raggiungere riduzioni più importanti di umidità.

Tutti questi trattamenti hanno un diverso impatto sul materiale e sul Life Cycle Assessment. È importante valutare i trattamenti preservanti del legno non solo in funzione della durabilità dell'opera, ma anche per un'eventuale riuso dei componenti nel futuro (Morgan & Fionn, 2005), tenendo in considerazione che una lavorazione può garantire una maggiore durezza ma rendere il componente inutilizzabile per future realizzazioni.

²² Questi componenti vengono classificati in Classe 1 di durabilità, simile alle specie con la durabilità massima

²³ Le variazioni di dilatazione sono ridotte del 70-80% rispetto al materiale non trattato

²⁴ Resistenza calcolata maggiore del 15-30% rispetto al legno non trattato

1.3 L'involucro a base di legno: caratteristiche principali delle pareti perimetrali verticali

I sistemi costruttivi e i prodotti di derivazione legnosa utilizzati per le pareti perimetrali verticali possono essere identificati in relazione ad alcuni parametri di valutazione quali le caratteristiche dimensionali, le modalità realizzative e gli aspetti prestazionali dal punto di vista della sicurezza (prestazioni di tipo meccanico, sistemi di connessione e controventamento dei componenti, comportamento al fuoco ecc.), della sostenibilità ambientale ed economica (LCAemissioni di formaldeide, sostituzione delle colle a favore di connessioni metalliche o in legno ecc.), del benessere (prestazioni termo-igrometriche, acustiche, visive, percettive ecc.), della durabilità (Ferrante & Villani, 2012).

Cl. Di esigenze	Classi di requisiti	Requisiti tecnologici	Parametri di valutazione
Sicurezza	Stabilità Sicurezza al fuoco Protezione	Resistenza meccanica Reazione al fuoco Resistenza al fuoco Stabilità al vento Resistenza meccanica agli urti accidentali	Carico max: •(resistenza a compressione parallela alle fibre $\sigma = \dots N/mm^2$) •(resistenza a compressione perpendicolare alle fibre) $\sigma = \dots N/mm^2$ •(resistenza a flessione $\sigma = \dots N/mm^2$) Classe di reazione al fuoco (0-5) Classe di resistenza al fuoco, REI (30-180)
Benessere	Benessere termo-igrometrico Benessere acustico	Permeabilità all'aria Tenuta all'acqua Isolamento termico e controllo condensa superficiali Controllo dell'inerzia Controllo della condensa interstiziale Isolamento acustico Non rumorosità Assorbimento acustico Non emissione di sostanze nocive	Resistenza alla diffusione del vapore acqueo μ Conducibilità termica W/mK Trasmittanza W/m^2K Capacità termica specifica J/(kgK) Rw (dB) potere fonoisolante Ln,w (dB) resistenza ai rumori di calpestio EN 13171-UNI 73571 - Trasmittanza DM 05/12/1997 – Materiali fonoassorbenti
Gestione	Resistenza agli agenti esterni e alle sollecitazioni di esercizio Manutenibilità e durevolezza	(...) Resistenza agli urti degli strati superficiali Resistenza all'usura Resistenza alle manovre e sforzi d'uso Resistenza alle manovre anormali Resistenza al calore di fonti localizzate Pulibilità Riparabilità Sostituibilità	Resistenza meccanica strato rivestimento DM 26/05/2015 Scelta dei materiali Caratteristiche dello strato rivestimento Caratteristiche funzionali dell'elemento tecnico Caratteristiche morfologiche/funzionali dell'elemento tecnico
Integrabilità	Regolarità finiture Integrabilità funzionale	Regolarità geometrica Attitudine alle connessioni tra strati contigui Attitudine all'integrazione impiantistica	Dimensioni standard ETA Presenza strato funzionale dedicato
Salvaguardia dell'ambiente	Controllo ciclo - Riuso Controllo uso - Risorse	Recuperabilità dei materiali di risulta Smontabilità Separabilità dei componenti Omogeneità dei componenti Materie prime derivanti da risorse rinnovabili Biodegradabilità dei materiali di risulta Sfruttamento limitato di risorse non rinnovabili Limitata energia fossile impiegata	Certificazioni specifiche DM 11/01/2017 Riciclabilità componenti DM 11/01/2017 Emissioni formaldeide

Figura 49 Alcuni dei requisiti connotanti le pareti perimetrali verticali in legno e suggerimenti su alcuni dei possibili parametri di scelta

La presenza o meno di alcuni degli strati funzionale e/o la caratterizzazione degli stessi conferisce alla parete perimetrale verticali diverse proprietà che ne possono influenzare in maniera rilevante il modello funzionale (ad esempio, la presenza dello strato dedicato al passaggio degli impianti caratterizza la possibilità di integrabilità della parete considerata).

Gli strati che si possono trovare all'interno delle soluzioni di pareti perimetrali verticali con componentistica a base in legno possono ricondursi sinteticamente a :

- Strato di rivestimento esterno, che è lo strato che caratterizza l'aspetto dell'edificio. Solitamente è composto da elementi di tipo puntuale o a lastra, a giunti aperti o chiusi, ad andamento verticale o orizzontale. Ha la funzione di essere un primo schermo agli agenti esterni, sia per quanto riguarda le piogge che i raggi solari;
- Strato di collegamento, unisce il rivestimento esterno allo strato resistente. Tipicamente è articolato con sistemi a telaio (montanti e traversi) che possono configurare la relazione del rivestimento rispetto il filo della struttura dell'edificio (incluso nella struttura, a filo, oppure esterno alla struttura);
- Strato di ventilazione, che consiste nella camera d'aria eventualmente presente. Questo strato è importante non solo per le prestazioni termo-igrometriche della soluzione di parete, ma anche per garantire i requisiti di salubrità e di durabilità delle pareti perimetrali verticali. Per la componentistica a base legnosa infatti, l'umidità ed il ristagno d'acqua potrebbero essere dannosi per la soluzione ed è quindi auspicabile la presenza di strati di areazione che possano favorire l'asciugatura della condensa interstiziale e implementare i fenomeni di fuoriuscita del vapore;
- Strato di separazione, genericamente qui riferito alle membrane di freno vapore, impermeabili all'acqua, di tenuta all'aria. La presenza di esse caratterizza non solo le prestazioni termo igrometriche, ma anche la relazione dei materiali nella sequenza.
A titolo esemplificativo, nelle soluzioni dove è presente esclusivamente la membrana di tenuta all'aria, senza membrana impermeabilizzante, è necessario scegliere per gli strati isolanti componenti che possano tollerare la presenza di acqua e che non vengano intaccati nelle prestazioni da essi (ad esempio fibra di vetro);
- Strato di isolamento, è lo strato dedicato alla funzione di aumentare i livelli prestazioni della chiusura in termini di efficienza energetica ed acustica. La scelta dei materiali è legata quindi alle diverse resistenze, alla permeabilità al vapore e alle caratteristiche superficiali dei diversi componenti utilizzabili. Solitamente la relazione con lo strato di collegamento diventa connotante per la scelta del tipo di materiale e del posizionamento dell'isolamento rispetto allo strato di separazione;
- Strato resistente, è lo strato che assolve la funzione di sostenere i carichi verticali. Particolarmente rilevante la differenza tra pareti perimetrali verticali che assolvono alla funzione strutturale dell'edificio, oltre che al sostegno della parete, caratteristica che indice sulla componentistica presente, sugli spessori medi e sulle richieste di permeabilità al vapore.

Può essere composto da elementi continui (ad esempio Xlam) o discreti (ad esempio listelli, componenti di telaio, elementi in lamellare).

- Strato di rivestimento interno, solitamente ha le stesse caratteristiche del sistema di rivestimento esterno per quanto riguarda l'articolazione morfologica. Nella scelta del componente idoneo vanno a incidere gli agenti relativi agli ambienti interni e le considerazioni su eventuali componenti volatici che possono emettere e/o l'utilizzo di colle adatte ai requisiti di salubrità di interni.

Strato di rivestimento interno ed esterno

Listelli, doghe e scandole

Questi componenti rientrano nella tipologia dei prodotti della tradizione costruttiva artigianale con rivestimenti in legno massello. Oggi i processi industriali permettono di produrli di qualsiasi forma e sezione, consentendo al progettista di articolare diversi effetti morfologico funzionali dell'involucro dell'edificio.

Questi componenti vengono sottoposti ad un processo di stagionatura che ne limiti l'anisotropia dopo la messa in opera. Questa asciugatura permette anche di sterilizzare il legno dalla eventuale presenza di funghi ed insetti, permettendo quindi di aumentare la durabilità legata al materiale.

Le specie utilizzate per questi componenti sono diverse e caratterizzate da differenti fattori di resistenza meccanica e variazione estetico-cromatica.

Le principali specie utilizzate per esterni sono l'**abete bianco** e **rosso**, il **cedro**, il **larice**, il **pino** e il **rovere**.



Figura 50 A sinistra livelli in legno ad andamento verticale, al centro doghe di legno ad andamento orizzontale, a destra scandole di legno

La caratterizzazione morfologica del rivestimento esterno dipende dalla scelta del componente. Infatti, per i listelli e le doghe è possibile configurare un rivestimento esterno a 'celle chiuse', ovvero con i componenti posti in continuità tra di loro. Questa scelta influirà anche sul modello funzionale della parete, in quanto per rivestimenti a celle aperte non è possibile configurare uno strato di ventilazione immediatamente posteriore allo strato di rivestimento, ma dovranno essere previsti ulteriori strati di separazione.

Per le scandole invece è obbligatoria la posa in opera sovrapposta, sia per il fissaggio sia per permettere il corretto deflusso delle acque meteoriche lungo la facciata.

I pretrattamenti applicabili possono essere superficiali o per impregnazione dei componenti. I trattamenti superficiali tipici sono la verniciatura (per permettere una maggiore resistenza ai raggi solari o per la protezione da insetti o per esigenze estetiche) oppure l'impregnazione in autoclave per conferire alte prestazioni di durabilità.

E' molto diffuso anche il legno termo-trattato, che consiste nella lavorazione dei componenti mediante asciugatura ad alte temperature: questo trattamento conferisce al materiale un'alta stabilità dimensionale ed una maggior resistenza superficiale agli urti.

Durabilità

La durabilità del componente è legata alla specie scelta e all'eventuale pretrattamento. Se non sono previste particolari fonti di degrado, gli elementi non hanno problemi legati alla formazione di microorganismi e di attacco dei funghi (purché l'umidità interna del legno non raggiunga livelli superiori al 18%).

Per usi esterni solitamente si usa il trattamento in autoclave con impregnante acrilico.

Fine vita

Nel caso di elementi non trattati, possono essere previsti le dismissioni a discarica oppure la valorizzazione energetica, oltre a varie strategie di riuso e riciclo.

Nel caso di elementi trattati e/o non trattati possono essere prese in considerazione strategie di riuso e di riciclo.

I componenti possono poi essere ulteriormente lavorati, piallati e segati, per eliminare le eventuali zone soggette a degrado; la dimensione dei componenti ne permette un riuso all'interno dell'edilizia anche per diverse applicazioni (ad esempio pavimentazioni interne, rivestimenti interni, controsoffitti etc.).

Possono essere riciclati quindi sia come pezzi a sezione originaria, sia ricomposti in lamelle per pannelli o sfibrate per la formazione di pannelli truciolari (sia al fine di isolamento termico che di strato di separazione).

WPC

Caratteristiche legate al prodotto

I composti in legno plastica (WPC – Wood Plastic Composite) sono prodotti ingegnerizzati a base di legno, plastica e additivi che vengono prodotti per estrusione²⁵. In generale il materiale è costituito da: una miscela di particelle di legno (granulometria dai decimi di millimetro a pochi millimetri), una percentuale di plastica termo fusibile (principalmente polietilene), altri additivi e coloranti. Questa miscela viene estrusa a caldo in liste, doghe o listoni di lunghezza di variabile (2-4 metri), aventi una sezione piena oppure alveolare. Le particelle di legno solitamente sono vergini, cioè prive di colle, metalli, vernici, impregnanti, anche se la loro presenza non è limitante per la tecnica costruttiva fino a percentuali ridotte (indicativamente 5%). La matrice plastica può provenire dai prodotti del riciclaggio o essere di nuova creazione. Vengono utilizzati comunemente per applicazioni esterne come pavimenti, pontili, arredo da giardino o rivestimenti.

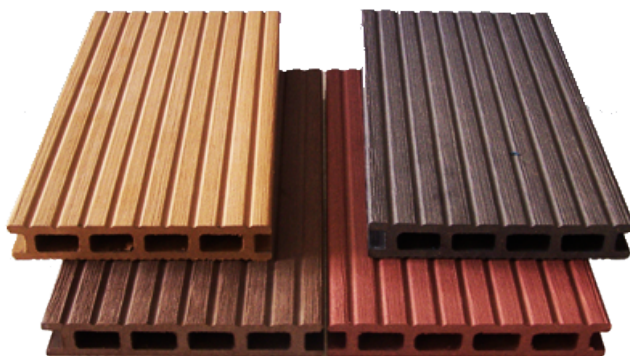


Figura 51 Immagini di tavole in Wood Plastic Composite di diverse colorazioni per pavimentazioni esterne

Le doghe in legno plastica, nelle intenzioni progettuali, associano i benefici estetici e meccanici del legno alla facilità di trasformazione e di durabilità della plastica. Il prodotto finito è di aspetto gradevole, può essere sagomato e installato facilmente, può essere prodotto con lavorazioni superficiali di vario tipo, è elastico e resistente alle intemperie. I composti in WPC possono durare all'esterno a contatto con l'acqua anche decine di anni.

Sebbene le doghe in legno-plastica siano costituite da una matrice plastica impermeabile, durante il processo di produzione non è possibile evitare che le particelle di legno si dispongano sulla superficie della dogha, a contatto con l'esterno. Questo fa in modo che in superficie ci siano punti in cui il legno sia esposto agli agenti esterni (umidità, funghi) e limitatamente a quelle particelle legnose, sia facilmente aggredibile da agenti biotici.

Si possono inoltre formare microfratture che col tempo e l'azione del carico, dei raggi UV, del gelo e dell'acqua si possono allargare e trasmettere ad altre particelle l'inoculo biotico che è in grado di degradarle.

Sebbene i produttori sottolineino le eccellenti caratteristiche di durabilità e inalterabilità del colore, non sono infrequenti casi di variazione del colore, rotture, infezioni fungine.

In fase progettuale inoltre è importante considerare il rapporto legno/plastica del materiale. Sebbene un elevato contenuto di particelle di legno (p.es. 70%) sia generalmente ritenuto una caratteristica positiva

²⁵ L'estrusione è un processo di produzione che consiste nel comprimere il composto attraverso una sagoma (matrice o filiera) che riproduce la forma che si vuole il componente assuma.

(prodotto più naturale), in realtà può causare un abbassarsi delle performance della durabilità, della resistenza meccanica e della stabilità dimensionale del materiale. Indicativamente percentuali di polimero plastico attorno al 50% sono considerate ottimali.

Per la caratterizzazione dei prodotti in WPC la CEN/TS 15534-3:2007 riassume le caratteristiche e le normative di riferimento per la misurazione

Characteristics	Ref. to CEN/TS 15534-1	Based test methods	Decking	Siding	
				External use	Internal use
Coefficient of friction	64	EN 13893	R	-	-
Falling mass impact - Solid (non- cellular) materials	712	EN 477	R	R	R
Falling mass impact - Cellular materials	712	Annex A of CEN/TS 15534-1:2007	R	R	R
Puncture impact	713	EN ISO 6803-2	O	O	O
Flexural properties -Non-load bearing products	732	EN 310	R	-	-
Flexural properties -Load bearing products	733	EN 789	R	-	-
Creep behaviour	74	ENV 1156	R	-	-
Nail and screw withdrawal	76	EN 13446	O	O	O
Pull through resistance	77	EN 1383	O	O	O
Resistance to artificial weathering – Non-coated products	811	EN ISO 4892-2	R	R	-
Resistance to artificial weathering - Coated products	812	EN 927-6	R	R	-
Resistance to natural ageing	82	EN ISO 877	R	R	-
Swelling and water absorption	83	EN 317	R	R	R
Dimensional changes - Changes in RH of air	84	EN 318	O	O	O
Moisture resistance - Under cyclic test conditions	851	EN 321:2001	R	R	R
Moisture resistance - Closed environment at elevated temperature	852	EN ISO 9142	O	O	O
Heat thermal reversion - Profiles	92	EN 479	R	R	-
Heat build-up - Building products	93	Annex F of CEN/TS 15534-1:2007	R	O	-
Reaction to fire - Single flame source test	1.021	EN ISO 11925-2	-	O	O
Reaction to fire - SBI test	1.022	EN 13823	-	O	O
Spread of flame - Radiant heat source - floorings	1.023	EN ISO 9239-1	O	-	-
Degree of chalking	111	EN ISO 4628-6	O	O	O
Change of gloss	112	EN ISO 2813	O	O	O
Peel strength resistance	113	Annex G of CEN/TS 15534-1:2007	O	O	O

R : required characteristics to be assessed.
O : optional characteristics to be assessed.

Figura 52 Caratterizzazione dei prodotti in WPC secondo la CEN/TS 15534-3:2007

Il materiale è formato da circa il 60% da legno e plastica per il 40%, corrispondente a resine che gli conferiscono particolari caratteristiche di resistenza grazie all'aggiunta di polimeri e additivi: questa composizione conferisce al materiale le caratteristiche di essere idrorepellente, resistente all'abrasione, resistente all'attacco di insetti e agenti micotici in genere.

Durabilità

Come già detto, la presenza di resine polimeriche conferiscono caratteristiche di idrorepellenza, resistenza all'attacco di muffe e funghi.

Questo composto è anche resistente ai raggi solari, nonostante la variazione dei cicli caldo freddo possa alterarne le condizioni superficiali e quindi a lungo andare intaccarne le prestazioni.

Fine vita

Dal punto di vista teorico il materiale composto legno-plastica è riciclabile essendo un composto del legno, ma gli attuali processi industriali difficilmente riescono ad assicurarlo. Infatti, una volta dismesso, è impossibile valorizzare le particelle di legno inizialmente utilizzate dalla resina di impasto.

Negli impianti di riciclaggio vengono classificati con il codice CER 17 (rifiuti da attività di demolizione) e, non potendo rientrare nella categoria dei rifiuti a base legno (CER 17 02 01), vengono classificati come 19 12 12 (altri rifiuti, compresi materiali misti prodotti dal trattamento meccanico dei rifiuti, diversi da quelli di cui alla voce 19 12 11) e seppelliti in discarica o avviati agli inceneritori/termovalorizzatori.

HPL

Caratteristiche legate al prodotto

Il laminato HPL (High-pressure decorative laminates) è un componente in lastre, lavorato ad alta pressione in accordo alla UNI EN 438:2005²⁶, con uno spessore dagli 0,6 agli 8 mm, che consente applicazioni esterne. Il materiale è prodotto da sfogliati di legno, che vengono sovrapposti, pressati e successivamente induriti con strati di colla e resina.

In media il 60% del materiale è costituito da derivati del legno, mentre il restante 40% da resine.



Figura 53 Pannelli di HPL con diversi trattamenti superficiali.

La lavorazione prevede la possibilità di conferire lavorazioni superficiali, trattamenti, colorazioni varie. Internamente, il pannello è costituito da strati di carta Kraft impregnati con resina fenolica, mentre almeno una delle due facce consiste di uno strato decorativo di carta di cellulosa impregnata con resina termoindurente avente funzioni sia estetiche, sia anti-intemperie. Durante il processo di produzione, calore (a 150°C) e alta pressione (9 MPa) vengono applicati congiuntamente in presse, nelle quali avviene la policondensazione delle resine. Uno o entrambi i lati sono caratterizzati da una superficie decorativa.

Le classi di laminati EDS e EDF sono indicate per condizioni esterne severe, per esempio applicazioni che implicano un'esposizione a lungo termine a luce solare intensa e a forti intemperie.

Rispetto ai componenti a base legno 'naturali', questi materiali hanno una forte caratterizzazione che ne permette una classificazione e una standardizzazione più rigorosa.

Essendo un composto ingegnerizzato del legno, è possibile definire le prestazioni specifiche che ogni componente deve garantire durante la vita utile, in maniera più puntuale rispetto al legno tradizionale.

²⁶ UNI EN 438:2005 "Laminati decorativi ad alta pressione (HPL) - Fogli a base di resine termoindurenti (generalmente chiamati laminati)", divisa in otto parti che descrivono tutte le prescrizioni sul materiale base, sul componente, sui metodi di prova e sulle prestazioni finali.

Requisiti delle proprietà fisiche					
Resistenza all'urto mediante una sfera di grande diametro	EN 438-2 : 21	Diametro della rientranza - $6 \leq t$ mm Altezza di caduta 1,8 m	mm		≤ 10
Resistenza agli urti	ASTM D5420-04	Altezza media del fallimento	ft		1.0466
		Energia media del fallimento	J		11,3
Stabilità dimensionale a temperatura elevata	EN 438-2 : 17	Variazione dimensionale cumulativa	Longitudinale %		$\leq 0,25$
			Travesale %		$\leq 0,25$
Resistenza al bagnato	EN 438-2 : 15	Aumento della massa	%		≤ 3
		Aspetto	Classificazione		≥ 4
	ASTM D2247-02 ASTM D2842-06	Resistenza all'acqua	Classificazione		nessun cambiamento
		Assorbimento di acqua	%		0,5
Modulo di flessione	EN ISO 178	Sollecitazione	MPa		≥ 9000
	ASTM D638-08	Sollecitazione	psi		Curved Elements: ≥ 8000 ≥ 1305000
Resistenza a flessione	EN ISO 178	Sollecitazione	MPa		≥ 120
	ASTM D790-07	Sollecitazione	psi		≥ 17500
Resistenza a trazione	EN ISO 527-2	Sollecitazione	MPa		≥ 70
	ASTM D638-08	Sollecitazione	psi		≥ 10150
Massa volumica	EN ISO 1183	Massa volumica	g/cm ³		$\geq 1,35$
	ASTM D792-08	Massa volumica	g/cm ³		$\geq 1,35$
Resistenza agli elementi di fissaggio	ISO 13894-1	Resistenza allo trazione	N		6 mm: ≥ 2000
					8 mm: ≥ 3000
					≥ 10 mm: ≥ 4000
					0,2362 in: ≥ 2000
					0,3150 in: ≥ 3000
					≥ 0.3937 in: ≥ 4000
Altre proprietà					
Resistenza/Conducibilità termica	EN 12524	Resistenza/Conducibilità termica	W/mK		0,3
Requisiti di resistenza alle intemperie					
Resistenza agli sbalzi climatici	EN 438-2 : 19	Indice di resistenza a flessione (Ds)	Index		$\geq 0,95$
		Indice del modulo flessione (Dm)	Index		$\geq 0,95$
		Aspetto	Classificazione		≥ 4
Resistenza alle intemperie artificiali (Solidità del colore compresa) [☒] Europa occidentale ciclo	EN 438-2 : 29	Contrasto	Classificazione della scala dei grigi ISO 105 A02		4-5 [☒]
		Contrasto	Classificazione della scala dei grigi ISO 105 A03		4-5
		Aspetto	Classificazione		≥ 4
Resistenza alle intemperie artificiali (Solidità del colore compresa) [☒] Florida ciclo 3000 ore	Norma Trespa	Contrasto	Classificazione della scala dei grigi ISO 105 A02		4-5 [☒]
		Contrasto	Classificazione della scala dei grigi ISO 105 A03		4-5
		Aspetto	Classificazione		≥ 4
Resistenza alla SO ₂	DIN 50018	Contrasto	Classificazione della scala dei grigi ISO 105 A02		4-5 [☒]
		Contrasto	Classificazione della scala dei grigi ISO 105 A03		4-5
		Aspetto	Classificazione		≥ 4
Comportamento al fuoco					
Europa					
Reazione al fuoco	EN 438-7	Classificazione $t \geq 6$ mm / 0.2362 in	Euroclasse		B-s2, d0
		Classificazione $t \geq 8$ mm / 0.3150 in (Orditura metallica)	Euroclasse	D-s2, d0	B-s1, d0

Figura 54 Estratto delle schede tecniche di pannello Trespa® (www.trespa.com)

Particolare attenzione viene qui data alla rilettura di una delle schede tecniche, che permette di avere una caratterizzazione accurata delle caratteristiche materiche del componente, peculiarità per gli elementi a base legno.

Le principali applicazioni vedono il componente utilizzato come rivestimento esterno o interno, solitamente con camera d'aria posteriore e telaio di supporto in acciaio.

Questa tipologia di componente si presta ad essere utilizzata anche con decorazioni superficiali che 'negano' l'anima del legno e che lo rende utilizzabile anche per esterni visto che è resistente alla luce ed alle intemperie e rispetta la normativa EN 438:2005, parte 6.

Durabilità

La durabilità del materiale è molto buona e stabile, sia usato in ambienti interni che negli ambienti esterni, assicurando anche la possibilità di pulizia superficiale, un'ottima resistenza all'urto e resistenza superficiale.

E' resistente alla luce solare ed alle intemperie, non si corrode, è antistatico e resistente agli attacchi di muffe ed insetti.

Diverse impregnazioni e caratterizzazioni superficiali permettono che il componente possa essere idoneo anche per ambienti che necessitano bassissime emissioni di formaldeide o particolari requisiti di reazione al fuoco.

Fine vita

Il laminato HPL può essere riciclato come tutti i prodotti a base di legno, rientra nella categoria 17 02 01 legno. Alla fine della vita utile i componenti possono essere riciclati o riusati come prodotti a base legno, oppure possono essere indirizzati verso la valorizzazione energetica.

Strato di isolamento

Lo strato di isolamento termico per gli edifici in legno solitamente viene applicato esternamente allo strato resistente, così da assolvere la doppia funzione di aumentare le prestazioni in termini di efficienza energetica della chiusura e di proteggere il materiale dagli agenti esterni.

Il pannello in legno non ha elevate caratteristiche di conducibilità termica, quindi non risulta essere un ottimo isolante termico se comparato con altri materiali da costruzione.

Sono molti gli isolanti che possono venire applicati e che sono stati riscontrati attraverso il repertorio di soluzioni tipo: le caratteristiche che portano a scegliere un materiale, sicuramente dipendono dalla trasmittanza che si richiede alla soluzione termica, alle caratteristiche legate all'igroscopicità, la permeabilità all'aria ed al vapore e la stabilità dimensionale.

Importante considerare le caratteristiche di densità e inerzia termica della soluzione, per permettere che siano assicurati gli standard minimi di confort anche nella stagione estiva.

Principali materiali utilizzati:

	Origine	Conducibilità termica	Resistenza al vapore	Densità	Reazione al fuoco[22]
		W/mK	μ	Kg/mc	Classe
Fibra di legno	Naturale	0,035-0,040	1,5-2	45-50	E
XPS	Petrochimica	0,030-0,040	80-100	25-45	E
EPS	Petrochimica	0,035-0,040	50-100	15-30	E
Lana di vetro	Minerale	0,030-0,035	1		A1
Lana di roccia	Minerale	0,035-0,040	1	80-100	A1
Lana di canapa	Naturale	0,04	43497	40	E
Fibra di canapa	Naturale	0,035-0,040	43497	30-50	E
Fibra di lino	Naturale	0,038-0,042	43497	50-100	B2
Sughero compresso	Naturale	0,042-0,046	9	150-180	F

Figura 55 Tabella riepilogativa dei materiali utilizzati e delle caratteristiche ricorrenti

Strato di ventilazione

Lo strato di ventilazione delle pareti perimetrali con componentistica in legno assume le stesse caratteristiche degli strati di ventilazione delle altre tecnologie costruttive. Mediamente è posizionate alle spalle dello strato di rivestimento esterno e a contatto con gli strati più interni viene applicata una membrana di protezione dal vento.

La larghezza di questa camera di ventilazione può assumere dimensioni variabili tra i 2 e i 5 cm, dimensionate valutando le implicazioni relative all'effetto camino che innescano nella parete ventilata.

La funzione di questo strato è molteplice: d'estate produce un'azione rinfrescante passiva, d'inverno rappresenta la barriera che divide con gli strati più esterni gli altri strati d'involucro.

Inoltre la camera di ventilazione favorisce la fuoriuscita dei vapori indotti all'interno della stratigrafia di parete, limitando quindi il fenomeno di condensa interstiziale.-

Significative differenze possono ritrovarsi nelle questioni relative alla necessità di mantenere questa camera di ventilazione sgombra da foglie o nidificazioni, per conferire agli strati la giusta permeabilità al vapore e la possibilità ai componenti in legno di avere una certa traspirabilità.

Strato di separazione

Lo strato di separazione dell'involucro solitamente viene affidato a componenti di derivazione legnosa (tipicamente OSB,) o più raramente a finiture superficiali tradizionali (intonaco o rasature in genere), con l'accortezza di utilizzare un materiale con un buon coefficiente di permeabilità al vapore.

Strato di collegamento

Lo strato di collegamento ha la funzione di collegare lo strato di rivestimento (che sia esterno o interno) allo strato resistente. Solitamente i componenti che lo compongono sono articolati mediante sistemi a telaio che possono essere integrati all'interno dello strato isolante, oppure essere applicati sopra lo strato di resistenza all'acqua.

I componenti principalmente utilizzati sono componenti semplici in legno, listelli o doghe tipicamente non trattate. Questo strato è solitamente collegato allo strato resistente mediante viti passanti o agganci più complessi in staffe e angolari metallici.

La specie maggiormente utilizzata per questo strato sono listelli in legno massello di larice o abete, solitamente non trattati.

Lo strato di collegamento può essere raddoppiato in caso di andamento verticale del rivestimento esterno, che rende necessario un primo strato di collegamento un secondo di contro-listellatura per garantire l'effetto camino della soluzione tecnica.

Strato resistente con componenti discreti

Prodotti di legno massiccio

Caratteristiche legate al prodotto

Il legno massiccio strutturale è un prodotto del legno di prima lavorazione (ovvero proviene direttamente dal taglio longitudinale dei tronchi), squadrato, piattato a misura essiccato e ricombinato con altri componenti per raggiungere le dimensioni desiderate. Per questa tipologia di prodotto sono utilizzate solitamente le specie di **abete rosso**, ma ultimamente il mercato si sta espandendo anche verso nuove specie, quali il **larice** e il **pino**. (Studio Deda, 2012).

Meno frequente l'utilizzo di legno di latifoglie, quali quercia, faggio, frassino e robinia.

Tipicamente questi componenti sono utilizzati per la funzione strutturale, in elementi lineari a telaio. L'attuale produzione e filiera dei prodotti in legno permette di avere pochi limiti sulle dimensioni e sulle eventuali curvature, consentendo di comporre elementi più lunghi del singolo tronco (attraverso specifiche procedure di incollaggio).

I giunti, che potrebbero essere il punto di fragilità, sono sempre trattati con incollaggi specifici, che possono differenziarsi nelle dimensioni o nel posizionamento dei nodi rispetto alle sezioni maggiormente sollecitate.

Il progettista può decidere di richiedere particolari prescrizioni nella scelta del materiale per preservare la sicurezza dell'edificio, come speciali verifiche su singole parti o resine idonee per preservare nel tempo le prestazioni.

Essendo un prodotto di prima lavorazione del legno, mantiene superficialmente un aspetto più caratteristico rispetto agli altri componenti ricomposti e viene di solito utilizzato per questa maggiore natura olezza.



Figura 56 Elementi lineari di legno massiccio ("KVVH solid structural timber," n.d.)

Il prodotto finale è accuratamente classificato nella resistenza e flessibilità materica. In caso di zone con presenza di nodi e/o presenza di tasche di resina, queste possono essere velocemente. I componenti vengono poi giuntati con nodi a pettine e colle per raggiungere le dimensioni richieste.

Il materiale una volta prodotto viene naturalmente essiccato e portato alla giusta umidità di lavoro (sotto il 12%). Nel caso sia prevista una vita in opera per interni senza particolare presenza di fonti di umidità permanenti, i componenti possono essere posti in opera senza al pretrattamento.

Durabilità

La durabilità del componente è legata alla specie scelta. Se non sono previste particolari fonti di degrado, gli elementi non hanno problemi legati alla formazione di microorganismi e di attacco dei funghi (purché l'umidità interna del legno non raggiunga livelli superiori al 18%).

Per usi esterni solitamente si usa il trattamento in autoclave con impregnante acrilico.

Fine vita

Il fine vita per questo tipo di componenti può variare. Nel caso di elementi non trattati, possono essere previsti le dismissioni a discarica (seppellimento) oppure la valorizzazione energetica.

Nel caso di elementi trattati e/o non trattati possono essere prese in considerazione strategie di riuso e di riciclo. E' possibile infatti riutilizzare il componente senza alcuna lavorazione nel caso le condizioni di utilizzo ne abbiano permesso una buona durata nel corso del tempo e quindi siano invariate le capacità e le prestazioni fisico meccaniche.

I componenti possono poi essere ulteriormente lavorati, piallati e segati, per eliminare le eventuali zone soggette a degrado. Possono essere riciclati quindi sia come pezzi a sezione originaria, sia ricomposte in lamelle per pannelli o sfibrate per elementi truciolari sempre in legno.

Listelli, tavole, segati

Caratteristiche legate al prodotto

Sono prodotti di prima lavorazione e vengono ricavati dal legno tondo mediante taglio parallelo all'asse, così come il legno massiccio. La differenza principale rispetto ai componenti precedentemente analizzati è l'assenza di giunti a pettine, che pur rappresentando un punto di fragilità del componente, permettono di raggiungere dimensioni maggiori.

Le specie più utilizzate per questo tipo di componenti sono l'**abete rosso**, il **pino**, il **larice** e la **douglasia**.

	Spessore d e altezza h	Larghezza b
Listello	$6 \text{ mm} < d < 40 \text{ mm}$	$b < 80 \text{ mm}$
Tavola	$6 \text{ mm} < d < 40 \text{ mm}$	$b > 80 \text{ mm}$
Tavolone	$d > 40 \text{ mm}$	$b > 3d$
Legname squadrato	$b < h < 3 b$	$b > 40 \text{ mm}$

Figura 57 Tabella con valori limiti di dimensioni secondo la Bozza ON DIN 4074-1:2004

Possono essere lavorati superficialmente con piallatura, levigatura e pretrattamenti varie sono solitamente i componenti base che, ricomposti, possono formare prodotti più complessi.

Tradizionalmente fanno parte di questa categoria anche le travi Uso Fiume ed Uso Trieste, che sono due tipologie particolari di componenti per la costruzione di solaio e tetti.

Per la travatura Uso Fiume le specie più utilizzate sono l'abete rosso ed il larice e il componente è caratterizzato dalla smussatura dei quattro angoli. Questa smussatura rimane parallela lungo l'asse del componente e quindi le dimensioni del componente stesso rimangono costanti lungo tutta la sua lunghezza.

Per le travature ad Uso Trieste le specie principalmente utilizzata è l'abete rosso, il larice, il castagno e la quercia, e i lati smussati non corrono paralleli tra loro, ma stringono la sezione del componente, a simulare la naturale fisionomia del tronco che si rastrema verso l'alto (Andrea Bernasconi, Schickhofer, & Traetta, n.d.)

I vantaggi dell'utilizzo di questi componenti sono quello di avere maggiori valori di resistenza meccanica, visto che mantengono inalterata la fisionomia originale del tronco, oltre ad un certo pregio dal punto di vista estetico.



Figura 58 Solaio con travature “Usò Fiume”; ©Rete Usò Fiume ed Usò Trieste

Solitamente queste lavorazioni delle travi non richiedono pretrattamenti e sono lasciate in opera con le condizioni d’umidità idonee

Durabilità

La durabilità del componente è legata essenzialmente alla specie utilizzata. Tipicamente questi componenti sono lasciati senza trattamenti di impregnazione, più frequentemente vengono invece applicate verniciature superficiali per evitare l’attacco di insetti e muffe.

Fine vita

Per questi componenti è possibile pianificare sia il fine vita di riuso e riciclo (dopo aver verificato che le condizioni dopo la dismissione del componente lo rendano idoneo ad una ulteriore posa in opera).

Il materiale può essere indirizzato verso la valorizzazione energetica se privo di collanti e trattamenti nocivi per la qualità dell’aria e anche essere oggetto di smaltimento in discarica mediante seppellimento per la produzione di bio-gas.

Lamellare incollato

Caratteristiche legate al prodotto

Prodotto a base legno composto da segati sovrapposti, talvolta anche affiancati tra di loro. Ogni tavola mediamente non ha spessore superiore ai 50 mm vengono unite tra loro per formare una sezione ricomposta.

Questo tipo di lavorazione ha permesso, nel corso degli anni, di razionalizzare l'utilizzo della materia prima, riducendo gli sprechi ed avendo prodotti facilmente controllabile dal punto di vista della resistenza e stabilità. Infatti, attraverso il processo di scelta delle lamelle per essere ricomposte nel componente finale, i controlli sul materiale sono più accurati ed è possibile utilizzare i materiali che sono ritenuti meno prestanti in posizioni della sezione resistente meno sollecitate.

Il mercato odierno permette di avere lamellare incollato di dimensioni standard ma di qualsiasi lunghezza, grazie alle modalità di giunzione che collegano i componenti. Attraverso procedure in stabilimento è possibile avere degli elementi curvi, con curvature a richiesta del progettista, oppure richiedere lavorazioni superficiali, fresature e forature, in modo da agevolare l'assemblaggio del componente in cantiere.

Per questi prodotti le principali specie utilizzate sono legno di **conifera, abete rosso, abete bianco, pino e larice**. Su richiesta, possono essere realizzate travi anche con legno di latifolia, come faggio, frassino, quercia, robinia o castagno.

Ovviamente la filiera della produzione di questi componenti con conifere è stabile da anni e lo sfruttamento sul territorio è costante: questo fa sì che i prodotti siano i più economici e spesso i più utilizzati dai progettisti sia per ragioni economica sia per semplificare l'approvvigionamento dei materiali in cantiere.

La possibilità di richiedere forature e fresature sui singoli componenti, permette al progettista, di progettare il cantiere e le fasi di montaggio ed anche di utilizzare una serie di accortezze per agevolare il controllo della corretta posa in opera dei componenti.

Ad esempio, è prassi diffusa tra i costruttori di edifici con tecnologie a base legno, di richiedere delle *'fresature di controllo'* lungo i componenti stessi, che magari siano a margine della superficie di contatto tra due superfici. In fase di controllo lavori in cantiere, diventa quindi facile visionare l'assenza di questa fresatura e quindi il corretto montaggio del componente considerato.

Per quanto riguarda la durabilità in ambienti esterni, ovviamente particolare attenzione va posta agli incollaggi tra le lamelle nella sezione e ai giunti di incollaggio a pettine tra le lamelle lungo l'asse dei componenti (Frattoni, 2015).

La normativa per regolamentare la durabilità dei componenti all'esterno è disciplinata dalla UNI 350:2016²⁷ e quindi segue la classificazione della specie delle lamelle che compongono l'elemento. Sono utilizzati solitamente dei pretrattamenti, delle vernici o dei prodotti impregnanti, che hanno l'obiettivo di migliorare il comportamento del materiale all'azione dei raggi UV e delle acque meteoriche.

Ovviamente tutti questi trattamenti devono essere richiesti e dichiarati dal progettista e nel manuale di manutenzione dell'edificio devono essere indicate, oltre alle specifiche dei materiali da utilizzare, gli attori ed i tempi previsti per la manutenzione delle opere nel tempo.

²⁷ UNI 350:2016 "Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno - Prove e classificazione della durabilità agli agenti biologici del legno e dei materiali a base di legno"



Figura 59 Travi lamellari incollate piana e curva, con la possibilità di fresature e forature sui componenti (“Homepage | Canducci Holz Service,” n.d.)

Questi componenti possono essere trattati in autoclave con miscele di sali preservanti e protettivi, soprattutto per le specie maggiormente resinose e più flessibili, che hanno quindi una maggiore capacità di essere penetrate dal liquido.

Possibili anche trattamenti per termocalore e fisici per implementare le prestazioni fisico chimiche.

Durabilità

La durabilità è legata essenzialmente alle specie utilizzate ed ai pretrattamenti progettati. Questi componenti possono essere utilizzati anche in classe d'uso 3, ovvero negli spazi aperti. In questo caso, oltre alla scelta della specie idonea, si è solito scegliere componenti impregnati in autoclave.

Fine vita

Gli scenari di fine vita sono legati alle colle utilizzate per la produzione del componente, infatti, le colle di origine vegetale senza formaldeide, permettono anche di poter pianificare la dismissione mediante valorizzazione energetica o seppellimento dei componenti.

Può anche essere prevista la separazione delle diverse lamelle, per permettere un riuso di esse, anche se lo 'scollamento' del componente risulta con le tecnologie odierne, molto oneroso dal punto di vista dei tempi, costi e della naturevolezza del materiale.

E' altrettanto possibile produrre tutte le tipologie di fibre per la produzione di nuovi componenti (ad esempio OSB, MDF etc).

Per questo tipo di componenti può essere previsto il riciclo ed il riuso, selezionando le parti di esse che non abbiano subito particolari fenomeni di degrado.

PrimoLam

Caratteristiche legate al prodotto

Grazie alle nuove lavorazioni del materiale e alla riformulazione di alcune tecnologie del passato, sono emersi nuovi componenti che assicurano modalità di fissaggio e assemblaggio degli edifici innovativi.

Il sistema PrimoLam, attraverso i componenti omologhi, utilizza delle travi di legno disposte orizzontalmente, con particolari fresature lungo i bordi che ne permettono il veloce assemblaggio in cantiere ed eventuale fissaggio tramite viti passate.

Questo sistema strutturale è una riformulazione del sistema Blockbau, che vedeva l'utilizzo di travi ad andamento orizzontale incastrate verticalmente l'una sopra l'altra, a formare lo strato resistente.

I vantaggi di questo sistema sono dati dalla leggerezza dei componenti e la facilità di movimentazione, che permette per piccoli cantieri di lavorare molto velocemente e senza l'ausilio di sistemi di sollevamento esterni. Anche per questi componenti, la possibilità di effettuare lavorazioni sui componenti in stabilimento rende la fase di esecuzione molto più veloce e semplice, se correttamente progettata.

Le essenze principalmente utilizzate per utilizzare questi componenti sono abete rosso (su richiesta disponibile anche pino silvestre, larice e douglasia).

Per quanto concerne la durabilità, questi componenti possono essere lasciati non trattati esternamente e possono essere applicati dei componenti dello strato di rivestimento.



Figura 60 Componente PrimoLam ("primolam | weinberger – il meglio del legno," n.d.)

Durabilità

Legata alla specie utilizzata

Nota su colle

Poliuretano, fuga a vista e resistente agli agenti atmosferici N 15425 tipo I

Fine vita

I componenti possono alla fine della vita utile essere riusati per ulteriori applicazioni, li dove l'applicazione nell'intervento sia stata meccanica e non mediante incollaggi. Nel caso di incollaggi tra le parti va prevista la piallatura delle facce di incollaggio per riportare il legno in superficie e vederne lo stato di conservazione.

In caso di fissaggi meccanici va considerata l'influenza dei fori presenti sui componenti e la percentuale rispetto al volume considerato.

I componenti possono essere riciclati come singole lamelle, come componenti già assemblati, oppure ricomposto in particelle o scaglie per permetterne l'utilizzo in materiali composti.

Strato resistente con componenti continui

Pannelli Xlam

Caratteristiche legate al prodotto

I pannelli a compensato di tavole Xlam, sono componenti che possono essere utilizzati come elementi di parete o di solaio. Sono realizzati mediante l'incollaggio di tavole sovrapposte, ad andamento incrociato, conferendo al prodotto un comportamento più omogeneo alle sollecitazioni rispetto agli elementi realizzati in semplice lamellare e caratterizzando il pannello con buone caratteristiche meccaniche.

La classificazione della resistenza avviene mediante la classificazione di resistenza delle singole lamelle che lo compongono e quindi sono sufficientemente affidabili nei valori.

La 'griglia' tridimensionale di tavole che forma un pannello X-Lam è tale da diluire fortemente l'influenza dei difetti del legno che affliggono le singole tavole, al punto che è lecito immaginare che anche con tavole piene di nodi o altri difetti (quindi singolarmente non idonee per l'uso strutturale) sarebbe ancora possibile ottenere pannelli X-Lam di buone caratteristiche, anche in considerazione del fatto che solitamente gli spessori minimi del pannello non sono mai inferiori ai 57 mm per ragioni tecniche economiche e costruttive.

L'effetto di dispersione e di perdita di influenza dei difetti del legno cresce passando dall'elemento unidimensionale (ad es. lamella di legno massiccio ricavata giuntando di testa alcune tavole) a quello bidimensionale (ad es. trave di legno lamellare incollato) e infine all'elemento tridimensionale (ad es. pannello X-Lam). Corrispondentemente, diminuisce la correlazione fra qualità delle tavole di partenza e qualità del prodotto finale.

I pannelli in Xlam hanno segnato la ripresa dell'utilizzo del materiale in edilizia, permettendo di utilizzare il legno anche per edifici multipiano.

Questi componenti hanno buona resistenza al fuoco e alla diffusione del vapore, una discreta resistenza acustica, ottime caratteristiche di durabilità dei confronti di funghi e marcescenze, una buona stabilità dimensionale. C'è inoltre la possibilità di effettuare lavorazioni superficiali e di richiedere il pannello con qualità superiori per gli strati esterni quindi con la possibilità di rimanere senza rivestimento (tipicamente dal lato interno agli ambienti).

I pannelli sono facilmente lavorabili in stabilimento e consentono di poter effettuare una progettazione di dettaglio di ogni fresatura, rendendo il cantiere un luogo solo di 'montaggio' dei componenti.

■ CARICO SUI PANNELLI *LOAD ON THE BOARDS*

RESISTENZA MECCANICA <i>Mechanic resistance</i>	PROCEDURA DI PROVA <i>Test procedure</i>	VALORE <i>Value</i>
MODULO DI ELASTICITÀ <i>flexibility form</i> parallelo rispetto alla direzione delle fibre $E_{0,mean}$ <i>parallel to the direction of the fibers $E_{0,mean}$</i> verticale rispetto alla direzione delle fibre $E_{90,mean}$ <i>vertical to the direction of the fibers $E_{90,mean}$</i>	Leff, Allegato 3 EAD 130005-00-0304, 2,2,1,1 EN 338	11600 MPa 370 MPa
MODULO DI SCORRIMENTO <i>sliding form</i> parallelo rispetto alla direzione delle fibre $G_{090mean}$ <i>parallel to the direction of the fibers $G_{090mean}$</i> verticale rispetto alla direzione delle fibre $G_{R,9090mean}$ <i>vertical to the direction of the fibers $G_{R,9090mean}$</i>	EN 338 EAD 130005-00-0304, 2,2,1,1	690 MPa 50 MPa
RESISTENZA ALLA FLESSIONE <i>resistance to flexing</i> parallela rispetto alla direzione delle fibre $f_{m,k}$ <i>parallel to the direction of the fibers $f_{m,k}$</i>	Weff, Allegato 3, EAD 130005-00-0304, 2,2,1,1	26 MPa
RESISTENZA ALLA TRAZIONE <i>resistance to traction</i> verticale sulla direzione delle fibre $f_{t,90,k}$ <i>Vertical to the direction of the fibers $f_{t,90,k}$</i>	EN 338	0,12 MPa
RESISTENZA ALLA PRESSIONE <i>resistance to pressure</i> verticale sulla direzione delle fibre $f_{c,90,k}$ <i>vertical to the direction of the fibers $f_{c,90,k}$</i>	EN 338	2,5 MPa
RESISTENZA AL TAGLIO <i>resistance to cut</i> parallela rispetto alla direzione delle fibre $f_{v,090,k}$ <i>parallel to the direction of the fibers $f_{v,090,k}$</i> verticale rispetto alla direzione delle fibre $f_{v,9090,k}$ <i>vertical to the direction of the fibers $f_{v,9090,k}$</i>	EN 338 Agross, Allegato 3 EAD 130005-00-0304, 2,2,1,3	4 MPa 1,25 MPa
<h2>■ CARICO SU LASTRE <i>LOAD ON PLATES</i></h2>		
MODULO DI ELASTICITÀ <i>flexibility form</i> parallelo rispetto alla direzione delle fibre $E_{0,mean}$ <i>parallel to the direction of the fibers $E_{0,mean}$</i>	Anet, Inet, Allegato 3 EAD 130005-00-0304, 2,2,1,1	11600 MPa
MODULO DI SCORRIMENTO <i>sliding form</i> parallelo rispetto alla direzione delle fibre $G_{090mean}$ <i>parallel to the direction of the fibers $G_{090mean}$</i>	Anet, Allegato 3 EAD 130005-00-0304, 2,2,1,3	450 MPa
RESISTENZA ALLA FLESSIONE <i>resistance to flexing</i> parallela rispetto alla direzione delle fibre $f_{m,k}$ <i>parallel to the direction of the fibers $f_{m,k}$</i>	Wnet, Allegato 3, EAD 130005-00-0304, 2,2,1,1	24 MPa
RESISTENZA ALLA TRAZIONE <i>resistance to traction</i> parallela sulla direzione delle fibre $f_{t,0,k}$ <i>parallel to the direction of the fibers $f_{t,0,k}$</i>	EN 338	14 MPa
RESISTENZA ALLA PRESSIONE <i>resistance to pressure</i> parallela sulla direzione delle fibre $f_{c,0,k}$ <i>parallel to the direction of the fibers $f_{c,0,k}$</i>	EN 338	21 MPa
RESISTENZA AL TAGLIO <i>resistance to cut</i> parallela rispetto alla direzione delle fibre $f_{v,090,k}$ <i>parallel to the direction of the fibers $f_{v,090,k}$</i>	Anet, Allegato 3 EAD 130005-00-0304, 2,2,1,3	4 MPa

Figura 61 Scheda tecnica relativa ai valori di resistenza dei pannelli (<http://www.artusolegnami.it>)

CROSS LAMINATED TIMBER

Scheda prodotto

PRODOTTO	Pannello in legno massello di grande formato composto da lamelle incrociate a 90° e incollate
DENOMINAZIONE PRODOTTO/MARCHIO	CLT Cross Laminated Timber
IMPIEGO	Elementi costruttivi civili, industriali e commerciali
RESISTENZA	Classe d'uso 1 e 2 secondo la norma EN 1995-1-1
TIPOLOGIE DI LEGNO	Abete s10
STRUTTURA PANNELLI	A 3,4,5,7,9 strati
LAMELLE	Spessore da 17 mm a 40 mm, essiccate tecnicamente classificate in base alla qualità e giuntate punta a punta con finger joint
CLASSE DI RESISTENZA	100% C24 secondo la norma EN 338 in accordo con la ETA 10/0339 del 27/04/2015
INCOLLAGGIO	Colla poliuretanica senza formaldeide, secondo la norma EN 301 per componenti costruttivi portanti e non portanti, per interni ed esterni
PRESSIONE DI INCOLLAGGIO	Pressione di giunzione finger joint 8 N/mm ² costante per 2sec, pressione incollaggio del pannello 1N/mm ² (circa 10kg/cm ²)
UMIDITÀ DEL LEGNO	Da 8 a 13% al momento della lavorazione ma con un massimo del 5% tra i vari elementi conforme EN 13183-2
FORMATO MASSIMO	Lunghezza 10 mt/larghezza 2.98 mt
SUPERFICI E QUALITÀ	Non a vista / A vista industriale
DEFORMAZIONE	Sul piano del pannello del -0.01% per % di variazione dell'umidità del legno. Trasversalmente al piano del pannello (nella direzione dello spessore) dello -0.20% per % di variazione dell'umidità del legno.
CONDUTTIVITÀ TERMICA	$\lambda = 0.13 \text{ W/(m}\cdot\text{k)}$ secondo la norma EN ISO 10456
CAPACITÀ TERMICA	$C_p = 1600 \text{ J (kg}\cdot\text{k)}$ secondo la norma EN ISO 10456
RESISTENZA ALLA DIFFUSIONE	$\mu =$ da 50 a 20 secondo la norma EN ISO 10456
RESISTENZA AL FUOCO	Velocità di 0.6 mm / min nel caso di combustione del solo strato esterno o di 0.76 mm / min nel caso di più strati conforme alla EN 1995-1-2
TENUTA ALL'ARIA PERMEABILITÀ ALL'ARIA	Classe 4 conforme alla EN 12114
TEST ACUSTICO	Su pannello da 96 mm a 3 strati abbattimento 31 dB
TEST ACUSTICO	Su pannello da 160 mm a 5 strati abbattimento 37 dB conforme alla EN 12354-1

Figura 62 Scheda informativa con le caratteristiche di un pannello Xlam (<http://www.artusolegnami.it>)

Il controllo nella produzione di questi pannelli è molto stringente ed è frutto dell'alta ingegnerizzazione del ciclo di produzione. Ogni tavola componente il pannello viene selezionata e classificata, attraverso metodi che utilizzano scansioni e RX, o a vista degli addetti. La specie di provenienza è un primo fattore di controllo fondamentale per quanto riguarda la resa estetica finale del pannello e per quanto riguarda la qualità del materiale. Importanti criteri di selezione riguardano anche la provenienza, visto che alcuni

paesi hanno standardizzato la produzione, l'estrazione e la selvicoltura quindi assicurano maggiori garanzie sia dal punto di vista della qualità del materiale sia dell'effettiva sostenibilità del sistema. Ovviamente anche la normativa ha dettato diverse modalità di classificazione della qualità del prodotto, contenute principalmente nelle normative:

UNI EN 13017-1:2001 Controllo della qualità delle superfici delle facce esterne : conifere

UNI EN 13017-2:2001 Controllo della qualità delle superfici delle facce esterne : latifoglie

Differenziate a seconda delle essenze, queste normative considerano tutti gli aspetti relativi al materiale di partenza (ovvero la singola tavola di legno massello) e le caratteristiche del prodotto, finalizzandole alla classificazione dello stesso in una determinata categoria di qualità (Classe A, B, C).

Alcuni dei criteri di classificazione riguardano la mescolanza delle specie presenti, l'aspetto ed il colore delle tavole, la tessitura, i nodi, la presenza di tasche di resina, la presenza di fessurazioni, i giunti tra le lamelle, lo spessore della linea di incollaggio e così via.

La conoscenza del progettista di queste caratteristiche diventa importante per la scelta del componente adeguato da scegliere: infatti, se da un lato il processo edilizio con tecnologie in legno vede la collaborazione di diversi attori, alcuni dei quali specialisti di competenze prettamente agro-bio-forestali, la competenza del professionista deve riuscire a discernere quale siano i requisiti da controllare e validare per la scelta del prodotto adeguato e maggiormente rispondente alle caratteristiche del progetto.

Qualità' della Superficie dei Pannelli X-LAM Secondo la norma EN 13017-1			
CARATTERISTICHE	CLASSE di ASPETTO		
	A	B	C
Incollaggio	Nessun giunto di colla aperto	Giunti aperti: ≤ 100 mm/1 m giunto di colla tollerato	
Combinazione di vari tipi di legno	Non ammessa	Non ammessa; per l'abete rosso è tollerato il 10 % di abete bianco	Ammessa
Aspetto e colore	Colore e struttura ben equilibrati		Nessun requisito
Nodi	Negli abeti rossi sono tollerati nodi sani e aderenti fino a 40 mm di diametro, tollerati sporadici nodi neri	Tollerati nodi sani e aderenti, nonché sporadici nodi neri	Ammessa
Tasselli	Sono ammessi tasselli di nodi naturali	Ammessa	Ammessa
Sacche di resina	Sono ammesse sporadiche sacche di resina fino a 3 mm x 40 mm	Sono ammesse sporadiche sacche di resina fino a 5 mm x 50 mm	Ammessa
Riparazioni di sacche di resina	Ammessa	Ammessa	Ammessa
Sacche di corteccia	Non ammessa	Sporadicamente tollerate	Ammessa
Fessure	Ammesse sporadiche fessure superficiali	Ammesse sporadiche fessure superficiali e punti di rottura sulla testata fino a 50 mm di lunghezza	Ammessa
Midollo	Sporadicamente tollerato fino a 400 mm di lunghezza	Ammessa	Ammessa
Legno di compressione	Sporadicamente tollerato	Ammessa	Ammessa
Infestazione da insetti	Non ammessa	Non ammessa	Sporadicamente ammessi piccoli fori di larve inattive
Variazioni cromatiche	Non ammessa	Ammesse leggere variazioni cromatiche	Ammessa
Carie	Non ammessa	Non ammessa	Non ammessa
Alburno	Ammessa per il pino silvestre; per il larice sono tollerate sottili strisce fino al 20 % di larghezza delle lamelle	Ammessa	Ammessa
Qualità della lavorazione superficiale	Sporadicamente tollerati piccoli difetti	Difetti sporadicamente tollerati	Nessun requisito
Qualità sul lato corto e le estremità frontali	Sporadicamente tollerati piccoli difetti	Difetti sporadicamente tollerati	Nessun requisito
Ampiezza delle lamelle	min. 60 mm (non valido per le lamelle sui bordi)	Nessun requisito	Nessun requisito
Taglio delle lamelle	Parallelo	Parallelo	Parallelo o conico

Figura 63 Estratto della norma UNI EN 13017-1:2001 Controllo della qualità delle superfici delle facce esterne : conifere

I trattamenti che possono essere utilizzati sono trattamenti di impregnazione, tipicamente per componenti che saranno esposti agli agenti atmosferici senza altri elementi di protezione, pratica solitamente sconsigliata in fase di progettazione.

Reazione al fuoco

In conformità alla decisione della Commissione Europea del 09.08.2005 2005/610/EC ed EN 13501

- Elementi costruttivi in legno eccetto pavimento: classe D-s2, d0
- Pavimenti: classe Dfl-s 1
- $\beta_0 = 0,70\text{mm/min}$

Nota su eventuali colle

Ovviamente la modalità di incollaggio degli strati e delle lamelle assume importanti ricadute sia dal punto di vista della tossicità in opera, sia anche dal punto di vista della previsione del fine vita del componente. Gli adesivi ammessi per l'incollaggio e la formazione dei pannelli sono di due tipo, ureici melaminici o poliuretanici.

I primi hanno una velocità di incollaggio maggiore quindi consentono una maggiore rapidità di produzione degli impianti, richiedendo meno tempo di pressatura per consentire la perfetta adesione degli strati.

Questo tipo di incollaggi rilasciano formaldeide e ftalati nel corso del tempo, sostanze considerate cancerogene ed irritanti nel caso superino una certa percentuale di presenza nell'ambiente. L'attenzione maggiore che si sta effettuando sulla qualità dei materiali ha portato ad un utilizzo sempre più consapevole di questo tipo di collanti, con composizione e presenza della formaldeide sempre minore all'interno dell'impasto.

Gli adesivi poliuretanici hanno tempo di incollaggio decisamente maggiore quindi impongono all'azienda produttrice una produzione più lenta del singolo componente, che ha inevitabili ricadute anche sul prezzo dello stesso.

Vi sono infine alcuni produttori che ultimamente hanno lanciato prodotti che non utilizzano le colle per il fissaggio delle tavole, ma si affidano ad incastrati o a fissaggi meccanici, che possono essere sempre in legno o in altro materiale.



Figura 64 Due diversi pannelli Xlam senza colle: a sinistra un pannello con lamelle rese solidali mediante graffatura di spille in alluminio, a destra mediante chiodi in faggio.

PRODUTTORE	ETA	ESSENZA AMMESSA	QUALITA' DEL TAVOLAME	ADESIVO	
Xlam dolomiti	12/0347	Solo abete Rosso Europeo	Strati esterni	100% C24	Poliuretano
			Strati interni	40% C18	
KLH	06/0138	Abete Rosso Europeo o Conifera	Tutti gli strati	90% C24 10% C16	Poliuretano
HASSLACHER	12/0281	EGL	Strati esterni	100% C24	Ureica Melaminica
			Strati interni	30% C16	
ESSEPI	12/0362	Conifera	Tutti gli strati	100% C24	Poliuretano
BINDERHOLZ	06/0009	Abete Rosso Europeo o Conifera	Strati esterni	Da C16 a C35 percentuale non identificata	Ureica Poliuretano
			Strati interni	10% C16	
MOSER	07/0338	Legno Essiccato	Strati esterni	100% C24	Poliuretano
			Strati interni	15% C16	
STORA	08/0271	Legno di conifera (abete rosso, abete bianco, pino silvestre)	Tutti gli strati	90% C24 10% C16	Poliuretano
LENO MERK	10/0241	Legno resinoso	Tutti gli strati	90% C24 10% C16	Poliuretano
COSTANTINI	12/0318	Softwood	Tutti gli strati	C24 C30	Melaminico ureico senza formaldeide (MUF)
NOVATOP	12/0079	Legno essiccato	Strati esterni	C24	Melaminico o Poliuretano
			Strati interni	C16 o C24	

Figura 65 Tabella riassuntiva di alcune caratteristiche dei pannelli Xlam di diversi produttori (Merotto, 2016)

Fine vita

I pannelli in Xlam consentono di essere riutilizzati per utilizzi strutturali. Sono diversi i progetti di ricerca che hanno visto il riuso dopo lo smontaggio da una prima posa in opera. Un primo esempio che può essere considerato è quello dei pannelli utilizzati per la costruzione dell'edificio sottoposto ai test sismici dal centro di ricerca IVALSA di Trento (Briani, Simeone, & Ceccotti, 2012).



Figura 66 Modulo abitativo MAI, Ivalsa (Briani et al., 2012)

Il progetto di ricerca prevedeva la prototipazione di un modulo abitativo minimo nell'ambito dell'utilizzo innovativo dei pannelli in Xlam ed è stato il primo di molti progetti che hanno visto il riuso dei pannelli senza alcun nuovo trattamento o lavorazione. I pannelli infatti, una volta smontati dalla precedente configurazione, dal punto di vista tecnologico non avevano subito avarie degne di nota, nonostante le onerose prove sismiche subite. Ovviamente, particolare cura è stata tenuta nelle zone degli ancoraggi, che devono essere ricalcolate in fase di nuova struttura.

La discriminante fondamentale dell'eventuale riutilizzo del materiale è l'umidità interna del componente in opera e nel momento di stoccaggio nel magazzino. Infatti, se essa non supera mai il 12%, il pannello ha maggiori garanzie di mantenere le proprie caratteristiche fisico-chimiche e quindi meccanico-prestazionali.

Per quanto riguarda ulteriori scenari di fine vita, i pannelli Xlam possono ovviamente essere destinati a valorizzazione energetica, soprattutto se privi di formaldeide.

Kerto

Caratteristiche legate al prodotto

Il Kerto è un nuovo tipo di sfogliato di legno della famiglia dei laminated veneer lumber (**LVL**), anche detto micro lamellare, per la sua peculiarità di avere strati di sfogliato di legno a fibratura incrociata, che lo rende simmetrica ai carichi nelle due direzioni di piano e quindi un ottimo prodotto anche per applicazioni strutturali (Villani in Ferrante, 2008).

L'alta presenza di colle comporta ottimi valori medi di resistenza meccanica, che rende il prodotto applicabile sia come componente strutturali, che come sistema di rivestimento, o di protezione di particolari nodi strutturali.

Il Kerto è un prodotto estremamente resistente e stabile e le tavole non sono soggette a svergolamento o distorsioni (Ferrante, 2010)

Le specie principali di produzione di questi componenti sono l'abete ed il pino. La durabilità dei componenti esposti agli agenti esterni è molto buona, grazie alle colle presenti nel componente che effettuano anche una funzione di protezione sui singoli sfogliati che compongono la sezione.

Molti progettisti e produttori hanno sollevato perplessità rispetto gli aspetti legati alla sostenibilità ambientale del materiale, che può diventare dannoso, sebbene ci sia un vasto campo di ricerca che abbia valutato positivo l'impatto del materiale sul ciclo di vita utile dei materiali dell'edificio.



Figura 67 Pannelli di Kerto sovrapposti

Il Kerto può subire diversi pretrattamenti che ne migliorano le caratteristiche prestazionali nel tempo. Vi sono protettivi che, applicati sul componente, respingono l'acqua e proteggono dall'esposizione meteorologica durante la costruzione, riducendo gonfiori locali delle tavole e altri effetti indesiderati legati alle variazioni di umidità. Questi trattamenti possono avere carattere provvisorio e richiedono continui cicli di manutenzione della sostanza che a cicli regolari deve essere nuovamente passata sul prodotto. Vi sono poi trattamenti anti muffa, che riducono eventuali problemi di attacchi patogeni e di funzioni dall'azzurramento.

Vi sono poi particolari vernici per permettono di ritardare l'effetto combustibile, rendendo il materiale molto più performante dal punto di vista dell'antincendio. Vi sono trattamenti a base di Pigmenti colorati o assorbenti UV che impediscono l'ingrigimento della superficie del legno, che vanno a rivestire non solo la base del pannello ma anche l'anima trasversale evitando eventuali fenomeni di imbibizione e risalita d'acqua capillare.

Tutti questi rivestimenti superficiali di solito non sono permanenti e pertanto richiedono una manutenzione o una sostituzione regolare.

il tempo. Ulteriori informazioni sono fornite nelle schede tecniche dei produttori di rivestimenti.

Il compito più importante del sistema di rivestimento è proteggere il legno dall'umidità. Le strutture devono essere progettate in modo tale da non essere esposte a un ambiente a umidità elevata a lungo termine. I prodotti e le strutture di Kerto resistono a un'esposizione temporanea agli elementi senza decadimento, a condizione che siano lasciati asciugare successivamente. L'esposizione a lungo termine aumenta il rischio di muffa.

Durabilità

Il prodotto non deve essere utilizzato nella classe di servizio 3 senza ulteriore trattamento protettivo. Il progettista dovrebbe prestare attenzione ai dettagli della costruzione e assicurarsi che non si formino sacche d'acqua. La durabilità naturale dei prodotti Kerto è di grado 4 (durata limitata) secondo la norma EN 350-2 (scala da 1 molto resistente a 5 non durevole). Il legno di superficie di tutto il legname nordico è classificato in classe 4 o 5.

Fine vita

Il componente rientra nella categoria 170201 Legno, nella classificazione dei rifiuti da costruzione. Solitamente nelle specifiche del produttore esistono anche le possibilità relative alla messa in discarica. Infatti, è riportato come sia possibile bruciare questi componenti con attenzione alla temperatura di combustione in relazione alle resine e agli agenti utilizzati.

I prodotti possono essere ovviamente anche riciclati e riusati alla fine della vita utile, oppure portati in discarica per essere oggetto di seppellimento, sebbene la degradazione del materiale sia molto lenta nel tempo. E' possibile anche effettuare la scheggiatura o la fibratura dei pannelli per permetterne l'aggregazione in nuovi composti (ad esempio OSB o MDF).

Osب

Caratteristiche legate al prodotto

I pannelli OSB (Oriented Strand Board) sono componenti formati da scaglie orientate di legno. Essi sono prodotti attraverso la ricomposizione di scaglie di legno, prodotte con materiali di scarto, che vengono orientate con getti di aria calda e poi resinate con procedimento di incollaggio a caldo (Ferrante, 2012)



Figura 68 Pannelli osb di diversi spessori.

Questo prodotto essendo costituito dalla ricomposizione di scaglie di legno attraverso procedimenti meccanizzati che non controllano la quantità di materiale (Ferrante, 2014), presenta una struttura piuttosto discontinua, presentando zone con percentuale maggiore di scaglie e zone invece con densità minore e quindi penalizzate dal punto di vista della resistenza a flessione e trazione. Questo tipo di prodotto viene usato tipicamente come controventatura, o come strato di separazione tra lo strato resistente e gli altri strati funzionali della soluzione tecnica considerata. Permette di raggiungere una maggiore rapidità di posa, un costo ridotto a discapito dell'impatto ambientale. Infatti, il prodotto è reso omogeneo con una resina sintetica che ne costituisce una buona percentuale di materiale, rendendolo molto complesso da gestire nella fase di smaltimento, dove non sarà più possibile separare la resina dalla matrice legnosa.

Le specie legnose principalmente utilizzate per questi componenti sono le conifere, in particolare abete e pino, che hanno caratteristiche di resistenza adeguate.

Le caratteristiche legate agli incollaggi, alle resistenze ed alla durabilità sono regolamentate dalla UNI EN 300:2006, che ne differenziano l'uso.

Viene utilizzato soprattutto per gli interni, visto che la durabilità in ambiente outdoor è vincolata all'eventuale rigonfiamento delle cellule, che lo rendono un materiale vulnerabile alle variazioni di umidità, con conseguenti perdite di planarità.

Può essere verniciato superiormente con l'applicazione della specifica rete porta intonaco anti-alcalina in fibra di vetro.

E' possibile richiedere trattamenti superficiali protettivi agli attacchi di funghi e agli agenti UV.

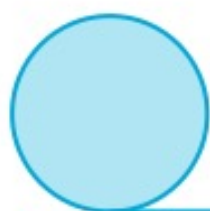
Durabilità

In classe di rischio 2 (elementi posti all'esterno ma protetti dal contatto con l'acqua) i componenti sono a forte rischio di degrado da funghi e insetti, oltre che ai danni arrecati dall'umidità. E' consigliabile quindi prevedere idonee misure progettuali per agevolare il deflusso delle acque.

Fine vita

Nella composizione dei pannelli OSB ci sono resine fenoliche termoindurenti che durante la vita utile difficilmente possono sublimare (passaggio da solido a gas), meccanismo invece da non escludere in caso di valorizzazione energetica, che rimane sconsigliata per il materiale.

Da privilegiare le possibilità di riuso e riciclo



CAPITOLO 2
DURABILITA' E FENOMENI DI
DEGRADO RICORRENTI

2.1 Principali fenomeni di degrado per elementi in legno non trattato

Come già detto la materia legno, è più facilmente soggetta a fenomeni di degrado se non adeguatamente protetta e progettata nel dettaglio delle soluzioni.

Quando il legno è esposto all'esterno, non a contatto con il terreno, si osserva un decadimento dovuto a una complessa combinazione di fattori di tipo chimico, fisico e meccanico che viene definito in inglese *weathering*. In italiano non esiste un termine che sia altrettanto sintetico a riguardo e solitamente si intende il degrado provocato dai cicli asciutto-bagnato, caldo-freddo, ai quali sono soggetti i componenti esterni di facciata.

I fattori che causano questo tipo di alterazione sono in ordine d'importanza l'umidità, la luce solare, variazioni di temperatura, le aggressioni da parte di sostanze chimiche (dovute all'inquinamento atmosferico), l'abrasione da particolato trasportato dal vento e l'azione concomitante di agenti biologici quali muffe e funghi cromogeni, che sono agenti che non causano una diminuzione delle caratteristiche meccaniche del legno ma che determinano modificazioni superficiali di colorazione (Regione Toscana, Facoltà di Ingegneria di Firenze - Dipartimento Ingegneria Civile e Ambientale, & C.N.R. Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree (CNR-IVALSA), 2009).

In particolare, gli agenti che possono avere effetti sui componenti di involucro a base legnosa sono legati soprattutto ai fenomeni naturali che insistono su qualsiasi costruzione in opera.

A causa delle radiazioni UV agenti direttamente sull'involucro e delle escursioni di temperatura molto forti, quando non sono previste misure di schermatura degli involucri, l'eccessiva esposizione solare può portare ad un ingiallimento-imbrunimento del materiale, oppure ad un ingrigimento, a un possibile attacco da parte di funghi patogeni (per indebolimento della patina esterna, protettiva del componente ligneo), o a un possibile aumento della capacità di assorbimento superficiale.



Figura 69 Fenomeno di ingrigimento superficiale, scandole esterne della chiesa di Eidsborg, Norvegia. Progettazione del XIII secolo (Palanti, 2013)

Dopo un'esposizione prolungata, potrebbero formarsi fessure e incrinature lungo i componenti, oppure lungo i rivestimenti protettivi degli stessi, che a loro volta diventano ricettacolo per la formazione di nuovi batteri e quindi di marcescenze del materiale.

Il vento potrebbe invece alterare la patina protettiva dei componenti esterni, creando, in casi limite, problematiche di ermeticità dell'involucro e quindi dispersioni dal punto di vista energetico (Boeri, Longo, & Piraccini, 2012).

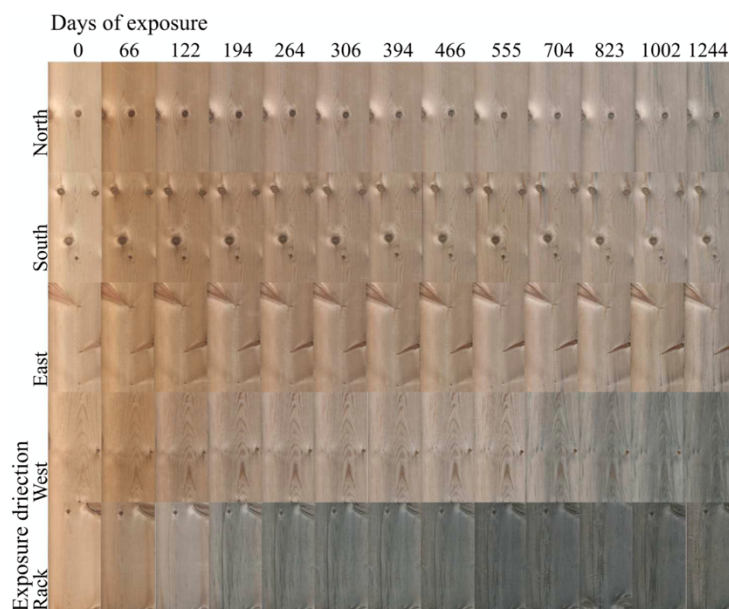


Figura 70 Durame di pino, trasformazioni cromatiche col passare dei giorni (in alto) e dell'esposizione (a sinistra). Fonte: (Rüther & Time, 2015)

Il contatto diretto con le acque meteoriche potrebbe causare invece il *dilavamento* delle sostanze contenute nel legno e quindi di perdita parziale delle prestazioni meccaniche. Inoltre, lo stesso assorbimento di acqua potrebbe anche provocare *alterazioni cromatiche* disomogenee lungo le facciate considerate, oltre che problematiche relative all'accumulo di acqua su alcuni componenti e quindi la formazione di condense e funghi.

Sempre l'azione concordata di questi fenomeni (in particolare acqua e vento) può causare fenomeni di *azzurramento* e *dilavamento* degli elementi di metallo di facciata sul legno.

In particolar modo si potrebbero riscontrare accumulo di condensa superficiale e brina lungo i punti di contatto dei due materiali, rischiando corrosione degli elementi metallici e la marcescenza o la variazione cromatica dei componenti lignei,

La norma che armonizza i componenti di legno è la UNI EN 14915:2017²⁸e specifica le caratteristiche pertinenti e i metodi di prova appropriati per determinare le caratteristiche per i prodotti di legno, relativa ai rivestimenti interni ed esterni di pareti e ai controsoffitti.

Le variazioni del materiale possono palesarsi attraverso la manifestazione di fenomeni qualitativamente molto diversi tra loro, che devono essere analizzati distintamente per permettere le idonee contromisure, che coinvolgano il singolo componente o la soluzione tecnica globale.

Variabilità naturale del colore del legno.

Il legno è un materiale 'vivo' che varia le sue tonalità cromatiche non solo 'invecchiando', ma anche in relazione all'esposizione e all'orientamento della facciata considerata. Questo comportamento perfettamente naturale e prevedibile dei componenti a base legno non prefigura nessun problema dal punto di vista prestazionale della parete perimetrale verticale. La variabilità del materiale, come già detto, è legata alle caratteristiche naturali e ovviamente dei pretrattamenti adeguati possono variare questo comportamento nel tempo, a costo di cicli di ispezione e manutenzione costanti nel tempo.

²⁸ UNI EN 14915:2017 "Rivestimenti interni ed esterni di pareti con elementi di legno massiccio - Caratteristiche, requisiti e marcatura"

Le problematiche emerse, anche dal confronto con tecnici, risiedono nell'assenza di comunicazione di questa caratteristica agli utenti finali, che spesso si aspettano che l'immagine del proprio edificio rimanga inalterata nel tempo.

In particolare, gli involucri con componenti non trattati non richiedono particolari oneri di manutenzione, se non cicli di ispezione non specialistici (utente), ogni 5 anni per i componenti esterni, mentre più approfonditi con tecnici a lungo andare (tecnologo del legno, progettista) ogni 10-15 anni.

Nel caso di componenti non trattati, la misura più utilizzata di risoluzione del guasto risiede nella sostituzione del componente stesso. Di fondamentale importanza diventa quindi il modello funzionale della parete, che può agevolare o limitare il requisito legato alla manutenzione, oltre che la morfologia del componente stesso e le modalità di fissaggio previste (ad esempio viti passanti, agganci posteriori a scomparsa...)



Figura 71 Casa Kostner, foto di cantiere (fornita da Modus Archiect©)



Figura 72 Kostner house, foto del sopralluogo effettuato

Variazione di colore per azione della luce

I componenti a base lignea reagiscono ai raggi Uv anche dopo esser stati sottoposti a pretrattamenti specifici per limitarne le variazioni specifiche. I cicli di protezione dai raggi Uv dovrebbero essere ciclici e costanti nel corso della vita dell'opera e dovrebbero permettere un comportamento omogeneo del componente utilizzato, per evitare fenomeni concentrati di variazione cromatica e di obsolescenza.

Come appare in foto, la trave di coronamento del vano scale presenta una variazione cromatica significativa. Questo deriva alle diverse condizioni di protezione cui essa è soggetta: nella parte superiore è presente una pensilina che garantisce un filtro rispetto ai raggi UV, nella parte inferiore invece questa protezione è assente.

Questo punto di fragilità non desta particolari preoccupazioni dal punto di vista dell'affidabilità statico-meccanica del componente, ma ne rappresenta una possibile fragilità dal punto di vista gestionale. Deve essere previsto un ciclo definito di ispezione e di manutenzione del sistema ed eventualmente del trattamento protettivo adottato per evitare che dal fenomeno estetico derivino problematiche più importanti.



Figura 73 Le albere, Trento. Foto di dettaglio della trave di coronamento in legno lamellare.



Figura 74 (sinistra) Casa PF. Listelli di larice sotto l'aggetto esterno, protetti, seppure parzialmente, dagli agenti atmosferici esterni



Figura 75 (destra) Casa PF. Listelli di larice esterni, non protetti dagli agenti atmosferici

Macchie dovute a contatto con metalli.

Un'altra possibile causa di alterazione del colore è dovuta alla presenza nel legno di sostanze chimiche che reagiscono, in presenza di umidità con i materiali ferrosi dando origine a macchie e aloni nerastri di effetto estetico estremamente sgradevole. Sebbene l'effetto sia molto più marcato per certe specie

legnose assai ricche di tannini (ad es. Rovere), in generale è raccomandabile evitare di mettere a diretto contatto il legno con elementi di acciaio non adeguatamente protetti in tutti quei casi in cui è prevedibile la presenza di umidità o addirittura di acqua allo stato liquido.

Punti critici sono tipicamente le zone di ancoraggio al legno di piastre di acciaio, le rosette utilizzate nelle unioni con bulloni, le teste di chiodi, viti e cambrette non sufficientemente affondati nel legno e non protetti da tasselli, le zone di appoggio dei rivestimenti di facciata con tavole su scossaline di lamiera, i gocciolatoi non buttati sufficientemente in aggetto rispetto agli elementi di facciata sottostante cc.

Attacchi di funghi cromogeni (azzurramento)

L'alburno delle conifere e di alcune latifoglie, in presenza di umidità elevata, possono colorarsi di una tonalità bruno-azzurra a causa del proliferare di funghi all'interno dei tessuti. Il danno è in questo caso soltanto estetico e la contromisura più efficace è quella di mantenere il legno a umidità sufficientemente bassa o, se questo è impossibile, di eliminare l'alburno dagli elementi esposti. I trattamenti chimici anti-azzurramento sono efficaci, ma hanno durata assai limitata e vengono presto dilavati dalla pioggia. La protezione degli elementi di legno esposti alle intemperie tramite vernici trasparenti filmogene, oltre a richiedere una regolare manutenzione, spesso sono controproducenti perché impediscono il veloce smaltimento dell'acqua eventualmente penetrata a contatto del legno dalle inevitabili discontinuità (anche microscopiche) del film di rivestimento.

Fortunatamente, questa tipologia di funghi difficilmente può compromettere le caratteristiche di resistenza meccanica del legno, ma provoca danni estetici alla facciata.

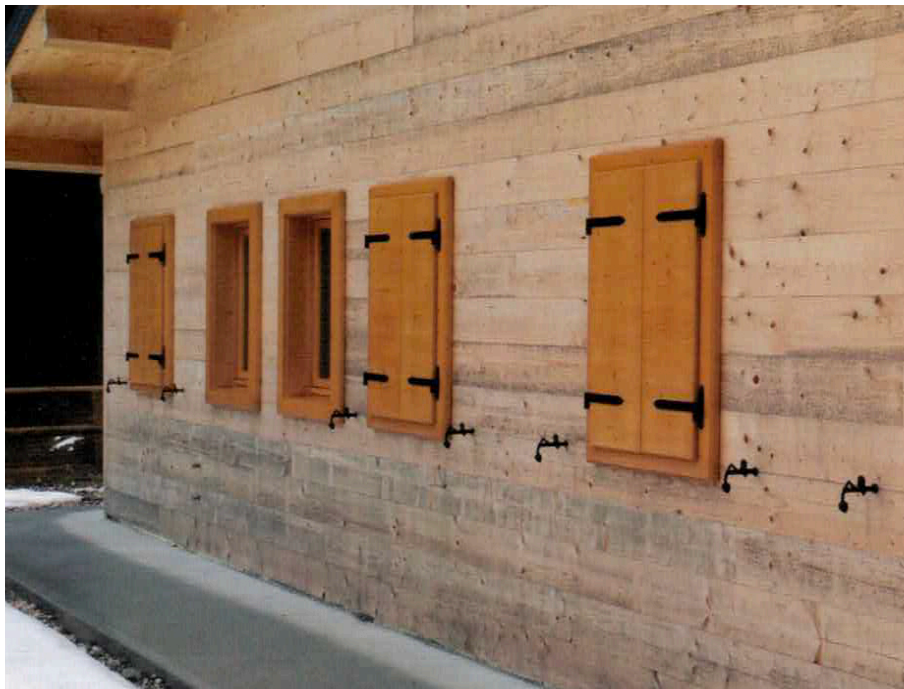


Figura 76 Fenomeno di azzurramento per attacchi fungini (Zenari, 2014)

Carie (funghi da carie)

Se il legno viene mantenuto in condizioni di umidità maggiori del 18% (classe di servizio 3) esiste un elevato rischio di attacchi di funghi agenti della carie. Il primo stadio di tali attacchi è costituito da piccole alterazioni di colore, alle quali corrisponde però già un grave indebolimento dell'elemento ligneo.

Successivamente, l'attacco si estende e si aggrava ulteriormente, provocando vistose alterazioni di colore, spesso visibili come "fiamme" di colore scuro, aloni, macchie e simili.

Questo tipo di degrado comporta la marcescenza del componente e ne intacca le prestazioni meccanico-fisiche anche in maniera rilevante e va quindi evitato con la massima attenzione.

A livello progettuale si cerca di tenere lontano il materiale da fonti di umidità rilevanti anche se negli ambienti esterni ne diventa più complessa la gestione. Buona pratica è quella di cercare di proteggere il materiale mediante elementi che lo allontanino da eventuali fonti di umidità (a.e. terreno e acqua ristagnanti, grondaie e vasche di accumulo e così via).

Ci sono inoltre trattamenti specifici che permettono di verniciare ripetutamente il legno per evitare l'apertura di fessure e quindi l'annidarsi di queste spore: questi prodotti chimici hanno un tempo limitato di protezione e vanno applicati ciclicamente sui componenti per permetterne l'efficacia (nelle documentazioni accompagnatorie solitamente sono raccomandati trattamenti ogni 5 – 10 anni).

In caso di ambienti d'uso molto umidi o contatto con il terreno può essere consigliabile valutare un pretrattamento per impregnazione in autoclave dei componenti che permettono che il trattamento sia efficace sull'intera della sezione, che risulta quindi molto più protetta.

Esistono delle perplessità riguardo la tossicità di queste attività, ovviamente per quanto riguarda gli aspetti legati al ciclo vita ed alla dismissione, poiché tutti i trattamenti non hanno influenza sui componenti volatili e in generale sulla salute dell'uomo.



Figura 77 Attacco di funghi cromatogeni su trave in rovere (Zanuttini, 2014)

Delaminazione

Tipico più dei componenti in legno lamellare incollato. Infatti, a causa dei cicli caldo freddo e dell'alternanza da ambiente secco ad ambiente umido, le variazioni dimensionali delle singole lamelle possono risultare dannose e non uniformi nella sezione considerata.

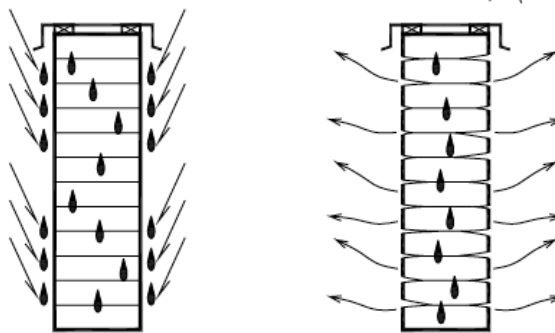


Figura 78 Variazioni termo igrometriche possono indurre variazioni dimensionali importanti e differenti nelle lamelle che compongono i componenti di legno lamellare. Questo comporta la probabile formazione di fessure lungo le linee di incollaggio delle lamelle stesse (Studio Deda, 2011).

Le variazioni dimensionali disomogenee delle lamelle possono indurre fessurazioni lungo le linee di incollaggio e quindi intaccare la durabilità del singolo componente, rischiando di intaccarne anche le caratteristiche di resistenza meccanica.

Per questo è molto importante proteggere i componenti lamellari esterni da questi fenomeni, sia attraverso misure legate alla progettazione del dettaglio (evitare ristagno d'acqua e il soleggiamento eccessivo diretto sul componente), sia alla previsione di pretrattamenti di protezione del componente stesso.

Problemi relativi alla stabilità dimensionale degli elementi

L'acqua ha un ruolo fondamentale per molti dei comportamenti del legno e la percentuale presente nella materia prima è soggetta a variazioni continue. Il tasso maggiore si riscontra nell'albero vivente, passando poi per stadi successivi ad una percentuale di acqua interna sempre minore una volta che esso è stato ridotto in assortimenti (travi, tavole et).

Dopo il taglio, l'acqua interna evapora progressivamente, lasciando il posto a livello cellulare ad aria e vapore.

La condizione di evaporazione interna si ferma solo quando il materiale stesso trova l'equilibrio con l'umidità dell'aria.

Il fenomeno di *asciugatura* del legno viene definito *essiccazione naturale* o *stagionatura*. Ovviamente, il materiale una volta stagionato è ugualmente soggetto a variazioni di umidità nel tempo. Infatti, anche un materiale correttamente stagionato, una volta portato in un ambiente ad aria umida, può assorbirne umidità e quindi variare le sue condizioni igrometriche interne.

Risultano quindi rilevanti, per una corretta progettazione e collocazione dei materiali, i dati relativi a:

- umidità interna raggiunta alla stagionatura (misurata con igrometro);
- umidità relativa dell'ambiente nel quale verrà posto in opera.

Per le applicazioni legate in edilizia, l'obiettivo della stagionatura del legno è legato a tre aspetti fondamentali:

- evitare che il materiale subisca forti variazioni dimensionali dopo la posa in opera, per effetto dell'umidità presente nell'aria;
- permettere che il legno raggiunga le migliori condizioni di resistenza alle sollecitazioni meccaniche;
- migliorare la durabilità naturale dei componenti agli attacchi di funghi ed insetti.

La stagionatura non riesce ovviamente ad eliminare completamente la presenza di acqua all'interno del materiale, che rimane presente in minima parte nelle pareti cellulari. Facendo il rapporto tra il peso secco del materiale ed il peso umido si definisce la percentuale di legno presente nel materiale. Convenzionalmente, il 30% di umidità viene considerato il limite tra la presenza o no di acqua libera all'interno del materiale, ovvero è il punto di saturazione delle pareti cellulari ed il punto al di sotto di esso è definito 'campo igroscopico'.

Il vantaggio di conoscere le giuste variazioni igroscopiche ed il campo di umidità di 'lavoro' del materiale, permette di prevedere il comportamento del componente e di progettare le giuste contromisure tecniche. I fenomeni di assorbimento e desorbimento dell'acqua determinano variazioni dimensionali della parete del componente e dunque ritiri e rigonfiamenti, che si verificano principalmente quando l'ambiente di progetto è sotto il 30% di umidità.

Il ritiro volumetrico totale del legno che si registra nel passaggio dal suo stato fresco a quello anidro (conseguibile solo in condizioni controllate di laboratorio) varia in funzione delle diverse specie, da circa il 6% a più del 20%.

L'anisotropia del legno fa sì che siano di fondamentale importanza anche le considerazioni relative alla direzione del componente e alla provenienza rispetto al tronco originario; infatti ritiri e rigonfiamenti sono di entità diversa a seconda della direzione esaminata. In particolar modo sono le direzioni tangenziale e radiale ad essere quelle che interessano maggiormente i fenomeni di rigonfiamento e di ritiro e quindi che possono potenzialmente creare problematiche di gestione della compatibilità materica con altri componenti.

Si possono osservare tre direzioni principali per quanto riguarda l'andamento del materiale:

- la sezione trasversale, perpendicolare all'asse del fusto e corrispondente alla 'testata' del tronco, o di un segato;
- la sezione longitudinale radiale, parallela all'asse del fusto e passante per il centro dello stesso, dunque perpendicolare agli anelli di accrescimento;
- la sezione longitudinale tangenziale, anch'essa parallela all'asse di accrescimento del fusto ma in questo caso tangente agli anelli stessi (Zanuttini, 2014).

Le fessurazioni e le deformazioni sono causate dall'anisotropia del materiale e della conseguente anisotropia dei ritiri, comportando variazioni di umidità, differenti variazioni dimensionali e quindi fessurazioni lungo alcune linee di contatto.

Altri difetti che possono verificarsi sono le variazioni geometriche dei componenti: perdita della planarità, svergolamento, imbarcamento, fenomeni che arrecano danni e avarie del singolo componente e del sistema integrato che va a comporre.

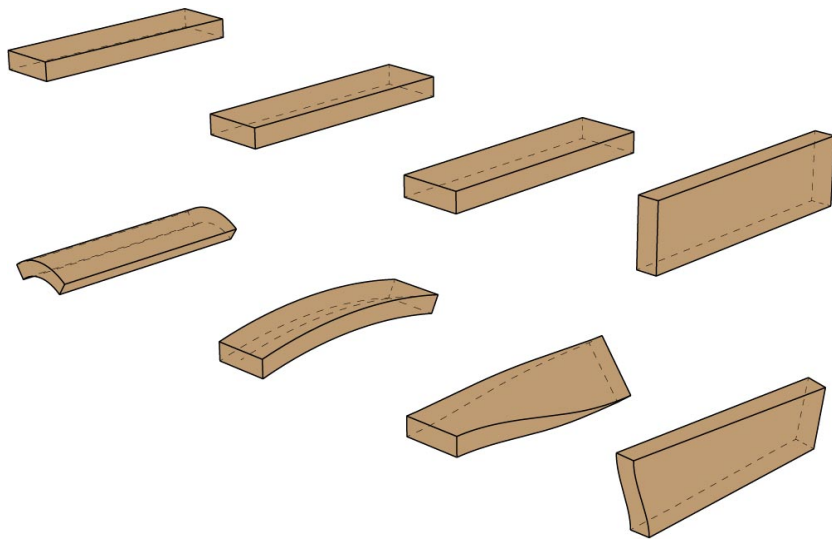


Figura 79 Effetti del ritiro sulla planarità dei segati: imbarcatura, arcuatura, svergolatura, falcatura

Alcune volte è opportuno, per particolari condizioni ambientali o climatiche, che il progettista ponga delle particolari prescrizioni sulla provenienza dei componenti che vengono utilizzati nell'involucro, sia per evitare fenomeni di avaria locale, sia riguardo le prescrizioni ed i tempi di ispezione e monitoraggio nel manuale di manutenzione.

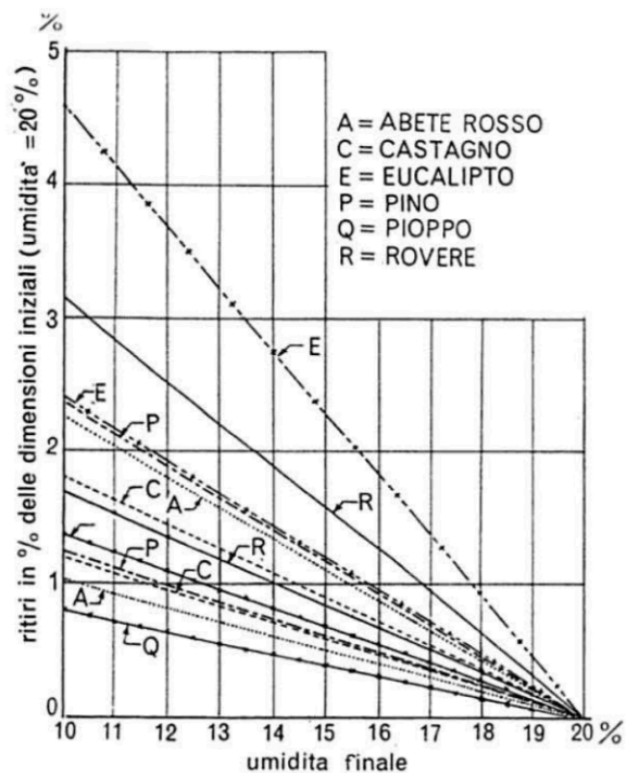


Figura 80 Diagrammi di valutazione di ritiri dimensionali di legnami di differenti specie legnose, passando dall'umidità del 20% all'umidità di impiego. Per ogni specie, la linea superiore corrisponde alla variazione lungo la direzione tangenziale rispetto agli anelli e quella l'inferiore al ritiro in direzione radiale (Giordano, 1971)

2.2 Problematiche relative alle pareti perimetrali verticali

Una delle criticità riscontrate nelle applicazioni di pareti perimetrali verticali con componenti a base legnosa è la durabilità del materiale.

Come già detto precedentemente, il legno è un materiale naturale che può essere sottoposto a diversi trattamenti per permettere che le prestazioni termiche e le fattezze estetiche rimangano invariate nel tempo. Infatti, l'attitudine naturale del materiale, è quella di variare ed adattarsi alle condizioni naturali dell'ambiente nel quale è inserito, sia per quanto riguarda il fattore di umidità interna, sia per quanto riguarda le caratteristiche della superficie esterna.

La durabilità e l'eventuale degrado, sia nella sua componente *biotica* (cioè legata a microorganismi viventi che si nutrono delle sostanze organiche di cui il legno è costituito), che *abiotica* (agenti chimici, umidità ed eccesso di carico), sono solo alcune delle criticità che sono riscontrate a livello internazionale nelle costruzioni in legno (Gaspar & Brito, 2003; Madureira, Flores-Colen, de Brito, & Pereira, 2017; Sandak & Sandak, 2017).

La durabilità del materiale legno è oggetto di molte ricerche che vedono coinvolte diverse competenze per cercare di individuare quali siano i trattamenti migliori per evitare manutenzioni a breve termine, limitando i costi in fase di costruzione e progettazione per garantire agli utenti una durabilità del costruito adeguata agli standard delle altre tecnologie costruttive.

Si cerca di prevenire il degrado del materiale non solo con misure di protezione attiva²⁹, ma anche attraverso una serie di dettagli progettuali che permettano il corretto declivio delle piogge (in caso di pose esterne) e dell'areazione dei materiali e dei componenti dei vari strati dell'involucro.

Per questo obiettivo risulta fondamentale studiare le pareti perimetrali in legno con una nuova lente, che non sia esclusivamente strutturale né biologica e che coniughi le conoscenze delle due discipline per fornire informazioni utili sulla durabilità degli elementi, sui punti critici degli elementi dopo la messa in funzione dell'edificio e le prescrizioni manutentive utili da prevedere già in fase di progettazione preliminare.

Una delle tematiche da risolvere riguarda gli aspetti tecnologici (dati dall'utilizzo di un materiale biologico) che, soprattutto per quanto riguarda le strutture, deve tenere in considerazione la naturale tendenza del legno al degrado biologico se esposto a delle azioni di umidità non regolarmente controllate.

Il progetto deve evitare il ristagno dell'acqua nelle zone a contatto con il legno e permettere che le condizioni di salubrità dell'edificio siano sempre soddisfatte in ogni strato (Assolegno, 2017).

I fenomeni legati al ristagno dell'umidità ed alla formazione di condensa possono presentarsi in diverse modalità e posizioni interne della parete perimetrale verticale:

- all'interno della soluzione tecnica, quando gli strati che la compongono non sono stati idoneamente progettati per permettere la traspirabilità della parete e quindi presentano delle barriere che non permettono una efficace diffusione del vapore;
- sulla superficie interna o esterna della soluzione tecnica, quando la scelta dello strato di rivestimento non ha preso in considerazione condizioni climatiche-ambientali particolarmente severe di progetto;
- all'interno di locali che non presentano le idonee caratteristiche di ventilazione e salubrità, o all'interno degli ambienti domestici (Assolegno, 2017).

²⁹ Con 'attiva' ci si riferisce a misure che proteggono il materiale mediante pretrattamenti o verniciatura, cercando di proteggerlo al degrado puntuale.

Nonostante le pareti perimetrali verticali con componentistica a base legnosa siano ampiamente in grado di soddisfare i requisiti legati alla vita di servizio degli edifici, è importante prima di tutto descrivere quali siano i 'criteri di accettazione' del materiale, o meglio ancora, quali siano le prestazioni che si vogliono valutare quando si parla di vita di servizio.

Per il legno infatti è sempre più usuale parlare di vita di servizio tecnica e vita di servizio estetica (Rüther & Time, 2015; Sandak & Sandak, 2017).

Il 'peso' dell'umidità di un edificio deve essere accuratamente bilanciato già dalla fase di progetto e devono essere considerate valide alternative per limitare il ristagno di condensa o di acqua.

A livello mondiale, ci sono diverse aziende di settore (RethinkWood, Wood Wisdom, FiplInnovations, dataholz, promolegno), che con la volontà di diffondere un certo know how sulle costruzioni in legno si stanno impegnando nella diffusione delle corrette operazioni di progetto e di posa in opera (Halls, 2015). In particolar modo, nasce da reThink Wood la 'teoria della quattro D', per progettare la durabilità delle pareti perimetrali in legno. Le quattro azioni corrispondono agli aspetti che il progettista deve valutare nella progettazione della soluzione tecnica da porre in opera (Hazleden & Morris, 1999). Esse sono:

Deflection, intesa come deviazione, ovvero la caratteristica di protezione di parte delle acque meteoriche che potrebbero colpire la facciata.

Profili aggettanti sulla facciata o in generale elementi di protezione dell'involucro che possano allontanare una prima quantità di acqua risultano essere benefici per la durabilità di essa.

Drainage, ovvero, drenaggio, inteso come la capacità della soluzione tecnica di drenare l'acqua che sia incidentalmente entrata all'interno dell'involucro. Varie ricerche hanno mostrato come l'adeguata progettazione di camera di ventilazione e strati dedicati al drenaggio/protezione dell'involucro, possano migliorare la durabilità dell'involucro stesso (Rousseau, 1999).

Questa azione in qualche modo richiede che il modello funzionale adottato sia in qualche modo ventilato, con la presenza di uno strato di intercapedine d'aria per permettere, seppure senza camera di ventilazione, un discreto passaggio d'aria dietro il primo strato di rivestimento esterno.

Influiscono in maniera positiva la previsione di fissaggi ed idonee misure di connessione tra i componenti per far defluire eventuali precipitazioni infiltrati (ad esempio tagli inclinati, membrane traspiranti a permeabilità controllata etc).

Drying, ovvero, l'asciugatura. Legato con il criterio precedente, lo strato di ventilazione permette che il legno si asciughi abbastanza rapidamente e che il grado di umidità del materiale non sia a livello preoccupante in estate, quando i livelli di umidità del materiale dovrebbero essere ridotti rapidamente per evitare la formazione di funghi.

Sono molti gli studi condotti in altre nazioni dove il legno è materiale tradizionale delle costruzioni, che hanno verificato come la mancanza del deflusso d'aria possa essere la causa di attacco di muffe o funghi, comportando fenomeni di marcescenza prima dei dieci anni dopo la messa di servizio (Geving & Uvsløkk, 2000; Nore, Thue, Time, & Rognvik, 2005). In particolar modo, la presenza della camera di ventilazione influenza la capacità di asciugarsi sia degli strati più esterni che interni.

Quanto tempo sia necessario che il materiale rimanga in condizioni sfavorevoli di umidità per innescare formazione di muffa e decadimento prestazionale è ancora oggetto di studio.

Decay Resistance, ovvero resistenza al deperimento biologico. All'interno di questa scelta ricadono varie strategie pianificate dal progettista per proteggere l'edificio, ovvero la scelta del materiale naturale

o trattato, lo studio delle condizioni ambientali, la valutazione della presenza di fenomeni o rischi ambientali particolari e le richieste estetico funzionali particolari da parte della committenza (Merotto, 2017a).

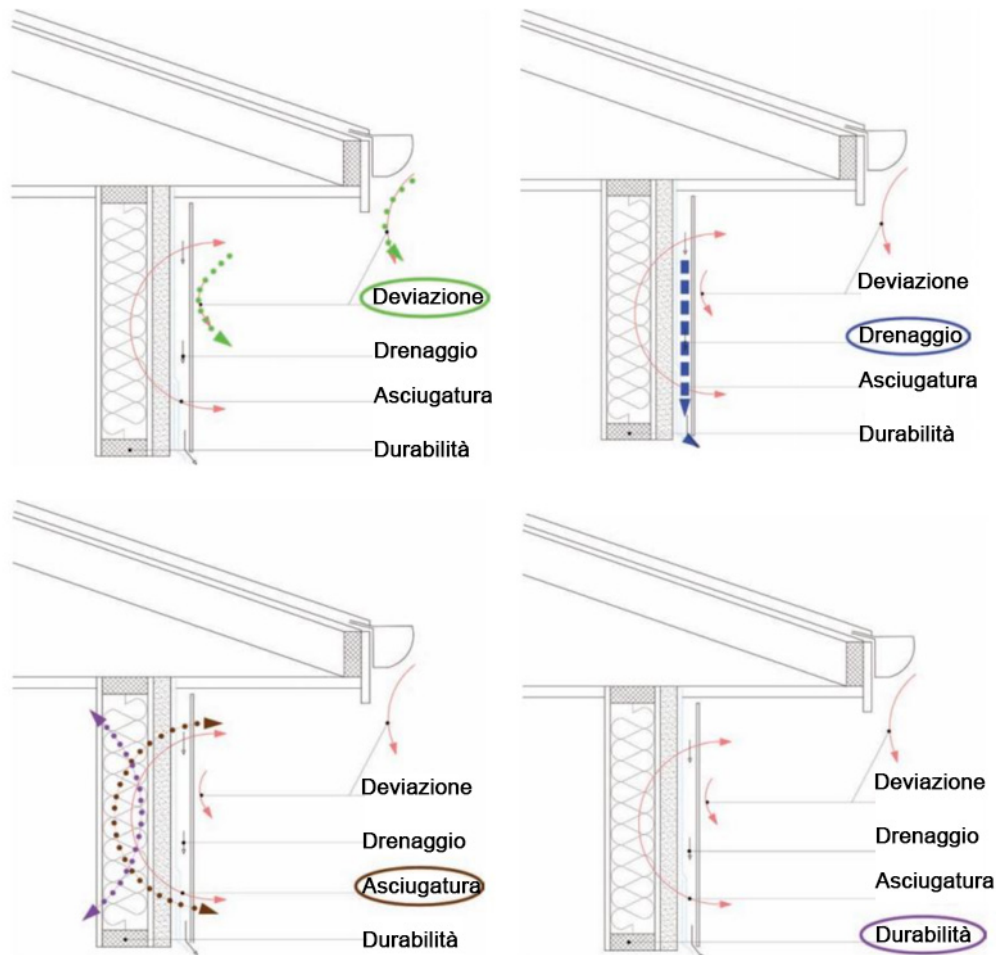


Figura 81 Le ‘quattro D’ nella progettazione degli involucri in legno (retrieved on StrutturaLegno, 021 Giugno 2018, pg 12-13)

Ricapitolando, le uniche misure veramente efficaci nel lungo periodo, per gli elementi in classe di servizio 3³⁰ non sottoposti a manutenzione periodica ravvicinata, è data dalla combinazione fra:

- scelta di una specie legnosa naturalmente durabile;
- utilizzo di assortimenti idonei (tipo di lavorazione dei segati);
- protezione delle sezioni di estremità degli assortimenti e delle sezioni trasversali in genere nelle quali rimane esposto del legno “di testa”, molto più facile a imbibirsi d’acqua rispetto al legno “di fianco”;
- progettazione di dettagli costruttivi finalizzati a ridurre al minimo il contatto dell’acqua con l’elemento ligneo (tenendo sempre conto degli effetti di capillarità);

³⁰ Viene considerata Classe di utilizzo 3 quando ‘il legno o il prodotto a base di legno si trova al di sopra del terreno ed è esposto agli agenti atmosferici’. UNI 335:2013 “Durabilità del legno e dei prodotti a base legno”

- progettazione di dettagli costruttivi finalizzati alla rapida evacuazione dell'umidità entrata, a contatto con l'elemento;
- progettazione tale da ridurre al minimo la formazione di condensa sulle superfici di legno;
- progettare in modo da assicurare la massima ventilazione a tutti gli strati.

Secondo le analisi e l'esperienza del laboratorio WoodLab (Merotto, 2017b), le problematiche relative alla durabilità degli edifici di legno si possono ricondurre a malfunzionamenti relativi agli elementi direttamente a contatto con gli agenti esterni, ovvero le chiusure superiori, le pareti perimetrali verticali e le partizioni orizzontali su spazi aperti

Le cause del degrado individuate, sono relazionate per oltre il 73% ad una scarsa cura del dettaglio o a veri e propri errori in fase di progettazione dell'edificio.

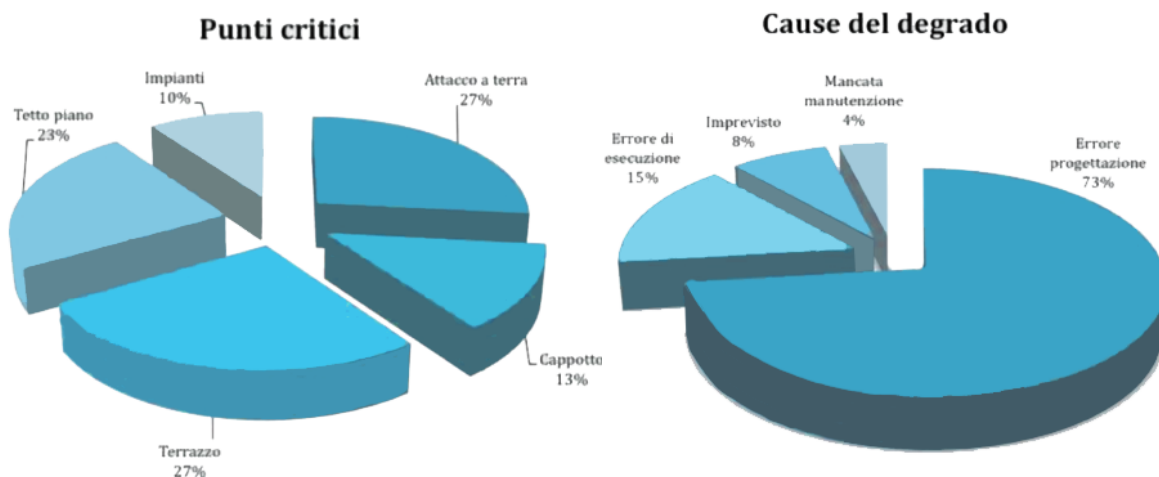
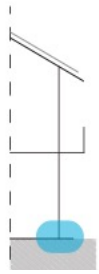


Figura 82 In figura i dati statistici elaborati da WoodLab (Merotto, 2017b) sui punti critici degli edifici con tecnologia a base legno e le cause di degrado. Rielaborata dall'autore

Più nello specifico verranno qui analizzati i nodi principali problematici per le pareti perimetrali verticali con a tecnologie a base legnosa e le problematiche riscontrate più frequentemente.



PPV e Attacco a terra

Per tutte le tecnologie di costruzione a base legno, il punto di contatto con la fondazione, tipicamente in calcestruzzo armato, è un nodo di fondamentale rilevanza per la stabilità dell'edificio, ma anche per le problematiche relative alla durabilità e alla possibilità di ispezioni nel tempo.

La superficie di contatto tra i due materiali diventa luogo di fenomeni di condensa, nonostante le protezioni vengono utilizzate spesso dai progettisti.

Le problematiche riscontrate sono di carattere strutturale e di compatibilità materica interna. Le attuali tecnologie stanno cercando di rendere sempre più ispezionabili i componenti dei diversi strati funzionali, per permettere di correggere avarie o anche solo per effettuare ispezioni o cicli manutentivi.

Le nuove costruzioni con pannelli di compensato strutturale Xlam hanno ancor di più evidenziato questa condizione di vulnerabilità. Infatti, nelle tecnologie con costruzione a telaio (tipo Platform o balloon frame), la defezione del nodo relative alla ventilazione dei componenti in legno di contatto era meno rilevante essendo la parete perimetrale verticale con isolante interposto e quindi per costruzione con cavità seppur minime di aria che potevano minimizzare i problemi di umidità accumulata nel nodo.

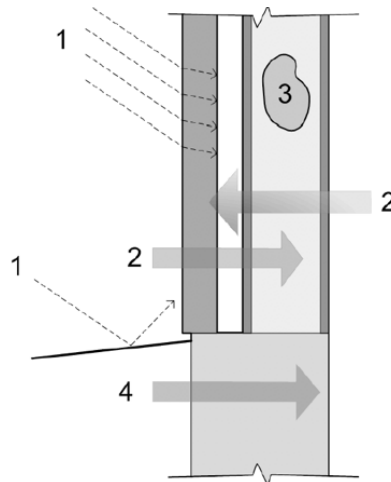


Figura 83 Meccanismi relativi alle possibili cause di umidità verso la parete (Straube John & Finch, 2009)

I principali fenomeni che causano umidità interna alle pareti perimetrali verticali possono essere ricondotti a quattro tipologie:

1. fenomeni di condensa, causati dalle differenti temperature dell'aria e del materiale, oppure dalla presenza di vapore acqueo eccessivo in atmosfera (sia internamente che esternamente);
2. Umidità data dai materiali messi in opera non ancora perfettamente stagionati e quindi con umidità interna non in equilibrio rispetto all'ambiente;
3. Piogge o altri liquidi portati internamente attraverso fenomeni di capillarità o gravità;
4. Ponti termici di elementi continui esterni interni della costruzione.

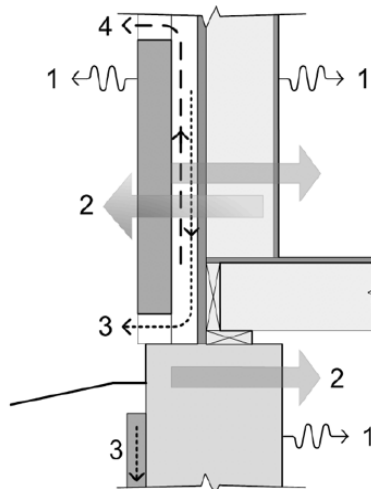


Figura 84 Meccanismi principali di asciugatura del materiale nelle pareti perimetrali verticali (Straube John & Finch, 2009)

Le strategie per migliorare l'asciugatura del materiale e dei componenti interni della soluzione tecnica sono:

- 1- evaporazione, ovvero l'umidità trasportata esternamente per capillarità verso l'esterno o l'interno della soluzione tecnica considerata;
- 2- L'evaporazione a vapore trasformato, per diffusione sempre verso l'esterno o l'interno;
- 3- Drenaggio dell'acqua entrata negli strati attraverso camere di ventilazione progettate per eliminare le acque e l'umidità in eccesso. A questo si aggiunge anche la ventilazione che si instaura nelle camere di ventilazione o nelle cavità interne della parete stessa, che ha un effetto benefico sull'asciugatura e quindi anche sulla durabilità del componente (Straube John & Finch, 2009).

Come detto nelle pareti perimetrali verticali con strato resistente continuo (ad esempio Xlam) essendo l'elemento strutturale 'pieno'(ovvero senza camere d'aria interne, come nel caso degli elementi baloon/platform frame) non c'è possibilità di dissipare l'umidità di risalita dal calcestruzzo, o l'eventuale umidità che raggiunge il pannello (eventuali rotture di impianti idrici, oppure pavimentazioni esterne di non corretto displuvio).



Figura 85 Problematiche al cordolo di collegamento tra pannelli di Xlam e fondazione in calcestruzzo. Le connessioni e gli agganci non sono correttamente progettati e comporteranno problemi per la durabilità del legno (Merotto, 2017a)

Quindi, il nodo con questa nuova tecnologia deve essere progettato con particolare attenzione riguardo possibili infiltrazioni di acque che una volta entrate possono ristagnare all'interno della camera di ventilazione, o nella base della parete, a causa della non planarità della superficie fondale di calcestruzzo.



Figura 86 Degrado del pannello in Xlam per imbibizione di acqua. Il legno si trova ad una quota inferiore della soglia esterna (Merotto, 2017a)



Figura 87 Marcescenza alla base dei pannelli in legno, causata da acqua stagnante (“Edifici in legno: quanto durano? Ergodomus,” n.d.)

Vista l'importanza del degrado che potrebbe verificarsi in particolar modo nelle pareti perimetrali verticali con strato resistente in pannelli Xlam, questa tematica è stata oggetto di particolari studi nel corso degli ultimi cinque anni. La letteratura nazionale ed internazionale (FPInnovations, n.d.; Hazleden & Morris, 1999; Presutti & Evangelista, 2014; Studio Deda, 2011), individua tre modalità di posa in opera di questo nodo:

- la prima prevede il fissaggio del pannello direttamente sulla superficie piana in calcestruzzo, con interposta l'impermeabilizzazione. Questa soluzione rende molto veloce la posa in opera dei pannelli e delle guaine, ma prefigura particolari problematiche relative alla durabilità del nodo stesso. Il pannello si trova infatti circondato su tre lati dalla guaina protettiva, senza la possibilità di alcuna ventilazione tipicamente molto vicino alla quota esterna.

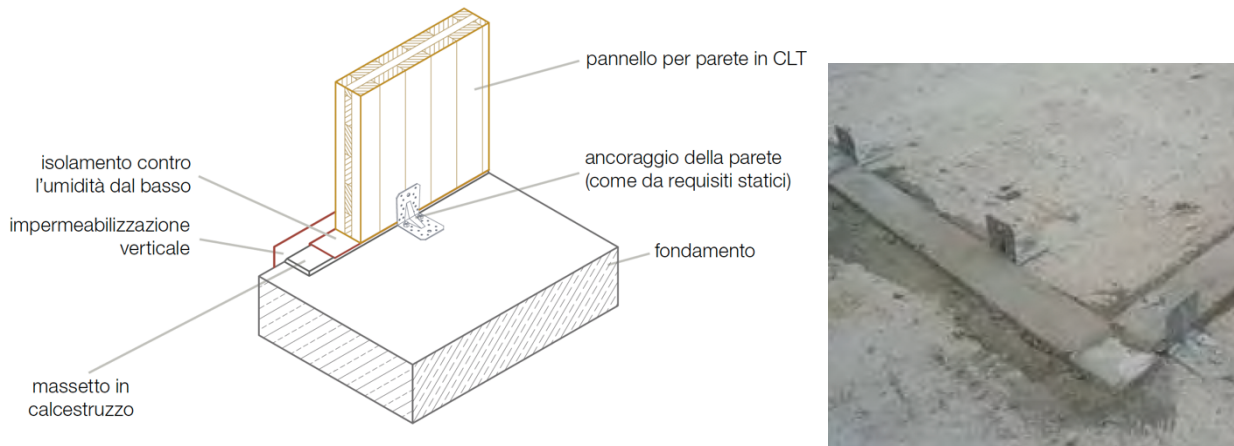


Figura 88 Tipologia di nodo con pannello direttamente posato sul sistema di fondazione. Previste le adeguate protezioni per evitare umidità di risalita e condensa superficiale (*Buildings solutions*, n.d.)

- la seconda soluzione prevede il fissaggio del pannello su un cordolo in calcestruzzo armato, progettato e posto in opera secondo le adeguate dimensioni per permettere un agevole fissaggio anche dei componenti in acciaio. Questa soluzione presenta il vantaggio di conferire maggiori garanzie per il pannello in legno, aumentando la distanza con le quote di calpestio interne ed esterne e permettendo anche di non posare la guaina sui tre lati del pannello, per permetterne una minima ventilazione.

Le problematiche sono però relative alla posa in opera del cordolo e delle armature in esso contenute, oltre che della poca tolleranza planare dei pannelli, che nella costruzione del cordolo diventa più complessa da gestire.

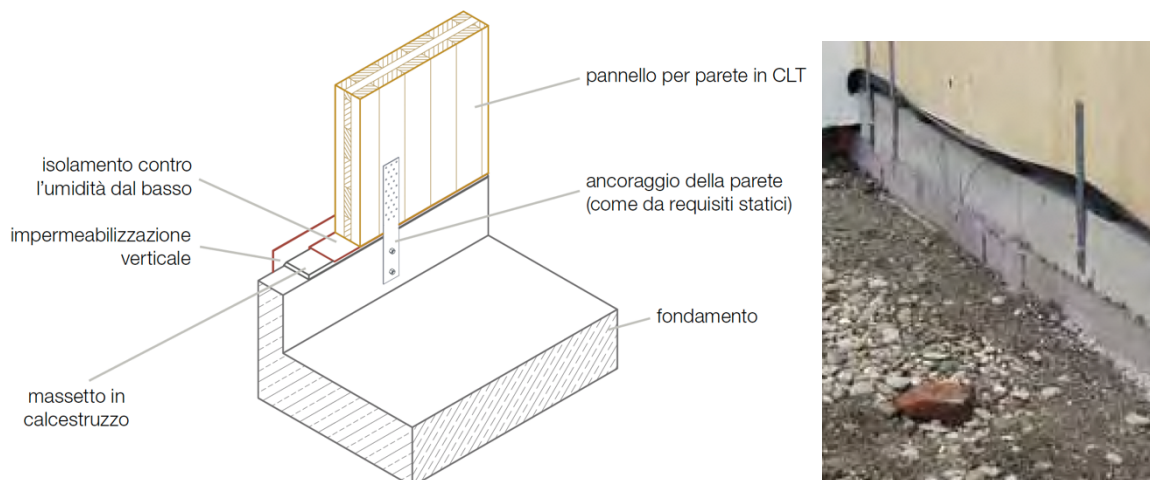


Figura 89 Tipologia di nodo con cordolo in calcestruzzo armato di sostegno per i pannelli in Xlam (*Buildings solutions*, n.d.)

- La terza soluzione prevede la giustapposizione, tra il pannello e il sistema di fondazione, di un componente che sostenga il pannello ed allo stesso tempo permetta non solo una giusta ventilazione del legno, ma anche eviti il contatto tra legno e calcestruzzo e quindi fenomeni di condensa scaturiti dalle diverse temperature del materiale.

Questo tipo di soluzione ha lo svantaggio di richiedere maggiori tempi di posa e richiede la corretta planarità della superficie di appoggio.

All'inizio questo componente di contatto veniva individuato in dormienti di larice essenza considerata mediamente durevole e molto resistente e quindi adeguata alle richieste del nodo.

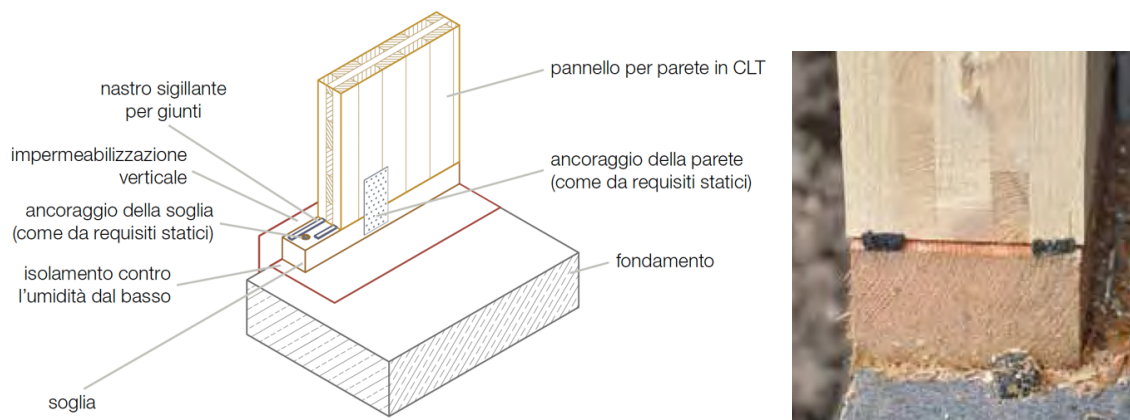


Figura 90 Tipologia di nodo con pannello posato su un dormiente in larice (*Buildings solutions*, n.d.)

Ad oggi, l'innovazione di prodotto ha portato diverse aziende a produrre una componentistica precisa per migliorare le prestazioni e le possibilità di ispezione e ventilazione di questo nodo così critico.

Un primo prodotto immesso sul mercato consiste in un dormiente cavo di acciaio, che svolge le stesse funzioni del dormiente in larice.

Solitamente sono predisposte anche delle prese d'aria nella lamiera interna o esterna del componente, per permettere, a cicli regolari, la pulizia e l'ispezione dello stesso mediante idonea attrezzatura.



Figura 91 (sinistra) Dispositivo di collegamento pannello Xlam-fondazione in acciaio, cavo, ventilato ed ispezionabile.

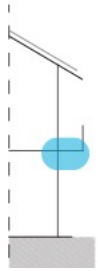
Figura 92 (destra) Elemento di separazione in Vetro cellulare, posto alla base del pannello e di separazione con la fondazione in calcestruzzo armato.

Un altro componente che viene utilizzato sempre più nel contatto tra pannello e fondazione è un particolare pannello composto da vetro cellulare. Questo materiale ha ottime prestazioni di resistenza a compressione e flessione oltre che di diffusione al vapore e di impermeabilità (isolante a celle chiuse). Il prodotto si presenta come impermeabile, indeformabile ed ignifugo.

L'utilizzo di questo componente non necessita manutenzioni successive e garantisce elevate prestazioni dal punto di vista della resistenza meccanica, della resistenza all'umidità, della resistenza alle variazioni termo-igrometriche e della condensa interstiziale e superficiale.

Fino ad oggi questo materiale è stato utilizzato prettamente per isolamenti superficiali o per cappotti esterni: questa nuova applicazione ha evidenziato delle potenzialità importanti per cercare di limitare le problematiche di gestione del nodo pannello-fondazione e della gestione in generale dell'attacco legno-calcestruzzo degli edifici in legno.

Per quanto riguarda le chiusure orizzontali inferiori, non si rilevano particolari avarie: la raccomandazione è quella di non utilizzare mai il legno a contatto con i terreni, in locali semi o totalmente interrati.



PPV e Chiusure orizzontali su spazi aperti

Il legno è un materiale che richiede, come già detto, particolari accortezze e sensibilità dal progetto alla realizzazione ed è un materiale 'sincero', che palesa immediatamente le sue condizioni e problematiche relative a fenomeni di degrado.

Nei componenti strutturali possono verificarsi importanti fenomeni di degrado e decadimento degli indici di resistenza meccanica, se non adeguatamente protetti.

In particolar modo per i componenti a sbalzo il degrado e il decadimento prestazionale comporta una perdita di resistenza notevole per quanto riguarda la portanza del solaio considerato: va quindi affrontato con completezza il discorso dell'integrazione tra parete perimetrale verticale e chiusura orizzontale su spazi aperti.



Figura 93 Elementi di parete perimetrale verticale e di chiusura orizzontale su spazi aperti degradate a causa di infiltrazione superiore d'acqua ("BLOG - Durabilità degli edifici in legno: quando i danni possono essere evitati WoodLab," n.d.)

La corretta pratica costruttiva prevede per gli elementi a sbalzo, importanti camere di ventilazione per i componenti in legno, per permettere l'asciugatura degli stessi dopo esser entrati in contatto con umidità o acqua.

A questo vanno ad aggiungersi varie considerazioni sulle relazioni tra gli altri strati funzionali ed i componenti utilizzati.

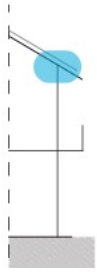
Nelle tecnologie costruttive tradizionali la compatibilità materica della soluzione tecnica delle partizioni orizzontali su spazi aperti è un aspetto rilevante da considerare nella progettazione della soluzione tecnica per garantire sufficienti prestazioni legate sostanzialmente alla sfera del comfort.

Per gli edifici in legno è un aspetto rilevante oltre che per garantire adeguati standard di benessere, anche per la stabilità e la sicurezza.

Come già detto, i componenti di finitura delle tecnologie a base legno richiedono un repertorio di materiali che abbiano sufficiente traspirabilità, per permettere l'asciugatura di eventuale umidità residua, sufficiente variazione dimensionale e per seguire la flessibilità del componente in legno.

La prima causa di degrado è legata all'umidità e all'acqua ristagnante che può favorire l'insorgere di fenomeni di marcescenza.

Una seconda causa di degrado può essere rappresentata dall'errata progettazione degli ulteriori strati funzionali della chiusura orizzontale, o la posa in opera di elementi eccessivamente pensanti lungo i perimetri di essa. Questi carichi, nonostante la presenza dello strato di impermeabilizzazione e di areazione, possono comportare avarie locali nel componente resistente, e quindi infiltrazioni d'acqua nel caso le pendenze non siano sufficienti a garantire il deflusso e la veloce asciugatura.



PPV e Chiusura superiore

Anche per il nodo tra parete perimetrale verticale e copertura si possono riscontrare alcune delle problematiche presenti nelle chiusure orizzontali su spazi aperti.

Ovviamente, i principali problemi relativi a questo nodo tecnologico possono essere scaturiti da una non idonea progettazione dell'elemento di copertura.

Spesso infatti non viene adeguatamente progettata e posizionata la guaina di copertura, con successivo deperimento degli strati di supporto.



Figura 94 Marcescenza degli elementi di copertura. È necessario la rimozione del pannello ("BLOG - Durabilità degli edifici in legno: quando i danni possono essere evitati WoodLab," n.d.)

Questo degrado nella copertura ha ripercussioni anche sulla parete perimetrale verticale, perché permette l'infiltrazione di umidità e di acqua all'interno della parete, per di più dall'alto verso il basso, causando l'imbibizione di tutti i componenti all'interno della soluzione progettata.

Sarebbe opportuno già in fase di caratterizzazione progettuale, considerare una soluzione di chiusura superiore sub-orizzontale, per meglio dire un tetto spiovente piuttosto che un tetto piano (pendenza superiore al 7%) caratterizzando di conseguenza anche la parete perimetrale verticale e il nodo.

Sebbene le tecnologie, i componenti e le lavorazioni permettano la qualità e la durevolezza nel tempo, non va dimenticato che il materiale ha, per sua stessa natura, delle fragilità molto evidenti nelle eventualità del manifestarsi di fenomeni di umidità o di ristagno di acqua meteorica.

Un accurato controllo del progetto in fase di esecuzione dovrebbe evitare ogni tipo di avaria legato a questi fenomeni ma il livello di affidabilità delle soluzioni piane nel corso del tempo desta qualche perplessità nel mondo delle costruzioni con tecnologie a base legno.

Le soluzioni di impermeabilizzazione sono oggetto di lesioni nel tempo anche nelle tecnologie tradizionali, tanto che una ricerca dell'università di Pisa evidenzia come oltre il 50% dei contenziosi in edilizia riguardino le impermeabilizzazioni, che siano non correttamente progettate o eseguite (Zocchi, 2013).

Per limitare questa esigenza si è cercato, a livello nazionale, di professionalizzare ancora di più le figure dei posatori, che ora devono seguire idoneo corso e ricevere l'abilitazione alla lavorazione.

Se nelle tecnologie tradizionali la defezione dello strato di impermeabilizzazione è una problematica seria che arreca molti danni al costruito, per gli edifici in legno potrebbe essere causa di crolli, degrado e abbattimento della resistenza del materiale.

Una buona prassi sarebbe quindi quella di conferire alla copertura superiore una pendenza pronunciata, che possa quindi limitare l'eventuale zona di infiltrazione.

Una seconda raccomandazione riguarda poi la tipologia di guaina. Sicuramente nel cantiere devono essere adoperate tutte le misure utili per contenere l'eventuale produzione di fiamme libere, più che nei cantieri tradizionali, non tanto per i componenti strutturali, quanto per la componentistica relativa agli isolanti di copertura o d'involucro.

Andrebbe raccomandata quindi particolare attenzione nella scelta delle caratteristiche della guaina impermeabilizzante, che dovrebbe essere preferibilmente posata 'a freddo', senza l'utilizzo di fiamme.

In generale nel cantiere devono essere adoperate tutte le misure utili per contenere l'eventuale produzione di fiamme libere, più che nei cantieri tradizionali, per evitare che la componentistica relativa agli isolanti degli involucri possa venire danneggiata e corrosa.

Essi sono solitamente composti da materiali fibrosi che in caso di innesco si polverizzano nel tempo, senza dare alcun segno evidente di defezione agli operatori in corso di realizzazione. Le avarie vengono poi riscontrate a distanza di tempo, quando si verificano infiltrazioni, muffe o fenomeni di marcescenza nell'intradosso dei soffitti e delle pareti, con i pannelli isolanti che risultano così già saturi di acqua e quindi potenzialmente danneggiati in maniera irreversibile.

Risulta pericolosa la gestione dei nodi di contatto tra le pareti perimetrali verticali, i camini e la chiusura superiore.

Le avarie sono legate non tanto a defezioni dei materiali, quanto al contatto delle alte temperature che si creano all'interno della canna fumaria che, se non correttamente isolate possono innescare gli incendi.

A livello progettuale, il nodo di passaggio della canna fumaria deve prevedere l'utilizzo di componenti marcati CE, che dissipino il calore in maniera corretta, e siano correttamente posti in opera nei punti di contatto con gli elementi tecnici dell'edificio (sia pareti perimetrali verticali che copertura).

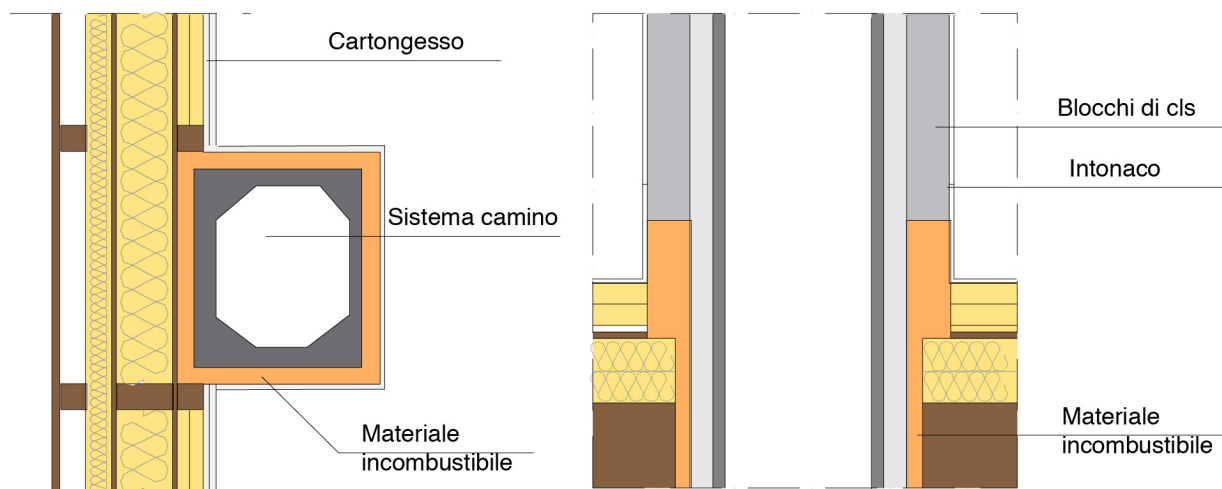


Figura 95 Attraversamento di camino in parete a sinistra, attraversamento di chiusura superiore a destra (Arca casa Legno, 2013). Rielaborata dall'autore

Vanno correttamente progettate le superfici di contratto, sia dal punto di vista delle dilatazioni termiche in fase di esercizio, sia per quanto riguarda gli aspetti relativi all'elasticità delle membrane e delle nastrature per evitare condense e l'ingresso dell'aria esterna all'interno dell'edificio. Infine la raccomandazione è quella di considerare componenti che possano essere ispezionabili e smontabili (Assolegno, 2017).

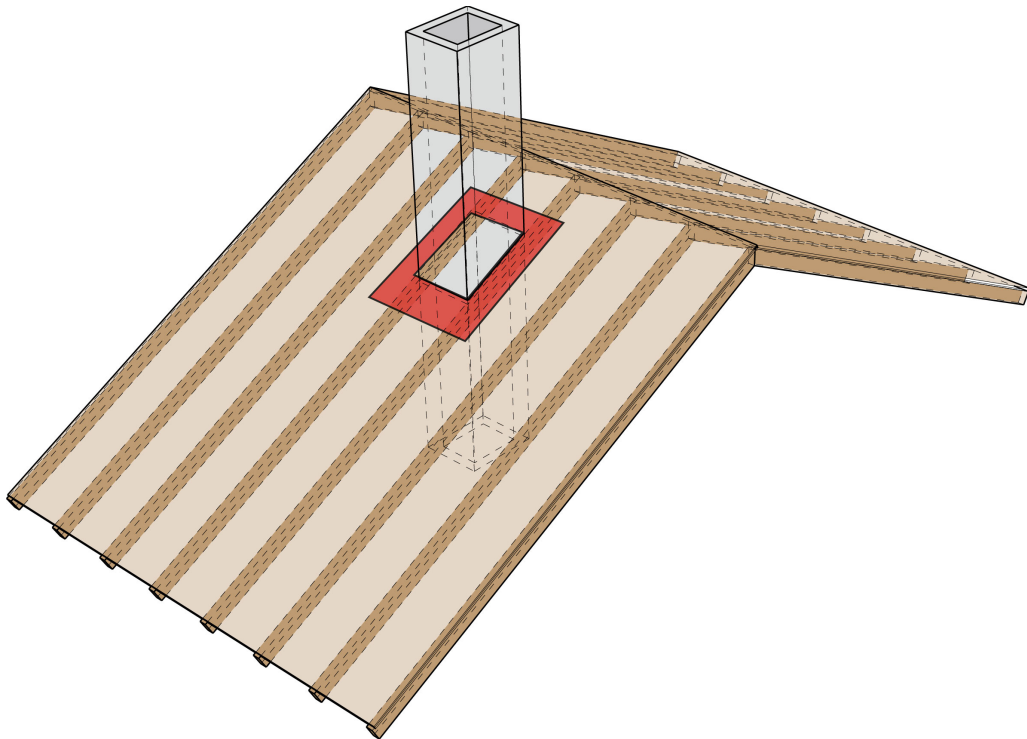
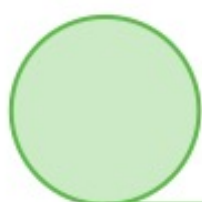


Figura 96 Nel caso degli edifici con tetto in legno, diventa importante la gestione della superficie di contatto tra camino e tetto in legno (Arca casa Legno, 2013). Rielaborata dall'autore



CAPITOLO 3

DURABILITA' ED AFFIDABILITA' DEI COMPONENTI DEGLI EDIFICI IN LEGNO

3.1 Valutazione della vita utile degli edifici in legno

La previsione della vita utile delle costruzioni è una disciplina che coniuga diverse competenze per poter raggiungere una buona stima della valutazione della vita utile, ovvero il tempo successivo al collaudo dell'edificio nel quale esso mantiene o supera i livelli di accettazione dei requisiti richiesti (UNI 11156-1:2006).

Alla previsione è associato il requisito di durabilità che indica la capacità di un componente di svolgere le funzioni richieste durante un periodo di tempo specificato (vita utile o *service life*), sotto l'azione di diversi agenti³¹.

Le condizioni di durata o vita utile (periodo durante il quale l'elemento tecnico mantiene livelli prestazionali superiori o uguali ai limiti di accettazione) e di affidabilità (capacità di funzionare senza guasti fino al termine della vita utile) dei materiali e dei componenti concorrono a determinare la durabilità di un sistema, programmando anche le operazioni di manutenzione ordinaria da effettuare durante il periodo di uso e gestione (UNI 11156-2: 2006).

La valutazione dei sistemi edilizi passa necessariamente prima dalla ponderazione della stima della durata e dell'affidabilità dei singoli componenti che compongono ogni subsistema e delle relazioni tra di essi.

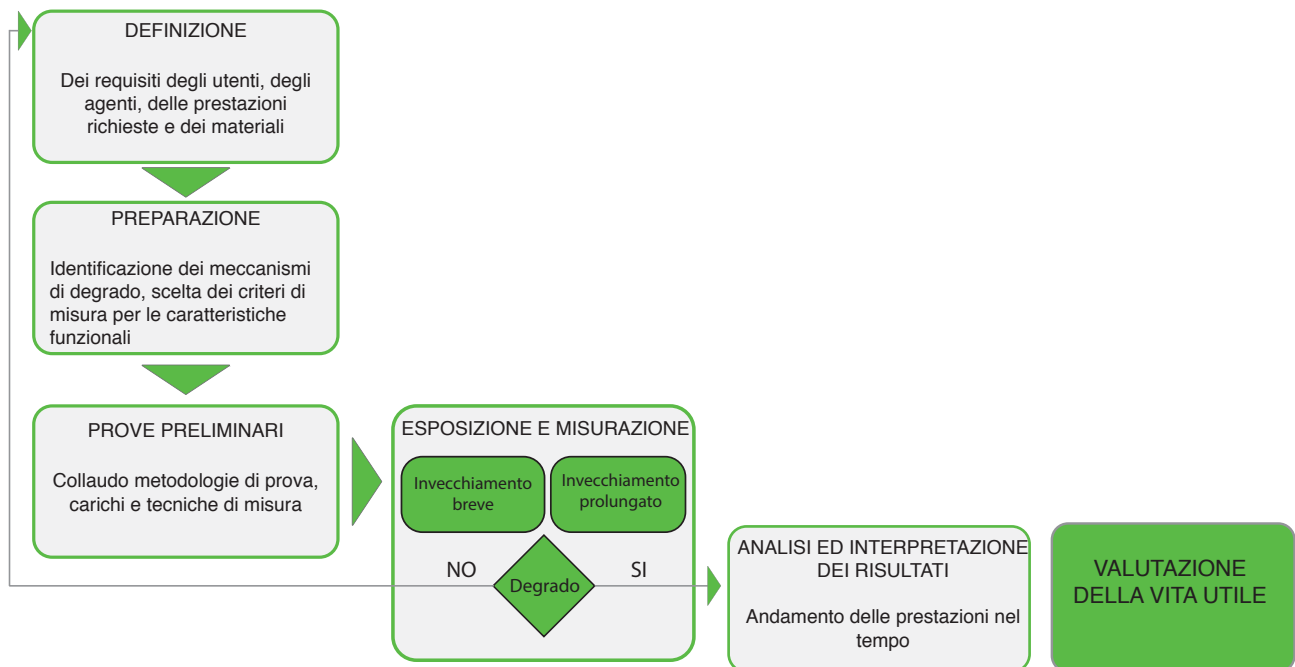


Figura 97 Metodologia per la previsione della vita utile di un componente (UNI 11586). Rielaborata dall'autore

Le valutazioni di vita utile possono essere tarate ed elaborate seguendo tre modalità di analisi, che si differenziano per il grado di complessità (legato alle informazioni da sviluppare) e alle valutazioni legate ai materiali, ovvero alle avarie registrate nel tempo ed ai principali fenomeni di rottura.

Essi sono:

- *metodo fattoriale*, che considera le condizioni particolari d'uso dei componenti attribuendo dei fattori moltiplicativi del singolo rischio all'iniziale vita utile di riferimento.

³¹ Citazione riportate all'interno della UNI 11156 'Valutazione della durabilità dei componenti edilizi - Parte 1: Terminologia e definizione dei parametri di valutazione'

Questo è un tipo di analisi elementare e soggettivo, in quanto i valori di modificazione della durata della vita utile sono a discrezione dell'operatore.

- *metodo stocastico*, che inserisce nell'analisi le elaborazioni statistiche derivate dall'osservazioni dei danni e delle avarie del componente analizzato. Questo metodo necessita di una grande mole di dati, solitamente archiviati e gestiti da enti specializzati internazionali che si occupano anche della gestione delle norme armonizzate (Bruno Daniotti, 2012);
- *metodo ingegneristico*, caratterizzato dalla progettazione del rischio del singolo intervento. Risulta quindi particolarmente oneroso e viene applicato solo in casi di particolare importanza dell'intervento.

L'elemento tecnico deve essere adeguatamente caratterizzato, ovvero devono essere ben definite le sue caratteristiche di funzionamento, i componenti che le permettono e le interazioni tra di essi.

Tra i fattori che influenzano il rapporto sulla vita utile e che quindi favoriscono l'aumento della valutazione della durata della vita utile di riferimento, si tiene conto di diverse proprietà che possono essere legate al componente (sia alla sua produzione che alla progettazione del sistema in generale), all'ambiente d'uso (e quindi gli agenti esterni che su di esso agiscono) e sull'utilizzo dello stesso (utenza e cicli di manutenzione).

Agenti	Esempi di condizioni rilevanti		
Agenti legati alla qualità intrinseca del componente	A	Qualità del componente	Fabbricazione, stoccaggio, trasporto
	B	Qualità di progettazione	Protezione da altre parti dell'edificio
	C	Qualità di esecuzione	Qualità della manodopera, condizioni climatiche durante l'installazione
Ambiente	D	Ambiente interno	Aggressività all'ambiente, ventilazione, condensazione
	E	Ambiente esterno	Altezza dell'edificio, micro-ambiente
Utilizzo	F	Condizioni d'uso	Impatti meccanici, tipologia di utenza, etc
	G	Livello di manutenzione	Qualità e frequenza della manutenzione, accessibilità etc

Figura 98 Fattori moltiplicativi che incidono sulla variazione nella stima della vita di riferimento di un sistema edilizio (UNI 11156-3:2006, Valutazione della durabilità dei componenti edilizi. Parte 3). Rielaborata dall'autore

In ogni caso l'osservazione della durata, mirando alla comprensione del modo in cui si comporta al trascorrere del tempo un sistema edilizio, nel suo insieme o nelle sue parti, deve fronteggiare notevoli ostacoli: l'estensione della vita media dei manufatti edilizi; la differenza di comportamento nel tempo delle diverse componenti edilizie e la difficoltà di valutazioni sintetiche i condizionamenti delle modalità d'uso; l'influenza delle variabili ambientali; la varietà di materiali e soluzioni costruttive (Germanà, 2005).

In relazione alla vita utile del singolo componente è necessario prevedere già dalla progettazione iniziale le diverse tappe della vita di servizio e l'eventuale avaria del singolo all'interno del sistema.

La durabilità del sistema infatti non è da demandare esclusivamente all'affidabilità dei componenti che lo compongono o alla durata di essi, ma anche alle garanzie che il sistema offre di essere ispezionato e vigilato, monitorato, mantenuto ed in caso di guasto, sostituito in parte per tornare a livelli di accettazione o di funzionamento.

La manutenibilità di un sistema, di un subsistema tecnologico o di un elemento tecnico è una caratteristica che comporta la propensione dell'oggetto ad essere soggetto di un intervento manutentivo, che sia correttivo o conseguente ad un guasto, con l'obiettivo di migliorare o adeguare le prestazioni o gli standard del sistema studiato. Per affrontare il tema della manutenibilità è fondamentale analizzare non solo i parametri che determinano la vita utile dei componenti del sistema, ma anche il valore della durata utile spontanea del componente e la corrispondente affidabilità dei vari sistemi che caratterizzano la soluzione tecnica scelta e realizzata.

Classificazione degli agenti di degrado	Esempi
Agenti climatici	Pioggia Neve Ghiaccio Grandine Vapore Acqueo Vento Particelle Radiazione solare(...)
Agenti chimici	Acido solforico, carbonico, Sali, Solventi (...)
Agenti artificiali esterni	Radiazioni elettromagnetiche, Stress meccanici discontinui
Agenti artificiali dovuti all'uso	Acqua di lavaggio, Detergenti, Stress meccanici continui
Agenti biologici	Animali, Vegetali

Figura 99 Lista di agenti di degrado significativa per la stima degli elementi tecnici ((UNI 11156-3:2006, Valutazione della durabilità dei componenti edilizi. Parte 3)

In questo senso nel percorso di ricerca di tesi, lo studio della manutenzione è direttamente legato alla durabilità, non come attività a sé stante, ma come strumento e fase di gestione fondamentale per permettere all'edificio di rispettare le prestazioni previste nel tempo.

Diversi studi (Bruno Daniotti, 2012; Manfron & Siviero, 1998) identificano il livello di complessità ed il modello funzionale del costruito come requisiti decisivi per possibilità di ispezione ed eventualmente di sostituzione di parti del sistema.

Negli edifici queste proprietà sono legate alla possibilità di ispezionarne i subsistemi, alla possibilità di disassemblaggio dei vari livelli, con particolare attenzione alle connessioni delle parti e la possibilità della sostituzione di un singolo livello in relazione alla obsolescenza dello strato funzionale considerato.

Per quanto riguarda le caratteristiche del singolo componente, in relazione all'obsolescenza e alla possibilità di intervento, diventano importanti caratteristiche quali la visibilità, la configurazione, il peso, la modularità, la standardizzazione, l'intercambiabilità e la facilità di installazione e di dismissione.

Le linee guida per la manutenzione degli edifici (Comitato nazionale italiano per la Manutenzione, 2016) individuano dei requisiti specifici per i subsistemi di facciata come:

- requisito di controllabilità, i subsistemi tecnologici e gli elementi tecnici che li costituiscono, devono essere controllabili e ispezionali al fine di prevenire eventuali guasti e di facilitare i necessari interventi manutentivi;

- requisito di riparabilità: in ordine ai concetti di manutenzione ordinaria e di durata di vita utile, gli elementi tecnici, soprattutto se complessi e formati di parti con obsolescenza differenziata, devono consentire la riparazione delle parti rotte o usurate in modo da aumentare la vita utile;
- requisito di sostituibilità, in ordine ai concetti di manutenzione straordinaria e di fine della vita utile prevista, gli elementi tecnici con obsolescenza fisica o funzionale più rapida devono essere facilmente sostituibili al fine di aumentare la durata complessiva dei subsistemi e di non interrompere l'uso. Gli interventi di sostituzione che richiedono smontaggi e rimontaggi e prevedono l'intervento di operatori specializzati non devono causare danni di nessuna natura ad elementi o opere circostanti.

Tali indirizzi dovrebbero opportunamente ritrovarsi in fase di progetto nel piano di manutenzione, elaborato che ha l'obiettivo di definire gli adeguati livelli di performance, razionalizzando i costi e le risorse con la minima interferenza rispetto all'uso corrente. Implementando questa caratteristica negli edifici esistenti, un piano di manutenzione dovrebbe essere basato su una diretta valutazione del livello e della velocità di obsolescenza dell'edificio.

Questa pianificazione è fondamentale per implementare una strategia attiva di manutenzione durante la vita di esercizio, attraverso tutte le informazioni essenziali per prevenire e monitorare le performance degli elementi dell'edificio, le indicazioni sulle operazioni di manutenzione dei componenti e sistemi in genere, i meccanismi di degrado, le raccomandazioni, i costi e le date di intervento (Madureira et al., 2017).

La durabilità degli involucri edilizi

Gli edifici sono costituiti da componenti che raggiungono la fine vita di servizio in differenti fasi del ciclo vita. Vari autori (Brand, 1997; Gaspar & Brito, 2003) suddividono la costruzione in livelli di durabilità, ovvero in “strati” che raggiungono livelli di degradamento in tempi differenti.

Per stimare inizialmente la durabilità di una costruzione, si può valutare la durabilità dei subsistemi tecnologici che compongono l’edificio (involucro, struttura, partizioni interne, impianti, arredi fissi...) calcolando la vita utile dopo l’entrata in esercizio degli stessi (Gaspar & Brito, 2003; Hovde & Moser, 2004).

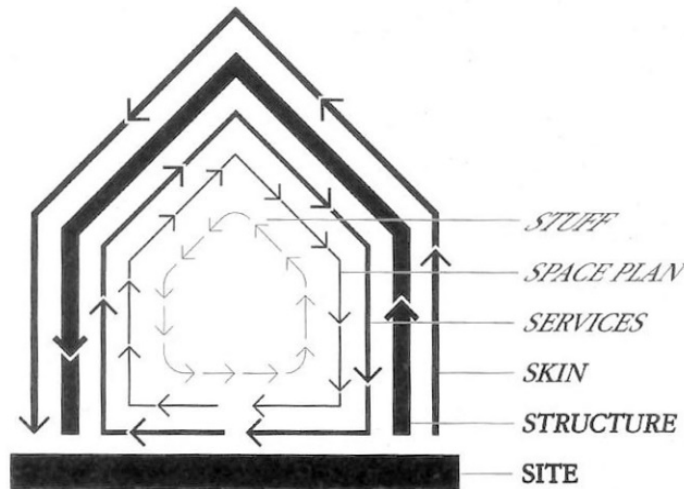


Figura 100 Shearing layer of building (Brand, 1997)

Emerge come per progettare la durevolezza di un edificio non si possano analizzare in termini assoluti i criteri legati alla durata di esso, quanto vada progettata una strategia di obiettivi riscontrabili nelle singole 'parti' che lo compongono (Germanà, 2005).

Più nello specifico, negli involucri lo studio della durabilità non viene solo legato alla capacità intrinseca del materiale o dei componenti in genere di resistere all'azione del tempo, ma anche alla correlazione degli strati funzionali all'interno della soluzione tecnica scelta.

Diversi studi hanno cercato di mettere in relazione la tecnologia costruttiva utilizzata con la dismissione dell'edificio e la durata dello stesso (Connor, 2004; Halls, 2015): le evidenze dimostrano che spesso la decisione finale di dismettere alcuni fabbricati costruiti nel ventesimo secolo, non dipendesse da un'avaria dei materiali o una scarsa capacità residua delle caratteristiche prestazionali legate alla sicurezza o alla stabilità.

La durabilità, alla luce delle nuove richieste di progetto, deve essere un requisito che consideri l'uso sostenibile delle risorse, traslando dalla valutazione delle caratteristiche dei materiali all'attitudine globale dell'edificio nel permettere variazioni, permettendo di aggiungere, modificare o ispezionare alcune parti per aumentare la vita di servizio dell'unità tecnologica o dell'edificio intero.

Gli agenti oggetto di obsolescenze diventano quindi molto più numerosi dei parametri oggetto di studio della durabilità materica e considerano molte più variabili per pianificare le strategie che possano avere un ruolo nei futuri cambiamenti, caratterizzando così un nuovo requisito, definito come *durabilità dinamica*.



Figura 101 Alcuni dei nuovi parametri di studio della durabilità dell'edificio

Le facciate sono i componenti dell'edificio maggiormente soggetti all'azione del degrado, secondo un'analisi condotta dal BRE, rappresentando il 20% dei guasti rilevati negli involucri (Watt, 1999).

Esse hanno inoltre un'importante funzione estetica, rappresentando l'immagine pubblica dell'immobile agli occhi della società.

Tipicamente le caratteristiche tecniche che stanno permettendo lo sviluppo di esse sul mercato, rendendole competitive dal punto di vista del costo e della velocità di posa in opera, possono ricondursi più in generale alle caratteristiche della prefabbricazione lignea (Zambelli, Vanoncini, & Imperadori, 1998) che sono assimilabili ai criteri di:

- Assemblaggio a secco, con prodotti maneggevoli e collegabili con facilità e immediatezza
- Prefabbricazione e leggerezza, dove il cantiere come luoghi di finitura e assemblaggio dei prodotti, riducendo i costi e i tempi di esecuzione del progetto stesso
- riuso dei componenti edifici e componenti che siano mantenibili, smontabili e in definitiva riciclabili
- Processo edilizio efficiente, utilizzando i componenti pre assemblati si riesce a ridurre il tempo di costruzione, le decisioni sono prese durante la fase di progetto, il cantiere diviene un semplice assemblaggio. Questo ha delle ricadute evidenti in termini di costi e di qualità dei prodotti;
- Resistenza meccanica e statica, gli elementi in legno fanno parte dei sistemi edilizi leggeri, ma riescono a garantire un'elevata resistenza e un comportamento sismico eccellente;
- Progettazione integrata, un processo di produzione offsite, prevede il coinvolgimento fin dalle fasi iniziali di tutti gli autori che interverranno nel processo consentendo un notevole impatto nell'efficacia del lavoro progettuale sino alla fase di realizzazione. Inoltre, l'ausilio dei sistemi informatici, garantisce una continuità dell'informazione attraverso un flusso articolato ma organico, che permetta di agire in maniera condivisa nell'iter produttivo
- Gestione del cantiere: l'organizzazione e la logistica del cantiere divengono più semplici, soprattutto nel caso di progetti di retrofit, nei quali la durata dei lavori e le esigenze degli abitanti insediati, rendono necessarie l'articolazione di strategia di processo particolari per la riduzione dei costi

Queste caratteristiche generali legate alle prefabbricazioni in legno, si rendono utili nell'approccio al progetto anche in relazione alle previsioni di ispezione e manutenzione dell'involucro e quindi per conferire la durabilità sistemica dell'unità tecnologica.

La progettazione che prevede il disassemblaggio dei componenti è un principio progettuale che si sta affermando nel corso degli ultimi anni (Rios, Chong, & Grau, 2015; Schmidt, Vibaek, & Austin, 2014; Smith, 2010).

I criteri di questa strategia progettuale, che riesce a soddisfare le esigenze di sostenibilità economica, sociale ed ambientale richiesta ancor più dagli edifici contemporanei,³²³³ viene qui considerata come punto focale per conferire agli involucri in legno durabilità nel tempo.

Oltre ad agevolare gli interventi manutentivi e quindi aumentare la durabilità del costruito, la progettazione per il disassemblaggio consentirebbe di ampliare i ragionamenti relativi ad eventuali sostituzioni programmate degli strati di involucro.

Visto la sempre più veloce frequenza di modifica dei parametri di accettazione di comfort richiesto ai nostri edifici, in particolare agli elementi di frontiera, la possibilità di prevedere dopo un tempo definito medio-lungo, una variazione su un elemento che possa rendere maggiormente prestante l'elemento e quindi appetibile sul mercato l'edificio, è un principio non irrilevante dal punto di vista della durata del manufatto nel tempo.

Non sono secondari anche gli effetti che queste modalità di progettazione avrebbero sugli scenari di fine vita degli edifici.

La decostruzione è uno scenario di fine vita dell'edificio che richiede più tempo di lavoro rispetto alla semplice dismissione mediante demolizione dell'edificio; infatti, le operazioni necessarie al disassemblaggio sono onerose e ritenute non economicamente vantaggiose.

Essendo questa pratica scarsamente utilizzata edilizia, non sono molte numerose ricerche e linee guida in relazione ai consigli progettuali per agevolare il disassemblaggio (EPA Region, n.d.; Kestner & Webster, 2010; Morgan & Fionn, 2005; Rios et al., 2015).

Le teorie si focalizzano sullo studio dei nodi, dei collegamenti e dei fissaggi delle parti, per permettere che i componenti vengano smontati velocemente, permettendone un eventuale riuso e senza perdita eccessiva di materiale.

Le proprietà che conferiscono *manutenibilità* all'involucro possono essere assimilate alla progettazione per il disassemblaggio.

Questa caratteristica consentirebbe di poter smontare intere parti di facciata, cambiarne i componenti ed adeguarla alle nuove esigenze emerse. Alcuni criteri di massima si possono ricondurre già alla progettazione di involucri 'durevoli'. Ad esempio, la modalità di collegamento maggiormente favorevole ai cicli di ispezione, alla manutenzione ed eventuale sostituzione del componente è la modalità di incastro o di fissaggio puntuale degli stessi, che permette di poter lavorare su porzioni di unità tecnologiche considerate, senza dover intervenire su tutto il complesso, riuscendo quindi a limitare i rischi derivanti dalle lavorazioni e le problematiche relative alle avarie.

Le modalità di collegamento mediante incollaggio sono quelle che garantiscono meno la possibilità di manutenzione e ispezione per il futuro, non garantendo la possibilità di visionare il singolo strato funzionale (Davoli, 2001a).

³² 'Gli edifici sono responsabili del 40 % del consumo globale di energia nell'Unione. (...) la riduzione del consumo energetico e l'utilizzo di energia da fonti rinnovabili sono necessarie per ridurre la dipendenza energetica dell'Unione e le emissioni di gas a effetto serra (Direttiva 2010/31 UE)

³³ 'Ridurre almeno del 40% le emissioni di gas serra rispetto ai livelli del 1990, Portare almeno al 27% la quota di energia rinnovabile, Aumentare almeno del 27% l'efficienza energetica european Council 2030.

Alcune delle strategie per garantire la manutenibilità della soluzione tecnica possono ricondursi a:

- cercare di massimizzare la chiarezza e la semplicità di funzionamento della soluzione stessa;
- minimizzare la *complessità* dell'edificio;
- minimizzare la presenza di diversi tipi di materiale con la stessa funzione;
- agevolare l'utilizzo di una componentistica standard, con moduli adeguati a gran parte delle funzioni, permettendo di avere facile accesso ad eventuali ricambi 'universali' in caso di avarie;
- limitare l'utilizzo di colle, progettare il numero di fissaggi e possibilmente limitarli in caso, a favore di collegamenti ad incastro o con fissaggi a scomparsa (Rios et al., 2015);

L'utilizzo di materiali 'ibridi', in particolar modo di componenti con caratteristiche materiche miste e di difficile definizione, rendono il processo di scomposizione più complesso e lento: in fase di progettazione si può ovviare a questa problematica scegliendo componenti da catalogo standard e con giunzioni a vista di facili movimentazioni.

Le tecnologie contemporanee permettono l'utilizzo di resine per l'assemblaggio di parti, che possono essere quindi facilmente smontati e riciclati. La progettazione per la decostruzione suggerisce di considerare la possibilità di realizzare lo stesso progetto mediante minore utilizzo di materia e di schematizzare nel modo più semplice le connessioni tra gli elementi.

Minimizzare il numero dei componenti e dei fissaggi può essere un altro utile meccanismo per agevolare la manutenzione, mantenendo gli strati e i livelli dell'edificio diversificati.

La progettazione deve inoltre considerare la possibilità di accesso ai vari strati funzionali della soluzione tecnica considerata, particolarmente ai componenti che, per limitate garanzie sull'affidabilità, hanno bisogno di essere ispezionati e certificati con cicli costanti nel tempo.

Le connessioni dovrebbero essere semplificate, facilmente accessibili e dove possibili esposte ogni giorno per permettere l'eventuale decostruzione dell'edificio.

3.2 La manutenzione come strategia di progetto

Le costruzioni in generale, non possono non essere considerate prima di tutto come sistemi di relazioni, ovvero come rapporti tra diverse parti che devono, tra di loro, avere un giusto rapporto di pesi, contrappesi e giuste intermediazioni (Germanà, 2005).

La visione sistemica permette di scindere il problema complesso in problemi elementari, o quantomeno di facile dominio e permette quindi di apprezzare il rapporto con l'oggettualità del progetto. Allo stesso tempo, l'estrapolazione può far perdere la visione di contesto e quindi valutare in maniera sbagliata una scelta riguardo un singolo componente o una porzione di edificio.

Per affrontare la conoscenza di realtà complesse, senza incorrere in letture riduttive o lacunose, occorre superare una visione oggettuale, letteralmente elementare, per acquisire una visione sistemica, che comprenda le interazioni tra le diverse parti. Il sistema assume una natura paradossale, in quanto è allo stesso tempo unitario e molteplice: in esso il tutto. È più della sommatoria delle parti, perché ne comprende i vincoli e le reciproche relazioni. Il sistema implica l'accettazione della natura incerta della conoscenza; impone la necessità della continua verifica; spinge ad interrogarsi sul rapporto tra osservatore e fenomeno osservato (Germanà, 2005).

Nonostante il progredire degli edifici la cultura tecnica mantiene la visione sistemica degli edifici, meglio ancora stratigrafica, analizzando le relazioni tra le unità tecnologiche e poi le relazioni tra gli strati e i componenti facenti parte.

Questo meccanismo, al centro del progetto da sempre nella visione tecnologica del costruire, è rimesso al centro dalle nuove procedure *Building Information Modelling*, che richiedono all'operatore di tornare a valutare, in fase progettuale, tutte i fattori legati alla scelta dell'utilizzo di una singola scelta tecnica. Ad esempio, la necessità di dover impostare per ogni elemento tecnico i vincoli rispetto agli altri sub elementi, permettendo di variare alcune caratteristiche, a volte anche fondamentali, quali altezze, meccanismi di chiusura/apertura, modalità di fissaggio, consente di integrare con una sola attività la visione sistemica dell'edificio che la tecnologia cerca di sintetizzare.

La manutenibilità deve essere considerata non solo come un obiettivo, ma come requisito di progettazione e lo studio delle tecniche affidabilistiche deve trovare il giusto compromesso tra il costo e l'affidabilità dei sistemi (Di Sivo in Cattaneo, Di Sivo, Furlanetto, & Ladiana, 2007).

Gli strumenti della manutenzione si concentrano sulle cause prime di avarie e degradi, finalizzando le teorie e i metodi progettuali allo scopo di evitare l'azione manutentiva, con i mutamenti che questo comporta nella cinetica manutentiva e nelle conseguenti implicazioni formative. Si integrano anche gli obiettivi strategici, che integrano la manutenzione classica, fondata sul ciclo di vita dei sistemi, con il tema della sostenibilità (Cattaneo et al., 2007)

Il nuovo modello di sviluppo deve collocare al centro non più la tecnica e l'incremento delle sue potenzialità, ma la cura della 'qualità' e delle esigenze degli esseri umani (Torre, 2001).

La previsione delle variazioni del manufatto con il progredire del tempo ha un'importante rilevanza per permettere che lo stesso affronti in maniera adeguata tutti i fenomeni legati all'obsolescenza.

Ogni sistema, è soggetto a diversi agenti che ne causano l'obsolescenza, che sia essa materica, funzionale o tecnologica. L'attività analitica effettuata nel primo momento di progettazione deve andare a quantificare in maniera analitica diverse variabili, quali:

- il rischio, cioè la possibilità del verificarsi di eventi, anche rari, tali da provocare danni più o meno rilevanti al sistema edilizio considerato;
- eventi patologici: presenza di alterazioni impreviste, inefficienze, anomalie o guasti inattesi;
- degrado, decadimento normale o imprevisto di materiali, componenti e manufatti;

- *obsolescenza, perdita di efficienza funzionale per effetto del mutare del quadro delle esigenze* (Gasparoli & Talamo, 2006).

Il tema della *durata* in edilizia non si può circoscrivere a questioni tecniche: occorre affrontarlo consapevoli dei più ampi significati che la cultura architettonica, nella sua diverse espressioni, attribuisce allo scorrere del tempo (Germanà, 2005).

Le attività progettuali per incidere sulla durata richiedono riflessioni sulla modalità programmata per affrontare l'obsolescenza dell'edificio, intesa come 'strategia di durabilità'.

In questo senso, il progettista può affidare la durabilità dell'edificio alla durata dei componenti e dei materiali utilizzati, prevedendo cicli di riparazione/sostituzione, oppure prevedendo dei tempi di sostituzione preventiva di alcune parti dell'edificio. Il concetto fondamentale, che per il costruito contemporaneo diventa sempre più rilevante, è la possibilità di poter effettuare manutenzioni di parti, integrazioni oppure sostituzioni, consentendo l'aumento della durabilità globale attraverso manutenzioni serrate e periodiche; la manutenibilità diventa quindi strettamente legata alla durabilità, perché azione programmata per permettere l'obsolescenza programmata dell'edificio e aumentarne la durata nel tempo. La previsione della durabilità del costruito non si deve limitare solo alla considerazione della continuità nel tempo, ma deve considerare anche le possibili trasformazioni e adattamenti della stessa rispetto alle esigenze iniziali; il requisito a cui si fa riferimento potrebbe ricondursi alla flessibilità per gli edifici di nuova costruzione.

Il patrimonio del costruito italiano ha in media tra i 50 ed i 60 anni (Loga, Stein, & Diefenbach, 2016) ed è realizzato con tecnologie obsolete che non permettono l'adattamento alle nuove esigenze, sia funzionali che tecniche e che richiedono spesso onerosi interventi di manutenzione per l'adeguamento ai moderni standard di benessere e di sicurezza (TABULA, 2010).

È molto complesso nell'ambito del costruito riuscire a impostare un limite prescrittivo, ovvero ad un fattore misurabile scientificamente, che possa legare la vita utile dei componenti alla durata effettiva analizzata. Per questo compito si fa affidamento a diverse modalità di stima, ma l'osservazione e il raggiungimento dell'obiettivo della durata della costruzione è definito a livello *descrittivo*, legato quindi a considerazioni sulla durata, sui meccanismi di obsolescenza dei componenti, sulla possibilità di controllo, ispezione, monitoraggio e sostituzione di unità tecnologiche o di singoli componenti.

Resistenza meccanica	Idoneità a contrastare efficacemente il prodursi di rotture o deformazioni gravi sotto l'azione di determinate sollecitazioni
Resistenza all'usura	Attitudine a resistere agli effetti dovuti all'attrito tra parti in movimento, al contatto con oggetti o sostanze abrasiva, al contatto ripetuto con altri materiali o oggetti in movimento
Anigroscopicità	Attitudine a non subire mutamenti di aspetto e/o morfologia di dimensioni e comportamento in seguito ad assorbimento d'acqua o di vapor d'acqua.
Resistenza agli agenti aggressivi	Attitudine a non subire dissoluzioni o disgregazioni e mutamenti di aspetto a causa dell'azione di agenti aggressivi chimici.
Resistenza agli attacchi biologici	Attitudine a non subire riduzioni di prestazioni a seguito della presenza di organismi viventi (animali, vegetali, microrganismi)
Resistenza al fuoco	Attitudine a conservare, entro limiti determinati, per un intervallo di tempo determinato, le prestazioni fornite
Resistenza al gelo	Attitudine a non subire disgregazioni e/o mutamenti di dimensione ed aspetto a causa della formazione del ghiaccio
Resistenza all'irraggiamento	Attitudine a non subire mutamenti di aspetto e di caratteristiche chimico-fisiche a causa dell'esposizione all'energia raggiante
Stabilità termica	Attitudine a non subire mutamenti di aspetto e morfologia di dimensione e di comportamento in seguito a riscaldamenti previsti o imprevisti, localizzati o generali, irraggiamento solare o da altre fonti di calore, differenze di temperatura tra ambienti diversi.
Stabilità chimico-reattiva	Attitudine di un determinato materiale a mantenere invariate nel tempo le proprie caratteristiche chimico fisiche
Stabilità morfologica	Attitudine di un elemento tecnico a mantenere invariate nel tempo la sua forma
Tenuta all'acqua	Attitudine ad impedire l'infiltrazione d'acqua o di altri liquidi
Resistenza agli agenti atmosferici	Attitudine a resistere agli effetti dovuti alle azioni chimiche e meccaniche degli agenti atmosferici

Figura 102 Tabella riportante i requisiti progettuali legati alla durata (UNI 8290-II parte)

Se nella programmazione dominano gli aspetti immateriali della durata, è nella fase di progettazione che si configurano le principali condizioni materiali che la influenzeranno nell'esercizio della costruzione. Tutti i requisiti progettuali collegati ad una idonea durata trovano sintesi nella durabilità, ovvero nella tendenza a resistere nel tempo, dato piuttosto arduo da considerare per l'elevato tasso di aleatorietà. Come ha dimostrato Giuseppe Ciribini, alla durabilità come dato progettuale è preferibile l'affidabilità, concetto complesso che determina il soggetto della durata, ovvero la qualità, intesa come insieme di proprietà che definiscono il grado di adeguatezza di una unità a uso chiaramente individuato (Germanà, 2005)

Controllabilità e facilità d'intervento	Possibilità di operare in modo agevole controlli e ispezioni destinati alla verifica dello stato di materiali e dei componenti e alla realizzazione degli interventi di manutenzione.
Pulibilità	Attitudine a consentire la rimozione di sporcizia e sostanze indesiderate senza ricorrere a personale specializzato
Riparabilità	Attitudine a ripristinare l'integrità, la funzionalità e l'efficienza di parti o di oggetti guasti, attraverso operazioni di smontaggio e rimontaggio con limitati rischi di danneggiamenti
Sostituibilità	Attitudine a consentire la collocazione di elementi tecnici al posto di altri

Figura 103 Tabella riportante i requisiti progettuali legati alla manutenibilità (UNI 8290-III parte)

Recuperabilità	Attitudine alla riutilizzazione di materiali o di elementi tecnici dopo demolizione o rimozione
Attitudine all'integrazione impiantistica	Possibilità di completare funzionalmente oggetti edilizi non impiantistici con oggetti edilizi impiantistici accostati, fissati od incorporati.
Attrezzabilità	Capacità di adattamento alle variazioni d'uso e di funzioni che implicino l'installazione di attrezzature e arredi
Recuperabilità	Attitudine alla riutilizzazione di materiali, elementi tecnici e componenti dopo la demolizione e rimozione dovute a trasformazioni o variazioni d'uso
Demolibilità	Attitudine all'abbattimento totale o parziale e alla rimozione
Asportabilità	Attitudine a consentire la collocazione di elementi tecnici o componenti al posto di altri

Figura 104 Tabella riportante i requisiti progettuali legati alla 'adattabilità e alle variazioni d'uso (UNI 8290-III parte)

La manutenzione deve essere una strategia pianificata per governare la complessità del costruito, puntando al sostenimento e alla sostenibilità delle componenti dell'ambiente costruito, nell'ottica di preservare il bene e di tutelare anche le risorse disponibili per le generazioni future³⁴

La manutenzione rappresenta una vera e propria strategia di governo della complessità al fine della sopravvivenza di tutte le componenti dell'ambiente costruito, giacché queste tradizionalmente, si distinguono rispetto agli altri beni patrimoniali per una specificità sostanziale del ciclo di vita: la lunghezza della vita utile.

Il ciclo di vita degli edifici, in effetti, se comparato a quello di qualsiasi bene o prodotto industriale, risulta certamente tra i più lunghi; ed è agendo su questa caratteristica che la manutenzione offre il suo contributo più efficace rispetto alla sopravvivenza dei macrosistemi (Di Sivo in Cattaneo et al., 2007).

³⁴ La manutenzione rappresenta una vera e propria strategia di governo della complessità al fine della sopravvivenza di tutte le componenti dell'ambiente costruito, giacché queste, tradizionalmente, si distinguono rispetto agli altri beni patrimoniale per una specificità sostanziale del ciclo di vita: la lunghezza della vita utile (Di Sivo in Cattaneo et al., 2007)

3.3 Metodologie di pianificazione della manutenzione edilizia

L'obiettivo della manutenzione di un edificio è quello di rendere i suoi livelli di accettazione delle prestazioni oggetto di osservazione il più a lungo possibili accettabili, ovvero quello di migliorarne la durabilità agendo sulla possibilità di ripristinare eventuali danni o semplicemente di gestire l'obsolescenza dell'edificio mediante procedure e controlli che ne impediscano la perdita di prestazioni nel tempo.

Negli edifici essa si caratterizza per le seguenti proprietà (Comitato nazionale italiano per la Manutenzione, 2016):

- la necessità di salvaguardare il valore dell'oggetto di manutenzione nel tempo;
- la possibilità che l'edificio subisca modifiche della destinazione d'uso nel corso della vita;
- la pluralità di soggetti responsabili della manutenzione stessa;
- la sua durata nel tempo prolungata

La programmazione della manutenzione e dell'ispezione delle componenti dell'edificio sono molto rilevanti nella progettazione esecutiva ed il nuovo codice dei contratti ne ha accentuato l'importanza, affermando che *'il programma di manutenzione, il manuale d'uso ed il manuale di manutenzione redatti in fase di progettazione, in considerazione delle scelte effettuate dall'esecutore in sede di realizzazione dei lavori e delle eventuali varianti approvate dal direttore dei lavori, che ne ha verificato validità e rispondenza alle prescrizioni contrattuali, sono sottoposte a cura del direttore dei lavori medesimo al necessario aggiornamento, al fine di rendere disponibili, all'atto della consegna delle opere ultimate, tutte le informazioni necessarie sulle modalità per la relativa manutenzione e gestione di tutte le sue parti, delle attrezzature e degli impianti' (Codice dei Contratti 2019, art 23).*

L'entità del deterioramento provocato da questi fattori e quindi la necessità di un intervento dipenderanno da:

- adeguatezza del progetto e l'idoneità dei materiali impiegati
- la qualità di esecuzione dei lavori iniziali di costruzione e dei successivi lavori di manutenzione
- il grado con cui il progettista ha saputo prevedere le future esigenze (Lee, 1993)

La trasformazione della qualità richiesta in rapporto alle prestazioni degli elementi tecnici di un edificio segue i fenomeni di:

- *degrado fisico*, dettato dall'usura a cui sono sottoposti gli elementi tecnici, dall'azione di agenti atmosferici esterni, da specifici difetti di origine o dalla compresenza di tutti questi fattori. Il degradamento dell'edificio discende da valutazioni di carattere principalmente tecnico, che prendono in considerazione le conseguenze dell'invecchiamento delle singole parti dell'edificio e del suo insieme, avendo presente l'aspetto economico;
- *l'obsolescenza*, che può essere:
 - funzionale, cioè legata alla variazione della 'domanda del prodotto edilizio. Per esempio, cambiamenti nella destinazione d'uso degli edifici o degli ambienti, oppure modificazioni di modelli di comportamento e di funzionamento;
 - tecnologica, legata al progresso tecnologico dei materiali;
 - economica, legata all'andamento dei tassi di mercato delle abitazioni e ai tassi di sconto (Molinari, 2002).

La manutenzione è un'attività fondamentale per incrementare la vita di servizio e viene qui considerata come 'modalità attiva' per migliorare la durabilità dell'edificio stesso, permettendo di pianificare e programmare al meglio le attività necessarie per diminuire i costi di impatto della stessa su committente. L'influenza che essa ha anche rispetto alla costruzione di nuovi edifici, è rilevante. Infatti, correttamente pianificata, permetterebbe mediante interventi straordinari di adeguare l'edificio alle esigenze cambiate dell'utenze.

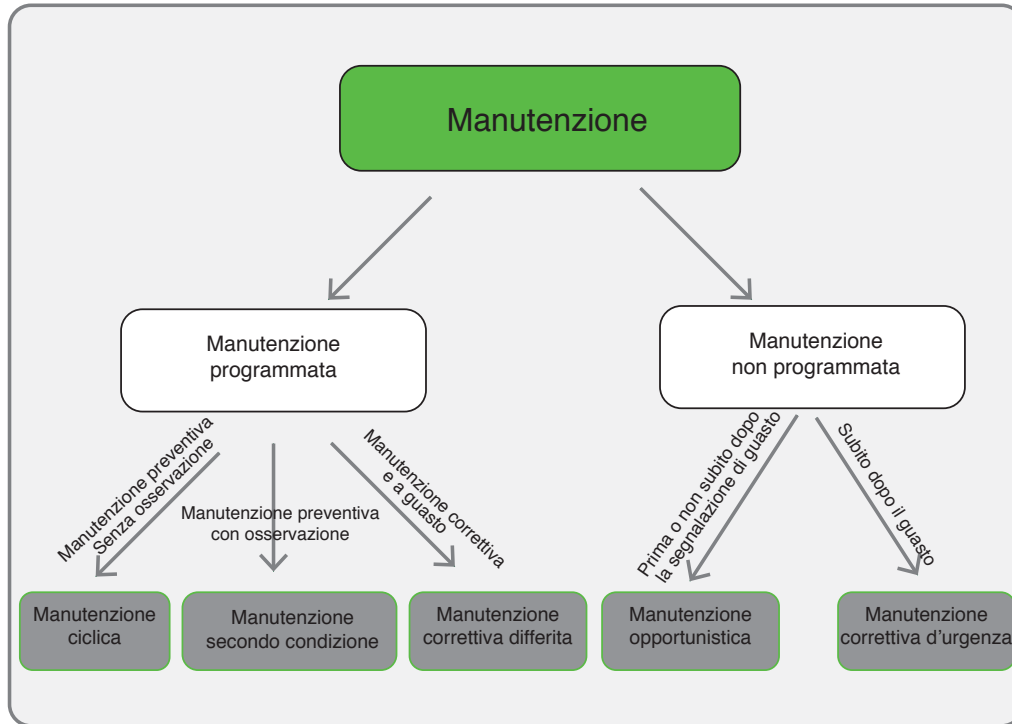


Figura 105 Classificazione dei livelli di manutenzione (norma UNI EN 15331:2011). Rielaborata dall'autore.

Vi è quindi una relazione tra la flessibilità delle soluzioni progettuali, la vita del fabbricato, i costi di manutenzione e i costi necessari per realizzare un nuovo edificio.

In generale, a un maggior grado di flessibilità corrisponde un più lungo periodo di utilizzo; di conseguenza, i costi di manutenzione saranno più elevati, ma comunque inferiori a quelli di una nuova costruzione (Lee, 1993).

In tali condizioni è difficile prevedere con precisione la vita utile di ogni componente. previsione di spesa per la manutenzione e in particolare la programmazione degli interventi di manutenzione, richiede di disporre e analizzare i dati di ritorno acquisiti dalle attività manutentive.

L'obiettivo è quello di garantire l'utilizzo del bene mantenendone il valore e le prestazioni iniziali entro limiti accettabili per tutta la vita utile, favorendo modifiche tecniche e normative ai requisiti tecnici iniziali o nuovi scelti dal gestore o richiesti dalla legislazione.

A tal fine, la codifica di criteri generali di raccolta dei dati essenziali per le attività manutentive e l'utilizzo di sistemi informativi appropriati possono essere funzionali alla formazione di banche dati e strumenti gestionali atti a migliorare la redditività degli immobili (UNI EN 15331:2011).

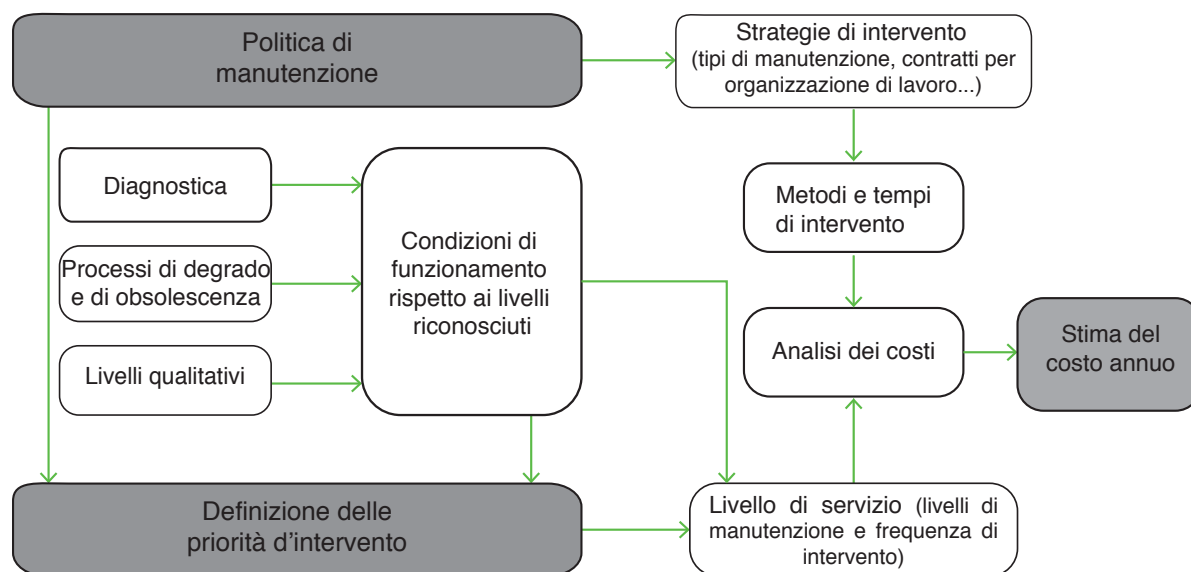


Figura 106 Esempio della formulazione ed inclusione di un piano di manutenzione all'interno di una strategia aziendale (norma UNI EN 15331:2011 – Allegato B). Rielaborato dall'autore

In questa prospettiva, i nuovi sistemi di informazione per la gestione del patrimonio sono fondamentali per pianificare, sin dalla fase definitiva, le metodologie più adeguate al mantenimento degli standard del progetto considerato. Più specificamente, le nuove tecnologie di Building Information Modeling, permettono di avere non solo una panoramica completa su ogni singolo componente dell'edificio, ma anche sulle relazioni che si instaurano tra i diversi sistemi presenti nell'edificio.

Strategia di manutenzione

La strategia di manutenzione è l'insieme delle norme fondamentali che regolano la distribuzione delle risorse (uomini, materiali, denaro) tra i diversi tipi di interventi di manutenzione che la struttura di gestione è in grado di fornire. Per consentire una distribuzione razionale delle risorse, è necessario valutare i vantaggi che l'organizzazione nel suo complesso può ricavare dalle operazioni intraprese in relazione ai costi sostenuti. È quindi necessario impostare il piano tenendo conto dei seguenti aspetti (Molinari, 2002):

- **obiettivi.** La manutenzione è una parte importante dell'approccio tecnologico che è stato definito come una combinazione di attività organizzative, finanziari e ingegneristiche e di altre procedure applicate alla proprietà immobiliare nell'intento di realizzare dei LCC economicamente validi. Ciò comporta che tutti i dipartimenti di una struttura organizzativa cooperino per assicurare che gli edifici siano progettati, realizzati, conservati, gestiti e utilizzati ai più bassi costi possibili. La determinazione dei LCC, o costi in uso, è una tecnica che normalmente viene concepita in termini di decisioni prese in fase di progettazione ma risulta ugualmente utile nel quantificare le spese per la manutenzione, le modifiche e le migliorie durante la vita del fabbricato;
- **benefici.** I vantaggi possono essere sia a breve che a lungo termine e possono riguardare fattori economici, tecnici o umani. I benefici economici derivano da un più efficace utilizzo del fabbricato e si riflettono in una maggiore produttività, in un minore spreco di materiali. I fattori tecnici sono legati alla conservazione delle caratteristiche fisiche del fabbricato e dei suoi servizi e si riflettono in una riduzione dei guasti e quindi dei tempi improduttivi, in una riduzione delle chiamate per le riparazioni d'emergenza, in una diminuzione degli incidenti, in un contenimento dei futuri costi di manutenzione;
- **strategie.** La questione concerne l'impostazione degli obiettivi economici e funzionali del settore che si occupa della manutenzione a partire dall'individuazione delle attività manutentive, degli standard qualitativi da garantire e dei vincoli economici. Verranno quindi messe a punto delle strategie in grado di realizzare un appropriato equilibrio tra manutenzione preventiva e correttiva, di stabilire sino a che punto il lavoro debba essere programmato piuttosto che basarsi sulle richieste dell'utente, di definire le priorità da accordarsi ai diversi tipi di lavoro.

REQUISITO	DEFINIZIONE	EFFETTI PRODOTTI DALLA CADUTA TENDENZIALE DELLE PRESTAZIONI
Stabilità	Stabilità del sistema nel suo insieme e nelle sue parti strutturali.	Dissesti statici dovuti ad affaticamento delle strutture. Avarie nel funzionamento di subsistemi e componenti. Caduta delle prestazioni di resistenza a carichi dinamici o eccezionali
	Resistenza ai corpi solidi e resistenza nel tempo di parti apribili e dispositivi di comando	
Benessere termo igrometrico	Idoneità a garantire nel tempo il controllo della temperatura d'ambiente, la stabilità e l'uniformità della temperatura in tutti i punti dell'edificio, il controllo dei disturbi dovuti all'irraggiamento, alle correnti d'aria e all'umidità	Avarie nel funzionamento di sub-sistemi e componenti, Alterazioni dei valori relativi alle condizioni di benessere termico-igrometrico.
Adattabilità e funzionamento in esercizio di finiture e organi meccanici	Attitudine delle finiture e degli organi meccanici ad adattarsi alle loro destinazioni d'uso	Avarie nel funzionamento delle parti meccaniche. Variazioni di aspetto
Aspetti degli elementi tecnici	Attitudine del sistema edilizio e dei subsistemi a garantire nel tempo un adeguato aspetto delle finiture e degli organi meccanici	Variazioni di aspetto
Funzionamento globale di subsistemi e componenti	Attitudine del sistema a garantire nel tempo il normale funzionamento di subsistemi e componenti che presentano parti sottoposte a cambiamenti di stato o di posizione	Avarie nel funzionamento di sub-sistemi e componenti. Alterazioni dei valori relativi alle prestazioni specifiche di sub-sistemi e componenti
Integrabilità degli elementi	Attitudine degli elementi tecnici ad integrazioni funzionali legate a trasformazioni delle condizioni e delle destinazioni d'uso	Incompatibilità tecnica o funzionale tra gli elementi tecnici. Caduta delle prestazioni relative al soddisfacimento dei requisiti di benessere

Figura 107 Requisiti di affidabilità (Di Giulio, 1991)

Manutenzione Ordinaria

Per Manutenzione ordinaria si intendono quei tipo di intervento durante il corso vita, atti a:

- mantenere l'integrità originaria del bene;
- mantenere o ripristinare l'efficienza dei beni;
- contenere il normale degrado d'uso;
- garantire la vita utile del bene;
- far fronte ad eventi accidentali.

I costi di Budget devono essere previsti nel budget di manutenzione e quindi regolarizzata in fase progettuale (UNI EN 13306-2018).

Manutenzione Correttiva (UNI EN 15331:2011)

Questo tipo di strategia prevede interventi solo in seguito a malfunzionamenti impresti. Solitamente questo tipo di strategia è sconsigliabile per tutto l'edificio, ma necessaria per alcuni subsistemi particolarmente oggetto di malfunzionamenti o avarie dei componenti (es. sistema elettrico).

Manutenzione Preventiva

Manutenzione Ciclica

Prevede la stesura di un piano di manutenzione che tenga conto di tutti i dati raccolti sui materiali utilizzati per la costruzione dell'edificio e le attività di posa in opera originaria. Deve prevedere al suo interno tutte le attività, le scadenze, gli attori coinvolti, le risorse e le previsioni di spesa

Manutenzione secondo condizione

Si basa su attività di ispezioni regolari dei componenti che vengono considerati critici (per le loro funzioni o per la loro tecnologia) e quindi di un piano di ispezioni regolare e definito.

Manutenzione Straordinaria

La Manutenzione Straordinaria è generalmente una modalità di intervento non ricorrente, sia per gli elevati costi in relazione al valore del bene, sia in relazione ai costi di manutenzione ordinaria (UNI 11063:2017).

Gli interventi hanno lo scopo di ottenere:

- il miglioramento della qualità del prodotto o il suo adeguamento a nuove esigenze;
- l'incremento dell'efficienza energetica
- la maggiore sicurezza, la riduzione o prevenzione di contaminazioni ambientali o il conseguimento di benefici ambientali.

Di conseguenza queste attività possono:

- prolungare la vita utile e/o in via subordinata migliorarne l'efficienza, l'affidabilità, la produttività e la manutenibilità e renderli ispezionabili;
- non ne modificano le caratteristiche originarie

La capacità di pianificare la manutenzione deve tener conto di alcune criticità, legate a diversi aspetti del progetto stesso.

Possiamo definire la criticità di controllo come la sintesi di tutti i diversi aspetti potenzialmente dannosi legati alla gestione della fornitura dei materiali. Le caratteristiche più rilevanti sono:

- la specificità del materiale di manutenzione, che è una caratteristica rilevante sul controllo della fornitura. L'utilizzo di componenti standard diminuisce questa fragilità, permettendo di reperire da più fonti lo stesso componente e permettendo di velocizzare eventuali sostituzioni in caso di danno;
- la prevedibilità del comportamento in opera dei componenti montati, che da luogo ad un'alta criticità nel caso di scarsa prevedibilità e/o domanda a profilo fortemente variabile, mentre genera una criticità più bassa nel caso sia possibile prevedere con buona confidenza statistica l'usura dei componenti. L'obiettivo finale è quello di raggiungere un prefissato livello di qualità, che non potrà essere considerato in termini assoluti, ma verrà associato a una parallela valutazione delle prestazioni dei componenti analizzati singolarmente o alle unità tecnologiche nel loro insieme, di cui un edificio è necessariamente soggetto

Alcuni dei concetti chiave nella gestione della manutenzione in genere, coincidono con la valutane del parametro temporale, del ruolo della componente economica della qualità in uso, del costo nella non qualità e della valutazione dei costi di sostituzione (Cattaneo et al., 2007; Bruno Daniotti, 2012; Molinari, 2002)

3.4 Il piano di manutenzione

Il piano di manutenzione³⁵ è lo strumento normativo attraverso il quale il progettista pianifica come contrastare l'azione del tempo sull'edificio, attraverso misure che siano progettuali, legate alle caratteristiche di durabilità e manutenibilità dell'involucro e alle prescrizioni sulla corretta posa in opera. Qui ci sono indicazioni sui requisiti tecnici, formali e procedurali col fine di ottenere previsioni tali da consentire un'adeguata pianificazione e gestione del mantenimento e/o miglioramento degli standard qualitativi.

Il piano di manutenzione è il documento che al suo interno riassume tutte i sistemi e le procedure che completano le indicazioni del progetto esecutivo per programmare la gestione dell'opera nel tempo. Vi si trovano le attività di manutenzione previste per l'intervento realizzato allo scopo di mantenere nel tempo funzionalità, qualità efficienza e valore economico.

L'obiettivo principale delle operazioni di manutenzione è infatti quello di aumentare la durabilità dell'edificio, permettendone una durata adeguata e il più possibile prolungata nel tempo dei vari elementi che lo costituiscono.

Le informazioni che si trovano all'interno riassumono conoscenze chimico fisiche dei componenti e dei materiali impiegati, l'osservazione delle indicazioni e le specifiche del produttore sui singoli componenti, la manutenzione dichiarata e programmata dai produttori per essi.

I documenti operativi generali, all'interno del piano di manutenzione, sono:

- a) il manuale d'uso;
- b) il manuale di manutenzione;
- c) il programma di manutenzione.

All'interno del *manuale d'uso* troviamo le istruzioni per l'uso di alcune parti significative del bene, soprattutto per quanto concerne gli impianti tecnologici.

Questa sezione è diretta principalmente all'utente, per capire come utilizzare l'edificio e le attrezzature impiantistiche.

Gli elaborati interni a questa parte di documento riguardano:

- la collocazione nell'intervento delle parti menzionate;
- la rappresentazione grafica;
- la descrizione;
- le modalità di uso corretto.

In questa sezione del documento, vanno indicati modalità e tempi di ispezione di alcuni componenti dell'edificio, oltre a cenni per interpretare fenomeni di deterioramento anomalo, al fine di sollecitare la chiamata, il controllo e l'eventuale intervento di specialisti.

Obiettivo di questa sezione è quello di sensibilizzare l'utente al corretto uso, per evitare tutti i possibili danni da utilizzo improprio.

All'interno del *manuale di manutenzione* si trovano tutte le caratteristiche dei materiali e dei componenti utilizzati nelle singole unità tecnologiche, con le indicazioni per la corretta manutenzione e le indicazioni

³⁵ Normato nell'art 38 del d.P.R. 5 ottobre 2010, n. 207 "Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE». Il piano di manutenzione è un elaborato obbligatorio del progetto esecutivo

necessarie per la movimentazione dei pezzi, l'ispezione, l'eventuale smontaggio e la possibilità di intervento.

È onere del progettista indicare in questo documento le caratteristiche dei materiali utilizzati e la previsione dei cicli ispettivi e di manutenzione richiesti.

Infine, nel *programma di manutenzione* troviamo indicazioni di massima sul livello minimo delle prestazioni, sulle anomalie riscontrabili, sulle attività direttamente eseguibili dall'utente, le procedure ed i tempi, le attività da eseguire da personale specializzato e i cicli di ispezione necessari a tali attività.

Oltre alle attività manutentive è bene riportare in ordine temporale i diversi interventi di manutenzione in modo da poter ricostruire le opere effettuate nel corso del tempo per consentire la corretta conservazione del bene considerato.

3.5 Le diverse ipotesi di fine vita

La progettazione consapevole e l'uso delle risorse sono sempre al centro della progettazione contemporanea per 'preservare per le generazioni future le risorse naturali necessarie al mantenimento della vita umana e al suo sviluppo'³⁶.

La progettazione dell'edificio non può più essere pensata come collegata ad una 'linea del tempo', che scorre solamente verso il futuro: per la progettazione dei nuovi edifici sono richieste delle capacità di poter innescare meccanismi di 'circolarità', che sia dei materiali, ma anche dei componenti o di assemblaggi e connessioni e di interi edifici.

Esistono molti possibili scenari di fine vita per un determinato prodotto o edificio, ma possono essere classificati in modo approssimativo in alcuni scenari di base. Diversi autori hanno suggerito opzioni appropriate per gli scenari di fine vita per i prodotti industriali.

Sulla produzione di prodotti per ridurre il consumo energetico del ciclo di vita si discute da anni (Akinade et al., 2017; Kestner & Webster, 2010; Morgan & Fionn, 2005) il modello delle 'tre erre', acronimo per riutilizzo, rigenerazione e riciclaggio.

- Il riutilizzo implica che un prodotto venga semplicemente riutilizzato più di una volta per lo scopo previsto. Ad esempio, una bottiglia di latte viene restituita al caseificio per essere riempita nuovamente.
- La rigenerazione implica che il prodotto venga restituito al luogo di produzione per essere smontato nei suoi componenti di base che, se ancora riparabili, vengono riutilizzati nella fabbricazione di nuovi prodotti.
- Il riciclaggio implica la raccolta di prodotti per la separazione nei materiali di base, che possono essere riutilizzati come risorsa per sostituire le materie prime nel processo di produzione.

La gestione dei rifiuti, (ossia la raccolta, il trasporto, il recupero e lo smaltimento dei rifiuti, compresi il controllo di tali operazioni e gli interventi successivi alla chiusura dei siti di smaltimento, nonché le operazioni effettuate in qualità di commerciante o intermediario) costituisce attività di pubblico interesse e deve avvenire nel rispetto della gerarchia nella gestione dei rifiuti prevista dall'art. 179 del D.lgs. 205 del 2010, dove sono indicate gerarchicamente le strategie preferibili nella gestione dei rifiuti, quali:

- 1) Prevenzione
- 2) Preparazione per il riutilizzo
- 3) Riciclaggio
- 4) Recupero di altro tipo, per esempio il recupero di energia;
- 5) Smaltimento

A tal fine, sempre il decreto descrive le categorie gerarchiche preferibile per la gestione dei rifiuti. Viene definita attività di *prevenzione* quando vi sono delle misure adottate prima che una sostanza, un materiale o un prodotto diventi un rifiuto e che possa prevenire la quantità, attraverso anche l'estensione della durata o in generale del ciclo vita del componente, gli impatti negativi sull'ambiente e la salute umana ed infine che riduca il contenuto di sostanze pericolose in materiali e prodotti.

Sono definite *preparazioni per il riutilizzo* tutte le attività che necessitano il componente per essere posto nella condizione di essere riutilizzabile, quale le operazioni di controllo, pulizia, smontaggio e riparazioni. Viene definito *riciclaggio* qualsiasi operazione di recupero attraverso cui i rifiuti sono trattati per ottenere prodotti, materiali o sostanze da utilizzare per la loro funzione originaria o per altri fini, mentre *recupero*

³⁶ Tratto dall'art 5 della risoluzione Unesco della conferenza generale del XXIX congresso,(United Nations Educational, 1998)

qualsiasi operazione il cui principale risultato sia di permettere ai rifiuti di svolgere un ruolo utile, sostituendo altri materiali che sarebbero stati altrimenti utilizzati per assolvere una particolare funzione o di prepararli ad assolvere tale funzione, all'interno dell'impianto o nell'economia in generale ed ovviamente lo smaltimento è invece l'ultima opzione di trattamento dei rifiuti, che ne prevede diverse modalità di valorizzazione.



Figura 108 Le strategie nella dismissione dei rifiuti.

La spinta della sostenibilità ambientale, come già detto, è una delle più forti per quanto riguarda il nuovo interesse dei diversi utenti verso gli edifici in legno.

Lavorare sulla durabilità del materiale da un lato, ma dall'altro sulla durabilità di sistema significa anche ragionare sulle possibilità di aumentare la vita utile dei materiali che compongono l'edificio e quindi di diminuire l'impatto globale ambientale.

Oltre alle caratteristiche legate alla migliore durabilità dei componenti, il progettista si trova nella fase iniziale di progetto a dover scegliere diverse opzioni che saranno poi importanti dal punto di vista della possibilità di fine vita dell'edificio.

A livello provocatorio, potremmo dire che la scelta delle caratteristiche del componente (standardizzazione, pretrattamenti, fissaggi, prefabbricazioni, solo per citarne alcune) dovrebbe essere dettata non dalle richieste prestazioni durante la vita utile dell'edificio, quanto alle caratteristiche che più permettono al componente di poter essere smaltito secondo lo scenario di fine vita previsto.

Nel caso dei componenti a base legno, gli scenari di fine vita, possono ricondursi a:

- seppellimento
- disassemblaggio
- valorizzazione energetica

All'interno di ognuna di queste categorie abbiamo poi delle suddivisioni successive: il seppellimento può essere previsto come fine vita ultimo, anche legato alla formazione di bio-metano risultando anche per la valorizzazione del materiale dal punto di vista energetico.

Sono riportati in letteratura anche seppellimenti temporanei di materiale in attesa della definitiva messa a dimora, legati ai fenomeni di studio dei costi dei terreni (Stephen & Buchanan, 2013).



Esiste la strategia di dismettere il componente mediante il disassemblaggio, prevedendo il riciclo o il riuso di essi.

In relazione ad essa è fondamentale che il progettista abbia previsto delle misure per agevolare queste azioni, con particolare riguardo ai nodi e alla percentuale di materiale riutilizzabile.

Infine possono essere previste diverse strategie di valorizzazione energetica, quali la pirolisi, incenerimento, la gasificazione e l'estrazione dei trattamenti chimici del materiale, che di fatto non hanno attenzione alla conservazione del materiale (sia dal punto di vista della durabilità che della integrità fisica) e permettono una dismissione più rapida.

La problematica relativa ai vantaggi ed agli svantaggi di ogni smaltimento diventa rilevante in relazione alle caratteristiche dei componenti.

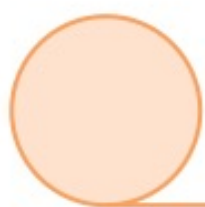
Per quanto riguarda la messa a dimora tramite sotterramento, i vantaggi sono legati alla sostenibilità economica e al veloce tempo di stoccaggio, al fatto che non richieda cubature e volumetrie esterne al terreno per lo stoccaggio del materiale e che, nel caso del legno pretrattato, si possa mettere a dimora in attesa dei progressi tecnologici che ci permetterebbero di farne una dismissione più efficace.

Gli svantaggi sono che i pretrattamenti potrebbero riversarsi nell'ambiente e quindi alterare le condizioni del suolo naturali, che richiedono vasti lotti di terreno per lo stoccaggio e che si presenta la necessità di articolare un archivio con i siti di stoccaggio.

Il vantaggio del fine vita del disassemblaggio è quello di poter generare nuovi componenti da vecchie parti dell'edificio con minore energia necessaria per lavorarvi e senza il rilascio di ulteriori agenti chimici sull'ambiente. Gli svantaggi sono legati ai costi elevati, che consistono sia nella strategia di disassemblaggio dell'edificio che ha tempi necessariamente più lunghi. Il riuso dei componenti è legato al pretrattamento originario scelto per i materiali, che non necessariamente può continuare ad esercitare la sua efficacia ma anzi può essere un problema per il riuso.

Infine la valorizzazione energetica ha il vantaggio di produrre energia dagli scarti, di non causare esalazioni chimiche nocive in caso di mancanza di pretrattamenti chimici nocivi, né di rilasciare agenti fossili nell'atmosfera.

Gli svantaggi sono legati alle esalazioni che potrebbero rilasciare i componenti nell'ambiente se non correttamente previsti, oltre che lo scarto dei liquami combustibili dopo la combustione, che sono di difficile smaltimento (Brischke, Behnen, Lenz, Brandt, & Melcher, 2012; Hill, 2006; R. Rowell, 2005; Stephen & Buchanan, 2013)



CAPITOLO 4

INDICAZIONI PER IL PROGRAMMA DI MANUTENZIONE

4.1 Casi di studio : repertorio del costruito

La parte iniziale dello studio dello stato dell'arte del costruito con componentistica in legno, è stata effettuata mediante lo studio di diversi casi studio di edifici costruiti negli ultimi venti anni con tecnologie a base legno.



TITOLO ARTICOLO	PROGETTISTA	LUOGO	NAZIONE	ANNO	DEST. d'USO	T.C.	General contractor	Materiali esterni	Specie (per specificare)	Presenza camera d'aria	Info sistemi montaggio	Presenza guaina	COMPOSIZIONE PARETE PERIMETRALE ESTERNA										NOTE						
Residenza privata	Francesco Longano	Monopoli - Bari	Italia	2007	residenziale	block		intonaco		No		no	intonaco (17-20 cm)	gialla (termoisolante)	carta traspirante	isolamento in lana di roccia	membrane di vapore	pannelli in legno a incastro											
Colonia della gioventù cattolica	Pardeller Shener - Bz	San Lugano - Bz	Italia	2002	vacanza-for-mazione	telaiato																							
Casa Huber Schmaier	Martin Stauder	Vandocci - Bz	Italia	2003	residenziale	telaiato		legno a vista	larice	si	telaiato	no	pannelli in fibra di gesso (perforati 12x24 cm)	resistente al fuoco (perforati 12x24 cm)	verni incolore (perforati 12x24 cm)	isolamento in lana di roccia	membrane di vapore	pannelli in legno a incastro											
Casa Huber Schmaier	schmaier architetti	Valladara di Mazzo - Bz	Italia	2003	residenziale	prefabbricata		legno a vista	larice	si	telaiato	no	investimenti in legno (2,1 m in larghezza)	pannelli in legno (24 cm)	costruzione in legno (24 cm)	pannelli in legno (11,5 cm)	barriere al vapore	pannelli in legno a incastro											
Casa Pitzcher	TAAUT Ventura	Villigeno - Bz	Italia	2009	residenziale	prefabbricata		intonaco		no		si	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento
Casa dello studente	Studio Lamberto Rossi	Coppito - AQ	Italia	2009	residenziale	telaiato pref.																							
Scuola materna comunale	Matteo Robiglio et al.	Vinovo - Ts	Italia	2008	scuolastico	telaiato pref (plaf frame)		Perlite	abete	si	telaiato	no	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento
Asilo le Farfalle	Atelier Projet	Montevare - AR	Italia	2011	scuolastico	telaiato		legno a vista	larice	si	telaiato	no	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento
Asilo le Farfalle	Atelier Projet	Montevare - AR	Italia	2011	scuolastico	telaiato																							
Casa Cecchi	Traverso Vighy architetto	Vicenza	Italia	2010	residenziale	legno lamellare																							
Guest house	Enrico Iaccone architetto	Bologna	Italia	2008	residenziale	xlam		legno a vista		si	chiusatura	si	pannelli in legno trattato per esterni	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento
Scuola a Goriano Sicoli	Cristiano Picco architetto	L'Aquila	Italia	2008	scuolastico	xlam		legno a vista	larice	si	chiusatura	si	doghe in larice con larghezza diversa 2,4 m	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento
Container per ambulatori	Paolo Bonatti	Bolzano	Italia	2010	sanitaria	Xlam		intonaco		no			intonaco 1 cm	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento	intonaco fibrocemento

Attraverso riviste di settore, contatti con professionisti e aziende, nonché una revisione della letteratura di settore, sono state analizzate circa 140 diverse realizzazioni, rilevando quali fossero le caratteristiche ricorrenti che potessero identificare un campione di riferimenti per la ricerca di specifiche di prestazione relative alla durabilità.

Per diverse realizzazioni si è rilevato come l'utilizzo del legno per l'edificio sia stata una scelta successiva alla progettazione architettonica preliminare. Questa prima osservazione è diventata oggetto di interesse e di scambio con alcuni degli attori degli interventi analizzati ed è poi stata considerata come una delle carenze principali nella cultura del costruire contemporanea degli edifici a base lignea.

Il materiale ha caratteristiche peculiari che condizionano in maniera rivelante le scelte morfologiche e tipologiche di progetto, che quindi, per buona progettazione, devono necessariamente partire dalla progettazione iniziale dell'edificio. Le caratteristiche intrinseche del materiale, oltre alle nuove abilità che stanno acquisendo sempre più progettisti e addetti del settore, giustifica totalmente l'utilizzo di tecniche di prefabbricazione sempre più raffinate e dettagliate.

La scelta dei casi studio guidata dalla scelta della rappresentatività delle soluzioni rispetto al panorama del costruito, differenziandole per caratteristiche tecniche e funzionali dei sistemi di rivestimenti esterni e interni caratterizzati dal legno a vista.

Le fonti delle informazioni organizzate nella sintesi schematica del lavoro sono state prevalentemente di tipo diretto (documenti tecnici e descrittivi di progetto, interviste ai progettisti, sopralluoghi e documentazione fotografica).

Per alcune informazioni tecniche si è fatto riferimento a fonti indirette provenienti dalle schede tecniche delle aziende produttrici dei prodotti utilizzati.

La classificazione dei casi studio ha previsto un'articolazione che ha preso come elemento connotante l'andamento dei componenti del rivestimento esterno, caratteristica rilevante non solo dal punto di vista estetico, ma anche per le ripercussioni che ha sulla configurazione tecnologica della facciata.

Grazie all'articolazione di questi casi studio è stato possibile rilevare delle best practice del costruito ed avviare un confronto tra le diverse soluzioni evidenziando i componenti maggiormente utilizzati e le tecnologie che richiedono, le specie e l'articolazione della soluzione tecnica in genere.

Grazie al confronto con alcuni dei protagonisti delle opere e con altri tecnici del legno, è stato possibile individuare quale siano le indicazioni progettuali da prevedere per edifici con pareti perimetrali verticali a base legnosa, cercando di lavorare sulla durabilità del sistema, cercando di rilevare quale siano i fattori che maggiormente incidono su di essa in pareti perimetrali verticali con componenti a base legnosa.

Sono state quindi approfondite alcuni edifici in Europa, privilegiando in prima istanza quelli con tecnologia costruttiva tutto legno e successivamente edifici con tecnologie costruttive ibride, ovvero dove i componenti di involucro avevano caratteristiche non legate allo strato resistente, con l'obiettivo di valutare la compatibilità materica delle diverse soluzioni ed evidenziare le differenze tra i casi studio dove il legno era usato anche con fini strutturali o no.

In alcune delle realizzazioni è stato realizzato possibile effettuare un sopralluogo per verificare l'attuale stato di conservazione dell'opera, intervistando progettisti, utenti e gestori.

Sono state scelte per la visita opere tra i 5 ed i 10 anni dalla fine della costruzione, volendo valutare il grado di obsolescenza delle pareti perimetrali verticali dopo un tempo che potrebbe essere ragionevolmente il primo intervallo per un eventuale intervento manutentivo.

In relazione alla durabilità si è scelto poi di studiare le problematiche relative alle richieste di manutenzione intesa come attività rilevante per il prolungamento della vita utile dell'edificio, e quindi come fase fondante per aumentarne la durabilità.

La tematica è ben nota ai progettisti, ma difficilmente sono state introdotte misure che possano agevolare nel tempo attività di ispezione periodica o sostituzione, scaturendo quindi difficoltà nella gestione della durabilità dell'immobile considerato.

Nei casi rilevati di committenza pubblica era quasi sempre presente il piano di manutenzione elaborato necessario per le gare a concorso pubblico ma la visione di questi elaborati è stata quasi sempre difficoltosa, sia per tematiche legate alla privacy degli utenti, sia per le difficoltà di reperire questi documenti, che passando dai progettisti al gestore, diventano difficili da rintracciare.

In questo forse l'informatizzazione e la gestione suggerita negli ultimi anni per la gestione del costruito, che sia pubblico o privato, potrebbe essere una modalità per organizzare le necessarie azioni di controllo o monitoraggio del costruito.

Per studiare la durabilità delle pareti perimetrali verticali con componentistica a base legnosa è stato tarato un sistema di osservazione che ha preso in considerazione in prima istanza i dati generali della costruzione, rilevando le peculiarità compositive e la tecnologia costruttiva, cercando di valutare se la scelta del materiale da costruzione avesse influito sulle valutazioni compositive e tecniche del progettista, in relazione e quanto fosse percepito il problema della durabilità del costruito.

	Strato funzionale	Componente	Caratteristiche materiche	Dim mm
1	Strato di rivestimento esterno			
2	Strato di isolamento			
3	Strato resistente			
4	Strato di separazione			
5	Strato di isolamento			
6	Strato di collegamento			
7	Strato resistente			
8	Strato di isolamento			
9	Strato di rivestimento interno			

Mediante l'analisi dei casi studio è stato possibile costruire un repertorio dell'edificato, ovvero individuare le sequenze di strati funzionali più ricorrenti e quindi ritenute più affidabili, legandole alle caratteristiche materiche e produttive rilevanti per ogni componente di parete.

Con l'intenzione di valutare e confrontare l'uso dei componenti nei diversi strati, è stato articolato un sistema sintetico di informazioni che ha permesso di caratterizzare i componenti all'interno degli strati delle soluzioni considerate ed operare successivamente i debiti confronti.

	Spessore	Massa volumica	Resistenza a flessione	Resistenza a trazione	E	Reazione al fuoco	Conducibilità termica	Resistenza alla diffusione del vapore	Durabilità	Emissione formaldeide	Stabilità dimensionale
	mm	Kg/m3	MPa	MPa	MPa	Classe	W/mK	μ	Classe	Classe	mm
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											

In relazione alla durabilità delle pareti perimetrali verticali, sono state indagate le differenze dei sistemi di rivestimento, che sono spesso i primi elementi che intaccano la durabilità dell'involucro tutto, se non altro per fenomeni di obsolescenza estetica.

E' stato elaborato uno strumento di osservazione che ne caratterizzasse oltre alla composizione materica, anche le proprietà di relazione con gli altri componenti e le caratteristiche morfologiche.

Oltre alle prestazioni tecniche rilevate o dalle schede tecniche fornite dai progettisti e dalle aziende, sono state osservate alcune delle caratteristiche morfologiche e di fissaggio che influenzano in maniera rilevante le possibilità di ispezione e manutenzione quindi di durabilità dell'unità tecnologica.

Nome del componente analizzato					
Strato di rivestimento esterno	Resistenza a flessione			Dimensione dei componenti	
	Resistenza a trazione			Trattamenti per migliorare la durabilità	
	Reazione al fuoco			Lavorazioni superficiali	
	Emissione formaldeide			Sostituibilità del componente	
	Conducibilità termica			Connessione tra elementi contigui	
	Permeabilità al vapore			Sottostruttura di connessione con lo strato resistente	
	Durabilità			Connessione con lo strato resistente	
	Stabilità dimensionale			Posa in opera	
	Resistenza al graffio				
	Resistenza alla fessurazione				
	Resistenza ai raggi UV				

Si aggiunge poi la variazione sulle specie legnose utilizzate, prettamente in facciata, per consentire valutazioni riguardo le specifiche tecniche, le variazioni cromatiche le prestazioni legate alla durabilità (es. durezza di Brindell, resistenze e caratteristiche di fissaggio del componente).

Caso studio 1. Asilo la Farfalla

Denominazione dell'intervento	Asilo La Farfalla
Localizzazione dell'intervento	Montevarchi (Ar)
Tipo di intervento	Nuova costruzione
Committenza	Amministrazione comunale di Montevarchi
Progettista/gruppo di progettazione	Arch. Massimiliano Vanella
Progettazione strutturale	Ing. Marco Savoye [Atelier Project]
Azienda fornitrice dei prodotti in legno	Ati con De Pino
Impresa di costruzione	Pro holz emilia
Tempi di realizzazione	Settembre 2009 - Gennaio 2011
Superficie	350 mq
Costi dell'intervento	€ 708.242,75

L'edificio si trova nella periferia della cittadina si allinea al contesto abitativo circostante. La disposizione dell'asilo è articolata intorno alla corte interna protetta, che viene utilizzata per l'attività dei bambini.

L'orientamento dell'edificio e degli spazi interni, la posizione e la dimensione delle aperture e degli sporti sono studiati per garantire, durante la giornata, il massimo comfort ai piccoli utenti.

La struttura portante dell'edificio è caratterizzata da telai in legno (8x14 cm) controventato internamente con OSB (1,8 cm) e chiuso esternamente con tavolato diagonale grezzo di abete (2,5 cm).

Verso l'interno è prevista un'intercapedine per impianti costituita da listelli di 5cm, coibentata con fibra di canapa e chiusa con doppia lastra in cartongesso. Tutti gli elementi portanti (pareti e copertura) sono realizzati in legno di abete bilama con coibentazione pesante (fibra di legno con densità 170 kg/m³) in modo da ottenere un involucro altamente prestazionale anche nei mesi più caldi.

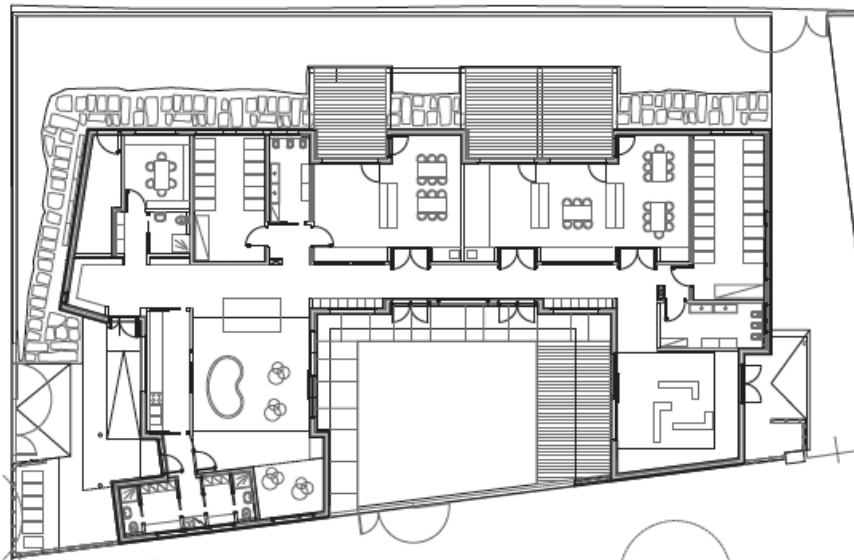


Immagine 1 Pianta del piano terra dell'edificio



Immagine 2 (sinistra) Ingresso posteriore con doghe in larice



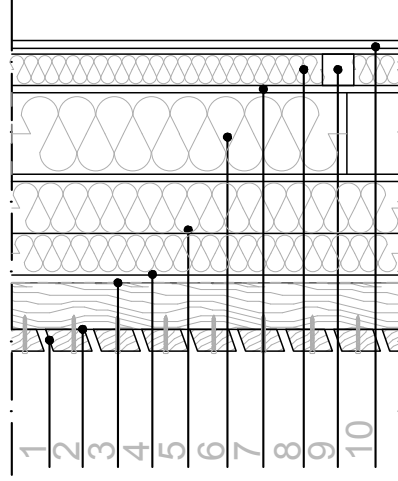
Immagine 3 Ingresso principale lungo strada



Immagine 4 Immagine della soluzione d'angolo d'invo

Qualità tecnologica - Caratterizzazione funzionale sistema di chiusura in legno

Strato funzionale	Componente	Caratteristiche materiche e produttive	Dimensioni mm
1 Strato di rivestimento esterno	Doghe orizzontali	Doghe in larice	30
2 Strato di ventilazione	Doppia listellatura	Listelli in larice	40 x 40
3 Strato di separazione	Barriera al vento		0,05
4 Strato di separazione	Tavolato diagonale	Abete grezzo	25
5 Strato di isolamento	Pannelli di isolamento	Fibra di legno	80+60
6 Strato resistente	Struttura a telaio	Abete bilama	120x60
7 Strato di separazione	Pannello di irrigidimento	OSB 3	18
8 Strato di isolamento	Materassino per impianti	Fibra di lino	40
9 Strato di collegamento	Listellatura di sostegno	Listelli di larice	40
10 Strato di finitura interna	Pannello in cartongesso	Ctg	12+12



	Spessore mm	Massa Volumica Kg/m3	Resistenza a flessione MPa	Resistenza a trazione MPa	MPa	Reazione al fuoco Classe	Conducibilità termica W/mK	Resistenza alla diffusione del vapore μ	Durabilità Classe	Emission formaldeide Classe	Stabilità dimensionale mm
1	30	400	51	0,34	11000	D-s2, d0	0,13	Da 20 a 50	3-4	E1	0,01%
2	40	400	51	0,34	11000	D-s2, d0	0,13	Da 20 a 50	3-4	E1	0,01%
3	0,50		Strappo 300/250 N	Chiodi 250/250 N				< 0,009			+/- 1 mm
4	25	430	30	9	8200	D-s2, d2	0,09	Da 50 a 150	3-4	E1	
5	80	150		>0,0075		E	0,040	5			
6	120	430	24			D-s2, d0			4	E1	
7	18	540	18	0,30	4000	D-s2, d0	0,1	150		E1	+/- 2 mm
8	40	400	51	0,34	11000	D-s2, d0	0,13	Da 20 a 50	3-4	E1	0,01%
9	40										
10	12	680	210			A2-s1,d0	0,20	10			

Doga di larice naturale a sezione scanalata romboidale		
Resistenza a flessione	51 N/mm ²	Dimensione dei componenti
Resistenza a trazione	0,34 N/mm ²	Trattamenti per migliorare la durabilità
Reazione al fuoco	D-s2, d0	Lavorazioni superficiali
Emissione formaldeide	E1	Sostituibilità del componente
Conducibilità termica	0,13 W/mK	Connessione tra elementi contigui
Permeabilità al vapore	Da 20 a 50	Sottostruttura di connessione con lo strato resistente
Durabilità	3-4 (EN 350.2)	Connessione con lo strato resistente
Stabilità dimensionale	0,24% perp. alla fibratura 0,01% parall. alla fibratura	
Resistenza di Brindell	19	Posa in opera
Resistenza alla fessurazione	NPD	Listelli ad andamento orizzontale con giunto aperto.
Resistenza ai raggi UV	NPD	

Caso studio 2. Residenza M+R

Denominazione dell'intervento	Residenza M+R
Localizzazione dell'intervento	Altedo di Malalbergo (Bo)
Tipo di intervento	Nuova costruzione
Committenza	Privato
Progettista/gruppo di progettazione	Diverserighestudio
Progettazione strutturale	Ing. Lucio Fierro
Azienda fornitrice dei prodotti in legno	
Impresa di costruzione	Pro holz Emilia
Tempi di realizzazione	2010-2011
Superficie	350 mq

L'edificio è stato costruito nel 2011, nella provincia di Bologna consiste in due residenze disposte asimmetricamente su due piani. L'articolazione delle planimetrie permette ad entrambe le residenze di avere tre affacci e gli angoli all'interno di ogni singolo appartamento non sono mai di 90°.

La struttura portante è realizzata mediante pannelli Xlam, su struttura di fondazione a travi rovesce in calcestruzzo armato.

Le partizioni perimetrali verticali sono costituite da pareti con isolamento esterno a cappotto, la finitura esterna è in listelli di larice ad andamento orizzontale, prevista in alcuni punti per schermare l'involucro. Questo tipo di soluzione articola un modello funzionale che non corrisponde né ad una classica parete perimetrale verticale con isolamento esterno né ad una facciata ventilata.

Infatti, dal punto di vista energetico, la camera di ventilazione esterna non è chiusa con una contro parete e quindi l'effetto camino è decisamente attenuato.

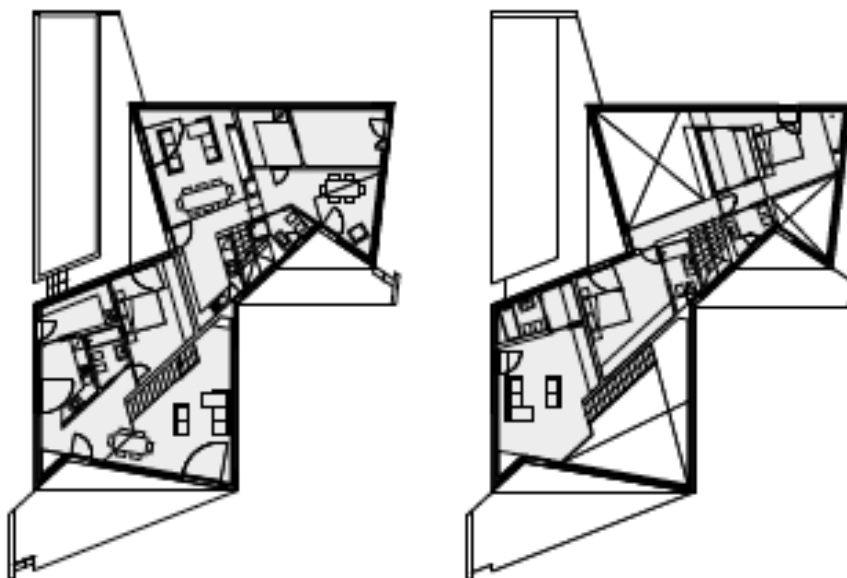


Immagine 5 Pianta del piano terra e del primo piano dei due appartamenti



Immagine 6 Involucro con listelli in larice e soluzione di ombreggiamento

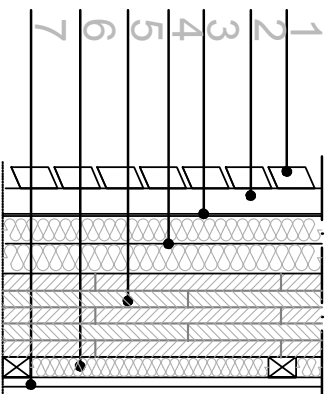


Immagine 7 Prospetto principale



Immagine 8 Immagini della soluzione di prospetto (sinistra) e due foto di dettaglio degli interni.

Qualità tecnologica - Caratterizzazione funzionale sistema di chiusura in legno



	Strato funzionale	Componente	Caratteristiche produttive	materiche	e	Dimensioni mm
1	Rivestimento esterno	Listello in larice naturale	Larice naturale			30 x 40
2	Strato di collegamento	Montante della struttura di supporto	Abete naturale			60 x 60
3	Strato di separazione	Rasatura	Intonaco bianco			10
4	Strato di isolamento	Isolamento in pannelli	Fibra di legno			60 + 60
5	Strato resistente	Struttura in Xlam	Pannello strutturale 5 strati			147
6	Strato di isolamento	Isolante per passaggio impianti	Lana di roccia			27
7	Rivestimento interno	Pannello di finitura	Abete naturale			25

	Spessore mm	Massa volumica Kg/m ³	Resistenza flessione MPa	Resistenza trazione MPa	μ MPa	Reazione fuoco Classe	Conducibilità termica W/mK	Resistenza alla diffusione del vapore μ	Durabilità Classe	Emissione formaldeide Classe	Stabilità dimensionale mm
1	30	450	43	0,34		D-s2, d0	0,13	Da 20 a 50	3-4	E1	0,24% perp. alla fibratura 0,01% parall. alla fibratura
2	60	450	43	0,34		D-s2, d0	0,13	Da 20 a 50	3-4	E1	0,24% perp. alla fibratura 0,01% parall. alla fibratura
3	10	1250	1		2850	A1		0,36			
4	60	120	0,06	0,005		E	0,039	3			NPD
5	147				12000	REI60					
6	27	70				A1	0,033	1			
7	25	430	17,3	8,1	5400	D-s2, d0		Da 20 a 50	3-4	E1	0,24%

Listelli di larice non trattato		Strato di rivestimento esterno	
Resistenza a flessione	43 N/mm ²	Dimensione dei componenti	Non specificata
Resistenza a trazione	0,34 N/mm ²	Trattamenti per migliorare la durabilità	Nessuno dichiarato
Reazione al fuoco	D-s2, d0	Lavorazioni superficiali	Nessuna dichiarata
Emissione formaldeide	E1	Sostituibilità del componente	Si
Conducibilità termica	0,139 W/mK	Connessione tra elementi contigui	No
Permeabilità al vapore	Da 20 a 50	Sottostruttura di connessione con lo strato resistente	Traversi di abete trattato
Durabilità	3-4	Connessione con lo strato resistente	Viti in acciaio inossidabile
Stabilità dimensionale	Buona	Posa in opera	Listelli orizzontali a sezione scanalata, posti in opera mediante viti svasate in acciaio zincato.
Durezza Brindell	19 N/mm ²		
Resistenza alla fessurazione	NPD		
Resistenza ai raggi UV	NPD		

Caso studio 3. Centro Polifunzionale Sociale

Denominazione dell'intervento	Centro Polifunzionale Sociale
Localizzazione dell'intervento	Brescia
Tipo di intervento	Nuova costruzione
Committenza	Immobiliare sociale bresciana
Progettista/gruppo di progettazione	ABnormA architetture
Progettazione strutturale	
Azienda fornitrice dei prodotti in legno	Ka Konstrukt
Impresa di costruzione	
Tempi di realizzazione	Gennaio 2011 - Gennaio 2012
Superficie	2700 mq
Costi dell'intervento	3,9 milioni di euro

Questo edificio in provincia di Brescia è pensato per ospitare al suo interno diverse utenze: una parte viene utilizzata per la cooperativa sociale Il Colibri, un'altra parte per finalità legate al sociale e per riconoscere residenze ai meno abbienti. Il primo obiettivo dell'intervento era quello di riunire tutte le associazioni che operano sul territorio in un'unica struttura.

Il progetto architettonico nasce dall'idea di unire tutte le differenti esigenze delle utenze di progetto con un unico linguaggio stilistico e materico. I progettisti hanno articolato quindi l'edificio intorno ad una corte centrale, con l'obiettivo di agevolare le interazioni tra gli abitanti dell'edificio stesso.

La struttura portante dell'edificio è realizzata mediante pannelli in Xlam, in parte coadiuvata da telai in acciaio.

I sistemi di facciata si configurano come partizioni perimetrali verticali con isolante posto esternamente rispetto alla struttura e con camera di ventilazione chiusa.

Lo strato di rivestimento esterno è costituito da un piano continuo composto da doghe di larice pre-tagliate, con incastro maschio femmina e quindi incastrate le une sulle altre.



Immagine 9 Foto del nuovo edificio visto dall'alto

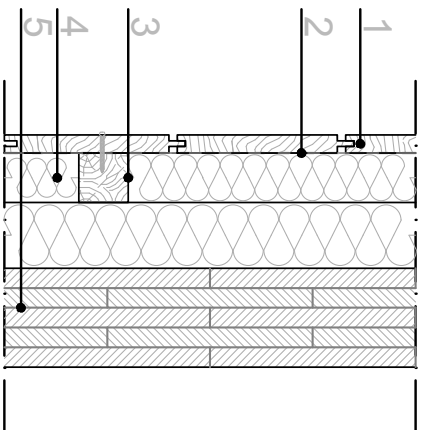


Immagine 10 (sinistra) Ballatoio del primo piano che collega le residenze
Immagine 11 (destra) Doghe in larice del prospetto posteriore



Immagine 12 Corte interna con rivestimento in larice maschiato.

Qualità tecnologica - Caratterizzazione funzionale sistema di chiusura in legno



Componente	Caratteristiche materiche	Dimensioni mm
1 Rivestimento esterno	Larice maschiato	20
2 Strato di separazione	Barriera al vento	0,8
3 Strato di isolamento	Intercapedine per colpentazione	Listelli verticali ed orizzontali in larice, con isolante in lana di legno interposto
4 Strato di isolamento	Strato isolante	Pannelli fibra di legno
5 Strato resistente	Parete in legno strutturale	Pannello strutturale 5 strati
6 Rivestimento interno	Strato di verniciatura trasparente	128

	Spessore mm	Massa volumica Kg/m ³	Resistenza a flessione MPa	Resistenza a trazione MPa	Modulo di elasticità MPa	Reazione al fuoco Classe	Conducibilità termica W/mK	Resistenza alla diffusione del vapore μ	Durabilità Classe	Emissione formaleide Classe	Stabilità dimensionale mm
1	20	420	51	0,34	11800	D-s2, d0	0,13	50 - 20	3-4	E1	0,01 par alle fibre 0,24 perp alle fibre
2	0,8		Strappo 70 N / 70 N	Chiodo 255N / 270 N		E	0,17			VOC: 0	+/- 0,05
3	60	450	4,3	0,34		D-s2, d0	0,13	Da 20 a 50	3-4	E1	0,24% perp. alla fibratura 0,01% parall. alla fibratura
4	80	250-270				E	0,040	5		E1	
5	128	350	24	14	11800	D-s2, d0	0,12	50	3-4		0,01 %
6											

Rivestimento in doghe di larice maschiato		150 x 20 mm	
Resistenza a flessione	51 N/mm ²	Dimensione dei componenti	Impregnante protettivo al solvente a base di ossidi di ferro trasparenti e pigmenti coloranti stabili alla luce
Resistenza a trazione	0,34 N/mm ²	Trattamenti per migliorare la durabilità	Nessuna
Reazione al fuoco	D-s2, d0	Lavorazioni superficiali	No
Emissione formaldeide	E1	Sostituibilità del componente	Si
Conducibilità termica	0,13 W/mK	Connessione tra elementi contigui	Listelli verticali 60 x 40 fissato al supporto con viti zincate autofilettanti
Permeabilità al vapore	Da 20 a 50	Sottostruttura di connessione con lo strato resistente	Viti zincate autofilettanti
Durabilità	3 – 4	Connessione con lo strato resistente	
Stabilità dimensionale	0,01 par alle fibre 0,24 perp alle fibre	Posa in opera	Le doghe esterne sono vincolate le une sulle altre, partendo dal basso verso l'alto. Per eventuali ispezioni è necessario smontarne almeno due-tre filari
Durezza di Brindell	19 N/mm ²		
Resistenza alla fessurazione	NPD		
Resistenza ai raggi UV	NPD		
Strato di rivestimento esterno			

Report del sopralluogo effettuato



Immagine 13 (sinistra) Foto panoramica della corte interna. Nonostante il trattamento superficiale applicato sulle doghe in larice, l'ingrigimento è evidente e differente a seconda delle porzioni di fabbricato considerate e dell'esposizione alle piogge meteoriche.



Immagine 14 (destra) Foto della corte interna, lato opposto rispetto alla foto precedente. Qui l'ingrigimento del materiale ha avuto un comportamento differente, motivato sicuramente dalla presenza della pensilina di protezione e dalla diversa esposizione ai raggi UV



Immagine 15 (sinistra) Dettaglio dell'intradosso delle pensiline in acciaio e legno che non risultano avere alcuna problematica di degrado



Immagine 16 (destra) Foto di dettaglio del sistema acciaio-legno. Il dilavamento non protetto degli angoli ha portato a fenomeni di efflorescenza parziale dell'involucro che potrebbe essere causa di future defezioni del rivestimento stesso.



Immagine 17 (sinistra) Foto di dettaglio di attacco a terra correttamente progettato e ventilato.



Immagine 18 (destra) Involucro superiore oggetto di invecchiamento differente rispetto alla parte inferiore di involucro.



Immagine 19 (sinistra) Dettaglio della parete di involucro. Alcune doghe, a causa della variazione dimensionale data da ciclo caldo-freddo, hanno perso la solidarizzazione con le vicine. Potrebbero prospettarsi problemi di infiltrazione negli strati posteriori e marcescenza locale dell'involucro



Immagine 20 (destra) Prospetto su strada. La facciata non evidenzia particolari problemi né di ingrigimento parziale né di tavole degradate.



Immagine 21 Prospetto su strada. La facciata non evidenzia particolari problemi né di ingrigimento parziale né di tavole degradate.



Immagine 22 Involucro superiore oggetto di invecchiamento differente rispetto alla parte inferiore di involucro.



Immagine 23 (sinistra) Dettaglio di facciata con incollaggio delle doghe superiori

Caso studio 4. Centro sociale in Italia

Denominazione dell'intervento	Centro sociale in Italia
Localizzazione dell'intervento	Cles
Tipo di intervento	Nuova costruzione
Committenza	Comune di Cles
Progettista/gruppo di progettazione	Mirco Franzoso Architetto
Progettazione strutturale	Sergio Marinelli
Azienda fornitrice dei prodotti in legno	F.lli Borghesi Cles TN
Impresa di costruzione	Mak Costruzioni
Tempi di realizzazione	2014-2015
Superficie	440 mq
Costi dell'intervento	750.000 \$

L'edificio si trova a Cles, in provincia di Trento e ospita il centro sociale della cittadina. All'interno del progetto si alternano vani di diverse dimensioni, pensate per poter ospitare le diverse associazioni sul territorio. Al primo piano una sala riunioni e una terrazza semi-aperta, che affaccia sulla vallata-

La tecnologia costruttiva dell'edificio è ibrida e si differenzia sui tre fronti dell'edificio. Al di sopra del piano di fondazione in calcestruzzo, si alternano delle strutture verticali in pannelli di Xlam e su un fronte in muratura portante. Infatti essendo il progetto situato su un terreno con una forte pendenza, si è preferito utilizzare sul fronte a contatto con il terreno una tecnologia più sicura.

Le pareti perimetrali verticali hanno su tutti i fronti un rivestimento esterno in doghe di larice ad andamento verticale, montate su doppia listellatura in larice non trattato.

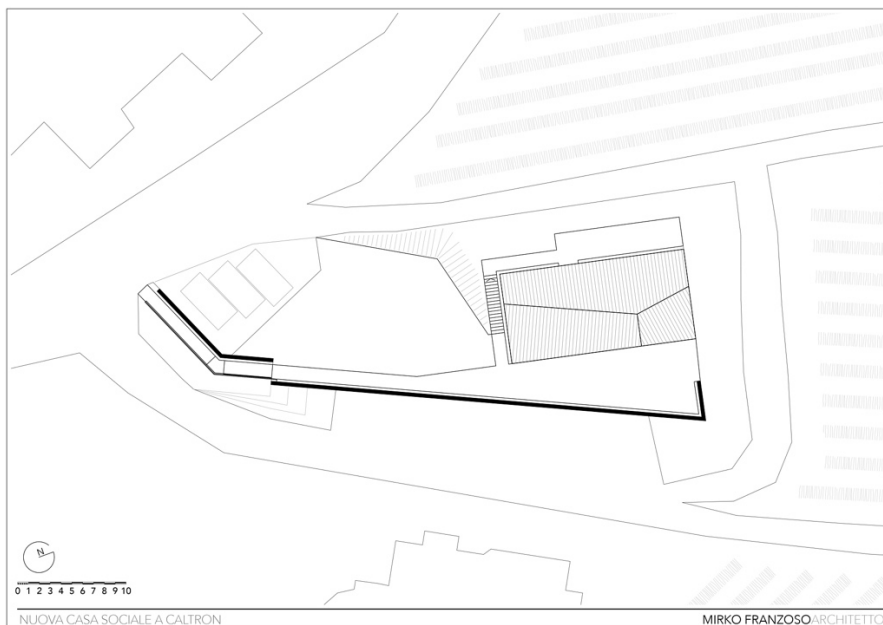


Immagine 24 Impianto dell'edificio



Immagine 25 Fronte principale dell'impianto con rivestimento in doghe verticali

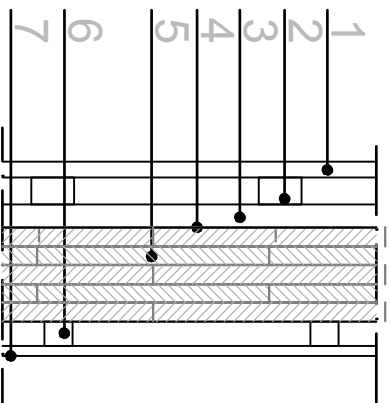


Immagine 26 Terrazza panoramica del primo piano



Immagine 27 Prospetto sud, fronte strada

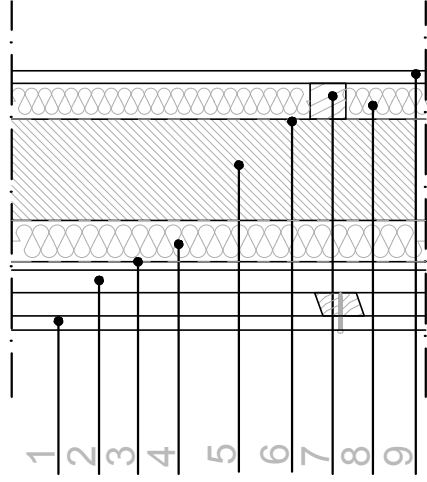
Qualità tecnologica - Caratterizzazione funzionale sistema di chiusura in legno. Parete esterno-terrazzo primo piano



Strato funzionale	Componente	Caratteristiche materiche	Dimensioni mm
1	Rivestimento esterno	Doghe di larice	60 x 32
2	Strato di collegamento	Controlisellatura in legno	40 x 40
3	Strato di collegamento	Listelli di legno	40 x 40
4	Strato di separazione	Telo tenuta all'aria e acqua	
5	Strato resistente	Pannello multistrato in legno	95
6	Strato di collegamento	Controlistelli in legno	40 x 40
7	Rivestimento interno	Doghe di larice	60 x 32

	Spessore mm	Massa volumica Kg/m ³	Resistenza flessione MPa	Resistenza trazione MPa	μ MPa	Reazione al fuoco Classe	Conducibilità termica W/mK	Resistenza diffusione vapore μ	Durabilità Classe	Emissione formaldeide Classe	Stabilità dimensionale mm
1	20	630	51	0,34	11000	D-s2, d0	0,13	Da 20 a 50	3-4	E1	0,24%
2	40	350	17,3	8,1	5400	E	0,13	Da 20 a 50	3-4	E1	0,24%
3	40	350	17,3	8,1	5400	E	0,13	Da 20 a 50	3-4	E1	0,24%
4	0,50		Strappo N/5 cm	Chiodi 250/250				< 0,009			+/- 1 mm
5	95		24	0,8	11000	REI 60					
6	350	17,3	8,1	5400	E	0,13	Da 20 a 50	3-4	E1	0,24%	
7	20	630	51	0,34	11000	D-s2, d0	0,13	Da 20 a 50	3-4	E1	0,24%

Qualità tecnologica - Caratterizzazione funzionale sistema di chiusura in legno. Parete esterno-interno



	Strato funzionale	Componente	Caratteristiche materiche	Dimensioni mm
1	Rivestimento esterno	Doghe di larice	Doghe in larice ad andamento verticale	60 x 32
2	Strato di collegamento	Controlisellatura in legno	Larice naturale	40 x 40
3	Strato di separazione	Telo tenuta all'aria e acqua	Telo in polipropilene di tenuta all'acqua e all'aria	0,5
4	Strato di isolamento	Isolante termico	Pannelli in isolante XPS	80
5	Strato resistente	Muratura c.a.		80
6	Strato di separazione	Telo tenuta all'aria e acqua	Telo in polipropilene di tenuta all'acqua e all'aria	0,5
7	Strato di collegamento	Controlisellatura in legno	Abete non trattato	40x40
8	Strato di isolamento	Isolante termico	Pannelli in fibra di canapa	40
9	Rivestimento interno	Doghe di larice	Larice non trattato	20

Spessore mm	Massa volumica Kg/m3	Resistenza a flessione MPa	Resistenza a trazione MPa	Resistenza al fuoco Classe	Conducibilità termica W/mK	Resistenza alla diffusione del vapore	Durabilità Classe	Emissione formaldeide Classe	Stabilità dimensionale mm
1	630	51	0,34	D-s2, d0	0,13	Da 20 a 50	3-4	E1	0,24%
2	350	17,3	8,1	E	0,13	Da 20 a 50	3-4	E1	0,24%
3			Chiodi 250/250 N			< 0,009			+/- 1 mm
4	35	NPD	0,005	E	0,030-0,040	Da 80-100			NPD
5									
6			Chiodo 450/720	E	0,17	110	Garanzia 10 anni		0,05 mm
7	430	24		D-s2, d0			4	E1	
8	50			E	0,035-0,040	1-2			
9	630	51	0,34	D-s2, d0	0,13	Da 20 a 50	3-4	E1	0,24%

Rivestimento in doghe di larice			
Resistenza a flessione	51 N/mm ²	Dimensione dei componenti	150 x 20 mm
Resistenza a trazione	0,34 N/mm ²	Trattamenti per migliorare la durabilità	Nessuno dichiarato
Reazione al fuoco	D-s2, d0	Lavorazioni superficiali	Nessuna
Emissione formaldeide	E1	Sostituibilità del componente	Si
Conducibilità termica	0,13 W/mK	Connessione tra elementi contigui	No
Permeabilità al vapore	Da 20 a 50	Sottostruttura di connessione con lo strato resistente	Listelli verticali 60 x 40 fissato al supporto con viti zincate autofilettanti
Durabilità	3 – 4	Connessione con lo strato resistente	Viti zincate autofilettanti
Stabilità dimensionale	0,01 par alle fibre 0,24 perp alle fibre	Posa in opera	Le doghe ad andamento verticale sono fissate su uno strato di listellatura ad andamento orizzontale e uno successivo ad andamento verticale, necessario per l'isolamento richiesto dalla parete ventilata
Resistenza di Brindell	19 N/mm ²		
Resistenza alla fessurazione	NPD		
Resistenza ai raggi UV	NPD		

Strato di rivestimento esterno

Caso studio 5. Scuola dell'infanzia

Denominazione dell'intervento	Scuola dell'infanzia
Localizzazione dell'intervento	San Frediano a Settimo
Tipo di intervento	Nuova costruzione
Committenza	Amministrazione comunale di Cascina
Progettista/gruppo di progettazione	Colucci and Partners
Progettazione strutturale	H.S. Ingegneria s.r.l.
Azienda fornitrice dei prodotti in legno	
Impresa di costruzione	Campigli Legnami s.a.s di Campigli Costanzo e C. - Empoli (FI)
Tempi di realizzazione	Gennaio 2012 – Luglio 2013
Superficie	641.83 mq
Costi dell'intervento	

L'edificio si articola con tre volumi disposti lungo in lato Nord, che identificano le tre sezioni della scuola. I volumi sono più alti dei collegamenti che li legano e sono caratterizzati attraverso una strombatura in legno di larice, disposte a sud. L'ingresso è posto sul lato Ovest e porta direttamente nel foyer della scuola, dove sono presenti anche due giardini d'inverno. La restante parte dell'edificio rivolta a nord ospita tutti i locali di servizio della scuola.

Lo strato resistente è costituito da pannelli Xlam, realizzati con legno di abete certificato FSC, l'involucro è isolato con doppio pannello di fibra di legno a densità diversificate (80+80 mm) sul lato esterno, mentre internamente, dopo un materassino di isolamento di lana minerale, c'è un rivestimento interno in gesso.

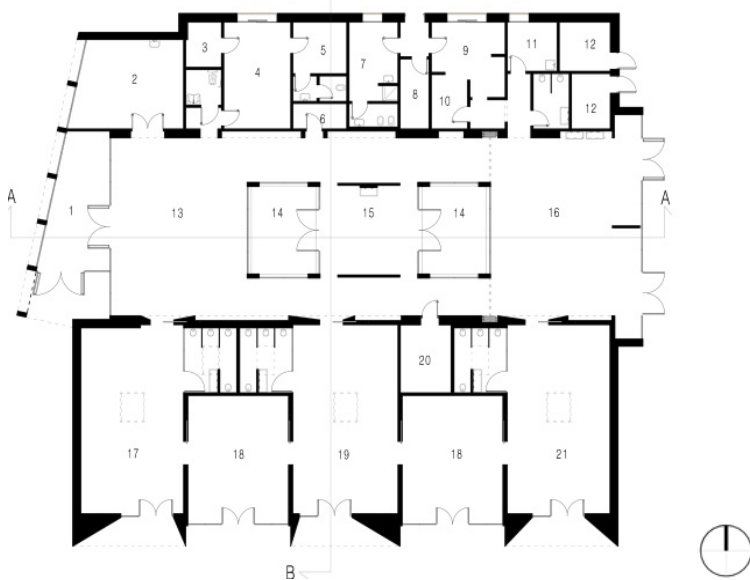


Immagine 28 Planimetria dell'intervento



Immagine 29 Prospetto principale

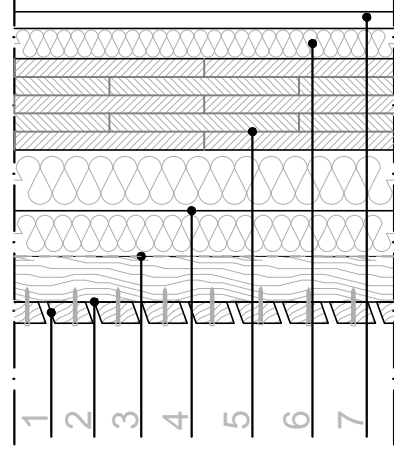


Immagine 30 Prospetto posteriore



Immagine 31 Dettaglio del rivestimento di facciata

Qualità tecnologica - Caratterizzazione funzionale sistema di chiusura in legno. Parete esterno-terrazzo primo piano



	Strato funzionale	Componente	Caratteristiche materiche e produttive	Dimensioni mm
1	Rivestimento esterno	Listelli di larice	Larice	60
2	Strato di collegamento	Listelli di ventilazione	Listelli in abete non trattato	40 x 40
3	Strato di separazione	Telo di protezione vento e UV		0,05
4	Strato di isolamento	Fibra di legno	40 mm d=250 kg/mq, 120 mm d = 160 kg/mq	40 + 120
5	Strato resistente	Pannello strutturale	Xlam	128
6	Strato di isolamento	Pannello con intercapedine per impianti	Lana di roccia	50
7	Rivestimento interno	Lastra in gesso rivestito	Pannello di gesso	12.5

	Spessore mm	Massa Volumica Kg/m3	Resistenza a flessione MPa	Resistenza a trazione MPa	Classe fuoco	Conducibilità termica W/mK	Resistenza alla diffusione del vapore	Durabilità Classe	Fmissione formaldeide Classe	Stabilità dimensionale
1	60	450	51	0,34	D-s2, d0		Da 50 a 20	3-4	E1	0,24% perp. alla fibratura 0,01% parall. alla fibratura
2	40 x 40	350	17,3	8,1	E					
3	0,50			Chiodi 300/250 N/5 cm						
4	40 + 120	120	0,06	0,005	E	0,039	< 0,009			+/- 1 mm
5	128	350	24	14	D-s2, d0	0,12	50	3-4	E1	NPD
6	50	40	NPD	0,0075		0,036	1		A1	0,01 %
7	12.5	680		NPD	A2-s1,d0	0,20	Da 4 a 10			

Listelli di larice non trattato			
Resistenza a flessione	43 N/mm ²	Dimensione dei componenti	Varie, non dichiarate dal progettista
Resistenza a trazione	0,34 N/mm ²	Trattamenti per migliorare la durabilità	Olio di oliva superficiale
Reazione al fuoco	D-s2, d0	Lavorazioni superficiali	Nessuna
Emissione formaldeide	E1	Sostituibilità del componente	Si
Conducibilità termica	0,139 W/mK	Connessione tra elementi contigui	No
Permeabilità al vapore	Da 20 a 50	Sottostruttura di connessione con lo strato resistente	Telaio in listelli di larice
Durabilità	4	Connessione con lo strato resistente	Viti passanti l'isolante.
Stabilità dimensionale	3-4		
Durezza Brindell	19 N/mm ²		
Resistenza alla fessurazione	NPD	Posa in opera	-
Resistenza ai raggi UV	NPD		

Caso studio 6. Casa PF family

Denominazione dell'intervento	Casa Pergine Valsugana
Localizzazione dell'intervento	Pergine Valsugana, Trento
Tipo di intervento	Residenziale
Committenza	Privata
Progettista/gruppo di progettazione	Burnazzi-Feltrin Architetti
Progettazione strutturale	
Azienda fornitrice dei prodotti in legno	Rasom wood technology
Impresa di costruzione	
Tempi di realizzazione	2007-2009
Superficie	260
Costi dell'intervento	750 mila euro

L'edificio unifamiliare PF, il rifacimento ed ampliamento di una costruzione esistente, si trova a metà del crinale, sotto il castello medievale di Pergine Valsugana ed occupa una posizione ideale sia per la bellissima vista sulla valle che per il soleggiamento, ottimale durante tutto l'anno. I temi principali della progettazione sono la struttura, il risparmio energetico e la continuità spaziale interno-esterno.

L'involucro edilizio è caratterizzato da elementi ad alta prestazione energetica: le pareti esterne sono in prefabbricato-pre-assemblato di legno con isolamento in pannelli di fibra di legno, gli infissi in legno di larice sono basso emissivi. Gli impianti tecnologici sfruttano la ventilazione ad alto rendimento, il riscaldamento-raffrescamento degli ambienti avviene a pavimento e a parete, il solare termico fornisce acqua calda e la tecnologia domotica caratterizza l'impianto elettrico. L'uso del legno si presta a creare un forte legame con l'architettura rurale di questa regione, l'edificio è costituito da due livelli costruttivi, il livello inferiore "pesante" e quello superiore "leggero", coperto quasi totalmente da listelli. Qui, le grandi logge vetrate, a sbalzo, col legno di larice che si stende fin dentro l'abitazione, sui pavimenti e le pareti, creano una forte interrelazione tra l'interno e l'esterno dell'edificio, tra spazio privato e paesaggio rurale circostante.



Immagine 32 Terrazzo panoramico del primo piano

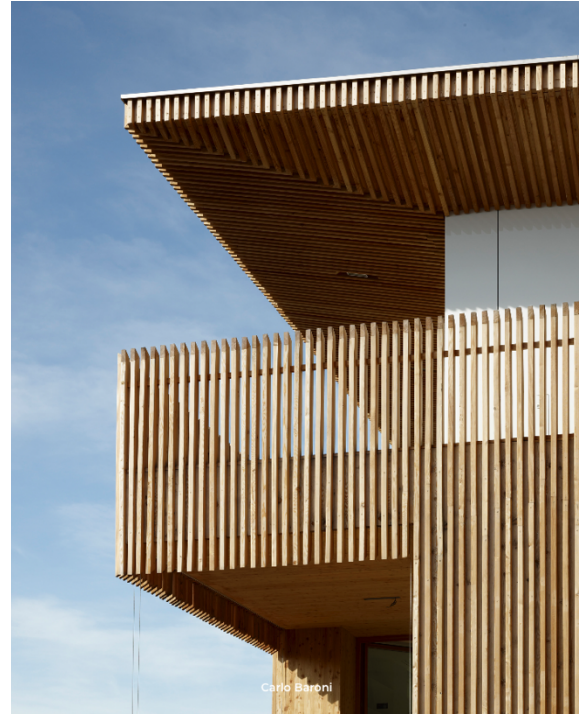


Immagine 33 Rivestimento fronte sud con listelli verticali in larice

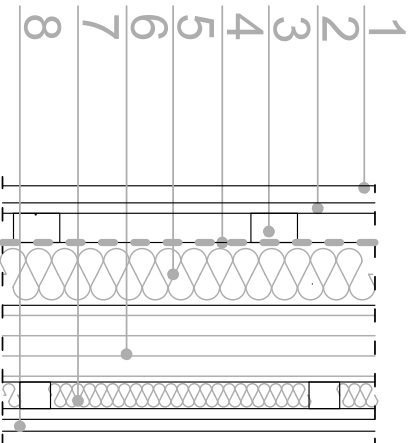


Immagine 34 Rivestimento superiore in listelli di larice



Immagine 35 Prospetto lungo la vallata con schermature in larice

Qualità tecnologica - Caratterizzazione funzionale sistema di chiusura in legno.



	Strato funzionale	Componente	Caratteristiche materiche e produttive	Dimensioni mm
1	Rivestimento esterno	Listelli verticali	Larice naturale	50 x 50
2	Strato di irrigidimento	Pannello multistrato	Compensato di larice	19
3	Strato di collegamento	Listelli orizzontali	Listelli di larice	50 x 50
4	Strato di Ventilazione	Barriera antivento	Barriera antivento	50
5	Strato di separazione	Barriera antivento	Barriera antivento	0,3
6	Strato di isolamento termico	Pannello isolante	Pannello isolante in fibra di legno	140
7	Strato resistente	Pannello Xlam	Pannello Xlam	85
8	Strato di isolamento termico	Pannello isolante	Lana di roccia e telaio in acciaio	20
	Rivestimento interno	Pannelli di finitura	Doppia lastra in cartongesso	25 + 25

	Spessore mm	Massa volumica Kg/m ³	Resistenza a flessione MPa	Resistenza a trazione MPa	μ	MPa	Reazione al fuoco Classe	Conducibilit à termica W/mK	Resistenza alla diffusione del vapore μ	Durabilità Classe	Emissione formaldeide Classe	Stabilità dimensional mm φ
1	50	51	43	0,34	11000	D-s2, d0	0,13	Da 20 a 50	3-4	E1	0,24% fibratura 0,01% parall. fibratura alla	perp. alla
2	19	430	30	9	8200	D-s2, d2	0,09	Da 50 a 150	3-4	E1		
3	50											
4	0,3		Strappo 300/250 N	Chiodi 250/250 N		E	0,0004*10 ^ν 1 2	<0,009				+/- 1 mm
5	140	250-270				E	0,040	5			E1	
6	85	350	20	10	11800	D-s2, d0	0,12	50	3-4		A1	0,01 %
7	20	90	NPD	0,0075			0,036	1			A1	
8	25	800	650 N			A2-s1, d0	0,21	Da 4 a 10				+/- 0,5 mm

Listelli di larice non trattato		Non dichiarato	
Resistenza a flessione	43 N/mm ²	Dimensione dei componenti	Nessuno dichiarato
Resistenza a trazione	0,34 N/mm ²	Treatments per migliorare la durabilità	Nessuna dichiarata
Reazione al fuoco	D-s2, d0	Lavorazioni superficiali	Si
Emissione formaldeide	E1	Sostituibilità del componente	No
Conducibilità termica	0,13 W/mK	Connessione tra elementi contigui	Traversi di larice trattato
Permeabilità al vapore	Da 20 a 50	Sottostruttura di connessione con lo strato resistente	Viti in acciaio inossidabile
Durabilità	3-4 (EN 350.2)	Connessione con lo strato resistente	La testa dei listelli oltre ad avere un taglio obliquo per garantire lo scorrimento delle acque, ha un tassello di sacrificio con taglio di diversa fibratura, a protezione dall'eventuale imbibizione del componente.
Stabilità dimensionale	0,24% perp. alle fibre 0,01% parall alle fibre	Posa in opera	
Durezza di Brindell	19 N/mm ²		
Resistenza alla fessurazione	NPD		
Resistenza ai raggi UV	NPD		
Strato di rivestimento esterno			

Report sopralluogo effettuato



Immagine 36 (sinistra) Prospetto con listelli di larice verticale esposto sulla vallata. L'invecchiamento del legno appare costante ed i fissaggi sui listelli posteriori non arrecano alcun problema di dilavamento superficiale.

Immagine 37 (destra) Listelli sotto gli aggetti che presentano qualche lieve fenomeno di degrado nelle estremità esterne, ma in maniera controllata, grazie al taglio diagonali dei listelli verticali che permettono all'acqua di defluire e cadere, avendo anche la funzione di rompigoccia.



Immagine 38 (sinistra) Listelli sotto gli aggetti che presentano qualche lieve fenomeno di degrado nelle estremità esterne. Anche qui il dettaglio del taglio del listello permette una durabilità maggiore dei componenti.



Immagine 39 (destra) Foto di dettaglio dell'attacco a terra della parete perimetrale verticale, rialzata rispetto al pavimento.



Immagine 40(sinistra) Dettaglio dell'imbotte della porta finestra di terra, leggermente rialzato rispetto al terreno e con la possibilità di far defluire l'acqua ed asciugare il legno

Immagine 41 (destra) Foto di dettaglio della finestra, con progettazione dello strato di pendenza del davanzale per permettere il deflusso, con particolare attenzione al taglio del listello per evitare che l'acqua stazioni sulla fibratura interna del legno



Immagine 42 (sinistra) Listelli verticali 'sospesi' mediante telaio. Non si sono riscontrati fenomeni di instabilità dimensionale o fessurazioni particolari.

Immagine 43 (destra) Foto di dettaglio della soluzione di finitura dei componenti verticali, che risultano tagliati ed incollati al listello vero e proprio. Questo intaglio di fibratura diversa, fa sì che il legno non prenda acqua all'interno del midollo, che è la parte più vulnerabile a fenomeni di imbibizione.

Caso studio 7. Tetè en l'air

Denominazione dell'intervento	Tete en l'air
Localizzazione dell'intervento	Parigi
Tipo di intervento	Social housing
Committenza	Siemp
Progettista/gruppo di progettazione	Koz Architectes
Progettazione strutturale	
Azienda fornitrice dei prodotti in legno	
Impresa di costruzione	
Tempi di realizzazione	2010-2012
Superficie	2102 m ²
Costi dell'intervento	5,53 milioni di euro,(demolizioni incluse)

Questo progetto di riqualificazione nasce nella periferia parigina e fa parte di una politica diffusa che vuole unire le esigenze di riqualificare alcuni ambiti di città e alla nuova emergenza abitativa che si sta registrando in Europa ed in Francia.

Tetè en l'air nasce quindi dalla dismissione di un vecchio impianto, che è stato recuperato ed in parte abbattuto, per far posto alle nuove residenze.

La disposizione ortogonale dell'edificio rispetto alla strada permette all'impianto di avere un lungo fronte disposto verso sud e di assicurare l'illuminazione a molte delle residenze del lotto. Nella parte nord abbiamo invece la corte interna, con degli ambiti privati per gli abitanti di condivisione e di utilizzo per momenti di svago.

Per questo progetto è stato utilizzato il legno per i nuovi volumi, che con una struttura a telaio si integrano con la struttura in calcestruzzo presente.

Il sistema strutturale di questi edifici utilizza componenti (travi, montanti, pannelli) in legno micro lamellare (LVL), raggiungendo un buon livello di efficienza energetica.

Le pareti perimetrali verticali hanno uno strato resistente a Platform frame con isolante integrato e con sistema di separazione/controventamento in fibre di legno a scaglie orientate (OSB), rifinito internamente con intercapedine per gli impianti e lastra in fibrogesso, mentre esternamente con una parete semi ventilata con rivestimento esterno in listelli di larice ad andamento verticale.

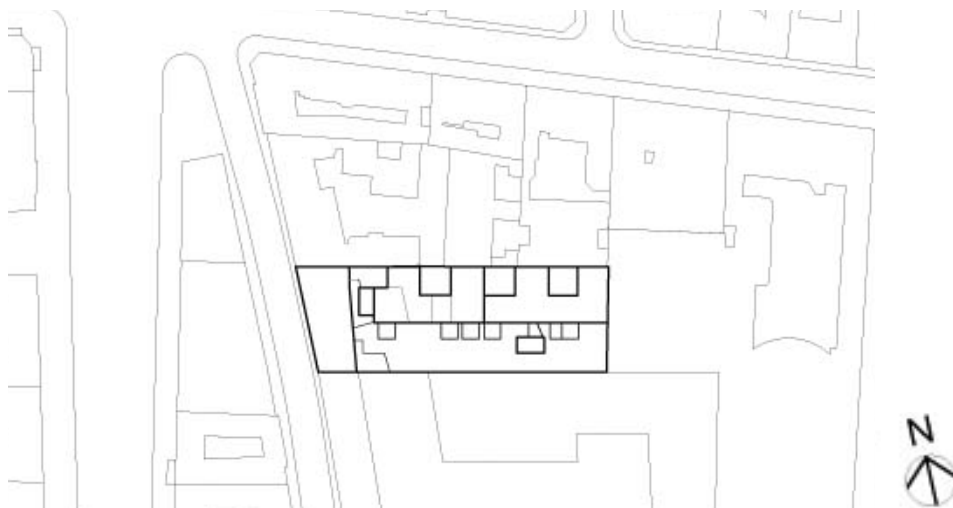


Immagine 44 Impianto del nuovo edificio



Immagine 45 Prospetto interno con elementi sbalzanti laterali

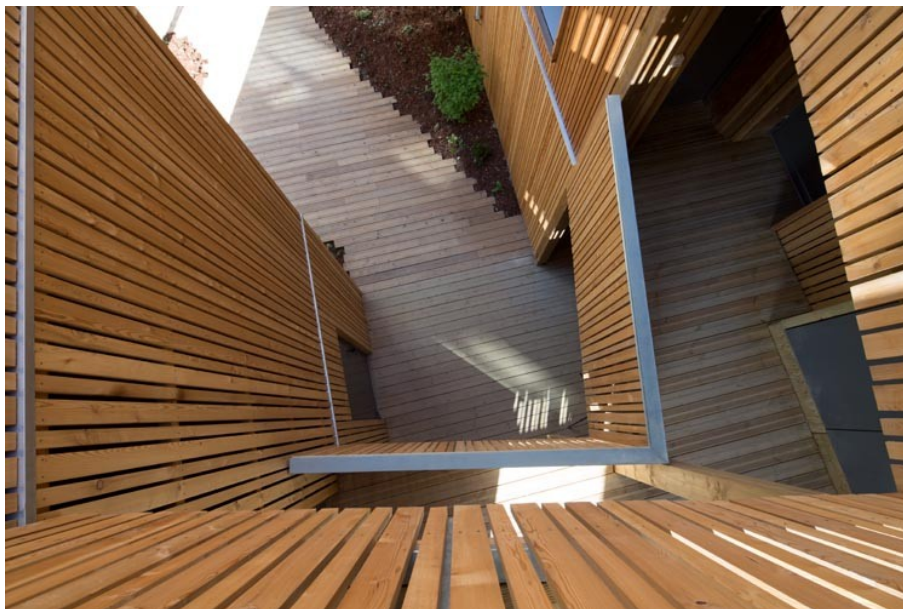


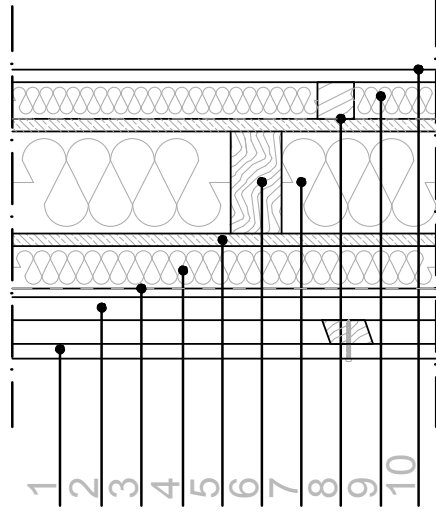
Immagine 46 Finiture dei balconi dell'edificio principale



Immagine 47 Prospetto verso la corte interna

Qualità tecnologica - Caratterizzazione funzionale sistema di chiusura in legno.

	Strato funzionale	Componente	Caratteristiche produttive	materie	e	Dimensioni mm
1	Rivestimento esterno	Listelli verticali	Larice naturale			20 x varie
2	Strato di collegamento	Doppia listellatura	Listelli di legno di larice			27x 45
3	Strato di separazione	Guaina impermeabile	Guaina impermeabile traspirante			0,05
4	Strato di isolamento	Pannelli isolanti	Lana di roccia			80
5	Strato resistente	Pannello strutturale	OSB			12
6	Strato resistente	Montanti in legno	LVL			45 x 145
7	Strato di isolamento	Pannello isolante interposto	Fibra di legno interposta nel telaio			145
8	Strato di separazione	Barriera al vapore	Barriera al vapore			0,05
9	Strato di collegamento	Pannelli isolanti	Materassino in poliestere			45
10	Strato di finitura interna	Lastra di finitura	Lastra di fibrogesso			18



	Spessore mm	Massa volumica Kg/m3	Resistenza flessione MPa	Resistenza trazione MPa	Modulo di elasticità MPa	Reazione al fuoco Classe	Conducibilità termica W/mK	Resistenza alla diffusione del vapore	Durabilità Classe	Emissione formaldeide Classe	Stabilità dimensionale mm
1	20	630	43	0,34	11000	D-s2, d0	0,13	Da 20 a 50	3-4	E1	0,24%
2	20	630	43	0,34	11000	D-s2, d0	0,13	Da 20 a 50	3-4	E1	0,24%
3	0,05		260/180 N	230/160 N				W1			< 1,5%
4	80	150				A1	0,036				
5	12	620	20	0,32	3500	D-s2, d0				E1	+/- 0,8 mm
6	145	510	44	35	11600	D-s1, d0	0,13	80	3	E1	+/- 2 mm
7	145	150		TR7,5		A1	0,036			-	
8	0,05		240 N /5cm	220 N/5cm		B-s2, d0	0,035			-	
9	45	150				A1	0,036			-	
10	18	1000	> 6	6000		Classe A1		56		-	+/- 0,5 mm

Listelli di larice trattato			
Resistenza a flessione	43 N/mm ²	Dimensione dei componenti	Non dichiarate
Resistenza a trazione	0,34 N/mm ²	Trattamenti per migliorare la durabilità	Hydrokoat, vernice per migliorare la durabilità ad attacco insetti e UV
Reazione al fuoco	D-s2, d0	Lavorazioni superficiali	Nessuna dichiarata
Emissione formaldeide	E1	Sostituibilità del componente	Si
Conducibilità termica	0,13 W/mK	Connessione tra elementi contigui	No
Permeabilità al vapore	Da 20 a 50	Sottostruttura di connessione con lo strato resistente	Sistema a telaio in larice trattato con vernice nera
Durabilità	3-4	Connessione con lo strato resistente	Viti in acciaio zincato
Stabilità dimensionale	0,24%		
Durezza di Brindell	19 N/mm ²		
Resistenza alla fessurazione	NPD	Posa in opera	-
Resistenza ai raggi UV	NPD		

Caso studio 8. Social housing in via Cenni

Denominazione dell'intervento	Social housing in via Cenni
Localizzazione dell'intervento	Milano
Tipo di intervento	Residenziale
Committenza	Polaris Re
Progettista/gruppo di progettazione	Rossiprodi Associati
Progettazione strutturale	Tekne spa
Azienda fornitrice dei prodotti in legno	StoraEnso
Impresa di costruzione	Carron Costruzioni Generali
Tempi di realizzazione	2012-2013
Superficie	30325 mq

Il progetto di social housing di via Cenni è il primo impianto di questo genere in legno lamellare in Italia e anche l'edificio più alto costruito con questa tecnologia in Europa. L'impianto dell'intervento vede quattro grandi edifici a torre disposti intorno ad una corte centrale, aperta su due fronti che, nell'intenzione dello studio dei progettisti, è il cuore pulsante della società che vive l'impianto ed il centro di aggregazione e di sviluppo della società. Collegano gli edifici a torre, due lunghi edifici a ballatoio di due piani fuori terra che si dispongono con l'asse principale lungo l'asse di sviluppo della corte interna.

La tecnologia costruttiva utilizzata è quella di un sistema in legno a strati incrociati per le strutture. La parete perimetrale verticali è costituita da un rivestimento esterno in tinteggiatura silossanica su un pannello isolante a cappotto in poliestere espanso, direttamente fissato e incollato sui pannelli in legno di supporto.

Come rivestimento interno ritroviamo una doppia lastra in fibrogesso, montata sopra un'intelaiatura metallica necessaria per il passaggio degli impianti.

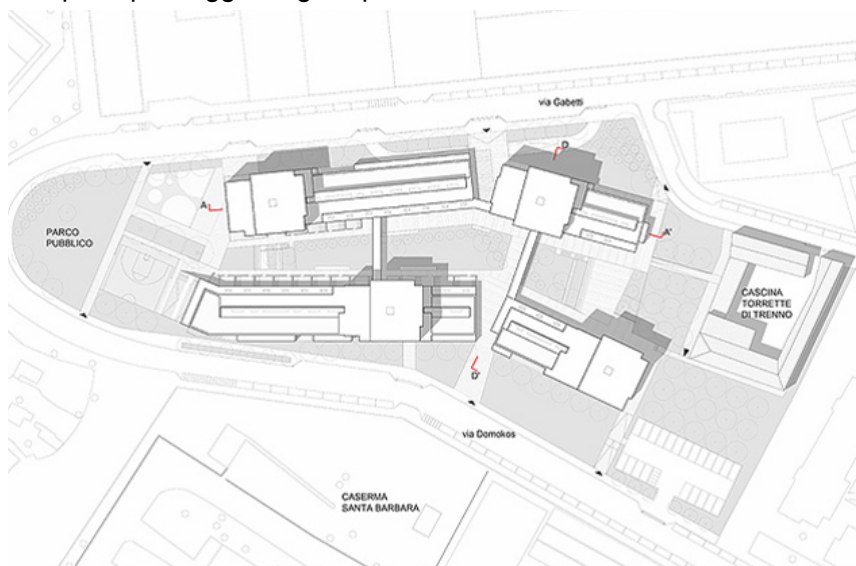


Immagine 48 Impianto dell'intervento



Immagine 49 Corte interna tra gli edifici a torre e quelli a ballatoio

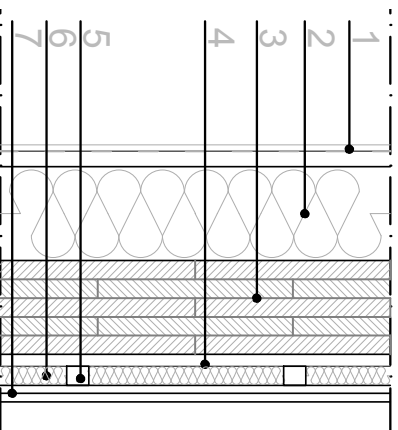


Immagine 50 Edificio a torre lato posteriore



Immagine 51 Panoramica dell'angolo dell'edificio a torre

Qualità tecnologica - Caratterizzazione funzionale sistema di chiusura in legno.



	Strato funzionale	Componente	Caratteristiche materiche e produttive	Dimensioni mm
1	Rivestimento esterno	Intonaco	Tinteggiatura silossanica con rete in fibra di vetro	10
2	Strato di isolamento	Pannello isolante	Pannello isolante con polistirene espanso e inerti di grafite. Membrana al vapore integrata	120
3	Strato resistente	Pannello Xlam	Pannello 5 strati	220
4	Strato di separazione	Rasatura	Lastra di gesso rivestito	20
5	Strato di collegamento	Orditura metallica		50
6	Strato di isolamento	Pannello isolante interposto	Lana di roccia	50x50
7	Strato di separazione	Barriera al vapore	Foglio di PVC	0,05
8	Strato di finitura interna	Lastra di finitura	Lastra di fibrogesso	18

	Spessore mm	Massa volumica Kg/m ³	Resistenza a flessione MPa	Resistenza a trazione MPa	Modulo MPa	Reazione al fuoco Classe	Conducibilità termica W/mK	Resistenza alla diffusione del vapore μ	Durabilità Classe	Emissione formaldeide Classe	Stabilità dimensionale mm
1	10	1250	1		2850	A1		0,36			
2	120		>0,15			E	0,030	Da 30 a 70			+/- %
3	220	470	24	14	1100	D-s2, d0	0,12	Tra 20 e 50	4	E1	
4	20	800	650 N	NPD		A2-s1, d0	0,21	Da 4 a 10			+/- 0,5 mm
5	50	40	NPD	0,0075			0,036	1			+/- 0,01 %
6	50x50	40	NPD	0,0075			0,036	1			+/- 0,01 %
7	0,45	289	Strappo 170/110	Chiodo 75/90		E	0,22	0,005*10 ⁻¹⁴			
8	18	800	650 N			A2-s1, d0	0,21	Da 4 a 10			+/- 0,5 mm

Report del sopralluogo effettuato



Immagine 52 (sinistra) Panoramica degli edifici costruiti a via Cenni. Le torri appaiono in un buono stato di conservazione, senza evidenti problemi di durabilità e/o di manutenzione



Immagine 53 (destra) Avvicinandosi si notano le problematiche relative al degrado di alcuni elementi. Questo degrado riscontrabile esula dalla componentistica in legno ma riguarda il rivestimento esterno in intonaco, (e forse la non corretta posa in opera di rompigoccia e davanzali).



Immagine 54 (sinistra) La non corretta posa in opera di rompigoccia dei punti di contatto balconi-parete, comporta infiltrazioni d'acqua nel rivestimento esterno e quindi problemi legati al deterioramento dello stesso. Il pannello isolante posteriore non desta preoccupazioni essendo in materiale plastico.



Immagine 55 (destra) Anche nel dettaglio di contatto tra la passerella di collegamento tra i corpi e gli edifici si osservano delle fessurazioni nell'intonaco. I progettisti attribuiscono questa problematica alla non corretta posa in opera dei giunti ed a scarsa manutenzione.

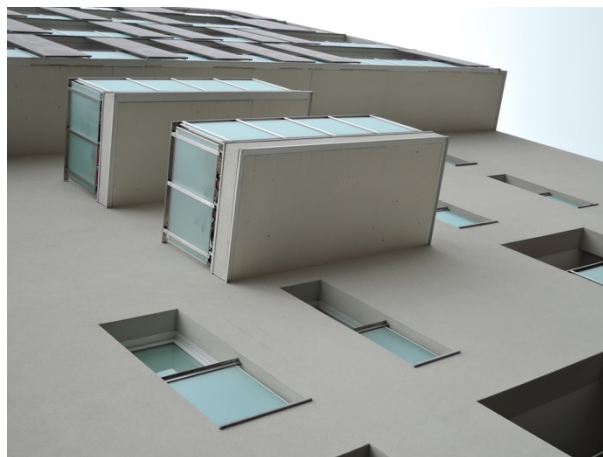


Immagine 56 (sinistra) Via cenni è stato per molti versi un cantiere pilota per gli edifici in altezza in Xlam. La società di costruzione riporta molte difficoltà nella gestione della protezione dei pannelli dall'umidità e dalla pioggia durante le fasi di costruzione. Alcuni componenti hanno effettuato ciclo di 'bagnato-asciutto' durante i lavori di assemblaggio e si rilegge in alcuni balconi,(che nella parte inferiore non sono protetti in alcun modo), una leggera disgiunzione tra le tavole, segno appunto del doppio ciclo di umidità assorbita e ceduta.

Immagine 57 (destra) I balconi inferiormente non sono protetti e si vedono le doghe dei pannelli leggermente disgiunte.

Caso studio 9. Social housing in Brescia

Denominazione dell'intervento	Quartiere residenziale di edilizia pubblica
Localizzazione dell'intervento	Brescia
Tipo di intervento	Residenziale
Committenza	A.L.E.R.
Progettista/gruppo di progettazione	5+1 Aa
Progettazione strutturale	Iquadro Ingegneria
Azienda fornitrice dei prodotti in legno	Rubner Objektbau
Impresa di costruzione	Rubner Objektbau
Tempi di realizzazione	2011-2012
Superficie	38
Costi dell'intervento	5,442 milioni di euro

Questo intervento nell'estrema periferia bresciana richiedeva soluzioni a basso costo ma con elevati standard di confort per gli abitanti e in relazione ai consumi energetici.

Lo studio vincitore del progetto ha deciso di utilizzare una struttura in legno per assicurare la sostenibilità ambientale dell'intervento attraverso il materiale, la sostenibilità sociale mediante un impianto di cantiere più veloce.

La tecnologia costruttiva è a pannelli e solai in Xlam.

La parete perimetrale verticale ha un rivestimento esterno alternato tra doghe verticali in larice e semplici lastre in fibrogesso entrambe su un sistema a cappotto con pannelli isolanti in fibra di legno, direttamente fissati su supporto.

Internamente, una intercapedine per il passaggio degli impianti, con sopra una lastra in cartongesso



Immagine 58 distribuzione dell'impianto



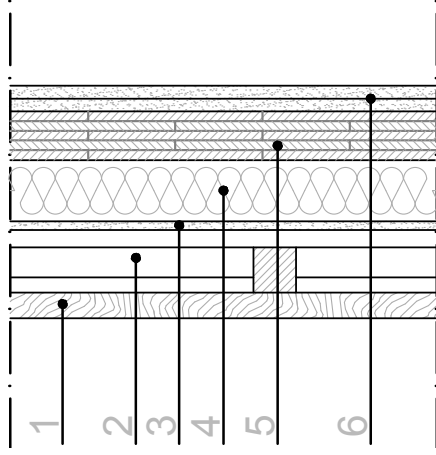
Immagine 59 Rivestimento esterno alternato tra doghe in larice e normale finitura in intonaco



Immagine 60 Prospetto fronte strada

Qualità tecnologica - Caratterizzazione funzionale sistema di chiusura in legno.

	Strato funzionale	Componente	Caratteristiche materiche e produttive	Dimensioni mm
1	Strato di rivestimento esterno	Doghe di rivestimento verticale	Doghe in larice non trattato a sezione scanalata romboidale	30 x 40
2	Strato di collegamento	Montante in acciaio	Montante scatolare a vista con sistemi di supporto	60 x 60
3	Strato di separazione	Infonaco		10
4	Strato di isolamento	Isolamento in pannelli	Fibra di legno	120
5	Strato resistente	Struttura in Xlam	Pannello Xlam 5 strati	100
6	Strato di finitura interna	Doppia lastra in cartongesso	Cartongesso	10+10



	Spessore mm	Massa volumica Kg/m ³	Resistenza a flessione Mpa	Resistenza a trazione Mpa	MPa	MPa	Reazione al fuoco Classe	Conducibilità termica W/mK	Resistenza alla diffusione del vapore	Durabilità Classe	Emissione formaldeide Classe	Stabilità dimensionale mm
1	30	630	43	0,34	11000	D-s2, d0	0,13	Da 20 a 50	3-4	E1	0,24%	
2	60											
3	10	1250	1		2850	A1		0,36				
4	120	250-270	NPD	NPD	NPD	E	0,040	5	NPD	E1	NPD	
5	100	420	24	14	11000		0,12					
6	10+10	800	650 N			A2-s1, d0	0,21	Da 4 a 10				+/- 0,5 mm

Strato di rivestimento esterno		
Doghe di larice naturale a sezione scanalata romboidale		
Resistenza a flessione	43 N/mm ²	Dimensione dei componenti
Resistenza a trazione	0,34 N/mm ²	Trattamenti per migliorare la durabilità
Reazione al fuoco	D-s2, d0	Lavorazioni superficiali
Emissione formaldeide	E1	Sostituibilità del componente
Conducibilità termica	0,13 W/mK	Connessione tra elementi contigui
Permeabilità al vapore	Da 20 a 50	Sottostruttura di connessione con lo strato resistente
Durabilità	3-4	Connessione con lo strato resistente
Stabilità dimensionale	0,24%	
Resistenza al graffio	19 N/mm ²	
Resistenza alla fessurazione	NPD	Posa in opera
Resistenza ai raggi UV	NPD	-
		20 x 70 mm
		Nessuno dichiarato
		Nessuna
		Le doghe sono tagliate lungo la direzione principale, permettendo la sostituzione di parte del componente in caso di avaria
		No
		Listelli orizzontali
		Viti passanti

Report del sopralluogo effettuato



Immagine 61 (sinistra) L'intervento si inserisce in un contesto periferico rispetto alla città e le doghe ad andamento verticale in larice rappresentano un rivestimento esterno parziale verso sud per difendere l'involucro dall'eccessivo soleggiamento



Immagine 62 (destra) Nelle facciate Nord ed ovest gli edifici hanno un rivestimento esterno in intonaco. Ad oggi non si rilevano problematiche di compatibilità dimensionali tra isolante e pannelli sottostanti.



Immagine 63 (sinistra) Le doghe manifestano uno grado di ingrigimento superficiale omogeneo e sono correttamente dimensionate per evitare problematiche di stabilità nel piano. Superiormente la scossalina in acciaio protegge la testa dei listelli da eventuale imbibimento



Immagine 64 (destra) Particolare di facciata, dove si registrano dei problemi nelle doghe di rivestimento della parte strutturale. Le doghe sono in via di sostituzione,(sono composte da più componenti longitudinalmente e quindi la sostituzione della sola parte in avaria è agevolata).



Immagine 65 (destra) Non si evidenziano fessurazioni sull'intonaco né problemi di dilavamento della facciata.

Caso studio 10. Kostner house

Denominazione dell'intervento	Casa Atelier Kostner house
Localizzazione dell'intervento	Castelrotto (Bz)
Tipo di intervento	Nuova costruzione
Committenza	Privata
Progettista/gruppo di progettazione	MODUS architects, Sandy Attia, Matteo Scagnol
Progettazione strutturale	Rodolfo Senoner
Azienda fornitrice dei prodotti in legno	Ludwig Rabanser (struttura in legno)
Impresa di costruzione	
Tempi di realizzazione	2011-2012

La casa studio della famiglia Kostner si staglia su un altopiano nel piccolo paese di Castelrotto, nella provincia di Bolzano. L'intento progettuale iniziale è quello di re-interpretare il modello compositivo del fienile, locali ancora oggi molto presenti nel paese. La disposizione planimetrica di compone di due volumi aggettanti, ruotati l'uno rispetto all'altro.

Orizzontalmente la divisione delle funzioni interne alla casa studio si rilegge nel piano terra vetrato, superficie filtro tra la zona lavoro e la parte residenziale.

La tecnologia costruttiva utilizzata è a pannelli Xlam, con scala in calcestruzzo armato. La parete perimetrale verticale esternamente è rivestita con un pannello di compensato in larice di 25 mm, integrato in un sistema di componenti diagonali, 24 cm, costituiti da travi multi lamellari in legno di larice, fissate su piede a 'V' in acciaio zincato. Verso l'interno c'è la camera di ventilazione (40 mm), l'isolante integrato tra listelli di legno, direttamente fissati sui pannelli strutturali. All'interno si alternano rivestimenti in fibrogesso con rivestimenti in pannelli di pino con intercapedine per consentire il passaggio degli impianti.



Immagine 66 Pianta del primo piano

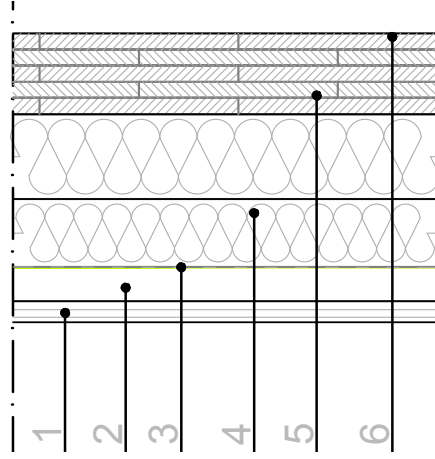


Immagine 67 Prospetto lato verso la vallata



Immagine 68 Prospetto del cortile interno tra i due edifici.

Qualità tecnologica - Caratterizzazione funzionale sistema di chiusura in legno.



	Strato funzionale	Componente	Caratteristiche materiche e produttive	Dimensioni mm
1	Strato di rivestimento esterno	Multistrato di larice	Pannello multistrato	25
2	Strato di collegamento	Listelli verticali	Listelli verticali di larice massello	40 x 40
3	Strato di separazione	Membrana traspirante	Membrana antivento	0,5
4	Strato di isolamento	Pannello isolante	Doppio pannelli in fibra di legno	60+120

	Spessore mm	Massa volumica Kg/m ³	Resistenza a flessione MPa	Resistenza a trazione MPa	Modulo di elasticità MPa	Reazione al fuoco Classe	Conducibilità termica W/mK	Resistenza alla diffusione del vapore μ	Durabilità Classe	Emissione formaldeide Classe	Stabilità dimensionale
1	25	500	30	9	8600	D-s2, d0	0,13	Da 70 a 200	3-4	E1	0,01 %
2	40	630	43	0,34	11000	D-s2, d0	0,13	Da 20 a 50	3-4	E1	0,24%
3	0,5		Strappo 500/1500	Chiodo 450/720		E	0,17	110	Garanzia 10 anni		0,05 mm
4	180	470	24	14	1100	D-s2, d0	0,12	Tra 20 e 50	4	E1	0,01%
5	95	470	24	14	1100	D-s2, d0	0,12	Tra 20 e 50	4	E1	

Strato di rivestimento esterno			
Multistrato di larice			
Resistenza a flessione	30 N/mm ²	Dimensione dei componenti	Componenti di diverse dimensioni e forme. Arrivano in cantiere già tagliati e pronti per il montaggio
Resistenza a trazione	9 N/mm ²	Trattamenti per migliorare la durabilità	Nessuno
Reazione al fuoco	D-s2, d0	Lavorazioni superficiali	Nessuna
Emissione formaldeide	E1	Sostituibilità del componente	Si
Conducibilità termica	NPD	Connessione tra elementi contigui	No
Permeabilità al vapore	Da 50 a 150	Sottostruttura di connessione con lo strato resistente	Telaio con listelli
Durabilità	3-4	Connessione con lo strato resistente	Viti di acciaio inossidabile
Stabilità dimensionale	0,01 %		
Durezza di Brindell	15 N/mm ²		
Resistenza alla fessurazione	NPD	Posa in opera	I pannelli vanno ad inserirsi nello spazio sagomato dalle travi di prospetto. Necessaria la planarità tra i due componenti.
Resistenza ai raggi UV	NPD		

Report del sopralluogo effettuato



Immagine 71 (sinistra) Gli elementi a protezione del legno dall'acqua di scolo del balcone.
Immagine 72 (destra) A coronamento della facciata la scossalina metallica permette una buona protezione della facciata ed evita macchie superiori. Lieve dilavamento intorno alle bucaure delle finestre



Immagine 73 (destra) Il nodo di aggancio a terra è progettato con attenzione, sopraelevato dal pavimento per permettere la corretta ventilazione. Le fessure da ritiro del legno, parallele alla fibratura, rientrano nei limiti di accettazione del materiale. I nodi a pettine che si intravedono tra le lamelle sono posti alla giusta distanza dalla concezione del nodo.

Caso studio 11. Damiani Holz

Denominazione dell'intervento	Nuova sede Damiani Holz
Localizzazione dell'intervento	Bressanone
Tipo di intervento	Servizi
Committenza	Damiani holz
Progettista/gruppo di progettazione	Modus architects
Progettazione strutturale	
Azienda fornitrice dei prodotti in legno	Damiani holz
Impresa di costruzione	Damiani holz
Tempi di realizzazione	2010-2011
Superficie	1160 mq

Questo edificio ospita l'azienda DamianiHolz, leader del settore nello sviluppo di soluzioni costruttive in legno su misura. Oltre alla qualità morfologica e al design accattivante, si richiedeva al progetto elevati standard di prestazioni energetiche. L'edificio alterna sui diversi piani, varie soluzioni di pavimentazione e di tecnologia di partizione interna orizzontale, per illustrare al visitatore i molteplici modi per utilizzare il legno nel progetto.

La tecnologia costruttiva dell'opera è un sistema Platform frame con isolante interposto tra il telaio.

Le parete perimetrali verticali hanno un rivestimento esterno in componenti multidimensionali di kerto, fresati e sagomati mediante tecnologie CNC, fissate singolarmente ad uno strato di separazione in Osb, fissato su listelli verticali per formare una camera di ventilazione.

Internamente è presente un pannello isolante in fibra di lana, fresato e sagomato per il passaggio degli impianti.

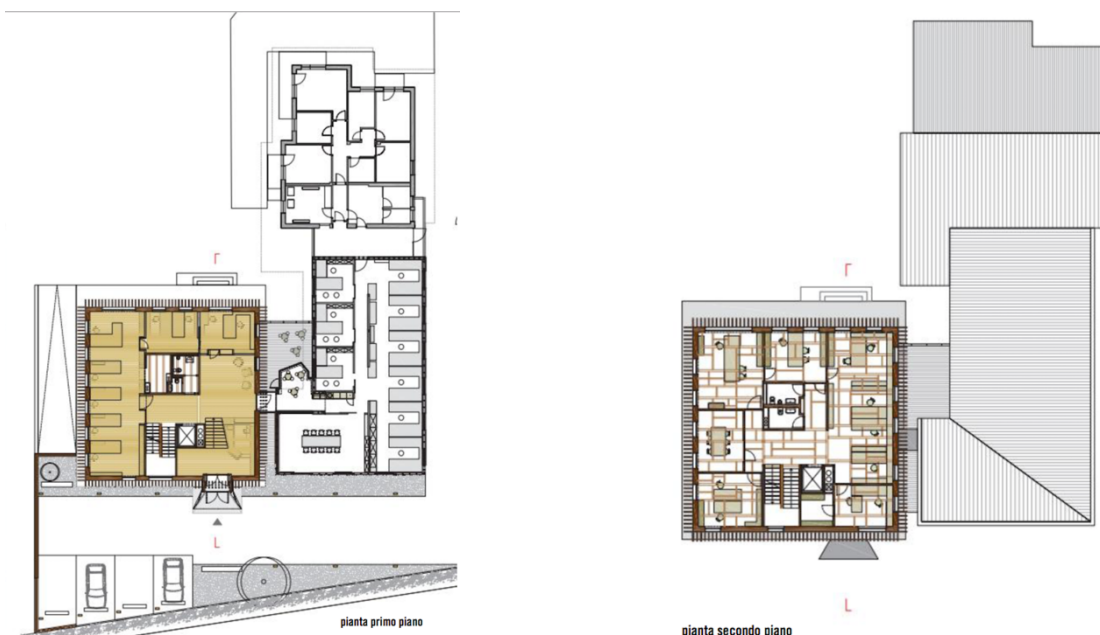


Immagine 74 Pianta del piano terra e della copertura dell'edificio



Immagine 75 Fronte lungo la strada provinciale.

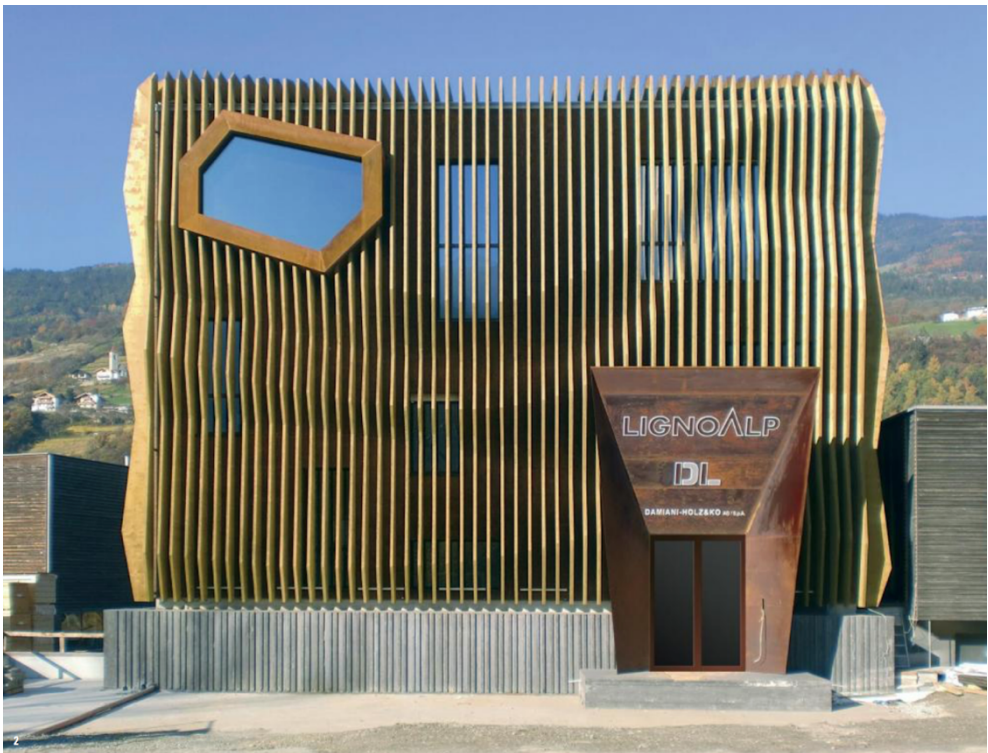
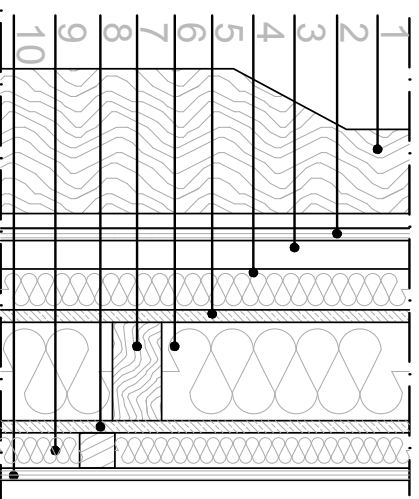


Immagine 76 Prospetto principale



Immagine 77 Prospetto posteriore



	Strato funzionale	Componente	Caratteristiche produttive	materiche e	Dimensioni mm
1	Rivestimento esterno - ombreggiatura	Elementi in Kerto	Moduli fresati con macchine al taglio CNC		varie
2	Strato di collegamento	Pannello multistrato	Pannello in multistrato di larice		20
3	Strato di ventilazione	Intercapedine d'aria			60
4	Strato isolante	Pannelli di isolamento	Fibra di legno interposta tra listelli		60
5	Strato di separazione	OSB			15
6	Strato di rivestimento esterno	Pannelli di isolante	Fibra di legno		30 x 40
7	Strato resistente	Montanti con fibra di legno interposta	Montanti di larice, isolante in fibra di legno		60 x 60
8	Strato di separazione	Pannello Osb			15
9	Strato di collegamento- isolamento	Telaio con isolante interposto	Telaio montanti e traversi in larice con isol. interposto		50
10	Rivestimento interno	Pannello multistrato	Pannello in abete		20

	Spessore	Massa volumica	Resistenza a flessione	Resistenza a trazione	MPa	Reazione al fuoco	Conducibilità termica	Resistenza alla diffusione del vapore	Durabilità	Emissione formaldeide	Stabilità dimensionale
	mm	Kg/m ³	MPa	MPa	MPa	Classe	W/mK	μ	Classe	Classe	mm
1	25	510	32	26	13800	D-s1, d0	0,12	Da 62 a 80		E1	+/- 0,5%
2	20	500	30	9	8600	D-s2, d0	0,13	Da 70 a 200	3-4	E1	
3	60										
4	60	250-270	NPD	NPD	NPD	E	0,040	5	NPD	E1	NPD
5	15	550	18	0,32	1200	D	0,13	Da 90 a 150		E1	0,03%
6	30 x 40	250-270	NPD	NPD	NPD	E	0,040	5	NPD	E1	NPD
7	60 x 60	630	43	0,34	11000	D-s2, d0	0,13	Da 20 a 50	3-4	E1	0,24%
8	15	550	18	0,32	1200	D	0,13	Da 90 a 150		E1	0,03%
9a	50	630	43	0,34	11000	D-s2, d0	0,13	Da 20 a 50	3-4	E1	0,24%
9b	50	150		>0,0075		E	0,040	5			
10	20	430	17,3	8,1	5400	D-s2, d0		Da 20 a 50	3-4	E1	0,24%

Elementi sagomati in Kerto			
Resistenza a flessione	32 N/mm ²	Dimensione dei componenti	Variabile tagliati e fresati con macchine a controllo numerico
Resistenza a trazione	26 N/mm ²	Trattamenti per migliorare la durabilità	Gli elementi in Kerto per classe di servizio 3 hanno caratteristiche di trattamento del componente che ne permette l'esposizione esterna
Reazione al fuoco	D-s1, d0	Lavorazioni superficiali	Nessuna
Emissione formaldeide	E1	Sostituibilità del componente	Si
Conducibilità termica	0,13 W/mK	Connessione tra elementi contigui	No
Permeabilità al vapore	Da 62 a 80	Sottostruttura di connessione con lo strato resistente	Agganci puntuali dalla singola tavola ad una sotto-connessione continua,(compensato)
Durabilità	3-4	Connessione con lo strato resistente	Viti a tutto filetto passanti
Stabilità dimensionale	0,5 %		
Resistenza di Brindell	NPD		
Resistenza alla fessurazione	NPD	Posa in opera	Posa in opera verticale, mediante agganci puntuali posti sullo strato di separazione
Resistenza ai raggi UV	NPD		

Strato di rivestimento esterno

Report del sopralluogo effettuato



Immagine 78 (sinistra) Facciata con profili sagomati in CNC di Kerto. I componenti non sembrano avere problemi di variazione cromatica, se non una leggera sfumatura verde-ramata, dovuta probabilmente alle colle presenti per comporre il materiale.

Immagine 79 (destra) Paragone tra l'ampliamento dell'edificio con involucro in Kerto e il vecchio stabilimento con rivestimento esterno con doghe in larice non trattato. La committenza ha costruito questo edificio nella prima parte degli anni ottanta e non ha riscontrato problematiche.



Immagine 80 (sinistra) Dettaglio di raccordo tra diverse quote in facciata



Immagine 81 (destra) Immagino di dettaglio dei componenti di rivestimento esterno in Kerto



Immagine 82 (sinistra) Dettaglio di progetto della facciata ventilata dell'edificio più vetusto
Immagine 83 (destra) Confronto tra il vecchio e nuovo edificio

Caso studio 12. Social housing in Daunay

Denominazione dell'intervento	Social housing in Daunay
Localizzazione dell'intervento	Impasse Daunay, Parigi
Tipo di intervento	Housing Sociale
Committenza	Siemp
Progettista/gruppo di progettazione	Atelier du Pont
Progettazione strutturale	Delta Fluides
Azienda fornitrice dei prodotti in legno	
Impresa di costruzione	General Services
Tempi di realizzazione	14 mesi
Superficie	658 m ²
Costi dell'intervento	1,380,000 euro

Edificio di social housing nella periferia parigina, commissionato dal grande ente nazionale della gestione del patrimonio immobiliare.

La richiesta era quella di articolare un intervento che potesse avere alti standard energetici e di confort, costi ridotti e avesse ambiti interni fruibili dagli abitanti

L'edificio ha una tecnologia costruttiva a telaio in calcestruzzo armato.

Le pareti perimetrali verticali seguono il modello funzionale di facciate ventilate, con rivestimento esterno in lastre di vetro satinato lungo il fronte principale e doghe verticali di legno di pino verso la corte interna.



Immagine 84 Impianto dell'edificio



Immagine 85 Fronte interno con rivestimento in doghe di pino



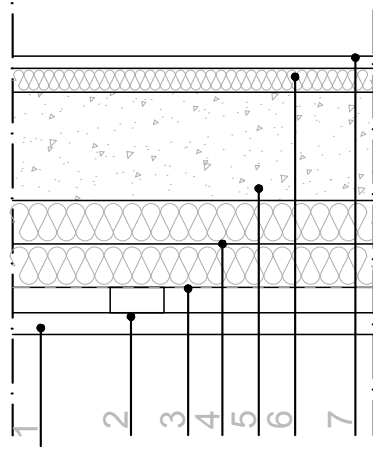
Immagine 86 Prospetto lungo la strada



Immagine 87 Fronte interno

Qualità tecnologica - Caratterizzazione funzionale sistema di chiusura

	Strato funzionale	Componente	Caratteristiche materiche e produttive	Dimensioni mm
1	Rivestimento esterno	Doghe di rivestimento verticale	Pino Termo trattato	30 x 40
2	Strato di collegamento	Montante della struttura di supporto	Larice naturale	60 x 60
3	Strato di separazione	Barriera al vapore		10
4	Strato di isolamento	Isolamento in pannelli	Fibra di legno	60 + 60
5	Strato resistente	Struttura in cls		147
6	Isolamento	Isolamento interno	Lana di roccia	27
7	Rivestimento interno	Pannello di finitura	Abete naturale	25



Strato di rivestimento esterno		
Doga di larice naturale a sezione scanalata romboidale		
Resistenza a flessione	43 N/mm ²	Dimensione dei componenti
Resistenza a trazione	0,34 N/mm ²	Trattamenti per migliorare la durabilità
Reazione al fuoco	D-s2, d0	Lavorazioni superficiali
Emissione formaldeide	E1	Sostituibilità del componente
Conducibilità termica	0,13 W/mK	Connessione tra elementi contigui
Permeabilità al vapore	Da 20 a 50	Sottostruttura di connessione con lo strato resistente
Durabilità	3-4	Connessione con lo strato resistente
Stabilità dimensionale	0,24 %	
Resistenza di Brindell	19 NPD	
Resistenza alla fessurazione	NPD	Posa in opera
Resistenza ai raggi UV	NPD	
		Sezione 50 x 150
		Legno Termo trattato
		Nessuna dichiarata
		Si
		No
		Telaio in listelli con isolante interposto
		Viti in acciaio inossidabile
		Listelli ad andamento verticale con giunto aperto.

Caso studio 13. Le Albere, Trento

Denominazione dell'intervento	Le Albere
Localizzazione dell'intervento	Trento
Tipo di intervento	Residenziale su più edifici
Committenza	Castello S.g.r.
Progettista/gruppo di progettazione	Renzo Piano Building Workshop
Progettazione strutturale	
Azienda fornitrice dei prodotti in legno	
Impresa di costruzione	Colombo Costruzioni S.p.A.; Capogruppo A.T.I.
Tempi di realizzazione	
Superficie	Totale Superficie Utile Lorda Residenziale: 43900 mq + interrato

Questo intervento di riqualificazione si trova nelle vicinanze del centro della cittadina di Trento e sorge su una porzione di territorio compreso tra la ferrovia ed il cimitero, con grandi esigenze di riqualificazione del territorio.

La progettazione dell'intera area, che comprende plessi residenziali e servizi per gli studenti, un museo tecnologico, residenze e una biblioteca universitaria, è stata affidata alla Renzo Piano Workshop Foundation e l'appalto successivamente affidato a diverse imprese.

Alle strutture di calcestruzzo armato (per pilastri, travi, vani per i collegamenti verticali ecc.) sono stati affiancati elementi di acciaio e legno, sia per le coperture che per le facciate. Le facciate degli edifici sono costituite da montanti di legno lamellare collegati alle solette da mensole di acciaio. Ai massivi orizzontamenti interni in c.a. sono state affiancate soluzioni più leggere per le logge (assito e travetti lignei).



Immagine 88 Vista dall'alto dell'interno quartiere



Immagine 89 Scorcio di uno dei viali interni del nuovo intervento



Immagine 90 Prospetto dell'edificio fronte principale

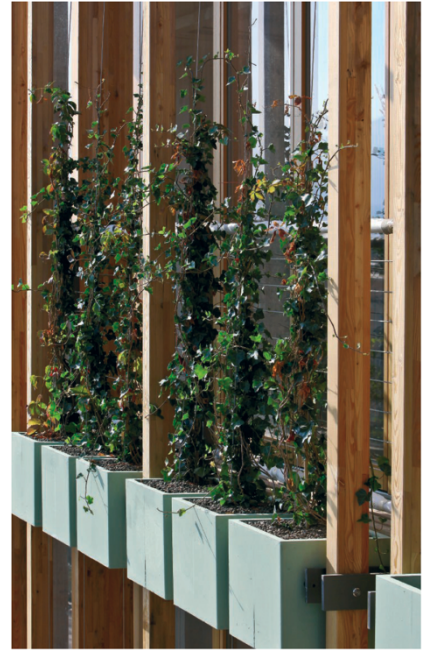


Immagine 91 Varie foto del prospetto dell'edificio fronte ferrovia

Strato di rivestimento esterno		
Struttura esterna in legno lamellare		
Resistenza a flessione	24 N/mm ²	Dimensione dei componenti
Resistenza a trazione	14 N/mm ²	Trattamenti per migliorare la durabilità
Reazione al fuoco	D-s2, d0	Lavorazioni superficiali
Emissione formaldeide	E1	Sostituibilità del componente
Conducibilità termica	NPD	Connessione tra elementi contigui
Permeabilità al vapore	NPD	Sottostruttura di connessione con lo strato resistente
Durabilità	3-4	Connessione con lo strato resistente
Stabilità dimensionale	0,01 %	
Resistenza di Brindell	NPD	
Resistenza alla fessurazione	NPD	Posa in opera
Resistenza ai raggi UV	NPD	-
		Varie
		Nessun trattamento dichiarato
		Nessuna dichiarata
		Si
		No
		Telaio
		Viti in acciaio inossidabile

Specifiche tecniche richieste dai progettisti in fase preliminari, (estratto dal documento redatto dallo studio RPBW dove si descrivevano le specifiche del materiale)

Data la peculiarità del progetto è richiesta un'elevata qualità del materiale e delle lavorazioni. Gli elementi strutturali di legno lamellare incollato saranno prodotti conformemente alla norma EN 14080. Le dimensioni delle singole lamelle devono rispettare i limiti per lo spessore e per l'area della sezione trasversale indicati nella norma UNI EN386. Non sono ammessi i giunti a dita "a tutta sezione" non sono ammessi. Indipendentemente dalle regole di classificazione del legname, per tutte le membrature l'imperfezione dovuta allo scostamento dalla rettilineità non dovrà superare 1/500 della lunghezza. Al momento della fornitura, gli elementi di legno del lamellare incollato dovranno essere equilibrati ad un'umidità non maggiore del 15% misurata con un misuratore elettrico a resistenza provvisto di elettrodi a gambo isolato, in un punto qualsiasi ed a qualsiasi profondità. Tutti i fissaggi, le chiodature, le bullonature e tutti i collegamenti meccanici in generale, dovranno essere zincati a caldo. Le strutture lignee considerate sono quelle che assolvono una funzione di sostenimento e che coinvolgono la sicurezza delle persone, siano esse realizzate in legno massiccio (segato, squadrato o tondo) e/o legno lamellare (incollato) e/o pannelli derivati dal legno, assemblati mediante incollaggio o elementi di collegamento meccanici. L'Appaltatore presterà particolare attenzione a tutte gli accessori necessari alla corretta posa in opera. Egli sarà obbligato a impiegare tutte le guarnizioni in teflon, distanziatori in acciaio inox e acciaio normale, perni in acciaio inox e normale, dischi di fissaggio conformemente a quanto indicato negli elaborati grafici di riferimento.

Imballaggio, movimentazione stoccaggio

Ciascun elemento di legno lamellare sarà imballato individualmente con carta robusta o altro materiale traspirante al vapore, in modo tale da evitare che le superfici si sporchino durante la movimentazione e la posa in opera. L'imballaggio deve essere tale da poter essere agevolmente asportato dopo il compimento della messa in opera dell'elemento. La movimentazione e lo stoccaggio, fino alla consegna in cantiere, dovranno avvenire con accorgimenti tali da evitare danneggiamenti, urti, scheggiature, ammaccature, macchi di qualsiasi tipo, deformazioni permanenti e quant'altro.

Il materiale dovrà, fino al momento della posa in opera, risultare adeguatamente protetto dalla pioggia, dalla condensa e dall'umidità eccessiva.

Requisiti essenziali della fornitura

- Specie legnosa: larice (Lari decidua)

- Qualità delle lamelle:

Requisiti di resistenza meccanica: le lamelle devono essere classificate secondo la resistenza meccanica e ricadere tutte nella categoria o classe di resistenza minima prevista per la fabbricazione di legno lamellare classificato in classe di resistenza GL32h e GL28h.

-

Altri requisiti:

a) le lamelle devono essere esenti da alborno;

b) per le sole lamelle costituenti i due strati di bordo (intradosso ed estradosso) di ciascun elemento di legno lamellare, sono considerati non ammissibili (in aggiunta ai criteri di classificazione secondo le resistenze già citate), i seguenti difetti:

- inclinazione della fibratura > 1:15; smussi;
- midollo incluso nella sezione;

- fessurazioni e cretti longitudinali, di qualsiasi tipo;
- tasche di resina;
- nodi “a baffo”;
- cipollature;
- distacchi di zone tardive sulla superficie delle tavole (loosegrain, difetto dovuto in genere alle forze generate da una piallatura troppo energica e/o troppo profonda).

Elementi di collegamento metallici

Per gli elementi di collegamento usati comunemente, quali chiodi, bulloni, perni e viti, la capacità portante caratteristica e la deformazione caratteristica dei collegamenti devono essere determinate sulla base di prove condotte in conformità alla norma UNI ENV 1995-1-1 (Eurocodice 5). Si deve tenere conto dell'influenza del ritiro per essiccazione dopo la fabbricazione e delle variazioni del contenuto di umidità in esercizio. Gli altri dispositivi di collegamento eventualmente impiegati, dovranno essere stati provati in maniera corretta completa e comprovata da idonei certificati. Per gli elementi metallici dovrà essere previsto un trattamento di protezione in relazione alla classe di umidità del manufatto, secondo le seguenti prescrizioni minime:

Classe di umidità - Trattamento

1 - nessuno

2 - Fe/Zn 12c

3 - Fe/Zn 25c 2)

1 - minimo per le graffe

2- in condizioni severe Fe/Zn 40c o rivestimento di zinco per immersione a caldo.

Classe di umidità 1: questa classe di umidità è caratterizzata da un contenuto di umidità nei materiali corrispondente ad una temperatura di 20 ± 2 °C e ad una umidità relativa nell'aria circostante che supera il 65 % soltanto per alcune settimane all'anno.

Nella classe di umidità 1 l'umidità media di equilibrio per la maggior parte delle conifere non supera il 12 %.

Classe di umidità 2: questa classe di umidità è caratterizzata da un contenuto di umidità nei materiali corrispondente ad una temperatura di 20 ± 2 °C e ad una umidità relativa dell'aria circostante che supera il 80 % soltanto per alcune settimane all'anno.

Nella classe di umidità 2 l'umidità media di equilibrio per la maggior parte delle conifere non supera il 18 %.

Classe di umidità 3: condizioni climatiche che danno luogo a contenuti di umidità più elevati.

In ogni caso per la protezione delle carpenterie metalliche che resteranno a vista si rimanda al paragrafo specifico

Trattamento superficiale

Il legno è un materiale che, per le sue origini naturali, presenta caratteristiche molto differenti a seconda della pianta di provenienza, del tipo di lavorazione impiegato, della stagionatura e del trattamento di finitura.

Indipendentemente dall'essenza usata è necessario che il legno abbia avuto una fase di stagionatura (naturale od artificiale) adeguata, per abbassare l'umidità contenuta in esso a valori di 8-12% per legni destinati ad ambienti interni e di 13-18% per legni destinati ad ambienti esterni.

Controlli:

La D.L. dovrà accertarsi che siano state effettuate verifiche di:

- controllo sul progetto;
- controllo sulla produzione e sull'esecuzione fuori e dentro il cantiere;
- controllo sulla struttura dopo il suo completamento.

Il controllo sul progetto dovrà comprendere una verifica dei requisiti e delle condizioni assunte per il progetto.

Il controllo sulla produzione e sull'esecuzione dovrà comprendere documenti comprovanti:

- le prove preliminari, per esempio prove sull'adeguatezza dei materiali e dei metodi produttivi;
- controllo dei materiali e loro identificazione, per esempio: per il legno ed i materiali derivati dal legno: specie legnosa, classe, marchiatura, trattamenti e contenuto di umidità; per le costruzioni incollate: tipo di adesivo, procedimento produttivo, qualità dell'incollaggio; per i connettori: tipo, protezione anticorrosione;
- trasporto, luogo di immagazzinamento e trattamento dei materiali
- controllo sulla esattezza delle dimensioni e della geometria;
- controllo sull'assemblaggio e sulla messa in opera;
- controllo sui particolari strutturali, per esempio: numero dei chiodi,
- bulloni, cc.; dimensioni dei fori, corretta preforatura; interassi o
- distanze rispetto alla testata od ai bordi, fessurazioni;
- controllo finale sul risultato del processo produttivo, per esempio
- attraverso un'ispezione visuale e prove di carico.

Il controllo della struttura dopo il suo completamento dovrà contemplare i tipi di controllo da effettuare durante l'esercizio ove non sia adeguatamente assicurato sul lungo periodo il rispetto dei presupposti fondamentali del progetto.

Tutti i documenti più significativi e le informazioni necessarie per l'utilizzo in esercizio e per la manutenzione della struttura dovranno essere raccolti dalla direzione dei lavori in apposito fascicolo e poi messe a disposizione della persona che assume la responsabilità della gestione dell'edificio.



Immagine 92 (sinistra) Facciata con componenti esterni in legno. Non si rilevano particolari avarie di componenti
 Immagine 93 (destra) Noto di dettaglio di aggancio pareti esterne in acciaio – montanti verticali in legno. Non si rilevano problemi di dilavamento dei componenti in acciaio, che sono correttamente arretrati rispetto al filo dei montanti.

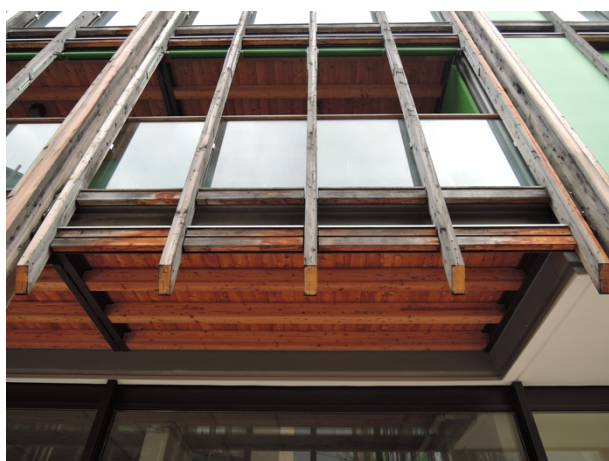


Immagine 94 (sinistra) La testa dei listelli tagliata diagonalmente permette che la faccia del listello non sia stagnante d'acqua e quindi è in un buono stato di conservazione. I balconi in legno non presentano alcun tipo di problematica.
 Immagine 95 (destra) I componenti verticali risultano di variazione cromatica omogenea e con fessurazioni nella norma.



Immagine 96 (sinistra) I nodi a terra dei montanti verticali sono pensati con delle cerniere al piede e la superficie di contatto tra i due oggetti è ventilata, permettendo la naturale asciugatura del legno
 Immagine 97 (destra) I nodi a terra dei montanti verticali sono pensati con delle cerniere al piede e la superficie di contatto tra i due oggetti è ventilata, permettendo la naturale asciugatura del legno

Caso studio 14. Life, nuovo quartiere Regolo

Denominazione dell'intervento	Life, quartiere Regolo
Localizzazione dell'intervento	Brescia
Tipo di intervento	Residenze
Committenza	Regolo S.r.l.
Progettista/gruppo di progettazione	5+1 AA
Progettazione strutturale	AI Engineering s.r.l.
Azienda fornitrice dei prodotti in legno	Piemonte parquet (XILO 1934)
Impresa di costruzione	Costruzioni Sandrini S.r.l.
Tempi di realizzazione	2012-2014
Superficie	12000 mq
Costi dell'intervento	11,9 milioni €

L'edificio si trova a sud ovest rispetto il centro di Brescia e si inserisce all'interno del sistema di verde che circonda le mura della città. Il progetto vuole inserirsi nel contesto, lasciando entrare il verde all'interno dell'impianto, bilanciando il costruito con il verde del sistema urbano.

La tecnologia costruttiva utilizzata è in telaio in calcestruzzo armato, con pareti perimetrali verticali in calcestruzzo areato autoclavato.

I rivestimenti esterni di alternano nei vari edifici, tra parti in intonaco, scandole metalliche e doghe ad andamento verticale in okoumè, componenti utilizzati anche per la delimitazione degli spazi.

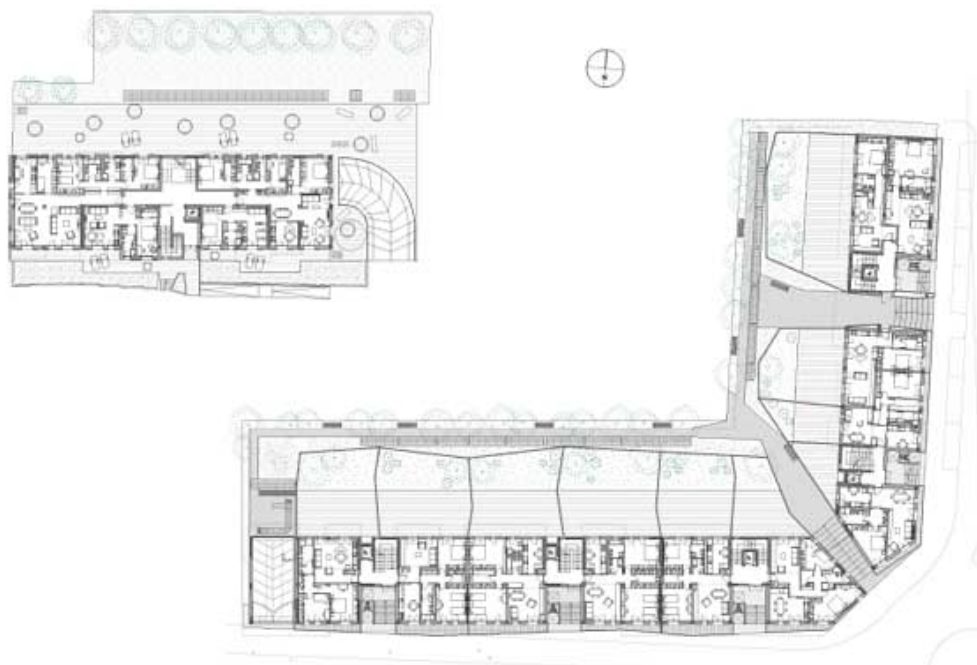


Immagine 98 Impianto dell'intervento



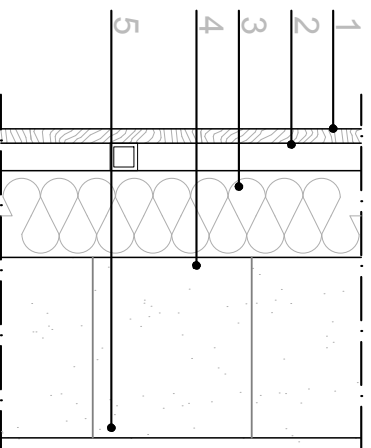
Immagine 99 Fronte della corte interna, con rivestimenti esterni alternati (intonaco-doghe di okoumè=



Immagine 100 Fronte della corte interna, con rivestimenti esterni alternati (intonaco-doghe di okoumè=



Immagine 101 Fronte della corte interna, con rivestimenti esterni alternati (intonaco-doghe di okoumè=



	Strato funzionale	Componente	Caratteristiche materiche e produttive	Dimensioni mm
1	Strato di rivestimento esterno	Listelli verticali	Listelli di okoumè	20 x varie
2	Strato di collegamento	Struttura in acciaio	Profili di acciaio zincato	38
3	Strato di isolamento	Pannello isolante	Lamiera di alluminio con isolante interposto	120
4	Strato resistente	Muratura	Strato in blocchi di cls areato autoclavato	400
5	Strato di finitura interna	Rivestimento in intonaco	Intonaco per civile per interni	10

Listelli verticali in legno di Okoumé		Dimensione dei componenti	
Resistenza a flessione	35	24 x 32, (lungh. 3000)	
Resistenza a trazione	35	Trattamenti per migliorare la durabilità	Nessun trattamento dichiarato
Reazione al fuoco	D-s2, d0	Lavorazioni superficiali	Nessuna
Emissione formaldeide	E1	Sostituibilità del componente	Si
Conducibilità termica	0,13 W/mK	Connessione tra elementi contigui	No
Permeabilità al vapore		Sottostruttura di connessione con lo strato resistente	Gli elementi in legno sono inseriti all'interno di profili che non ne forano la superficie
Durabilità	4	Connessione con lo strato resistente	Viti in acciaio inossidabile
Stabilità dimensionale	+/- 2 mm		
Resistenza di Brindell	18		
Resistenza alla fessurazione	NPD		
Resistenza ai raggi UV	NPD		
Strato di rivestimento esterno		Posa in opera	Posa eseguita fissando i profili di acciaio inox mediante n. 4 viti del diametro di 10 mm. Essi sono posizionati ad una distanza di mm 400 / 500, al fine di preservare il legno da eventuali deformazioni. Gli elementi in legno saranno inseriti a scorrere all'interno dei profili di acciaio inox o mediante incaastro frontale.



Immagine 102 (sinistra) Recinzione principale su strada- I componenti hanno una coloritura diversa di invecchiamento, dovuta in parte anche ad una diversa esposizione ai raggi UV,(in fondo alla strada non sono presenti edifici sul fronte opposto). Questa diversa sfumatura non ha finora evidenziato avarie dei componenti in legno.

Immagine 103 (destra) Prospetto interno dell'edificio. Non si registrano avarie



Immagine 104 (sinistra) Dettaglio di uno dei prospetti interni con diverso invecchiamento superficiale, senza alcuna conseguenza in termini di durabilità

Immagine 105(destra) Dettaglio di uno dei prospetti interni con diverso invecchiamento superficiale, senza alcuna conseguenza in termini di durabilità



Immagine 106 (sinistra) Dettaglio dei collegamenti posteriori nella recinzione perimetrale e

Immagine 107 (destra) dettaglio dell'aggancio del singolo componente. Il listello ad andamento verticale viene fissato posteriormente e non viene effettuata una foratura che potrebbe essere fonte di degrado

Caso studio 15. Tortona 37

Denominazione dell'intervento	Tortona 37
Localizzazione dell'intervento	Milano
Tipo di intervento	Uffici
Committenza	
Progettista/gruppo di progettazione	Matteo Thun
Progettazione strutturale	B.C.V. Progetti
Azienda fornitrice dei prodotti in legno	Uniform with Paul
Impresa di costruzione	Di Vincenzo – Mangiavacchi
Tempi di realizzazione	Finito nel 2007
Superficie	39000

Il complesso di Tortona 37 sorge nella periferia milanese nel più ampio quadro di riqualificazioni del quartiere ex industriale della città.

Questo complesso ospita al suo interno diverse destinazioni d'uso, richiedeva ai progettisti di elaborare soluzioni con un'elevata qualità sotto il profilo delle prestazioni energetiche e dei materiali utilizzati.

La tecnologia costruttiva utilizzata per questo edificio è a telai in calcestruzzo armato.

I componenti in legno sono stati utilizzati per caratterizzare gli aggetti di prospetto ed i parapetti, oltre che per articolare un sistema di ombreggiamento dei bow window



Immagine 108 Pianta degli edifici



Immagine 109 Fronte lungo strada con schermature di legno

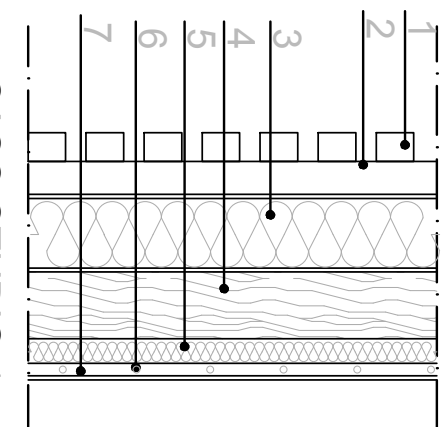


Immagine 110 Fronte interno con elementi in legno



Immagine 111 dettaglio della facciata con bowwindow.

Qualità tecnologica (caratterizzazione funzionale sistema di chiusura)



Strato funzionale	Componente	Caratteristiche materiche e produttive	Dimensioni mm
1	Rivestimento esterno	Listelli orizzontali Rovere di Slavonia	20 x varie
2	Strato di collegamento	Telajo in acciaio Profili di acciaio zincato	38
3	Strato di isolamento	Pannello Sandwich Lamiera di alluminio con isolante interposto	100
4	Strato resistente e isolante	Montante in legno Montanti in legno di larice	80
5	Strato di isolamento	Pannello isolante Pannello isolante in poliestere	20
6	Strato passaggio impiantistico	Pannello radiante Pannello per il riscaldamento radiante	17
7	Rivestimento interno	Rivestimento in lamiera	

Listelli orizzontali in rovere di Slavonia		Dimensione dei componenti	
Resistenza a flessione	105	Trattamenti per migliorare la durabilità	Impregnante all'acqua, finitura all'acqua cerata per esterni e sigillante monocomponente
Resistenza a trazione		Lavorazioni superficiali	Nessuna dichiarata
Reazione al fuoco	D-s1, d0	Sostituibilità del componente	Si
Emissione formaldeide	E1	Connessione tra elementi contigui	No
Conducibilità termica	0,185	Sottostruttura di connessione con lo strato resistente	-
Permeabilità al vapore		Connessione con lo strato resistente	Viti in acciaio inossidabile
Durabilità	1-2	Posa in opera	-
Stabilità dimensionale	Mod-Poco stabili		
Durezza di Brindell	34 N/mm2		
Resistenza alla fessurazione			
Resistenza ai raggi UV			

Strato di rivestimento esterno

Estratto dal manuale di manutenzione fornito dall'impresa fornitrice dei componenti in legno

Caratteristiche del legno

Il legno lamellare in Rovere di Slavonia dovrà essere composto da strati tutti in Rovere, a liste intere e privi di nodi.

Il profilo lamellare dovrà essere "bilanciato" essendo le liste che lo compongono sovrapposte ed affiancate, disposte con fibratura parallela incollate, con anelli di accrescimento contrapposti. Le liste devono essere selezionate per avere le facce in vista del lamellare con omogeneità della fibratura e regolarità nell'andamento della venatura.

Il collante impiegato deve essere conforme alla classe D4 secondo le norme europee EN 204/205. Il legno lamellare dovrà essere utilizzato in modo che le facce siano disposte parallelamente al piano vetrato del serramento, in maniera da non esporre la linea collante alle intemperie del sole.

Specificata tecnica: Ciclo di verniciatura per le opere in legno rovere componenti la facciata

Continua

Il ciclo di protezione, da eseguire sul legno non levigato e su ogni singolo pezzo smontato, è costituito da 4 fasi:

Passo Num.	Prodotto	Codice	Applicazione		Quantità (g/mq)	Essic. (h)	Sovra (h)
1	Impregante	YML069 (vers. Incolore)	Serramenti, grigliati	Flow-coating	40-50	2	16
			Copertine verticali, montanti facciate.	Immersione			
2	Finitura	YO-10L067 (vers. Incolore)	Serramenti, grigliati	Spruzzo	50-60	2	2
			Copertine verticali, montanti facciate.	Immersione			
3	Finitura	YO-10L067 (vers. Incolore)	Serramenti, grigliati	Spruzzo	50-60	2	
			Copertine verticali., montanti facciate.	Immersione			
4	Sigillante	AY-M428	Pennello sulle teste		70-100	2	

Proprietà dei prodotti indicati nel ciclo di protezione:

1) Impregnante all'acqua YM-L069 per esterno indicato per latifoglie quali il rovere. Prodotto a base di resine acriliche-alchidiche, aventi le seguenti proprietà:

- proteggere il legno dall'attacco dei funghi superficiali;
- proteggere la lignina, principale costituente del legno, dalla demolizione foto-ossidata ad opera delle radiazioni solari.

2) Finitura all'acqua cerata YO-10L067 per esterni

Prodotto a base di resine acriliche, avente le seguenti proprietà:

- proteggere il legno dall'azione degradativa delle radiazioni UV;
- impartisce idrorepellenza alla superficie del legno.

3) Sigillante AY-M428 monocomponente per serramenti

Prodotto a base di resine acriliche, da applicare solo sulle teste, aventi le seguenti proprietà:

- ridurre l'assorbimento di acqua dalle teste, fenomeno che causa, a lungo andare, le fessurazioni del legno

Manutenzione Ordinaria - Pulizia

Scopo

La pulizia di un manufatto esposto all'esterno rappresenta la prima importante operazione da eseguire per una corretta manutenzione dei propri serramenti.

Fenomeni quali piogge acide o inquinamento atmosferico, determinano una maggiore velocità di corrosione della finitura e conseguentemente una inferiore durata. L'asportazione di materiali grassi, smog o quant'altro depositatosi sulla superficie della finitura, rappresenta già di per sé un'ottima cura per la durata del serramento.

Materiali

In nessun caso si devono usare per la pulizia detergenti aggressivi come quelli a base alcolica o ammoniacale. Tali prodotti, aggredendo la finitura, provocano danni deleteri per l'intero manufatto. Si devono usare invece detergenti neutri che puliscono ugualmente bene e non danneggiano la superficie impregnata. Per la pulizia, utilizzare un panno morbido, senza esercitare forti pressioni.

Denominazione prodotto Codice Prodotto RENNER ITALIA spa

Detergente neutro RR 1050

Procedimento

Applicare il detergente neutro sul panno e passarlo delicatamente con movimento circolare sulla superficie. Quindi asciugare con un panno morbido pulito ed asciutto.

Semestrale in normali condizioni, prima del periodo estivo e prima del periodo invernale. Nel caso di ambienti particolarmente aggressivi (es. alto tasso di inquinamento atmosferico ecc.), la pulizia deve essere intensificata.

Manutenzione Straordinaria - Rinnovo (per eliminare l'ingrigimento e riportare il legno nella sua finitura originale)

Scopo

Tale operazione può essere eseguita su superfici ancora in buono stato, dove le medesime non sono state ancora danneggiate (es. assenza di fessurazioni o screpolature della finitura ecc.).

Ha i seguenti scopi:

- riportare lo strato protettivo della finitura allo stato originario
- conferire al manufatto una maggiore idrorepellenza, al fine di aumentare la sua protezione contro l'attacco dell'acqua.

Materiali

Detergente neutro RR 1050, finitura YO-10L067/-----.

Pennelli per l'applicazione di prodotti all'acqua.

Denominazione prodotto Codice Prodotto Renner Italia SpA

Detergente neutro RR 1050

Finitura all'acqua YO-10L067

Procedimento

Dapprima eseguire una accurata pulizia del manufatto, quindi levigare solo leggermente, cioè asportando solo la parte superficiale della finitura, impiegando una carta abrasiva avente grana 240-280. Applicare ora la finitura YO-10L067/----- impiegando un pennello per prodotti all'acqua (es. con fibre sintetiche e senza parti metalliche). Si consiglia di non applicare grossi quantitativi di prodotto, avendo cura di distenderlo in modo uniforme. Evitare di effettuare queste operazioni nel corso di giornate piovose o durante le ore nelle quali i serramenti sono direttamente esposti al sole o prima del tramonto.

Fase-Descrizione

1° Pulizia della superficie con impiego di detergente neutro RR1050

2° Levigatura con carta abrasiva grana 240-280

3° Applicazione a pennello della finitura YO-10L067/-----

Periodicità

Nel caso in cui si voglia mantenere l'aspetto originario eseguire una volta all'anno, prima dell'inverno o prima dell'estate.

Report del sopralluogo effettuato



Immagine 114 (sinistra) Box Window interno alla corte. Si rileggono parti di rivestimento esterno con cromature diverse rispetto alle doghe vicine.

Immagine 115 (destra) Box window interno alla corte – Doghe con quale avaria e avvallamento

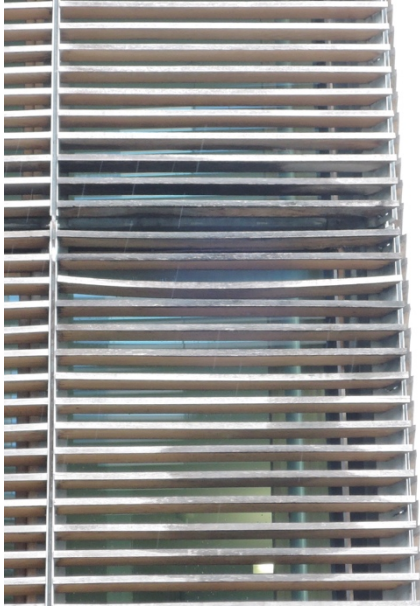
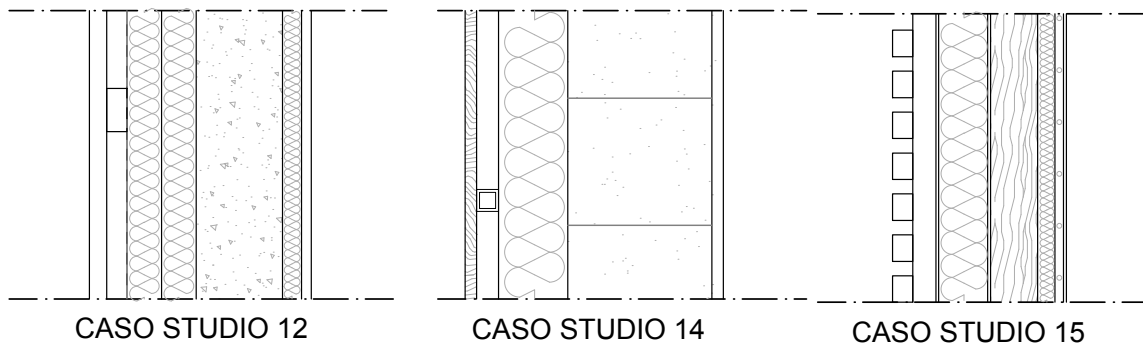
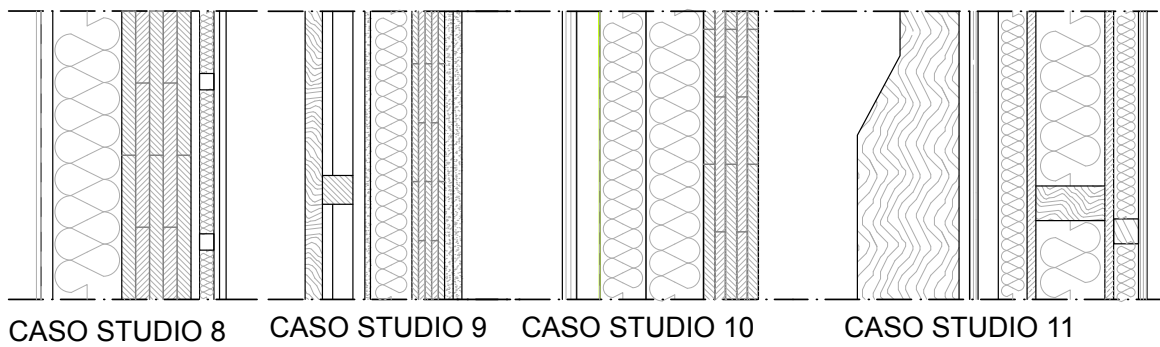
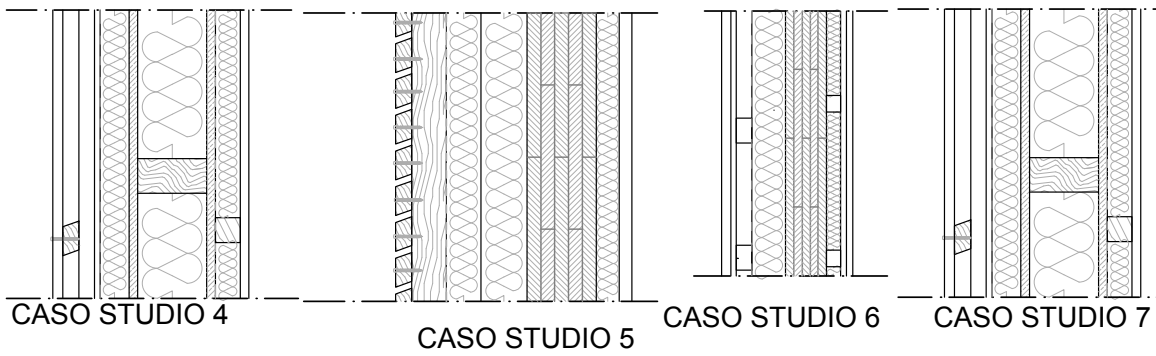
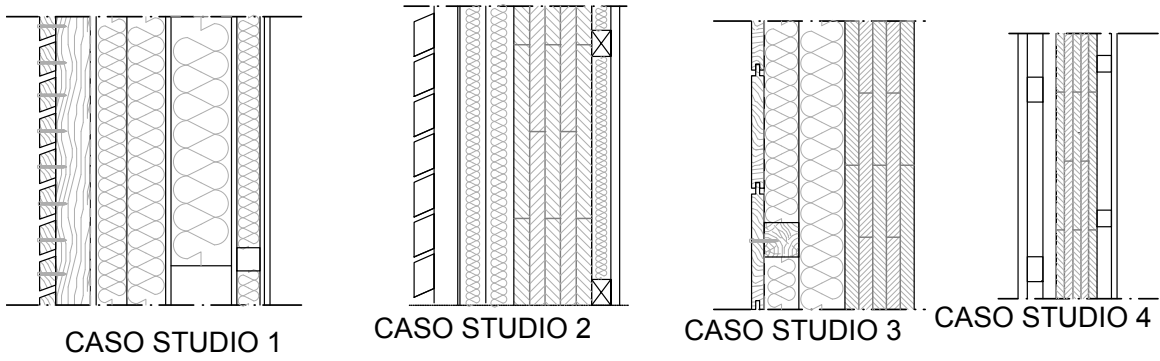
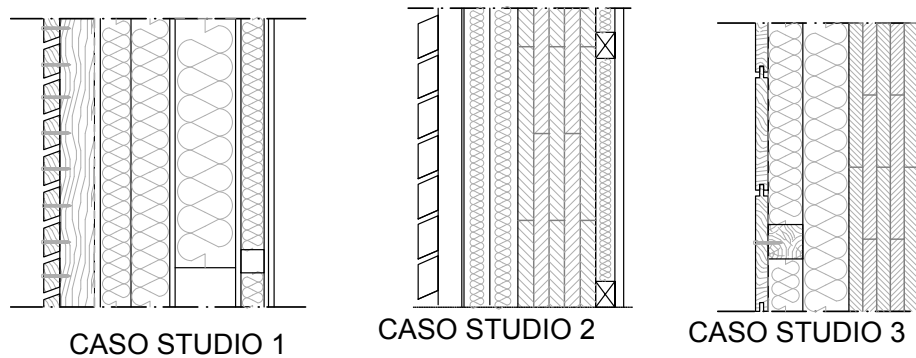


Immagine 116 (sinistra) Rivestimento esterno del bow window con doghe 'imbarcata'
Immagine 117 (destra) Dettaglio dell'ombreggiamento con doghe 'imbarcato'.

4.2 Analisi critica dei casi studio



Involucri con rivestimento esterno con componenti ad andamento orizzontale



Nel caso studio 1 c'è un sistema rivestimento interno in pannelli di cartongesso, collegato alla struttura mediante una listellatura di montanti e traversi in larice, con isolante in fibre di lino interposta. Lo strato di separazione è costituito dal lato interno mediante pannello di irrigidimento OSB, dal lato esterno con un lato diagonale in abete grezzo. Lo strato resistente della parete perimetrale verticale considerata è costituito da componenti in abete bilama, ed assolve anche alla funzione portante dell'interno edificio.

Esternamente allo strato strutturale è applicato un isolante con doppio strato di fibra di legno, avvitato direttamente allo strato resistente

Oltre in pannelli, vi è una facciata semi-ventilata con rivestimento esterno in doghe orizzontali di larice, a sezione romboidale per permettere il corretto deflusso delle acque.

La parte superiore del prospetto è stata protetta con uno scatolare in alluminio, che compone in maniera gradevole il prospetto ed allo stesso tempo conferisce protezione allo strato di rivestimento, riuscendo grazie ai pochi centimetri di maggiore spessore, a far defluire parte delle acque meteoriche oltre la facciata stessa.

In questo caso è stata prevista una buona ventilazione interna del pacchetto, grazie all'utilizzo di materiali traspiranti sia esternamente (isolante in fibra di legno, separazione in osb), che internamente.

Per migliorare la durabilità nel tempo del componente dello strato di rivestimento esterno si è applicato inizialmente un trattamento con olio di oliva e successivamente invece un trattamento chimico mediante verniciatura. I collegamenti delle doghe con la struttura della parete ventilata sono allineati ed a vista dall'esterno, con viti zincate a tutto filetto. Questa modalità di fissaggio implementa la possibilità di rimozione della singola doga e ne permette una facile manutenzione, ma allo stesso tempo rappresenta un punto di vulnerabilità del componente.

Nel caso studio 2 la soluzione è molto simile a quella precedente, con un modello funzionale articolato su sistema di rivestimento esterno in doghe scanalate in larice naturale, fissate su un sistema di montanti in abete, fissato con viti passanti allo strato resistente, questa volta costituito da pannelli in Xlam. Il sistema di isolamento consiste in doppia pannellatura in fibra di legno, protetta esternamente da uno strato di intonaco bianco su separazione in osb.

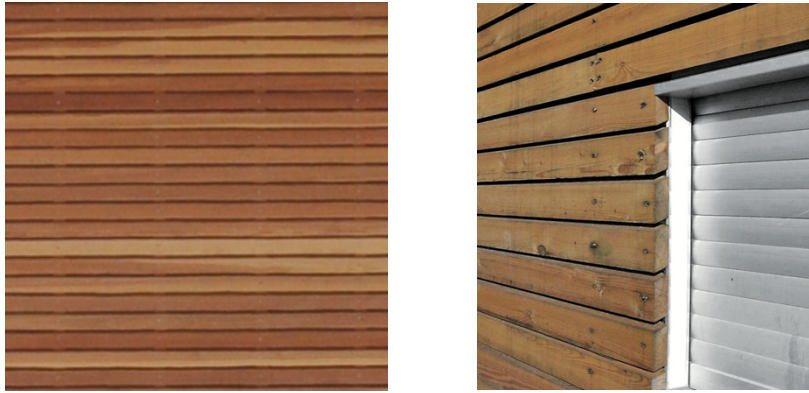


Figura 109 Foto di dettaglio dei rivestimenti esterni del Caso studio 1 e Caso Studio 2

In entrambi i casi il sistema di rivestimento esterno può essere considerato più un impianto di ombreggiamento che una facciata ventilata, visto che le aperture tra le doghe non permettono l'effetto camino della camera di ventilazione.

Differenti si presentano le scelte per proteggere lo strato isolante: da un lato il progettista ha deciso di utilizzare la membrana impermeabile di colore nero, antistrappo e antivento, rivestendo anche i componenti di parete. Nell'altro caso invece, abbiamo uno strato di intonaco, che riveste i pannelli in fibra di legno. Questa misura, che coniuga anche le esigenze estetiche di poter avere una stessa cromaticità di parete con l'intorno dell'edificio, risulta particolarmente benefica anche per i materiali posti all'interno della sezione di parete.

In entrambe le soluzioni abbiamo un fissaggio degli elementi esterni molto serrato (circa ogni 60 cm) evitando così possibili fenomeni di 'imbarcamento' della doga, ma allo stesso tempo impedendone un riuso futuro dopo la dismissione.

Nel terzo caso studio abbiamo un sistema non ventilato, con rivestimento esterno in doghe con sezione scanalata in larice. Queste doghe esterne sono fissate su un sistema di traversi e montanti posteriori, sempre in larice, con isolante interposto in fibra di legno.

Il rivestimento continuo esterno risulta già ad oggi con parziali difetti di posa: infatti, alcune delle doghe più esterne, in seguito ai fenomeni di ritiro-dilatazione indotti dalle variazioni di temperatura, hanno subito dei lievi svergolamenti che si notano all'interno del sistema.



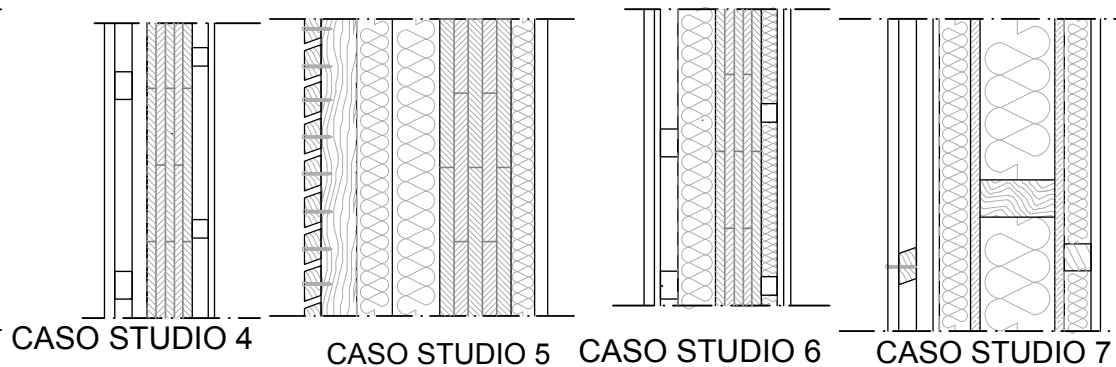
Figura 110 Rivestimento esterno del caso studio 3

Le differenti dilatazioni portano problematiche relative alla planarità della superficie esterna e rappresentano dei punti deboli per la durabilità delle doghe e degli elementi posteriori.

Il rischio è quello di generare depositi di umidità in parete, che possono scaturire sia nel degrado del componente sia nel degrado dei componenti posteriori.

La manutenzione di questa soluzione risulta difficile, essendo i componenti incastrati all'interno dello strato e fissati allo strato posteriore: questa soluzione risulta essere complessa per quanto riguarda l'ispezione senza danneggiare i componenti o la manutenzione puntuale di alcuni di essi.

Involucri con rivestimento esterno con componenti ad andamento verticale



Il caso studio 4 ha rivestimento esterno in doghe verticali di larice. Le doghe ad andamento verticale sono fissate su uno strato di listellatura ad andamento orizzontale e uno successivo ad andamento verticale. La posa in opera verticale dei componenti del rivestimento esterno ne agevola la corretta asciugatura dopo fenomeni meteorici, ed aiuta il componente a mantenere inalterata la sua forma nel corso del legno. Si potrebbero verificare fenomeni di imbarcamento ai quali si cerca di ovviare con dei fissaggi posti a distanza regolare sulla sottostruttura in legno, per evitare le deformazioni residue e con la scelta di specie che non subisce troppo la deformazione con la variazione della temperatura.

Questo tipo di facciata prevede per il rivestimento una modalità di paramento a giunto chiuso, innescando l'effetto camino nello strato di ventilazione posteriore al rivestimento. Dal punto di vista della durabilità, questa ventilazione è benefica per il sistema, perché consente adeguata traspirazione dei singoli componenti degli strati.

Nel caso studio 4 l'articolazione dell'involucro in listelli verticali ha funzione di parete ventilata con rivestimento esterno in legno.



Figura 111 Rivestimento esterno del caso studio 4

Nel caso studio 5 Abbiamo un sistema di strombature per il rivestimento, che prevede componenti sia ad andamento verticale che orizzontale. Per entrambi si è utilizzato una doga di larice di spessore di 60 mm,

a giunto aperto. Le doghe hanno subito un trattamento superficiale a base di olio di oliva, passato più volte per conferire ai componenti una luminescenza opalina in reazione alla luce solare e anche per garantire una maggiore durabilità contro i raggi UV.

A protezione dei pannelli isolanti in fibra di legno, è stato utilizzato un telo di protezione al vento ed ai raggi UV (telo nero che si intuisce tra le doghe). I pannelli isolanti sono in lana di roccia.



Figura 112 Dettaglio delle strombature di facciata del caso studio 5

Nel caso studio 6 il rivestimento esterno è composto da listelli verticali, sempre in larice naturale, a sezione quadrata, che sono collegati al resto della struttura mediante un graticcio di listelli di larice. In alcune zone della casa, questo rivestimento ha esclusiva funzione di ombreggiatura della costruzione, mentre verso nord vi è un ulteriore strato di compensato di larice, che permette di chiudere la camera di ventilazione posteriore al rivestimento, articolando un modello funzionale di parete ventilata.

Alcuni dei listelli di rivestimento non sono coperti superiormente mediante davanzali o sistemi di aggetti di facciata: la perizia del progettista ha definito un sistema di protezione del componente atta a migliorare la durabilità di esso e quindi del sistema.



Figura 113 Facciata del caso studio 6 e dettaglio dei componenti di ombreggiamento.

In particolar modo è stato fissato un tassello della stessa specie tagliato a 45 gradi e con fibratura ortogonale rispetto al resto del listello. Questa lavorazione permette di avere sufficienti garanzie sulla durabilità del componente e del sistema, evitando l'imbimbizione dell'anima del componente che potrebbe portare a marcescenze locali del rivestimento.



Figura 114 Foto di dettaglio dell'involucro del caso studio 7 durante la costruzione

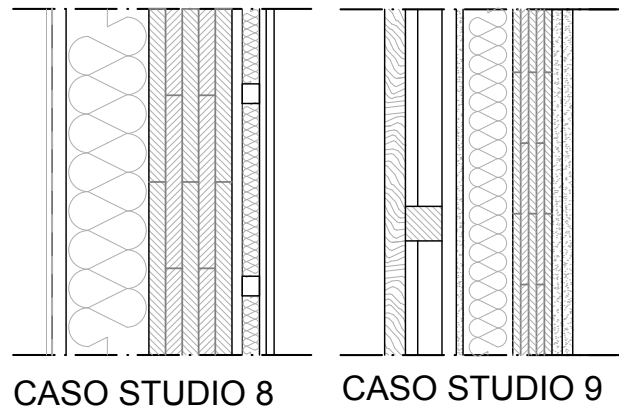
Il caso studio 7 ha un rivestimento esterno in doghe verticali di larice naturale di diversa sezione di base (spessore di 20 mm per larghezze variabili, per esigenze compositive).

La parziale apertura tra i componenti del rivestimento non determina l'effetto camino e quindi caratterizza il sistema di rivestimento esterno come sistema di ombreggiamento sugli strati posteriori.

Lo strato di separazione è composto da pannelli in OSB e divide lo strato isolante dallo strato resistente composto da elementi in micro lamellare. L'isolamento esterno è in lana di roccia, l'isolante interno in poliestere.

Coniugando sia esigenze stilistiche che costruttive, i progettisti hanno previsto un marcapiano di protezione dei componenti in acciaio, che consente di avere anche qui la protezione della testa dell'oggetto.

Involucri con rivestimento esterno in intonaco



Il caso studio 8 ha un sistema di rivestimento esterno continuo ad intonaco su pannello isolante.

Lo strato resistente della soluzione è in pannelli Xlam, isolati esternamente mediante pannelli isolanti in EPS con inerti di grafite (per aumentare il peso della parete migliorandone l'inerzia termica e quindi il comportamento estivo). Integrata nel pannello la membrana al vapore. Esternamente è stato utilizzato un intonaco altamente traspirante bianco, con fibra di vetro antialcalina.

Internamente è stato applicato un pannello isolante in lana di roccia, un foglio di PVC di separazione con la finitura interna in lastre di fibrogesso.



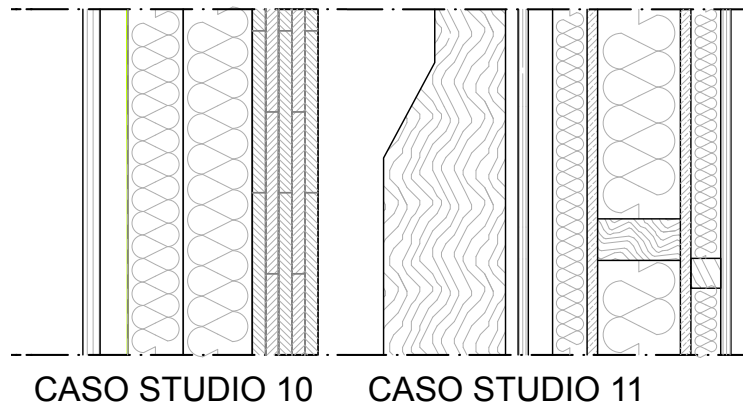
Figura 115 Caso studio 8 con la panoramica dei prospetti delle due torri principali

Il caso studio 9 ha un sistema di finitura ad intonaco su pannelli isolanti in fibra di legno. Internamente non sono state previste intercapedini il sistema in cartongesso è direttamente applicato ai pannelli strutturali. Il prospetto alterna diverse cromaticità di intonaco e implementa le caratteristiche termiche con l'utilizzo di alcune schermature in larice, presenti nelle facciate sud e sud est.



Figura 116 Foto di due degli edifici oggetto dell'intervento del caso studio 9

Involucri con rivestimento esterno continuo in legno



Il caso studio 10 vede l'utilizzo di un rivestimento esterno continuo in pannello multistrato di larice non trattato. Questo pannello esterno è fissato con montanti e traversi di larice massello e isolante in lana di legno interposto, protetto esternamente da una membrana traspirante antivento.

Il sistema di involucro ha funzioni parziali di facciata ventilata, nonostante la camera di ventilazione non sia continua lungo tutta la facciata dell'edificio.

L'alta traspirabilità considerata dal progettista in fase di dettaglio permette ai componenti di poter avere la giusta ventilazione, diminuendo le problematiche relative al degrado, alle muffe e ai funghi.



Figura 117 Foto di cantiere dell'edificio del Caso Studio 11. In alto si vede il telo di copertura dei pannelli isolanti sottostanti e i montanti in legno

Nel caso studio 11 è stato progettato un sistema di schermatura della facciata ventilata retrostante. L'esigenza nasce da esigenze condivise di composizione architettonica e energetica.

Esplorando infatti le possibilità dettate dalle macchine a taglio e dai collegamenti delle macchine cad-cnc, questa facciata articola un prospetto che mira a conferire un'immagine di movimento alla facciata.



Figura 118 Immagini del caso studio 11, rivestimento esterno in pannelli di Kerto e dettaglio sugli agganci

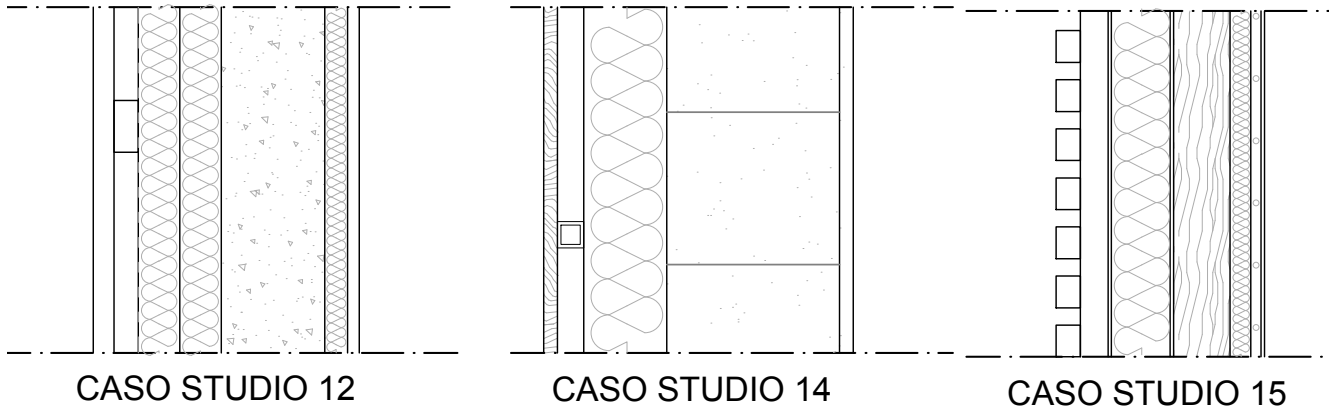
I pannelli esterni in Kerto sono sagomati e tagliati mediante taglio CNC – CAD.

Dopo il sopralluogo effettuato si evidenzia come il materiale non abbia problematiche relative a degrado superficiale, né ammaloramenti locali di tavole.

Posteriormente al sistema di ombreggiamento troviamo un pannello multistrato in larice, a separazione della camera di ventilazione, e poi uno strato isolante con pannelli in fibra di legno.

Lo strato resistente è composto da montanti in larice con isolante interposto. All'interno, un telaio in larice con isolante interposto e un rivestimento interno in pannelli di abete non trattato.

Involucri con rivestimento esterno in legno su strutture miste



Gli ultimi casi studio hanno indagato le soluzioni con componentistica esterna in legno su sistema resistente senza componenti a base legnosa.

Nel caso studio 12 è applicato un rivestimento esterno in doghe di pino termo trattato, fissate allo strato resistente in calcestruzzo armato mediante una struttura a telaio in Larice naturale, con pannelli in fibra di legno interposto.

Il caso studio 13 è caratterizzato dall'aver elementi in legno lamellare direttamente in facciata.

Il progettista non ha dichiarato particolari pretrattamenti utilizzati, ma prescrizioni sulla selezione dei componenti da utilizzare, sulle tipologie di collegamenti e sui criteri di accettazione del materiale da parte della direzione lavori in cantiere.

Per gli elementi di facciata non si sono riscontrati evidenti problematiche di durabilità, che invece risultano pronunciati in alcuni elementi strutturali di supporto in copertura.



Figura 119 Trave di copertura superiore a sostegno dei pannelli solari.

Nel caso studio 14 c'è un rivestimento esterno in listelli di legno di Okoumè ad andamento verticale. Questa particolare tipologia di legno, insieme al sistema di fissaggio che non fora il componente e che ne permette eventualmente una facile rimozione in caso di avaria, rende la soluzione molto performante dal punto di vista dell'affidabilità del sistema e sostenibile dal punto di vista di eventuali manutenzioni

future. Lo strato resistente della parete perimetrale è composto da blocchi in calcestruzzo areato autoclavato.



Figura 120 Caso studio numero 14, foto di uno dei prospetti con listelli ad andamento verticale in Okoumé e particolare di un dettaglio di fissaggio.

Nel caso studio 15 è stato analizzato l'involucro di un edificio a Milano, con tecnologia costruttiva mista (acciaio e calcestruzzo armato).

I componenti in legno sono stati utilizzati per il rivestimento esterno e come schermature dell'involucro, e consistono in listelli orizzontali di Rovere di Slavonia con diversi spessori.

Queste sono collegate allo strato resistente mediante un telaio in acciaio con fissaggi puntuali sulla singola doga.



Figura 121 Caso studio 15 e l'alternanza delle tecnologie costruttive in prospetto

Rilettura critica del costruito

La scelta dei casi studio è stata guidata dalla volontà di mostrare gli aspetti morfologico-formali oltre alle caratteristiche tecniche e funzionali dei sistemi di rivestimenti esterni e interni caratterizzati dal legno a vista.

Le fonti delle informazioni organizzate nella sintesi schematica del lavoro sono state prevalentemente di tipo diretto (documenti tecnici e descrittivi di progetto, interviste ai progettisti, sopralluoghi e documentazione fotografica). Per alcune informazioni tecniche si è fatto riferimento a fonti indirette provenienti dalle schede tecniche delle aziende produttrici dei prodotti utilizzati.

La classificazione dei casi studio ha previsto un'articolazione che ha preso come elemento connotante l'andamento dei componenti del rivestimento esterno, caratteristica rilevante non solo dal punto di vista estetico, ma anche per le ripercussioni che ha sulla configurazione tecnologica della facciata.

Sotto questo punto di vista, i casi studio sono stati riarticolati in quattro gruppi:

Pareti perimetrali verticali ventilate ed isolate, con rivestimento esterno, con componenti ad andamento orizzontale

Pareti perimetrali verticali con doppia camera di ventilazione ed isolate, con rivestimento esterno con componenti ad andamento verticale

Pareti perimetrali verticali isolate con rivestimento esterno in intonaco

Pareti perimetrali verticali ventilate ed isolate con rivestimento esterno continuo in legno

Pareti perimetrali verticali con strato resistente non in legno e rivestimento esterno in legno

Grazie all'articolazione di questi casi studio è stato possibile rilevare delle best practice del costruito ed avviare un confronto tra le diverse soluzioni evidenziando i componenti maggiormente utilizzati e le tecnologie che richiedono, le specie e l'articolazione della soluzione tecnica in genere.

Per quanto riguarda lo stato resistente, si è evidenziato come nella maggior parte dei casi sia stato utilizzato Xlam di abete, rispetto ai sistemi a telaio (platform-baloon frame). Con gli ultimi casi studio si è voluto poi andare a verificare come la variazione dello strato resistente, utilizzando materiali e componenti non a base legno, possa incidere sulla scelta e sulla durabilità della soluzione.

Emerge come non ci siano particolari differenze tra queste scelte, se non l'attenzione che viene riservata al trattamento della permeabilità al vapore e della condensa interstiziale: se infatti, negli strati resistenti non a base legno, garantire la permeabilità è un requisito della sfera igienico sanitaria, legato quindi al confort dell'ambiente, nel caso di sistemi con strutture a base legno questa azione è doppiamente importante essendo potenzialmente lesiva della sicurezza statica della parete o dell'edificio.

Per gli strati di isolamento si è rilevato l'utilizzo sia di materiali naturali (anche a base legno), sia di origine petrolchimica. I pannelli più utilizzati risultano essere isolanti in lana di roccia che conferiscono le opportune prestazioni in termini di risparmio energetico e di protezione dagli incendi.

Per quanto riguarda i pannelli isolanti a base legnosa si utilizzano lana e fibra di legno nonostante alcuni progettisti abbiano dichiarato problematiche in relazione alla reazione al fuoco, se non trattati adeguatamente. Moderatamente diffusi sono gli isolanti a base di canapa (soprattutto per intercapedini interne) costituiti da sostanze particellari o fibrose che vengono insufflate nel vano retrostante il rivestimento interno.

Per gli strati di collegamento sia interni che esterni, sono realizzati principalmente con orditura di listelli di abete o di larice, senza finitura superficiale, che sono ancorati meccanicamente allo strato resistente.

La posa in opera ricorrente ha previsto la realizzazione di uno strato di collegamento, spesso ligneo, con la struttura resistente, in modo da consentire la presenza di una intercapedine per l'integrazione impiantistica; meno diffusi sistemi di telaio in acciaio.

Spesso come strato di regolarizzazione o come separazione si trovano pannelli di OSB, che risultano garantire sufficienti caratteristiche dal punto di vista della variazione dimensionale, ma non alla permeabilità al vapore o alla resistenza all'umidità di deposito: vengono quindi sempre utilizzati come base per l'applicazione di una membrana a freno vapore.

Per quanto riguarda i componenti utilizzati per il rivestimento esterno, si sono individuati principalmente elementi semilavorati in legno massello e pannelli di legno ricomposto.

In relazione ai primi, le possibilità date dalle nuove tecnologie di ottimizzazione del prodotto, permettono una caratterizzazione morfologica elevata, sia attraverso forme che ne permettono un migliore deflusso delle acque, sia anche effetti estetici specifici di facciata.

Sempre le nuove tecniche di produzione e lavorazione permettono incastri, sagomature e intagli che potrebbero caratterizzare oltre all'estetica del rivestimento anche la modalità di fissaggio e la possibilità di ispezione degli strati, senza danneggiare alcun componente.

Per ambienti esterni, le specie più utilizzate sono il larice ed il pino, ritenute dai progettisti le più affidabili dal punto di vista del comportamento legato a tutti gli aspetti della durabilità. Il larice in particolar modo, viene utilizzato senza pretrattamenti specifici, in quanto viene considerata la variazione cromatica che esso progressivamente subisce nel tempo (se concordato con i proprietari) un effetto benefico anche in relazione all'indurimento superficiale che l'invecchiamento comporta alla superficie esterna, rendendola meno vulnerabile agli agenti meteorici e ai raggi Uv.

Il pino per uso esterno, prevalentemente importato dal Nord Europa, è subordinato a trattamenti preservanti (termo-pressione).

Nella maggior parte dei casi studio non si è rilevato utilizzo di pretrattamenti chimici, più diffuso invece l'uso di olii, vernici e pitture superficiali. I trattamenti in autoclave del componente sono limitati solitamente solo per alcuni elementi degli strati di collegamento.

I prodotti di derivazione legnosa più utilizzati sono i compensati e i micro lamellare, sempre con prevalenza di sfogliati di abete. Internamente gli unici trattamenti superficiali fanno riferimento a vernici trasparenti ad acqua, per il controllo della qualità dell'aria indoor.

4.3 Le strategie di progetto per gli involucri a base legnosa

Le scelte per il piano di manutenzione sono in relazione alle scelte progettuali e possono differenziare in maniera sostanziale la durabilità effettiva della parete perimetrale dell'edificio.

Sono qui illustrati delle caratteristiche rilevanti in materia di durabilità legate a diversi aspetti da tenere in considerazione in fase progettuale per conferire durabilità all'involucro con componenti a base legno.

La scelta delle specie legnose

Scelta di una specie legnosa di provenienza locale, o per la quale sia possibile comunque effettuare un'accurata selezione preventiva del materiale di fornitura.

Infatti, la scelta dei componenti risente molto di più che con le altre tecnologie costruttive, di valutazioni ponderate sulle specifiche di prestazione relative anche ai fenomeni di obsolescenza estetica del prodotto.

Scelta di una specie legnosa avente buona durabilità naturale, che consenta di avere meno pericoli e problematiche date dall'esposizione agli agenti esterni.

È vantaggioso avere segati privi di alborno (la scelta di avere segati "tutto durame" rende inutile la richiesta di trattamento chimico preservante, notoriamente inefficace nei confronti del durame delle specie legnose) e scelta di tavole prevalentemente radiali (cioè a venatura "rigata" e non "fiammata"). Questo tipo di venatura riduce significativamente i problemi di stabilità dimensionale e di forma degli elementi e inoltre migliora grandemente le possibilità di smaltimento delle gocce d'acqua piovana dalle superfici piallate e lasciate al naturale.

Questa può essere una richiesta da fare principalmente al fornitore dei materiali, che solitamente agisce come consulente di progetto. Soprattutto per i componenti in legno massello, è molto importante che il *know how* dei produttori integri le competenze del progettista.

Considerare eventuali pre-trattamenti dei componenti scelti, in relazione alle esigenze dell'utenza e alla previsione delle variazioni cromatiche. Differentemente dagli altri materiali, l'utenza deve essere parte attiva all'interno della scelta, in quanto le variazioni cromatiche dei materiali sono importanti e per questo potrebbero essere causa di malumori della committenza.

Alcuni progettisti intervistati per questa ricerca raccontano di come il percorso di 'educazione' del progettista verso i committenti sia fondamentale per evitare sgradite sorprese.



Figura 122 (sinistra) Caso studio localizzato a Brescia. Per la recinzione esterna è stato scelto un listello termo-trattato di Okoumè essenza molto durevole

Figura 123 (destra) Rivestimento esterno in doghe di larice, lasciato non trattato e coperto superiormente.

La Progettazione fissaggio rivestimento supporto

Scelta di unioni prevalentemente realizzate con mezzi meccanici (viti, spinotti e connettori speciali per le strutture di legno), limitando al minimo le unioni incollate. Particolare attenzione va posta al progetto di assemblaggio delle pareti perimetrali verticali, intendendo la durabilità non solo come la qualità dei componenti di mantenere inalterate le loro prestazioni nel tempo, ma anche conferire la possibilità di ispezione degli stessi, attraverso fissaggi rimovibili, clip, viti e componentistica dedicata.

Progettare questa durabilità 'dinamica' dell'edificio, consente di poter anche adeguare nel futuro le soluzioni tecniche a sopravvenute esigenze (sia dal punto di vista delle prestazioni che degli usi).

Queste caratteristiche risultano convenienti non solo per la possibilità di 'disassemblare' l'edificio nel caso di dismissione e quindi agevolare gli aspetti legati alla sostenibilità, ma anche per agevolare la possibilità di ispezioni, di sostituzioni di un singolo componente, oppure di parte del sistema.

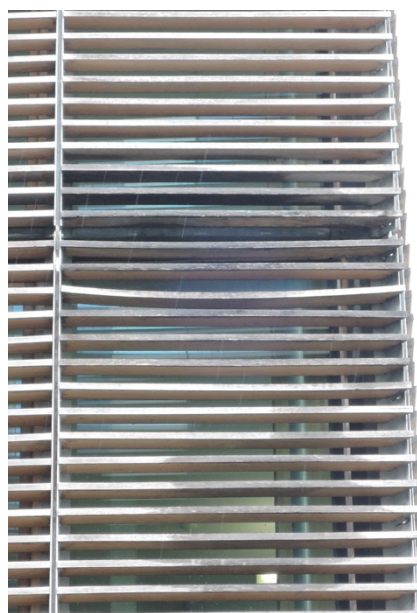


Figura 124 Caso studio Via Tortona 37, Milano. I componenti esterni sono in e nonostante l'assenza di manutenzione non si riscontrano problemi diffusi di degrado.

La conformazione morfologica dei componenti

Progettazione dei particolari costruttivi e delle unioni tale da evitare la formazione di trappole d'acqua nonché di macchie e aloni da gocciolamento.

Considerare la possibilità di conferire alle superfici di legno finite una tonalità non troppo lontana dal grigio-argento al quale il legno tenderà naturalmente (in assenza di manutenzione) qualsiasi sia il colore di partenza (naturale o conferito). Le tecniche per attribuire al materiale le fattezze estetiche previste dopo tempo dalle applicazioni possono essere l'applicazione di una finitura superficiale di tonalità grigio-argento, oppure prevedere un trattamento termico del legno fino a "tostatura" della superficie, oppure ancora sottoporre in materiale a cicli 'bagnato-asciutto' prima della posa in opera o anche nei primi mesi dopo la realizzazione.

La progettazione di dettaglio del componente può agevolare inoltre non poco la durabilità dell'involucro e una agevole manutenzione.

I singoli componenti di rivestimento devono essere pensati per poter rimuovere l'acqua in eccesso, migliorando quindi l'asciugatura veloce della doga. Nel caso di rivestimenti ad andamento verticali (tipicamente doge o listelli), è consigliato il taglio diagonale finale in modo da impedire che le gocce d'acqua risalgano lungo la sezione base del componente.

Le sezioni di questi elementi, solitamente in legno massello, vanno protette con particolari trattamenti o con misure progettuali: come riportate nelle caratteristiche del materiale, è infatti la parte del componente che più facilmente si imbibisce del liquido esterno e rischia di degradarsi nei cicli importanti di bagnato asciutto.

Per proteggere la 'testa dei listelli si possono utilizzare anche dettagli di progetto convenienti, con componenti che hanno degli elementi sagomati e con fibratura diversa nelle estremità libere, oppure mediante intagli che permettono di schermare la sezione ad anelli del componente.



Figura 125 (sinistra) Dettaglio del nodo del davanzale con i componenti verticali che sono incastrati per impedire che la testa del listello sia esposta alle intemperie



Figura 126 Dettaglio dei listelli di facciata, con lo smusso diagonale rompigoocia



Figura 127 La parte superiore del componente è protetta grazie all'incollaggio di un tassello, dello stesso materiale, incollato con fibratura longitudinale



Figura 128 Le teste dei listelli verticali sono coperte dalla membrana impermeabilizzante del tetto, per garantire che non prendano acqua superiormente.

Infine, ci sono diversi studi (Brischke, C., Suttie, E., Englund, F., Heisel, E., Jermer, J., Lorenzo, D., Polášek, M., Thelandersson & Acker, 2015; Rütther & Time, 2015; Takano, Hughes, & Winter, 2014) che mettono in relazione le caratteristiche morfologiche del componente di rivestimento esterno con la durabilità dello strato (dimensione scandole, lunghezza di sovrapposizione, chiodature, listelli e doghe...)

Diversi software presenti sul mercato riescono a simulare, attraverso processi fluidodinamici, quali possano essere i fenomeni di obsolescenza e avaria che si innescano a seconda delle diverse forme applicate in facciata.

La progettazione dei nodi di terra

Oltre all'attenzione da riportare per il basamento dello strato strutturale riportato nel capitolo precedente, anche per lo strato di rivestimento e di isolamento va curato il rapporto con il piano di campagna.

È consigliabile che i rivestimenti siano sempre rialzati rispetto al camminamento esterno (dove non sia possibile prevedere marcapiani o protezioni 'fisiche').

È importante conferire la possibilità di smontaggio e quindi di ispezione degli strati posteriori, possibilmente riuscendo a disassemblare solo porzioni di facciata, piuttosto che l'intera dell'involucro.



Figura 129 (sinistra) Rivestimento esterna rialzato rispetto alla pavimentazione. Anche la pavimentazione è rialzata rispetto allo scorrimento delle acque, assicurando così la giusta distanza rispetto a eventuali masse d'acqua ristagnanti.

Figura 130 (destra) Rivestimento esterno rialzato rispetto alla pavimentazione esterna. E' stata cura del progettista prevedere un cordolo in calcestruzzo in quota con la pavimentazione esterna



Figura 131 (sinistra) Nodo di collegamento delle travi di sostegno dell'edificio con la fondazione. Correttamente ventilato e nodo a pettine nel legno correttamente distanziato



Figura 132 Presenza di un elemento di drenaggio e contenimento terra e alla base della parete. Questa soluzione ha presentato qualche problema nella gestione dello strato impermeabilizzante

La progettazione degli aggetti di protezione della facciata

Come riportato, componenti in legno possono avere diverse reazioni all'esposizione ai fenomeni atmosferici. Molto spesso, queste non comportano il deterioramento prestazionale del componente, ma sono esteticamente non gradevoli e obbligano l'utente a operazioni di pulitura o sostituzione locale. La progettazione degli aggetti di protezione degli involucri ha importanti ripercussioni, che devono essere attentamente ponderate.

Si deve cercare di proteggere i componenti di estremità come pensiline e aggetti adeguati e pensare quale sia la migliore misura per il deflusso delle acque lungo la parete, mediante apposite scossaline, davanzali e rompi-goccia.

Il contatto con tra diversi materiali va risolto con attenzione al particolare, per evitare fenomeni di fessurazione locale del rivestimento, colorazioni disomogenee e fenomeni di ossidazione.



Figura 133 (sinistra) Raccordo tra due tipologie di copertura. L'elemento inclinato non indirizza correttamente le acque sulla copertura, che colano lungo il rivestimento



Figura 134 (destra) Il coronamento della trave è coperto parzialmente e quindi si rilegge la diversa reazione agli agenti atmosferici.



Figura 135 (sinistra) Le leggere differenze planimetriche conferiscono alla facciata questa colorazione differenziata lungo i componenti diagonali.



Figura 136 (destra) Il nodo tra trave in acciaio e struttura in legno rappresenta un possibile punto di degrado, visto che la risoluzione di dettaglio non ha previsto l'adeguata misura per eliminare le acque.



Figura 137 (sinistra) Problemi di fessurazione del rivestimento a causa della cattiva gestione dell'allontanamento delle acque



Figura 138 Facciata con tracce di cicli frequenti asciutto-bagnato. Probabilmente dettato dall'errata risoluzione del dettaglio del camminamento superiore.

La possibilità di ispezione degli strati

Nonostante siano più che utilizzate pareti perimetrali verticali con applicazione di isolante continuo esterno ('isolamento a cappotto'), anche su nuove realizzazioni, la considerazione della ventilazione degli strati di parete va sempre tenuta in debita considerazione e forse anteposta a logiche di velocità di esecuzione e di costo. In particolar modo, sistemi che conferiscono la possibilità di non intaccare il singolo componente di facciata, mediante clip posteriori al rivestimento, o mediante fissaggi forati che permettono di inserire il componente, sarebbero preferibili rispetto a rivestimenti incollati o fissati con eccessivo numero di viti.

Le necessità di ispezione e pulizia (ad esempio nel caso della camera di ventilazione), potrebbero rendersi necessari nel corso del tempo e quindi una buona misura per agevolare la manutenzione nasce proprio dalla progettazione della relazione tra strato di rivestimento e sistema di supporto.

Ad oggi non sono registrate problematiche relative ad avarie del sottosistema di trasmissione del rivestimento allo strato resistente (tipicamente a listelli e/o contro listelli di legno). Sono invece riportati casi sporadici di rotture e disfunzioni delle membrane traspiranti e protettive che separano i listelli dallo strato isolante posteriore. Concretamente, sono stati registrati casi in cui questi teli hanno subito lacerazioni o strappi, a causa di fenomeni atmosferici particolari o di imperfezioni non notate in fase di posa. Anche gli aspetti relativi alla diagnostica e quindi ancora, la possibilità di ispezionare gli strati funzionali, sono caratteristiche che conferiscono durabilità all'involucro e che agevolano interventi manutentivi e ispettivi nel corso della vita utile dell'edificio.



Figura 139 (sinistra) Componente di protezione della facciata ventilata correttamente progettato
Figura 140 (destra) Componenti di parapetto in evidente degrado.



Figura 141 (sinistra) Facciata con rivestimento in doghe di larice maschiato e incollato. Alcuni componenti hanno perso la planarità originale e questo potrebbe essere un punto di degrado futuro.
Figura 142 (destra) Dettaglio del rivestimento esterno e dei fissaggi.

4.4 Indicazioni per la redazione di un piano di manutenzione per edifici a base legno

Nelle recenti pubblicazioni (England, 2014; FPInnovations, n.d.; MacKenzie, 2012, 2015) è stata data molta attenzione alle linee guida per costruzioni in legno, in tutti i paesi dove esse sono diffuse e rappresentano un'importante sezione del costruito.

L'edilizia delle costruzioni in legno segue 'principi' simili (ma peculiari) rispetto alle altre tecnologie costruttive ed il problema della durabilità è legato non solo all'obsolescenza tecnologica o estetica dell'edificio, ma anche al possibile manifestarsi di problematiche statico-costruttive.

Come più volte si è espresso nel corso della tesi, la manutenzione dell'involucro è attività qui intesa come possibilità di aumentarne la 'vita utile', meglio ancora aumentarne la durabilità. Infatti, con l'obiettivo di ridurre anche l'impatto delle costruzioni sull'ecosistema, l'attenzione alle possibilità di manutenzione e alle necessità dei materiali di trattamenti, può giovare non solo ai fini dell'estensione della vita utile, ma anche in prospettiva di un utilizzo meno massiccio dei materiali da costruzione.

Dal punto di vista normativo, come già citato precedentemente, il piano di manutenzione di un edificio in legno si articola in tre sezioni principali:

- il manuale d'uso
- il manuale di manutenzione
- il programma di manutenzione

Come per gli edifici costruiti utilizzando differenti tecnologie costruttive, i contenuti minimi devono comprendere tutte le caratteristiche materiche e prestazionali legate ai differenti componenti degli strati funzionali di tutte le unità tecnologiche dell'edificio, nonché degli impianti e, se presenti, di particolari elementi o componenti di arredo.

Entrando maggiormente nello specifico, l'iter che si propone per un edificio con pareti perimetrali verticali con componenti di involucro a base legnosa seguirà la procedura che viene spiegata di seguito.

La differenziazione degli elaborati all'interno del piano di manutenzione va tenuta in debito conto al momento della stesura di essi: va ricordato in particolar modo che il manuale d'uso sia sostanzialmente un documento dedicato all'utente che fruisce del bene e che ne può cogliere i disservizi, mentre il libretto di manutenzione e il programma di manutenzione siano degli elaborati dedicati sostanzialmente a costruire gli strumenti per futuri interventi nell'edificio e ha come destinatario tecnici.

Per questo motivo, anche nel linguaggio e nelle modalità di espressione va tenuto conto dell'utenza finale e il livello di dettaglio della comunicazione.

Nel manuale d'uso, che è dedicato principalmente all'utenza finale dell'edificio, vanno previste le seguenti sezioni:

- una parte descrittiva del progetto architettonico, con la definizione degli elementi utilizzati e di foto in corso d'opera per permettere all'utente di capire quale siano i componenti più importanti da controllare dell'edificio

- descrizione dei materiali utilizzati e possibili manifestazioni di degrado, per permettere anche all'utente di poter individuare possibili eventi pericolosi e di contattare un tecnico del legno per effettuare ulteriori analisi
- descrizione delle tempistiche e dei cicli di manutenzione obbligatoria, con il coinvolgimento di un tecnico e di una ditta specializzata.

Le specifiche tecniche sono da rimandare al libretto di manutenzione, che nel caso di componenti a base legno dovrebbe prevedere:

- una parte descrittiva del progetto architettonico, con tutte le informazioni relative ai materiali utilizzati, comprensivo se possibile delle schede tecniche fornite dalle aziende con le specifiche relative a prestazione tecniche in fase di posa in opera, previsione del decadimento prestazionale, durabilità e richieste di manutenzione. Sarebbe utile conservare anche le schede relative ai pretrattamenti utilizzati, alle richieste di manutenzione di essi, alle fonti e manifestazioni di degrado che possono concretizzarsi nel corso del tempo
 - Le possibili avarie e le criticità che il progettista ha riscontrato per l'edificio e come ha cercato di porvi rimedio attraverso strategie progettuali di impianto o di dettaglio, permettendo così al tecnico che subentra di poter lavorare portando avanti i criteri utilizzati in fase iniziale di progetto.
 - il piano di assemblaggio dell'edificio, che ha al suo interno tutte le specifiche e le marcature dei componenti considerati. Ovviamente per questa sezione si darà maggior risalto alle strutture e agli elementi che hanno caratteristiche rilevanti dal punto di vista della stabilità meccanica dell'edificio. Questo particolare elaborato consentirebbe di poter minimizzare gli interventi invasivi sul manufatto, in particolar modo se il progettista iniziale abbia tenuto in debito conto la possibilità di disassemblare parziali zone vulnerabili dell'edificio o componenti che possono subire guasti o che necessitino di particolari cicli ispettivi.
 - Tolleranze dimensionali nella costruzione e possibilità di avere dei *check-point* per rilevare la corretta esecuzione del montaggio dei componenti (tacche di riferimento fresate con CNC nei pannelli)
 - il piano di controllo dell'umidità, sia durante la costruzione dell'edificio, la metodologia di protezione adottata, le condizioni di approvvigionamento del materiale e il deposito, oltre allo schema delle ispezioni.
- Dalle ricerche emerge come il rapporto dell'edificio con le variazioni termo-igrometriche non possa essere solamente demandato alle buone pratiche in fase di costruzione, ma debba essere correttamente posto in opera e monitorato durante la vita utile dell'edificio tutto.

La specificità delle costruzioni a base legno: il piano di controllo dell'umidità

Solitamente le 'sorgenti' di umidità dell'edificio, possono ricondursi a fonti interne all'edificio e alle attività, quali impianti tecnologici, presenza degli utenti eventuali avarie degli impianti idrici, oppure fonti esterne all'edificio, ossia fenomeni di umidità causati da precipitazioni, ristagno d'acqua errato allontanamento delle acque dal basamento dell'edificio errato dimensionamento degli eventuali oggetti di copertura di porzione della facciata e così via. Nel progetto di manutenzione vanno tenuti in considerazione entrambi i fenomeni.

Il controllo dell'umidità in fase di cantiere è molto importante, perché potrebbe determinare la formazione di muffe superficiali che, una volta conclusa l'opera, sarebbero difficili da controllare e monitorare.

Il piano di controllo dell'umidità in opera dell'edificio va redatto considerando:

- 1) Informazioni di base di progetto (collocazione geografica, responsabili della costruzione, referenti per la sicurezza del piano di umidità di controllo).
- 2) Lista dei componenti in legno utilizzati usati, i valori di, resistenza a flessione, resistenza a trazione, reazione al fuoco emissione formaldeide, conducibilità termica, permeabilità al vapore, durabilità, stabilità dimensionale, Durezza di Brindell, Resistenza al graffio, alla fessurazione e ai raggi UV(in caso di legno ricomposto)
- 3) L'umidità di bilanciamento dei componenti nelle diverse fasi di progetto. In questa sezione vanno riportate le percentuali di umidità medie della zona, in modo da poter prevedere quale sia il comportamento che andranno ad assumere i componenti per bilanciare la propria umidità interna con quella ambientale (valore dell'umidità 'di equilibrio' dei materiali è dichiarata dai produttori come da norma³⁷)
- 4) L'umidità di progetto e i diversi livelli che vengono per essa previsti durante la costruzione dell'edificio. Le eventuali protezioni previste in fase di costruzione e i cicli ispettivi e le misure da effettuare durante il ciclo vita utile della costruzione;
- 5) Ispezioni durante la costruzione e il responsabile
- 6) Possibili cause di umidità (ad esempio pioggia, neve, umidità di risalita)
- 7) I livelli di protezione considerati per la costruzione e le fasi (costruzione, vita utile)
- 8) La progettazione del legno durante la fase di posa in opera mediante:
 - piano di approvvigionamento dei materiali e protezione dei materiali di deposito
 - protezione durante le fasi di assemblaggio
 - previsione di asciugatura dei componenti in legno che abbiano, inavvertitamente, subito un prolungato contatto con l'acqua
- 9) Controllo dei meccanismi di asciugatura delle strutture nelle condizioni di servizio dell'edificio:
 - - analisi e misure preventive per rischi causati da pioggia, vento, umidità ed altri agenti
 - - determinazione dell'umidità del legno di posa in opera
 - - effetti delle lavorazioni contingenti
- 10) Piano di controllo della misura di umidità (modelli di misurazione, pianificazione, documentazione, responsabili e persone coinvolte in questa attività)

³⁷ UNI EN 13183-1 Umidità di un pezzo di legno segato - Determinazione tramite il metodo per pesata.

UNI EN 13183-2 Umidità di un pezzo di legno segato - Stima tramite il metodo elettrico

UNI EN 13183-3 Umidità di un pezzo di legno segato - Parte 3: Stima tramite il metodo capacitativo

Come si è delineato lungo questo lavoro, le considerazioni su componenti da utilizzare e la corretta posa in opera devono prendere in considerazione anche quelle che saranno le strategie preferenziali scelte dall'utente per la gestione dell'edificio dopo la consegna.

In altre parole, sarebbe opportuno che il progettista valutasse quali siano le possibilità che il committente possa effettivamente operare i cicli di ispezione e manutenzione richieste nel piano di manutenzione.

Questo non solo per evitare problemi di degrado estetico, ma tutte quelle situazioni di deterioramento che possono intaccare la stabilità meccanica del costruito.

Il piano d'umidità e le varie possibilità di monitoraggio

La progressiva crescita dell'utilizzo del legno in edilizia ha portato una rinnovazione nei sistemi di controllo del processo edilizio della costruzione del manufatto e della gestione di esso dopo la consegna, per consentire maggiori garanzie per gli utenti finali in termini di durabilità e di possibilità di monitoraggio a basso costo.

Anche le categorie di settore, quali Assolegno e Federlegno, hanno partecipato attivamente alla ricerca e al miglioramento della gestione del processo, sintetizzando le buone pratiche all'interno di un protocollo dal nome S.A.L.E, ovvero Sistema Affidabilità Edilizia in Legno.

Questo protocollo prevede lo studio delle modalità produttive ed operative che il singolo costruttore utilizza per rendere conforme l'opera nelle diverse fasi di gestione. In questo modo, questo protocollo consente di avere la valutazione non solo della qualità dell'opera, ma di poter anche avere garanzie sulla durabilità e la manutenzione della stessa.

All'interno di questa certificazione, che consente di avere agevolazioni dal punto di vista dei finanziamenti di credito e di assicurazioni nel settore edilizio, grande importanza hanno i sistemi di monitoraggio previsti dopo la consegna dell'edificio.

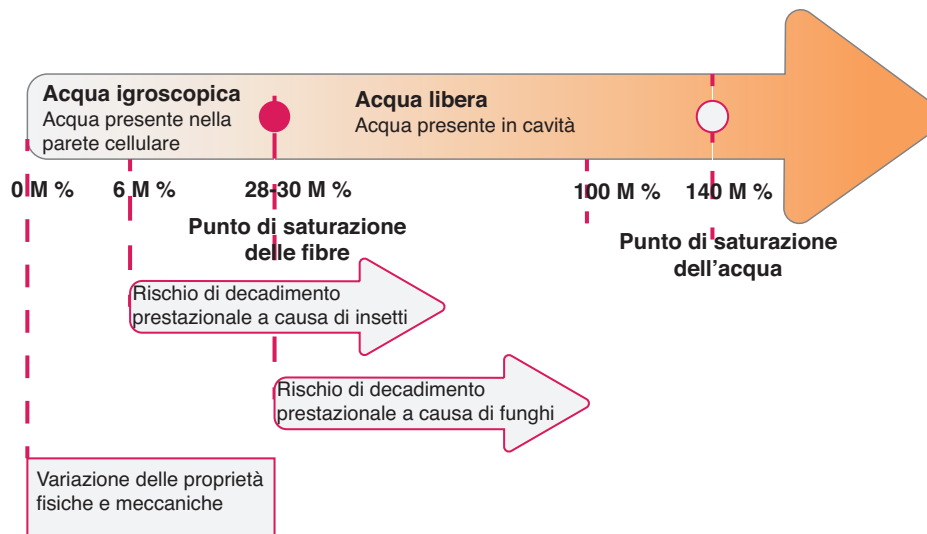


Figura 143 Diverse percentuali di umidità del legno e vulnerabilità all'attacco da funghi e muffe (Dietsch, Franke, Franke, Gamper, & Winter, 2015) Rielaborata dall'autore

Il sistema permette di monitorare i punti più sensibili di un edificio a struttura portante in legno per quanto riguarda gli aspetti relativi all'umidità e, per edifici sviluppati oltre una certa altezza, anche gli eventuali spostamenti rispetto alla verticale.

Esistono diverse modalità di monitoraggio per gli edifici: i monitoraggi occasionali, che consistono nella ripetizione di misurazioni di un determinato parametro rispetto la situazione iniziale senza la definizione di determinate scadenze temporali.

Diversamente il monitoraggio periodico conferisce caratteristiche più stringenti nei tempi di ispezione, permettendo anche correlazioni tra eventi intercorsi tra una misurazione e l'altra e consentendo di avere maggiori caratteristiche rispetto al comportamento del fabbricato. Infine è sempre più diffuso il monitoraggio continuo, garantito dal progressivo sviluppo di tecnologie non costose né invasive, che consentono di avere in tempo reale e per tutta la vita utile del manufatto le caratteristiche rispetto ad alcuni indicatori.

Il monitoraggio continuo sfrutta la possibilità di utilizzare sistemi in grado di effettuare misurazione a intervalli anche brevissimi, qualora necessario, in totale autonomia. Un tale tipo di sistema è formato da sensori, sistemi di acquisizione dei dati, unità di immagazzinamento/trasmissione dei dati, sistema di analisi e interpretazione dei risultati.

In tale ottica, dunque, un sistema di monitoraggio di questo tipo svolge un ruolo importante nella gestione di una struttura, contribuendo a razionalizzare gli interventi di manutenzione e a identificare precocemente eventuali danni strutturali o situazioni di rischio, contribuendo a estendere la vita residua della struttura stessa (Luchetti & Cavalli, 2018)

Il sistema è completamente automatizzato, tanto da consentire di effettuare misure in autonomia e di inviare report e messaggi di allarme qualora i parametri rilevati superino i livelli di soglia definiti.

Le variabili da considerare per tarare il sistema sono molte e variano dal numero delle sonde ai singoli parametri di accettazione dei nodi considerati.

Ovviamente, per ipotizzare questo tipo di monitoraggio è prima di tutto essenziale conoscere nel dettaglio la soluzione costruttiva adottata e i materiali in opera.

Ulteriori variabili che possono incidere sul dimensionamento del sistema sono:

- l'importanza dell'opera: deve essere valutata in termini di valore economico e funzione svolta (ad es. edifici di carattere pubblico o ingegneristicamente complessi devono possedere un grado di sofisticazione maggiore rispetto a edifici solamente residenziali)
- le condizioni ambientali: il monitoraggio strutturale è da prevedersi con una priorità più alta in presenza di una forte aggressività dell'ambiente in cui la struttura si trova (zone ad alto rischio sismico, condizioni climatiche estreme ecc.) in considerazione di una più elevata possibilità di danno.

Inoltre rivestono importanza anche:

- esposizione del fabbricato;
- venti dominanti ed interazione con eventi meteorici;
- superfici piane che possono determinare fenomeni di accumulo di acqua (Merotto, 2018)

Il monitoraggio dell'umidità del legno si realizza mediante l'impiego di sonde igrometriche di tipo resistivo. Tali sensori sono ormai abbondantemente utilizzati nell'industria del settore e basano il loro funzionamento sulla misura della resistenza elettrica offerta dal legno.

Tale misura è strettamente correlata al contenuto di umidità del materiale, alla specie legnosa e alla temperatura dell'aria.

Le sonde utilizzate per il monitoraggio dell'umidità del legno in copertura comunicano via onde radio, svincolando il loro funzionamento dalle difficoltà di posizionamento di cavi.

I dati rilevati dalle sonde igrometriche sono visualizzabili mediante touch screen e successivamente elaborati da apposito software su computer (concentratore) in grado di ricevere sia dati via cavo sia dati comunicati mediante tecnologia WiFi.

4.5 Specifiche sulle richieste di manutenzione dei trattamenti

I movimenti di aumento e riduzione delle dimensioni del componente per adattarsi alla percentuale di umidità dell'ambiente sono la principale causa di avaria del componente.

I sistemi di verniciatura hanno un effetto benefico iniziale nel ritardare l'inizio dell'ingresso di umidità e quindi del decadimento. Tuttavia, una volta che si sono verificate delle lesioni superficiali, l'umidità entra nel legno e i sistemi di pittura inibiscono l'essiccazione e quindi possono accelerare l'insorgenza e il decadimento del materiale.

Anche il colore influenza la velocità di deperimento del materiale: se il rivestimento è di colore scuro, il componente assorbe maggiormente la radiazione luminosa del sole e quindi è più soggetto a degrado.

Dai dati sulle prestazioni in servizio e dalle ricerche recenti (Brischke et al., 2012; MacKenzie, 2015) è emerso che le vernici acriliche di bassa qualità e/o poco curate applicate a legname a bassa durabilità, possono effettivamente accelerare l'insorgenza e il decadimento: ciò è causato dal sistema di verniciatura che consente l'ingresso di umidità ma poi ne inibisce la fuoriuscita, accelerando così la velocità di degrado della specie.

Viceversa, un sistema di pittura acrilica di qualità applicato su un legno altamente resistente come un legno di Classe di durabilità 4 o un pino trattato, prolungherà la durata utile ritardando gli effetti degli agenti atmosferici e la conseguente immissione di acqua.

È emerso inoltre che l'applicazione e il mantenimento regolare di finiture con pigmenti a base di olio o di conservanti idrorepellenti su legname a bassa durabilità prolunghino la durata di servizio, andando a inibire l'insorgere del decadimento e degli agenti atmosferici a causa della idrorepellenza e della natura conservativa di questi prodotti.

La maggior parte delle finiture commerciali non fornisce una barriera completa alla penetrazione dell'umidità; è l'utilizzo di mordente sottostante che garantisce che i pori presenti sulla superficie del legno siano chiusi quindi che l'umidità penetri nel componente stesso.

I seguenti punti devono essere considerati al momento di decidere l'efficacia delle finiture richieste per ridurre al minimo i cambi di umidità e il successivo movimento:

- i colori chiari assorbono meno calore, pertanto gli effetti dell'essiccazione e del decadimento accelerato dovuti alle temperature elevate sono ridotti al minimo
- I sistemi di verniciatura a base di olio hanno migliori capacità di protezione delle vernici acriliche per quanto riguarda le variazioni di umidità del componente;
- Primer di buona qualità e sottosmalto (olio o acrilico) sono progettati per sigillare il legno e fornire una base di trattamento per lo strato di finitura.
Si viene a creare una pellicola protettiva sotto lo strato di verniciatura finale che colma i pori del legno, rendendolo meno vulnerabile alle variazioni di umidità ambientali.
- le macchie e gli idrorepellenti richiedono applicazioni più frequenti per mantenere una finitura resistente all'acqua rispetto alle vernici tradizionali;

Trattamento superficiale	Aspetto del legno	Costo iniziale	Manutenzione	Costo di manutenzione
Vernice	La fibratura e il colore naturale risultano più scuri	Medio-Alto	5-10 anni	Medio
Solo con vernice trasparente	La fibratura e il colore naturale non cambiano fattezze estetiche	Alto	1-3 anni	Alto
Idrorepellente	Fibratura e colore naturale. Diventano visibilmente più scure con il passare del tempo	Basso	3-5 anni	Basso-Medio
Mordente	Fibratura visibile, colore a richiesta del cliente	Basso-Medio	3-5 anni	Basso-Medio
Solventi organici	Fibratura visibile, colore a richiesta del cliente	Basso-Medio	3-5 anni	Medio
Termocalore	Fibratura visibile, riflessi di colore verde o marrone.	Medio	Nessuno, a meno che non ci siano avarie superficiali	Basso

Figura 144 Tabella con i consigli manutentivi differenziati per tipologia di trattamento (MacKenzie, Wang, Leicester, Foliente, & Nguyen, 2007). Rielaborata dall'autore.

Come già detto, non si può generalizzare gli interventi sui pre trattamenti, visto che nelle informazioni dei produttori e nelle schede tecniche sono specificate le richieste di applicazione e i cicli temporali di manutenzione.

Si può generalizzare affermando che i cicli di osservazione da effettuare variano tra i 3 ed i 5 anni, (controllo accurato del componente, che risulti ancora omogeneamente protetto, che non ci siano defezioni, scoloriture locali, delaminazioni, ingrigimenti e/o fessurazioni superficiali) e che le manutenzioni andranno effettuate conseguentemente a questa ispezione. In considerazione del degrado trovato, può essere opportuno applicare solamente la finitura superficiale, oppure agire in maniera più invasiva andando a rimuovere anche parte del fondo, con un'operazione di lieve piallatura del componente.

Le corrette azioni di manutenzione sono inserite nel piano delle manutenzioni, dove sono minuziosamente descritte le azioni, i soggetti che possono attuarle, i prodotti da utilizzare per non danneggiare il componente e le ricorrenze con le quali attuarle.

4.6 Gli elaborati di un piano di manutenzione

Ricordando quali siano i destinatari dei diversi documenti all'interno del piano di manutenzione, si è delineato uno schema che possa avere caratteristiche generali per poter consentire al progettista dell'edificio e ai tecnici che si occuperanno delle manutenzioni, di poter avere tutte le informazioni necessarie alla buona riuscita dell'attività.

Il Manuale d'uso per l'utente finale

Parte 1: Anagrafica dell'edificio

Provincia	
Comune	
Progetto	
Progettista struttura in legno	
Data	

Parte 2: Descrizione generale

Relazione descrittiva del manufatto	
Componenti utilizzati per le pareti perimetrali verticali	
Componenti utilizzati per i solai	
Componenti utilizzati per la/le coperture	
Componenti utilizzati per i balconi	

Parte 3: Diagnostica di eventuali problemi di degrado

Pareti perimetrali verticali	Possibili manifestazioni di degrado e azioni
Solai	Possibili manifestazioni di degrado e azioni
Coperture	Possibili manifestazioni di degrado e azioni
Balconi	Possibili manifestazioni di degrado e azioni

Parte 4: Cicli di ispezione e manutenzione

Pareti perimetrali verticali	Cicli di ispezione e manutenzione
Solai	Cicli di ispezione e manutenzione
Coperture	Cicli di ispezione e manutenzione
Balconi	Cicli di ispezione e manutenzione

Il Manuale di manutenzione

Questa sezione del piano di manutenzione ha l'obiettivo di fornire al progettista che andrà ad intervenire sull'edificio tutte le informazioni necessarie per attuare l'intervento, valutando anche se le condizioni di progetto possano aver subito variazioni e quindi possano essere necessarie alterazioni sull'edificio stesso.

In grigio chiaro i contenuti minimi del piano, mentre in grigio scuro i suggerimenti introdotti dal presente lavoro di tesi.

Parte 1: Anagrafica dell'edificio

Provincia		
Comune		
Coordinate		
Gradi Giorno		
Zona climatica		
Altitudine		
Parametri relativi al clima	Giorni annui con accumulo di pioggia >40mm per fascia	
	Giorni annui fuori dal comfort climatico, >70% o	
	Giorni annui con raffiche > 25 nodi	
	Giorni annui in cui piove	
	Giorni annui con temperatura massima	
Progetto		
Progettista struttura in legno		
Data		

Parte 2: Descrizione generale

All'interno della seconda sezione devono essere indicati all'interno di una relazione descrittiva dell'opera i componenti utilizzati per le unità tecnologiche principali.

L'obiettivo è quello di spiegare in maniera snella quali siano stati i principali materiali utilizzati e dare le indicazioni del posizionamento di essi all'interno dell'edificio per permettere l'immediata localizzazione dei diversi materiali e componenti in caso di fenomeni di degrado.

Sempre all'interno di questa sezione andranno inseriti stralci dei progetti esecutivi e il disegno della parete perimetrale verticale utilizzata, con eventuali planimetrie delle ubicazioni in caso ci siano differenti tipi di soluzione.

In grigio chiaro i contenuti minimi del piano, mentre in grigio scuro i suggerimenti introdotti dal presente lavoro di tesi.

Relazione descrittiva del manufatto	
Componenti utilizzati per le pareti perimetrali verticali	
Componenti utilizzati per i solai	
Componenti utilizzati per la/le coperture	
Componenti utilizzati per i balconi	

Stralcio dei progetti esecutivi, rilevanti per la manutenzione

Stralcio del dettaglio architettonico della parete perimetrale verticali utilizzata, con le specifiche tecniche relative ai materiali

Parte 3: Sistemi di diagnostica previsti all'interno dell'edificio e misure per agevolare l'ispezione dell'involucro

All'interno di questa sezione il progettista dovrebbe inserire quelle che sono state le principali misure che ha utilizzato per agevolare la diagnostica e le ispezioni dei vari componenti di involucro, o di alcuni nodi in particolar modo.

E' buona pratica inserire all'interno di questa sezione eventuali esplosi, sequenze di montaggio di cantiere e sequenze di montaggio previste per l'ispezioni utili nella vita utile dell'edificio.

Sempre in questa sezione vanno inserite eventuali misure previste per il monitoraggio dell'edificio, ad esempio igrometri, il posizionamento di essi, eventuali distanziometri e posizionamenti, sistemi elettronici e posizionamento degli apparecchi di rilevamento. Nella normativa attuale non è prevista una sezione specifica per questi contenuti.

Parte 4: Cicli di ispezione e manutenzione

In questa parte abbiamo l'elenco degli strati che compongono le unità tecnologiche dell'edificio, con la descrizione del componente utilizzato, le attività manutentive previste e la frequenza che viene ipotizzata in fase progettuale.

Tale sistematizzazione andrà ripresentata per ogni tipo di soluzione tecnica presente all'interno edificio. Qualora ci siano differenti soluzioni per la stessa unità tecnologica (ad esempio, diverse tipologie di solaio, diverse tipologie di parete perimetrale verticale etc.), tale tabella va ripetuta.

Strato funzionale	Componente	Attività	Frequenza
Rivestimento esterno			
Strato di collegamento			
Strato di separazione			
Strato resistente			
Strato di collegamento			
Rivestimento interno			

Parte 5: Fasi di progetto per la dismissione dell'edificio e previsione di fine vita dei componenti

Mantenendo la scansione del sistema considerato, in questa sezione si andranno a delineare quelle che sono le decisioni e le ipotesi che il progettista ha valutato per lo smantellamento e la dismissione dell'edificio.

Rilevanti diventano eventuali disegni con le procedure di montaggio usate per il cantiere, che possono diventare la base per le procedure di dismissione dello stesso.

Nella normativa attuale non è prevista una sezione specifica per questi contenuti.

Caso studio: Il manuale di manutenzione dell'edificio di una nuova casa sociale a Caltron (TN)

A scopo esemplificativo, si è scelto di utilizzare uno degli edifici oggetto di studio per la verifica che i criteri di osservazione descritti possano essere utili nella stesura del manuale di manutenzione, punto nevralgico per la corretta pianificazione dell'obsolescenza dell'edificio. Come detto precedentemente, questo elaborato è destinato ai progettisti che dovranno intervenire sull'edificio per operare la manutenzione

Nell'esempio di caso studio, si è data particolare enfasi alle attività di manutenzione necessarie per la parete perimetrale verticale, tralasciando le specifiche per le altre unità tecnologiche, che non sono state affrontate con la stessa attenzione che è stata invece riposta in questa classe di elementi nel corso dell'elaborato di tesi.

Parte 1: Anagrafica dell'edificio

Provincia	Trento		
Comune	Clés		
Coordinate	46°	21'	57,60" N 11° 2' 2,40" E
Gradi Giorno	3265		
Zona climatica	F		
Altitudine	658 m		
Parametri relativi al clima	Giorni annui con accumulo di pioggia >40mm per fascia esaioraria	31	
	Giorni annui fuori dal comfort climatico, >70% o <30%	181	
	Giorni annui con raffiche > 25 nodi	3,54	
	Giorni annui in cui piove	92,36	
	Giorni annui con temperatura massima percepita < 3°C	24,95	
Progetto	Nuova casa sociale in Caltron		
Progettista struttura in legno	Dr Ing.		
Data	18 luglio 2013		

Fonte dati: 3BMeteo Elaborazione dati: Andrea Gianotti e Marco Guerra (Ufficio studi e analisi del Sole 24 Ore), Relativi alla città di Trento

Parte 2: Descrizione generale dell'intervento

Relazione descrittiva del manufatto	<p>L'edificio è composto di due piani parzialmente interrati e da un piano completamente fuori terra, le cui dimensioni massime in pianta sono di circa 17 x 8,50 m. La copertura è composta da un tetto a tre falde che raggiunge una quota massima di circa 8,00 m rispetto al solaio del piano terra.</p> <p>La fondazione, le pareti del piano interrato, le pareti controterra ed il solaio a livello piano terra sono in cemento armato.</p>
Componenti utilizzati per le pareti perimetrali verticali	<p>Pareti perimetrali esterne con funzione strutturale in legno, realizzate mediante pannelli multistrato come da ETA, classe di qualità C24.</p> <p>Pareti interne strutturali in legno mediante pannelli multistrato come da ETA, classe di qualità C24.</p>
Componenti utilizzati per i solai	<p>Solaio realizzato con componenti sagomati mediante fresatura CNC cad/cam, con elementi primari realizzati in legno lamellare di abete, qualità C24h. Sui travetti vengono posate lastre di pannelli a scaglie OSB3</p>
Componenti utilizzati per la/le coperture	<p>Copertura ventilata realizzata mediante componenti sagomati mediante fresatura CNC cad/cam, con elementi primari realizzati in legno lamellare di larice, se a vista, di abete se non a vista. Per entrambi la qualità è GL24h.</p> <p>Sui travetti vengono posate lastre perline di larice</p>
Componenti utilizzati per i balconi	Non presenti

Stralcio dei progetti esecutivi, rilevanti per la manutenzione

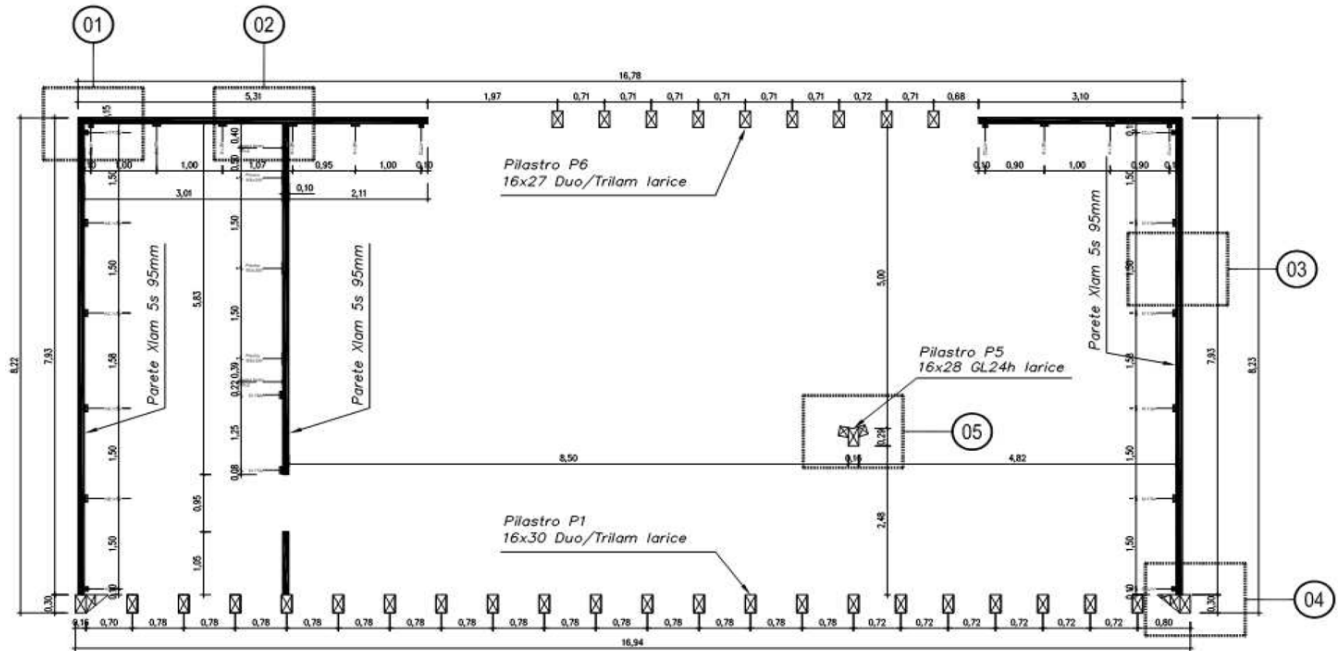


Figura 145 Pianta del piano primo (progetto fornito dal progettista Arch. Mirko Franzoso)

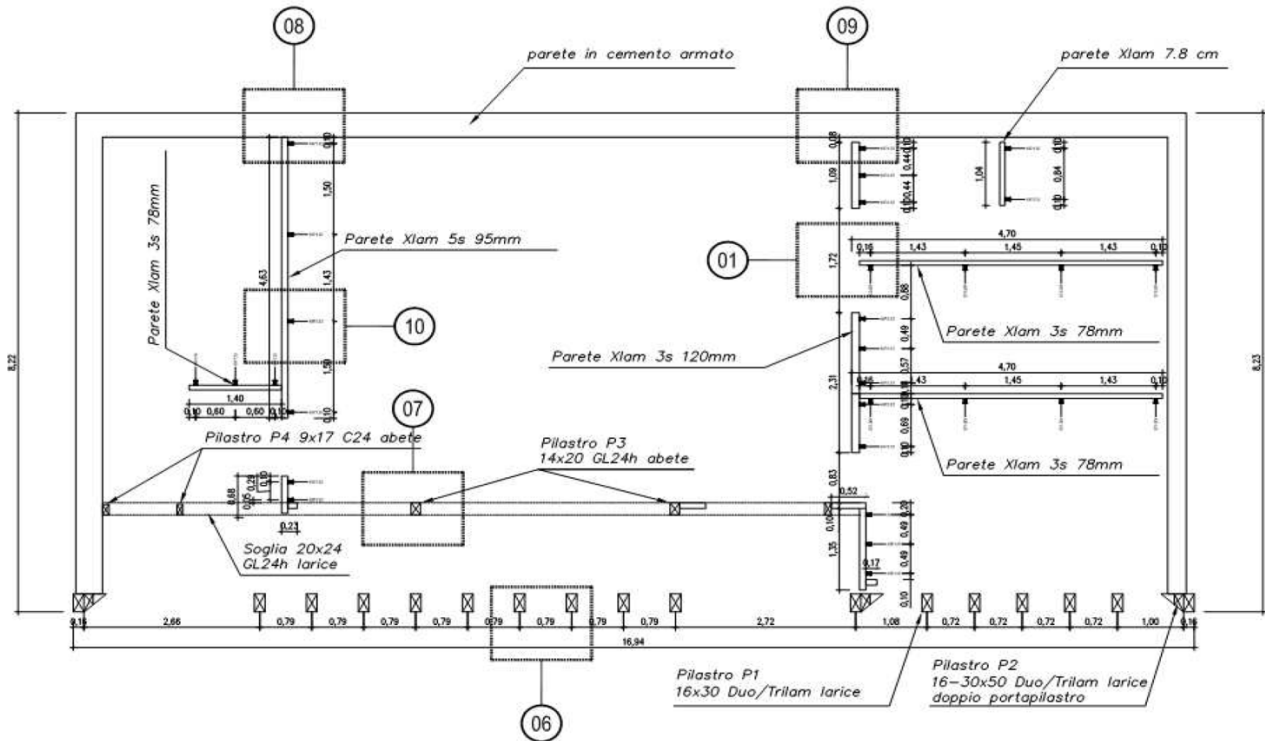


Figura 146 Pianta piano terra (progetto fornito dal progettista Arch. Mirko Franzoso)

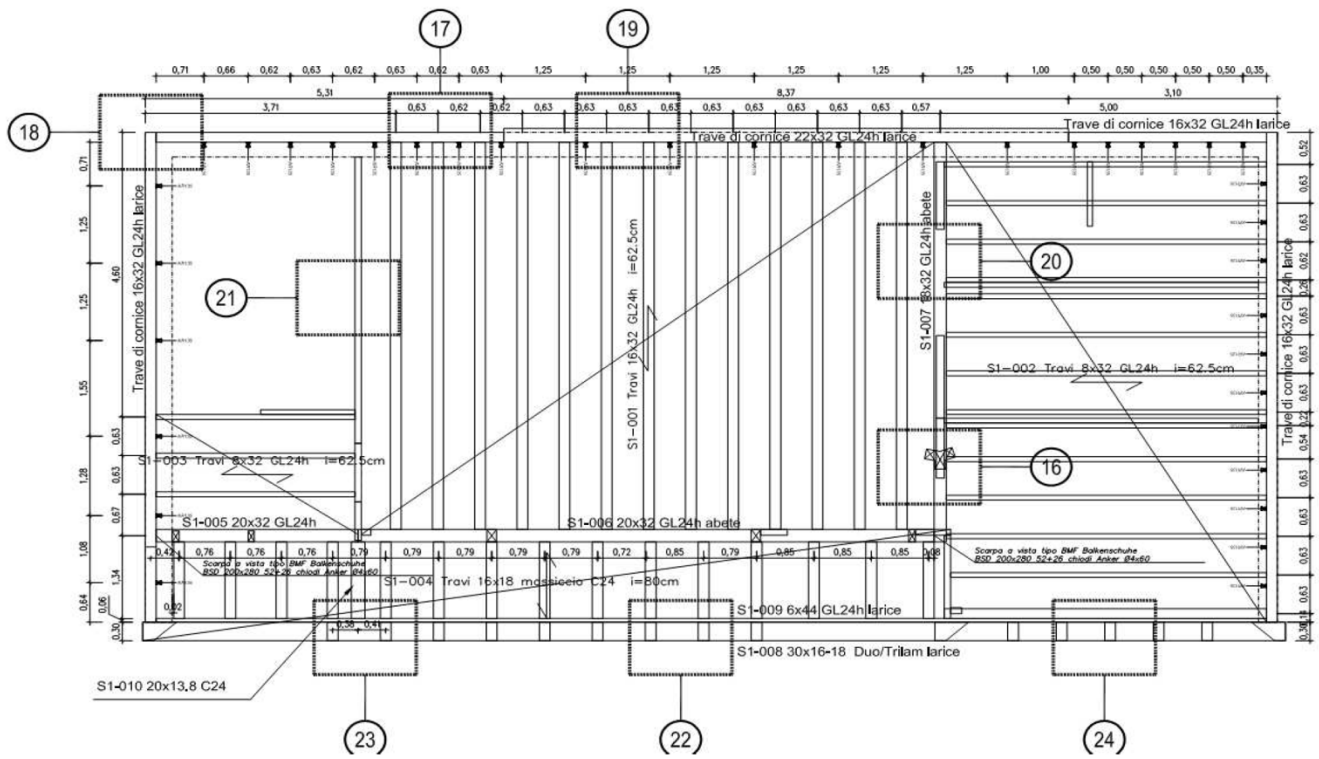


Figura 147 Pianta carpenterie solaio tipo (progetto fornito dal progettista arch. Mirko Franzoso)

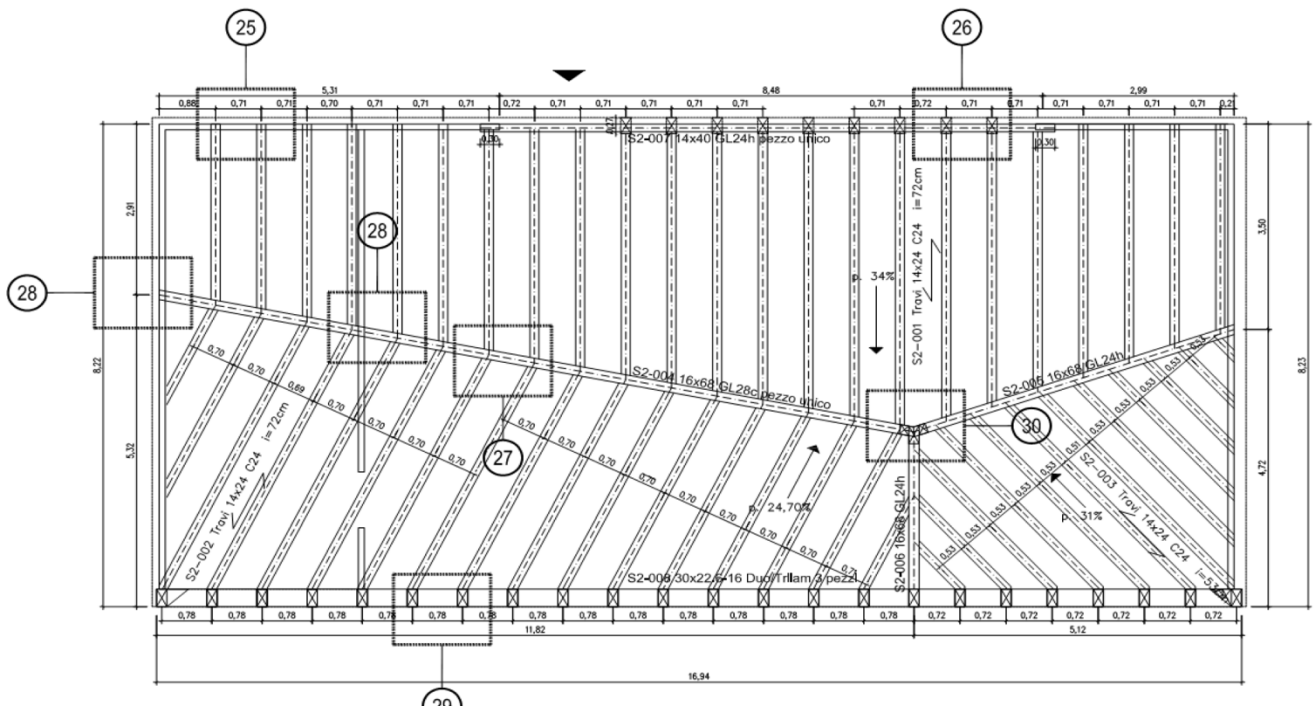
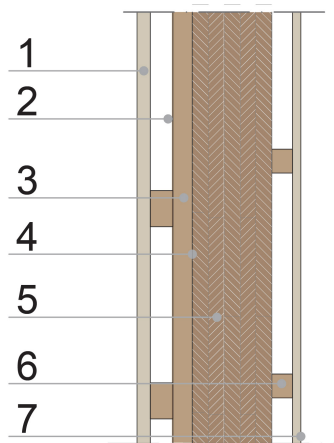


Figura 148 Pianta carpenteria copertura terra (progetto fornito dal progettista arch. Mirko Franzoso)

Stralcio del dettaglio architettonico della parete perimetrale verticali utilizzata, con le specifiche tecniche relative ai materiali

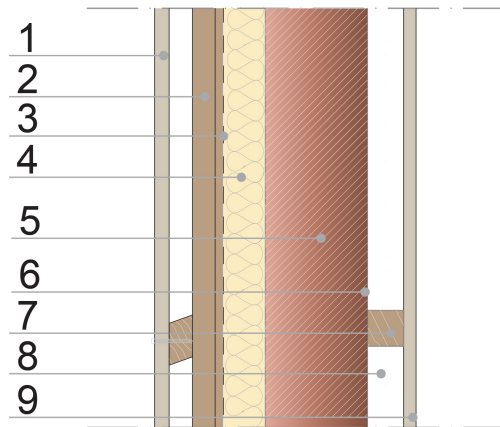
Parete tipo 1



	Strato funzionale	Componente	Caratteristiche materiche	Dimensioni mm
1	Rivestimento esterno	Doghe di larice	Doghe in larice ad andamento verticale	60 x 32
2	Strato collegamento	Controlisellatura in legno	Larice naturale	40 x 40
3	Strato collegamento	Listelli di legno	Listelli verticali ed orizzontali in larice	40 x 40
4	Strato di separazione	Telo tenuta all'aria e acqua	Telo in polipropilene di tenuta all'acqua e all'aria	0,5
5	Strato resistente	Pannello multistrato in legno	Pannello 5 strati	95
6	Strato collegamento	Controlistelli in legno	Listelli verticali ed orizzontali in larice	40 x 40
7	Rivestimento interno	Doghe di larice	Doghe in larice ad andamento verticale	20

Stralcio del dettaglio architettonico della parete perimetrale verticali utilizzata, con le specifiche tecniche relative ai materiali

Parete tipo 2



	Strato funzionale	Componente	Caratteristiche materiche	Dimensioni mm
1	Rivestimento esterno	Doghe di larice	Doghe in larice ad andamento verticale	60 x 32
2	Strato di collegamento	Controlisellatura in legno	Larice naturale	40 x 40
3	Strato di separazione	Telo tenuta all'aria e acqua	Telo in polipropilene di tenuta all'acqua e all'aria	0,5
4	Strato di isolamento	Isolante termico	Pannelli in isolante XPS	80
5	Strato resistente	Muratura in laterizio	Blocchi di laterizio alleggerito	200
6	Strato di separazione	Telo tenuta all'aria e acqua	Telo in polipropilene di tenuta all'acqua e all'aria	0,5
7	Strato di collegamento	Controlisellatura in legno	Abete non trattato	40x40
8	Strato di isolamento	Isolante termico	Pannelli in fibra di canapa	40
9	Rivestimento interno	Doghe di larice	Larice non trattato	20

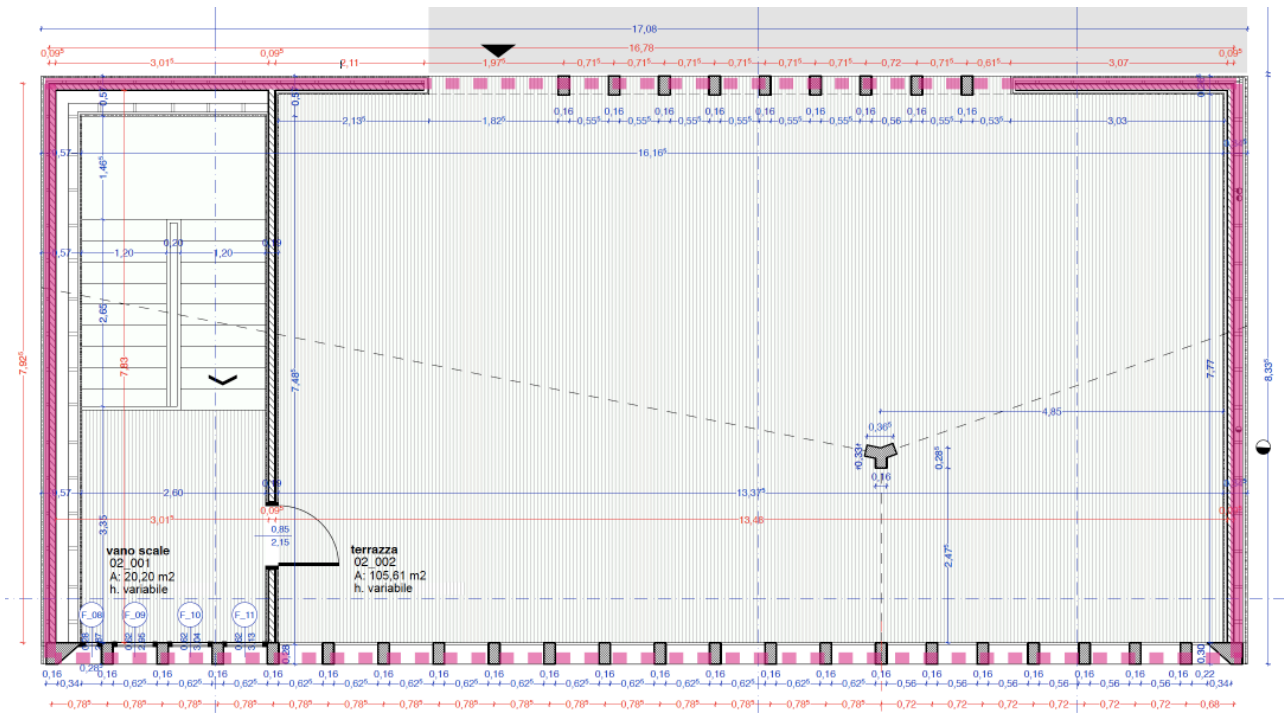


Figura 149 Pianta piano terra. Parete tipo 1 in Rosso, Parete tipo 2 in blu

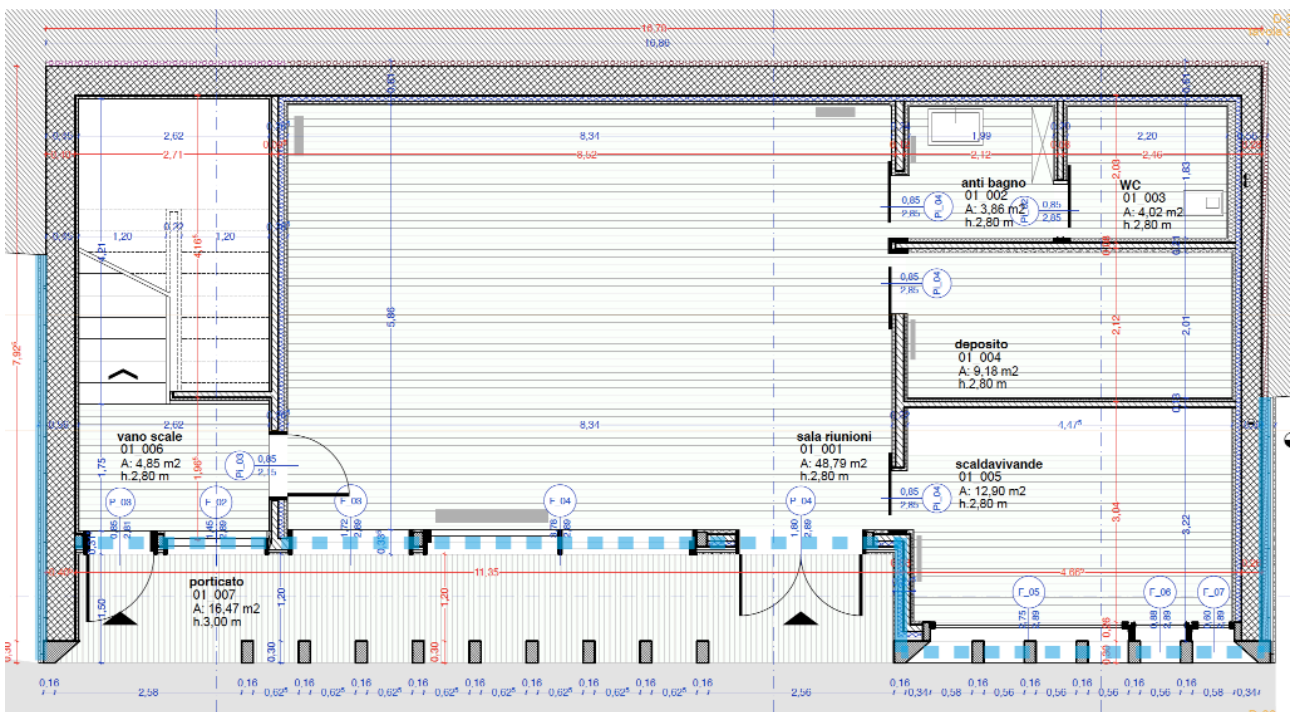


Figura 150 Pianta piano primo. Parete tipo 1 in Rosso, Parete tipo 2 in blu

Parte 3: Sistemi di diagnostica previsti all'interno dell'edificio e misure per agevolare l'ispezione dell'involucro

Come riportato nella relazione tecnica, l'edificio sorge su una fondazione in calcestruzzo armato, parete perimetrale a base legnosa è fissata mediante elementi di fissaggio meccanico e sponda in larice di separazione tra i due materiali.

La parte relativa alle strutture in legno è stata assemblata in cantiere e non si sono verificati particolari fenomeni che potrebbero intaccare la durabilità delle pareti perimetrali verticali.

E' stato inserito un sistema di monitoraggio attivo alla base dell'edificio, al piede della parete perimetrale verticale e poco sopra la sponda in larice, che consente di rilevare e misurare l'umidità presente alla base del componente dello strato resistente.

In fase di prima installazione, l'umidità era superiore al 20% per la presenza delle lavorazioni di cantiere che ne hanno probabilmente alzato la media: si raccomanda il controllo della presenza di essa per evitare problematiche di degrado.

Non sono state previste particolari misure per agevolare l'ispezione dell'involucro. I fissaggi verticali delle singole doghe del rivestimento esterno sono posti a distanza regolare di circa 2 metri. Alla rimozione di ogni fissaggio va previsto idoneo trattamento del foro, cercando di salvaguardare il più possibile l'integrità della doga.

Si consiglia l'utilizzo di resine protettive del foro per poter permettere di riutilizzare gli stessi componenti dopo l'eventuale ispezione dell'involucro.

Il doppio strato di collegamento posteriore è composto da listelli ad andamento orizzontale fissati su ulteriori listelli ad andamento verticale mediante viti passanti allo strato resistente, passando attraverso il telo posteriore in polipropilene.

Lungo i fissaggi sono state previste idonei dispositivi passa-foro, adatti ad accogliere il passaggio del fissaggio senza lesionare la membrana o causarne eventuali rigonfiamenti o piegamenti locali.

Parte 4: Cicli di ispezione e manutenzione

Parete tipo 1

Strato funzionale	Componente	Attività	Frequenza
Rivestimento esterno	Doghe in larice ad andamento verticale	Verifica di eventuali fenomeni di marcescenza o di imbibizione dei componenti	Annuale
		Verifica dell'invecchiamento delle doghe esterne, in particolar modo ad eventuali fenomeni locali di degrado o di colorazioni anomale	Annuale
		Verifica dell'assenza di eventuali fenomeni di risalita capillare dal terreno.	Annuale
		Verifica di eventuali disfunzioni dei collegamenti dei componenti allo strato resistente	Ogni 3-5 anni
Strato collegamento di	Listelli in larice naturale	Verifica del buono stato dei componenti in larice e dei collegamenti con lo strato posteriore	Ogni 3-5 anni
		Verifica dell'effettiva pulizia dello strato, senza il deposito di eventuale fogliame o guano che può ostruire la camera e provocare danni di avarie locali	Ogni 5-10 anni
Strato separazione di	Telo in polipropilene di tenuta all'acqua e all'aria	Verificare attraverso controllo visivo l'effettiva continuità del telo di protezione, con controllo particolare nelle zone di fissaggio del telaio necessario al sostegno degli elementi di facciata.	Ogni 5-10 anni
Strato resistente	Pannello 5 strati	Verifica visiva della struttura portante in legno e se possibile degli agganci in acciaio. Verifica strumentale dell'umidità interna dei componenti	Ogni 15 anni
Strato collegamento di	Listelli verticali ed orizzontali in larice	Verifica del buono stato dei componenti in larice e dei collegamenti con lo strato posteriore	Ogni 3-5 anni
Rivestimento interno	Doghe in larice ad andamento verticale	Verifica visiva di eventuale degrado delle giunzioni e operazioni di manutenzioni necessarie al mantenimento dell'aspetto	Biennale
		Verifica di eventuali fenomeni di imbarcamento - svergolamento delle tavole interne	Biennale

Parete tipo 2

Strato funzionale	Componente	Attività	Frequenza
Rivestimento esterno	Doghe di larice	Verifica di eventuali fenomeni di marcescenza o di imbibizione dei componenti	Annuale
		Verifica dell'invecchiamento delle doghe esterne, in particolar modo ad eventuali fenomeni locali di degrado o di colorazioni anomale	Annuale
		Verifica dell'assenza di eventuali fenomeni di risalita capillare dal terreno.	Annuale
		Verifica di eventuali disfunzioni dei collegamenti dei componenti allo strato resistente	Ogni 3-5 anni
Strato di collegamento	Controlisellatura in legno di larice	Verifica del buono stato dei componenti in larice e dei collegamenti con lo strato posteriore	Ogni 3-5 anni
		Verifica dell'effettiva pulizia dello strato, senza il deposito di eventuale fogliame o guano che può ostruire la camera e provocare danni di avarie locali	Ogni 5-10 anni
Strato di separazione	Telo in polipropilene di tenuta all'acqua e all'aria	Verificare attraverso controllo visivo l'effettiva continuità del telo di protezione, con controllo particolare nelle zone di fissaggio del telaio necessario al sostegno degli elementi di facciata.	Ogni 5-10 anni
Strato di isolamento	Pannelli in isolante XPS	Verifica attraverso controllo visivo dell'effettiva integrità dei pannelli e delle protezioni superficiali idonee per proteggerne la durata.	Ogni 15-20 anni
Strato resistente	Blocchi in laterizio alveolare	Verifica dell'integrità dei componenti e dell'assenza di muffe e condense superficiali	Ogni 30 anni
Strato di separazione	Telo in polipropilene di tenuta all'acqua e all'aria	Verificare attraverso controllo visivo l'effettiva continuità del telo di protezione, con controllo particolare nelle zone di fissaggio del telaio necessario al sostegno degli elementi di facciata.	Ogni 20 anni
Strato di collegamento	Listelli in Abete non trattato	Verifica del buono stato dei componenti in abete e dei collegamenti con lo strato posteriore	Ogni 20 anni

Strato isolamento	di	Pannelli in fibra di canapa		Ogni 10-15 anni
Rivestimento interno		Doghe in larice non trattato	Verifica visiva di eventuale degrado delle giunzioni e operazioni di manutenzioni necessarie al mantenimento dell'aspetto Verifica di eventuali fenomeni di imbarcamento - svergolamento delle tavole interne	Biennale Biennale

Parte 5: Fasi di progetto per la dismissione dell'edificio e previsione di fine vita dei componenti

La composizione degli strati funzionali della parete perimetrale verticale di tipo A è illustrata nell'esploso. Per la costruzione è stato prima di tutto fissato il pannello strutturale, poi posata e fissata la membrana protettiva esterna.

Successivamente si sono posizionate le membrane passa foro necessarie al fissaggio dei listelli verticali, e poi di quelli orizzontali. Per ultime, sono state fissate meccanicamente le doghe esterne.

La parte relativa agli strati interni è stata assemblata solo successivamente dopo il montaggio degli impianti.

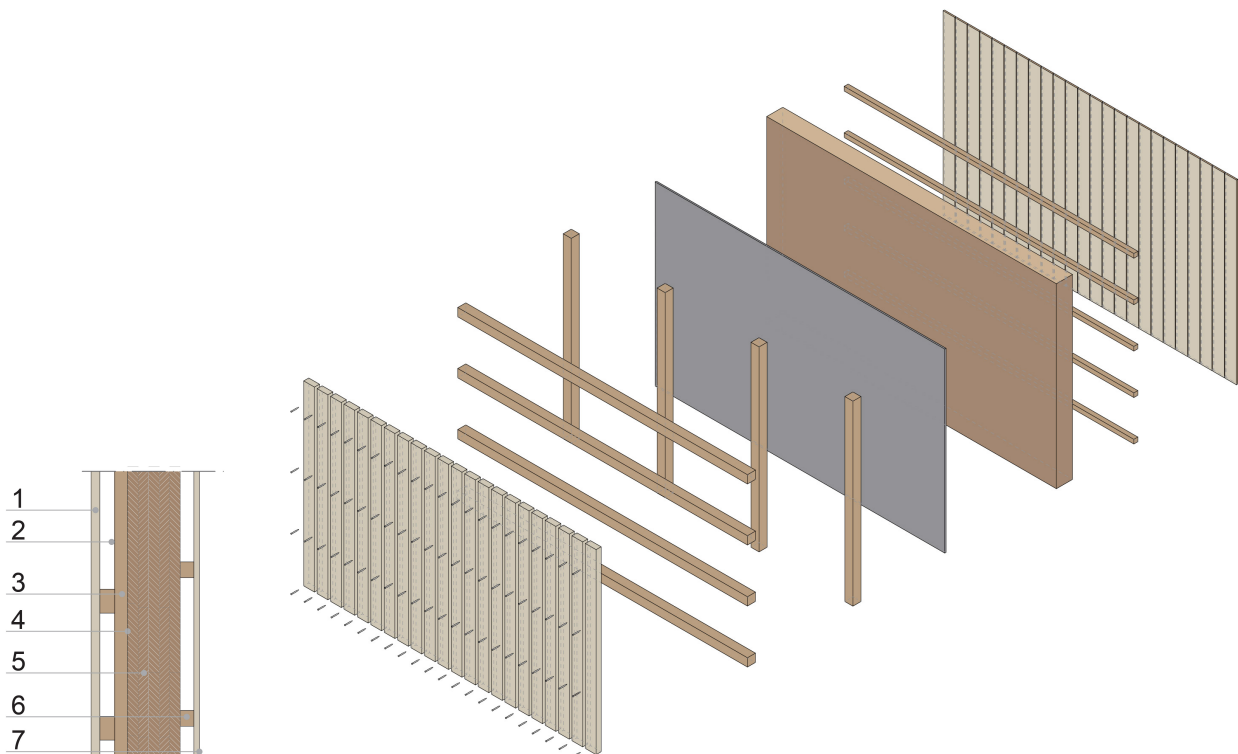


Figura 151 Esploso assonometrico del modello funzionale della parete 1 del caso di studio

I componenti utilizzati per questa parte di involucro sono quasi tutti fissati mediante fissaggi meccanici e consentono quindi la possibilità di essere recuperati alla fine del processo di smontaggio dell'edificio.

I componenti del rivestimento esterno sono doghe di larice non trattato con dimensioni approssimative in sezione di 60 x 32 mm, con fissaggi all'incirca ogni 150 cm.

Questo consente di ipotizzare che queste doghe potranno essere riutilizzate dopo lo smontaggio, previo controllo dei fenomeni di degrado che hanno variato le caratteristiche fisico-chimiche.

Si prevede per esse è una nuova applicazione per rivestimenti esterni, sia come elementi lineari che ricomposte in elementi di pannellatura esterna.

Queste doghe potrebbero essere riutilizzate con le stesse modalità anche nei rivestimenti interni, previo controllo dell'umidità interna residua di esse, dopo aver ripristinato eventuali difetti legati ad alternazioni dimensionali.

Si potrebbe ipotizzare anche un riutilizzo per pavimentazioni per interno, prevedendo un trattamento superficiale che possa conferirgli la giusta durezza superficiale.

Per i listelli della parete perimetrale verticale applicati ad andamento orizzontale si prevede un difficile riuso del componente. L'andamento orizzontale del componente porterà con molta probabilità a difetti

dimensionali rilevanti che impediranno il riutilizzo di porzioni continue di essi (vedi svergolamento e falcatura).

Per questi componenti si prevede il riuso di sole piccole dimensioni come tasselli ricomposti per rivestimenti interni o esterni (dopo idoneo trattamento protettivo).

Per i listelli ad andamento verticale si prevede un più facile riutilizzo dopo l'eventuale disassemblaggio di parete: infatti, la posa in opera continua lungo la direzione della fibratura del componente, permette di ipotizzare che possano mantenere più facilmente le caratteristiche dimensionali adeguate a futuri impieghi (per rivestimenti interni, sia come doghe che ricomposte in pannelli, sia per pavimentazioni dopo idoneo trattamento protettivo).

Per quanto riguarda lo strato resistente, composto da pannelli in Xlam a 5 strati, si ipotizza un riuso sempre per modalità strutturali, ovviamente dopo accurati controlli non distruttivi della resistenza meccanica del pannello stesso. L'eventualità del disassemblaggio in singole lamelle che compongono il pannello non viene presa in considerazione come scenario utile, in quanto le tecnologie moderne non consentono un disassemblaggio delle tavole competitivo dal punto di vista dei costi e dei tempi per pannelli con strati incollati.

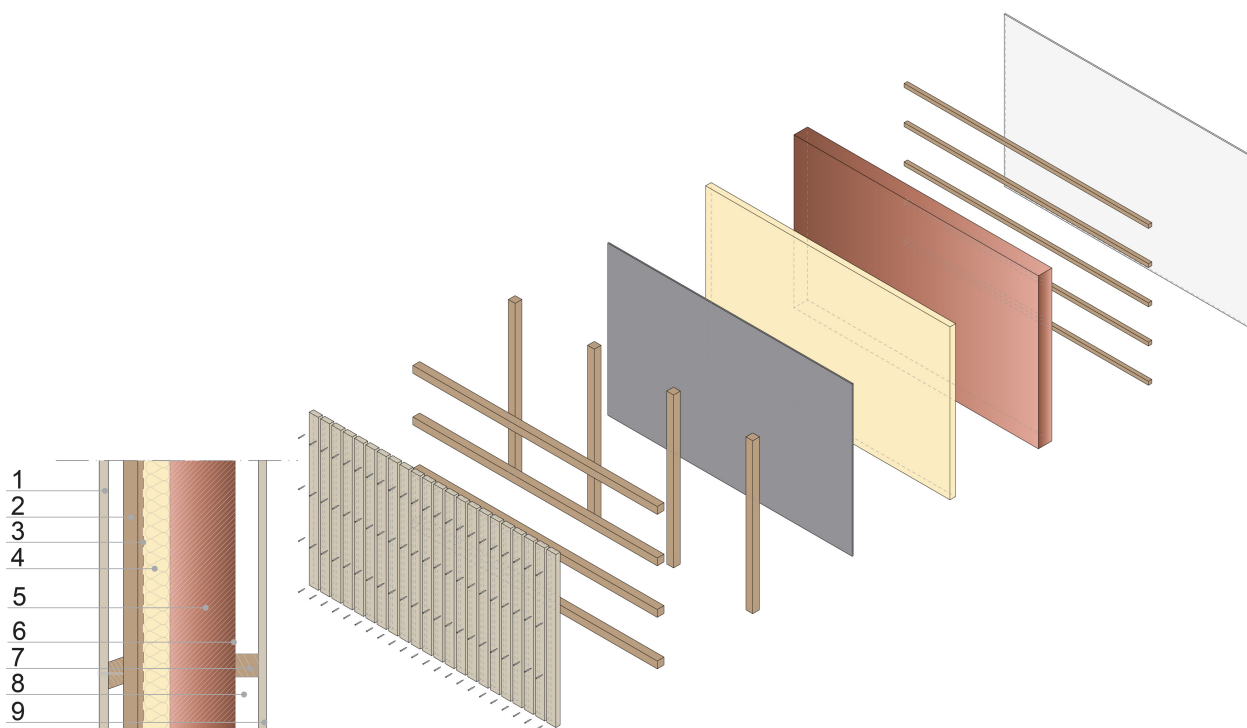


Figura 152 Esploso assometrico del modello funzionale della parete 2 del caso di studio

Per le pareti con modello funzionale di tipo 2 si prevedono le stesse modalità di dismissione per il rivestimento esterno e lo strato di collegamento.

Per lo strato isolante, composto da pannelli di isolamento in XPS, si prevede il riuso del componente se in buone condizioni, oppure la messa in discarica.



CONCLUSIONI

La diffusione dell'utilizzo del legno nelle costruzioni sta coinvolgendo tutti i settori dell'edilizia e dell'architettura ed è sempre più conosciuto e utilizzato da progettisti e tecnici. Le qualità del materiale sono quelle di essere naturale, anche se i trattamenti che subisce per essere messo in opera possono pregiudicarne la sostenibilità ambientale, leggero, stabile a livello dimensionale, con nota e affidabile velocità di combustione, con reazione al fuoco prevedibile e buone prestazioni termo-igrometriche.

Caratteristica rilevante è l'alto livello di prefabbricazione che si può raggiungere per le realizzazioni; questa si configura come un paradigma ormai consolidato nella pratica costruttiva odierna, contrapponendosi al sistema tradizionale evidenziando grandi vantaggi (velocità di esecuzione, facilità di montaggio, grande qualità di processo) e svantaggi (costi, limitazioni progettuali e processuali).

L'edificio è costituito da prodotti che sono frutto di processi industriali controllati che consentono di ottenere le prestazioni di comfort richieste, che sono modificabili, mantenibili, smontabili e in definitiva riciclabili (Davoli, 2001b; Ferrante, 2008; Piazza et al., 2005; Spinelli, 2014; Zambelli et al., 1998).

Occuparsi di durabilità e affidabilità delle costruzioni in legno richiede di trattare una progettazione, cioè una logica progettuale e architettonica, che sia inquadrata in un'ottica di durata e durevolezza ma anche di reversibilità, adattabilità fisica e funzionale (Boaga, 1994). Si stanno diffondendo nuovi componenti tecnologici a base legno che consentono progetti di recupero sul costruito e che soddisfano i requisiti chiave fondamentali nell'ambito della rigenerazione del tessuto costruito (Malacarne et al., 2016; Spinelli, 2014).

Nell'ambito dell'edilizia è sempre più importante individuare i materiali e le tipologie costruttive che possano limitare non solo il consumo energetico in fase d'uso dell'edificio, ma riducano le emissioni necessarie per la produzione dei materiali costruttivi e l'energia utilizzata nei processi di smaltimento degli stessi alla fine della vita utile del manufatto.

Al di là del materiale, la caratteristica di durabilità rappresenta un requisito che il progettista deve articolare non solo guardando all'affidabilità dei componenti dei singoli strati funzionali, ma cercando di garantire le proprietà di manutenibilità, gestione, controllabilità, ispezionabilità (...) che possano convertire il concetto di durabilità da 'statica' a 'dinamica' per articolare edifici che possano, nel corso del tempo, garantire la sostituzione e l'adeguamento di parte dei loro sistemi per poter rispettare le normative e le esigenze che variano sempre più velocemente (Smith, 2010).

In questo senso, la manutenzione qui si è intesa strategia per implementare la vita utile del costruito, non come attività a sé stante.

In quest'ottica, le strategie e i concetti del *Design for Deconstruction* sono stati utili a delineare un quadro che, partendo dalle possibilità di manutenzione della singola unità tecnologica, devono interessare le nuove realizzazioni per un futuro sostenibile e per articolare un processo di dismissione che sia *realmente sostenibile* (Kaufmann & Nerdinger, 2011).

La prefabbricazione in legno assume, oltre alle già citate caratteristiche, la possibilità di sviluppare un cantiere che possa essere più veloce e con meno ingombro sul territorio e con minori costi di gestione, ma allo stesso tempo preveda maggiori oneri e cautele nella fase progettuale.

Assume così nuova importanza lo studio della logistica, delle distribuzioni degli impianti di cantiere, delle lavorazioni che necessariamente lì devono essere eseguite e invece di quelle che possono essere eseguite in stabilimento e necessitano solo di una corretta messa in opera.

Si è configurata nel settore una *innovazione tecnologica* che ha investito tutte le fasi del processo edilizio dalla programmazione a quella di dismissione del bene edilizio una volta esaurito il suo ciclo di vita, come auspicato da (Ferrante, 2014) e che ha mutato le logiche produttive dell'industria fornitrice dei

materiali, oltre che la gestione del cantiere e delle diverse maestranze che collaborano al progetto con competenze fortemente differenziate.

Sono stati studiati i processi che trasformano il materiale fino a diventare componente per l'edilizia, con l'obiettivo di fornire al progettista un quadro di conoscenze che potesse essere utile in fase di scelta delle soluzioni tecnologiche dell'edificio, migliorando la consapevolezza riguardo le caratteristiche legate alla sostenibilità ambientale.

Sono stati indagati i parametri che possono essere utili al progettista per interpretare il fenomeno dell'obsolescenza del singolo componente all'interno del sistema edilizio ed i fenomeni di degrado che si innescano all'interno del sistema, causati da incompatibilità materiche o da errato posizionamento e o utilizzo del materiale.

Infine, attraverso un processo di sintesi propositiva, è stato articolato un testo unitario, organizzando un ragionamento che, partendo dalle implicazioni di filiera e di sostenibilità ambientale economica e sociale del materiale, conducesse a riflessioni più specifiche sull'involucro e sulle caratteristiche di durabilità che offrono ad oggi i principali componenti utilizzati e sulla affidabilità degli edifici in legno in genere, visto il segnale che veniva già da studi passati, dove si cercava di rintracciare la 'cultura del costruire in legno', attraverso processi/prodotti per implementarne l'utilizzo e ottimizzare i processi (Ferrante in Nesi, 2008). Particolare enfasi nella trattazione è stata data alle pareti perimetrali verticali, sebbene le problematiche riscontrate si possano astrarre dall'elemento tecnico ed applicare a tutte le 'frontiere' dell'edificio, che vedono nell'utilizzo di materiali a base legnosa il loro punto di forza e/o di debolezza.

L'obiettivo è caratterizzare la qualità del bene prodotto costituito dall'insieme delle proprietà e delle caratteristiche dell'organismo edilizio o di sue parti che conferiscono ad essi la capacità di soddisfare, attraverso prestazioni esigenze espresse o implicite (Ferrante in Nesi, 2008).

Attraverso la stesura di un repertorio di casi studio sono state sistematizzate le soluzioni più ricorrenti, in grado di garantire un ottimo e verificato grado di durabilità e affidabilità, in alcuni casi approfondito attraverso sopralluoghi e rapporti ed interviste con i progettisti manutentori.

Grande rilevanza è stata data alla caratterizzazione funzionale, ovvero alle tipologie di stratificazione delle chiusure verticali in grado di alla soluzione tecnica le prestazioni richieste.

In particolare si evidenzia come, l'esigenza di conferire la giusta traspirabilità agli strati, si traduca in strati di ventilazione dedicati e quindi alla presenza dello strato 'addizionale' della camera di ventilazione, che a volte può essere addirittura doppio per seguire l'andamento del rivestimento esterno di facciata (cfr. Casa Sociale Caltron, Trento).

Nell'ultimo capitolo, si sono delineate quelle che sono le strategie di progetto per assicurare la durabilità del costruito, riprendendo le buone pratiche del costruire in legno ed integrandole con quanto osservato dai casi studio, dal confronto con i professionisti e dai sopralluoghi effettuati, ritenendo il problema della durabilità prima di tutto un requisito di carattere progettuale, e considerando la manutenzione come un'attività utile ad aumentare la vita utile del bene, implementando così la sua *durata* nel tempo.

La ricerca propone una rielaborazione di uno schema di piano di manutenzione per edifici a base legno, con le specifiche per pareti perimetrali verticali con componenti a base legnosa.

Tale documento, obbliga il progettista a pianificare una strategia progettuale per conferire la necessaria qualità al processo di gestione dell'edificio, obbligando nella redazione a prevedere misure che prevedano l'ispezione degli strati (possibilmente senza arrecare danni al costruito), attività per permettere la dismissione dei componenti, o ancora le ipotesi di fine vita di essi.

Il piano di manutenzione avrebbe rilevanza notevole anche per conferire le giuste caratteristiche di affidabilità, attraverso l'utilizzo di adeguati sistemi di monitoraggio e controllo, che vanno necessariamente previsti già dalla fase iniziale di progetto.

Partendo dallo studio delle caratteristiche delle diverse specie, è emerso come l'utilizzo di esse sia disomogeneo verso alcune, impiego che non è sempre giustificato da specifiche di prestazione migliori o da richieste caratteristiche di esse.

Le cause di questa tendenza si possono rintracciare nelle tradizioni costruttive che hanno visto per generazioni utilizzare sempre le stesse specie, nei meccanismi di filiera e di stabilità dei processi estrattivi e produttivi, che hanno 'conformato' processi veloci e stabili di coltivazioni, taglio e produzione di alcuni tipi piuttosto che di altri e che quindi governano, di fatto, le scelte di progettisti e utenti, attraverso facilità di reperibilità del materiale e costi.

In rapporto alla durabilità questo è dannoso perché impedisce lo sviluppo di nuove conoscenze delle caratteristiche di tipi diversi, che non riescono a decollare sul territorio e che potrebbero permettere una migliore affidabilità.

Articolando un quadro ampio, relativo alla sussidiarietà della materia prima, sia in Europa che nel territorio italiano, è emerso come le specie maggiormente utilizzate non siano quelle autoctone, ma solitamente siano quelle tipiche del nord Europa, dove per prima si sono sviluppate queste tecnologie costruttive.

L'auspicio è che la diffusione delle peculiarità del materiale, insieme alle informazioni sulle prestazioni delle singole specie e delle provenienze, possa sviluppare una nuova comprensione e usi specifici per i diversi tipi di legno come ad esempio il cedro, il castagno, il rovere, che sono maggiormente presenti alle nostre latitudini e che consentono di fare dei ragionamenti più ad ampio respiro sulla sostenibilità ambientale e sulla sussidiarietà dei materiali, oltre che a garantire le caratteristiche di durabilità ed affidabilità che si richiedono.

Il dialogo con il mondo agro-forestale, che detiene le informazioni relative all'invecchiamento del materiale, alle specifiche di prestazione ed ai limiti prestazionali, difficilmente entra in relazione con il mondo dei progettisti. Sarebbe a dire che l'informazione tecnica, sebbene negli ultimi dieci anni ci siano stati degli enormi passi avanti, ancora risente di forti specialismi e risulta impenetrabile ai tecnici o ai produttori dei componenti. L'auspicio con questa tesi era quello di ritrovare le specifiche di prestazione fondamentali, per permettere ad un progettista di poter scegliere con consapevolezza, legandosi a quelle che sono le esigenze variabili del progetto.

Il legno non trattato è ampiamente utilizzato sia per le sue caratteristiche estetiche, che per le sufficienti garanzie che assicura dal punto di vista della vita utile nel tempo.

Le specie più utilizzate per gli esterni si sono rivelate essere il pino, il larice, l'okoumè, che di solito richiedono una sottostruttura di connessione con lo strato resistente che viene composta con componenti in legno, trattati o no a seconda dell'effetto che si vuole ottenere (solitamente possono essere verniciati per essere confusi con il telo di protezione posteriore che è nero).

I pretrattamenti chimici mediante verniciature esterne sono tra i più utilizzati, perché di poco costo, di facile manutenzione nel tempo e di buon impatto sulla durabilità del singolo componente e dell'edificio. Mediamente si registra un ampio impiego di materiali 'sostenibili', con componenti in larghe percentuali ad acqua se possibile e che mantengano il facile smaltimento del componente alla dismissione dell'edificio.

C'è un discreto utilizzo di legno acetilato sui trattamenti per impregnazione, che si sta diffondendo per la sua stabilità dimensionale ed estetico-funzionale.

Molto diffuso anche il legno termo-trattato, che è considerato un buon compromesso per rimanere nell'ambito della sostenibilità ambientale dei materiali e della dismissione futura.

Dai sopralluoghi emerge come, negli edifici senza componentistica a vista in legno, il livello di conservazione della struttura per il tempo scelto (fascia tra i 5 ed i 10 anni dalla fine della costruzione), sia paragonabile ad altre realizzazioni eseguite con tecnologie costruttive non a base legno.

Negli edifici con rivestimenti esterni in legno, sono stati rilevati problemi di degrado saltuari, dovuti ancora non a defezioni di componenti, quanto a scarsa valutazione del comportamento di essi in fase di progetto o a errori nella fase di montaggio-fissaggio. Nel caso di avarie, si è rivelata una carenza non principale della componentistica in legno, ma più in generale della carenza di cura del dettaglio.

L'innovazione di prodotto ha portato all'utilizzo sempre più diffuso di componenti di seconda lavorazione, in particolare elementi ricomposti a matrice lignea con alte percentuali di resine, collanti e pigmenti, con specifiche di prestazione stabili e misurabili, più affidabili rispetto ai corrispettivi in legno massello (vedi resistenza agli agenti chimici, variazioni cromatiche, reazione ad urti...).

Parliamo di materiali (nella fattispecie il WPC e HPL) altamente *ingegnerizzati*, o meglio prodotti in stabilimento con processi di produzione controllati e certificati, che non soffrono quindi la variabilità e le problematiche della specie naturale.

Sul loro utilizzo il mondo dei professionisti sembra diviso, da un lato tra chi preferisce un uso più 'tradizionale' del materiale, nelle logiche della sostenibilità ambientale e della possibilità di assicurare che l'eventuale dismissione di questi componenti nel futuro possa evitare di disperdere sostanze dannose nell'ambiente e tra chi invece preferisce utilizzare questi componenti che assicurano una durabilità più semplice da garantire all'utenza finale.

Di fatto con questi materiali si è persa la 'naturalità' e la 'sincerità' del legno massello, che ha dei limiti nel controllo del componente, nonostante l'affidabilità sia oggi decisamente accettabile, ma in alcune prestazioni rivela delle fragilità di non facile gestione, soprattutto nel caso di committenza pubblica dove è molto difficile pianificare e far rispettare un quadro manutentivo e un iter di ispezioni cicliche dell'edificio.

Attraverso il confronto con vari progettisti, è emerso come il piano di manutenzione sia un elaborato sottovalutato nella sua redazione, a volte addirittura omesso nel caso di committente privato. L'importanza di esso è legata alle strategie tecnologiche impiegate dal progettista per conferire durabilità al sistema edilizio, riformulando un quadro esigenziale che necessariamente non può solo riferirsi alle prestazioni dell'elemento tecnico al momento della costruzione, ma deve prendere in considerazione anche le esigenze di ispezione, monitoraggio ed eventuale sostituzione dei componenti con la minima invasività sull'edificio stesso.

In questo senso, il prodotto della ricerca ha delineato uno schema tipo specifica per le pareti perimetrali verticali articolato sui tre livelli già previsti dalla normativa:

- a) il manuale d'uso;
- b) il manuale di manutenzione;
- c) il programma di manutenzione.

In particolare sul manuale di manutenzione, che è l'elaborato più specifico dell'intero piano, si sono andate a caratterizzare i contenuti relativi alle sezioni:

1. Anagrafica dell'edificio
2. Descrizione generale
3. Sistemi di diagnostica previsti all'interno dell'edificio per agevolare l'ispezione
4. Cicli di manutenzione e di ispezione raccomandati
5. Progetto per la dismissione dell'edificio e previsione del fine vita dei componenti

La caratterizzazione di un modello di piano che contenga al suo interno non solo gli elaborati minimi definiti dalla normativa, relativi tipicamente solo alla struttura in legno, ma anche tutte le specifiche relative ai componenti dei vari stati, rappresenterebbe una ragguardevole innovazione dal punto di vista della valutazione della durabilità degli edifici con componenti a base legno, in particolar modo perché permetterebbe al progettista di identificare già univocamente le strategie utilizzate per garantire la qualità del costruito nel corso della vita utile, potendo anche ipotizzare delle strategie di dismissione dello stesso già dal progetto, minimizzando quindi gli scarti di cantiere non riutilizzabili.

Gli sviluppi futuri potrebbero legare tutti questi principi di manutenibilità a fattori di rischio, percentuali di accadimento e affidabilità dei componenti, permettendo di modellare degli scenari di previsione e diagnostica dell'edificio sempre più performanti.

In particolar modo, già alcuni studi (Schmidt et al., 2014) hanno valutato attraverso matrici di compatibilità le relazioni tra le unità tecnologiche e all'interno degli strati funzionali di una stessa unità, cercando di determinare 'l'adattabilità' dell'edificio, ovvero quantificare le invarianti morfologiche e i pesi di ogni componente sul requisito osservato, per poter dare un giudizio sul livello raggiunto, oppure il grado di affidabilità della stessa (intesa come la facilità di riparare eventuali danni e avarie).

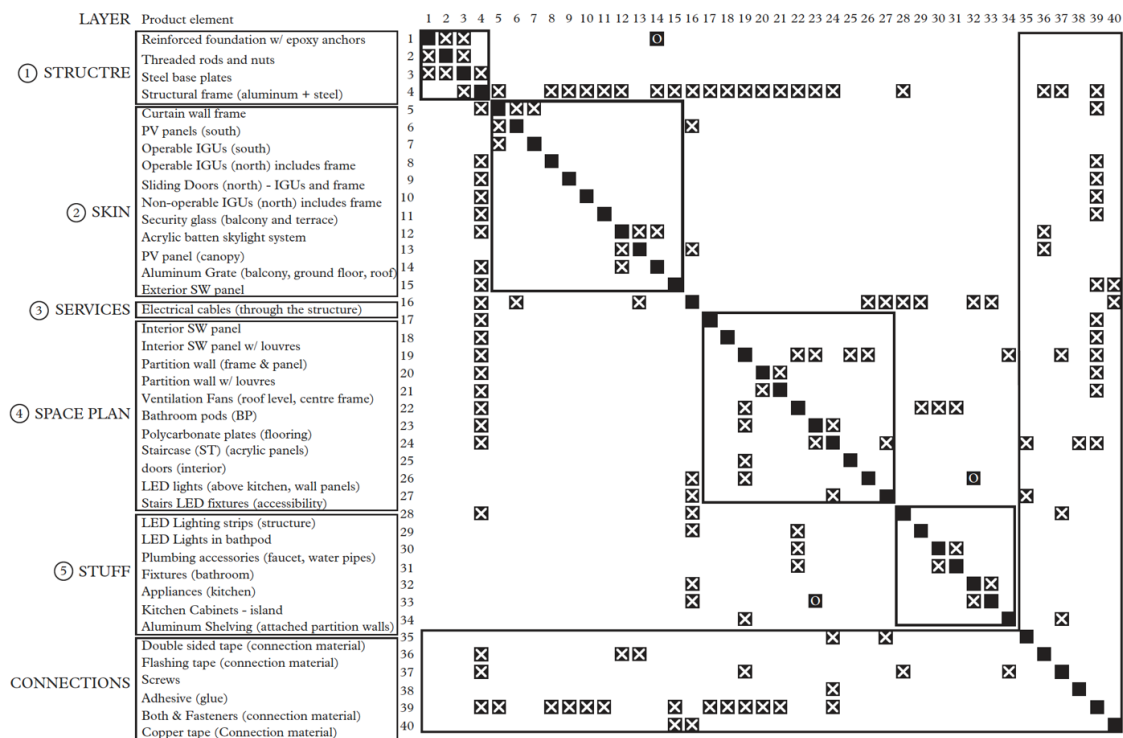


Figura 153 Matrici di compatibilità e di valutazione tra unità tecnologiche (Schmidt et al., 2014)

Un ulteriore sviluppo potrebbe configurarsi attraverso la stima dei singoli fattori di rischio legati sia alla probabilità del degrado dei componenti che al degrado dei diversi sistemi, per implementare un sistema articolato di informazioni che permetta dal primo momento di percepire quali siano i problemi legati alla durabilità in fase di progettazione di una facciata con componenti di involucro a base lignea.

Con l'articolazione di questo database internazionale che lega le caratteristiche dei componenti, ai dettagli di facciata ed alla esperienza delle imprese che costruiscono con il legno (Frühwald et al., 2007; Frühwald Hansson et al., 2012; Toratti, 2016) elaborare un programma di tipo visuale che permetta al progettista di avere, dall'inizio della progettazione evidenziate le eventuali problematiche legate a particolari nodi di dettaglio oppure a scelte di idonei materiali.

Le possibilità che potrebbero fornire queste banche dati, che possono interfacciarsi con sistemi di gestione delle informazioni del costruito (BIM), possono essere molto utili non solo per prevenire problemi ed errori in fase di progettazione-realizzazione, ma anche per permettere di organizzare la gestione del bene nel corso degli anni.

Sarebbe possibile adeguare l'edificio alle variazioni di prestazioni dei componenti rilevata nel corso del tempo e mantenere traccia di processi, delle ispezioni e delle lavorazioni effettuate per aumentare la vita utile del bene e infine per permetterne una dismissione controllata, cercando di riutilizzare o riciclare i componenti utili, minimizzando sempre più l'impatto ambientale del costruito.

Appendice: interviste

Intervista telefonica con l'Arch. Vanella, progettista del Caso studio 1: asilo la farfalla

Perché avete scelto di realizzare un'opera utilizzando il legno?

La scelta di utilizzo del legno per l'edificio è dettata dalla volontà di assicurare all'utenza un manufatto di qualità coniugato ai principi di sostenibilità energetica odierni.

Il legno offre entrambe queste caratteristiche.

Ci sono state particolari difficoltà progettuali legate alla tecnologia utilizzata?

Nessuna essendo noi abituati a lavorare con il legno ed anche le maestranze.

Ci sono state particolari difficoltà nella gestione del cantiere legata alla tecnologia utilizzata?

Nessuna essendo la società che ha fornito e posato i materiali esperta del settore

Quali sono le garanzie rispetto alla durabilità che date ai clienti?

Inizialmente l'opera venne progettata con un rivestimento esterno in listelli di larice orizzontali trattati solo con olio d'oliva. L'idea era proprio quella di permettere al legno di facciata di 'invecchiare', ovvero di assumere la classica colorazione più grigia con il passare del tempo. All'inizio la committenza aveva accettato l'utilizzo di larice trattato con olio d'oliva, che quindi avrebbe subito invecchiamento con ingrigimento, garantendo una durabilità di 20-30 anni.

Successivamente, l'ufficio tecnico ha deciso dopo aver consultato il progettista, di trattare le doghe con impregnanti chimici, per mantenere inalterata l'aspetto esterno dell'opera.

L'impregnante usato fa sì che le doghe mantengano inalterato il loro aspetto e ogni due anni va ripassato e tolta la vernice precedente, dando alle doghe un aspetto giallastro luminescente.

Le viti a vista erano state scelte per permettere, in caso di eventuali avarie negli strati più interni, la sostituzione della doga stessa, rendendone però impossibile il riuso. La doga non trattata poteva semplicemente venire smaltita come rifiuto normale, oppure utilizzata come legna da ardere, mentre dopo questo trattamento diventa rifiuto speciale con tutto quello che consegue per gli oneri di legge.

La doga utilizzata è leggermente più piccola rispetto a quella ipotizzata da progetto: questo fa sì che sia più vulnerabile nel tempo alle azioni di deformabilità e di usura e che quindi sia più suscettibile al passare del tempo.

Abbiamo instaurato un percorso di scelta per la scelta del materiale di facciata con il cliente; il legno senza trattamenti varia la sua estetica con il passare del tempo e l'utente deve essere edotto di questa caratteristica, altrimenti non sarà soddisfatto del prodotto finale. L'architetto deve collaborare con gli utenti per scegliere la migliore tipologia di involucro, rendendo consapevoli gli utilizzatori che l'immagine cromatica dei materiali muterà con il passare del tempo.

Avete redatto un piano di manutenzione? È stato visionato dai clienti ed è possibile consultarlo?

Il piano di manutenzione è stato redatto ed è in possesso del consiglio comunale, (il nido è comunale N.d.T.). È un documento riservato che non è possibile mostrare

Avete riscontrato avarie a distanza di qualche anno dal cantiere? Lei lo ritiene legato a che tipo di problema?

Nessun problema se non il cambio del pretrattamento richiesto dalla committenza

Intervista telefonica con l'Arch. Giuseppe Marrelli, progettista del caso studio 3, centro polifunzionale sociale

Perché avete scelto di realizzare un'opera utilizzando il legno?

L'intervento richiesto richiedeva di utilizzare un materiale che potesse unire a livello formale le diverse destinazioni di utenza del progetto e che conferisse al costruito calore e un senso di accoglienza.

Il legno ci sembrava caratterizzare al meglio queste richieste.

Ci sono state particolari difficoltà progettuali legate alla tecnologia utilizzata?

Il legno richiede molta attenzione nella stesura dei dettagli di progetto e della ricerca dei materiali da utilizzare.

Ci sono state particolari difficoltà nella gestione del cantiere legata alla tecnologia utilizzata?

Abbiamo avuto alcune problematiche nella gestione del cantiere, in particolare perché le maestranze che lavoravano lì non avevano mai utilizzato il legno.

Particolari problematiche con l'utilizzo degli isolanti in fibra di legno e per le impermeabilizzazioni di copertura, che hanno riscontrato delle avarie a poco tempo dalla consegna dell'edificio

Quali sono le garanzie rispetto alla durabilità che date ai clienti?

Il legno costruito e progettato a regola d'arte non da alcun problema in relazione alla durabilità del costruito

Avete redatto un piano di manutenzione? È stato visionato dai clienti ed è possibile consultarlo?

No, questa documentazione non è stata redatta.

Avete riscontrato avarie a distanza di qualche anno dal cantiere? Lei lo ritiene legato a che tipo di problema?

Infiltrazioni d'acqua nella copertura e lievi segni di dilavamento in alcune zone circoscritte di parete perimetrale verticale.

Intervista telefonica all'arch. Mirko Franzoso, progettista del caso studio 4, centro sociale in Italia

Perché avete scelto di realizzare un'opera utilizzando il legno?

In Trentino le committenze sono piuttosto abituate alle progettazioni in legno, quindi accettano di buon grado le variazioni che la facciata ha con la progettazione con questo materiale.

La facciata del legno si 'muove', varia il suo aspetto cromatico nel tempo ed è questo che caratterizza il materiale. Le specie principalmente usate sono il Larice e il Cirmolo, perché sono materiali a Km zero o quasi, visto che fino a poco tempo fa erano presenti in valle, (Trentino N.d.R.).

In alcuni appalti pubblici possono esserci voci particolari che contraddistinguono le caratteristiche del legno, (ad esempio, nell'edificio di Caltron c'era la dicitura che il materiale doveva provenire da non più di 200 km e la ditta doveva certificare questa provenienza).

Con la committenza privata l'appalto è ovviamente più snello e la fornitura dei materiali la effettua direttamente la ditta, alla quale poi si richiedono i certificati di produzione secondo gli standard forestali. Questo fa sì che la provenienza non sia più certificata da un luogo di estrazione vicino all'oggetto mediante i produttori si riforniscono in Austria.

Ci sono state particolari difficoltà progettuali legate alla tecnologia utilizzata?

Il dettaglio viene definito dal progettista, che insieme ad un ingegnere del legno si occupa di una prima valutazione di dimensionamento strutturale e fisico tecnico. L'ingegnerizzazione del prodotto viene poi effettuata dalla ditta, che converte il progetto nel prodotto necessario per la macchina a taglio numerico.

Gli elementi piccoli di facciata vengono tagliati in cantiere, non arrivano già assemblati.

Larice e Cirmolo non trattati, perché non 'cristallizzano' il materiale. L'edificio vive, cambia aspetto. Il larice diventa grigio, cambia tonalità a seconda della facciata e dell'esposizione e varia da grigio a nero col passare gli anni.

Con la listellatura esterna verticale, l'acqua segna la linea del legno e continua lungo la venatura del materiale. Prende velocità sulla doga e anche in assenza di rompigoccia cade dalla doga e non crea problematiche di marcescenza.

Ci sono state particolari difficoltà nella gestione del cantiere legata alla tecnologia utilizzata?

Nessuna problematica rilevante

Quali sono le garanzie rispetto alla durabilità che date ai clienti?

Le opere in legno correttamente progettate e realizzate non hanno alcun problema di durabilità

Avete redatto un piano di manutenzione? È stato visionato dai clienti ed è possibile consultarlo?

Sulla manutenzione di Cles, è stata consigliata ogni 5/10 anni una valutazione sullo stato di conservazione del materiale, (legno strutturale) e un monitoraggio esterno della facciata per il legno esposto. All'interno del manuale di manutenzione sono poi contenuti tutti i dettagli necessari per lo smontaggio dei componenti per effettuare l'ispezione della struttura.

Le doghe con vite zincate consentono che non passi marcescenza al materiale dall'acciaio della vite e permettono la sostituzione della singola doga in caso di problemi sull'involucro. Se c'è un nodo sulla singola asta, viene direttamente sostituita in cantiere, altrimenti potrebbe imbarcarsi e creare problemi di durabilità del materiale stesso.

Avete riscontrato avarie a distanza di qualche anno dal cantiere? Lei lo ritiene legato a che tipo di problema?

Nessun problema particolare

Intervista con l'arch. Feltrin, architetto dello studio Burnazzi Feltrin, progettista del caso studio 6 Casa PF family

Perché avete scelto di realizzare un'opera utilizzando il legno?

Il committente ci ha richiesto specificamente una casa in legno. Qui in Trentino siamo abituati ad abitazioni con questa tecnologia ed i committenti sono molto propositivi nell'utilizzarla anche per la propria abitazione.

Ci sono state particolari difficoltà progettuali legate alla tecnologia utilizzata?

Abbiamo realizzato come studio di architettura diversi interventi in legno, quindi siamo ormai molto consapevoli di quali siano le difficoltà e i dettagli di progetto che aiutano la realizzazione dell'opera e che incentivano una durevole riuscita dell'intervento

Ci sono state particolari difficoltà nella gestione del cantiere legata alla tecnologia utilizzata?

Il cantiere è stato gestito da una ditta trentina specializzata in tecnologie a base legno. Non abbiamo avuto difficoltà, anzi spesso sono stati proprio i titolari dell'azienda che ci hanno suggerito lavorazioni o procedure diverse rispetto a quelle programmate.

Quali sono le garanzie rispetto alla durabilità che date ai clienti?

I listelli che usiamo come rivestimento esterno in larice sono mediamente durevoli, hanno la caratteristica di ingrigirsi dopo alcuni anni dalla posa in opera. Quell'ingrigimento in parte è proprio la garanzia di salvaguardia dall'attacco di microorganismi, visto che il materiale diventa molto più duro superficialmente. Negli ultimi anni abbiamo lavorato molto con le committenze per evitare malumori sul cambio del colore del materiale del tempo, facendo capire da subito ai proprietari come il legno sia, per certi versi, imprevedibile sotto questo punto di vista. Negli ultimi interventi abbiamo iniziato ad utilizzare componenti di facciata pre-bagnati e pre-invecchiati. Abbiamo richiesto alla casa produttrice di fornirci dei componenti che fossero già stati oggetto di weathering, (ciclo bagnato asciutto), così da essere posti in opera già 'grigi'. Questa lavorazione fa sì che l'aspetto dei componenti posati sia quello definitivo, senza ulteriori variazioni. Purtroppo questo tipo di lavorazione è molto onerosa ed ha un tasso medio di spreco di materiale.

Avete redatto un piano di manutenzione? È stato visionato dai clienti ed è possibile consultarlo?

Per i privati tipicamente non viene redatto il piano di manutenzione

Avete riscontrato avarie a distanza di qualche anno dal cantiere? Lei lo ritiene legato a che tipo di problema?

Nessuna avaria riscontrata finora.

Intervista con Arch. Francesca Genise, Rossiprodi Associati, progettista del Caso studio 8 Social housing in via Cenni

Perché avete scelto di realizzare un'opera utilizzando il legno?

La progettazione di questa struttura è il primo intervento di questa altezza in pannelli di legno lamellare e c'era una forte spinta affinché questo intervento fosse contraddistinto da elevati livelli di sostenibilità ambientale.

Ci sono state particolari difficoltà progettuali legate alla tecnologia utilizzata?

Come già detto, nel momento della progettazione ancora non era molto diffusa questa tecnologia e quindi abbiamo avuto qualche difficoltà nella progettazione iniziale.

Ci sono state particolari difficoltà nella gestione del cantiere legata alla tecnologia utilizzata?

La società che ci forniva i pannelli di legno strutturale,(N.d.T. StoraEnso), ci ha fornito una buona consulenza delle soluzioni di dettaglio e delle migliori procedure per permettere la durabilità della costruzione e le ottime performance di realizzazione.

Quali sono le garanzie rispetto alla durabilità?

I pannelli strutturali sono garantiti dal produttore. Tutti gli altri componenti utilizzati sono di utilizzo stabile da anni e quindi non comportano per noi rischi dal punto di vista della durabilità del costruito. Ad oggi non abbiamo riscontrato particolari avarie né problemi di compatibilità materica

Avete redatto un piano di manutenzione? È stato visionato dai clienti ed è possibile consultarlo?

Il piano di manutenzione è stato redatto dalla società che si è occupata dell'esecutivo, di cui noi siamo stati consulenti avendo la direzione artistica dell'intervento. Oggi è a disposizione del gestore che ha in carico gli appartamenti,(N.d.T., è stato però impossibile rintracciare il referente della società consulente e quindi del libretto di manutenzione).

Avete riscontrato avarie a distanza di qualche anno dal cantiere? Lei lo ritiene legato a che tipo di problema?

Le uniche avarie riscontrate sono legata all'assenza di manutenzione di finiture convenzionali, quali intonaco, scossaline e/o davanzali.

Intervista con Geom. Emanuel Cortese, direttore di cantiere dell'intervento per l'impresa Carron Costruzioni Generali,(impresa realizzatrice dell'opera) Caso studio 8 Social housing in via Cenni

Ci sono state particolari difficoltà nella gestione del cantiere legata alla tecnologia utilizzata?

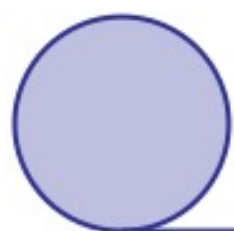
Nella prima fase la problematica più difficile da affrontare è stata l'attacco della struttura fra il calcestruzzo e il legno, con quasi un chilometro di tirafondi annegati sul solaio per gettare i cordoli con una precisione al millimetro; una fase che ha richiesto alle maestranze capacità tecniche al di sopra della media. Oltre a questo, si è reso necessario un notevole impegno analitico e progettuale per l'integrazione degli impianti nella struttura prefabbricata in legno, al fine di trovare delle soluzioni tecniche ed alcuni accorgimenti ad hoc, così come per l'impermeabilizzazione e la posa delle soglie. Abbiamo anche avuto delle difficoltà nella gestione dei pannelli durante la costruzione, date le forti piogge ed abbiamo riscontrato come fosse meglio lasciarli asciugare dopo la pioggia piuttosto che cercare di coprirli con teli di nylon, che poi portavano a fenomeni di microorganismi sui componenti. Ovviamente poi a struttura chiusa non ci sono poi stati problemi.

Quali sono le garanzie rispetto alla durabilità che date ai clienti?

Via Cenni è stato un intervento primo nel suo genere e nonostante ciò, i livelli di performance raggiunti e i test fatti dimostrano la bontà del lavoro effettuato. Le tecnologie a base legno non hanno problemi di durabilità se ben costruite.

Avete riscontrato avarie a distanza di qualche anno dal cantiere? Lei lo ritiene legato a che tipo di problema?

Ci sono state problematiche relative al dilavamento di alcuni davanzali e di alcuni punti di deflusso non corretto delle acque, causato da componentistica non legata alle tecnologie lignee.



BIBLIOGRAFIA

Introduzione:

- Associazione europea ingegneri agronomi e forestali. (2014). Dizionario Forestale - VerdeInVista. Retrieved May 18, 2019, from <https://www.verdeinvista.it/dizionario-forestale.html>
- Assolegno. (2017). Appunti per le costruzioni in legno: normative e buone pratiche di cantiere.
- Benedetti, C. (2009). Costruire in legno. Edifici a basso consumo energetico. Bolzano: Bolzano University Press.
- Ceccotti, A. (Ed.). (2012). Progetto Sofie Sistema costruttivo Fiemme. Trento: IVALSA.
- Comando per la tutela forestale, ambientale ed agroalimentare dell'Arma dei C. (2005). Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. Retrieved May 4, 2019, from <https://www.sian.it/inventarioforestale/jsp/cartogrammi.jsp?menu=3>
- Connor, J. O. (2004). Survey on actual service lives for North American buildings. In Woodframe housing durability and disaster issues conference (pp. 1–9). Las Vegas.
- Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria. (2017a). Annuario dell'agricoltura italiana (Vol. LXIV).
- Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria. (2017b). Annuario dell'agricoltura italiana 2015.
- Dadswell, G., Dargavel, J., & Evans, P. D. (2015). Wood collections in Australia: a history of expansion and retraction. *Australian Forestry*, 78(1), 18–28. <https://doi.org/http://www.tandfonline.com/action/showCitFormats?doi=10.1080/00049158.2015.1011798>
- Daniotti, B., & Spagnolo, S. L. (2007). Service life prediction for buildings' design to plan a sustainable building maintenance. Portugal Sb07 - Sustainable Construction, Materials and Practices: Challenge of the Industry for the New Millennium, Pts 1 and 2.
- Di Giulio, R. (1991). Qualità edilizia programmata: strumenti e procedure per la gestione della qualità nel ciclo di vita utile degli edifici. Milano: Hoepli.
- England, P. (2014). Fire Precautions During Construction of Large Buildings. Forest and Wood Products Australia Limited. Retrieved from www.fwpa.com.au
- European Commission. Directive 2010/30/EU on the indication by labelling and standard product information of the consumption of energy and other resources by energy-related products, Pub. L. No. Volume 53 (2010). Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31992L0075:en:HTML>
- Ewald Rametsteiner, Roland Oberwimmer, I. G. (2007). EUROPEANS AND WOOD What Do Europeans Think About Wood and its Uses? Warsaw: Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe. Retrieved from www.mcpfe.org
- FAO. (2015). Global Forest Resources Assessment 2015. Desk reference. Desk Reference. <https://doi.org/10.1002/2014GB005021>
- FAO. (2016a). 2015 Global forest products Facts and Figures. Retrieved from <http://www.fao.org/news/story/it/item/459989/icode/>
- FAO. (2016b). Global Forest Resources Assessment 2015. FAO Forestry. <https://doi.org/10.1002/2014GB005021>
- FAO. (2016c). State of the World's Forests 2016: Forests and Agriculture: Land-use Challenges and Opportunities. The State of the World's Forests. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-020411-130608>

- FederlegnoArredo. (2014). Costruzioni in legno: non c'è più posto per l'improvvisazione. Retrieved from <http://www.federlegnoarredo.it/it/press/comunicati/archivio/costruzioni-in-legno-non-c-e-piu-posto-per-l-improvvisazione>
- Frühwald, E., Serrano, E., Toratti, T., Emilsson, A., & Thelandersson, S. (2007). Design of safe timber structures - How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber? Lund.
- FSC. (2015). FSC Principles and Criteria for Forest Stewardship. Oaxaca.
- Giardino, P. (2011). Il mercato italiano delle case in legno nel 2010.
- Giachino, D. M. (2013). Legno: manuale per progettare in Italia. Torino: Utet scienze tecniche.
- Giordano, G. (1999). Tecnica delle costruzioni in legno (Quinta). Milano: Hoepli.
- Halls, T. (2015). Designing for Durability.
- Investment, & BSLC. (2014). Survey of international tall wood buildings, (May), 1–37. Retrieved from www.creebuildings.com
- Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale. (2016). Superficie Forestale: Stato e variazioni - Edizione 2016. Annuario dei dati ambientale. Retrieved from <http://annuario.isprambiente.it/entityada/basic/6117>
- John, S., Mulligan, K., Perez, N., Love, S., & Page, I. (2011). Cost, time and environmental impacts of the construction of the new NMIT Arts and Media building. Christchurch. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10092/5524>
- L'aquila: partono le demolizioni dei balconi pericolanti al C.A.S.E. (n.d.). Retrieved October 19, 2018, from <http://www.abruzzoweb.it/contenuti/l-aquila-partono-le-demolizioni-dei-balconi-pericolanti-al-c-a-s-e-/645955-302/>
- Laner, F. (1988). Il legno lamellare: il progetto. Habitat legno.
- Maldonado, T. (1970). La speranza progettuale. Ambiente e società. Nuovo Politecnico.
- Mancini, G. (2016, August 19). L'edilizia in legno accelera. Il Sole 24 Ore, p. 10.
- Merotto, A. (2016). Sei sicuro che i pannelli X Lam siano tutti uguali? | Wood Lab. Retrieved March 29, 2019, from <https://www.woodlab.info/materiale-legno/sei-sicuro-che-i-pannelli-x-lam-siano-tutti-uguali/>
- Molinari, C. (2002). Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia. Sistemi editoriali.
- Osservatorio congiunto Fillea CGILL, & Legambiente, -. (2012). INNOVAZIONE E SOSTENIBILITÀ NEL SETTORE EDILIZIO.
- PEFC italia. (n.d.). La certificazione Forestale e il sistema PEFC - Introduzione. Retrieved May 4, 2019, from <https://www.pefc.it/about-pefc/introduzione>
- Rapporto case ed edifici in legno. (2017).
- Rousseau, M. (1999). Overview of the survey of building envelope failures in the coastal climate of British Columbia, performed by Morrisson-Hershfield Limited for CMHC (1996). Journal of Thermal Envelope and Building Science, 22(.), 364–367. <https://doi.org/10.1177/109719639902200411>
- Spadolini, P. (Ed.). (1974). Design e tecnologia: un approccio progettuale all'edilizia industrializzata (Luigi Parm). Bologna.
- Stephen, J., & Buchanan, A. (2013). Review of End-of-life Options for Structural Timber Buildings in New Zealand and Australia. Christchurch.
- United Nation's Food and Agriculture Organization. (2015). Global Forest Resources Assessment 2015: How are the world's forests changing? NATIONS, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED Rome, 2015. <https://doi.org/10.1002/2014GB005021>
- Ximenes, F., Robinson, M., & Wright, B. (2006). Forests, Wood and Australia's Carbon Balance. Forest and Wood Products Research and Development Corporation and Cooperative Research Centre for Greenhouse Accounting. Australian Government. Retrieved from https://www.woodsolutions.com.au/system/files/Forests_wood_and_carbon_balance.pdf

- Zaffagnini, M. (Ed.). (1981). *Progettare nel processo edilizio: la realtà come scenario per l'edilizia residenziale* (Bologna). Luigi Parma.
- Zanuttini, R. (Ed.). (2014). *Il legno massiccio: materiale per un'edilizia sostenibile*. Arezzo: Compagnia delle Foreste.

Capitolo 1

- Abete bianco - promo_legno. (n.d.). Retrieved September 4, 2018, from <http://www.promolegno.com/legno/specielegnose/abete-bianco/>
- Abete rosso - promo_legno. (n.d.). Retrieved September 4, 2018, from <http://www.promolegno.com/legno/specielegnose/abete-rosso/>
- Agbor, V. B., Cicek, N., Sparling, R., Berlin, A., & Levin, D. B. (2011). Biomass pretreatment: Fundamentals toward application. *Biotechnology Advances*. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.05.005>
- Bernasconi, A, Schickhofer, G., Fr, K., & Traetta, G. (2005). Il materiale legno, 1–39.
- Bernasconi, Andrea, Schickhofer, G., & Traetta, G. (n.d.). I prodotti di legno per la costruzione. Retrieved from www.promolegno.com
- Briani, A., Simeone, P., & Ceccotti, A. (2012). MAI, IVALSA MODULAR HOUSE. In Pierre Quenneville (Ed.), *World conference on timber Engineering* (pp. 29–36). Auckland.
- Castagno - promo_legno. (n.d.). Retrieved September 4, 2018, from <http://www.promolegno.com/legno/specielegnose/castagno/>
- Ferrante, T. (Ed.). (2008). *Legno e innovazione*. Firenze: Alinea.
- Ferrante, T. (2010). Kerto. In Wikitecnica. Retrieved from http://www.wikitecnica.com/?s=kerto&post_type=post
- Ferrante, T. (2012). Legno (prodotti) | Wikitecnica.com. Retrieved September 15, 2018, from <http://www.wikitecnica.com/legno-prodotti/>
- Ferrante, T. (2014). *Innovazione tecnologica*. In Wikitecnica.com. Torino: Wolters Kluwer Italia. Retrieved from <http://www.wikitecnica.com/?s=innovazione+tecnologica>
- Ferrante, T., & Villani, T. (2012). Housing Sociale: tecniche di prefabbricazione in legno. *Techne*, 04, 124–131.
- Frattari, A. (2015). *Soluzione costruttive per edifici in legno*. Cesano Boscone: Rockwool Italia SpA. Retrieved from www.rockwool.it
- Giordano, G. (1971). *Tecnologia del legno*. Vol. I. La materia prima. Torino: Utet.
- Giordano, G. (1982). *Tecnologia del Legno Vol. III - Le Prove ed i Legnami di più Frequente Impiego*. Torino: Unione tipografico-editrice torinese.
- Giordano, G. (1990). *Classificazione delle specie legnose per destinazione d'impiego*. Firenze: Tip. Giuntina.
- Hill, C. A. S. (2006). *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*. *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*. <https://doi.org/10.1002/0470021748>
- Homepage | Canducci Holz Service. (n.d.). Retrieved October 19, 2018, from <http://www.canducci.net/>
- KVH solid structural timber. (n.d.). Retrieved October 19, 2018, from <https://www.schneider-holz.com>
- Larice - promo_legno. (n.d.). Retrieved September 4, 2018, from <http://www.promolegno.com/legno/specielegnose/larice/>
- Mantanis, G., & Lykidis, C. (2015). Evaluation of Weathering of Furfurylated Wood Decks after a 3-year Outdoor Exposure in Greece. *Drvna Industrija*. <https://doi.org/10.5552/drind.2015.1425>

- Merotto, A. (2016). Sei sicuro che i pannelli X Lam siano tutti uguali? | Wood Lab. Retrieved March 29, 2019, from <https://www.woodlab.info/materiale-legno/sei-sicuro-che-i-pannelli-x-lam-siano-tutti-uguali/>
- Morgan, C., & Fionn, S. (2005). Design and detailing for deconstruction. Scottish Ecological Design Association.
- Palanti, S. (2013). Durabilità del legno. Palermo: Flaccovio Editore.
- Pelaez-Samaniego, M. R., Yadama, V., Lowell, E., & Espinoza-Herrera, R. (2013). A review of wood thermal pretreatments to improve wood composite properties. *Wood Science and Technology*, 47(6), 1285–1319. <https://doi.org/10.1007/s00226-013-0574-3>
- Piazza, M., Tomasi, R., & Modena, R. (2005). Strutture in legno : materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee. Milano: Hoepli.
- Pino cembro - promo_legno. (n.d.). Retrieved September 4, 2018, from <http://www.promolegno.com/legno/specielegnose/pino-cembro/>
- Pino silvestre - promo_legno. (n.d.). Retrieved September 4, 2018, from <http://www.promolegno.com/legno/specielegnose/pino-silvestre/?L=%252Fproc%252Fself%252Fenviro%2520%253E%253E%2520www.proholproholz.at%252Fzuschnitt%252F46%252Fdorf-und-holz%252F%253FL%253D%252Fproc%252Fself%252Fenviro>
- Pioppo - promo_legno. (n.d.). Retrieved September 4, 2018, from <http://www.promolegno.com/legno/specielegnose/pioppo/>
- primolam | weinberger – il meglio del legno. (n.d.). Retrieved October 19, 2018, from <https://www.weinberger-holz.at/it/primolam/>
- Quercia - promo_legno. (n.d.). Retrieved September 4, 2018, from <http://www.promolegno.com/legno/specielegnose/quercia/>
- Rowell, R. M., & Dickerson, J. P. (2014). Acetylation of wood. ACS Symposium Series. <https://doi.org/10.1021/bk-2014-1158.ch018>
- Sandberg, D., Kutnar, A., & Mantanis, G. (2017). Wood modification technologies - A review. *IForest*, 10(6), 895–908. <https://doi.org/10.3832/ifor2380-010>
- Studio Deda (Ed.). (2011). Durabilità e manutenzione delle strutture in legno. Milano: Lampi di Stampa.
- Studio Deda (Ed.). (2012). Edifici a struttura di legno : progettazione e realizzazione. Milano: Lampi di Stampa.
- Tjeerdsma, B. F., & Militz, H. (2005). Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood. *Holz Als Roh - Und Werkstoff*. <https://doi.org/10.1007/s00107-004-0532-8>
- Zanuttini, R. (Ed.). (2014). Il legno massiccio : materiale per un'edilizia sostenibile. Arezzo: Compagnia delle Foreste.
- Zhao, Y., Wang, Z., Iida, I., Huang, R., Lu, J., & Jiang, J. (2015). Studies on pre-treatment by compression for wood drying I: effects of compression ratio, compression direction and compression speed on the reduction of moisture content in wood. *Journal of Wood Science*, 61(2), 113–119. <https://doi.org/10.1007/s10086-014-1451-x>

Capitolo 2

- Arca casa Legno. (2013). Manuali pratici arca - Camino sicuro. Retrieved from www.arcacert.com.
- Assolegno. (2017). Appunti per le costruzioni in legno: normative e buone pratiche di cantiere.

- BLOG - Durabilità degli edifici in legno: quando i danni possono essere evitati WoodLab. (n.d.). Retrieved October 19, 2018, from <https://www.woodlab.info/it/blog/durabilit-degli-edifici-in-legno-quando-i-danni-possono-essere-evitati/223/1206>
- Boeri, A., Longo, D., & Piraccini, S. (2012). *Il progetto dell'involucro in legno. Qualità costruttiva ed efficienza energetica*. Palermo: Flaccovio Editore.
- Buildings solutions. (n.d.). Retrieved from <https://www.storaenso.com/-/media/Documents/Download-center/Documents/Product-brochures/Wood-products/Design-Manual-A4-Modular-element-buildings20161227finalversion-40EN.ashx>
- Edifici in legno: quanto durano? Ergodomus. (n.d.). Retrieved September 18, 2018, from <http://www.ergodomus.it/it/edifici-in-legno-quando-e-perche-marciscono-parte-1/>
- FPIInnovations. (n.d.). *CLT handbook: cross-laminated timber*. (E. Karacabeyli & B. Douglas, Eds.). FPIInnovations.
- Gaspar, P., & Brito, J. De. (2003). Service life prediction: identifying independent durability factors. In *Integrated Lifetime Engineering of Buildings and Civil Infrastructures (ILCEDES 2003)*. Kuopio, Finland.
- Geving, S., & Uvsløkk, S. (2000). Moisture conditions in timber frame roof and wall structures Moisture conditions in timber frame roof and wall structures. Oslo.
- Giordano, G. (1971). *Tecnologia del legno. Vol. I. La materia prima*. Torino: Utet.
- Halls, T. (2015). *Designing for Durability*.
- Hazleden, D. G., & Morris, P. I. (1999). Designing for Durable Wood Construction: The 4 Ds. In *8th International Conference on Durability of Building Materials and Components*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- John, S., & Finch, G. (2009). Ventilated wall claddings: review, field performance, and hygrothermal modeling.
- Madureira, S., Flores-Colen, I., de Brito, J., & Pereira, C. (2017). Maintenance planning of facades in current buildings. *Construction and Building Materials*, 147, 790–802. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.195>
- Merotto, A. (2017a). *Danni e difetti delle costruzioni in legno*. Santarcangelo di Romagna (RN): Maggioli S.p.A.
- Merotto, A. (2017b). La durabilità degli edifici di legno. *Strutturalegno*, 019, 52–53.
- Nore, K., Thue, J. V., Time, B., & Rognvik, E. (2005). Ventilated Wooden Claddings - A Field Investigation. In *Proceedings of the 7th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries* (pp. 617–624). Reykjavik: The Icelandic Building Research Institute.
- Palanti, S. (2013). *Durabilità del legno*. Palermo: Flaccovio Editore.
- Presutti, A., & Evangelista, P. (2014). *Edifici multipiano in legno a pannelli portanti in XLAM: progettazione e procedimenti costruttivi*. Palermo: Flaccovio.
- Regione Toscana, Facoltà di Ingegneria di Firenze - Dipartimento Ingegneria Civile e Ambientale, & C.N.R. Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree (CNR-IVALSA). (2009). *Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana*. Retrieved from http://www.ivalsa.cnr.it/fileadmin/ivalsa/files/documenti/volumi/1248700224669_Edilizia_in_Legno.pdf
- Rousseau, M. (1999). Overview of the survey of building envelope failures in the coastal climate of British Columbia, performed by Morrisson-Hershfield Limited for CMHC (1996). *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, 22(.), 364–367. <https://doi.org/10.1177/109719639902200411>
- Rüter, P., & Time, B. (2015). External wood claddings – performance criteria, driving rain and large-scale water penetration methods. [Http://Dx.Doi.Org/10.1080/17480272.2015.1063688](http://Dx.Doi.Org/10.1080/17480272.2015.1063688).
- Sandak, A., & Sandak, J. (2017). Prediction of service life – does aesthetic matter? In *IRG48 Scientific Conference on Wood Protection*. Stockholm, Sweden.

- Studio Deda (Ed.). (2011). *Durabilità e manutenzione delle strutture in legno*. Milano: Lampi di Stampa.
- Zanuttini, R. (Ed.). (2014). *Il legno massiccio: materiale per un'edilizia sostenibile*. Arezzo: Compagnia delle Foreste.
- Zenari, A. (2014). *Prontuario delle costruzioni in legno*. (D. Flaccovio, Ed.). Palermo.
- Zocchi, J. (2013). *Impermeabilizzazione, nasce il patentino Formedil*. Edilizia e Territorio.

Capitolo 3

- Akinade, O. O., Oyedele, L. O., Ajayi, S. O., Bilal, M., Alaka, H. A., Owolabi, H. A., ... Kadiri, K. O. (2017). Design for Deconstruction (DfD): Critical success factors for diverting end-of-life waste from landfills. *Waste Management*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.017>
- Brand, S. (1997). *How buildings learn: what happens after they're built*. London: Phoenix illustrated.
- Brischke, C., Behnen, C. J., Lenz, M.-T., Brandt, K., & Melcher, E. (2012). Durability of oak timber bridges – Impact of inherent wood resistance and environmental conditions. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 75, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.09.010>
- Cattaneo, M., Di Sivo, M., Furlanetto, L., & Ladiana, D. (Eds.). (2007). *Cultura di manutenzione*. Firenze: Alinea.
- Comitato nazionale italiano per la Manutenzione. (2016). *Linee guida per la manutenzione degli edifici*. Roma: Dei.
- Connor, J. O. (2004). Survey on actual service lives for North American buildings. In *Woodframe housing durability and disaster issues conference* (pp. 1–9). Las Vegas.
- Daniotti, B. (2012). *Building durability*. Milano, Italy: Cortina.
- Davoli, P. (2001). *Costruire con il legno: requisiti, criteri progettuali, esecuzione, prestazioni*. (Hoepli, Ed.). Milano.
- Di Giulio, R. (1991). *Qualità edilizia programmata: strumenti e procedure per la gestione della qualità nel ciclo di vita utile degli edifici*. Milano: Hoepli.
- EPA Region, U. (n.d.). *Design For Deconstruction*. Retrieved from <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-11/documents/designfordeconstrmanual.pdf>
- Gaspar, P., & Brito, J. De. (2003). Service life prediction: identifying independent durability factors. In *Integrated Lifetime Engineering of Buildings and Civil Infrastructures (ILCEDES 2003)*. Kuopio, Finland.
- Gasparoli, P., & Talamo, C. (2006). *Manutenzione e recupero. Criteri, metodi e strategie per l'intervento sul costruito*. Firenze: Alinea Editore.
- Germanà, M. L. (2005). *Architettura responsabile: gli strumenti della tecnologia*. Palermo: Flaccovio Editore.
- Halls, T. (2015). *Designing for Durability*.
- Hill, C. A. S. (2006). *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*. *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*. <https://doi.org/10.1002/0470021748>
- Hovde, J., & Moser, K. (2004). CIB W080 / RILEM 175 SLM Service Life Methodologies Prediction of Service Life for Buildings and Components.
- Kestner, D., & Webster, M. (2010). Achieving Sustainability through Durability, Adaptability and Deconstructibility. *Structure Magazine*, (March), 10–12. Retrieved from /citations?view_op=view_citation&continue=/scholar?hl=en&start=20&as_sdt=1,5&scilib=1&citilm=1&citation_for_view=n2mStcoAAAAJ:Dem6FJhTUoYC&hl=en&oi=p
- Lee, R. (1993). *Manutenzione edilizia programmata*. Milano: Hoepli.

- Loga, T., Stein, B., & Diefenbach, N. (2016). TABULA building typologies in 20 European countries— Making energy-related features of residential building stocks comparable. *Energy and Buildings*. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.094>
- Madureira, S., Flores-Colen, I., de Brito, J., & Pereira, C. (2017). Maintenance planning of facades in current buildings. *Construction and Building Materials*, 147, 790–802. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.195>
- Manfron, V., & Siviero, E. (1998). *Manutenzione delle costruzioni : progetto e gestione*. Torino: Utet.
- Molinari, C. (2002). *Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia*. Sistemi editoriali.
- Morgan, C., & Fionn, S. (2005). *Design and detailing for deconstruction*. Scottish Ecological Design Association.
- Rios, F. C., Chong, W. K., & Grau, D. (2015). Design for Disassembly and Deconstruction - Challenges and Opportunities. In *Procedia Engineering* (Vol. 118, pp. 1296–1304). <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.485>
- Rowell, R. (2005). *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. CRC Press Taylor & Francis Group. CRC Press. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.070>
- Schmidt, R., Vibæk, K. S., & Austin, S. (2014). Evaluating the adaptability of an industrialized building using dependency structure matrices. *Construction Management and Economics*, 32(1–2), 160–182. <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.847274>
- Smith, R. E. (2010). *Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Stephen, J., & Buchanan, A. (2013). *Review of End-of-life Options for Structural Timber Buildings in New Zealand and Australia*. Christchurch.
- TABULA. (2010). *Use of Building Typologies for Energy Performance Assessment of National Building Stocks . Existent Experiences in European Countries and Common Approach*. Building.
- Torre, M. A. (2001). *Dai limiti dello sviluppo al limite come responsabilità*. In *La fine della vita, Per una cultura ed una medicina rispettosa del limite*. Bologna: Edizioni Apeiron.
- United Nations Educational. (1998). UNESCO. General Conference. In *Records of the general conference* (Vol. 1, p. 133). Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Watt, D. (1999). *Building pathology : principles and practice*. Blackwell Pub.
- Zambelli, E., Vanoncini, P. A., & Imperadori, M. (1998). *Costruzione stratificata a secco : tecnologie edilizie innovative e metodi per la gestione del progetto*. Rimini: Maggioli.

Capitolo 4

- Brischke, C., Suttie, F., Heisele, J., Jermer, J., Lorenzo, D., Polášek, M., Thelandersson, S., & Acker, J. V. (2015). TOWARDS PERFORMANCE BASED DURABILITY STANDARDS FOR WOOD IN CONSTRUCTION – PART 1: DELIVERING CUSTOMER SERVICE LIFE NEEDS. In V. M. J. Quattrone Marco (Ed.), *XIII International Conference on Durability of Building Materials and Components - XIII DBMC* (pp. 45–52).
- Brischke, C., Behnen, C. J., Lenz, M.-T., Brandt, K., & Melcher, E. (2012). Durability of oak timber bridges – Impact of inherent wood resistance and environmental conditions. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 75, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.09.010>
- Dietsch, P., Franke, S., Franke, B., Gamper, A., & Winter, S. (2015). Methods to determine wood moisture content and their applicability in monitoring concepts. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*. <https://doi.org/10.1007/s13349-014-0082-7>

- England, P. (2014). Fire Precautions During Construction of Large Buildings. Forest and Wood Products Australia Limited. Retrieved from www.fwpa.com.au
- FPInnovations. (n.d.). CLT handbook: cross-laminated timber. (E. Karacabeyli & B. Douglaseds.). FPInnovations.
- Luchetti, M., & Cavalli, A. (2018). Il monitoraggio negli edifici in legno. Legnoarchitettura, (30).
- MacKenzie, C. (2012). Impact and Assessment of Moisture-affected Timber-framed Construction Technical Design Guide. Forest and Wood Products Australia Limited. Retrieved from www.fwpa.com.au
- MacKenzie, C. (2015). Timber service life design. Retrieved from www.woodsolutions.com.au
- MacKenzie, C., Wang, C. H., Leicester, R. H., Foliente, G. . C., & Nguyen, M. . N. (2007). Timber service life design Design guide for durability. Forest and Wood Products Australia.
- Merotto, A. (2018). Sistema di rilevamento dell'umidità del legno: prevenire è meglio che curare. Retrieved April 24, 2019, from <https://www.woodlab.info/tecnologia-del-legno/sistema-di-rilevamento-dellumidita-del-legno-prevenire-e-meglio-che-curare/>
- Rütther, P., & Time, B. (2015). External wood claddings – performance criteria, driving rain and large-scale water penetration methods. [Http://Dx.Doi.Org/10.1080/17480272.2015.1063688](http://Dx.Doi.Org/10.1080/17480272.2015.1063688).

Norme:

- **ISO 15686-1:2000:** “Building and constructed assets – Service life planning: General principles”
- **ISO 15686-2:2001:** “Building and constructed assets – Service life planning: Service life prediction procedures”
- **EN 384** Determinazione dei valori caratteristici delle proprietà meccaniche e della massa volumica):
- **UNI EN 338** Legno strutturale - Classi di resistenza
- **UNI 8290-1:1981:** “Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia”
- **UNI 11156-1:2006** “La valutazione della durabilità dei componenti edilizi – Terminologia e definizione dei parametri di valutazione”
- **UNI 11156-2:2006** “La valutazione della durabilità dei componenti edilizi – Metodo per la valutazione della propensione all'affidabilità”
- **UNI 11156-3:2006** “La valutazione della durabilità dei componenti edilizi – Metodo per la valutazione della durata (Vita Utile)”
- **UNI 350:2016** “Durability of wood and wood-based products - Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials”
- **UNI 11063:2017** Definizione di manutenzione ordinaria e straordinaria
- **UNI EN 13183-1** Umidità di un pezzo di legno segato - Determinazione tramite il metodo per pesata.
- **UNI EN 13183-2** Umidità di un pezzo di legno segato - Stima tramite il metodo elettrico
- **UNI EN 13183-3** Umidità di un pezzo di legno segato - Parte 3: Stima tramite il metodo capacitativo
- **UNI EN 13306:2018** Manutenzione - Terminologia di manutenzione
- **UNI EN 14081-1** Norma armonizzata per la marcatura CE del legno massiccio a spigolo vivo): inclusione di metodi per la classificazione di carattere privato - industriale.
- **UNI EN 15331:2011** Criteri di progettazione, gestione e controllo dei servizi di manutenzione degli immobili

Riviste consultate

Arketipo

Detail

Domus

Legno Architettura

Legno Lab

Modulo

Puu

Struttura Legno

The Plan

Sitografia:

Binderholz, <http://www.massivholzhandbuch.com/index-it.html>

Campigli legami <https://www.campigliglegnami.it>

FP innovations, <https://fpinnovations.ca>

Gandelli group, <https://www.gandelligroup.com>

HolzBrenz, <http://www.holzbrenz.it>

Ivalsa, <http://www.ivalsa.cnr.it>

Klh, <https://www.klh.at>

Mak costruzioni, <http://www.makcostruzioni.it>

Marlegno – Case in legno, <https://www.marlegno.it>

Promolegno <http://www.promolegno.com>

Rothoblass, <https://www.rothoblaas.it>

Schneider-Holz, <https://www.schneider-holz.com/>

Trespa, <https://www.trespa.com/>

Wood Design Building, <http://cwc.ca>

Wood Lab, <https://www.woodlab.info>

Wood Solutions <https://www.woodsolutions.com.au>

Wood Wisdom <http://www.woodwisdom.net>

Xlam Dolomiti, <https://www.xlamdolomiti.it>

Medite SmartPly <https://mdfosb.com/en/>

Metsa Wood <https://www.metsawood.com/>

Nord Legnami <http://www.nordlegnami.it/>

FSC world wide <https://ic.fsc.org/>

Holzforschung Austria <http://www.holzforschung.at/>

Rubner Holzbau, <https://www.rubner.com/it/holzbau/>

Costantini legno <https://www.costantinilegno.it/>

