



ARCHITETTURA DELLE COSTRUZIONI IN LEGNO

Criticità e potenzialità
di nuovi sistemi e componenti
edilizi in una fase di
sperimentazione in ambito
internazionale

Studenti: Camilla Bottero, Giulia Marchiano



ARCHITETTURA DELLE COSTRUZIONI IN LEGNO

Criticità e potenzialità di nuovi sistemi e componenti edilizi in una fase di sperimentazione in ambito internazionale

*Tesi di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile
A.A. 2020/2021*

0. ABSTRACT	p. 10		
1. IL LEGNO PER LA DECARBONIZZAZIONE	p. 15		
1.1 Emergenza ambientale e problemi climatici	p. 17		
1.2 Le politiche ambientali	p. 21		
1.2.1 Il Trattato di Parigi	p. 22		
1.3 Il legno per stoccare l'anidride carbonica	p. 35		
1.4 I prodotti ingegnerizzati a base di legno	p. 39		
1.4.1 Brevi accenni alle caratteristiche del legno	p. 39		
1.4.2 Prodotti ingegnerizzati a base di legno	p. 43		
1.5 I motivi per cui utilizzare il legno	p. 54		
1.5.1 Il legno come materiale sostenibile	p. 54		
1.5.2 Riduzione delle fondazioni	p. 55		
1.5.3 Leggerezza e resistenza	p. 55		
1.5.4 Resistenza al fuoco	p. 55		
1.5.5 La lavorabilità	p. 55		
1.5.6 La prefabbricazione	p. 57		
1.5.7 Elevate prestazioni termiche	p. 59		
1.6 Osservazioni	p. 61		
2. GLI STRUMENTI DI INDAGINE	p. 65		
2.1 I seminari seguiti	p. 66		
2.2 I dialoghi	p. 69		
2.2.1 Gli esperti	p. 71		
2.3 Gli errori commessi nelle costruzioni in legno	p. 97		
		2.4 I temi emersi dalle interviste	p. 99
		2.4.1 La durabilità	p. 99
		2.4.2 Gli strumenti e i protocolli per la qualità delle costruzioni in legno	p. 100
		2.4.3 Gli errori e la formazione	p. 101
		2.4.4 Sottovalutare l'importanza della manutenzione	p. 102
		2.4.5 Conclusioni	p. 103
		3. I TRE FATTORI DI FORMA	p. 105
		3.1 La durabilità e la manutenzione	p. 107
		3.1.1 La regola delle 4D	p. 108
		3.1.2 La durabilità	p. 111
		3.1.2.1 Alcune azioni degradative del legno	p. 111
		3.1.2.2 Il metodo: NTC 2018 e Norme EN	p. 114
		3.1.2.3 Le criticità legate alla durabilità	p. 117
		3.1.2.4 Gli errori più frequenti	p. 118
		3.1.3 La manutenzione	p. 136
		3.1.3.1 Il metodo	p. 137
		3.1.3.2 Le criticità legate alla manutenzione	p. 144
		3.2 Il sisma	p. 147
		3.2.1 La fase di ricerca: i progetti SOFIE e NEESWood	p. 150
		3.2.1.1 Il progetto SOFIE	p. 150
		3.2.1.2 Il progetto NEESWood	p. 151
		3.2.2 Il calcolo delle strutture antisismiche secondo l'attuale Normativa	p. 153
		3.2.2.1 La diffidenza nei confronti del legno da parte della Normativa	p. 153
		3.2.2.2 Eurocodice 8	p. 157
		3.2.2.3 Metodo non dissipativo e dissipativo	p. 157
		3.2.2.4 La resistenza delle connessioni e la chiodatura parziale	p. 160

3.2.3 L'Europa e il confronto con l'Estero	p. 162		
3.2.3.1 La ricerca in Italia e gli strumenti per il progettista	p. 162		
3.2.3.2 Il confronto con l'approccio sismico della Normativa Canadese	p. 163		
3.3 Il fuoco	p. 167		
3.3.1 Le strutture in legno e il comportamento al fuoco	p. 168		
3.3.1.1 Il comportamento al fuoco	p. 168		
3.3.1.2 Valutazione della resistenza al fuoco	p. 170		
3.3.1.3 La protezione passiva al fuoco	p. 170		
3.3.1.4 I limiti di altezza: la differenza tra Italia e Svizzera	p. 172		
3.3.2 La ricerca	p. 175		
3.3.2.1 Il Giappone	p. 175		
3.3.2.2 Il progetto SOFIE	p. 176		
3.3.3 Le criticità dell'Eurocodice per la progettazione della resistenza al fuoco	p. 178		
3.3.3.1 "Zero strenght layer" per il telaio in legno	p. 178		
3.3.3.2 "Zero strenght layer" per i pannelli in X-Lam	p. 179		
3.3.3.3 Gli adesivi	p. 181		
3.3.4 Le buone prassi per garantire la resistenza al fuoco degli edifici	p. 184		
3.3.4.1 La progettazione	p. 184		
3.3.4.2 Il cantiere	p. 185		
3.3.5 L'Europa e il confronto con l'Estero	p. 186		
3.3.5.1 Unione Europea	p. 186		
3.3.5.2 Nord America	p. 186		
3.3.5.3 Nist White paper	p. 186		
		4. ANALISI CRITICA DI ALCUNI CASI STUDIO	p. 189
		4.1 Premessa	p. 191
		4.2 Categoria errori durante la fase di progettazione e/o cantiere	p. 199
		Caso A	p. 201
		Caso B	p. 233
		Caso C	p. 243
		Caso D	p. 257
		Caso E	p. 269
		Caso F	p. 285
		4.2.1 Le buone prassi per la corretta posa degli impianti in un edificio in legno	p. 301
		4.3 Categoria errori concettuali	p. 307
		Caso G	p. 309
		4.4 Categoria errori riguardanti l'uso del legno come rivestimento	p. 319
		Casi I-L	p. 321
		4.4.1 Le buone prassi per la corretta realizzazione delle facciate in legno	p. 326
		4.4.2 Un buon esempio di rivestimento in legno	p. 332
		5. GLI STRUMENTI PER IL CONTROLLO DELLA QUALITA' DEL PROGETTO	p. 337
		5.1 L'approccio degli enti di promozione dei diversi paesi	p. 338
		5.1.1 FederlegnoArredo	p. 341
		5.1.2 Assolegno	p. 343
		5.1.3 Promolegno	p. 355
		5.1.4 Pro:Holz	p. 359
		5.1.5 Holzforschung Austria	p. 365
		5.1.6 CNDB	p. 371
		5.1.7 FCBA	p. 373
		5.1.8 Lignum	p. 377
		5.1.9 TRADA	p. 385

SOMMARIO

5.1.10 THINK WOOD	p. 397
5.1.11 FPInnovation	p. 403
5.1.12 Naturally:wood	p. 409
5.2 I protocolli di certificazione	p. 415
5.2.1 ARCA	p. 417
5.2.1.1 Che cos'è	p. 418
5.2.1.2 A chi è rivolto	p. 419
5.2.1.3 Com'è strutturata la certificazione	p. 421
5.2.1.4 Iter di certificazione	p. 424
5.2.1.5 Ulteriori risorse offerte da ARCA	p. 425
5.2.2 S.A.L.E.	p. 429
5.2.2.1 Che cos'è	p. 429
5.2.2.2 A chi è rivolto	p. 430
5.2.2.3 Com'è strutturata la certificazione	p. 431
5.2.2.4 Iter di certificazione	p. 432
5.2.2.5 Ulteriori risorse offerte da S.A.L.E.	p. 435
5.2.3 Comparazione generale tra ARCA e S.A.L.E.	p. 436
5.2.4 Comparazione tra le specifiche di ARCA e S.A.L.E.	p. 437
5.2.5 Comparazione tra le specifiche ARCA e S.A.L.E. riguardanti l'umidità e la durabilità	p. 440
5.2.6 Comparazione critica relativa all'approccio di ARCA e S.A.L.E. per la specifica umidità e durabilità	p. 450
5.2.7 L'esempio del piano di gestione dell'umidità dell' Hand-book Canadese	p. 454
5.2.8 Il confronto con la Repubblica Ceca	p. 460
5.3 I sistemi di monitoraggio	p. 463
5.3.1 Caso A	p. 468
5.3.2 Caso B	p. 480

6. PROSPETTIVE

6.1 Conclusioni	p. 491
6.1.1 Il mercato del legno	p. 492
6.1.2 Alcuni dati riguardanti le foreste e l'utilizzo del legno	p. 495
6.1.3 L'Italia	p. 499
6.1.4 L'Austria	p. 505
6.1.5 La Francia	p. 507
6.1.6 Il Regno Unito	p. 509
6.1.7 La Svizzera	p. 511
6.1.8 Il Canada	p. 513

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Riferimenti Normativi	p. 518
Bibliografia	p. 520
Sitografia	p. 535

0. Abstract

Nel corso dell'ultimo decennio, siamo passati dalla condizione di un utilizzo marginale del legno, secondo le regole del buon costruire, attraverso sistemi costruttivi tradizionali con legno massiccio, ad una diffusione sempre più ampia di prodotti ingegnerizzati, che hanno determinato un'espansione del mercato. Questo processo di innovazione tecnologica, avvenuto prevalentemente in Europa, ha portato a un cambiamento importante del mercato e a un'implementazione della Normativa Nazionale e Europea.

Questo lavoro di tesi, a distanza di dieci-quindici anni dall'avvio di questo processo, che ha determinato la costruzione addirittura di edifici multipiano in legno, ha l'obiettivo di indagare quali siano le criticità che si sono rilevate sotto il profilo culturale, rispetto a una scarsa conoscenza delle specificità e potenzialità di queste tecnologie e di questo materiale, anche sotto il profilo della durabilità, e determinare quali siano gli strumenti ai quali, al momento, i progettisti possono attingere per realizzare un edificio in legno a regola d'arte.

L'aumento della consapevolezza nei confronti dei cambiamenti climatici, ha portato in evidenza la necessità di ridurre le emissioni di gas inquinanti, derivanti dall'impatto delle attività antropogeniche. Per quanto riguarda l'edilizia, questo ha portato a un crescente interesse nell'ambito della bio-edilizia e del recupero di edifici esistenti. Il legno in entrambi i casi, per via anche della sua capacità di "bio-sequestrare" anidride carbonica, è il materiale che meglio si presta a queste nuove necessità.

Negli ultimi dieci anni sono stati sviluppati sistemi costruttivi in funzione dei nuovi materiali ingegnerizzati a base di legno. Questo panorama sta determinando un cambiamento generale del mercato, oltre a una trasformazione di tipo "culturale".

Tramite il confronto con alcuni esperti del settore, sono state affrontate le potenzialità e le criticità che ad oggi caratterizzano la progettazione e la realizzazione di edifici in legno ingegnerizzati. E' quindi stato possibile indagare alcune delle lacune e delle mancanze che caratterizzano l'uso di questo materiale in edilizia, che spaziano dalla Normativa, recente e in fase di evoluzione, alla mancanza di formazione, che spesso caratterizza gli attori del processo progettuale e costruttivo. Grazie al confronto con gli esperti e ai seminari seguiti, è stato anche possibile approcciarsi alle strategie di alcuni paesi Europei ed Extra Europei, in cui l'Austria e il Canada sembrano essere i maggiori protagonisti e promotori delle costruzioni in legno, oltre a essere i maggiori depositari del "know-how".

Con queste basi è stato possibile studiare la progettazione della durabilità, da tre differenti punti di vista, e valutare in modo critico alcuni casi studio in negativo, proponendo delle interpretazioni derivanti dallo studio delle principali pubblicazioni e linee guida redatte dai principali Enti promotori dell'uso del legno in Italia e all'Estero.

Alla luce di queste mancanze e carenze sono stati studiati alcuni degli strumenti a cui il progettista può attingere per progettare un edificio in legno a regola d'arte. Sono stati studiati i diversi approcci

dei principali enti di promozione di alcuni paesi e gli strumenti che mettono a disposizione ai progettisti e alle imprese. A livello Italiano, inoltre, sono stati analizzati e confrontati i due principali enti di certificazione degli edifici in legno: ARCA e S.A.L.E.. Inoltre, grazie alla collaborazione con Wood Control, è stato possibile approfondire anche un sistema predittivo di monitoraggio delle strutture in legno, anche attraverso l'analisi di due casi studio.

A conclusione verrà proposta un'analisi del mercato futuro e alcune considerazioni critiche che riguardano l'approccio che i diversi Paesi hanno nei confronti delle costruzioni in legno.

IL LEGNO PER LA DECARBONIZZAZIONE

A seguito della progressiva consapevolezza da parte dell'uomo dei Cambiamenti Climatici in atto, dovuti prevalentemente alle attività antropogeniche, sono nate numerose politiche ambientali, nelle quali il legno è uno dei protagonisti assoluti per via della sua capacità di biosequestrazione della CO₂.

2

I TRE "FATTORI DI FORMA"

Sono stati individuati tre "fattori di forma" che concorrono a determinare la durabilità degli edifici in legno: lo studio della durabilità in senso lato e la manutenzione; la progettazione di resistenza al sisma e la progettazione di resistenza al fuoco.

4

GLI STRUMENTI PER IL PROGETTISTA

Sono stati individuati gli strumenti che il progettista può adoperare con il fine di realizzare un edificio in legno a regola d'arte: l'attività degli enti di promozione/associazioni di settore, i due principali protocolli di certificazione di qualità per gli edifici in legno e un sistema predittivo per il monitoraggio dell'umidità nella struttura in legno.

6

1

GLI STRUMENTI DI INDAGINE

Per indagare in modo critico l'"ecosistema" che circonda le costruzioni in legno e valutarne criticità, lacune, approcci, sviluppi futuri, ... sono stati intervistati alcuni esperti di rilevanza nazionale e sono stati seguiti diversi seminari di formazione professionale.

3

ANALISI CRITICA DI ALCUNI CASI STUDIO

A seguito delle analisi svolte, è stato possibile valutare criticamente alcuni casi studio in negativo, suddivisi a seconda della tipologia di errore, proponendo delle buone prassi per alcuni nodi critici.

5

CONCLUSIONI

E' stata svolta un'analisi del mercato attuale e futuro di diversi paesi Europei ed Extra-Europei con il fine di evidenziare alcune considerazioni critiche che riguardano l'approccio che i diversi paesi hanno nei confronti delle costruzioni in legno.

IL LEGNO PER LA DECARBONIZZAZIONE



1.1 Emergenza ambientale e problemi climatici	p.17
1.2 Le politiche ambientali	p.21
1.3 Il legno per stoccare l'anidride carbonica	p.35
1.4 I prodotti ingegnerizzati a base di legno	p.39
1.5 I motivi per cui utilizzare il legno	p.54
1.6 Osservazioni	p.61

1.1 Emergenza ambientale e problemi climatici

E' ormai noto come il clima sulla Terra sia in continua evoluzione, ma è bene definire quali siano i **cambiamenti climatici** in rapporto al **surriscaldamento globale** e sottolineare quale sia la differenza tra i cambiamenti climatici preistorici e quelli che stanno caratterizzando l'epoca moderna. Il cambiamento climatico ("climate change") viene definito dalla NASA come un cambiamento a lungo termine dei modelli meteorologici medi che sono arrivati a definire i climi locali, regionali e globali della Terra, mentre il riscaldamento globale ("global warming") è il riscaldamento a lungo termine del sistema climatico terrestre, osservato fin dal periodo Pre-Industriale, causato dalle attività umane.

Negli ultimi due milioni di anni la Terra ha subito cambiamenti climatici caratterizzati, ad esempio, dalle "famose" ere glaciali. Questi fenomeni sono causati dalle variazioni "naturali" dell'asse terrestre e delle sue oscillazioni periodiche, come evidenziano gli studi nell'ambito della Paleoclimatologia. Con l'avvento dell'industrializzazione, però, **l'attività antropogenica e i relativi gas serra e inquinanti rilasciati nell'ambiente stanno determinando una serie di cambiamenti climatici** che spaziano dall'innalzamento delle temperature, al conseguente scioglimento dei ghiacci, dall'aumento del volume degli oceani a una conseguente "tropicalizzazione" del clima. Si stima che, a partire dal periodo Pre-Industriale, le attività umane abbiano portato a un aumento della temperatura media globale di circa 2°C, valore che attualmente sta aumentando di 0,2°C per decennio.

Il surriscaldamento globale è determinato dall'**effetto serra**, "potenziato" dall'aumento dei gas serra antropogenici che intrappolano il calore nell'atmosfera terrestre. Questo fenomeno sta portando a un progressivo **aumento delle temperature** a livello globale. Negli ultimi quattrocento mila anni, infatti, la concentrazione di CO₂ era compresa tra i 200 ppm (parti per milione) e 280 ppm fino all'inizio del Milleottocento. Con l'avvento dell'industrializzazione, che ha portato all'aumento delle attività antropogeniche e a un incremento della popolazione all'interno delle città, la **concentrazione di anidride carbonica** è aumentata progressivamente fino a raggiungere un picco di 410 ppm nel giugno del 2018. L'aumento della concentrazione di CO₂ e degli altri gas serra - i "Green House Gases", individuati dal protocollo di Kyoto nel 1997 sono: anidride carbonica CO₂, metano CH₄, ossidi di azoto NO_x, esafluoruro di zolfo SF₆, perfluorocarburi PFC, idrofluorocarburi HFC - sta potenziando l'effetto serra naturale. Rispetto alla CO₂, gli altri GHGs hanno un impatto molto maggiore, ma sono presenti nell'atmosfera in una concentrazione molto minore rispetto all'anidride carbonica.

L'anidride carbonica e il vapore acqueo prodotto dalle attività antropiche hanno un ruolo fondamentale nell'**aumento delle temperature**: se la concentrazione di CO₂ venisse raddoppiata istantaneamente, a parità di tutte le altre variabili, la temperatura della Troposfera aumenterebbe di 1,2°C, senza considerare i fenomeni di retroazione. In realtà, il sistema climatico è molto più complesso ed è necessario considerare i fenomeni di retroazione che potrebbero amplificare l'incremento di tempe-

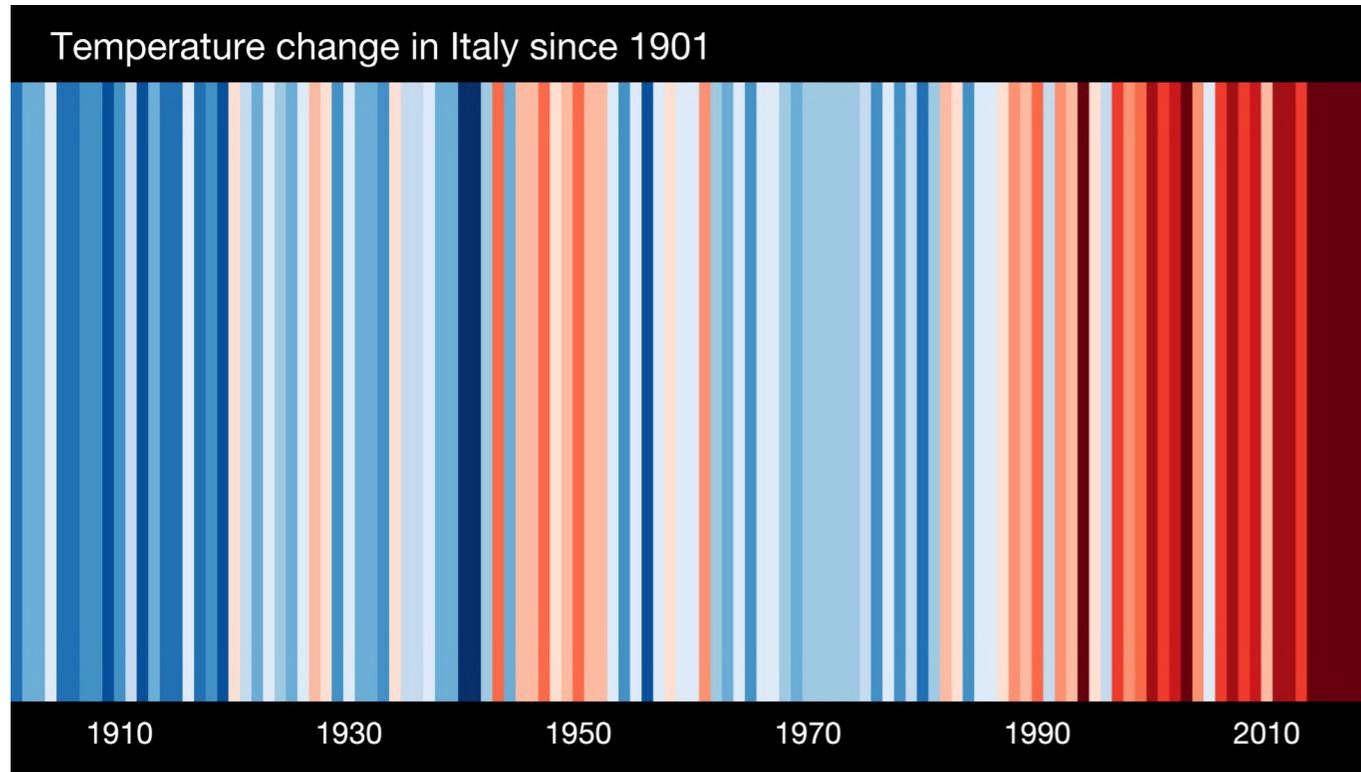
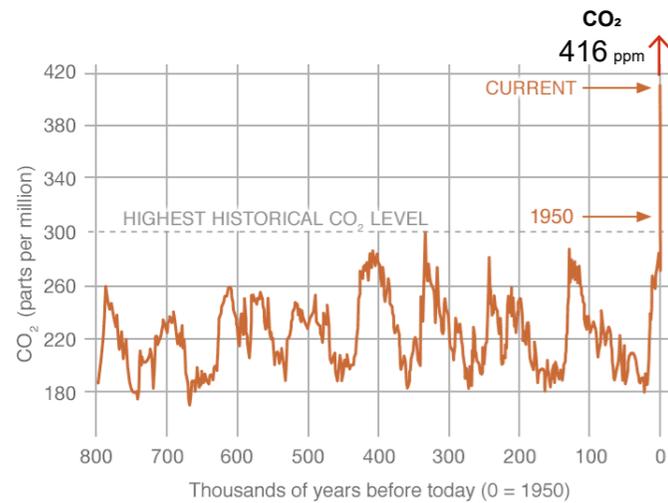
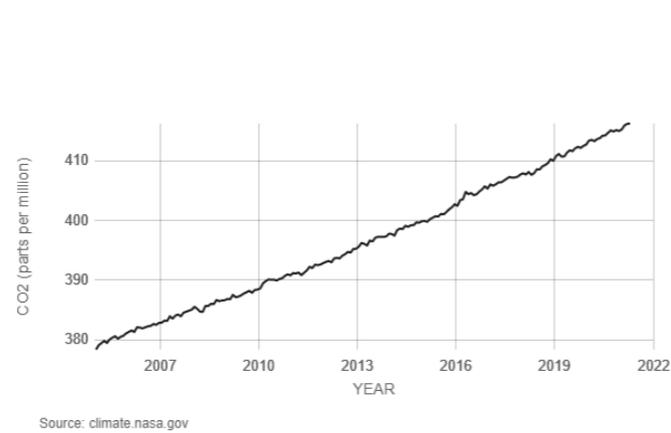


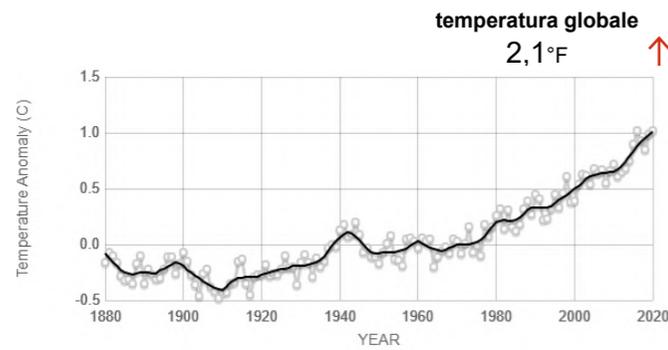
Figura 1.1. Strisce climatiche elaborate dal Professor Ed Hawkins per illustrare in modo semplificato il surriscaldamento che sta interessando il clima terrestre negli ultimi 100 anni. Questo è il caso dell'Italia. Fonte: <https://showyourstripes.info/>



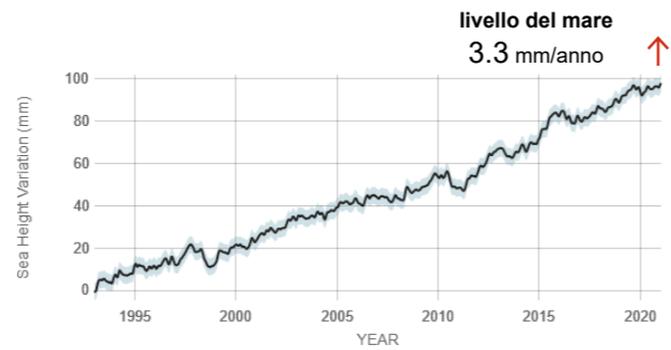
Ricostruzione a partire dalla misurazione di carote di ghiaccio della quantità di CO₂ in ppm di migliaia di anni fino a oggi. I livelli di anidride carbonica presenti nell'aria hanno attualmente raggiunto il picco degli ultimi 650 mila anni.



Misurazioni dirette dei livelli di CO₂ nell'aria a partire dal 16/01/2005, in cui si misuravano 378,37 ppm, al 17/04/2021, in cui si misurano 416,23 ppm.



Variatione dell'indice di temperatura superficiale globale dal 1880 a oggi. Diciannove degli anni più caldi si sono verificati negli anni Duemila.



Variatione dell'altezza del livello dei mari a partire dal 01/01/1993, "punto 0", fino al 11/01/2021, in cui si registra un innalzamento di 98 (± 4,0) mm.

Figura 1.2. Grafici relativi agli impatti ambientali dell'uomo sull'ambiente. Fonte: www.nava.gov

ratura fino a 4°C, quali ad esempio l'aumento del vapore acqueo nella Troposfera legato all'aumento della temperatura.



Figura 1.3. I potenziali effetti futuri del cambiamento climatico globale includono incendi boschivi più frequenti, periodi di siccità più lunghi in alcune regioni e un aumento del numero, della durata e dell'intensità delle tempeste tropicali. Fonte: <https://www.shutterstock.com/it/>

1.2 Le politiche ambientali



Figura 1.4. Immagine storica relativa alla crisi energetica del 1973. Fonte: <https://www.vanillamagazine.it/>



Figura 1.5. Immagine storica relativa alla crisi energetica del 1973. Fonte: <https://www.qualenergia.it/>

Il 1973 è stato un anno di fondamentale importanza poiché la Crisi Energetica che ha colpito l'Europa ed è stata causata dagli Stati Arabi, ha portato alla nascita dell'interesse nel compiere ricerche per utilizzare nuove fonti di energia. Il blocco del petrolio ha generato nell'uomo moderno la consapevolezza di dipendere totalmente dalle fonti non rinnovabili.

Negli stessi anni le ricerche riguardanti il "Climate Change" erano ridotte ma in aumento: nel 1984 tre ricercatori del British Antarctic Survey annunciano la scoperta del "buco nell'ozono", causato dal rilascio in atmosfera da parte dell'uomo di alcuni composti alogenati che andavano a interferire con il ciclo di Chapman, ovvero il ciclo che determina la formazione dello strato di ozono. Questo strato è fondamentale per la protezione dell'uomo dai raggi UV maggiormente energetici.

Il concetto di sostenibilità nasce "ufficialmente" nel 1987 con la pubblicazione del documento "**Our Common Future**" ovvero il cosiddetto Rapporto Brundtland. Il documento definisce lo sviluppo sostenibile come "E' lo sviluppo che soddisfa le esigenze delle attuali generazioni senza compromettere la possibilità di quelle future di soddisfare i propri bisogni". Questo concetto però è tutt'ora in fase di evoluzione: al momento la definizione di sostenibilità è paragonabile a quanto segue: "Abbiamo preso a prestito dal futuro un capitale naturale e delle risorse ambientali che dobbiamo restituire con un tasso di interesse"¹. Questa visione ancora estremamente antropocentrica ha ancora un margine di evoluzione, in funzione di una visione eco-centrica.

Il rapporto ha gettato le basi per definire i “**quattro pilastri**” interdipendenti che sostengono la **sostenibilità** : ecologia, economia, diversità culturale e equità sociale.

La ricerca continua tutt'ora di pari passo con le sempre più numerose **politiche ambientali** e, negli ultimi dieci anni, sta portando a una consapevolezza a livello mondiale dell'importanza di uno sviluppo sostenibile, in contrasto a uno sviluppo convenzionale troppo impattivo per l'ambiente. Per approcciarsi alla sostenibilità è necessaria però una “governance” di tipo globale e un sistema che garantisca un approccio interdisciplinare per raggiungere l'obiettivo. Nonostante le numerose politiche ambientali, è ancora lontano il concetto di forza globalizzante in funzione della sostenibilità. La consapevolezza dei rischi ambientali è in crescita, ma aumenta anche la frammentazione relativa al tema nelle comunità, nei paesi e nei sistemi internazionali.

Nella linea del tempo a pagina 26-33, vengono introdotte alcune delle più importanti politiche ambientali attuate negli ultimi anni, sia a scala urbana che a scala globale, che hanno l'obiettivo di ridurre l'impatto ambientale dell'uomo sul cambiamento climatico, mentre di seguito sarà analizzato il trattato climatico più recente ovvero quello di Parigi del 2015.

1.2.1 IL TRATTATO DI PARIGI

Secondo gli ultimi studi del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), i cambiamenti climatici porteranno a degli **impatti severi e irreversibili** sulla popolazione di tutto il mondo e sugli ecosistemi, se non verranno adottate delle azioni urgenti di **mitigazione del clima**. E' fondamentale, quindi, limitare l'aumento di temperatura media globale sotto i 2°C rispetto ai livelli Pre-Industriali. La IPCC ha sottolineato come, per arrivare a questo obiettivo, sarà necessario che tutti i paesi a livello Mondiale impongano dei cambiamenti, soprattutto legati alle **riduzioni sostanziali e a lungo termine dei gas effetto serra**. Questa transizione globale alle “low emissions” può essere portata avanti senza compromettere la crescita economica, anzi può portare alla nascita di opportunità significative per rivitalizzare l'economia, non solo in Europa, ma anche a livello Globale. Ritardare questa transizione, inoltre, potrebbe aumentare i costi complessivi e restringere sempre di più le opzioni necessarie per ridurre efficacemente le emissioni e per preparare le popolazioni agli impatti che avranno i cambiamenti climatici. A partire da questi studi nel 1994 si è tenuto l'**accordo di Rio**, organizzato dalle Nazioni Unite, che ha portato alla nascita del **UNFCCC** (United Nations Framework Convention on Climate Change), una convenzione di 90 paesi con l'obiettivo comune di focalizzarsi su questa “challenge”, impegnandosi a ridurre le proprie emissioni entro il 2020. Il trattato, legalmente non vincolante, prevedeva che ogni stato membro sviluppasse dei **protocolli** che ponessero limiti obbligatori di emissioni. Il protocollo più conosciuto è

stato il **Protocollo di Kyoto del 1997**. Gli accordi di Rio, tuttavia, hanno portato a impegni insufficienti per raggiungere l'obiettivo imposto dalla IPCC. Per questo motivo nel 2012 gli Stati membri della UNFCCC hanno avviato negoziati per lo sviluppo di un nuovo accordo legalmente vincolante e applicabile a tutte le parti, in funzione dell' “obiettivo dei 2°C”. L'accordo è stato finalizzato a Parigi nel dicembre del 2015 e implementato nel 2020. Al fine di promuovere un'azione collettiva coerente con le indicazioni fornite dal IPCC, il **Protocollo di Parigi** deve raggiungere i seguenti obiettivi:

- Garantire riduzioni ambiziose delle emissioni, nello specifico l'obiettivo a lungo termine è quello di **ridurre le emissioni globali entro il 2050 di almeno il 60%**, rispetto ai livelli del 2010;
- Definire in modo chiaro, specifico, ambizioso, equo e giuridicamente vincolante l'**impegno di mitigazione del clima** per raggiungere l'obiettivo dei 2°C;
- Assicurare un **dinamismo** prevedendo la revisione del patto ogni cinque anni per rendere l'accordo più valido e forte in funzione delle ultime scoperte scientifiche;
- Rafforzare la **trasparenza e la responsabilità** per poter valutare se gli obiettivi e gli impegni dei diversi paesi sono stati raggiunti;
- **Incoraggiare lo sviluppo sostenibile resiliente ai cambiamenti climatici**, promuovendo la cooperazione internazionale e supportando le politiche che diminuiscono la vulnerabilità e aumentano la capacità dei paesi di adattarsi all'impatto che sarà generato

dai cambiamenti climatici;

- Promuovere l'**attuazione e cooperazione di politiche** che incoraggino gli investimenti in funzione di uno sviluppo a basse emissioni e resiliente al clima.

A seguito del protocollo di Parigi, molti Stati hanno adottato strategie e piani di azione a favore del clima. Ad esempio, negli Stati Uniti è stato sviluppato il New Green Deal, mentre a livello dell'Unione Europea è stato pubblicato l'European Green Deal.

Il **Green Deal Europeo o Patto Verde Europeo** è un insieme di azioni proposte dalla Commissione Europea con l'obiettivo di raggiungere la **neutralità climatica europea entro il 2050**. Il Green Deal Europeo prevede una serie di azioni volte a promuovere l'uso efficiente delle risorse mediante la conversione a un'economia circolare e “pulita”, ridurre l'inquinamento e ripristinare la biodiversità. Nel marzo 2020 è stata presentata la **legge Europea sul clima** che costituisce uno degli elementi centrali del Green Deal Europeo. Mediante questa legge, infatti, si rende giuridicamente vincolante l'obiettivo di azzerare le emissioni nette di gas effetto serra entro il 2050. La legge sul clima riprende i concetti del Trattato di Parigi, prevedendo gli stessi obiettivi ma adattandoli alle esigenze e alle particolarità dell'UE.

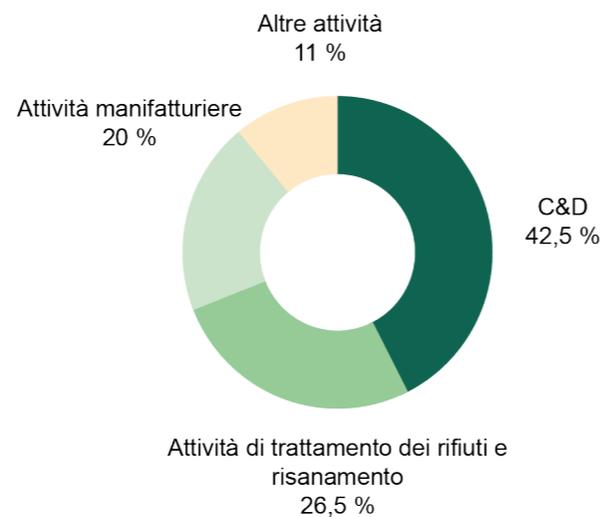
Il settore edile per quanto concerne l'utilizzo di risorse, le emissioni di gas serra, la produzione di rifiuti, l'inquinamento, è uno dei settori cardine su cui si concentrerà questa transizione sostenibile. Gli edifici, infatti, sono responsabili del 36% delle emissioni di gas effetto serra. Inoltre oltre l'80% degli immobili, ad oggi, ha più di venti anni e solo il 25% si può considerare efficiente dal punto di vista energetico. Per far fronte a questo scenario, la Commissione Europea ha previsto un **piano di azione per le ristrutturazioni** con l'obiettivo di migliorare gli edifici esistenti sotto il punto "dell'efficientamento energetico" e della vivibilità. L'obiettivo posto dal Green Deal è quello di ristrutturare 35 milioni di unità abitative entro il 2030, predisponendo così anche nuovi posti di lavoro nell'edilizia. Inoltre il piano Europeo incentiva la bio-edilizia, e il legno, così, entra a pieno titolo nell'agenda politica del prossimo quinquennio.

Dal punto di vista dell'efficientamento energetico i prodotti a base di legno stanno assumendo un ruolo importante. Il legno permette un elevato grado di prefabbricazione e questo fa sì che possano essere progettate delle intere pareti in fabbrica. Queste pareti, ad esempio, sono spesso utilizzate per il retrofitting degli edifici che necessitano di un miglioramento energetico.

Si prevede che entro il 2050 il 66% della popolazione mondiale vivrà nelle città. La crescente consapevolezza dell'importanza delle risorse ambientali, ha portato in primo piano l'esigenza di costruire senza consumare ulteriore suolo: le **sopraelevazioni** sono sempre più frequenti nelle città. Per via

delle caratteristiche di leggerezza e elevato grado di prefabbricazione, il legno è uno dei materiali migliori quando si progetta una sopraelevazione.

Produzione rifiuti speciali in Italia



Fonte: ANPAR (Associazione Nazionale Produttori di Aggregati Riciclati)

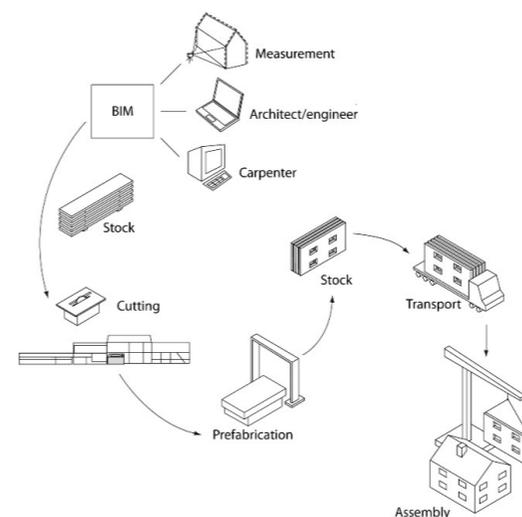


Figura 1.6. Il processo di realizzazione di un intervento di "retrofitting" con il sistema Tess Energy Façade. Fonte: Woodwisdom Net, s.d., *TES EnergyFaçade – prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope*, scaricato da www.mediatum.de

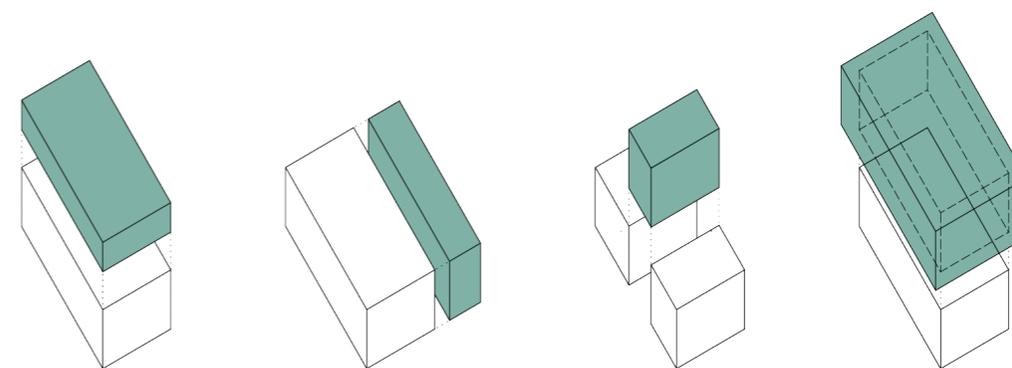


Figura 1.7. Interventi di "aggiunta". Da sinistra a destra: aggiunta di piani, aggiunta orizzontale, innesto tra volumi e "retrofitting". Fonte: Woodwisdom Net, s.d., *TES EnergyFaçade – prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the*



Politiche a livello globale



Politiche a livello urbano



**PROTOCOLLO DI MONTREAL
1990**

Protocollo che a livello internazionale stabilisce la riduzione dell'uso di sostanze che comportano una riduzione dello strato di ozono, in particolare dei gas "CFC".



**TASSA SULLE EMISSIONI DI CARBONIO
1990**

Prima tassa riguardante le emissioni di carbonio imposta in Finlandia. Nel 1998 è stata istituita in Italia e agli inizi degli anni Duemila è stata poi adottata in altri 75 stati. Negli USA è stata adottata solo dallo Stato della California nel 2012.



**ACCORDO DI RIO
1992**

Accordo organizzato dalle Nazioni Unite che ha portato alla nascita UNFCCC ("United Nations Framework Convention on Climate Change"), una convenzione di 90 paesi. L'obiettivo è la stabilizzazione delle concentrazioni atmosferiche dei gas a effetto serra.



**PORTLAND CLIMATE ACTION PLAN
1993**

Portland è stata la prima città degli Stati Uniti a redigere un piano d'azione locale per la riduzione del carbonio. Il piano è una strategia per permettere a Portland e Multnomah County di mettere in atto una riduzione del 40% di emissioni di carbonio entro il 2030 e una riduzione dell'80% entro il 2050, rispetto ai livelli del 1990.



**PROTOCOLLO DI KYOTO
1997**

Trattato internazionale, derivante dagli "Accordi di Rio", che prevede l'obbligo di ridurre le emissioni di sostanze inquinanti in misura non inferiore all'8,65% nel periodo 2008/2012, rispetto alle emissioni registrate nell'anno di riferimento, ovvero il 1990. Vengono stabiliti i GHGs, sei gas antropici che, in concentrazione elevata, aumentano il fenomeno di surriscaldamento globale :

- Biossido di carbonio (CO₂)
- Esafluoruro di zolfo (SF₆)
- Metano (CH₄)
- Ossidi di azoto (NO_x)
- Idrofluorocarburi (HFC)
- Perfluorocarburi (PFC)



**TRATTATO DI AMSTERDAM
1999**

Il trattato ha imposto l'obbligo di integrare la tutela ambientale in tutte le politiche dell'Unione Europea, al fine di promuovere lo sviluppo sostenibile.



TRATTATO DI LISBONA 2007

Il trattato, redatto dall'UE, introduce tra gli obiettivi dell'Unione la "lotta ai cambiamenti climatici" e promuove, a livello internazionale, misure volte a risolvere i problemi dell'ambiente.



PLANYC 2007

PlaNYC è stato un piano strategico con l'obiettivo di trasformare la città di New York in vista della forte crescita demografica. Gli strumenti utilizzati hanno lo scopo, inoltre, di rafforzare l'economia e contrastare i cambiamenti climatici. Con l'iniziativa "MillionTreesNYC" è stato possibile aumentare del 20% il verde della città, grazie alla piantumazione di 1 milione di nuovi alberi.



Campagna pubblicitaria per sensibilizzare i cittadini di NYC a partecipare alle iniziative e a promuovere il piano strategico per la mitigazione degli effetti climatici. Fonte: www.cargocollective.com



CHICAGO CLIMATE ACTION PLAN 2008

La città di Chicago ha messo in atto un processo di pianificazione di azioni a favore del clima, coinvolgendo nel processo residenti e grandi esperti. Il gruppo di ricerca ha sviluppato diversi scenari per il futuro climatico della città, proponendo strategie e obiettivi per ridurre le emissioni e per mitigare l'effetto dei cambiamenti climatici che già interessano la città.

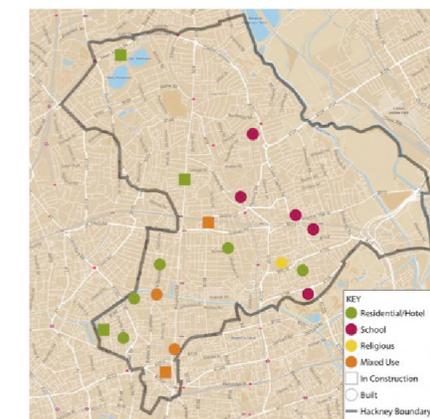


Gli obiettivi e le relazioni tra il "Chicago Climate Action Plan" e il "Chicago Wilderness Climate Action Plan for Nature", istituito nello stesso anno. Fonte: Kimberly R. Hall



TIMBER FIRST 2013

Il quartiere di Hackney di Londra è stato il primo ente pubblico ad adottare una politica di pianificazione che promuova l'uso del legno in edilizia. "Timber First" richiede di utilizzare il legno come materiale nell'edilizia, dove possibile, per i progetti di costruzione e riqualificazione. Il progetto è stato supportato da "Wood For Good", un'organizzazione che opera nell'industria del legno, con lo scopo di incentivare la domanda di prodotti sostenibili.



Piano per edifici in legno a Hackney. Fonte: Stops V., 2016, Hackney: TimberFirst



OBIETTIVI PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE 2015

L'ONU ha stabilito a livello internazionale un piano di azione e 17 obiettivi per lo sviluppo sostenibile da raggiungere entro il 2030.

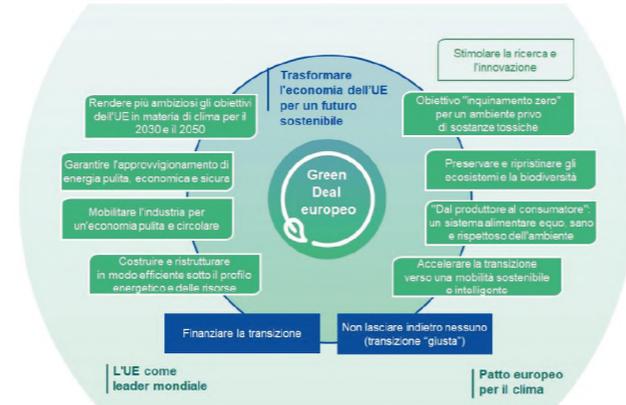


I diciassette obiettivi stabiliti dall'ONU per raggiungere uno sviluppo sostenibile entro il 2030. Fonte: www.savethechildren.it



ACCORDO DI PARIGI 2015

Nel 2012 gli stati membri della UNFCCC si sono riuniti con l'obiettivo di stipulare un patto legalmente vincolante per evitare un aumento superiore ai 2° C rispetto ai livelli Pre Industriali.

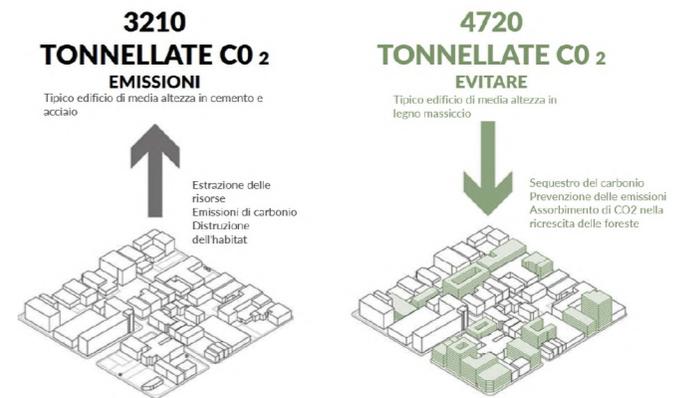


Schema che illustra gli obiettivi dell'European Green Deal. Fonte: www.eur-lex.europa.eu

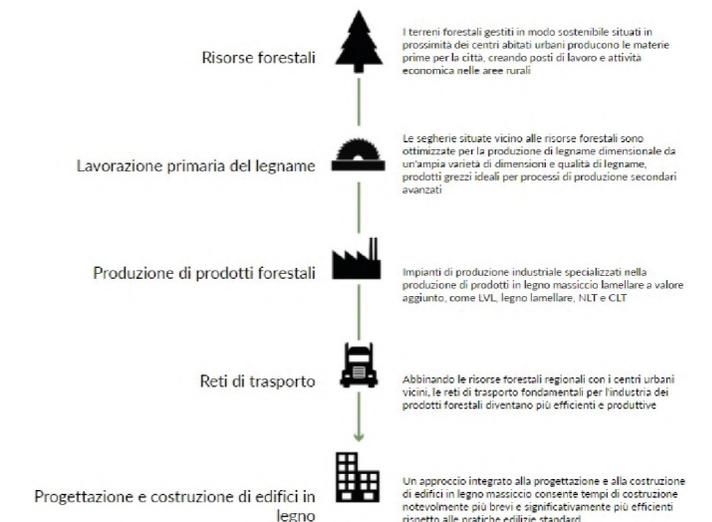


TIMBER CITY 2016

“Timber city” è un'iniziativa di ricerca del “Gray Organschi Architecture”, supportata da “Hines Research Fund For Advanced Sustainability” presso la Yale University. Lo studio si basa sul dato, secondo il quale, entro il 2050 il 66% della popolazione mondiale vivrà nelle città e propone un cambiamento radicale nei metodi di costruzione, incentivando l'utilizzo del legno come materiale da costruzione. L'obiettivo è quello di trasformare le aree urbane da fonti di CO₂ a “pozzi di stoccaggio di carbonio”. Il progetto di ricerca pluriennale esplora il potenziale delle tecnologie di costruzione in legno e propone un report che tratta le costruzioni sostenibili.



Fonte: <http://www.timbercity.org/>



Fonte: <http://www.timbercity.org/>

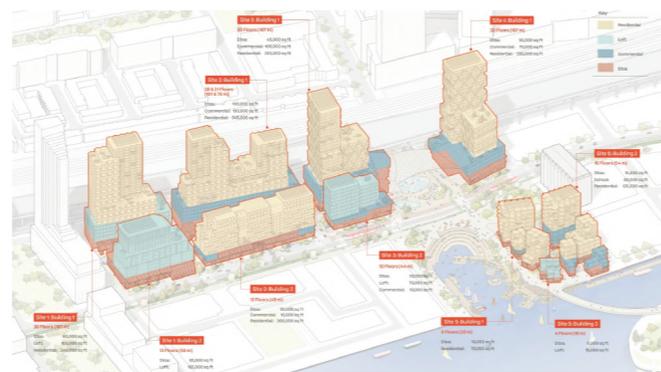


SIDEWALK TORONTO 2017

Google progetta la prima “smart city” in Canada: prevedendo una riqualificazione dell’area portuale, trasforma un’area in disuso in un quartiere “green” con edifici realizzati con struttura portante in legno, con l’obiettivo di ridurre l’impatto ambientale del processo. Il “Sidewalk Labs” è costituito da edifici in legno prefabbricati che permettono di accelerare le tempistiche di posa in opera, ridurre gli errori e i costi. Inoltre, il piano punta alla realizzazione di un programma di accessibilità economica in cui il 40% delle unità hanno un prezzo inferiore rispetto al prezzo medio di mercato.



Fonte: <https://www.sidewalktoronto.ca/>



Fonte: <https://www.sidewalktoronto.ca/>



POLITICA PER INCENTIVARE L’USO DEL LEGNO IN FRANCIA 2020

Il presidente Macron ha emanato un provvedimento per incentivare la sostenibilità in edilizia: entro il 2022 tutti gli edifici pubblici, finanziati anche solo in parte dallo Stato Francese, dovranno contenere il 50% di legno o altro materiale organico.

1.3 Il legno per stoccare l'anidride carbonica

Il legno è un materiale che viene spesso adottato in edilizia per via del ridotto impatto ambientale che ha rispetto ai “tradizionali” materiali da costruzione, quali l'acciaio e il calcestruzzo. L'acciaio e il calcestruzzo, infatti, soprattutto per via del processo costruttivo e per via dell'elevata energia primaria richiesta, hanno un “Embodied Carbon” molto elevata. Il legno, al contrario, è un materiale che in vita è in grado di **bio-sequestrare la CO₂** presente nell'aria. Il processo di fotosintesi clorofilliana delle piante, infatti, permette di sottrarre l'anidride carbonica dell'aria e di trasformarla in glucosio, uno zucchero semplice di nutrimento e necessario per la formazione della cellulosa. Grazie a questo processo, all'interno del legno, vengono stoccate per tutta la vita della pianta grandi quantità di CO₂: per ogni metro cubo di legno in media viene “bio-sequestrata” circa una tonnellata di anidride carbonica. Di seguito viene riportata la formula per il calcolo dello stoccaggio di CO₂ all'interno di un elemento

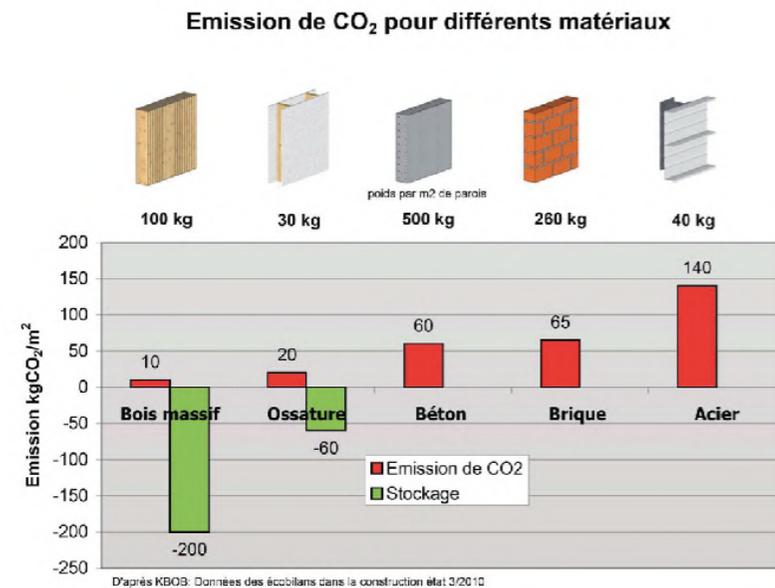


Figura 1.8. Grafico che mette a confronto le emissioni di carbonio per i differenti materiali. Fonte: Lignum, 2021, Le bois, un choix naturel, scaricato da www.lignum.ch

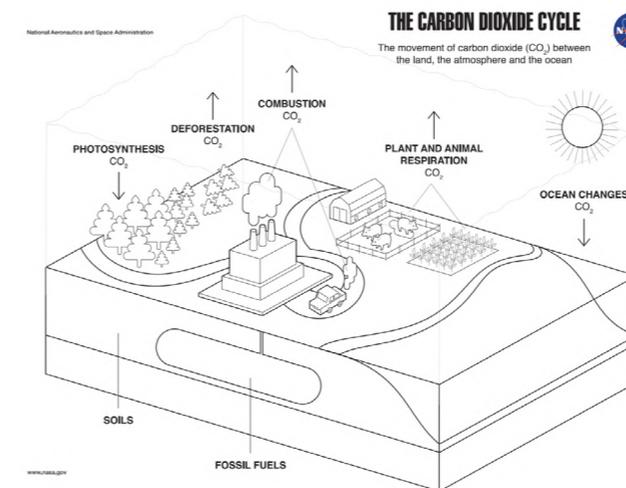


Figura 1.9. Il “ciclo” dell’anidride carbonica Fonte: www.nasa.gov

$$P_{CO_2} = \frac{44}{12} \times 0,5 \times \frac{P_w \times V}{1 + \frac{w}{100}}$$

P_{CO_2} = quantità di anidride carbonica stoccata da un prodotto (Kg)

$44/12$ = coefficiente riferito alla massa atomica del C nella molecola di CO₂

$0,5$ = frazione di C nel legno

P_w = massa volumica del legno (Kg/m³)

V = volume di legno (m³)

w = umidità del legno (%)

Per questo motivo il legno può essere considerato un materiale da costruzione fondamentale in funzione della futura “decarbonizzazione” prevista dalle politiche ambientali.

Il legno, inoltre, nell’ottica di una **valutazione del ciclo di vita “dalla culla alla culla”**, è il materiale da costruzione che meglio si presta a un’economia di tipo circolare, poichè garantisce il risparmio di risorse: se correttamente posato in opera e con sistemi di posa a secco, dopo il periodo di vita dell’edificio, può essere riutilizzato. Considerando il ciclo di vita di un edificio, è possibile definire tre scenari differenti per quanto riguarda gli elementi in legno:

- **Riuso degli elementi e dei materiali:** a seguito di un disassemblaggio e un controllo di qualità, se i componenti/elementi in legno sono separabili dagli altri rifiuti è possibile recuperare e riutilizzare componenti interi (porte, finestre, pavimentazioni...). Il maggior vantaggio del riuso è che permette di “salvare” le risorse, riduce il quantitativo di rifiuti e il carbonio sequestrato nel legno rimane stoccato per un altro ciclo di vita quindi, quando possibile, il riuso dovrebbe essere la soluzione preferibile;

- Scenario di **recupero:** per quanto riguarda i componenti ed elementi tecnici smontabili, quali infissi, pavimenti, tavolati, ecc., è possibile, nell’ottica di uno scenario di smaltimento, prevedere un riciclo per la produzione di elementi truciolari o il riciclaggio nell’impasto per la produzione di blocchi in calcestruzzo o laterizio. A differenza di questi elementi, i componenti ingegnerizzati a base di legno,

per via della presenza di adesivi e/o di trattamenti, non sempre possono rientrare in questo scenario di recupero. Molti rifiuti in legno, inoltre, hanno dei livelli di contaminanti troppo alti per la maggior parte delle opzioni di riciclaggio. Tali rifiuti spesso includono molti trattamenti di origine sconosciuta, che sono difficili da identificare o che sono stati ritirati dal mercato da tempo;

- Nel caso in cui invece il legno non fosse facilmente separabile dagli altri elementi può essere **utilizzato termicamente** al termine del ciclo di vita. A differenza degli altri materiali da costruzione, non consuma energia fossile quando viene smaltito. Vi è un crescente interesse nell’utilizzo dei rifiuti di legno come risorsa di biomassa per la produzione di energia. La maggior del legno trattato - e quasi tutto il legno da C&D lo è - è regolato dalla Direttiva 2000/76/EC che richiede che gli impianti di termovalorizzazione siano tarati per ridurre le emissioni inquinanti generate dalla combustione. Dal punto di vista della gestione sostenibile dei rifiuti questo scenario è uno dei meno virtuosi, nonostante porti alla produzione di energia. Gli impianti devono essere predisposti con dei filtri appositi per evitare il rilascio di inquinanti derivanti dalla combustione degli adesivi e, soprattutto, la CO₂ stoccata dal legno nei diversi anni della vita della pianta viene rilasciata in atmosfera in una sola volta.

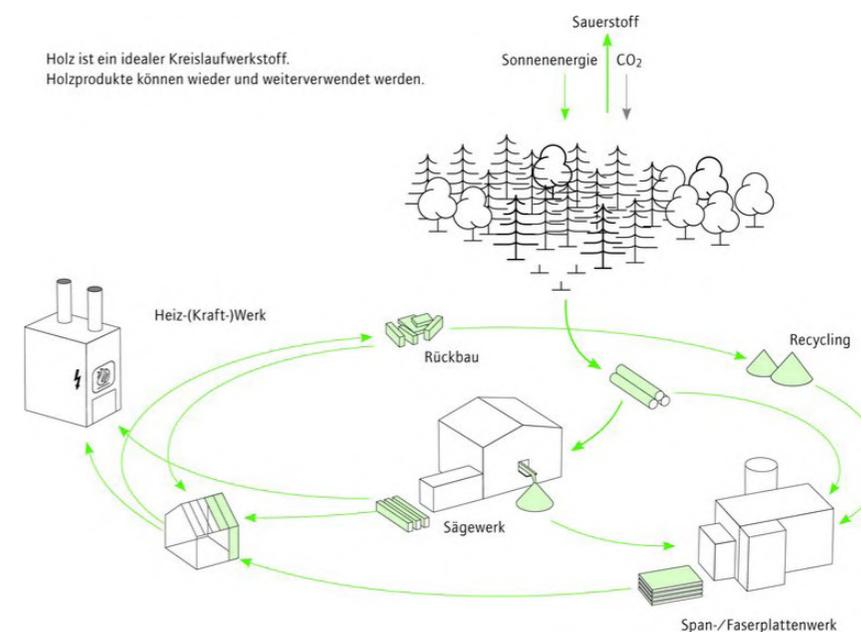


Figura 1.11. Il “ciclo” di vita di un prodotto in legno. Fonte: www.proholz.at

1.4 I prodotti ingegnerizzati a base di legno

1.4.1 BREVI ACCENNI ALLE CARATTERISTICHE DEL LEGNO

Sono numerose le definizioni del legno come materiale naturale.

La definizione universalmente riconosciuta è: il legno è una materia prima, fornita dalle porzioni di tronco delle piante arboree, posta al di sotto della corteccia. Il legno, infatti, svolge una doppia funzione per la pianta vivente:

- Funzione di trasporto e conduzione dei succhi all'interno della pianta;
- Funzione di fornire resistenza meccanica al fusto e ai rami con il fine di garantire una resistenza totale alla pianta dalle sollecitazioni esterne quali la neve, il vento, la pioggia... oltre che dal peso proprio.

Una seconda definizione è detta "istochimica", secondo la quale il legno è un tessuto di origine biologica costituito da cellule lignificate.

Le principali caratteristiche del legno sono suddivisibili in tre differenti categorie: specifica, fisica e meccanica. Di seguito saranno descritte queste categorie in modo molto sintetico.

Per quanto riguarda le **caratteristiche specifiche** è di fondamentale importanza sottolineare come le caratteristiche si differenzino in funzione delle specie legnose. Come si può notare dalla tabella nella pagina seguente, ad esempio, una caratteristica interspecifica è la **densità** del legno che varia a seconda delle specie legnose e della famiglia di appartenenza.



Figura 1.12. Si possono notare le tre sezioni anatomiche del tronco. Fonte: www2.ing.unipi.it/~a005843/Seminari%20IV/VALSA-CNR%2010-05-2012/Macchionirid.pdf

“Per poter impiegare in modo razionale un certo materiale da costruzione è assolutamente necessario conoscerne a fondo le caratteristiche.

Molti Tecnici pensano che con tale termine, invero quanto vago, si debbano intendere le sole caratteristiche meccaniche, e cioè che sia sufficiente conoscere i carichi di rottura nei confronti delle varie sollecitazioni. Un tale modo di ragionare è fondamentalmente errato per qualsiasi materiale, ma in modo particolare per il legno che per la sua provenienza da organismi viventi - gli alberi - si differenzia profondamente dai metalli, dalle pietre naturali e dai laterizi.”

GUGLIELMO GIORDANO

(Giordano G., 1993, *Tecnica delle costruzioni in legno*, Milano, Ulrico Hoepli Spa)



Un'altra caratteristica specifica è legata alla **igroscopicità** del legno: la cellulosa, la lignina e i polisaccaridi che compongono il legno contengono molti gruppi idrossilici che, grazie alla formazione di ponti idrogeno, sono in grado di legarsi alle molecole di acqua. La cellulosa, legandosi all'acqua, rigonfia e il legno si deforma. Nel momento in cui la pianta è viva, l'umidità all'interno del legno può essere maggiore del 100%, poiché si parla di acqua libera all'interno dei lumi delle cellule della pianta. Quando invece il legno perde umidità, le fibre di cellulosa tendono ad avvicinarsi, riducendo il volume del legno e portando conseguentemente a fenomeni di ritiro e deformazioni. **L'umidità del legno** è definibile come il rapporto in percentuale tra il peso dell'acqua, contenuta in un campione di legno, e il suo peso anidro (privo di acqua)

$$U = [(p-p_0)/p_0] \times 100$$

dove: p = peso umido (o fresco) del legno
 p_0 = peso anidro del legno

In Italia si parla di umidità normale del legno considerando $u\%=12\%$, questa viene considerata su un provino di legno in equilibrio igrometrico con l'aria a una temperatura di 20°C e un'umidità relativa UR pari al 65%. In questo caso, all'interno del legno, è ancora presente dell'acqua di saturazione (ovvero acqua aderente alle pareti cellulari attraverso ponti idrogeno), mentre l'acqua libera è stata totalmente eliminata.

Un'altra caratteristica specifica è l'**anisotropia**. Le proprietà del legno come la resistenza a trazione e compressione o le variazioni dimensionali dovute al contatto del legno con l'umidità, variano a seconda delle tre direzioni anatomiche, ovvero nella direzione assiale, radiale e tangenziale.

Un'ulteriore caratteristica specifica è la **biodegradabilità**. Il legno è un materiale naturale costituito da zuccheri modificati e lignina: risulta essere infatti biodegradabile e attaccabile da parte di funghi, insetti e batteri. Questi organismi, soprattutto in presenza di un'elevata umidità all'interno del legno, possono modificarne e alterarne l'aspetto e la struttura. Si definisce, infatti, la **durabilità naturale del legno** come la resistenza del materiale all'attacco di agenti esterni, questa proprietà intrinseca dipende principalmente dalla specie legnosa e dalla presenza di estrattivi.

Solitamente quando l'alburno e il durame sono differenziati in modo evidente, è possibile affermare che l'alburno sia più soggetto agli attacchi di organismi xilofagi, mentre il durame risulta essere più "resistente". La durabilità di un elemento in legno è legata a due fattori: la durabilità naturale, intrinseca della specie di appartenenza, e le condizioni - ambientali, di protezione, di traspirazione..- nelle quali si trova.

Essendo il legno un materiale naturale può essere soggetto a **difetti** quali la forma dei fusti, la deviazione della fibratura (ne riduce la resistenza meccanica), la presenza di nodi...

Per quanto riguarda le caratteristiche **fisiche** il legno presenta un buon comportamento come isolante termico, questo è dovuto alla "giusta" combinazione tra una bassa conducibilità termica, determinata dalla porosità del materiale, e un elevato calore specifico.

Per quanto riguarda le caratteristiche **meccaniche** il comportamento del legno è condizionato dalle caratteristiche anisotrope del materiale. La resistenza a trazione più elevata, ad esempio, viene sviluppata secondo la direzione longitudinale, e il valore del limite elastico risulta essere circa la metà di quello del carico di rottura. Per portare un esempio numerico, la resistenza a trazione secondo la direzione longitudinale in una conifera è di circa 100 MPa, contro una resistenza a trazione nella direzione radiale e tangenziale rispettivamente pari a 5 MPa e 3 MPa. Inoltre, il legno è nettamente meno resistente a compressione rispetto che a trazione.

Figura 1.14. Si possono notare le fessure da ritiro nei tronchi.
 Fonte: www2.ing.unipi.it/~a005843/Seminari%20IVALSA-C-NR%2010-05-2012/Macchionirid.pdf

1.4.2 PRODOTTI INGEGNERIZZATI A BASE DI LEGNO

A partire dal Secondo Dopoguerra si è iniziato a studiare e produrre materiali ingegnerizzati a base di legno con lo scopo di raggiungere alcuni obiettivi:

- L'ottenimento di materiali con proprietà isotrope e costanti;
- La realizzazione di elementi anche di grandi dimensioni;
- L'utilizzo di alberi con dimensioni ridotte, sfruttando al meglio gli alberi abbattuti e i residui dell'industria del legno.

Secondo la CNR DT 206-R1 / 2018 ovvero le *"Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno"* redatto dal CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) i prodotti in legno sono così classificati: il legno massiccio e i prodotti derivati dal legno, suddivisi a loro volta in elementi monodimensionali (travi) e elementi bidimensionali (pannelli).

Per quanto riguarda il **LEGNO MASSICCIO** si intendono tutti gli elementi strutturali a sezione rettangolare in legno massiccio conformi alla UNI EN 14081 e gli elementi a uso Fiume e uso Trieste conformi alla UNI 11035-3.



Figura 1.15. Trave uso Trieste in Abete. Fonte: <http://www.tedagroup.it>

PRODOTTI DERIVATI DAL LEGNO: PRODOTTI MONODIMENSIONALI

La necessità di avere travi composte risponde all'esigenza di fornire sezioni di dimensioni maggiori e/o con un momento di inerzia più elevato rispetto alle sezioni a semplice squadratura ottenibili dai fusti degli alberi.

IL LEGNO MASSICCIO INCOLLATO

Definizione da CNR DT 206–R1 / 2018: «Per gli elementi di legno strutturale con giunti a dita a “tutta sezione”, in aggiunta a quanto indicato per il legno massiccio, è necessaria la conformità alla UNI EN 15497. Per i prodotti massicci tipo bilama e trilama, che – se utilizzati come trave inflessa – presentano il piano di laminazione parallelo al piano di sollecitazione, è richiesta la conformità alla norma UNI EN 14080. Elementi in legno strutturale massiccio con giunti a dita a “tutta sezione” non possono essere usati per opere in classe di servizio 3 (Tab 7.2)».

Descrizione: un esempio di legno massiccio incollato sono le travi Bilama e Trilama. Sono realizzate attraverso l'incollaggio di due o tre lamelle di legno in senso parallelo alla fibra. A differenza delle travi lamellari sono prodotte solo con giunti verticali. (Fonte: www.decorilegno.blogspot.com)

Dimensioni: altezza tra i 140 e 240 mm, larghezza tra gli 80 e 200 mm, lunghezza standard 13,50 m. Classe di assortimento S10, C24.

Specie legnose utilizzate: Abete rosso, Abete bianco, Pino, Larice.



Figura 1.16. Trave Bilama. Fonte: <https://www.teknoring.com/news/ingegneria-strutturale/legno-strutturale-le-travi-bilama-e-trilama/> (Foto Davide Maria Giachino)



Figura 1.17. Trave Trilama. Fonte: <https://www.teknoring.com/news/ingegneria-strutturale/legno-strutturale-le-travi-bilama-e-trilama/> (Foto Davide Maria Giachino)

IL LEGNO LAMELLARE INCOLLATO

Definizione da CNR DT 206–R1 / 2018: «Gli elementi strutturali di legno lamellare incollato sono prodotti conformemente alla UNI-EN 14080. L'attribuzione degli elementi strutturali di legno lamellare ad una delle classi di resistenza previste dalla UNI EN 14080 può essere effettuata sulla base delle proprietà delle lamelle o direttamente sulla base dei risultati di prove sperimentali, secondo le UNI EN 384 e UNI EN 408. Le dimensioni delle singole lamelle rispettano i limiti per lo spessore e per l'area della sezione trasversale indicati nella UNI EN 14080».

Descrizione: Gli elementi in legno lamellare sono realizzati tramite un processo produttivo particolarmente energivoro. In seguito alla segagione dei tronchi, si ottengono delle lamelle che vengono essiccate e cernite in funzione delle classi di resistenza (EN338). Le lamelle vengono poi serrate e incollate tra loro in senso longitudinale grazie ai giunti a dita realizzati tramite fresatura. In seguito alla piallatura, le lamelle vengono sovrapposte tra loro a fibre parallele e incollate tramite l'utilizzo di resine fenoliche.

Dimensioni: le dimensioni standard dello spessore delle lamelle sono comprese tra i 32 mm e i 45 mm. La larghezza standard dello spessore delle lamelle è 40 mm (ma per la classe di servizio 3 deve essere minore o uguale a 250 mm, mentre per la classe di servizio 1 deve essere minore o uguale a 300 mm). Le dimensioni delle travi standard in

legno lamellare variano invece a seconda del produttore.

Impiego: elemento strutturale.

Storia: il legno lamellare è stato brevettato nel 1906 da Otto Hetzer. Fu presentato all'Esposizione di Bruxelles del 1910, che ne favorì una rapida diffusione in Svizzera e negli Stati Uniti. In Italia la produzione a larga scala del materiale ha preso piede solamente a partire dagli anni Sessanta del Novecento.

Specie legnose utilizzate: Abete rosso, Abete bianco, Pino, Larice.

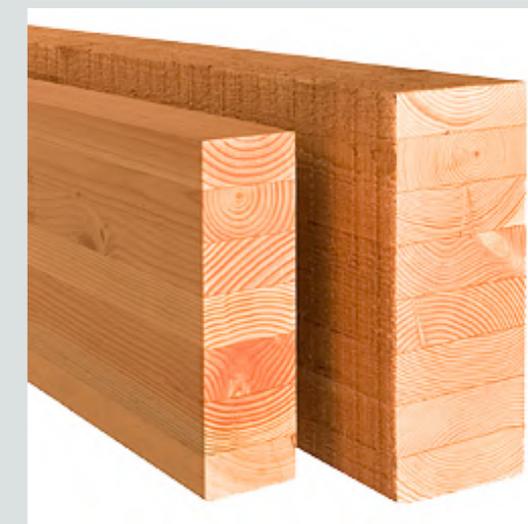


Figura 1.18. Trave in legno lamellare. Fonte: <https://www.bi-object.com/it/boisecascade/product/boise08>

GLI ELEMENTI IN MICRO-LAMELLARE:

Definizione da CNR DT 206-R1 / 2018: «*Il micro-lamellare (LVL) è un prodotto a base di legno realizzato incollando tra loro fogli di legno di spessore generalmente compreso fra i 3 e 6 mm, con l'impiego di calore e pressione, con le fibre orientate nella direzione dell'asse dell'elemento. Definizione, classificazione e specifiche sono contenute nella norma europea UNI EN 14279. Gli elementi strutturali in microlamellare di tipo lineare (travi) hanno tutti gli strati disposti in direzione parallela all'asse dell'elemento. La sezione trasversale in genere è costituita da un minimo di 5 strati*».

Descrizione: tra questi si trovano l'LVL (Laminated Veneer Lumber), LSL (Laminated Strand Lumber) e PSL (Parallel Strand Lumber) o Parallam®. L'LVL, ad esempio, appartiene alla classe di strati di piallacci ed è costituito da strati di sfogliato sovrapposti con fibra parallela e incollati tra loro.

Dimensione: lo spessore dei piallacci di legno è generalmente compreso tra i 3 e i 6 mm e la sezione trasversale di un elemento strutturale di tipo lineare è costituita da minimo 5 strati. La larghezza massima è di 250 cm e la lunghezza è di massimo 23 m.

Utilizzo: può essere utilizzato sia come pannello che come trave strutturale.

Storia: l'LVL è nato negli anni sessanta e la prima azienda produttrice è la Weyerhaeuser, storica

azienda americana situata a Washinton. Il materiale è stato diffuso con il nome commerciale di Microllam®. Questo materiale strutturale è molto utilizzato nel Nord Europa, negli Stati Uniti, in Canada, in Australia e in Nuova Zelanda.

Specie legnose utilizzate: Abete rosso, Pino, Faggio e Betulla.



Figura 1.19. BauBuche, un elemento LVL realizzato con legno di Faggio prodotto dall'azienda Tedesca Pollmeier. Fonte: www.pollmeir.com

I-JOIST

Descrizione: è una trave composta da due flange in LVL e un'anima in OSB.

Dimensioni: l'altezza è compresa tra i 200 mm e i 300 mm, la lunghezza può variare tra i 7 e i 13 m.

Utilizzo: viene utilizzata come trave strutturale.

Storia: sono presenti sul mercato da circa cinquant'anni e sono state inventate alle fine degli anni Settanta.

Originariamente le flange erano realizzate in tavole di legno solido e l'anima era in compensato. Le flange di questo elemento sono cambiate e si è incluso anche l'utilizzo dell'LVL e del PSL, mentre l'anima in compensato è stata totalmente sostituita dall'OSB poichè meno costoso.

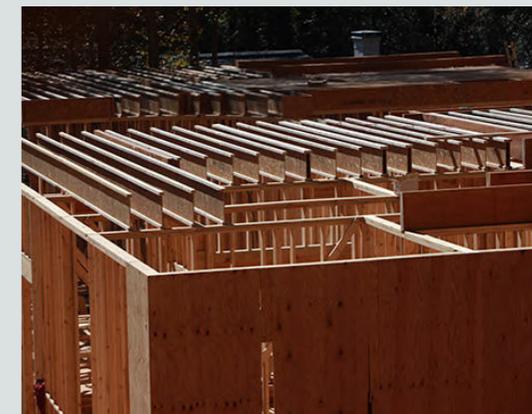


Figura 1.20. I-Joist. Fonte: <https://www.archiexpo.it/prod/georgia-pacific/product-61709-1172793.html>



Figura 1.21. I-Joist. Fonte: <https://www.archiexpo.it/prod/uni-lin-panels/product-80036-1569539.html>

PRODOTTI DERIVATI DAL LEGNO: PRODOTTI BIDIMENSIONALI

PANNELLI IN LEGNO MASICCIO (SWP)

Definizione da CNR DT 206–R1 / 2018: «I pannelli di legno massiccio sono pannelli realizzati con tavole incollate sui bordi e, se multistrato, anche sulle loro facce, rispondenti alla norma UNI EN 13353 (con riferimento ai soli prodotti classificati per uso strutturale) con spessore totale massimo pari a 80 mm, I valori caratteristici di resistenza e di rigidità sono indicati nella UNI EN 12369-3».

Dimensioni: lo spessore del pannello va da un minimo di 14 mm a un massimo di 60 mm, dove il pannello centrale è sempre di uno spessore maggiore.

Utilizzo: viene utilizzato per impieghi strutturali per solai e pavimenti, per realizzare coperture portanti di tetti inclinati, sporgenze di tetti, rivestimenti, sovrastrutture.

Specie legnose utilizzate: Abete rosso, Abete bianco, Larice, Pino.



Figura 1.22. Pannelli in legno massiccio. Fonte: <https://novatop-swp.cz/it/prodotto/novatop-swp/>

PANNELLI DI TAVOLE INCROCIATE (X-Lam o CLT)

Definizione da CNR DT 206–R1 / 2018: «I pannelli di tavole incrociate sono ottenuti per incollaggio, sotto adeguata pressione, di tavole o lamelle di legno massiccio (di spessore consigliato compreso tra 10 mm e 45 mm; lo spessore di 60 mm può essere impiegato per lo strato intermedio di pannelli a tre strati), classificate secondo la resistenza, disposte a strati (almeno 3) inclinati a 90° fra di loro in modo da ottenere pannelli adatti all'uso strutturale. Le tavole o le lamelle sono piallate ed incollate di faccia, ma non necessariamente di bordo. La larghezza delle tavole o delle lamelle non può essere inferiore a 10 cm e la distanza tra due giunti a dita consecutivi di una stessa lamella non può essere inferiore a 5 volte la larghezza della lamella. [...] Fermo restando quanto sopra detto, per quanto qui non specificato è opportuno che i pannelli di tavole incrociate rispondano alle specifiche contenute in documenti tecnici di validità nazionale o europea (p.e. UNI EN 16351). I pannelli di tavole incrociate non possono essere usati per opere in classe di servizio 3 (Tab. 7.2).».

Descrizione: il pannello X-Lam è un compensato strutturale di tavole di legno massiccio disposte a strati incrociati. Le lamelle per la realizzazione del pannello sono realizzate a partire da tavole di legno precedentemente piallate, classificate e giuntate di testa con giunti a dita strutturali. Le lamelle sono poi affiancate secondo il lato lungo con fughe minime in modo da formare il primo strato. Il pan-

nello monolitico si ottiene attraverso l'incollaggio e la pressione meccanica degli strati ortogonali tra loro.

Dimensione: lo spessore dipende dal produttore, per quanto riguarda la lunghezza e la larghezza massima sono approssimativamente di 13,5 m e 3,5 m.

Utilizzo: vengono utilizzati come pannelli strutturali.

Storia: l' X-Lam nasce in area Tedesca negli anni Novanta e si è diffuso in tutta Europa. Sta raggiungendo negli ultimi anni anche nazioni al di fuori dei confini Europei.

Specie legnose utilizzate: principalmente si utilizza il legno di Conifera: quasi sempre l'Abete rosso, raramente il Pino e la Douglasia.



Figura 1.23. Pannello in X-Lam. Fonte: <https://www.teknoing.com/news/ingegneria-strutturale/legno-strutturale-dimensioni-e-spessore-dei-pannelli-xmlam/>

PANNELLI A BASE DI LEGNO (Compensato, OSB, MDF...)

Definizione da CNR DT 206–R1 / 2018: « I pannelli a base di legno per uso strutturale di cui alle presenti istruzioni sono quelli conformi alla norma UNI EN 13986. Per le varie tipologie di pannelli si fa anche riferimento alle seguenti normative europee:

- Compensato UNI EN 636
- Pannelli di scaglie orientate (OSB) UNI EN 300
- Pannello di particelle (truciolati) UNI EN 312
- Pannelli di fibre (media ed alta densità) UNI EN 622

I valori caratteristici di resistenza e di rigidità sono indicati nella UNI EN 12369-1 (per pannelli OSB, pannelli di particelle e pannelli di fibra) e nella UNI EN 12369-2 (per i pannelli di legno compensato). I pannelli a base di legno per uso strutturale non possono essere usati per opere in classe di servizio 3 (Tab. 7.2).».

1. COMPENSATO

Descrizione: I pannelli di legno compensato sono costituiti da almeno tre sfogliati di legno incollati con orientamento incrociato delle fibre. Esistono tre categorie principali di compensato: la classe 1 (per uso in ambiente secco) in cui si utilizzano adesivi Ureici UF, la classe 2 (per uso in ambienti umidi) in cui si utilizzano adesivi a base di Melammina Urea Formaldeide, la classe 3 (per uso in ambiente esterno) in cui vengono utilizzati adesivi Fenolici o Melamnici.

Dimensione: gli spessori standard per il compensato sono compresi tra i 12 e i 24 mm, la larghezza indicativamente è compresa tra i 125 e i 185 cm, mentre la lunghezza dai 185 ai 254 cm.

Densità: 400 ÷ 800 kg/m³

Utilizzo: realizzazione di arredamenti interni, allestimenti di fiere, può essere utilizzato come elemento di chiusura e controventamento. E' anche impiegato nel settore nautico.

Storia: i primi brevetti del compensato risalgono al 1869 (USA) e 1884 (Germania), ma la produzione industriale ha avuto inizio solamente nei primi decenni del Novecento. In Italia questi pannelli si affermano tra il 1950 e il 1970 con l'attività di pioppicoltura "intensiva".

Specie legnose utilizzate: Betulla e Pioppo, può essere anche usato l'Abete.



Figura 1.24. Pannello in compensato. Fonte: <http://www.ala-siafranco.com/pannello-di-compensato/?lang=it>

2. PANNELLI DI SCAGLIE ORIENTATE

Descrizione: l'OSB (Oriented Strand Board) è un pannello a scaglie di legno orientate incollate tra loro e pressate. Esistono quattro categorie di OSB suddivise a seconda della resistenza meccanica e all'esposizione alle intemperie: OSB 1 non strutturale, OSB 2 pannelli strutturali a luogo asciutto, OSB 3 pannelli strutturali a luogo umido, OSB 4 pannelli strutturali a uso in luogo umido e carichi pesanti.

Dimensione: lo spessore varia dai 9 ai 22 mm, la larghezza è compresa tra i 244 e i 250 cm e l'altezza tra i 122 e i 125 cm. In ogni caso le aziende possono produrre pannelli su richiesta.

Densità: 600 ÷ 860 kg/m³

Utilizzo: viene impiegato principalmente come elemento di controventatura del sistema a Platform Frame o simili.

Storia: questo pannello è stato sviluppato in Canada nel 1970 circa.

Specie legnose utilizzate: legno di Conifere (Abete e Pino) e qualche specie di Latifoglia (Pioppo).



Figura 1.25. Pannello in OSB. Fonte: amorelegnami.it/forniture/pannelli-in-legno/pannelli-osb.html

3. PANNELLO DI PARTICELLE (truciolati)

Descrizione: i pannelli di particelle sono prodotti dalla frammentazione e truciatura dei tronchi o a partire da cascami di recupero. Le “chips” vengono essiccate, incollate per aspersione o con altri sistemi, distribuite per la formazione del “materasso” e pressate a caldo.

Dimensione: lo spessore può variare dai 4 ai 35 mm, le dimensioni massime sono circa di 2,10 x 5,10 m.

Densità: 500 ÷ 750 kg/m³

Utilizzo: vengono utilizzati principalmente nell'industria del mobile.

Storia: sin dall'inizio del secolo scorso sono stati brevettati diversi procedimenti per la realizzazione di pannelli partendo da frammenti legnosi. Il primo vero pannello di particelle è stato però brevettato con il procedimento NOVOPAN sviluppato in Svizzera nel 1945.

Specie legnose utilizzate: in Italia si utilizza principalmente il Pioppo



Figura 1.26. Pannello truciolare prodotto con il 100% di legno da riciclo. Fonte: <https://www.blccompensati.it/>

4. PANNELLI DI FIBRE (media e alta densità)

Descrizione: questi tipi di pannelli hanno alla base la riduzione del legno in uno dei suoi costituenti istologici elementari, ovvero le fibre. Attraverso un processo di produzione complesso le fibre vengono pressate e incollate tra di loro. A seconda dello spessore del “materasso” e della compressione esercitata si possono distinguere diversi tipi di pannelli differenziati nella massa volumica.

Dimensione: lo spessore è solitamente compreso tra i 3 e gli 8 mm, la larghezza dei pannelli è mediamente pari a 125 cm e la lunghezza a 250 cm.

Densità: MDF (Medium Density Fiberboard) 400 ÷ 800 kg/m³, HDF (High Density Fiberboard) ≥ 800 kg/m³.

Utilizzo: l'impiego in edilizia è piuttosto limitato. Questo tipo di pannello è spesso impiegato nei sistemi a telaio come strato interno delle pareti o dei solai.

Storia: i primi pannelli di fibre sono stati prodotti a partire dagli anni Venti del Novecento negli Stati Uniti, ma la vera produzione industriale è avvenuta in Scandinavia alla fine degli anni Venti. In Italia le prime fabbriche sono state impiantate nel 1936 per sfruttare i cascami di legno. Per quanto riguarda l'MDF, la sua fabbricazione ha avuto inizio negli Stati Uniti agli inizi degli anni Sessanta.

Specie legnose utilizzate: le specie ideali sono le Conifere, ma oggi vengono usate prevalentemen-

te le Latifoglie (Pioppo, Salice, Ontano).



Figura 1.27. Pannello HDF. Fonte: <https://www.addicted2decorating.com/mdf-vs-plywood-differences-pros-and-cons-and-when-to-use-what.html>

1.5 I motivi per cui utilizzare il legno

1.5.1 IL LEGNO COME MATERIALE SOSTENIBILE

Come già accennato, gli alberi in vita costituiscono dei veri e propri “pozzi” per lo stoccaggio del carbonio. Considerando l’impatto complessivo di un edificio durante l’intero ciclo di vita è infatti fondamentale considerare anche il “costo” in termini di carbonio.

È importante sottolineare che nei prossimi cinquant’anni alcuni dei primi edifici realizzati in X-Lam saranno dismessi. Come già accennato i materiali a base di legno ingegnerizzato, avendo un elevato quantitativo di adesivi, sono difficilmente riciclabili e, nel caso non fossero riutilizzabili, possono essere smaltiti all’interno di termovalorizzatori. Questa soluzione però, per via del rilascio in atmosfera di sostanze inquinanti e della CO₂ precedentemente stoccata dal legno, non può essere considerata virtuosa dal punto di vista della sostenibilità.

Con i cambiamenti climatici in atto, però, non ci si può permettere di bruciare il legno in un termovalorizzatore e rilasciare le grandi quantità di carbonio accumulate, lo stoccaggio del carbonio deve essere mantenuto attraverso il riuso. Essendo recente l’impiego della tecnologia a pannelli in X-Lam, esistono pochi precedenti per quanto riguarda il riuso dei pannelli, è quindi fondamentale prevedere uno studio che garantisca la maggior durabilità possibile degli edifici ed è bene, inoltre, prevedere la pianificazione del ciclo di vita.

I contaminanti costituiscono l’ostacolo più significativo per il riuso degli elementi in legno.

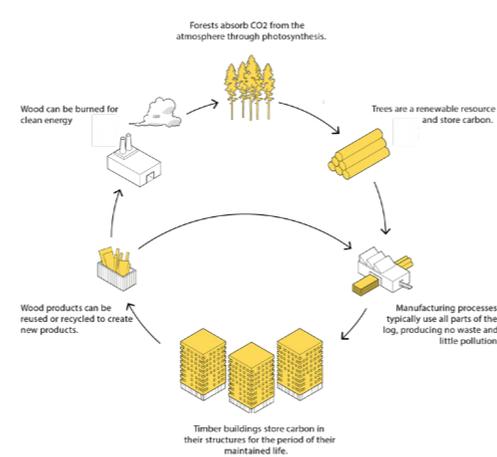


Figura 1.28. Scenario del ciclo di vita di un edificio in legno. Fonte: © Yugon Kim

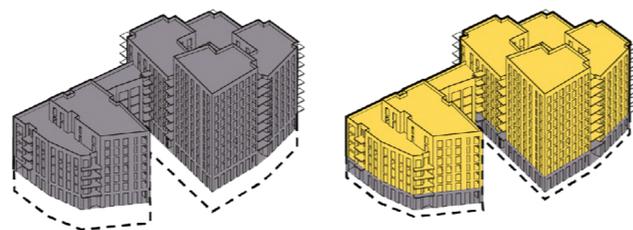


Figura 1.29. Il diagramma indica una riduzione approssimativa delle fondazioni necessarie per un edificio in X-Lam. Fonte: © Dalston Works

1.5.2 RIDUZIONE DELLE FONDAZIONI

La progettazione di un qualsiasi edificio in legno deve garantire che il materiale sia protetto per evitare il contatto con l’umidità, che può causare problemi di marcescenza. Nella maggior parte dei casi viene utilizzato il calcestruzzo come materiale per la realizzazione delle fondazioni degli edifici in legno. Il peso delle strutture in X-Lam, se confrontato con quello di una struttura di pari dimensioni ma realizzata in muratura, è decisamente minore: le strutture in legno sono infatti note per la loro leggerezza. Questa caratteristica può portare a una riduzione significativa della dimensione delle fondazioni in cls comportando, quindi, una riduzione complessiva del volume di calcestruzzo utilizzato, rispetto a un edificio tradizionale.

1.5.3 LEGGEREZZA E RESISTENZA

La massa volumica del legno strutturale più utilizzato in edilizia, ovvero l’Abete rosso, risulta essere di circa 500 Kg/m³, pari a circa 1/5 rispetto a quella del calcestruzzo; inoltre la resistenza del legno è dello stesso ordine di grandezza di quello del calcestruzzo. È importante sottolineare anche che il legno, rispetto al calcestruzzo, ha anche una certa resistenza a trazione. Di conseguenza il rapporto tra la resistenza e la massa volumica del legno risulta essere cinque volte maggiore rispetto a quella del calcestruzzo (e dell’acciaio). Praticamente immaginando di dimensionare due strutture identiche per parità di luce, schemi statici e carichi, ma una che utilizza come materiale strutturale il legno

e l’altra il calcestruzzo, il risultato che ne consegue è che la struttura in legno avrà sezioni simili a quella della struttura in calcestruzzo, ma una massa totale molto minore. Per questo motivo le strutture in legno, avendo una massa totale minore rispetto alle strutture realizzate con altri materiali da costruzione, sono più leggere.

I pannelli in X-Lam garantiscono elevati livelli di resistenza a tutta la struttura. La laminazione incrociata dell’ X-Lam garantisce inoltre elevati livelli di stabilità dimensionale, che permettono una deformazione minima dei pannelli caricati nel piano.²

1.5.4 RESISTENZA AL FUOCO

Nonostante il legno sia un materiale combustibile, bruciando, forma uno strato di carbonizzazione che ne riduce la velocità di combustione, fungendo quasi da strato isolante. Il contributo dello strato carbonizzato del legno alla resistenza al fuoco dipende dalla densità del legno: le specie a bassa densità si carbonizzano più rapidamente. È importante sottolineare che il principale vantaggio del legno nei confronti del fuoco è che, nonostante la combustione, mantiene la sua rigidità e capacità di carico a temperature tali che, ad esempio, porterebbero l’acciaio a deformarsi.³

1.5.5 LA LAVORABILITÀ

Il legno è facilmente lavorabile poiché può essere semplicemente tagliato, sagomato, forato e piallato sia manualmente, utilizzando strumenti relati-

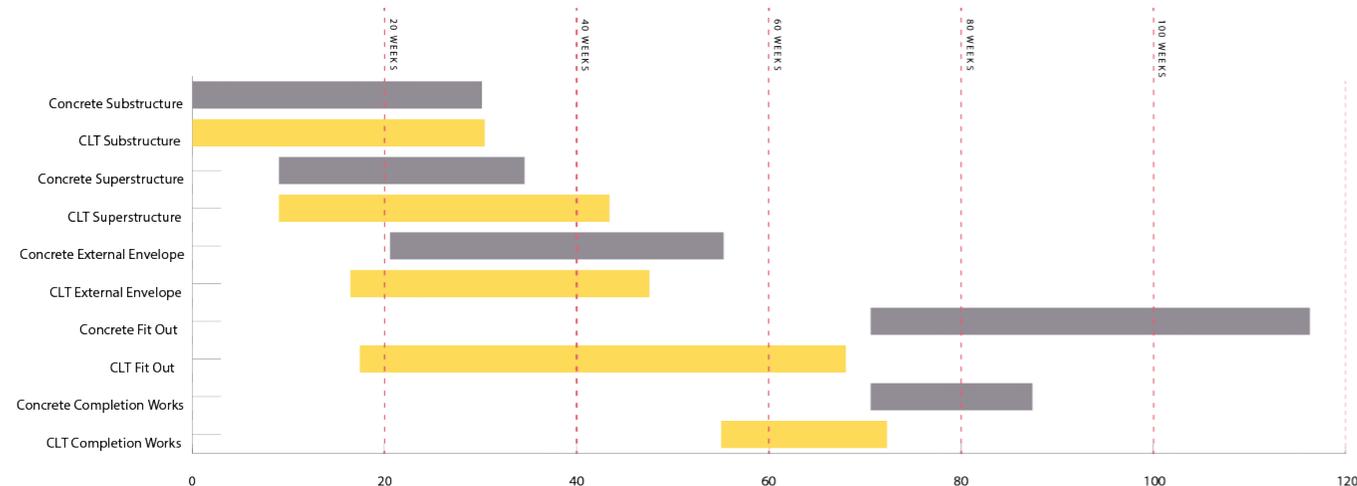


Figura 1.30. Il diagramma di Gantt mette a confronto i tempi di realizzazione di un edificio in X-Lam (giallo) rispetto a quelli relativi a un edificio in calcestruzzo armato (grigio). Fonte: Waugh Thistleton Architects, 2018, 100 *Project UK CLT*, scaricato da www.thinkwood.com pag.36



Figura 1.31. Infografica: confronto a livello di manodopera e tempistiche tra un edificio tradizionale (grigio) e una struttura in X-Lam. Fonte: Waugh Thistleton Architects, 2018, 100 *Project UK CLT*, scaricato da www.thinkwood.com

vamente semplici, sia meccanicamente. Il legno, come già sottolineato, può anche essere incollato per realizzare pannelli o altri elementi ingegnerizzati. E' bene sottolineare che la lavorabilità (come anche la tenuta al chiodo) e l'incollaggio sono differenti a seconda delle specie legnose: ad esempio l'Abete rosso, molto utilizzato in ambito strutturale, è infatti facilmente lavorabile e facilmente incollabile e, anche per questi motivi, è una delle specie più utilizzate per la produzione dei pannelli in X-Lam.

1.5.6 LA PREFABBRICAZIONE

Per via delle sue caratteristiche di versatilità⁴, il legno ben si presta alla prefabbricazione, garantendo quindi numerosi vantaggi, quali tempistiche ridotte e costi minori rispetto a un'edilizia di tipo tradizionale. Grazie all'utilizzo di macchine a controllo numerico CNC e impianti di prefabbricazione, è ormai possibile realizzare dei veri e propri moduli di pareti prefabbricate in sede che necessitano solo di essere installate in cantiere. La prefabbricazione prevede una serie di vantaggi:

- **La fase di progettazione** è molto attenta al dettaglio e alle finiture. La leggerezza dei pannelli prefabbricati in legno, come anticipato, permette una riduzione del volume e/o della quantità delle fondazioni rispetto a un edificio tradizionale. Questo determina una riduzione dei tempi di programmazione e realizzazione dei lavori a terra poiché la portata degli scavi è minore. E' importante che questo potenziale risparmio di tempo venga considerato in fase di progettazione e programmazione del cantiere, anche in funzione dei tempi di consegna

dei pannelli prefabbricati. La prefabbricazione e l'alta precisione che contraddistinguono i moduli prefabbricati - con tolleranze di +/- 3 mm – permette ad esempio, se il modulo della parete non è totalmente prefabbricato “off site”, di pre-ordinare altri prodotti quali finestre e porte, riducendo i tempi di consegna⁵;

- Nei sistemi prefabbricati, la struttura e gli elementi portanti vengono realizzati all'interno dell'azienda di produzione. Questo, oltre a ridurre la possibilità di errore, permette la realizzazione di pannelli con un elevato grado di precisione;

- **La velocità di installazione** di pareti e solai prefabbricati è molto più rapida rispetto ai metodi dell'edilizia convenzionale. I pannelli prefabbricati vengono consegnati “just-in-time” e spesso, se il cantiere procede a regime, sono direttamente sollevati dal camion di consegna e montati. Inoltre, un altro risparmio è legato al fatto che spesso per la movimentazione dei pannelli in legno sia possibile utilizzare una gru mobile, evitando quindi l'utilizzo di una gru a torre che costituisce solitamente una spesa importante.

- A seguito del **montaggio** delle pareti è possibile sovrapporre i solai senza la necessità di impalcature per il montaggio, questo costituisce un ulteriore risparmio in termini di tempo e denaro. Per fare un esempio, considerando che un edificio in calcestruzzo armato richiede numerosi passaggi quali la messa in opera, l'utilizzo di casseforme che prevedono la posa e la predisposizione dell'armatura, il getto, la stagionatura e il disarmo piano dopo



Figura 1.32. Riduzione dei trasporti per la consegna dei materiali da costruzione in un cantiere prefabbricato, rispetto a un cantiere tradizionale. Fonte: Waugh Thistleton Architects, 2018, 100 *Project UK CLT*, scaricato da www.thinkwood.com pag.48



Figura 1.33. I rifiuti prodotti in una settimana di montaggio del Murray Grove. Fonte: Waugh Thistleton Architects, 2018, 100 *Project UK CLT*, scaricato da www.thinkwood.com pag.38

piano, è possibile affermare che mediamente un telaio in calcestruzzo armato viene realizzato a una velocità di circa 500 m² a settimana; mentre un edificio realizzato con pannelli prefabbricati, viene installato dal 25-45% più rapidamente. ⁶ Il risultato di questi e altri fattori è che il numero di operatori necessari per la realizzazione di un edificio prefabbricato è notevolmente ridotto rispetto a un edificio tradizionale. Inoltre per il fissaggio dei pannelli non sono utilizzati dei sistemi a umido ma dei sistemi a secco che non richiedono un'asciugatura, riducendo ancora una volta i tempi di cantiere;

- L'utilizzo di moduli prefabbricati in **cantiere** garantisce anche la possibilità di una sovrapposizione delle operazioni successive alla posa;

- I **costi** sono ridotti, sia per quanto riguarda i tempi di costruzione, sia per quanto riguarda l'utilizzo della manodopera e risultano essere stabili senza particolari variazioni dall'inizio alla fine del processo;

- Inoltre, l'installazione di pannelli prefabbricati, permette di avere un cantiere più sicuro e silenzioso. Un altro aspetto importante della prefabbricazione è che le pareti e i solai, vengono prodotti in fabbrica e di conseguenza la produzione di **rifiuti** in cantiere è molto ridotta e questo porta ad alcuni vantaggi in sito, quali ad esempio un minore spazio destinato allo stoccaggio dei rifiuti rispetto a un edificio in muratura. Avere un minor quantitativo di rifiuti da C&D costituisce un risparmio dell'impresa nel momento dello smaltimento;

- La possibilità di lavorare in tempi ristretti consente anche la realizzazione di edifici di emergenza in tempi brevi.

1.5.7 ELEVATE PRESTAZIONI TERMICHE

Dal punto di vista delle caratteristiche termiche il legno ha una bassa conduttività termica per via delle sue caratteristiche di porosità. Anche in questo caso, per via dell'anisotropia del materiale, la conduttività termica del legno è differente in funzione della direzione in cui viene considerato il materiale. Per fare un esempio numerico, l'Abete, considerato nella direzione perpendicolare alla fibra, in condizioni di normalità (20% di umidità), ha una conducibilità termica di 0,09 W/mK e nella direzione parallela alla fibra di 0,22 W/mK, contro una conducibilità termica tra 30 e 60 W/mK dell'acciaio, materiale anisotropo. La bassa conducibilità termica, inoltre, permette una riduzione della quantità e dello spessore dell'isolante rispetto a un edificio tradizionale, questo permette di ridurre il dispendio di risorse e quindi l'impatto degli edifici in legno.

La bassa conducibilità termica del legno riduce il rischio di surriscaldamento degli edifici, preoccupazione molto comune negli edifici in acciaio o calcestruzzo. Questo permette, ad esempio, una “semplificazione” di alcuni dettagli costruttivi: spesso in un edificio in X-Lam il solaio interno può essere continuato a sbalzo verso l'esterno per la realizzazione di un balcone, con la possibilità tecnica di risolvere più efficacemente un ponte termico.

In aggiunta, il legno è un materiale caratterizzato da un elevato calore specifico. Confrontando il calore specifico dell'Abete che risulta essere pari a

1.6 Osservazioni

0,65 Kcal/Kg°C, con il calore specifico dell'acciaio di 0,12 Kcal/Kg°C, è possibile affermare che il legno ha bisogno di molto più calore per aumentare la propria temperatura di 1°C rispetto all'acciaio. La combinazione di questi due fattori permette al legno di essere un ottimo isolante termico.

Note a pie' di pagina

¹ Pagliolico S., 2020, materiale didattico del corso “sostenibilità dei processi e prodotti dei materiali per l'architettura” fornito dal docente

² Waugh Thistleton Architects, 2018, 100 *Project UK CLT*, scaricato da www.thinkwood.com

³ TRADA, s.d, Module: Timber as a material. Unit: why choose timber?, scaricato da www.trada.co.uk

⁴ AA.VV, 2012, Prefabricated Systems, sl, Basel Birkhäuser

⁵ Waugh Thistleton Architects, 2018, 100 *Project UK CLT*, scaricato da www.thinkwood.com

⁶ Waugh Thistleton Architects, 2018, 100 *Project UK CLT*, scaricato da www.thinkwood.com

Alla luce delle diverse politiche ambientali redatte a livello Mondiale in funzione della mitigazione dei cambiamenti climatici, e dello sviluppo di nuovi materiali ingegnerizzati, **il legno è sempre più utilizzato come materiale da costruzione**. La forte consapevolezza climatica e la necessità di evitare il consumo di suolo, ha portato alla progettazione e realizzazione addirittura di edifici multipiano in legno. Negli ultimi anni infatti, l'attenzione è passata da edifici a dimensioni ridotte, intese come case d'abitazione, alla realizzazione di edifici residenziali multipiano, intesi come spazi a disposizione della società.

Il crescente interesse per le costruzioni in legno, però, non procede di pari passo con la Normativa e la formazione dei diversi “stakeholders” che interessano l'intero processo edilizio. Da una parte le Normative si stanno evolvendo, ma troppo lentamente rispetto alle nuove ricerche e alle necessità dell'edilizia, portando in evidenza lacune e mancanze, se confrontate con gli altri materiali da costruzione “tradizionali”. Dall'altra, soprattutto nei paesi in cui non esiste una vera e propria cultura del legno, manca una formazione, non solo dei progettisti ma anche di tutti gli “stakeholders”.

Questo alimenta la possibilità di commettere errori durante la progettazione e la realizzazione di un edificio in legno, compromettendone la durabilità.



Figura 1.33. Mjøsa Tower a Oslo (Norvegia), grattacielo in legno di 85,4 m, il più alto al mondo. Fonte: www.skyscraper-center.com



Figura 1.34. Evoluzione dell'altezza degli edifici in legno. Fonte: Kaufmann H., Krötsch S., Winter S., 2018, Manual of Multi-Storey Timber Construction, Monaco, Detail

GLI STRUMENTI DI INDAGINE



- 2.1 I seminari seguiti p.66
- 2.2 I dialoghi p.69
- 2.3 Gli errori commessi nelle costruzioni in legno p.67
- 2.4 I temi emersi dalle interviste p.99

2.1 I seminari seguiti

Per entrare al meglio nel contesto dell'intera filiera delle costruzioni in legno, nel corso del lavoro di tesi, sono stati seguiti differenti seminari professionali organizzati da Enti Nazionali e Internazionali che di seguito verranno elencati e descritti.

Si parte dal bosco. Il valore della filiera del legno nel settore delle costruzioni.

- Ente: Ordine degli architetti di Biella
- Seguito il: 26.06.2020
- Contenuto: il webinar, grazie all'intervento di numerosi esperti del settore forestale, ha portato in evidenza alcuni temi quali la **gestione sostenibile** delle foreste, l'importanza dell'impiego del legno locale per ridurre l'**impatto di CO₂**, portando anche esempi di costruzioni realizzate con legname locale.
- I temi trattati utili al lavoro di tesi: nel seminario sono stati introdotti alcuni temi critici che riguardano la filiera del legno quale ad esempio la **formazione**. I relatori, spesso, hanno sottolineato l'importanza della formazione al fine di utilizzare il legno al massimo delle proprie caratteristiche.

Costruire con il legno nel contesto urbano.

- Ente: Ordine degli Architetti di Padova e Promo-Legno
- Seguito il: 02.10.2020 e 16.10.2020
- Contenuto: il ciclo di seminari tecnici ha proposto un approfondimento particolare sulle **tecniche moderne** adottate per le costruzioni in legno, con particolare attenzione al loro utilizzo in ambito urbano.
- I temi trattati utili al lavoro di tesi: un aspetto im-

portante che è stato presentato è quello dei temi ecologici legati alle moderne tecniche di costruzione in legno e alle prospettive future per la **de-carbonizzazione** del settore edilizio. Un altro intervento, tenuto dall'ingegner Matteo Izzi, è stato fondamentale per inquadrare il tema delle Norme Italiane **NTC 2018**. Altri due temi trattati utili per definire i fattori di forma sono "I principi di calcolo e della **progettazione in zona sismica** delle strutture in legno" e "La protezione al fuoco. Concetti per la progettazione e normativa **antincendio**" (Maurizio Piazza).

Il tetto in legno inclinato e a bassa pendenza – il tetto master; Il tetto in legno a regola d'arte.

- Ente: Naturalia BAU
- Seguito: in modalità asincrona
- Contenuto: i due seminari tenuti da Naturalia Bau sono stati visionati in un contesto di approfondimento durante un tirocinio formativo.
- I temi trattati utili al lavoro di tesi: i seminari sono stati utili per capire da un punto di vista costruttivo, progettuale e fisico-tecnico come poter realizzare un tetto con struttura in legno a regola d'arte.

V Report Case ed edifici in legno, tra Europa e Italia

- Ente: Federlegno Arredo Spa
- Seguito il 10.12.2020
- Contenuto: il webinar deriva da una dettagliata analisi riguardante il punto della situazione sul mercato dell'edilizia in legno sul territorio Italiano e Comunitario sviluppato dal Centro Studi di FederlegnoArredo.

- I temi trattati utili al lavoro di tesi: il webinar ha sottolineato come il **mercato del legno sia in espansione**, soprattutto dal punto di vista dell'edilizia, e come i committenti si stiano orientando sempre di più verso una **bio-edilia** sostenibile.

La durabilità degli edifici in legno: dalla progettazione al monitoraggio

- Ente: Woodcontrol
- Seguito il 26.02.2021
- Contenuto: il webinar, tenuto da una start-up innovativa che si occupa di sistemi di monitoraggio predittivi, ha trattato i temi riguardanti la progettazione delle strutture in legno in funzione della durabilità e le diverse criticità che sorgono soprattutto quando il legno ingegnerizzato viene a contatto con acqua e umidità.
- I temi trattati utili al lavoro di tesi: il seminario è stato molto formativo ed è stato utile per capire le principali **criticità** legate alle costruzioni in legno e ha portato in evidenza la possibilità per i progettisti di utilizzare uno **strumento predittivo** per monitorare i livelli di umidità nel legno, per prevenire possibili marcescenze. Sono stati, inoltre, riportati numerosi **casì studio** in negativo.

Edilizia in legno: le regole del buon costruire

- Ente: Maggioli Spa in collaborazione con Federlegno Arredo e THE PLAN
- Seguito il: 16.03.2021
- Contenuto: il webinar ha sottolineato l'importanza della progettazione di un'opera in legno sin dalle prime fasi, quali lo studio dei dettagli costruttivi, la scelta di soluzioni tecnologiche atte a garantire du-

rabilità nelle costruzioni in legno.

- I temi trattati utili al lavoro di tesi: gli interventi di alcuni relatori, come in particolare quello dell'Ingegnere Marco Pio Lauriola, sono stati di grande importanza per capire i **principali errori commessi dai progettisti e/o dagli operatori in cantiere** e le eventuali **buone prassi** per garantire una **maggiore durabilità** di una struttura in legno ingegnerizzato.

Edilizia residenziale in legno: dalla materia prima alle prestazioni in opera

- Ente: Federlegno Arredo spa
- Seguito il: 26.03.2021
- Contenuto: il webinar, al fine di definire un quadro completo dei principali sistemi costruttivi in legno, ha fornito diversi cenni sui requisiti normativi cogenti e alcune regole realizzative principali e di gestione degli impianti, utili a garantire la durabilità delle opere in legno.
- I temi trattati utili al lavoro di tesi: il webinar è stato utile, anche in questo caso, a capire alcune **regole del buon costruire**, con un affondo particolare sul corretto "moisture design".

2.2 I dialoghi

Webinar “Densification with wood”

- Ente: ProHolz
- Moduli:
 - In the midst 14 aprile 5.00 p.m. – 7.15 p.m.
 - On the top 21 aprile 5.00 p.m. – 7.15 p.m.
 - In the court yard 28 aprile 5.00 p.m. – 7.15 p.m.
 - Infill development 5 maggio 5.00 p.m. – 7.15 p.m.

Webinar series “Multi-storey timber construction”

- Ente: ProHolz
- Moduli:
 - Construction, design, wood protection 19 maggio 5.00 p.m. – 8.00 p.m.
 - Tendering, costs, wood life cycle, production 26 maggio 5.00 p.m. – 8.00 p.m.
 - Planning process, bim in timber construction, building services 2 giugno 5.00 p.m. – 8.00 p.m.
 - Acoustic protection, fire protection, thermal protection, efficiency 9 giugno 5.00 p.m. – 8.00 p.m.

- Contenuto: il ciclo di seminari ha lo scopo di garantire un approfondimento di conoscenza per architetti, ingegneri strutturisti e i diversi operatori del settore in merito alle costruzioni in legno, promuovendo la divulgazione delle conoscenze dei diversi esperti del settore.

- I temi trattati utili al lavoro di tesi: i temi trattano tutta la filiera del legno grazie all'intervento di differenti esperti che comprendono produttori di pannelli in X-Lam, Enti di promozione e ricerca, quali ad esempio Holzforschung Austria, architetti e ingegneri Austriaci e non. Questi seminari sono stati utili per comprendere al meglio tutto ciò che circonda la **filiera** del legno e come si evolve e si evolverà, anche in funzione di **nuovi strumenti e**

tecnologie.

Non esiste ancora una letteratura specifica e critica relativa alle lacune, alle mancanze e alle criticità che circondano il mondo delle costruzioni in legno: per questo motivo sono stati organizzati dei dialoghi insieme ad alcuni esperti del settore, con il fine di fotografare lo stato di fatto dopo dieci anni dall'inizio della “sperimentazione” in edilizia nell'impiego di materiali ingegnerizzati a base di legno.

A questi interlocutori sono state poste una serie di domande utili a inquadrare il tema e a individuare le eventuali criticità che loro, in quanto esperti del settore, hanno riscontrato nel corso della loro attività professionale. Di seguito sono riportate le domande poste nel corso delle interviste:

Categoria ricercatori/tecnologi del legno

1. Ci sono a suo avviso dei margini di miglioramento nell'attuale quadro normativo a livello nazionale ed internazionale? Le lacune sono da attribuire, più che al quadro normativo, ad aspetti procedurali, alle competenze delle diverse figure professionali ed operatori?
2. Vi sono differenze sostanziali da questo punto di vista nella conoscenza, nelle competenze sulle costruzioni in legno nei diversi paesi europei?

Categoria professionisti esperti di legno e Normativa:

1. Ci sono a suo avviso dei margini di miglioramento nell'attuale quadro normativo a livello nazionale

ed internazionale? Le lacune sono da attribuire, più che al quadro normativo, ad aspetti procedurali, alle competenze delle diverse figure professionali ed operatori?

2. La Normativa riguardante le costruzioni in legno si è evoluta? La NTC dal 2008 al 2018 è stata migliorata per quanto riguarda il tema della durabilità e della manutenzione?

3. Osservando un incremento di criticità, piani di manutenzione straordinaria e contenziosi intorno alle costruzioni in legno le responsabilità sono da imputare a lacune normative, alla scarsa conoscenza delle prescrizioni o a un tema più complesso rappresentato dalle inefficienze di una filiera produttiva e professionale?

4. Quali sono le eventuali lacune normative con le quali si deve confrontare l'attività progettuale? Documentandoci abbiamo notato che nel caso in cui un progettista riscontri delle problematiche riguardanti l'applicazione della Normativa NTC, dovrebbe rivolgersi tramite l'invio di una PEC al Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, nella realtà invece fa sempre riferimento ad enti e associazioni, non è un processo troppo macchinoso?

5. Le Norme Tecniche Nazionali Italiane sono più limitanti rispetto alle corrispettive di altre Nazioni Europee nei confronti del legno come materiale da costruzione?

6. Quali sono gli errori più frequenti nelle costruzioni in legno (possono infatti dipendere dalla progettazione, dalla posa in opera in cantiere, dalla errata o mancata manutenzione,...)? Gli errori da cosa derivano?

7. A suo parere sarà possibile in futuro costruire degli edifici in Europa seguendo solo un manuale come avviene in Canada?

8. Nell'ambito del processo progettuale si identificano delle fasi nelle quali è più probabile si innescino situazioni in grado di avere ricadute negative sulla durabilità? E' un problema di conoscenza della Normativa, di tipo progettuale, di mancanza di coordinamento delle diverse competenze, di attività di cantiere?

9. Facendo un confronto tra l'Italia e paesi Europei ed Extra EU, all'estero c'è un maggior coordinamento tra le diverse fasi e un protocollo sulla qualità delle costruzioni lignee? Dal punto di vista normativo in Canada, o altri paesi, ci sono prescrizioni diverse da quelle del quadro Europeo?

10. Esiste oggi una specializzazione in ambito professionale, o al contrario è assente, per l'intervento su costruzioni in legno in caso di manutenzione straordinaria, in particolare nel caso di problemi di degrado o di decadimento di prestazioni dei componenti strutturali in legno?

Categoria rappresentanti dei sistemi di certificazione ARCA e FederlegnoArredo:

Oltre alle domande poste alla categoria "professionisti esperti di legno e Normativa" è stata aggiunta un'ulteriore domanda.

11. Esistono dei gruppi di lavoro all'interno dell'associazione che si occupano del tema della durabilità?

2.2.1 Gli esperti

Categoria ricercatori e tecnologi del legno:

Dottor Corrado Cremonini p. 74-75

Dottor Francesco Negro p. 76-77

Professor Roberto Zanuttini p. 78-79

Categoria professionisti esperti di legno e Normativa:

Ingegnere Mauro Andreolli p. 80-81

Ingegnere Emanuele Fornalè p. 82-83

Architetto Mauro Frate p. 84-85

Ingegnere Marco Pio Lauriola p. 86-87

Ingegnere Franco Piva p. 88-89

Categoria rappresentanti dei sistemi di Certificazione ARCA e Federlegno:

Ingegnere Mauro Carlino p. 90-91

Ingegnere Matteo Izzi p. 92-93

Ingegnere Stefano Menapace p. 94-95

Legenda

I temi trattati durante le interviste



La Normativa



La manutenzione



La durabilità



B.I.M. e nuovo tecnologie



La resistenza al fuoco



Rating System



La resistenza al sisma



La cultura



Gli errori



L'estero



I problemi

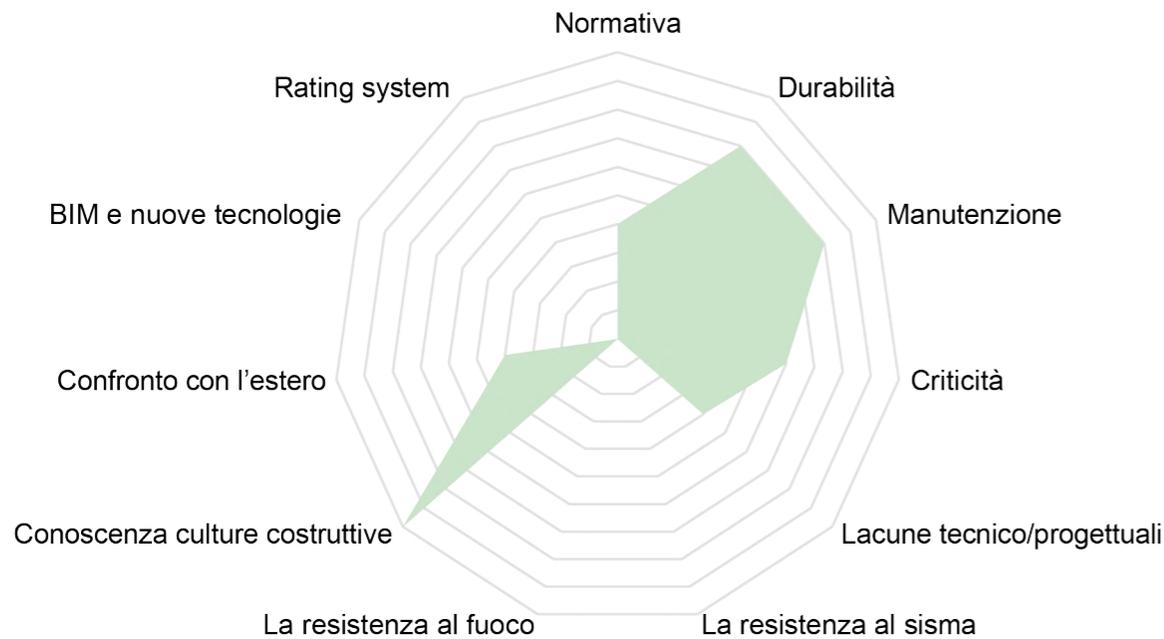


Corrado Cremonini

Ricercatore presso il Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (UNITO)

Nel 1994 consegue la laurea in Scienze Forestali presso la Facoltà di Agraria (UNITO). Lavora come responsabile di un laboratorio di ricerca di una industria di pannelli a base di legno fino a quando, nel 1999, consegue il Dottorato di ricerca presso l'University Henri Poincaré (Nancy) e inizia a lavorare presso il DiSAFA dell'Università degli Studi di Torino, prima come assegnista di ricerca e poi come ricercatore. Oltre alla attività didattica, svolge il ruolo di consulente scientifico del Consorzio Servizi Legno Sughero di FederlegnoArredo.

ARGOMENTI SU CUI L'INTERVISTATO SI E' CONCENTRATO DI PIU' DURANTE L'INTERVISTA



“ E anche a proposito degli errori di realizzazione in cantiere comincia ad esserci un po' di materiale. Secondo me si tratta di diffondere questo materiale. E' inoltre fondamentale diffondere la necessità di avere scuole specifiche per i carpentieri oppure per queste nuove figure professionali. Questo sì che è un vuoto che andrebbe colmato. ”



“ Essendo il legno un materiale di origine naturale, ha le sue caratteristiche e se si trascura, se non si applica questo piano di manutenzione e non si studia bene il suo utilizzo in fase di progettazione, si rischia di progettare una struttura che duri una frazione di quello che dovrebbe durare nella sua vita utile, o che avrà bisogno di interventi importanti e pesanti anche da molto giovane, questo incide sull' economia del sistema. Il legno è bello e va bene ma se non lo usi in modo corretto poi finisce che quella struttura ti costa molto di più di quello che avrebbe dovuto costare. In Italia, non solo per quanto riguarda le strutture in legno, ma quando si tratta di fare manutenzione agli edifici e alle strutture non siamo proprio bravi. ”



“ Bisogna prendere in mano quello che si faceva in passato. C'è un bellissimo esempio in Cina di un edificio che ha più di 1050 anni: è un bellissimo esempio di una corretta progettazione e una corretta manutenzione, ci sono elementi di sacrificio che subiscono la manutenzione periodicamente, i rivestimenti esterni hanno la funzione di protezione, non si badava se una scandola era grigia perché bruciata dal sole, proprio perché la sua funzione era quella di proteggere, non di essere bella. Capite? Ogni tanto ci si sofferma troppo sui contenuti estetici e meno su quelli di tecnologia! Lo dico da tecnologo. ”

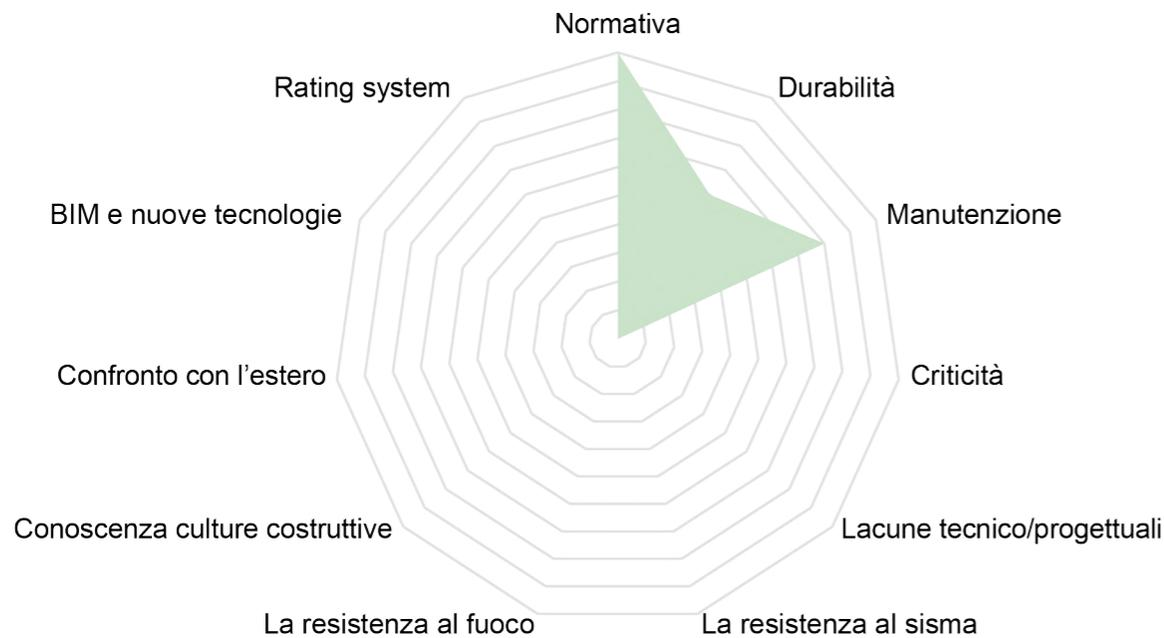


Francesco Negro

Ricercatore presso il Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (UNITO)

Nel 2006 consegue la laurea in Scienze Forestali presso la Facoltà di Agraria (UNITO). Nel 2010 consegue il Dottorato di ricerca in "Philosophy wood technology" presso l'Università degli Studi di Torino, nel 2012 inizia a lavorare presso il Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari a Torino come ricercatore. Oltre all'attività di ricerca, svolge il ruolo di consulente scientifico presso diversi enti.

ARGOMENTI SU CUI L'INTERVISTATO SI E' CONCENTRATO DI PIU' DURANTE L'INTERVISTA



“A livello normativo, in realtà, io direi che oggi il quadro normativo dei prodotti a base di legno, prodotti ingegnerizzati e anche del legno massiccio è ben strutturato, è ben articolato, per carità, può essere perfettibile, è anche in evoluzione, però non parlerei di lacune a livello normativo, anzi, ultimamente la Normativa per i prodotti a base di legno per le costruzioni è stata sviluppata e si è evoluta proprio per consentire al legno e ai prodotti derivati di essere adatti alla moderna progettazione. Quindi il quadro normativo, per quanto dicevo, per carità è perfettibile e in evoluzione, ma è un quadro - come dire - che consente di utilizzare il legno in maniera appropriata e corretta. Il problema degli errori commessi nelle costruzioni in legno è un discorso soprattutto legato alla formazione e all'esperienza pratica dei progettisti.”



“In realtà non è che la manutenzione vada fatta solo per gli edifici in legno, nel senso che anche gli edifici realizzati con altri materiali costruttivi necessitano della loro manutenzione, certo, con modalità differenti e tempistiche differenti. Non è che questa necessità di manutenzione, corretta e programmata, sia da vedere come un aggravio esclusivo degli edifici in legno: è un approccio, è una cultura della manutenzione che bisognerebbe avere, qualsiasi sia la tipologia di materiale è le sue caratteristiche specifiche!”



“Per quanto riguarda la scelta delle specie legnose spesso ci sono anche aspetti oltre a quelli delle proprietà del legno in sé: ci sono aspetti di mercato, di promozione, di disponibilità, ... che vanno a “complicare la questione”. Diciamo che, parlando di specie e di durabilità, con un po' di orgoglio Nazionale, vale la pena spendere due parole sul legno di castagno. Il Castagno è la specie più diffusa in Italia e ha un'ottima durabilità naturale e quindi si presta assolutamente in impieghi in ambiente esterno, come rivestimenti di facciata oppure. Vale la pena sottolineare la possibilità di utilizzare il legno di castagno che ha anche il vantaggio di essere una risorsa disponibile localmente.”



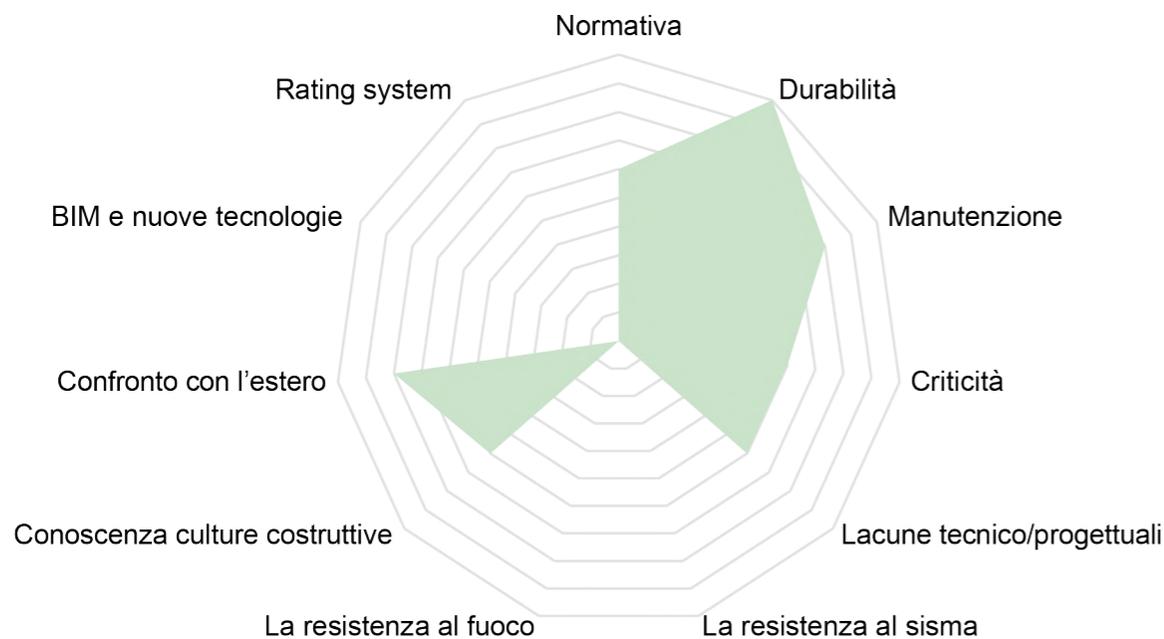
Roberto Zanuttini

Professore Associato presso il DiSAFA (UNITO)

Nel 1982 consegue la laurea in Scienze Forestali presso la Facoltà di Agraria (UNIFI). Insegna per alcuni anni presso la Facoltà di Ingegneria (UniTrento), per poi spostarsi al DiSAFA di UNITO. In tale ambito è docente in vari corsi che trattano argomenti inerenti alle utilizzazioni forestali, le

industrie del legno e i materiali derivati, le certificazioni della filiera. Da anni infatti partecipa all'attività di normazione in ambito UNI, CEN e ISO. E' autore o co-autore di numerose pubblicazioni tecnico-scientifiche su riviste nazionali e internazionali.

ARGOMENTI SU CUI L'INTERVISTATO SI E' CONCENTRATO DI PIU' DURANTE L'INTERVISTA



“

Il legno di Abete, specie poco durabile, è un legno difficilmente impregnabile per cui quando io vado a utilizzarlo in condizioni di esposizione a rischio di umidità (che possono essere o perché, ad esempio, è direttamente esposto alle interperie, piuttosto che inserito in pacchetto dove non può traspirare), sostanzialmente va incontro a problemi e marcescenze che sono legate, da una parte, a una scarsa conoscenza del materiale e, dall'altra, al mancato impiego di una serie di accorgimenti progettuali che eviterebbero i problemi, come ad esempio evitare i contatti con altri materiali, proteggerlo, ventilare, ... le solite regole che vi insegnano a scuola di progettazione.

C'è stato un "boom" nell'impiego del legno, che però non è stato accompagnato da un'adeguata, non tanto esperienza, ma formazione su queste tematiche. Per cui gli errori sono emersi in corso d'opera, alcuni di questi sono stati anche molto gravi, soprattutto si potevano evitare. E' chiaro che il legno va utilizzato per quello che è: quindi è bene evitare ad esempio le superfici piane dove, in caso di intemperie, l'acqua non ha la possibilità di scorrere e ci possono essere infiltrazioni. E' bene fare attenzione ai punti critici che potrebbero essere la radice di collegamento tra la base e la struttura, i balconi, ...”



“

E' obbligatorio avere un piano di manutenzione però poi dovrebbe anche essere obbligatorio farla: il proprietario di una casa in legno deve tenere conto che ci vuole questa manutenzione! Il proprietario dell'edificio deve essere cosciente del fatto di aver a che fare con un materiale che richiede particolare attenzione e manutenzione.”



“

C'è da dire che possiamo utilizzare l'esperienza acquisita anche da altri. Ci sono, ad esempio, in Francia dei quaderni tecnici di progettazione per quanto riguarda le superfici esterne e i rivestimenti esterni in legno che danno indicazioni sulla durabilità della specie, la minima durabilità che la specie dovrebbe avere per poter essere utilizzata in diversi contesti. Anche quello è un tipo di cultura che da noi non c'è ancora e probabilmente sarà necessario diffondere.”



“

La durabilità va progettata.”

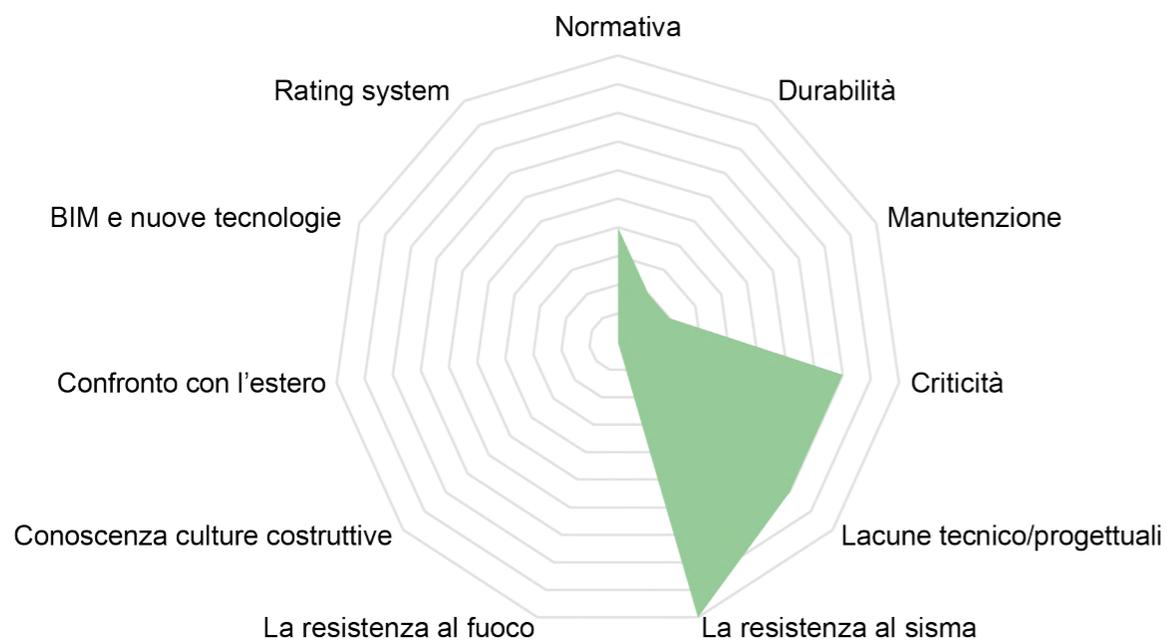


Mauro Andreolli

Ingegnere struttuista, socio fondatore del software "Timbertech"

Ingegnere civile, consegue diversi titoli di studio tra cui un Dottorato di Ricerca in Ingegneria dei Sistemi Strutturali Civili e Meccanici (UniTrento). Svolge per alcuni anni l'attività di ricercatore presso l'Università. E' coautore del brevetto italiano IT2012VR00195 su un "Metodo per la curvatura e la precompressione di travi composite". Fonda lo "spin off" accademico "Timbertech", software per l'analisi strutturale per la progettazione di edifici in legno.

ARGOMENTI SU CUI L'INTERVISTATO SI E' CONCENTRATO DI PIU' DURANTE L'INTERVISTA



Il legno è un materiale "giovane" in Italia quindi abbiamo un aumento dei coefficienti di sicurezza Europei.



- La progettazione per la resistenza al sisma a livello Europeo è carente;
- L'Eurocodice 8 è stato scritto da Paesi Europei che non hanno problemi sismici;
- La NTC 2018 molto vaga e carente;
- Mancanza di conoscenza da parte degli stakeholder: per quanto riguarda la rottura degli "hold-down" è meglio chiodatura parziale che garantisce la duttilità.



- L'Australia ha un Building Code molto arretrato;
- Il Canada ha una progettazione sismica più approfondita;
- La Germania ha un'Appendice all'Eurocodice più esaustiva rispetto a quella italiana.



- Vi è una frammentazione delle figure professionali
- Si riscontra spesso una scarsa conoscenza del materiale legno da parte dei professionisti



- La regola delle "4DS" è molto importante;
- E' necessario insegnare ai professionisti la durabilità;
- Nella NTC è giusto che non ci siano dettagli costruttivi

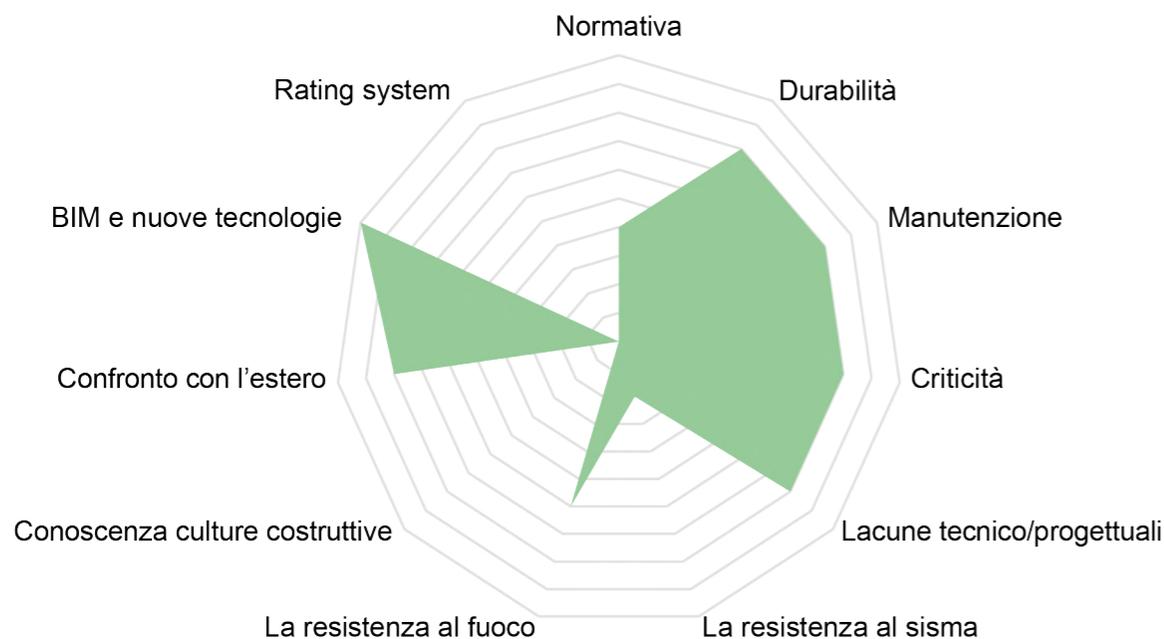


Emanuele Fornalè

Ingegnere struttuista, fondatore dello Studio Fornalè

Laureato in Ingegneria Civile, nel 2009 fonda lo Studio Fornalè che si occupa della progettazione strutturale degli edifici in legno. Collabora da diversi anni con aziende del settore sia per l'ingegnerizzazione sia per la direzione lavori di numerosi edifici in legno.

ARGOMENTI SU CUI L'INTERVISTATO SI E' CONCENTRATO DI PIU' DURANTE L'INTERVISTA



“ Per quanto riguarda la Normativa, sicuramente c'è un margine di miglioramento e ci sono delle lacune da colmare. Sarebbe necessario, infatti, normare gli aspetti legati alla durabilità, che a oggi sono ancora un po' vagamente lasciati al progettista - soprattutto al progettista strutturale - che deve garantire una vita nominale della struttura pari a 50 anni. Il progettista quindi si prende in capo la responsabilità della durabilità, a lungo termine, quando gli strumenti sono inesistenti o comunque si può orientare sulle buone prassi, spesso però utilizzando metodi di dieci anni fa, che ora abbiamo capito essere “sbagliate”. ”



“ La progettazione per la resistenza al fuoco, per quanto riguarda la Normativa, dovrà essere modificata e aggiornata, è in corso e, entro il prossimo anno, uscirà la nuova versione dell' Eurocodice 5 parte 2. Questa parte, infatti, è molto “asciutta”, soprattutto perché negli anni abbiamo avuto un grosso sviluppo del materiale: il tema degli adesivi utilizzati nei pannelli, piuttosto che nelle travi, sono una parte fondamentale nel calcolo delle resistenze al fuoco. Questo tema è ancora un po' indietro e deve essere aggiornato. ”



“ Il problema invece è quando, su interventi di ridotte dimensioni, ci si rivolge a persone meno specializzate che magari fanno capo alle “aziendine” nate negli ultimi anni che si improvvisano, che solitamente si “convertono” dal sistema costruttivo “tradizionale” al legno. Tutto quel “sottobosco di realtà” sono le più problematiche: c'è meno formazione e meno competenza, e di conseguenza più rischi. Parte tutto dal progettista e dalla sensibilità del progettista, perché in primis è il progettista che deve sollevare il tema e se possono esserci criticità lo fa presente all'impresa. ”



“ Per esempio, in Austria, ci sono dal 2005, seppur non normate, delle linee guida sull'attacco a terra degli edifici. Hanno quindi una linea guida! Anche se non è un documento normativo, i progettisti Austriaci hanno comunque la possibilità di scegliere. ”



“ Il BIM è un ottimo strumento per la progettazione, ma non vorrei che, per assurdo, si arrivasse all'estremo opposto: ovvero che l'architetto diventasse un modellatore BIM, perdendo le competenze e le capacità. ”



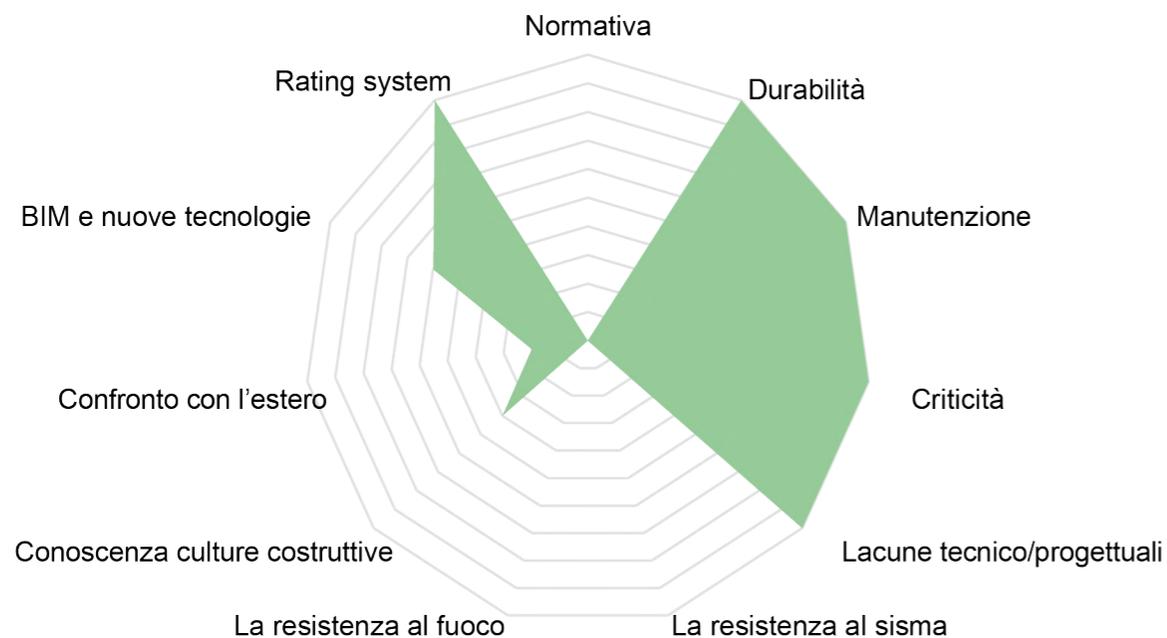
Mauro Frate

Architetto, fondatore dello Studio Mauro Frate Architetti

Consegue la laurea in Architettura nel 1989 presso lo IUAV di Venezia, per il quale svolge al momento attività didattica e di ricerca.

Dal 2009 apre lo Studio Mauro Frate Architetti specializzato nella costruzione di edifici pubblici in legno. Oltre all'attività professionale, svolge il ruolo di consulente presso alcune imprese costruttive. E' autore di numerose pubblicazioni del settore italiane ed estere.

ARGOMENTI SU CUI L'INTERVISTATO SI E' CONCENTRATO DI PIU' DURANTE L'INTERVISTA



“ Allora, suggerirvi che la Normativa non sia perfettibile ovviamente è una “corbelleria”, però io penso che la larga parte del problema stia nella scarsa capacità delle imprese e soprattutto - ahimè - nella scarsa consuetudine che gli architetti italiani hanno con queste tecniche costruttive, ma proprio scarsa, scarsissima! ”



“ Il problema vero siamo noi architetti che siamo un “medium” tra la committenza che vive, sguazza nella beata – legittimamente - ignoranza (in questo paese in modo un po’ grave ma è così), e queste imprese che governano il mercato, che non sono le grandi imprese. Io comunque sono molto deluso - se dovessi raccontare la mia personale esperienza - del “know how” di impresa. C’è poi un aspetto culturale che è molto più rilevante. E questo affligge un po’ diciamo tutti gli operatori coinvolti, tutti gli “stakeholder”. ”



“ Racconto sempre ai più giovani di come un edificio in legno debba sapere di essere in legno, ma questo vale per tutti i materiali e tutte le tecnologie. E poi ci sono anche altri errori, molto difficili da compiere ... ”



“ Per quanto riguarda i “rating system” sono sistemi molto rigidi, molto ragionieristici, le ‘architettura mal si presta a questa cosa. ”

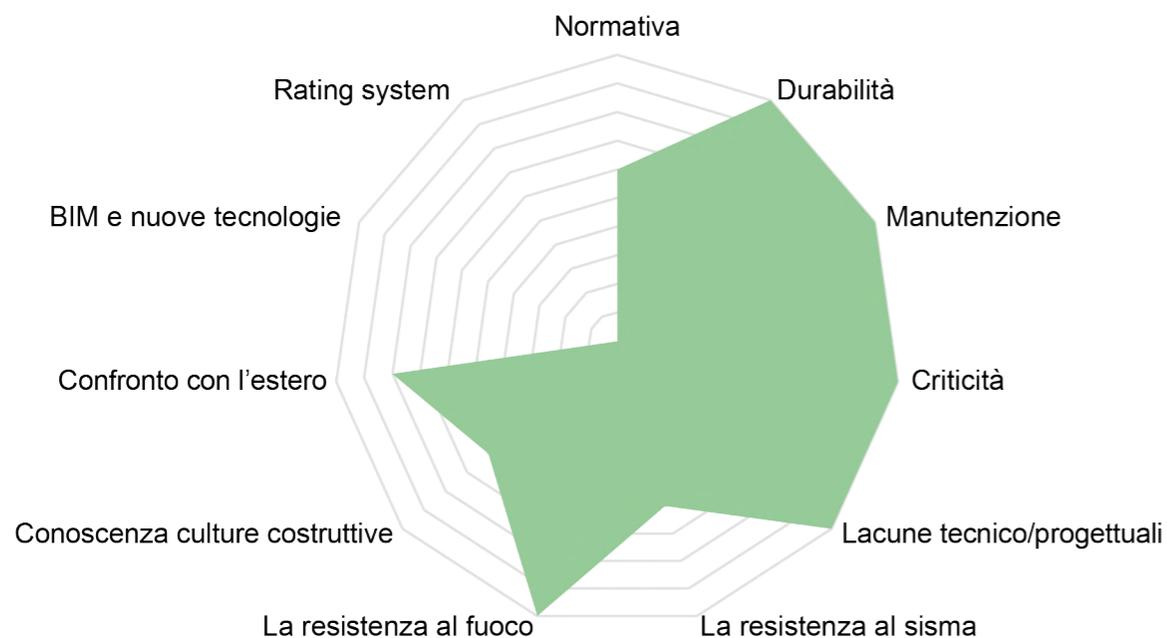


Marco Pio Lauriola

Ingegnere, Docente presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale UNIFI

Consegue la laurea in Ingegneria Civile nel 1994. Dal '94 al '98 è stato titolare di borse di studio presso la sede di Firenze del CNR INVALSA. Fonda nel 2012 lo Studio Timber Design che si occupa della progettazione strutturale, delle indagini diagnostiche sulle strutture in legno progettando interventi di recupero e consolidamento. E' membro del gruppo di studio "Istruzioni per il Progetto, l'Esecuzione e il Controllo delle Strutture di Legno" CNR-DT 206/2007 e CNR-DT 206-R1/2018. E' autore di numerose pubblicazioni del settore italiane ed estere.

ARGOMENTI SU CUI L'INTERVISTATO SI E' CONCENTRATO DI PIU' DURANTE L'INTERVISTA



“Grandi errori di calcolo nelle costruzioni in legno non ne ho mai visti, sono rari, sono invece frequenti gli errori di progettazione dei dettagli costruttivi in funzione della durabilità. A mio avviso questi errori non sono imputabili alla Normativa, perché non può scendere nel dettaglio delle guaine, delle impermeabilizzazioni, ecc.. La normativa stabilisce un principio: quello di progettare la durabilità. Il resto dipende dal bagaglio culturale del tecnico, che spesso manca totalmente. Per le strutture in legno è fondamentale lo studio del dettaglio in funzione della durabilità. Un errore che fanno gli architetti è che non progettano il dettaglio.”



“Errori più frequenti quindi sono: l'attacco al piede, le impermeabilizzazioni, i balconi, i parapetti. E secondo me dipende dalla progettazione, perché ricordatevi che la prima responsabilità è in capo al progettista, deve essere il progettista e il Direttore dei Lavori a decidere i dettagli costruttivi, l'impresa esegue e basta, non si può dare la colpa all'impresa, a meno che l'impresa non esegua male quello che le è stato detto di fare.”



“I primi al mondo per normativa e come cultura delle costruzioni in legno sono i Canadesi e i Giapponesi. Le migliori pubblicazioni sono proprio dei Canadesi. In Europa, invece, abbiamo la Germania e l'Austria. Sicuramente l'Austria si sta muovendo molto perché ha interessi commerciali un po' in tutta Europa: è infatti il maggior produttore di legno a livello Europeo, ha quindi un interesse commerciale nel diffondere la cultura degli edifici in legno.”

“Il maggior coordinamento delle diverse fasi progettuali e tra i diversi "stakeholders" si ha nei paesi dove la cultura del legno è maggiormente radicata, come il Canada, gli Stati Uniti e il Nord Europa. Mentre in Italia non è così perché la maggior parte degli attori del processo sono improvvisati. Per esempio gli impiantisti: in Italia quando intervengono su un edificio di legno pensano di dover "fare le tracce", come si fa per gli edifici in muratura, non sanno che gli impianti vanno fissati. In più, se il progettista "non ne sa nulla" e l'impresa fino all'altro ieri faceva edifici in cls, di conseguenza non c'è nessuno che coordina perché non vi è la capacità di coordinare. Il coordinamento è sempre svolto dai tecnici, ma se i tecnici non hanno formazione, non sanno coordinare. All'estero c'è maggiore sensibilità e formazione per le strutture in legno e quindi c'è anche maggior coordinamento, almeno nei paesi in cui il legno si è usato in maniera tradizionale.”



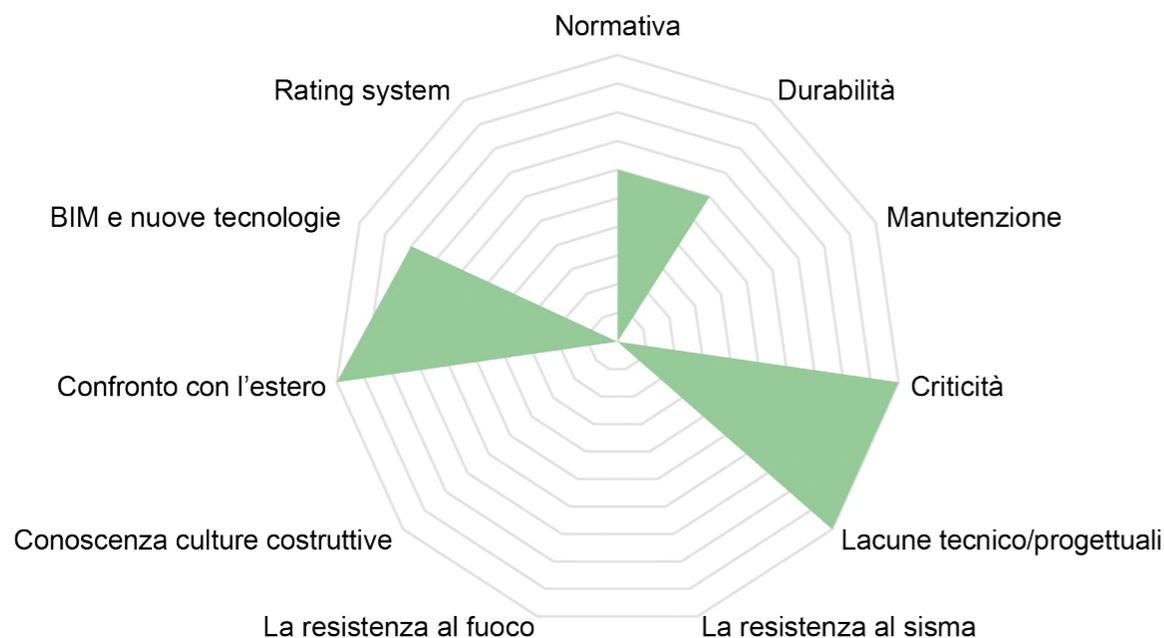
Franco Piva

Ingegnere, Fondatore dello Studio Egodomus

Consegue la laurea in Ingegneria Civile nel 2003 presso l'UniTrento.

Svolge il ruolo di docente presso l'Agenzia per l'Energia Alto Adige CasaClima. E' un consulente per l'ingegnerizzazione dei prodotti in legno presso ModusLam. Nel 2007 fonda lo studio Ergodomus che si occupa dell'ingegnerizzazione delle strutture in legno offrendo un approccio integrato.

ARGOMENTI SU CUI L'INTERVISTATO SI E' CONCENTRATO DI PIU' DURANTE L'INTERVISTA



“ Di per sé la Normativa prescrive la durata di una struttura, indica infatti la vita nominale in base alla categoria. La Normativa non è però un manuale di istruzioni: non possiamo aspettarci che sia colpa della Normativa se la casa in legno marcisce, la casa in legno marcisce non per colpa del legno, ma per colpa di qualcuno che non l'ha progettata e montata in modo corretto. La Normativa sottolinea ad esempio la necessità di controllare i materiali per garantire la durabilità della struttura. La Normativa prevede che il progettista rediga anche un piano di manutenzione dell'edificio, ad esempio. Sono tutte bellissime cose ma poi bisogna che queste vengano rispettate sia in cantiere sia in fase d'uso dell'edificio. ”



“ A livello normativo il più grosso deficit è rappresentato dalla questione della progettazione per la resistenza al fuoco. La “questione del fuoco” è la più dibattuta ed è quella che al momento limita le dimensioni complessive globali dell'edificio, soprattutto quelle in altezza. Il metodo di calcolo in caso di incendio, presente sul codice attuale, oggi, è totalmente superato e obsoleto. ”



“ Vi è sicuramente una mancanza di conoscenza generale del progettista e una mancanza di conoscenza del Direttore Lavori. Il Direttore Lavori è uno che dovrebbe dormire sonni molto agitati dopo che approva determinate scelte: ha per esempio il compito, per legge - e la NTC2018 lo sancisce perfettamente -, di verificare quello che arriva in cantiere. Se questa figura non ostacola e/o blocca l'ingresso in cantiere e/o la messa in opera della merce fallace, è corresponsabile di eventuali problemi, perché non ne ha vietato l'utilizzo. ”



“ Il BIM, all'estero, è più usato rispetto che in Italia, senza alcun dubbio [...]. All'estero, per quanto riguarda progetti di una certa dimensione, il progettista lavora in tre dimensioni e questo rende il coordinamento tra le figure molto più semplice e immediato. ”

“ In Svezia, il costo dell'edificio non si basa più solo sul costo del materiale €/m³ o €/t, ad esempio, ma è il costo €/CO₂! ”

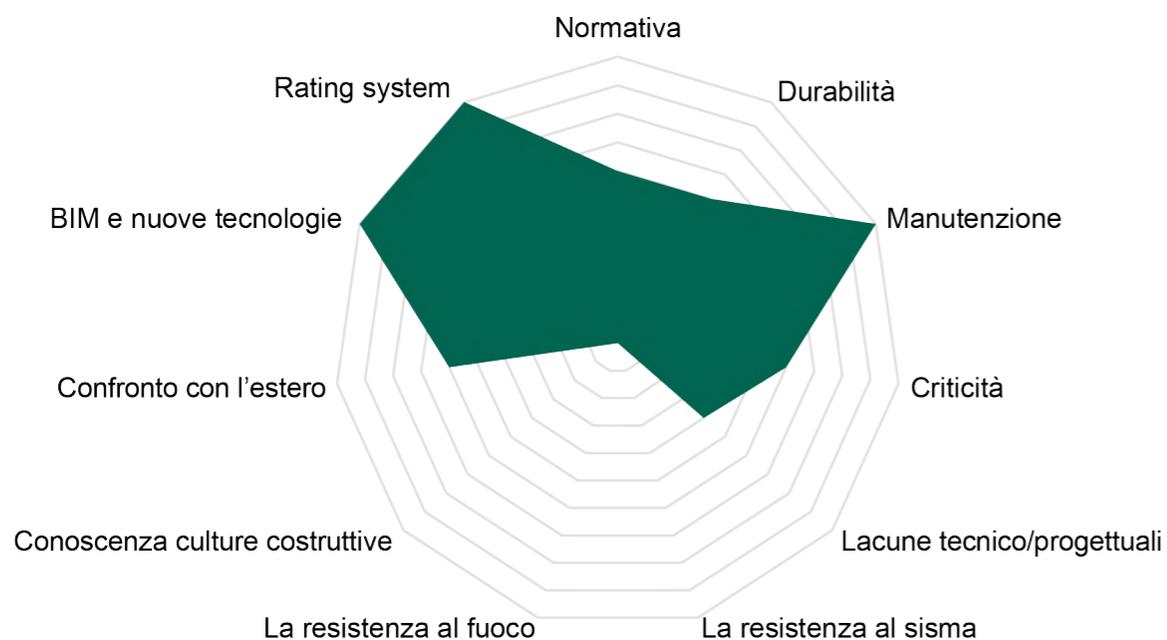


Mauro Carlino

Ingegnere, Project Manager di ARCA

Consegue la laurea in Ingegneria Civile presso l'UniTrento. Collabora nel 2012 con Habitech, Distretto Tecnologico Trentino, per la gestione dell'iter di certificazione ARCA. Svolge il ruolo di Project Manager presso Habitech, Distretto Tecnologico Trentino ed è membro del comitato tecnico ARCA. Organizza diversi corsi formativi per gli utenti di ARCA e i progettisti.

ARGOMENTI SU CUI L'INTERVISTATO SI E' CONCENTRATO DI PIU' DURANTE L'INTERVISTA



“ Si progetta un po' alla vecchia maniera. [...] Secondo me il problema non è solo lacuna normativa, diciamo che la Normativa arriva fino a un certo punto. Considerando il tutto secondo una visione olistica, il buon costruire dipende dalle regole del buon costruire, dalle buone prassi che si acquisiscono con l'esperienza nel tempo, dalla formazione dell'intero settore. Quindi dire che non è solo colpa della Normativa: si dovrebbe puntare su un salto di qualità e di copertura della formazione, comprendendo tutto il settore. ”



“ Per quanto riguarda la durabilità, ci sono delle cose che chiaramente non possono essere regolamentate, per non avere edifici fatti tutti uguali, però insomma ci sarebbero delle linee guida da implementare sicuramente. Noi come ARCA [...], abbiamo appunto cercato di dare delle buone prassi, dei criteri prestazionali per mitigare il rischio di umidità di risalita, umidità di condensazione delle strutture, però restiamo un protocollo volontario. ”



“ A livello Europeo ci sono delle esperienze di Normative che invece regolano la durabilità: in primis c'è una DIN tedesca [...], e ci sono anche delle linee guida di carattere volontario, redatte dall'”Holzforschung” Austria che trattano il tema dell'attacco a terra, per esempio. ”

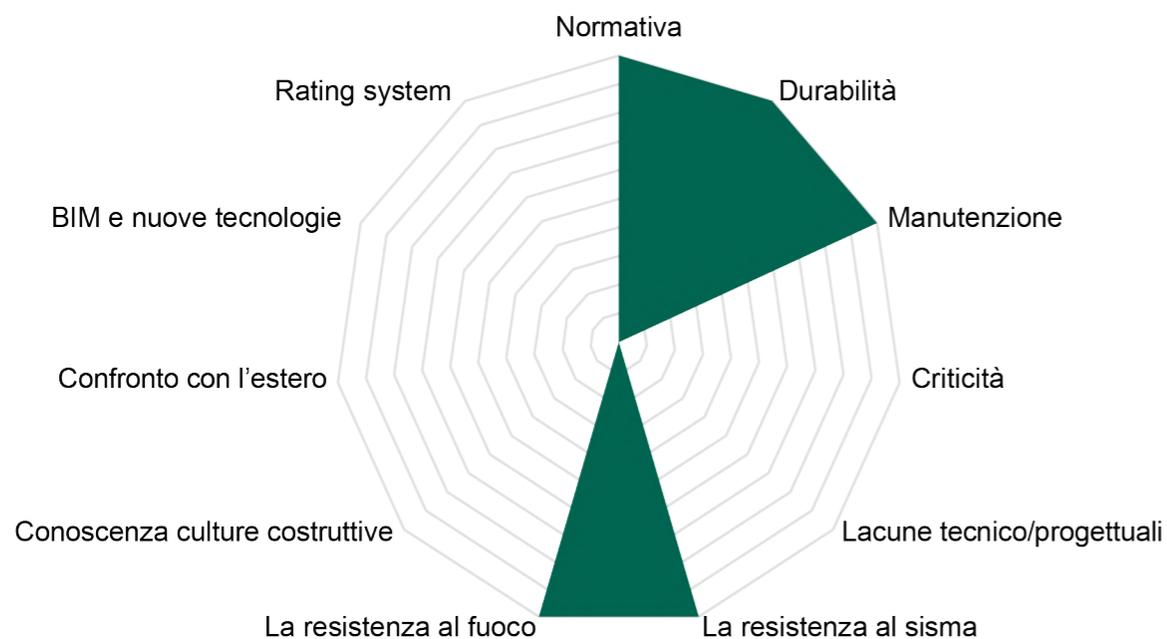


Matteo Izzi

Ingegnere, Referente di
Assolegno (FederlegnoArredo)

Consegue il Dottorato di Ricerca in Ingegneria presso l'Università degli studi di Trieste. Dal 2015 al 2017 svolge attività di ricerca sul comportamento in zona sismica degli edifici in legno presso il CNR INVALSA. Collabora con diversi Istituti di Ricerca Italiani ed Europei. E' autore di numerose pubblicazioni internazionali del settore. Inoltre è specialista di Normativa Tecnica per Assolegno (FederlegnoArredo).

ARGOMENTI SU CUI L'INTERVISTATO SI E' CONCENTRATO DI PIU' DURANTE L'INTERVISTA



- La parte dell'Eurocodice per quanto riguarda la progettazione di resistenza al fuoco è molto carente e arretrata;
- E' importante il concetto di compartimentazione;
- Il concetto di "zero-strenght layer" è importante e sarà presente nell'aggiornamento dell'Eurocodice 5 1.2.;
- La resistenza al fuoco è poco trattata, manca il concetto di delaminazione.



- Manca il concetto di sovrarresistenza;
- L'Eurocodice 8 è in fase di revisione.



Per la progettazione della durabilità bisogna fare riferimento alle UNI EN 350, UNI EN 335 e UNI EN 460.



- In Austria hanno delle linee guida redatte dall'"Holzforshung";
- In Germania utilizzano l'Eurocodice e l'Appendice Nazionale dell'Eurocodice;
- Il RISE della Svezia sta studiando il fenomeno della delaminazione dei materiali ingegnerizzati a base di legno, che avviene quando esposti al fuoco.

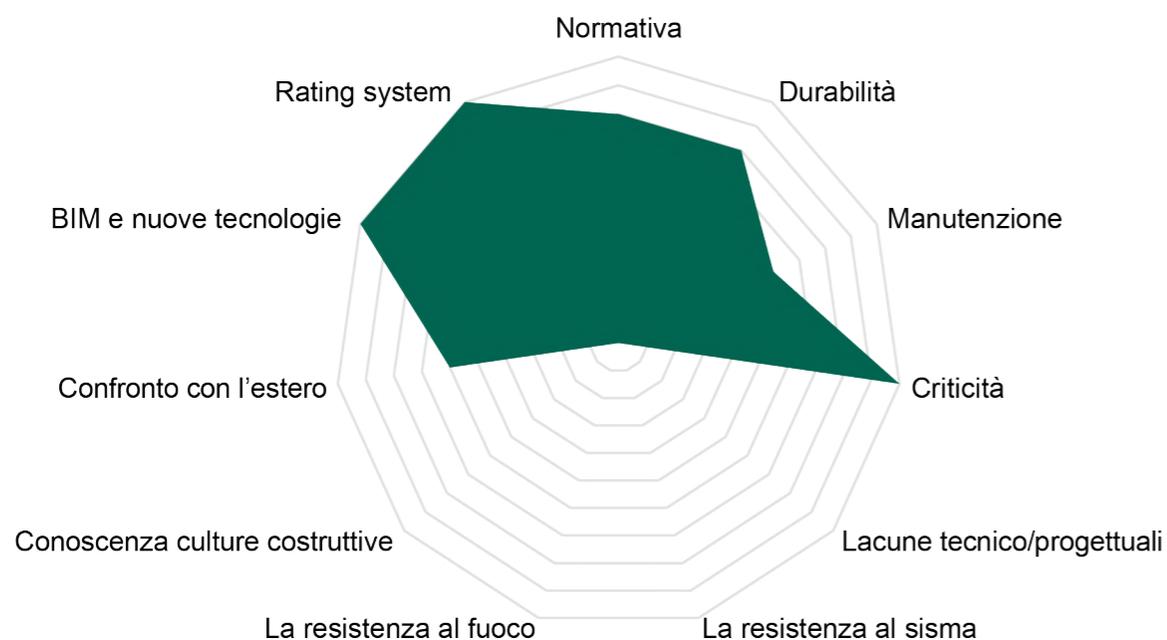


Stefano Menapace

Ingegnere, Coordinatore
Tecnico di ARCA

Consegue la Laurea in Ingegneria Civile nel 2000 presso l'UniTrento. Nel 2005 fonda ARM Process, una rete di professionisti che operano in diversi settori. E' un esperto di conformità dei prodotti da costruzione e ideatore della Certificazione ARCA.

ARGOMENTI SU CUI L'INTERVISTATO SI E' CONCENTRATO DI PIU' DURANTE L'INTERVISTA



“ Per quanto riguarda la Normativa, il miglioramento è sempre possibile, si può fare molto: ad esempio il tema durabilità non è solo importante per le soluzioni in legno, ma lo è per tutti i materiali da costruzione, sia per l'acciaio e non di meno per il calcestruzzo. ”



“ ARCA, per esempio, richiede un piano di manutenzione, diviso in tre ambiti: la parte generale quindi quella più estetica, la parte strutturale e quella degli impianti (che hanno una vita a parte perché dipende dal tipo di impianto e il ciclo di ricambio dell'impianto). ”



“ Oggi anche le Norme Tecniche per le Costruzioni prendono in considerazione gli aspetti della durabilità: la durabilità è infatti un concetto che va ben oltre il concetto dei primi anni di vita, oltre il tempo di fare il collaudo della struttura, va ben oltre i 10 anni di responsabilità del costruttore. La durabilità deve essere una condizione indispensabile nel valutare quali possono essere i prodotti migliori o le soluzioni migliori per il contesto specifico in cui si colloca il progetto, non è mai una soluzione di campo ma è sempre una soluzione tecnica. ”



“ All'estero, per esempio, per quanto riguarda la progettazione uno strumento molto utilizzato è il BIM. Questo non è legato a una questione di stile o di moda, ma è dovuto a questioni di efficienza e produttività, non è solo una questione economica: la produttività ha in sé anche la riduzione degli errori e gli errori portano problemi. ”

2.3 Gli errori commessi nelle costruzioni in legno

WHAT PEOPLE THINK

Il legno è un materiale biodegradabile, non può essere utilizzato come materiale strutturale!

Le carenze e gli errori nelle costruzioni in legno sono dovute al fatto che in Italia, a partire dal Secondo Dopoguerra si è costruito principalmente in calcestruzzo e questo ha portato a perdere le buone pratiche accumulate nei secoli.

Le imprese e i progettisti si improvvisano, mancanza di un "know-how".

Gli edifici sono progettati senza pensare al materiale strutturale e poi vengono adattati.

Mancano linee guida e buone pratiche a cui fare riferimento.

I diversi "stakeholder" non comunicano tra di loro.

Mancanza di formazione e conoscenza.

WHAT PEOPLE CAN'T SEE

2.4 I temi emersi dalle interviste

« Un adeguato livello di durabilità può essere garantito progettando la costruzione, e la specifica manutenzione, in modo tale che il degrado della struttura, che si dovesse verificare durante la sua vita nominale di progetto, non riduca le prestazioni della costruzione al di sotto del livello previsto.

Tale requisito può essere soddisfatto attraverso l'adozione di appropriati provvedimenti stabiliti tenendo conto delle previste condizioni ambientali e di manutenzione ed in base alle peculiarità del singolo progetto, tra cui:

- a) scelta opportuna dei materiali;
 - b) dimensionamento opportuno delle strutture;
 - c) scelta opportuna dei dettagli costruttivi;
 - d) adozione di tipologie costruttive e strutturali che consentano, ove possibile, l'ispezionabilità delle parti strutturali;
 - e) pianificazione di misure di protezione e manutenzione; oppure, quando queste non siano previste o possibili, progettazione rivolta a garantire che il deterioramento della costruzione o dei materiali che la compongono non ne causi il collasso;
 - f) impiego di prodotti e componenti chiaramente identificati in termini di caratteristiche meccanico-fisico-chimiche, indispensabili alla valutazione della sicurezza, e dotati di idonea qualificazione, così come specificato al Capitolo 11;
 - g) applicazione di sostanze o ricoprimenti protettivi dei materiali, soprattutto nei punti non più visibili o difficilmente ispezionabili ad opera completata;
 - h) adozione di sistemi di controllo, passivi o attivi, adatti alle azioni e ai fenomeni ai quali l'opera può essere sottoposta.
- Le condizioni ambientali devono essere identificate in fase di progetto in modo da valutarne la rilevanza nei confronti della durabilità. »

Durabilità da NTC 2018 2.2.4. Fonte: D.M., 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni", 4.4.13. Durabilità

2.4.1 LA DURABILITA'

Il tema della durabilità è stato il **fulcro** da cui sono nate una serie di argomentazioni oggettive e soggettive che sicuramente sono state utili per comprendere al meglio il mondo delle costruzioni in legno. La durabilità è uno di quei **"fattori di forma"** che dovrebbe caratterizzare l'architettura, ma spesso viene posta in secondo piano, non solo dai progettisti ma anche dalla stessa Normativa cui fanno riferimento.

La Normativa NTC riserva uno spazio marginale a questo tema: vengono fornite solo informazioni molto generali, come si può notare dalla definizione nel capitolo 2 "Sicurezza e prestazioni attese", paragrafo 2.4, nella pagina a fianco.

Il progettista, al momento, per garantire una vita nominale di progetto di una costruzione, con livelli di prestazione ordinari (come da Tab. 2.1, riportata sotto), non può che far affidamento alle proprie

conoscenze ed eventualmente a una serie di linee guida proposte da enti di promozione, associazioni di settore, ... (Fonte: <https://www.ingegneri.cc/vita-nominale-di-progetto.html/>)

Ciò su cui hanno concordato i diversi intervistati è che la Normativa deve essere usata come uno strumento, con il fine ultimo di raggiungere una corretta progettazione: è sicuramente perfettibile da diversi punti di vista – che nella tesi saranno approfonditi – ma non può dare delle indicazioni prescrittive su come risolvere i nodi critici che determinano la durabilità di un edificio, sta invece alla capacità del singolo progettista mettere in atto determinate soluzioni. Questo in parte è già così, ma deve essere **implementata la formazione** - e conseguentemente le linee guida a cui fare riferimento - attraverso la divulgazione a tutti progettisti, portandoli ad avere consapevolezza del materiale biotico e igroscopico con cui progettano.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella 2.1: tabella 2.4.I Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni. Fonte: D.M., 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"

2.4.2 GLI STRUMENTI E I PROTOCOLLI PER LA QUALITÀ DELLE COSTRUZIONI IN LEGNO

Al momento in Italia il progettista ha a disposizione **diversi strumenti** per poter realizzare un edificio con struttura lignea a regola d'arte: i protocolli di certificazione, l'attività delle associazioni di settore/enti di promozione e i manuali.

I **protocolli di certificazione** ad oggi attivi in Italia sono ARCA e S.A.L.E..

La certificazione **ARCA** nasce in seguito all'esperienza del progetto SOFIE, un edificio di sette piani realizzato in pannelli in X-Lam che, nel 2007, è stato sottoposto a diverse sperimentazioni, tra cui una prova al fuoco e una prova di resistenza a un sisma di magnitudo 7.2 della scala Richter.

Lo scopo di ARCA è quello di promuovere e incentivare un'edilizia qualitativa in legno, andando a certificare l'edificio "chiavi in mano".

ARCA è un metodo di certificazione multi-criterio, nel quale è necessario seguire un approccio prestazionale per ottenere un punteggio che andrà a determinare il grado di classificazione dell'edificio, che va dal "Green" con un punteggio minimo, al "Platinum", con un punteggio massimo.

Il protocollo di qualità **S.A.L.E.** (Sistema Affidabilità Legno Edilizia) nasce invece dalla collaborazione tra Assolegno e Conlegno - due associazioni di settore - con lo scopo di raggruppare le diverse imprese edili che costruiscono edifici in legno a regola d'arte. Il sistema permette l'accesso ad alcune agevolazioni dal punto di vista finanziario, tra cui linee di credito e sconti sui tassi di polizze per eventuali incendi per i committenti privati, e linee "CAR" e postuma per l'impresa. Questa garanzia incentiva la diffusione degli edifici realizzati con struttura in legno, provando a limitare i pregiudizi legati all'uso di questo materiale: dalle interviste è infatti emerso che in passato, con l'avvento dell'impiego del legno ingegnerizzato come materiale strutturale, difficilmente le banche concedevano un mutuo per una casa in bio-edilizia, per via di un preconcetto culturale.

Una questione che è emersa durante le interviste è che sicuramente i sistemi di certificazione prestazionali, quali la LEED, CasaClima, ITACA, ARCA, S.A.L.E. ... hanno il merito di aver superato la barriera dei pregiudizi legati alla sostenibilità nell'architettura, ma risultano essere dei sistemi *"a crocette, molto rigidi, e l'architettura mal si presta a questi sistemi, perché spesso dimenticano la specificità dei progetti, fatti di luoghi, persone e tipi di utilizzo"*¹

I due protocolli di certificazione prima citati verranno approfonditi nel capitolo 5.

Le **associazioni di settore** e/o federazioni sono numerose e molto attive, quelle in particolare più influenti e conosciute in Italia sono Promo_legno, di derivazione Austriaca, e FederlegnoArredo.

Promolegno nasce dalla collaborazione di ProHolz – Austriaca – e le associazioni di categoria Italiane. Con lo scopo di incentivare e promuovere l'utilizzo del legno in architettura, propone pubblicazioni tecnico-scientifiche, diverse attività di formazione (organizzando ad esempio seminari) e di consulenza, tramite il servizio "Promo_legno risponde".

FederlegnoArredo è una federazione che fa parte del sistema di Confindustria e raggruppa le imprese italiane legate alla filiera del legno, dividendole in dodici diverse categorie in funzione dei diversi settori di appartenenza. **Assolegno** è la categoria che riguarda il settore dell'architettura e fornisce diversi servizi, tra cui una formazione continua sui temi di attualità, dei servizi di consulenza professionale e una tutela degli interessi del comparto, interfacciandosi con le associazioni Europee.

L'approccio dei diversi Enti di promozione Italiani ed Esteri sarà approfondito nel capitolo 5.

Oltre alle pubblicazioni realizzate dagli enti di certificazione e dalle associazioni di settore, si trovano una grande quantità di manuali prodotti sia dalle aziende legate alla filiera produttiva del legno – ovvero i cosiddetti **"white papers"** - sia da una serie di esperti e ricercatori universitari.

2.4.3 GLI ERRORI E LA FORMAZIONE

Durante le diverse interviste si è molto discusso il **tema degli errori** (gli errori verranno approfonditi nel capitolo 3 e 4) che spesso vengono commessi nella progettazione/costruzione degli edifici in legno. I diversi esperti, oltre ad indicare gli errori più frequenti - come ad esempio la scorretta progettazione e posa in opera dei nodi critici quali l'attacco a terra, il nodo parete balcone, l'uso concettualmente errato del legno come materiale strutturale, ... - sono stati concordi nell'affermare che la **responsabilità** è legata, non solo ai progettisti, ma a tutti gli "stakeholders" del settore. Il quadro che ne traspare, senza ovviamente generalizzare, è quello di un Paese in cui *"si costruisce alla vecchia maniera"*², con imprese e progettisti poco formati sul tema delle costruzioni in legno.

Un intervistato ha sottolineato come la **carente formazione** delle diverse figure professionali sia imputabile al fatto che, storicamente, a partire dal Secondo Dopoguerra in Italia si è costruito principalmente in calcestruzzo armato, mentre il legno è stato "relegato alla stregua" di un materiale da costruzione secondario, utilizzabile solamente per gli edifici di emergenza. Questo, secondo alcuni, ha portato a perdere in parte le buone pratiche accumulate nei secoli e a far sì che non vi sia al momento una vera e propria cultura recente legata all'uso di questo materiale. Questa "versione della storia" però vuole trovare un "alibi" per la cattiva progettazione e il pessimo utilizzo - da parte di al-

cuni “stakeholders” improvvisati - di materiali ingegnerizzati a base di legno che sono comparsi sul mercato solamente negli ultimi vent’anni e, quasi da subito, hanno avuto un riscontro Normativo, che comunque si è sviluppato negli anni. Questo tema, a nostro parere, non è la causa degli errori nelle costruzioni in legno.

La **scarsa comunicazione** tra i diversi “stakeholders” porta a un “panorama” molto frammentato, in cui la possibilità di commettere errori risulta essere elevata. Una prassi recente è quella in cui il progettista poco esperto in costruzioni di legno, spesso un architetto, si occupa solamente della “parte” architettonica e affida la progettazione ingegneristica a un’azienda specializzata (comunemente di origine Altoatesina) che ingegnerizza il progetto: con questo approccio *“l’edificio in legno non sa di essere in legno”*³. Questa suddivisione dei ruoli risulta essere meno accentuata nella progettazione di opere pubbliche poiché, essendo obbligatorio l’utilizzo di un programma **B.I.M.**, viene favorita una miglior comunicazione tra i diversi ruoli.

A tal proposito sembrano esserci due pareri discordanti nel gruppo degli intervistati: coloro i quali sostengono che l’utilizzo del B.I.M. nella progettazione residenziale sia eccessivo in quanto un edificio residenziale non sia paragonabile, come dimensione, a un edificio pubblico, in cui invece l’utilizzo di questo sistema è obbligatorio; chi invece è propenso all’utilizzo di software di “Building Information Modeling” seguendo l’esempio dell’Estero.

2.4.4 SOTTOVALUTARE L’IMPORTANZA DELLA MANUTENZIONE

Una **“consuetudine tipica”** nell’edilizia è legata alla sottovalutazione dell’importanza del Piano di Manutenzione, nonostante questo sia obbligatorio: *“si fa (rif. a il Piano di Manutenzione) ma è solo un malloppo di carta che resta lì. Il privato neanche sa di averlo. Il Piano di Manutenzione, dopo essere stato progettato, va depositato al Genio Civile, ma appunto il privato non sa di averlo. Invece per quanto riguarda il settore Pubblico funziona: esistono realtà molto strutturate, in cui si delega a una figura il compito di seguire la manutenzione dell’immobile e di programmarla. Invece, nel privato, i Piani di Manutenzione sono “un copia e incolla”. Non voglio generalizzare però, finché non si presenta il danno non si interviene, aspetti il problema e poi lo risolvi.”*⁴.

Il protocollo S.A.L.E., probabilmente cosciente di questa tendenza, prevede, ad esempio, che il committente certifichi il possesso del Piano di Manutenzione fornito dall’impresa costruttrice tramite una lettera di ricevuta.

Con l’entrata in vigore della legge 107/96, la cosiddetta “Merloni”, in Italia la redazione del **Piano di Manutenzione dell’opera architettonica è diventata obbligatoria**: è infatti fondamentale progettare e programmare interventi di manutenzione ordinaria – oltre che straordinaria - per garantire la vita utile di un’opera. Questa buona pratica, infat-

ti, sembra essersi persa centinaia di anni fa: *“Nel periodo Rinascimentale le strutture erano sempre provviste di un efficiente sistema di percorsi e camminamenti d’ispezione posizionati in punti ben precisi da cui era possibile percepire movimenti o danni verificatisi anche a distanza dal camminamento. Con l’avvento del Barocco si perde più o meno velocemente questa buona consuetudine.”*⁵. Un’altra buona pratica, rifacendosi sempre al passato, è quella di prevedere degli **elementi di sacrificio**, a protezione della struttura, facilmente sostituibili.

2.4.5 CONCLUSIONI

In conclusione il quadro complessivo che ne risulta è che, per raggiungere l’obiettivo di costruire edifici in legno a regola d’arte, è necessaria una completa **formazione** di tutti gli “stakeholders”, non solo dei progettisti. E nel caso in cui si parli di certificazione, è necessaria una completa **verifica dei processi e dei livelli prestazionali**.

Le interviste sono state utili per mettere in luce le diverse tematiche che caratterizzano il “mondo” delle costruzioni in legno e dell’attuale dibattito Nazionale e Internazionale. L’**approccio** che ne deriva è quello, innanzitutto, di analizzare i principali **“fattori di forma”** che determinano la durabilità delle costruzioni in legno: la resistenza al sisma, la resistenza al fuoco e la “durabilità in senso lato”, comprendente il tema della manutenzione. Per inquadrare l’attuale progettazione delle costruzioni in legno è stata analizzata la ricerca e sperimentazione più recente, arrivando così a definire delle criticità legate, da una parte alle Normative vigenti (confrontando tra di loro le diverse norme Nazionali, Europee e Internazionali), e dall’altra al “grande tema” degli errori.

Note a pie’ di pagina

¹ Intervista del 27 Febbraio 2021 all’architetto Mauro Frate

² Intervista del 4 Marzo 2021 all’Ingegnere Mauro Carlino

³ Parafrasando l’intervista del 27 Febbraio 2021 all’architetto Mauro Frate

⁴ Intervista del 5 Marzo 2021 all’Ingegnere Emanuele Fornalè

⁵ Citazione da “Follesa M., Lauriola M.P., Moschi M., 2011, *Durabilità e manutenzione delle strutture in legno*, Milano, Ticom Srl – Piacenza, p. 69”

I TRE FATTORI DI FORMA



3.1 La durabilità e la manutenzione

p.107

3.2 Il sisma

p.147

3.3 Il fuoco

p.167

3.1 La durabilità e la manutenzione

La durabilità in senso lato e la manutenzione sono sicuramente due fattori di forma fondamentali che caratterizzano gli edifici in legno. Per “**durabilità in senso lato**” si intendono tutti quegli accorgimenti e quelle azioni che il progettista dovrebbe mettere in atto per garantire una resistenza alle azioni del tempo e delle intemperie, al di là della progettazione per la resistenza al sisma e al fuoco che, pur concorrendo all’obiettivo comune di garantire una vita nominale di cinquant’anni di un edificio, costituiscono due progettazioni “a parte”.

Senza entrare nello specifico delle tecniche e delle tecnologie costruttive, è possibile fare un confronto dei diversi approcci utilizzati per garantire la durabilità dei principali materiali da costruzione. Per garantire la durabilità di un pilastro in **calcestruzzo armato**, ad esempio, il progettista deve prevedere uno spessore sufficiente del copriferro, a seconda dell’esposizione e della localizzazione del fabbricato; per l’**acciaio**, invece, è possibile prevedere un trattamento preservante a base di zinco, mentre per il **legno** le accortezze da mettere in atto non riguardano solamente il materiale - esistono, ad esempio, trattamenti preservanti... - ma sono anche legate ad alcune buone prassi, quali evitare che gli elementi in legno entrino a contatto con acqua o umidità, garantire al materiale una certa traspirabilità per permetterne un equilibrio igroscopico con l’ambiente...

Non può esserci però durabilità se non vengono applicate in maniera frequente delle **azioni di manutenzione**: il discorso non si applica solamente agli edifici realizzati con una struttura in legno ma a tutte le tipologie costruttive, seppur gli edifici in legno siano più “sensibili” a una mancata manutenzione. Ciò che è emerso dalle interviste è un atteggiamento di “sottovalutazione” del piano di manutenzione, sia da parte dei progettisti stessi, sia da parte dei committenti: i progettisti spesso non redigono loro stessi il Piano di Manutenzione e i committenti, il più delle volte, non sono nemmeno a conoscenza dell’esistenza di un Piano di Manutenzione e, in ogni caso, intervengono una volta che emerge il problema in modo particolarmente evidente.

“Pure l’insuccesso, dovuto agli errori che si compiono è un buon campo di insegnamento, anche perchè è subito denunciato: bastano infatti pochi anni perchè il legno palesi il suo degrado e con esso l’ignoranza di chi l’ha posto in opera, o abbia scelto una specie non durevole per quell’ambiente, o non l’abbia opportunamente trattata, ma soprattutto perchè l’abbia inutilmente esibita all’acqua e ai raggi ultravioletti e non sia riuscito ad allontanare l’acqua”

FRANCO LANER

(Laner F., 2005, Prontuario 3 Durabilità e manutenzione delle costruzioni di legno, Milano, promo_legno, p. 5)

3.1.1. La regola delle 4D

Il **Canadian Wood Council** (CWC) è una federazione Nazionale di associazioni che rappresenta l'industria Canadese dei prodotti in legno. Lo scopo principale della federazione è quello di divulgare l'utilizzo del legno Canadese attraverso la stipulazione di codici, standard, linee guida, ricerche, ...

Il CWC, attraverso numerose ricerche, si è occupato in maniera molto approfondita del tema della durabilità nelle costruzioni in legno. Numerosi studi hanno concluso, ad esempio, che il meccanismo di degrado primario rispetto all'umidità è la penetrazione dell'acqua piovana attraverso i muri esterni. L'**infiltrazione di acqua all'interno dei muri** si verifica solamente in presenza di tre condizioni simultanee: la presenza di aperture o faglie in corrispondenza del rivestimento esterno; la presenza dell'acqua vicino alle suddette aperture; la presenza di una "forza" (gravità, tensione superficiale, capillarità, energia cinetica e una differenza di pressione dell'aria) in grado di indirizzare l'acqua verso l'apertura. Ne consegue che per evitare la penetrazione dell'acqua all'interno delle pareti perimetrali sia necessario eliminare almeno una delle tre condizioni.

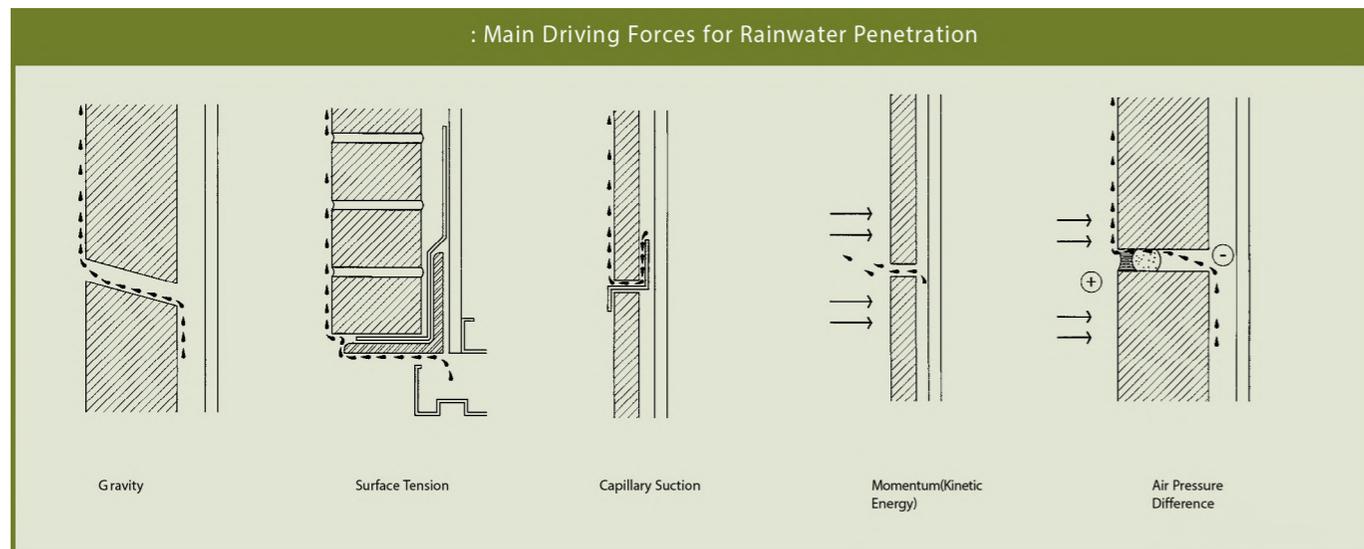


Figura 3.1 Forze in grado di indirizzare l'acqua verso le aperture. Fonte: *Canadian Wood Council, 2000, Moisture and wood-frame buildings*, scaricato da https://cwc.ca/wp-content/uploads/publications-IBS1_Moisture_SMC_v2.pdf, consultato il 30.04.2021, p. 9

Questi principi hanno portato alla definizione della cosiddetta "**regola delle 4D**" o "The 4Ds", strategia fondamentale per la **gestione dell'acqua piovana**. Le 4Ds, definite come quattro linee di difesa contro l'infiltrazione dell'acqua, sono così articolate:

DEFLECTION (deviazione): la deviazione dell'acqua è la priorità per quanto riguarda la gestione dell'acqua piovana. Lo scopo è quello di allontanare il più possibile l'acqua piovana dalla facciata dell'edificio, riducendone così la possibile infiltrazione. Guardando alle costruzioni del passato, è possibile definire alcune buone pratiche utili alla deviazione dell'acqua:

- Posizionare l'edificio al riparo dai venti prevalenti;
- Prevedere uno sporto accentuato del tetto in modo da proteggere la struttura e l'inserimento di dispositivi di raccolta dell'acqua (come ad esempio le gronde);
- Studiare in modo appropriato i dettagli costruttivi e prevedere delle accortezze in funzione della deviazione dell'acqua piovana (come ad esempio davanzali sporgenti, "rompi goccia", ...)

DRAINAGE (drenaggio): il drenaggio dell'acqua è secondo per importanza al concetto di deviazione. Alla scala di progettazione dell'edificio, incorporare il principio di drenaggio, significa studiare la pendenza del tetto e prevedere un'inclinazione degli elementi orizzontali. A livello di dettaglio, invece, significa prevedere la posa di elementi di rivestimento con profili appropriati per l'allontanamento dell'acqua piovana e includere una cavità tra la struttura e gli elementi di facciata tale da garantire

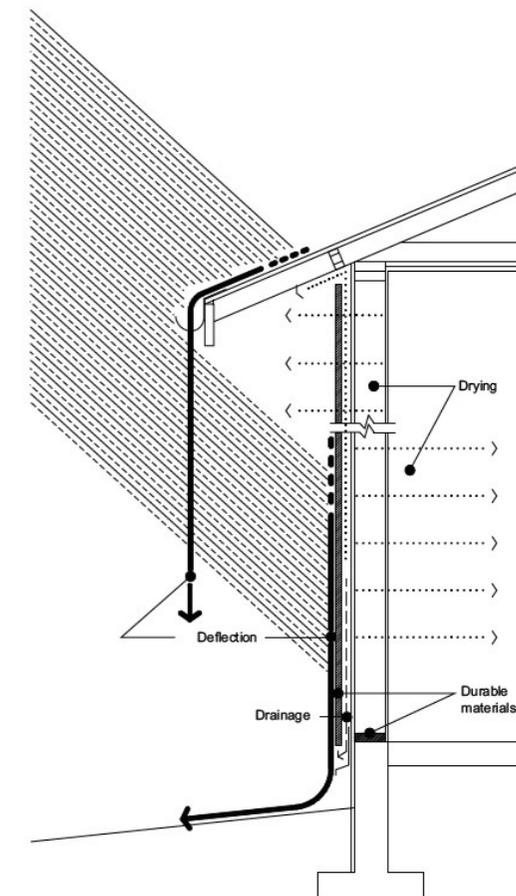


Figura 3.2 La regola delle 4D per progettare la durabilità. Fonte: AA.VV., 2009, *Linee Guida per l'Edilizia in Legno in Toscana*, Centro Stampa Giunta Regionale Toscana, scaricato da <https://www.regione.toscana.it/documents/10180/23550/Linee%20guida%20per%20l%20edilizia%20in%20legno%20in%20Toscana/a7e7c0e6-ffb-463e-806d-2b36139997a6>, p. 222

3.1.2 La durabilità

un corretto drenaggio dell'acqua.

DRYING (asciugatura). Il meccanismo dell'asciugatura è ciò che permette la riduzione dell'accumulo di umidità all'interno degli elementi in legno. Questo è possibile attraverso due metodi differenti:

- Garantendo una ventilazione che permetta un ritorno alle condizioni iniziali di umidità comprese tra il 12% e il 15% nell'ordine di settimane. Questo può essere realizzato anche con l'utilizzo delle cavità introdotte per scopi di drenaggio;
- Garantendo una diffusione, che però risulta essere un processo più lento poiché influenzato anche dalle condizioni climatiche del sito;

DURABLE MATERIALS (materiali durevoli): questi materiali durevoli devono essere utilizzati soprattutto nei casi in cui la deviazione, il drenaggio e l'asciugatura non possono garantire un ritorno all'umidità "standard" del legno, ovvero minore del 20%. Ad esempio la durabilità di un materiale in legno può essere migliorata attraverso dei trattamenti ad autoclave oppure utilizzando delle soluzioni impregnanti. L'applicazione di uno dei due trattamenti dipende dalle caratteristiche della specie legnosa.

Questi principi possono essere applicati a due diverse scale di progettazione: alla macroscala dell'edificio, attraverso l'utilizzo di determinate scelte a livello generale, come ad esempio la forma del tetto, l'esposizione, la volumetria, la scelta di materiali; alla microscala, invece, attraverso lo studio dei dettagli costruttivi e alla relativa gestione dell'acqua piovana. Lo progettazione del dettaglio

comprende anche la valutazione dell'interazione tra materiali differenti, la sequenza di installazione, la posa in opera,...

Nonostante questo studio abbia più di vent'anni e possa essere allargato a tutte le costruzioni, in legno e non, presenta dei principi ancora attuali e fondamentali per garantire una buona durabilità di un edificio. Questo studio, infatti, è spesso presentato nelle pubblicazioni scientifiche e nei seminari professionalizzanti dei maggiori Enti di promozione degli edifici in legno.

Alla regola delle 4D è però necessario aggiungere la "lettera M" di manutenzione. La manutenzione, come già sottolineato, è fondamentale, e si intende una manutenzione di tipo programmato, in particolare "secondo condizione": è fondamentale prevedere delle ispezioni periodiche con un piano di controllo e monitoraggio che, fornendo informazioni continuamente aggiornate sulle diverse parti dell'edificio, consente di determinare le scadenze più opportune per l'eventuale esecuzione degli interventi. Anche in questo caso è importante il ruolo della formazione del personale specializzato per effettuare le ispezioni.

3.1.2.1 ALCUNE AZIONI DEGRADATIVE DEL LEGNO

Il legno è un materiale naturale costituito da zuccheri modificati e lignina: risulta essere infatti biodegradabile e attaccabile da funghi, insetti e batteri. Questi organismi, soprattutto in presenza di un'elevata umidità all'interno del legno, possono modificarne e alterarne l'aspetto e la struttura. Si definisce la durabilità naturale del legno come la resistenza del materiale all'attacco di agenti esterni. Questa proprietà intrinseca dipende principalmente dalla specie legnosa e dalla presenza di estrattivi.

Solitamente quando l'alburno e il durame sono differenziati in modo evidente, è possibile affermare che l'alburno sia più soggetto agli attacchi di organismi xilofagi, mentre il durame risulta essere più "resistente". La durata di una specie legnosa è legata a due fattori: la durabilità intrinseca della specie e le condizioni ambientali nelle quali si trova. Di seguito saranno analizzati alcuni dei principali agenti biotici di degradamento del legno.

FUNGHI: in generale la maggior parte degli attacchi è dovuta all'azione esercitata dai funghi. Questi, essendo privi di clorofilla, hanno la necessità di sintetizzare gli elementi nutritivi da materiali organici elaborati, quali il legno. I funghi delle carie, ad esempio, si diffondono tramite le spore, corpi della dimensione di qualche μm che, per via della loro leggerezza, vengono trasportati dall'aria e si depositano sulle superfici. Le spore quando vengono a contatto con il legno che ha un contenuto di umidità superiore al 20% si depositano e danno origine alle

ife. Le ife attaccano prima le cellule parenchimatiche e poi le cellule legnose. Attraverso delle particolari secrezioni le ife sono in grado di insinuarsi nei tessuti del legno, perforandoli e riducendone la resistenza. Il fenomeno può presentarsi a occhio nudo solamente dopo che si forma il micelio del fungo e l'attacco continua se rimangono costanti le condizioni di umidità elevata.

Gli attacchi più importanti che riducono o eliminano totalmente la funzione portante di un elemento in legno sono la carie bruna, la carie bianca, la carie a cubetti e la carie alveolare.

I funghi cromogeni, invece, determinano un cambiamento del colore del legno, un esempio è l'azzurramento del Pino. Questo attacco non determina una riduzione della resistenza meccanica ma è solamente un danno estetico.

INSETTI XILOFAGI: questi agenti biologici, rispetto ai funghi, possono attaccare il legno in condizioni di umidità minori. Il danno maggiore è dovuto alla penetrazione delle larve di insetto all'interno del legno che realizzano delle gallerie e distruggono il substrato. Una volta raggiunta l'età adulta fuoriescono attraverso dei fori di sfarfallamento rilasciando il rosario. Queste gallerie riducono la resistenza della sezione dell'elemento in legno.

Gli insetti che portano a questo degrado sono i coleotteri, gli isoteri come ad esempio le termiti e gli imenotteri.

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

Figura 3.3 Tabella in cui si può notare distinzione dei diversi attacchi da parte degli agenti biologici in funzione della classe di utilizzo. Fonte: AA.VV., 2009, *Linee Guida per l'Edilizia in Legno in Toscana*, Centro Stampa Giunta Regionale Toscana, scaricato da <https://www.regione.toscana.it/documents/10180/23550/Linee%20guida%20per%20l'edilizia%20in%20legno%20in%20Toscana/a7e7c0e6-ffe6-463e-806d-2b36139997a6>, p. 44



Figura 3.4 Degrado causato da carie bruna. Fonte: www.giardini.biz



Figura 3.5 Degrado causato da larve di termiti: si possono notare i fori causati dalle larve. Fonte: www.casette-italia.it

BATTERI: i batteri, come i funghi, hanno necessità di trarre i nutrimenti necessari da un organismo biotico secondario. I batteri parassiti portano a delle deformazioni ipertrofiche con conseguenti alterazioni del tessuto. Il problema dell'attacco batterico è principalmente legato al fatto che i batteri non siano visibili a occhio nudo.

MUFFE: le muffe non riducono le caratteristiche meccaniche del materiale in caso di attacco.

Esistono poi degli altri tipi di degrado detti **abiotici** dovuti a fattori chimici, fisici e agli agenti atmosferici (il cosiddetto "weathering").

3.1.2.2 IL METODO: NTC 2018 E NORME EN

Per quanto riguarda la progettazione della durabilità, il progettista deve far riferimento alla **NTC 2018** e a tre norme Europee (UNI EN 350, UNI EN 335 e UNI EN 460).

Per quanto concerne le Norme Tecniche Nazionali, in relazione alla durabilità è presente solo il breve paragrafo riportato di seguito:

«In relazione alla classe di servizio della struttura e alle condizioni di carico, dovrà essere predisposto in sede progettuale un programma delle operazioni di manutenzione e di controllo da effettuarsi durante la vita della struttura.»
(D.M., 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”, 4.4.13. Durabilità)

Per una corretta progettazione della durabilità è fondamentale **definire il contesto** in cui si trova la struttura in legno poiché l’umidità del materiale è strettamente collegata al rischio di degrado.

Il metodo definito dalla Normativa prevede l’assegnazione di classi di servizio e classi di utilizzo, utili per definire delle scelte progettuali relazionate alla manutenzione dell’opera.

Le **classi di servizio** che la NTC del 2018 riporta sono in accordo con quelle indicate nell’Eurocodice 5 parte 1.1. E’ necessario individuare la classe di servizio per tener conto dell’influenza della variazione di umidità del materiale sulle sue caratteristiche di resistenza e in secondo luogo per poter definire i coefficienti correttivi da utilizzare nella fase di

dimensionamento dell’opera in legno. Le classi di servizio sono così definite dalla NTC 2018:

- **«Classe di servizio 1:** È caratterizzata da un’umidità del materiale in equilibrio con l’ambiente a una temperatura di 20 °C e un’umidità relativa dell’aria circostante che non superi il 65%, se non per poche settimane all’anno.
- **Classe di servizio 2:** È caratterizzata da un’umidità del materiale in equilibrio con l’ambiente a una temperatura di 20 °C e un’umidità relativa dell’aria circostante che superi l’85% solo per poche settimane all’anno.
- **Classe di servizio 3:** È caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2..»

(D.M., 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”, 4.4.5. Classi di servizio)

Per quanto riguarda i requisiti di durabilità naturale dei materiali a base di legno, la NTC indica nel paragrafo 11.7.9.2 le Norme UNI EN a cui far riferimento.

La norma **UNI EN 350** fornisce indicazioni sui metodi per determinare la durabilità naturale delle specie legnose. La Norma, oltre a fornire delle **classi di durabilità** per ogni specie legnosa, fornisce delle indicazioni sull’“impregnabilità” delle specie.

Per quanto riguarda le classi di utilizzo, queste vengono definite dalla **UNI EN 335**, come riportato di seguito:

- **Classe di utilizzo 1:** include tutte le realizzazioni interne in cui l’umidità del legno risulta essere inferiore al 20%. In questa classe l’attacco da parte dei funghi è insignificante o comunque accidentale;
- **Classe di utilizzo 2:** include le realizzazioni di un elemento in legno protetto e non esposto ad agenti atmosferici come ad esempio la pioggia battente. In questa classe di utilizzo si può verificare umidificazione occasionale e condensazione dell’acqua sulla superficie del legno;
- **Classe di utilizzo 3:** include realizzazioni in cui il legno si trova al di sopra del terreno ed è esposto a agenti atmosferici, l’attacco da parte di funghi è possibile e anche l’attacco da parte di insetti, sebbene questo dipenda dalla collocazione geografica. Siccome esistono una grande varietà di situazioni di utilizzo, la classe 3 è suddivisa in due sotto-categorie: la sottoclasse **3.1** in cui il legno non rimane bagnato per molto tempo e l’acqua non si accumula, contrariamente la sottoclasse **3.2** prevede un accumulo di acqua;
- **Classe di utilizzo 4:** include le realizzazioni in cui il legno è a stretto contatto con il terreno o con acqua dolce;
- **Classe di utilizzo 5:** include la realizzazione di strutture in legno permanentemente immerse in acqua salata. In questa classe ab-

biamo un continuo attacco da parte di organismi marini invertebrati, funghi e si possono sviluppare muffe superficiali.

Come sottolinea “Lavisca P., 2010, La progettazione delle strutture di legno. Eurocodice 5 e Norme Tecniche per le Costruzioni, Milano, Il sole 24 ore, p. 142”, *“Le classi di rischio di attacco biologico sono descritte nella UNI EN 335 [...]. Le prime tre corrispondono in pratica alle tre classi di servizio considerate nell’Eurocodice 5, per le strutture ordinarie, mentre le altre due (classi 4 e 5) sono contemplate solo per quanto riguarda i ponti. Ma è soprattutto importante notare che la distinzione tra le classi di rischio 2, 3 e 4 è legata alla frequenza con cui l’umidità del legno può superare la soglia del 20%, oltre questo valore, infatti, se la temperatura lo consente, possono svilupparsi i funghi delle carie”.*

La **UNI EN 460** mette in relazione le classi di rischio con le classi di durabilità.

Funghi xilofagi - Guida delle classi di durabilità di specie legnose per l'uso secondo classi di rischio

Classe di rischio	Classe di durabilità				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	(0)	(0)
3	0	0	(0)	(0) - (x)	(0) - (x)
4	0	(0)	(x)	x	x
5	0	(x)	(x)	x	x

Legenda:

0 durabilità naturale sufficiente,

(0) la durabilità naturale è generalmente sufficiente, ma per certi utilizzi finali può essere raccomandato un trattamento preservante (vedere appendice A),

(0) - (x) la durabilità naturale può essere sufficiente, ma in funzione della specie legnosa, della sua permeabilità (vedere 6.1) e del suo utilizzo finale (vedere appendice A), può essere necessario un trattamento preservante,

(x) il trattamento preservante è normalmente raccomandato, ma per certi utilizzi finali la durabilità naturale può essere sufficiente (vedere appendice A),

x trattamento preservante necessario.

Nota L'alburno di tutte le specie legnose dovrebbe essere considerato come appartenente alla classe 5 di durabilità.

Tabella 3.1 Guida alle classi di durabilità di specie legnose per l'uso secondo le classi di rischio. Rielaborazione del "Prospetto 1" da "UNI EN 460, Aprile 1996, Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Durabilità naturale del legno massiccio. Guida ai requisiti di durabilità per legno da utilizzare nelle classi di rischio, p.5"

3.1.2.3 LE CRITICITA' LEGATE ALLA DURABILITA'

“Le prescrizioni dell’Eurocodice 5 sono poche e chiare, ma richiedono un approfondimento alla luce delle norme correlate e dello stato dell’arte delle tecniche che il progettista non deve ignorare. Il requisito della normativa cogente è che un edificio, se non classificato come “provvisorio”, deve avere una durabilità minima di cinquant’anni (cento anni per quelli strategici). [...] Esiste un limite fisiologico, assoluto, per la durata di un edificio realizzato con materiali biodegradabili? Certamente no, perché la durabilità di una costruzione in legno e/o di due parti dipende da molti fattori, il cui risultato può assumere valori estremamente diversi tra loro. Così come con il legno, materia prima fragile, si realizzano strutture molto duttili e dissipative rispetto alle azioni sismiche, analogamente biodegradabilità non significa automaticamente bassa durabilità. Sono molti i casi in cui, in tempi brevissimi (5-10 anni), le strutture in legno sono risultate completamente degradate, ma sono certamente più diffusi gli esempi opposti dove, pur in assenza di trattamenti preservanti, strutture di legno realizzate vari secoli fa stanno dimostrando ancora oggi una piena efficienza: la differenza consiste, principalmente, nella capacità del progettista e nella corretta manutenzione. In ogni parte d’Italia esistono esempi di strutture in legno che sono in opera da secoli, senza l’uso di preservanti, grazie soltanto a una corretta attività di progettazione, posa, ispezione e manutenzione. Prevedere che un manufatto, realizzato in qualsiasi materiale, non avrà bisogno di manutenzione è semplicemente presuntuoso e non sostenibile, né sul piano tecnico né sul piano economico. Quindi, il progetto per la durabilità deve essere completato da quello relativo alle operazioni di manutenzione (ispezione, ripristino, sostituzione, ecc.)”

PAOLO LAVISCI

(Lavisci P., 2010, La progettazione delle strutture di legno. Eurocodice 5 e Norme Tecniche per le Costruzioni, Milano, Il sole 24 ore, pp. 141-142)

Per descrivere al meglio il quadro generale che circonda l'ambito della durabilità delle costruzioni in legno si concorda con quanto affermato da Lavischi. E' noto come in Italia nel corso dell'ultimo Decennio il mercato dell'industria del legno si sia esteso al mondo delle costruzioni con una lenta diffusione delle buone pratiche per la costruzione di manufatti in legno "a regola d'arte". La **mancanza di una cultura diffusa** a proposito dell'uso di questo materiale ha portato a una serie di lacune e criticità che spesso determinano la diffusione di una serie di errori caratteristici: un esempio "classico" è quello dei balconi del progetto C.A.S.E. (L'Aquila), crollati dopo pochi anni dalla posa in opera.

I dialoghi sono stati lo strumento attraverso il quale sono state indagate le diverse responsabilità legate agli errori commessi nelle costruzioni in legno. Inizialmente si è pensato che gli errori potessero essere riconducibili a una carenza dal punto di vista normativo, ma ciò è stato quasi totalmente smentito dagli esperti intervistati. La Normativa riguardante la parte della durabilità potrebbe effettivamente in parte essere migliorata ma sicuramente non può prevedere indicazioni prescrittive per quanto riguarda la durabilità di ogni nodo dell'edificio, poiché la resistenza al degrado è strettamente correlata alla combinazione di diversi fattori, quali le scelte progettuali, la localizzazione, il clima, l'esposizione, l'economia, ...

Inoltre, come già accennato, non si può considerare la durabilità slegata dalle attività di **manutenzione**.

Gli **errori** che ancora oggi vengono commessi nelle costruzioni in legno sono legati a tutti gli **attori del processo progettuale e costruttivo** e a una scarsa comunicazione tra di essi. Nel processo progettuale, ad esempio, questo porta a una ridotta integrazione dei diversi ruoli nello sviluppo, aumentando così la probabilità di commettere sbagli. Ciò su cui tutti gli intervistati "puntano il dito" come causa di questi errori è la mancanza di formazione specifica della gran parte degli "stakeholders" del settore. Seppur in questi anni gli enti di ricerca, le aziende e le associazioni settore si stiano impegnando per promuovere corsi di formazione specializzati e letteratura specifica, il legno risulta ancora essere il materiale da costruzione "meno conosciuto".

Un'altra criticità che è emersa è la tendenza di alcune imprese e alcuni progettisti che, cavalcando l'onda della sostenibilità, si improvvisano senza alcuna conoscenza di base relativa al legno, costruendo edifici utilizzando le tecniche proprie degli edifici tradizionali.

3.1.2.4 GLI ERRORI PIU' FREQUENTI

E' stato chiesto ai diversi intervistati quali siano, secondo la loro esperienza, gli errori più frequenti commessi durante tutta la fase di progettazione e realizzazione che portano ad avere una scarsa durabilità della struttura. Di seguito vengono riportati gli errori più frequenti che verranno approfonditi nel capitolo 4 attraverso l'analisi di alcuni casi studio.

■ "La struttura non sa di essere in legno"	p. 120-221
■ L'errato attacco a terra	p. 122-125
■ La scorretta posa in opera del davanzale	p. 126-127
■ La progettazione e la posa in opera scorrette delle stratigrafie	p. 128-129
■ Il nodo critico parete - balcone	p. 130-133
■ La scorretta posa in opera degli impianti	p. 134-135

“La struttura non sa di essere in legno”

“ Un edificio in legno deve sapere di essere in legno, questo vale per tutti i materiali e tutte le tecnologie. Sarebbe opportuno portare avanti l’idea che una tecnica costruttiva porti con sé una serie di conseguenze che sono molto interessanti per noi che facciamo gli architetti. Ora dico delle banalità, io ho visto tentare di fare degli sbalzi con il legno, che insomma non sono adatti per il materiale, quando, per esempio, l’acciaio e il calcestruzzo sarebbero stati molto più adatti. Questo è un problema che si ha con grande frequenza.”

MAURO FRATE



Figura 3.6 Render progetto 3Gatti's Art Museum a Helsinki. Fonte: <https://www.designboom.com/architecture/3gatti-museum-proposal-finland-landmark-wooden-blades-09-28-2017/>



Figura 3.6 La trave in legno non viene protetta dallo sporto del tetto e questo potrebbe portare a fenomeni di marcescenza e riduzione della resistenza. Fonte: Follesa M., Lauriola M.P., Moschi M., 2011, Durabilità e manutenzione delle strutture in legno, Milano, Ticom Srl – Piacenza, p. 59

DESCRIZIONE

Una prassi ancora comune è che molti architetti, seguendo la “moda” della sostenibilità, si improvvisino nella progettazione di edifici in legno ma, non avendo un’esperienza e una formazione specifiche, progettino i suddetti edifici indipendentemente dalle caratteristiche costruttive del materiale strutturale. Una volta terminato il progetto definitivo, lo inviano a un secondo soggetto che lo ingegnerizza e lo adatta alle necessità strutturali proprie del legno. Di conseguenza l’edificio molto spesso non rispecchia realmente la tecnica costruttiva adottata ma viene adattato e “forzato” a questa.

QUALE DEGRADO DETERMINA

Questo errore non sempre determina in modo diretto la durabilità, dipende dal tipo di errore che viene commesso. Ad esempio, non proteggere le travi in legno, come nella foto a fianco, potrebbe generare fenomeni di marcescenza che porterebbero a una riduzione della sezione resistente.

LA RESPONSABILITA’

La responsabilità in questo caso è attribuibile sia al progettista architettonico, che non si preoccupa di progettare in funzione delle peculiarità e delle caratteristiche del materiale, sia alla scarsa interconnessione dei ruoli nella fase progettuale, prassi che spesso caratterizza l’intero iter.

“In Germania esiste una normativa che suggerisce come garantire la durabilità dando alcune indicazioni. In Italia manca totalmente, è lasciata all’iniziativa del singolo e si vedono delle cose terrificanti! In cantiere si vedono errori terribili, ad esempio, pareti “impiantate” bellamente 10-20 cm sotto la quota del pavimento finito esterno”

FRANCO PIVA



Figura 3.7 Problema di umidità di risalita presente nell'attacco a terra di un edificio. Fonte: *anonimo*



Figura 3.8 Danneggiamento di una parete in legno dovuto alla risalita capillare. Fonte: <https://www.ingenio-web.it/23894-soluzione-innovativa-per-prevenire-il-deterioramento-delle-pareti-in-legno-allattacco-con-la-fondazione>

DESCRIZIONE

Questo errore è forse uno dei più comuni, spesso la struttura portante in legno, che sia realizzata con pannelli portanti in X-Lam piuttosto che con elementi a telaio, non viene protetta correttamente, ovvero non vengono adottate le giuste accortezze. Questo errore deriva da una serie di cause, singole o concomitanti:

- fissaggio della struttura in legno sotto la quota del pavimento finito esterno. Solitamente, infatti, è necessario rialzare l'attacco a terra utilizzando un cordolo, o in calcestruzzo o in alluminio;
- mancanza o scorretto posizionamento di guaine impermeabilizzanti.

LA RESPONSABILITA'

La responsabilità può essere imputabile o a una scarsa progettazione o a scorretta posa in opera, o alla combinazione di entrambe.

QUALE DEGRADO DETERMINA

Il grafico a fianco esamina il rapporto causa - effetto che porta al degrado dell'attacco a terra. Vengono presi in considerazione tutti i fattori peggiorativi concomitanti.

CAUSA 1

ELEVATA SUPERFICIE DI CONTATTO LEGNO-ACQUA

L'attacco a terra, essendo a un livello più basso rispetto al piano di calpestio esterno, se non correttamente protetto, potrebbe essere maggiormente esposto all'attacco dell'umidità

ALLONTANAMENTO DELLE FIBRE

A seguito della risalita capillare dell'acqua, l'umidità del legno aumenta, conseguentemente le fibre di cellulosa si allontanano, portando a riduzione della resistenza dell'elemento in legno

EFFETTO

RISALITA CAPILLARE DELL'ACQUA E MARCESCENZA

RIDUZIONE DELLA RESISTENZA

CAUSA 2

ASSENZA O MAL POSIZIONAMENTO DI GUAINE

L'assenza di guaine determina un repentino assorbimento dell'acqua da parte del legno. L'utilizzo scorretto delle guaine potrebbe andare a formare delle vere e proprie "trappole" che possono provocare il ristagno di acqua.

ATTACCO DI FUNGHI E INSETTI

A seguito di un aumento dell'umidità del legno, aumenta la probabilità di attacco da parte di agenti esterni, come funghi e insetti xilofagi, i quali possono andare a ridurre la sezione resistente dell'elemento in legno



Figura 3.9 Marcescenza dell'attacco a terra. Fonte: anonima

La scorretta posa in opera del davanzale

“ Un problema è sicuramente legato ai serramenti e ai davanzali, oltre alla relativa tenuta all’aria e all’impermeabilizzazione. Spesso abbiamo problemi di marcescenza alla base degli edifici a causa dell’acqua di infiltrazione proveniente dai davanzali, non tanto perché abbiamo il contatto con il terreno, ma proprio perché l’acqua scende dalle finestre e dai davanzali, si deposita a terra, ristagna e genera problemi.”

EMANUELE FORNALE’



Figura 3.10 L’errore di installazione del davanzale ha portato a un evidente degrado. Fonte: Lauriola M. P., presentazione del 16.03.2021 al seminario: edilizia in legno: le regole del buon costruire, ente Maggioli Spa in collaborazione con Federlegno Arredo e THE PLAN

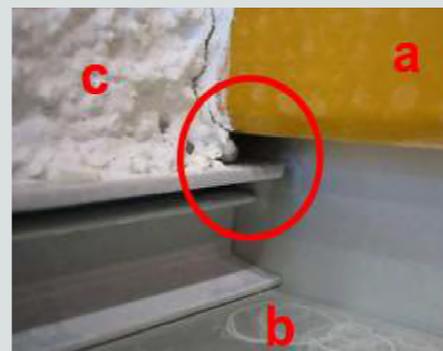


Figura 3.11 Lacune esecutive nel raccordo tra finestra (a), bancale (b) e facciata (c). Fonte: Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, *Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola, p. 89

DESCRIZIONE

La scorretta posa in opera del davanzale e della relativa impermeabilizzazione e tenuta all’aria, oltre a provocare dei problemi “estetici” di dilavamento e macchie dell’intonaco a causa dello scorrimento dell’acqua sulla facciata, può, infiltrandosi, generare fenomeni di marcescenza.

LA RESPONSABILITA’

Questo errore spesso può essere imputabile a:

- Progettisti che in fase di progetto non hanno studiato nel dettaglio questo nodo;
- Posatori dei davanzali;
- Direttore dei Lavori che non ha supervisionato.

QUALE DEGRADO DETERMINA

L’infiltrazione di acqua potrebbe portare a fenomeni di marcescenza, sia della parete, che alla base dell’edificio a causa del ristagno di acqua.

La progettazione e la posa in opera scorretta delle stratigrafie

“ Ci sono, non una miriade, ma molteplici aspetti che invece riguardano questioni più puntali: come ad esempio l'attacco a terra, fino ad arrivare a efferatezze ancora più sciocche, come stratigrafie sbagliate nella composizione, ovvero lo strato sta là dove non dovrebbe essere.”

MAURO FRATE

“Voi sapete che con l'aumento dell'umidità all'interno della parete il cappotto peggiora le proprie proprietà termiche: se una lana di roccia si bagna, conduce di più e di conseguenza isola molto di meno. In un edificio di muratura se si bagna il cappotto vorrà dire che spenderò qualcosa di più di riscaldamento, in un edificio di legno, oltre a spendere di più di riscaldamento, mi marcisce la parete! ”

MARCO PIO LAURIOLA



Figura 3.12 Marcescenza dell'isolante di un edificio in legno. Fonte: anonima



Figura 3.13 Problemi di umidità da condensa. Fonte: <https://www.ediltecnico.it/67364/umi-dita-condensa-o-infiltrazioni-acqua/>

DESCRIZIONE

La scorretta progettazione delle stratigrafie e/o l'errata posa in opera dei diversi componenti può comportare la formazione di condensa interstiziale tra i diversi strati o di condensa superficiale. Inoltre una scorretta progettazione e posa in opera degli elementi della stratigrafia delle pareti e dei solai di una struttura in legno, può rappresentare un problema nel momento in cui si dovesse verificare un incendio.

LA RESPONSABILITA'

La responsabilità può essere legata o a una pessima progettazione fisico-tecnica o a una scorretta posa in opera.

QUALE DEGRADO DETERMINA

La formazione di condensa superficiale può provocare sia il degrado dei materiali sia la formazione di muffe, pregiudicando anche l'igienicità degli ambienti soggetti al fenomeno.

La formazione di condensa interstiziale, invece, è un fenomeno particolarmente dannoso per le strutture in legno. In particolare se l'isolante viene a contatto con il vapore, questo determina una riduzione del potere termo-isolante della parete e alla formazione di muffe e marcescenze.

“Gli errori nelle costruzioni di legno sono sempre dovuti al rapporto con l’acqua e l’umidità: molti progettisti sanno che il legno può marcire, per cui l’errore che fanno è chiuderlo nelle guaine. Il progettista spesso pensa: “se io “impacchetto” il legno in qualcosa di impermeabile sono tranquillo”. Invece no, non è così! Perché se io “chiudo” il legno in un pacchetto impermeabile, non favorisco la traspirazione: l’acqua può solo entrare e non uscire! Quindi il legno marcisce perchè non ha più la possibilità di asciugarsi. Questo è il principale errore: pensare di proteggere il legno con le impermeabilizzazioni. Le impermeabilizzazioni vanno bene, ma devono essere posizionate solo da un lato, per permettere al legno di traspirare. Mai chiuderlo tra due guaine!”

MARCO PIO LAURIOLA

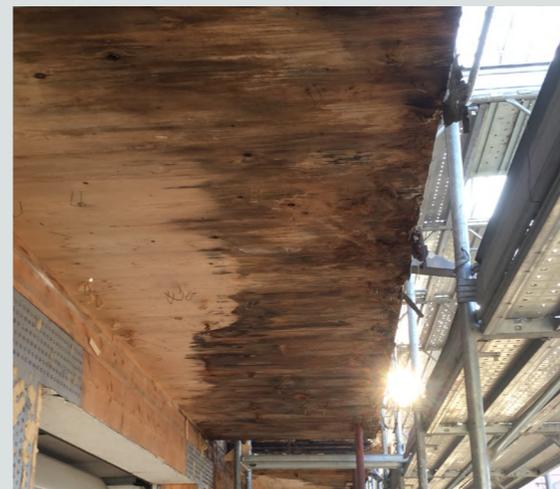


Figura 3.14 Pannello in X-Lam del balcone danneggiato dalle infiltrazioni di acqua. Fonte: *anonimo*



Figura 3.15 Balcone con struttura in legno soggetto a marcescenza. Fonte: Lauriola M. P., presentazione del 16.03.2021 al seminario: edilizia in legno: le regole del buon costruire, ente Maggioli Spa in collaborazione con Federlegno Arredo e THE PLAN

DESCRIZIONE

Relativamente a questo nodo vengono compiuti differenti errori. Un primo errore consiste nella chiusura totale del pacchetto del balcone, senza garantire che l’elemento strutturale in legno possa stabilire un equilibrio termo-igrometrico con l’ambiente. Questo errore è spesso aggravato dalle infiltrazioni di acqua dovute alla bucatina delle guaine, conseguente all’inserimento dei parapetti. Un altro errore è dovuto alla pendenza inesistente o orientata verso l’interno dell’edificio.

LA RESPONSABILITA’

La responsabilità può essere imputabile sia a una scarsa progettazione sia a una scorretta posa in opera di diversi componenti e delle guaine.

QUALE DEGRADO DETERMINA

Il grafico a fianco esamina il rapporto causa - effetto che determina il degrado del nodo parete-balcone. Vengono presi in considerazione tutti i fattori peggiorativi concomitanti.

Il degrado che ne deriva è che, con il passare del tempo, si ha una riduzione della resistenza dei pannelli in X-Lam che può causare il crollo del balcone.

CAUSA 1

ERRATO FISSAGGIO DEL PARAPETTO

Spesso l'errato fissaggio del parapetto può portare alla bucatatura delle guaine e alla formazione di "passaggi" che favoriscono l'infiltrazione dell'acqua all'interno della struttura portante in legno.

ALLONTANAMENTO DELLE FIBRE

A seguito della risalita capillare dell'acqua, l'umidità del legno aumenta, conseguentemente le fibre di cellulosa si allontanano, portando a riduzione della resistenza dell'elemento in legno.

EFFETTO

INFILTRAZIONE DI ACQUA NELL'ELEMENTO IN LEGNO E MARCESCENZA

IL LEGNO NON RIESCE A TRASPIRARE = MARCESCENZA

CAUSA 2

IL BALCONE NON VIENE STUDIATO IN FUNZIONE DELL'ALLONTANAMENTO DELLE ACQUE METEORICHE

Il posizionamento corretto delle guaine di protezione del balcone in legno è importante, ma anche in un cantiere in cui si costruisce a regola d'arte è possibile che vi siano bucatature nelle guaine: è fondamentale studiare l'allontanamento delle acque meteoriche.

CHIUSURA DEL PACCHETTO DEL BALCONE CON GUAINA NON ADATTE E MATERIALI NON TRASPIRANTI

E' importante evitare una chiusura totale del pacchetto del balcone con materiali e guaine non traspiranti, onde evitare, nel caso di infiltrazioni di acqua, che si formino delle vere e proprie "trappole" di umidità.

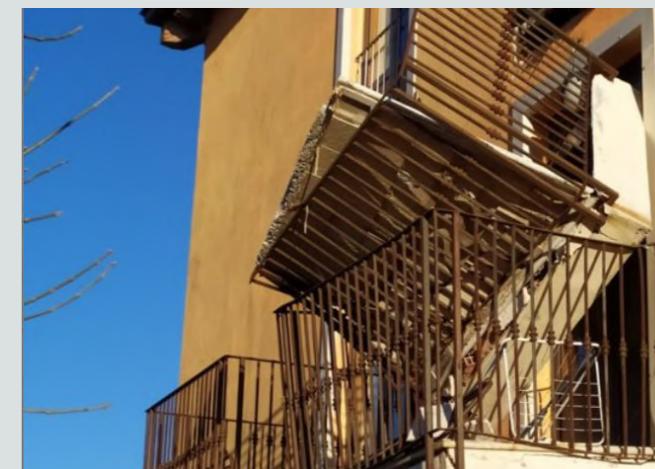


Figura 3.16 Crollo di un balcone realizzato con struttura in X-Lam. Fonte: www.fabioiuliano.it

La scorretta posa in opera degli impianti

“ In un edificio in muratura, se si verifica una perdita, si vede il muro bagnato e si ripara. Se invece si verifica una perdita in un edificio in legno, l’acqua bagna i massetti, le pareti, i cappotti. Non basta quindi riparare la perdita, ma bisogna “aprire” tutti i componenti, perché il legno si impregna di acqua molto velocemente ma si asciuga molto lentamente. Una perdita in un edificio in legno è una cosa drammatica. La progettazione dovrebbe avere molta cura per la parte impiantistica e idraulica.

Anche gli impianti elettrici, negli edifici in legno, devono essere realizzati con accortezze differenti rispetto agli edifici tradizionali. In particolare bisogna utilizzare materiali non propaganti la fiamma. E’ inoltre necessario prevedere un progetto dell’impianto elettrico da parte di un tecnico abilitato, negli edifici tradizionali, invece, è sufficiente la conformità da parte del tecnico installatore.”

MARCO PIO LAURIOLA



DESCRIZIONE

L’errore è legato alla posa degli impianti. Gli impiantisti inesperti in materia di costruzione in legno spesso assimilano gli edifici in legno alle costruzioni tradizionali: un errore comune è, infatti, quello di andare a fresare le pareti per simulare le tracce delle tubazioni negli edifici tradizionali o non fissare i tubi attraverso l’uso di fascette.

LA RESPONSABILITA’

La responsabilità può essere attribuita a una mancanza di formazione, e spesso anche di esperienza, che gli impiantisti hanno per quanto riguarda le costruzioni in legno.

QUALE DEGRADO DETERMINA

La rottura di una tubazione, ad esempio, può determinare una marcescenza dei solai e delle pareti.

Figura 3.17 Sopra: scorretta distribuzione degli impianti. Sotto: passaggio degli impianti con scasso del cordolo, assenza di appoggio per l’“hold-down”. Fonte: *Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere, documento fornito da Marco Pio Lauriola, p. 137*

3.1.3 La manutenzione

“Nonostante il degrado sia evidente, anche in edifici recenti, i lunghi tempi di vita assegnati dalla collettività agli edifici in c.a., hanno radicato la cultura della non-manutenzione. Una casa costruita venti – trent’anni fa, è considerata “nuova”, anzi, se mostrasse segni di degrado, ci sarebbe sorpresa e si cercherebbero “le colpe” (errori nei copri ferro, processo di carbonatazione, ambiente aggressivo). Difficilmente si programma un’attività manutentiva. Viceversa, alla tradizione costruttiva col legno, è associata l’attività di manutenzione.”

FRANCO LANER

(Laner F., 1995, Sostituzione come accezione di manutenzione, «Adrastea: tecnologia e progetto delle costruzioni in legno e legno lamellare, n.3/’95», p. 37”

Quando si parla di costruzioni in legno la manutenzione è una prassi fondamentale che garantisce al legno la durabilità. Nelle zone geografiche dove tradizionalmente si costruiva con il legno, la manutenzione era una pratica corrente. Al contrario, nei paesi come l’Italia, dove prevalgono tecniche costruttive in pietra, mattoni o cls, questa prassi era meno frequente poiché legata alla minor necessità di attività manutentive richieste da questi materiali.

3.1.3.1 IL METODO

La manutenzione, come già accennato, è di fondamentale importanza indipendentemente dalla tipologia costruttiva.

La manutenzione può essere di tipo ordinario o di tipo straordinario: per le strutture residenziali la vita nominale, indicata dalla NTC 2018, è di cinquant’anni, purchè l’edificio venga utilizzato in modo appropriato e venga eseguita una manutenzione a cadenze prefissate, ovvero una manutenzione ordinaria.

Con la **Legge 107/96**, la cosiddetta “Merloni”, in Italia è diventato obbligatorio il **Piano di Manutenzione** della parte strutturale dell’opera, includendolo tra i documenti necessari al progetto esecutivo, prescrivendo inoltre che l’impresa edile, al momento di licenziare l’opera, consegni il Piano di Manutenzione al proprietario, con eventuali indicazioni del Direttore dei Lavori.

La Circolare 21 Gennaio 2019 n°7 C.S.LL.PP, “Istruzioni per l’applicazione delle “Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al Decreto Ministeriale 17

Gennaio 2018” in merito al piano di manutenzione riporta quanto segue:

«Il piano di manutenzione della parte strutturale dell’opera è il documento complementare al progetto strutturale che ne prevede, pianifica e programma, tenendo conto degli elaborati progettuali esecutivi dell’intera opera, l’attività di manutenzione dell’intervento al fine di mantenerne nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità, l’efficienza ed il valore economico. Il piano di manutenzione delle strutture - coordinato con quello generale della costruzione - costituisce parte essenziale della progettazione strutturale. Esso va corredato, in ogni caso, del manuale d’uso, del manuale di manutenzione e del programma di manutenzione delle strutture.»

(Circolare 21 Gennaio 2019 n°7 C.S.LL.PP, “Istruzioni per l’applicazione delle “Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018”, p. 307)

Nonostante la circolare faccia riferimento al Piano di Manutenzione delle strutture, è comunque importante progettare e prevedere anche la manutenzione delle parti a protezione della struttura.

Come indicato da Normativa, il Piano di Manutenzione è da considerarsi un elaborato complementare al Progetto Esecutivo. Il documento è importante per il committente in quanto è il responsabile della manutenzione del proprio edificio. Per questo motivo il piano risulta essere organizzato in modo semplice e intuitivo come segue:

Manuale d'uso: fornisce delle indicazioni sui carichi permanenti non strutturali e i carichi variabili, per ogni locale e la copertura, e sulle condizioni di temperatura e umidità da mantenere nei locali. Lo scopo del documento è di evitare un utilizzo improprio dell'edificio e mettere a conoscenza degli utenti le azioni necessarie per conservare al meglio il bene;

Manuale di manutenzione: contiene gli interventi necessari e la manutenzione da eseguire nel caso di eventuali anomalie relative alle diverse unità tecnologiche dell'edificio, alle caratteristiche dei materiali e dei componenti interessati, indicando le figure professionali e i centri di assistenza a cui far riferimento a seconda del problema;

Programma di manutenzione: contiene le scadenze temporali relative agli interventi di manutenzione;

E' importante sottolineare che il Piano di Manutenzione cambia a seconda della tipologia di opera e della classe di utilizzo dell'edificio.

Prima dell'intervento di manutenzione, si svolge un'ispezione con la funzione di valutare lo stato di degrado, il corretto funzionamento e la possibilità di eseguire azioni manutentive o approfondire le indagini. Inoltre, è bene sottolineare che l'attività manutentiva include visite di ispezione dell'edificio annualmente, stagionalmente e una tantum quanto si verificano eventi di tipo eccezionale.

Nelle pagine seguenti vengono riportare alcune schede che riassumono il Manuale di Manutenzione e il Programma di Manutenzione redatte da FederlegnoArredo per i propri progettisti associati. Queste schede devono intendersi come delle indicazioni di larga massima ed è necessario che vengano adattate all'edificio, in base alle caratteristiche specifiche di progetto. Anche il tipo di indagine, di intervento e la frequenza sono puramente orientative e dipendono dalle condizioni di progetto.

Figura 3.18 Fonte: Follesa M., Lauriola M.P., Moschi M., 2011, *Durabilità e manutenzione delle strutture in legno*, Milano, Ticom Srl – Piacenza, p. 83

1	<p><u>Elementi strutturali esposti</u> (elementi strutturali esposti o parzialmente esposti di ponti, parti esposte o parzialmente esposte di strutture civili quali travi e pilastri di facciata, pergolati).</p>
annuale	<p>Ispezioni a cura dell'Utente, eventualmente coadiuvato da Tecnologo del legno e Ingegnere.</p> <p>Dovranno essere controllate le sedi di appoggio e le superfici di contatto legno-legno nonché quelle tra legno e altri materiali, per verificare l'assenza di ostruzioni al deflusso o di ristagno d'acqua ed eventualmente ripristinare il corretto deflusso.</p> <p>Pulire le sedi di appoggio e tutti quei punti dove tendono ad accumularsi detriti (foglie, vegetazione, polvere, terra) a ridosso del legno.</p> <p>Controllare l'integrità ed efficienza degli elementi di protezione (scossaline, coperture, consigliabile ispezione dopo la pioggia).</p> <p>Controllo della presenza di fori di sfarfallamento.</p> <p>Dovranno essere ripristinate e/o sostituite le parti di protezioni non efficienti.</p> <p>Dovrà essere controllato lo stato di ossidazione degli elementi metallici ed eventualmente sostituiti.</p> <p>Controllare il serraggio degli elementi quali bulloni e specialmente degli elementi regolabili come i tenditori dei controventi.</p> <p>Nel caso del verificarsi di una situazione di degrado, effettivo o potenziale, occorrerà intervenire mediante la rimozione della causa, poi con l'utilizzo di idonei prodotti di protezione dai funghi previa pulitura e asportazione dello strato soggetto a degrado, ovvero con opere di consolidamento con legno o sostituzioni nei casi più gravi, comunque sulla base di una specifica progettazione.</p> <p>Dovrà essere controllato lo stato del trattamento impregnante protettivo, che andrà ripetuto con cadenza annuale per i primi due anni e poi successivamente con cadenza triennale, previa asportazione mediante spazzolatura di eventuali parti di trattamento cadenti.</p>

1	<u>Elementi strutturali esposti</u> (elementi strutturali esposti o parzialmente esposti di ponti, parti esposte o parzialmente esposte di strutture civili quali travi e pilastri di facciata, pergolati).
biennale	<p>Ispezione a cura del Tecnologo del legno, eventualmente coadiuvato da Ingegnere.</p> <p>Indagine diagnostica di controllo e valutazione della necessità di interventi.</p> <p>Controllo dell'ossidazione delle parti metalliche.</p> <p>Rimozione delle cause del degrado, eventuali interventi di consolidamento e/o sostituzione.</p>

Figura 3.19 Fonte: Follesa M., Lauriola M.P., Moschi M., 2011, *Durabilità e manutenzione delle strutture in legno*, Milano, Ticom Srl – Piacenza, p. 84

2	<u>Elementi strutturali protetti</u> (elementi strutturali completamente protetti di ponti, parti completamente protette di strutture civili sia all'interno che all'esterno).
Biennale	<p>Ispezioni a cura dell'Utente, eventualmente coadiuvato da Tecnologo del legno e Ingegnere.</p> <p>Dovranno essere controllate le sedi di appoggio di travi, pilastri e pareti, con particolare attenzione alle zone di contatto con muratura o c.a., per verificare l'assenza di condense o percolazioni.</p> <p>Controllo della presenza di fori di sfarfallamento.</p> <p>Controllare il serraggio degli elementi quali bulloni e specialmente degli elementi regolabili come i tenditori dei controventi.</p> <p>Per le coperture andrà controllata l'efficienza del manto e di tutte le opere di lattoneria, verificando l'assenza di perdite e/o ostruzioni che potrebbero causare infiltrazioni d'acqua verso le strutture portanti. Nel caso si riscontrasse una situazione di infiltrazione potenziale o molto limitata (che si asciuga entro 1 settimana), occorrerà intervenire ripristinando e/o riparando come necessario. Nel caso di presenza di infiltrazioni occorrerà valutare l'eventuale stato di degrado degli elementi lignei mediante ispezione effettuata da un Tecnologo del legno.</p> <p>Nel caso del verificarsi di una situazione di degrado, effettivo o potenziale, occorrerà intervenire mediante la rimozione della causa, poi con l'utilizzo di idonei prodotti di protezione dai funghi previa pulitura e asportazione dello strato soggetto a degrado, ovvero con opere di consolidamento con legno o sostituzioni nei casi più gravi, comunque sulla base di una specifica progettazione.</p>
Quinquennale	<p>Ispezione a cura del Tecnologo del legno, eventualmente coadiuvato da Ingegnere.</p> <p>Indagine diagnostica di controllo e valutazione della necessità di interventi.</p> <p>Rimozione delle cause del degrado, eventuali interventi di consolidamento e/o sostituzione.</p>

Figura 3.20 Fonte: Follesa M., Lauriola M.P., Moschi M., 2011, *Durabilità e manutenzione delle strutture in legno*, Milano, Ticom Srl – Piacenza, p. 85

2	<u>Elementi strutturali protetti</u> (elementi strutturali completamente protetti di ponti, parti completamente protette di strutture civili sia all'interno che all'esterno).
Dopo forti piogge	Ispezioni a cura dell'Utente eventualmente coadiuvato dal Tecnologo del legno. Dopo eventi piovosi eccezionali occorrerà effettuare un controllo globale di tutti gli elementi strutturali verticali ed orizzontali di legno per l'eventuale infiltrazione di acque meteoriche, nonché verificare la corretta tenuta del manto di copertura e degli elementi di protezione e nel caso di degrado intervenire come sopra descritto.
Dopo perdite da impianti	Ispezioni a cura dell'Utente eventualmente coadiuvato dal Tecnologo del legno. Dopo perdite da impianti o allagamenti anche parziali occorrerà effettuare un controllo globale di tutti gli elementi strutturali verticali ed orizzontali di legno per l'eventuale infiltrazione e ristagno di acqua, in particolare nelle zone di appoggio in basso delle strutture verticali anche rimuovendo le finiture (rivestimenti, contropareti, cartongessi). Intervenire eliminando la fonte di inumidimento, garantire l'asciugatura mediante ventilazione, controllare nel tempo il livello di umidità e l'eventuale degrado e nel caso di degrado intervenire come sopra descritto.
Dopo forte vento	Ispezioni a cura dell'Utente. Dopo episodi ventosi eccezionali andrà controllata la tenuta del manto di copertura e del suo collegamento alle strutture portanti, nonché l'efficienza di tutti gli elementi di protezione, ripristinandone l'efficienza in caso di danneggiamento.

Figura 3.21 Fonte: Follesa M., Lauriola M.P., Moschi M., 2011, *Durabilità e manutenzione delle strutture in legno*, Milano, Ticom Srl – Piacenza, p. 86

3	<u>Edifici in legno, in caso di sisma</u>
Dopo evento sismico importante	Ispezioni a cura dell'Ingegnere, eventualmente coadiuvato dal Tecnologo del legno (dopo terremoti di intensità dal grado 6 in poi della scala Richter). Effettuare un controllo puntuale di tutti gli elementi di connessione (in particolare gli elementi di connessione delle pareti) provvedendo, nel caso di elementi di connessione danneggiati (chiodi, viti o piastre metalliche) all'eventuale posizionamento di nuovi elementi accanto a quelli esistenti ad opportuna distanza e con lo stesso numero e tipologia di elementi di collegamento, comunque sulla base di una specifica progettazione. Controllare l'allineamento dei vari elementi e la verticalità delle strutture verticali, eventualmente intervenendo per ripristinare la geometria.
4	<u>Tutte le strutture, in caso di incendio</u>
Dopo incendio anche parziale	Ispezioni a cura dell'Ingegnere, eventualmente coadiuvato dal Tecnologo del legno (anche dopo incendi parziali o principi di incendio). Occorrerà effettuare un controllo accurato di tutte le sezioni residue (togliendo completamente lo strato carbonizzato) e di tutte quelle apparentemente non interessate dall'incendio fino ad una distanza di almeno 50 cm da quelle interessate, controllando anche l'eventuale deformazione degli elementi di connessione. Occorrerà quindi intervenire con opere di consolidamento con legno o sostituzioni nei casi più gravi e provvedere, nel caso di elementi di connessione danneggiati (chiodi, viti o piastre metalliche) all'eventuale posizionamento di nuovi elementi accanto a quelli esistenti ad opportuna distanza e con lo stesso numero e tipologia di elementi di collegamento, comunque sulla base di una specifica progettazione.

Figura 3.22 Fonte: Follesa M., Lauriola M.P., Moschi M., 2011, *Durabilità e manutenzione delle strutture in legno*, Milano, Ticom Srl – Piacenza, p. 87

“Ognuno di noi, in possesso di un nuovo bene, vorrebbe che la sua funzione ed efficienza fosse tale per molto tempo, specialmente quando, per averlo, si è speso molto. [...] Così succede [...] per la casa. Per quest’ultimo bene – in verità – c’è un’idea diffusa, un po’ particolare, ossia che essa debba, per chissà quale grazia divina, rimanere sempre nuova. Si comincia a porsi il problema, quando c’è uno scarico che non funziona, una gronda che perde, un colore che sbiadisce, un pavimento che non si riesce a rilucidare ... Ed anche se sono passati dieci anni, si da la colpa all’idraulico, al muratore, alla pessima qualità dei materiali d’oggiorno!”

FRANCO LANER

(Laner F., 2005, Prontuario 3 Durabilità e manutenzione delle costruzioni di legno, Milano, promo_legno, p. 24)

La suggestiva citazione tratta da uno degli scritti del Professor Laner, grande esperto e ricercatore nell’ambito delle costruzioni in legno, rappresenta al meglio l’approccio nei confronti della manutenzione, confermato anche dai dialoghi svolti con i diversi esperti.

Un aspetto importante che è emerso è anche l’approccio che la maggior parte dei **progettisti** hanno nei confronti della manutenzione: spesso “copiano e incollano” Piani di Manutenzione di altri edifici. Inoltre, i **committenti** non sono a conoscenza dell’esistenza e dell’importanza del piano di manutenzione.

Nel **settore pubblico** i Piani di Manutenzione risultano essere redatti in modo più efficiente e applicati a cadenze regolari, in quanto vengono stipulati dei contratti pubblici e degli appalti per l’esecuzione della manutenzione da parte di enti terzi già prima che l’edificio venga posto in esercizio.

Al momento in Italia il progettista ha a disposizione diversi strumenti per poter realizzare un edificio con struttura lignea a regola d’arte: i protocolli di certificazione, le associazioni di settore e i manuali. Come accennato nella premessa, i protocolli di certificazione ad oggi attivi in Italia sono ARCA e S.A.L.E..

3.2 Il sisma

La progettazione in funzione delle **azioni sismiche** in Italia è un “fattore di forma” fondamentale per garantire la durabilità nel tempo di un edificio, qualsiasi sia il materiale da costruzione utilizzato. Come già accennato il comportamento al sisma e al fuoco sono certamente caratteristiche che concorrono alla durabilità in edilizia ma, specialmente per il sisma, l'evento naturale eccezionale è un fenomeno ben differente rispetto alla capacità, ad esempio, che l'involucro deve avere per essere durevole nel tempo per quanto riguarda l'umidità, le azioni del tempo...

Sono note le Pagode della Cina e del Giappone che rappresentano un esempio eccellente di architettura antisismica. L'ottimo comportamento degli edifici realizzati con una struttura in legno è rappresentato dall'iconica fotografia di un edificio in Alaska che ha resistito al terremoto di Anchorage di magnitudo 8.4 nel 1964. L'edificio è diventato noto in tutto il mondo poichè la struttura in legno non ha subito danni, mentre il blocco ascensore realizzato in cemento armato è crollato.

Il fatto che un edificio sia realizzato con una struttura in legno non necessariamente significa che sia sismo-resistente, poichè la resistenza sismica è il risultato della combinazione di molti fattori concomitanti che devono essere progettati. I fattori che determinano la progettazione sismica di un edificio in legno sono:



Figura 3.23 Blocco ascensore di un edificio in calcestruzzo armato crollato a seguito del terremoto di Anchorage, Alaska del 1964 (magnitudo 8,4), accanto a una casa a struttura di legno rimasta intatta. Fonte: <https://www.totaldesign.it/>

- **Leggerezza e resistenza.** Ad esempio la massa volumica del legno strutturale più utilizzato in edilizia, ovvero la Conifera, risulta essere di circa 500 Kg/m³, ovvero pari a circa 1/5 rispetto a quella del calcestruzzo. Inoltre la resistenza del legno è dello stesso ordine di quella del calcestruzzo (oltre al fatto che il legno, rispetto al calcestruzzo, abbia anche una certa resistenza a trazione). Di conseguenza il rapporto tra la resistenza e la massa volumica del legno risulta essere cinque volte maggiore rispetto a quella del calcestruzzo (e dell'acciaio). Praticamente

immaginando di dimensionare due strutture identiche per parità di luce, schemi statici e carichi, ma una che utilizza come materiale strutturale il legno e l'altra il calcestruzzo, il risultato che ne consegue è che la struttura in legno avrà sezioni simili a quella della struttura in calcestruzzo, ma una massa totale molto minore. Per questo motivo le strutture in legno, avendo una massa totale minore rispetto alle strutture realizzate con altri materiali da costruzione, sono più leggere quindi risentono meno della forza del sisma. Secondo infatti la formula

$F=m \cdot a$, la forza del sisma che si concentra sulla struttura è direttamente proporzionale alla massa della stessa;

- **La proprietà visco-elastica del legno.**

Una caratteristica che rende ottimale l'utilizzo del legno per contrastare le azioni sismiche sono le sue proprietà visco-elastiche: infatti, la resistenza del legno aumenta al diminuire della durata dell'azione di carico, come si può notare nel grafico della pagina a fianco;

- **Deformabilità.**

Considerando la direzione parallela alla fibra, il legno è un materiale deformabile: per dare l'idea il modulo elastico E del calcestruzzo è 15 GPa contro un E di 10 GPa dell'Abete rosso, la specie legnosa più utilizzata per gli elementi strutturali in Europa. L'elevata flessibilità porta a un aumento del periodo proprio di oscillazione, garantendo alla struttura un buon comportamento in caso di sisma. Anche per via del comportamento visco-elastico del legno si ha un aumento di circa il 20% del valore del modulo elastico per carichi istantanei;

- **Comportamento di tipo fragile.**

Il comportamento del legno - per via della presenza di difetti naturali che possono costituire delle cricche che potenzialmente possono innescare improvvisamente la rottura - è di tipo fragile, ovvero elastico-lineare fino a rottura. Ne consegue che, aumentando le dimensioni della sezione di un pilastro, ad esempio, e conseguentemente del volume del materiale, la probabilità di rottura aumenta poiché aumenta la probabilità che vi sia un difetto

all'interno. Questo non significa che negli elementi in legno non siano presenti comportamenti duttili, ma per ragioni di sicurezza il legno viene considerato come un materiale non dissipativo, quindi, per introdurre un meccanismo dissipativo nelle strutture in legno è necessario concentrare l'attività dissipativa sui giunti.

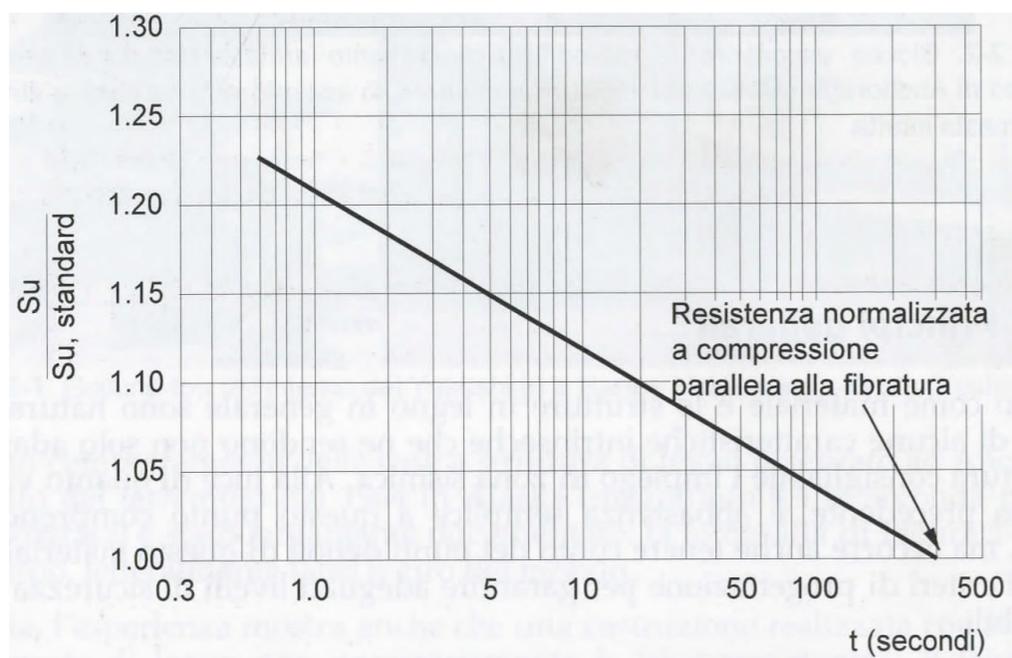


Figura 3.24 Effetto della velocità di applicazione di carico sulla resistenza del legno su una prova di 5 minuti. Fonte: Ceccotti A., Follesa M., Lauriola M.P., 2007, *Le strutture in legno in zona sismica: criteri e regole per la progettazione e il restauro*, Torino, CLUT, p. 56

3.2.1 La fase di ricerca: i progetti SOFIE e NEESWood

Per verificare il buon comportamento delle strutture in legno sotto l'azione di terremoti, sono state sviluppate diverse ricerche, tra cui il progetto SOFIE, studiato da un Istituto di Ricerca Italiano, e il progetto NEESWood, nato dalla collaborazione di cinque Università Americane e due Istituti di Ricerca Internazionali.

3.2.1.1 IL PROGETTO SOFIE

SOFIE (Sistema Costruttivo Fiemme) è stato un progetto sperimentale condotto dal **CNR-INVALSA**, sotto la coordinazione del Professor Ario Ceccotti e finanziato dalla Provincia Autonoma di Trento. Il programma, tra il 2005 e il 2008, si è sviluppato in una serie di ricerche e sperimentazioni con il fine ultimo di promuovere gli edifici multipiano realizzati con un sistema costruttivo a pannelli portanti in X-Lam. Lo scopo del progetto è stato infatti quello di definire le prestazioni e il potenziale di edifici multipiano realizzati con elementi portanti in X-Lam attraverso prove e analisi riguardanti quattro fattori fondamentali: sismica, fuoco, durabilità e "building physics". Tra i diversi aspetti approfonditi dalla ricerca è stata studiata in modo approfondito la capacità degli edifici in legno di dissipare energia in caso di evento sismico.

Questo studio è stato fondamentale per valutare le prestazioni degli edifici in X-Lam e conseguentemente per determinare alcuni parametri fondamentali per la progettazione, come ad esempio il fattore di struttura da utilizzare nei calcoli strutturali per questa tecnica costruttiva.

La ricerca, coadiuvata dal NIED ("National Institute for Earth Science and Disaster Prevention"),

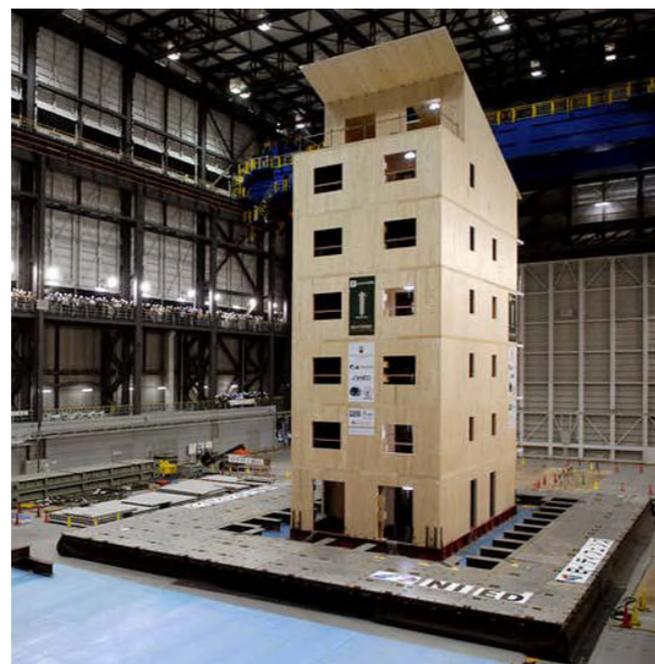


Figura 3.25 Edificio del progetto "SOFIE" testato sulla piattaforma vibrante a Kobe in Giappone. Fonte: <https://c2pproject.wordpress.com/2017/01/25/il-progetto-sofie/>

è stata sviluppata secondo diverse fasi, partendo dalle prove sul materiale ingegnerizzato e le diverse connessioni (prove a flessione, prove cicliche quasi statiche nel piano, prova pseudo-dinamica su un edificio a un piano), per arrivare a delle prove di resistenza su tavola vibrante (1D e 3D) su due edifici multipiano in scala 1:1.

La **prima prova** su tavola vibrante è stata effettuata nel 2006 su un edificio di tre piani, della dimensione di circa 50 m² e di 10 m di altezza. La struttura, in seguito a 26 simulazioni sismiche in funzione dei tre terremoti più conosciuti della storia (El Centro in USA avvenuto nel 1940, Kobe in Giappone nel 1995 e Nocera in Italia nel 1997), non ha riportato gravi danni. Gli unici lievi danneggiamenti si sono verificati in alcune connessioni meccaniche tra i diversi componenti costruttivi, tali comunque da consentire un semplice intervento di sostituzione per ripristinare la condizione di esercizio della struttura.

Un anno dopo sono state effettuate una nuova serie di **prove su un edificio di sette piani** attraverso l'uso della piattaforma vibrante più grande al mondo, la "E-Defence" presso Kobe, in Giappone. Anche in questo caso l'edificio, di 23 m di altezza e di 112 m² di superficie in pianta, è stato sottoposto a tre diverse scosse sismiche portate alla massima intensità. Al termine delle prove, la struttura è tornata alla posizione iniziale, riportando solamente dei lievi danni alle connessioni di tipo meccanico. In conclusione la ricerca ha messo in evidenza che, non solo gli edifici in X-Lam non collassano in caso di terremoti eccezionali, ma che riportano solamente danni minimi e facilmente riparabili.

3.2.1.2 IL PROGETTO NEESWood

NEESWood è stato un progetto sperimentale condotto dalla collaborazione di cinque università Statunitensi (Colorado State University, University of Delaware, State University of New York at Buffalo, Rensselaer Polytechnic Institute e Texas A&m University) e due Istituti di Ricerca Internazionali (Fp Innovations-Foritek Canada e MIED Giappone), sotto la coordinazione del Professor John W. Van de Lindt, e finanziato dalla National Science Foundation degli Stati Uniti d'America. Il programma ha previsto una serie di sperimentazioni con il fine ultimo di migliorare e aggiornare i codici costruttivi per la progettazione degli edifici con il sistema più utilizzato in USA, ovvero il "Platform Frame". Un altro obiettivo è stato quello di definire una nuova filosofia di progettazione detta PBSD ("Performance Based Sismic Design"), ovvero una progettazione prestazionale nei confronti delle azioni sismiche. La prima prova sperimentale è stata eseguita nel 2006 su una struttura a "Platform Frame" di due piani di elevazione attraverso l'uso di una piattaforma sismica dell'Università di Buffalo (USA). Questa prova è stata fondamentale per testare la resistenza in caso di sisma di un "classico" edificio Americano, progettato secondo la normativa corrente del Paese; questa sperimentazione ha portato allo sviluppo di una strategia progettuale per edifici multipiano (con un maggior numero di piani e una maggiore superficie rispetto al progetto "base"), in grado di resistere a terremoti di elevata intensità, senza riportare gravi danni strutturali. Infatti, a seguito di un paio di anni di ricerca, basati sull'analisi dei limiti dati dalla normativa e dal materiale, e

una serie di simulazioni numeriche e sperimentali, il gruppo di ricerca ha potuto definire un metodo di progettazione per edifici multipiano a "Platform Frame" basato su una filosofia di semplicità, sicurezza e economia. A conclusione del progetto, è stato realizzato un secondo edificio sperimentale di sei piani, di circa 1400 m² totali, applicando il metodo sopracitato. La struttura è stata poi testata nel 2009 presso la piattaforma "E-Defence" in Giappone - la stessa utilizzata nel 2007 per il progetto SOFIE - senza riportare danni gravi.

Il progetto NEESWood, insieme ad altri, ha avuto il merito di "scontrarsi" con una prassi "normata" tipica dei paesi Nord Americani, secondo la quale, da Normativa (come la ASTM degli Stati Uniti, piuttosto che il National Building Code Canadese), si possono costruire edifici di dimensioni ridotte e con una regolarità strutturale, attenendosi solamente a delle semplici regole, senza la necessità e l'obbligo di prevedere dei calcoli strutturali. Questa consuetudine da tempo preoccupava il "normatore" che vuole essere certo che la "classica casetta" Americana possa resistere anche a eventi eccezionali, quali il terremoto piuttosto che gli uragani. Questo obiettivo non è raggiungibile attraverso la prassi della "standardizzazione in senso lato" ma attraverso una progettazione strutturale, anche in funzione della localizzazione della struttura.



Figura 3.26 Edificio "NEESWood" testato sulla piattaforma vibrante a Kobe in Giappone. [Fonte: https://www.lacasaecologia.co/tecnologia-produttiva](https://www.lacasaecologia.co/tecnologia-produttiva)

3.2.2 Il calcolo delle strutture antisismiche secondo l'attuale Normativa

3.2.2.1 LA DIFFIDENZA NEI CONFRONTI DEL LEGNO DA PARTE DELLA NORMATIVA

Un tema emerso a partire dalle interviste svolte è che la Normativa Italiana, rispecchiando almeno in parte gli aspetti culturali ed esigenziali del mercato, presenti una sorta di "diffidenza", se così si può definire, nei confronti delle **costruzioni in legno**. Questa attitudine è stata inoltre confermata attraverso la consultazione di alcuni testi autorevoli: un esempio è il testo scaricabile online dal sito della Regione Toscana "*Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana*", realizzato nel 2009 da un gruppo di esperti del settore come strumento di ausilio al progettista per la progettazione di edifici in legno. La prima criticità, che può sembrare banale, è il numero di pagine che la Normativa NTC 2018 riserva al tema del legno, rispetto alle altre tecnologie costruttive: ad esempio per la progettazione dell'acciaio, senza considerare la progettazione sismica, le pagine totali sono 24, contro le 9 pagine per la progettazione delle strutture in legno!

Il secondo tema è legato alla "famosa questione" del **coefficiente parziale Y_m** per le proprietà dei materiali, in questo caso del legno, e il coefficiente correttivo k_{mod} per il legno e prodotti strutturali a base di legno.

Per spiegare quanto accaduto è doveroso aprire una parentesi sugli Eurocodici.

Gli **Eurocodici** sono Norme Europee EN a Carattere Volontario per la progettazione di strutture ingegneristiche, redatte dalla Commissione Tecnica 250 del CEN (Comitato Europeo di Normazione - CEN/TC250), e in particolare gli Eurocodici che

trattano il tema delle costruzioni in legno sono il 5, **UNI EN 1995-1-1 "Progettazione delle strutture in legno"** e l'8, **UNI EN 1998-1 "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica"**. Le Norme Nazionali dei singoli paesi Europei, generalmente, contengono il testo completo degli Eurocodici, preceduto da una premessa Nazionale e seguito da un'eventuale "**appendice Nazionale**". L'appendice Nazionale contiene informazioni sui "Parametri Determinati a livello Nazionale", lasciati dal CEN alla scelta del singolo stato. In Italia l'appendice Nazionale esiste, l'ultimo aggiornamento è del 2013, ma non viene utilizzata dai progettisti. Questo perché in Italia vengono utilizzati più strumenti Normativi: **il Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018 NTC 2018, la Circolare 21 Gennaio 2019 n°7 C.S.LL. PP. Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018"** e "**Le Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo" del CNR** (Consiglio Nazionale delle Ricerche).

Le **NTC 2018**, le "Norme Tecniche per le Costruzioni", a livello ministeriale, recepiscono gli Eurocodici a livello Nazionale e fungono da strumento per la valutazione della "sicurezza" delle strutture. Nelle NTC vengono quindi selezionati i "Valori determinati a livello Nazionale", esauendo così il ruolo dell'Appendice Nazionale all'Eurocodice. Come recita il capitolo 12 "Riferimenti tecnici":

«Per quanto non diversamente specificato nella presente norma, si intendono coerenti con i principi alla base della stessa, le indicazioni riportate nei seguenti documenti:

- Eurocodici strutturali pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali;
- Norme UNI EN armonizzate i cui riferimenti siano pubblicati su Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea;
- Norme per prove su materiali e prodotti pubblicate da UNI.

Inoltre, a integrazione delle presenti norme e per quanto con esse non in contrasto, possono essere utilizzati i documenti di seguito indicati che costituiscono riferimenti di comprovata validità:

- Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale e successive modificazioni del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici sul documento stesso;
- Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.).

Per quanto non trattato nella presente norma o nei documenti di comprovata validità sopra elencati, possono essere utilizzati anche altri codici internazionali; è responsabilità del progettista garantire espressamente livelli di sicurezza coerenti con quelli delle presenti Norme tecniche.

Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, per il tramite del Servizio Tecnico Centrale, predispo-

ne e pubblica, sentiti il Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.) e l'Ente Italiano di Normazione (UNI), l'elenco dei documenti che costituiscono riferimento tecnico per le Norme tecniche per le costruzioni ai sensi del presente capitolo. Con analoghi procedimenti sono anche predisposti e pubblicati gli aggiornamenti periodici a tale elenco, nonché gli aggiornamenti degli elenchi delle specifiche tecniche volontarie UNI, EN ed ISO richiamate nella presente norma.»

(D.M., 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni", Cap. 12 Riferimenti tecnici)

La **diffidenza nei confronti delle costruzioni in legno** emerge dalle prime Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, le quali recepiscono a tutti gli effetti gli Eurocodici Europei. Queste selezionano per le costruzioni in legno i valori più peggiorativi proposti nel range di "Parametri Determinati a livello Nazionale" presenti nell'Eurocodice, per i coefficienti parziali di sicurezza e il coefficiente correttivo k_{mod} per il legno e prodotti strutturali a base di legno. Secondo il libro "Giachino D.M., 2013, *Legno. Manuale per progettare in Italia*, Milanofiori Assago, UTET Scienze Tecniche, p.16":

"Questa scelta, ha il senso di tutelare a monte il settore delle costruzioni in legno, andando in qualche modo a sopperire alla mancanza di cultura e di esperienza progettuale specifica. L'esito di tale severità ha provocato come ricaduta pratica il rendere le strutture in legno economicamente più onerose, a causa della maggior quantità di legname e di connessioni meccaniche impiegate, legate al sovradimensionamento strutturale".

La terza questione che ha contribuito alla formazione di un clima di diffidenza da parte dei progettisti nei confronti del legno è legata all'"atteggiamento" negli anni del quadro normativo, rispetto all'altezza massima degli edifici con struttura in legno.

- Nella "Legge n° 64 del 02/02/1974" per la progettazione in zone sismiche, era presente una sola dicitura per quanto riguarda le costruzioni in legno, che venivano definite come "strutture di legname";
- Nel D. M. LL.PP. 16/01/1996 n.11951 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismi-

che", in vigore fino al 2009, si "ammettono" le "strutture di legno" ma le indicazioni/prescrizioni per la loro progettazione sono quasi del tutto assenti. L'unica disposizione riguarda l'altezza massima degli edifici in funzione del grado di sismicità;

- Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 Marzo 2003 si è avuto un notevole miglioramento nell'atteggiamento delle costruzioni in legno. Questo perché l'Ordinanza inizia a trarre "ispirazione" dall'Eurocodice 8 (vd. paragrafo successivo), tuttavia permane il limite ingiustificato di altezza per gli edifici di struttura in legno in funzione della zona sismica;
- Con il DM 14/01/2008, ovvero le NTC 2008, scompaiono finalmente le limitazioni delle altezze in funzione della zona sismica per le strutture in classe di duttilità alta. Vengono inoltre introdotte indicazioni progettuali e costruttive relative alle costruzioni in legno, anche se la maggior parte risultano essere specifiche per il sistema costruttivo a "Platform Frame".

Le limitazioni sulle altezze sono dettate da una scarsa conoscenza e consapevolezza del "normatore" nei confronti del legno. La storia insegna che in **Giappone**, territorio ad elevata attività sismica, si possono costruire edifici in legno anche oltre i trenta metri di altezza, poiché la resistenza all'energia sismica di una struttura in legno è legata alla sua leggerezza, flessibilità e capacità di dissipazione.



Figura 3.27 Pagoda di Horiu-anara, costruita millequattrocento anni fa, supera i trenta metri di altezza. Fonte: <https://www.architetturaecosostenibile.it/architettura/criteri-progettuali/pagoda-origini-architettura-legno-168>

3.2.2.2 EUROCODICE 8

L'Eurocodice 8 (EN 1998-1:2013) è la norma Europea per la progettazione delle strutture in zona sismica. Il capitolo 8 "**Regole specifiche per gli edifici di legno**" fornisce indicazioni costruttive e progettuali per la progettazione degli edifici a struttura lignea. Una **criticità** che si riscontra in questo capitolo è che l'unico sistema considerato per le costruzioni in legno in zona sismica è quello del "Platform Frame", mentre il sistema a pannelli portanti di X-Lam, ormai predominante rispetto al primo - almeno in Europa -, non è contemplato. Per quanto riguarda la progettazione di sistemi costruttivi non previsti dall'Eurocodice, vengono solamente fornite delle indicazioni generali, sottolineando come la struttura, per essere a norma, debba dimostrare, tramite l'applicazione di apposite norme e sperimentazioni (per le strutture in legno è la EN 12512 "*Strutture di legno – Metodi di prova – Prove cicliche su giunti realizzati con connettori meccanici*"), una capacità deformativa plastica in grado di dissipare energia in caso di sisma.

Dai dialoghi risulta però che l'Eurocodice 8 sia in **fase di revisione** e che porterà a un cambiamento radicale per le costruzioni in legno, oltre al fatto che il sistema a pannelli in X-Lam sarà contemplato nei calcoli.

3.2.2.3 METODO NON DISSIPATIVO E DISSIPATIVO

Nella **NTC 2018** il tema è approfondito nel capitolo 7, in particolare la progettazione di strutture in legno in zona sismica si trova nel paragrafo 7. È importante sottolineare come la Normativa Italiana NTC 2018 derivi dall'**Eurocodice**, il quale ha subito nella redazione un'influenza Nord Europea, in particolare da parte della Germania e dell'Austria, paesi che tipicamente non hanno problemi sismici. Come anticipato, l'Eurocodice 8 "*Progettazione delle strutture per la resistenza sismica*" è in fase di revisione e un gruppo di professionisti ed esperti Italiani del settore sta cercando di migliorare e implementare il calcolo delle strutture in legno in zona sismica: si parla addirittura di circa sessanta pagine di calcoli per le strutture in legno, che confrontate con le pagine dedicate all'argomento dall'attuale Eurocodice, risultano essere una conquista per il settore del legno.

La NTC 2018 presenta due comportamenti e tipologie di calcolo differente: **il comportamento strutturale non dissipativo e il comportamento strutturale dissipativo**. Facendo un confronto con le strutture in acciaio, quello che si nota è che le regole di dettaglio e le formule per il calcolo del comportamento strutturale del legno in caso di evento sismico sono quasi inesistenti.

«Per comportamento strutturale non dissipativo, nella valutazione della domanda tutte le membrature e i collegamenti rimangono in campo elastico o sostanzialmente elastico; la domanda derivante dall'azione sismica e dalle altre azioni è calcolata, in funzione dello stato limite cui ci si riferisce, ma indipendentemente dalla tipologia strutturale e senza tener conto delle non linearità di materiale, attraverso un modello elastico (v. § 7.2.6).

Per comportamento strutturale dissipativo, nella valutazione della domanda un numero elevato di membrature e/o collegamenti evolvono in campo plastico, mentre la restante parte della struttura rimane in campo elastico o sostanzialmente elastico; la domanda derivante dall'azione sismica e dalle altre azioni è calcolata, in funzione dello stato limite cui ci si riferisce e della tipologia strutturale, tenendo conto della capacità dissipativa legata alle non linearità di materiale. Se la capacità dissipativa è presa in conto implicitamente attraverso il fattore di comportamento q (v. § 7.3), si adotta un modello elastico; se la capacità

dissipativa è presa in conto esplicitamente, si adotta un'adeguata legge costitutiva (v. § 7.2.6). [...] Sia per la CD "A" sia per la CD "B", s'impiegano i procedimenti tipici della progettazione in capacità. Nelle sole costruzioni di muratura, essi s'impiegano dove esplicitamente specificato. Questa progettazione ha lo scopo di assicurare alla struttura dissipativa un comportamento duttile ed opera come segue:

- distingue gli elementi e i meccanismi, sia locali sia globali, in duttili e fragili;
- Mira ad evitare le rotture fragili locali e l'attivazione di meccanismi globali fragili o instabili;

- Mira a localizzare le dissipazioni di energia per isteresi in zone degli elementi duttili a tal fine individuate e progettate, dette "dissipative" o "duttili", coerenti con lo schema strutturale adottato.

Tali fini possono ritenersi conseguiti progettando la capacità in resistenza allo SLV degli elementi/meccanismi fragili, locali e globali, in modo che sia maggiore di quella degli elementi/meccanismi duttili ad essi alternativi. Per assicurare il rispetto di tale disequaglianza, a livello sia locale sia globale, l'effettiva capacità in resistenza degli elementi/meccanismi duttili è incrementata mediante un opportuno coefficiente γ_{Rd} , detto "fattore di sovreresistenza"; a partire da tale capacità maggiorata si dimensiona la capacità degli elementi/meccanismi fragili indesiderati, alternativi ai duttili. Per ogni tipologia strutturale:

- γ occorre assicurare, anche solo su base deduttiva a partire dai fattori di sovreresistenza γ_{Rd} da utilizzare nella progettazione in capacità a livello locale, un adeguato fattore di sovreresistenza γ_{Rd} dei meccanismi globali fragili. Ove non esplicitamente specificato nella presente norma, tale fattore deve essere almeno pari a 1,25;
- γ i fattori di sovreresistenza γ_{Rd} da utilizzare nella progettazione in capacità a livello locale per i diversi elementi strutturali e le singole verifiche»

(D.M., 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni", 7.2.2. Criteri generali di progettazione dei sistemi strutturali.)

Il metodo di comportamento strutturale non dissipativo prevede il calcolo della forza sismica in modo "semplice" con un metodo assimilabile a quello del vento.

Una **criticità** di questo sistema, basato su una progettazione di tipo elastico, non sfrutta la possibilità che l'edificio possa dissipare l'energia del sisma. Il sistema prevede la progettazione di strutture particolarmente robuste in grado di resistere all'azione del sisma.

Il metodo può essere applicabile solamente a strutture situate in zone a basso rischio sismico poiché risulta essere poco cautelativo: il calcolo non si interessa della modalità di rottura. Il miglior tipo di rottura infatti è quello duttile, ovvero quello che prevede una grande deformazione strutturale prima di arrivare al collasso, portando quindi gli utenti di un ipotetico edificio soggetto a una forza sismica, ad accorgersi del problema prima dell'effettivo crollo. Inoltre non è consigliabile l'applicazione di questo sistema soprattutto per le strutture a elevato sviluppo in altezza poiché porterebbe alla progettazione di un edificio difficilmente realizzabile e con un impatto economico notevole.

Il metodo di comportamento strutturale dissipativo, più complesso nel calcolo rispetto al precedente, segue il principio del "**capacity design**": prevede una rottura "studiata" e localizzata sugli elementi di collegamento in acciaio - un materiale duttile -, i quali possono superare il campo elastico e raggiungere grandi deformazioni prima di arrivare a rottura. In base alla capacità dissipativa della struttura, sono previste dalla NTC due classi di duttilità: Classe di Duttilità Alta (CD "A"), a elevata

capacità dissipativa, e la Classe di Duttilità Media (CD "B"), a media capacità dissipativa.

Per questo tipo di "progettazione in capacità" è necessario definire una serie di criteri di gerarchia delle resistenze: nella Normativa viene dato per "scontato" che il progettista sappia (e non sempre è così) che gli elementi lignei, avendo un comportamento elastico, sono gli elementi fragili, mentre le connessioni meccaniche sono, come già accennato, gli elementi che si deformano plasticamente. In seguito alla definizione di questi criteri, per porre la struttura a favore di sicurezza, e quindi evitare che gli elementi lignei raggiungano il collasso nel caso in cui i collegamenti si dovessero danneggiare, si procede alla progettazione degli elementi a comportamento elastico con una resistenza molto maggiore rispetto agli elementi a comportamento plastico. Questo viene eseguito imponendo che la **resistenza degli elementi fragili sia maggiore della resistenza degli elementi duttili moltiplicati per un fattore di sovra-resistenza Y** (in cui $Y > 1$). Questo coefficiente "maggiorativo" viene indicato da Normativa a seconda del sistema costruttivo e della Classe di Duttilità utilizzata (Tab. 7.2.1). Per quanto riguarda la tabella delle strutture in legno è presente solamente una voce generica detta "Legno Collegamenti".

Tuttavia è importante sottolineare che non tutte le tipologie di collegamento meccanico presentano lo stesso grado di duttilità: è quindi fondamentale andarle a classificare in modo corretto durante la definizione della gerarchia delle resistenze, suddividendole in fragili e duttili.

Il problema che i progettisti riscontrano - e che li porta a preferire il metodo di calcolo non dissipativo - è che **risulta mancare nella Normativa una spiegazione approfondita e dettagliata su come poter applicare in modo pratico il calcolo per ottenere una struttura con un comportamento dissipativo.**

3.2.2.4 LA RESISTENZA DELLE CONNESSIONI E LA CHIODATURA PARZIALE

Come già accennato i **connettori** sono indispensabili per garantire la resistenza alle forze orizzontali prodotte dal sisma, le quali generano nella struttura forze di taglio e di trazione tra i diversi componenti strutturali.

Per quanto riguarda gli edifici realizzati con una struttura a pannelli in X-Lam, le forze di trazione che portano al sollevamento delle pareti rispetto ai solai, vengono contrastate disponendo degli **“hold-down”** agli angoli delle pareti e delle aperture; per il trasferimento delle forze di taglio vengono utilizzati degli **angolari** che, posizionati a distanze regolari, fungono da collegamento tra le pareti verticali e i solai/fondazioni. Inoltre le **piastre forate**, solitamente usate sul lato esterno della struttura, permettono di trasferire sia le forze di trazione che quelle di taglio.

Queste connessioni rappresentano, nello “schema” della gerarchia delle resistenze, un **comportamento duttile**, purchè vengano rispettate le indicazioni date da Normativa riguardanti le distanze tra i connettori e dagli estremi dei pannelli in legno. Questo comportamento dissipativo è legato a due fenomeni che avvengono in modo combinato durante la deformazione della connessione:

- “il rifollamento del legno intorno ai connettori”
- “la plasticizzazione dei connettori metallici”¹

Per garantire il comportamento dissipativo della connessione è quindi necessario **sfruttare la dut-**

tilità dei chiodi. Ad esempio, per la progettazione di un edificio in zona sismica, per garantire un comportamento duttile dell’“hold-down” viene prevista una chiodatura di tipo “parziale”. Nel caso di un evento sismico i chiodi andrebbero a snervarsi dissipando energia e l’“hold-down” rimarrebbe in campo elastico. Dalle interviste è emerso che il tema della chiodatura parziale è spesso **poco conosciuto** dai progettisti, piuttosto che dai carpentieri: l’errore che sovente viene commesso è che, durante la fase di cantiere, si esegue una chiodatura totale sugli elementi a trazione pensando, erroneamente, di mettersi a favore di sicurezza.

3.2.3 L'Europa e il confronto con l'estero

3.2.3.1 LA RICERCA IN ITALIA E GLI STRUMENTI PER IL PROGETTISTA

Oltre al centro di ricerca **CNR-Invalsa**, in Italia esiste anche il **Consorzio Reluis**, la rete dei laboratori universitari di ingegneria sismica e strutturale che ha lo scopo di coordinare l'attività di ricerca, fornendo supporti scientifici, organizzativi e finanziari alle università. Tra le attività principali del consorzio troviamo la collaborazione nelle attività di predisposizione della Normativa Tecnica di interesse (art. 19 D.LGS 1/2018 lett. d), anche per le strutture in legno. Inoltre la **Regione Toscana**, a supporto del progettista, ha pubblicato nel 2009, come già anticipato, "**Linee Guida per l'edilizia in legno in Toscana**", un manuale completo per la progettazione delle strutture in legno, in cui si trova un capitolo dedicato alla progettazione sismica "**4.7 Comportamento sismico delle strutture in legno**". Questo capitolo spiega in modo semplice come funziona un terremoto, perché le strutture in legno sono adatte alla realizzazione in zona sismica, il quadro normativo e la ricerca in atto a proposito del tema. In aggiunta, la "**Direzione Ambiente e Energia-Settore Sismica**" della Regione Toscana a Febbraio del 2021 ha pubblicato il documento "**Orientamenti interpretativi in merito alle costruzioni in legno**" a supporto del progettista, come strumento di integrazione alla Normativa Tecnica per le Costruzioni". In questo documento, ad esempio, sono indicate soluzioni riguardanti metodi costruttivi non contemplati dalla Normativa. Una criticità della NTC 2018, infatti, è che non faccia cenno alle strutture di tipo misto, se non a quelle composte in acciaio-calcestruzzo. La NTC

2018, nel capitolo 4.6 "Altri sistemi costruttivi" riporta solamente:

«Qualora vengano usati sistemi costruttivi diversi da quelli disciplinati dalle presenti norme tecniche, la loro idoneità deve essere comprovata da una dichiarazione rilasciata, ai sensi dell'articolo 52, comma 2, del D.P.R. 380/01, dal Presidente del Consiglio superiore dei lavori pubblici su conforme parere dello stesso Consiglio e previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale. Si intendono per "sistemi costruttivi diversi da quelli disciplinati dalle presenti norme tecniche" quelli per cui le regole di progettazione ed esecuzione non siano previste nelle presenti norme tecniche o nei riferimenti tecnici e nei documenti di comprovata validità di cui al Capitolo 12, nel rispetto dei livelli di sicurezza previsti dalle presenti norme tecniche. In ogni caso, i materiali o prodotti strutturali utilizzati nel sistema costruttivo devono essere conformi ai requisiti di cui al Capitolo 11. Per singoli casi specifici le amministrazioni territorialmente competenti alla verifica dell'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni ai sensi del DPR 380/2001 o le amministrazioni committenti possono avvalersi dell'attività consultiva, ai sensi dell'articolo 2, comma 1, lettera b), del D.P.R. 204/2006, del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, che si esprime previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale»

(D.M., 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni", 4.6 Altri sistemi costruttivi)

Il fatto che la Normativa non riporti indicazioni progettuali specifiche a riguardo comporta il fatto che le suddette indicazioni possano essere interpreta-

bili. Dalle interviste è infatti emerso che spesso il progettista, interfacciandosi con il "Servizio sismica" per l'approvazione del proprio progetto, si trovi in difficoltà per via di una diversa interpretazione delle indicazioni normative delle parti. Per questo motivo la Regione Toscana ha voluto dare un'interpretazione univoca a queste indicazioni.

Un esempio di "software" che può essere utilizzato dal progettista per la verifica delle strutture in legno, in particolare in zona sismica, è "**Timbertech**". Il programma, sviluppato nel 2007, prevede un modulo di calcolo aggiuntivo sul rischio sismico delle costruzioni, secondo il metodo convenzionale dell'Allegato A del D.M. n°58 del 28 Febbraio 2017 e s.m.i. "Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni".

3.2.3.2 IL CONFRONTO CON L'APPROCCIO SISMICO DELLA NORMATIVA CANADESE

Il Canada è uno di quei paesi in cui, come anticipato, è prevista la costruzione di edifici in legno poco complessi seguendo unicamente delle regole costruttive, senza bisogno di un progetto strutturale apposito. Nel caso specifico Canadese, queste regole sono elencate nella Parte 9 del "**National Building Code of Canada**". Questo è possibile per edifici che rispettano determinate caratteristiche:

- Edifici realizzati con il sistema a "Platform Frame" con un'altezza massima di tre piani e una superficie che non superi i 600 m², tenendo presente che la luce massima ammessa è di 12.2 metri;
- Per quanto riguarda gli elementi strutturali è necessario utilizzare elementi costruttivi di legno con le medesime dimensioni e un interasse massimo di 60 cm;
- Il sovraccarico massimo deve essere inferiore a 2.4 kN/m²;

Per gli edifici che non presentano queste caratteristiche, è invece necessario un progetto strutturale che segua la norma per le costruzioni in legno Canadese "**CSA Standard O86 "Engineering Design in Wood"**".

Questa Norma, che in parte è stata sviluppata considerando diverse ricerche Europee, risulta essere **molto avanzata** dal punto di vista del calcolo delle strutture in zona sismica: sono presenti una serie di accorgimenti per garantire una buona resistenza delle strutture in legno, che ad esempio non sono

contemplati nell'Eurocodice 8.

Un esempio è il concetto di garantire alla struttura una dissipazione uniforme da parte di tutti i piani della struttura, evitando quindi il cosiddetto “soft storey”. Il “**soft storey**” solitamente è il piano terra composto principalmente da pilastri: è importante sottolineare come in zona sismica sarebbe buona norma evitare questa condizione poiché il piano, non essendo duttile, non garantisce una corretta dissipazione da parte della struttura. Per evitare questo, ciò che stabilisce la Norma Canadese al 11.8.3.2 “**Ratio of second storey to first storey over-capacity coefficients**” è che, per edifici a tre

o più piani, il rapporto tra i coefficienti di sovra resistenza - ovvero da 7.3.1 D.M. 17 gennaio 2018

«*il rapporto tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la plasticizzazione in un numero di zone dissipative tale da rendere la struttura un meccanismo e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione*» - sia costante ai vari piani della struttura e compreso tra 0.9 e 1.2, stabilendo quindi una resistenza al sisma simile per tutti i piani.

Note a pie' di pagina

¹ da “Ceccotti A., Follesa M., Lauriola M.P., 2007, Le strutture in legno in zona sismica: criteri e regole per la progettazione e il restauro, Torino, CLUT”, p. 59

11.8.3.2 Ratio of second storey to first storey over-capacity coefficients

For structures that have three or more storeys, the vertical SFRSs shall be designed so that the ratio of the over-capacity coefficient of the second storey, C_2 , and the over-capacity coefficient of the first storey, C_1 , is as follows:

$$0.9 < \frac{C_2}{C_1} \leq 1.2$$

Note: See the CWC Commentary on CSA O86.

Figura 3.28 Rapporto tra i coefficienti di sovra-capacità del secondo piano e del primo piano. Fonte: CSA Standard O86-14, Engineering Design in Wood, versione ristampata Maggio 2016, p. 105

3.3 Il fuoco

Gli edifici, qualsiasi sia il materiale da costruzione utilizzato, devono essere studiati dal punto di vista della **resistenza al fuoco**.

Il legno, essendo un materiale combustibile, è spesso oggetto di preconcetti per quanto riguarda il suo utilizzo per la realizzazione di edifici in grado di avere un buon comportamento in caso di incendio. Non è noto da parte di molti progettisti “della vecchia scuola” che numerosi studi hanno dimostrato che spesso le strutture in legno manifestano un comportamento al fuoco equiparabile, se non addirittura migliore, alle strutture realizzate con i materiali “della trazione”, quali l'acciaio, il calcestruzzo armato...

Facendo un confronto tra il legno, materiale noto per la sua combustibilità, e i materiali “tradizionali”, sarà evidente quali siano i motivi per i quali il legno risulta essere un materiale preferibile, se considerato dal punto di vista del comportamento al fuoco:

- **Il legno brucia in modo lento e uniforme**, il processo di carbonizzazione avviene dall'esterno verso l'interno della sezione. L'acciaio invece non brucia ma le sue caratteristiche meccaniche diminuiscono all'aumentare della temperatura;
- **La perdita di resistenza della sezione** in legno non avviene per decadimento delle caratteristiche meccaniche, come contrariamente accade per l'acciaio, ma per la riduzione della sezione resistente. Il collasso avviene nel momento in cui la parte della sezione intatta è ridotta al minimo e non riesce ad assolvere meccanicamente alla sua funzione di

sostegno;

- Nelle strutture in legno infatti i **punti “critici” sono spesso rappresentati dalle connessioni metalliche a vista e/o non protette**: i collegamenti metallici possono infatti trasmettere il calore all'interno dell'elemento in legno oppure subire deformazioni che compromettono la staticità della struttura.

3.3.1 Le strutture in legno e il comportamento al fuoco

3.3.1.1 IL COMPORAMENTO AL FUOCO

Innanzitutto è importante dare una definizione di “**sicurezza anticendio**”: «*Si intende per sicurezza anticendio la capacità di garantire le prestazioni strutturali previste in caso d'incendio, per un periodo richiesto di tempo. Conseguentemente, quando necessario, i rischi derivanti dagli incendi devono essere limitati progettando e realizzando la costruzione in modo tale da garantire la resistenza e la stabilità degli elementi portanti e limitare la propagazione del fuoco e dei fumi.*»¹

Per la progettazione della sicurezza delle strutture in legno in caso in incendio è fondamentale studiare due aspetti complementari: **la resistenza al fuoco e la reazione al fuoco**.

Come da 3.6.1.1 della NTC 2018, «*la resistenza al fuoco riguarda la capacità portante in caso di incendio per una struttura, per una parte della struttura o per un elemento strutturale nonché la capacità di compartimentazione rispetto all'incendio per gli elementi di separazione sia strutturali, come muri e solai, sia non strutturali, come porte e tramezzi.*»². Essa dipende non solo dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali ma anche dai criteri costruttivi e dalle scelte progettuali, ed esprime le prestazioni della stratigrafia nei confronti dell'incendio. Questa viene quindi espressa in termini di tempo (solitamente in minuti). Per determinare la classe di resistenza al fuoco di un elemento costruttivo è necessario fare riferimento alla “**Certificazione R.E.I.**”. Con l'acronimo R.E.I., di origine francese, si intende:

- R. sta per resistenza meccanica, ovvero la capacità di un elemento di conservare la propria resistenza meccanica sotto l'azione del fuoco;
- E. sta per ermeticità, ovvero l'attitudine di un elemento a non produrre fiamme, gas e vapori sul lato non esposto all'incendio, se sottoposto all'azione del fuoco da un lato;
- I. sta per isolamento termico, ovvero la capacità di un elemento di ridurre la trasmissione del calore.

Questa sigla, a seconda dei diversi **sistemi costruttivi**, può essere ridotta in funzione dei **livelli di protezione**:

- R.E.I. è richiesta per elementi portanti e di compartimentazione;
- E.I. è richiesta solo per elementi che hanno la funzione di compartimentazione;
- R. è richiesta per elementi solo portanti.

Infatti per le strutture intelaiate è richiesto solamente il requisito R di resistenza meccanica, mentre per le strutture a pannelli, nel caso di compartimentazione, vengono richiesti tutti e tre i requisiti. La sigla normalmente viene seguita da un numero che indica i minuti entro cui l'elemento è in grado di resistere all'azione del fuoco.

Come definito dalle Istruzioni per la progettazione delle strutture in legno del CNR DT 206-R1/2018

«*Per reazione al fuoco si intende la capacità di un materiale di contribuire a un incendio e di propagarlo [...] La reazione al fuoco di un materiale (o manufatto) sarà quindi espressa da un codice corrispondente ad una classificazione (Decisione Commissione EU 2000/147/EC, 8 febbraio 2000).*»³

Le **caratteristiche di reazione al fuoco** di un pannello in X-Lam, ad esempio, sono definite da un codice alfanumerico: “D-s2 d0”. Un materiale viene così classificato a seconda della sua reazione al fuoco:

- Con una prima lettera che definisce la **classificazione di reazione al fuoco secondo le Euroclassi** e comprende A1, A2, B, C, D, E, F all'aumentare della partecipazione del materiale al processo di combustione. Ad esempio il pannello in X-Lam risulta essere nella classe D, ovvero per “materiali combustibili non facilmente infiammabili”;
- Il secondo codice alfanumerico indica la **produzione del fumo**: s1 se il materiale produce una quantità estremamente limitata di gas di combustione, s2 per i materiali che emettono una quantità limitata di fumo, come i pannelli in X-Lam e s3 per i materiali per cui non è prevista nessuna limitazione per quanto riguarda la produzione dei gas di combustione;
- Il terzo codice alfanumerico indica la **produzione di gocce ardenti, che potenzialmente potrebbero alimentare l'incendio**. La classe d0 è per i materiali che non producono gocce o particelle ardenti, la d1 è per i materiali che ne emettono quantità limitate e la d2 non prevede alcuna limitazione per la produzione di gocce o particelle ardenti. Per quanto riguarda l'X-Lam la classe risulta essere la d0.

3.3.1.2 VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA AL FUOCO

La verifica di **resistenza al fuoco** di un elemento strutturale in legno consiste nel controllare che la resistenza all'incendio dell'elemento/struttura sia maggiore della gravità dell'incendio stesso. Questa può essere valutata in tre modi:

- Il **metodo sperimentale** prevede la valutazione della resistenza al fuoco attraverso delle prove in forno su degli elementi che hanno le medesime caratteristiche (fisiche, geometriche e di carico) agli elementi che verranno impiegati nella costruzione della struttura;
- Il **metodo analitico** si basa sul calcolo analitico allo stato limite ultimo di collasso in funzione di due valori noti: la velocità di carbonizzazione e la resistenza meccanica. Per svolgere i calcoli è possibile far riferimento a documenti di comprovata validità, anche se l'**Eurocodice 5** - e in particolare le norme EN 1995-1-1 "Azioni generali – Azioni sulle strutture esposte al fuoco" e EN 1995-1-2 "Progettazione delle strutture di legno – Progettazione strutturale contro l'incendio" – è sicuramente il documento più esaustivo dal punto di vista della valutazione della resistenza al fuoco. L'Eurocodice 5 fornisce tre differenti metodi di calcolo, tra cui il "**metodo della sezione efficace**" che risulta essere quello maggiormente utilizzato dai progettisti poiché, oltre a essere il più cautelativo, è anche il più semplice da applicare. L'Eurocodice inoltre fornisce indicazioni sulla protezione dei giunti che, come accennato precedente-

mente, risultano essere il punto debole della costruzione in legno;

- Il D.M. Int 09/09/2007 "Prestazione di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del corpo Nazionale dei Vigili del fuoco", un decreto nazionale redatto con il fine di chiarire o integrare quanto previsto a livello comunitario, prevede anche che vi sia un **metodo tabellare**. Questo però non include il calcolo delle strutture in legno. Anche in questo caso, emerge da parte dei legislatori un certo preconcetto nei confronti del legno.

3.3.1.3 LA PROTEZIONE PASSIVA AL FUOCO

La **resistenza al fuoco** da parte della struttura e la **compartimentazione** sono strumenti di protezione passiva agli incendi. L'Eurocodice 5 tratta solamente i **metodi passivi** di protezione e non quelli attivi, come ad esempio i sistemi di allarme antincendio, l'attrezzatura, la segnaletica e l'illuminazione di sicurezza.

Per quanto riguarda la resistenza al fuoco, è necessario garantire che la struttura svolga la sua funzione portante in caso di incendio per un tempo almeno sufficiente alla fuga degli occupanti.

La **compartimentazione** invece è necessaria per evitare la propagazione dell'incendio alle aree adiacenti la zona di innesco, attraverso l'utilizzo di elementi che garantiscano la resistenza meccanica, l'isolamento termico e la tenuta dei fumi. Gli elementi di propagazione sono infatti i solai, le partizioni verticali, le porte taglia fuoco, gli elementi di

protezione degli impianti elettrici, ecc.

Gli edifici realizzati in "**legno massiccio**" come le tipologie a "log construction" oppure quelle a pannelli portanti in X-Lam sono i più adatti a garantire la capacità di compartimentazione.

Spesso legato alla compartimentazione, detta anche "incapsulamento", troviamo il concetto di "**Self-extinguishment**". La cosiddetta auto-estinzione si verifica quando tutti gli elementi combustibili all'interno del compartimento "stagno" sono stati bruciati, in particolare il fenomeno si verifica nel momento in cui l'ossigeno si esaurisce. Per quanto riguarda le strutture a pannelli portanti a strati incrociati in legno è buona norma utilizzare un **rivestimento ignifugo**, come ad esempio il cartongesso, in modo da accelerare il processo di esaurimento dell'ossigeno, portando quindi allo spegnimento dell'incendio in un lasso di tempo relativamente breve, nel quale la struttura mantenga la propria capacità portante. Questo fenomeno non è ancora completamente stato studiato poiché di norma le prove al fuoco vengono interrotte prima che questo possa manifestarsi.

Uno studio interessante a proposito del tema è stato affrontato da un gruppo di ricerca della *Carleton University di Ottawa (Canada)*, con a capo il *Professor McGregor*.⁴ Questa ricerca, grazie a delle sperimentazioni al vero, ha dimostrato che il compartimento di un edificio in X-Lam, in una prima fase di incendio, vede il fuoco ardere sulle pareti in legno e sugli altri elementi contenuti nella stanza (mobili,...). In un secondo momento, bruciati gli elementi accessori, l'X-Lam è passato da una com-

bustione di tipo ardente a una combustione senza fiamma fino ad arrivare allo spegnimento. Questo fenomeno può essere ricondotto al "Self-extinguishment". Un altro aspetto che è stato sottolineato da questa sperimentazione è il fenomeno di "**delaminazione**" dei pannelli in X-Lam che avviene a elevate temperature. Questo tema sarà però affrontato nei paragrafi successivi.

E' comunque importante sottolineare come il fenomeno di estinzione dell'incendio, e in particolare quello dell'autoestinzione, sia "*molto complesso, legato come è alla natura, al grado di suddivisione e alla disposizione spaziale del materiale, alla dimensione e alla geometria dei volumi interessati dall'incendio, alle vie di comunicazione di questi volumi con l'esterno, all'apporto di comburente e al numero e tipo delle cause di innesco*".⁵

A differenza degli edifici a pannelli portanti, gli edifici realizzati con una struttura a telaio in legno per loro natura non possono essere considerati dei sistemi a compartimentazione. Per **garantire una protezione passiva al fuoco** è possibile seguire due strade differenti:

- Se si considera solo la funzione R. di resistenza meccanica al fuoco, gli elementi in legno devono essere progettati per esposizione al fuoco contemporanea su entrambi i lati. Questo è possibile attraverso un sovradimensionamento degli elementi portanti;
- Se invece si considera la possibilità di tamponare le pareti e i solai attraverso l'uso di isolanti e di elementi ignifughi, allora, si può parlare di compartimentazione. A proposito di questa soluzione, l'Eurocodice 5 1995-1-2-

2005, prevede un'appendice aggiuntiva che permette di caratterizzare le travi e i pilastri, non solo per il parametro R di resistenza al fuoco, ma anche per quanto riguarda la compartimentazione, ovvero i parametri E e I.

Una **buona prassi** per garantire la sicurezza al fuoco di un edificio in legno è quella di **tener conto della complessità e dell'altezza dell'opera**. Per gli edifici che superano gli otto piani di altezza, indipendentemente dal materiale con cui sono realizzati, le strategie di sicurezza al fuoco sono diverse da quelle adottate per gli edifici bassi, poiché i tempi di fuga degli occupanti sono maggiori.

3.3.1.4 I LIMITI DI ALTEZZA: LA DIFFERENZA TRA ITALIA E SVIZZERA

Analogamente a quanto descritto per il “fattore di forma” del sisma, **la resistenza al fuoco risulta essere un fattore “determinante e limitante” per quanto riguarda l'altezza degli edifici realizzati con struttura portante in legno.**

Ad oggi in Italia vi è ancora molta confusione su quali siano i requisiti minimi di resistenza al fuoco delle strutture in legno in relazione all'altezza, soprattutto per quanto riguarda il settore residenziale. Gli edifici di civile abitazione sono soggetti al controllo dei vigili del fuoco quando hanno un'altezza antincendio superiore ai 24 metri, in questo caso è necessario riferirsi al *Decreto Ministeriale n° 246 del 16/05/1987*. In questo decreto sono infatti indicate le **caratteristiche R.E.I. in relazione all'altezza**, a prescindere dal materiale da costru-

zione utilizzato.

Nel 2015 l'**approccio Svizzero**, con la cosiddetta **“liberalizzazione”** delle norme di protezione antincendio VKF “Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen”, ha portato il paese a essere la prima nazione a livello Europeo ad avere le norme antincendio per le strutture in legno meno limitanti. Gli edifici in legno, rivestiti con un materiale non combustibile, dal punto di vista della protezione antincendio vengono infatti equiparati alle costruzioni “tradizionali”. Questa revisione è legata a una presa di posizione sostenibile da parte della Svizzera, incentivando così l'utilizzo del legno per mitigare gli effetti del cambiamento climatico. In questa norma non sono presenti limiti di altezza specifici per le strutture in legno, l'unica indicazione è che un edificio con un'altezza superiore ai 30 metri deve essere considerato un grattaciolo, indipendentemente dal materiale strutturale con cui viene realizzato. Questo ha portato alla nascita di un progetto di sperimentazione da parte della “Innosuisse” che prende il nome di **modulo 17**: il prototipo in scala del grattaciolo è realizzato con una struttura ibrida, di cui il 90% è costituito da legno. I ricercatori grazie alla progettazione di questo edificio di oltre 100 metri di altezza hanno dimostrato che, grazie all'introduzione di questa norma, sarà possibile costruire grattacieli in legno.

Molti paesi Europei e non, con il “boom” dell'edilizia in legno all'inizio degli anni Duemila, hanno redatto **regolamenti edilizi restrittivi per edifici in legno** complessi e di una certa altezza. Questa eccessiva cautela, legata al fatto che il legno sia un materiale combustibile, ha spinto a livello inter-

nazionale l'industria e i progettisti a sviluppare e definire strategie di mitigazione del rischio di incendio attraverso una ricerca continua. Queste **sperimentazioni** hanno portato a una **maggior fiducia nelle costruzioni** con struttura in legno da parte dei legislatori e una revisione, anche se parziale, delle diverse regolamentazioni stringenti. Per quanto riguarda gli edifici di notevole altezza risulta comunque indispensabile approfondire il comportamento della struttura in caso di incendio, poiché la complessità della stessa determina un comportamento poco prevedibile in caso di incendio.

Complessità ingegneristica	Livello di performance	Possibile strategia per la progettazione
Edifici bassi	Fuga degli occupanti senza alcuna assistenza; nessuna protezione	Nessun incapsulamento
Edifici di media altezza	Fuga degli occupanti senza alcuna assistenza; definizione di alcune misure di protezione	Nessun incapsulamento
Edifici alti	Fuga degli occupanti con l'aiuto dei Vigili del Fuoco;	limitate zone di incapsulamento
Edifici molto alti	Protezione degli occupanti sul posto;	Incapsulamento necessario

Tab. 6.15 – Sicurezza in caso di incendio: possibili requisiti e altezza dell'edificio

Figura 3.29 Sicurezza in caso di incendio, requisiti e altezza dell'edificio. Fonte: “*Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere, documento fornito da Marco Pio Lauriola, p. 121*”

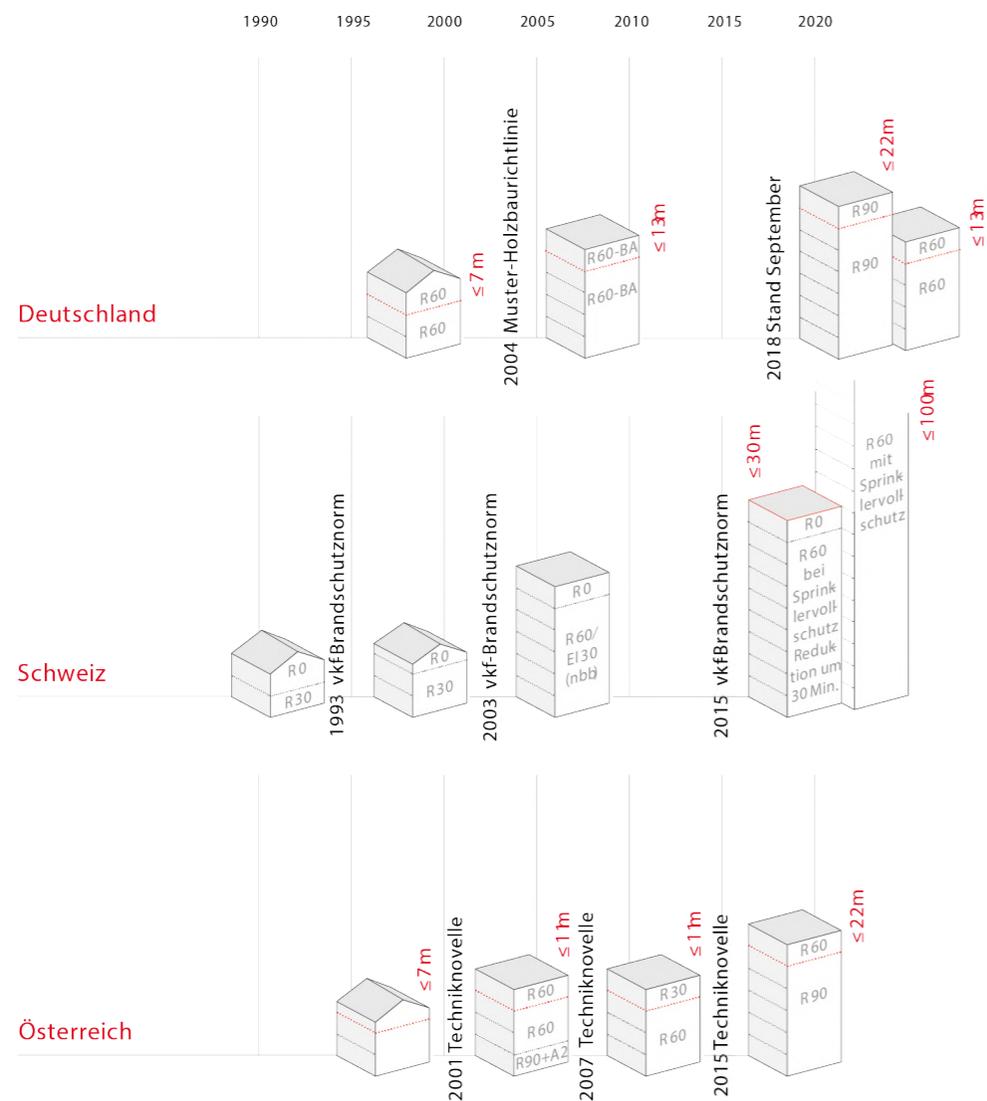


Figura 3.30 Confronto tra i limiti di altezza degli edifici in legno tra Germania, Svizzera e Austria. Fonte: Isopp A., 2020, *Drei Brandschutzexperten im Gespräch. Holz brennt überall gleich, und doch unterscheiden sich die nationalen Herangehensweisen*, «Zuschnitt Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz März 2020 Nr. 77», pp. 14-15

3.3.2 La ricerca

3.3.2.1 IL GIAPPONE

Il Giappone è da sempre rinomato per essere un paese all'avanguardia, la ricerca nell'ambito delle costruzioni in legno è da sempre fiorente. Fino alla fine del 1980 circa, in Giappone nelle aree urbane più densamente popolate, quindi quelle più a rischio incendio, l'unico requisito richiesto per le strutture in legno dal punto di vista della resistenza al fuoco, era che l'edificio mantenesse le proprie prestazioni meccaniche fino alla completa evacuazione degli utenti, senza porre particolare importanza alla struttura nel periodo "post-incendio". Inoltre, fino a quel momento, si potevano costruire edifici residenziali con strutture in legno fino a un massimo di due piani e con un limite di dimensione massima. Con la revisione del "Building Standards Act" del 1992 è stata introdotta la possibilità di costruire edifici in legno fino a tre piani.

Una ricerca importante è stata condotta dal "**Hase-mi Laboratory**", un Centro di Ricerca Giapponese con a capo il Professor Yuji Hasemi del dipartimento di Architettura della Waseda University di Tokyo (Giappone). Il primo esperimento al vero sul **comportamento delle strutture al fuoco** è stato eseguito nel 1996 su un condominio con struttura in legno a tre piani. **Questa ricerca ha avuto il merito di portare su larga scala la diffusione degli edifici multipiano in legno.**

A seguito di un'ulteriore revisione degli Standard edilizi nel 2000, sempre per quanto riguarda le aree ad alta densità urbana, sono stati **eliminati i limiti di altezza** e di dimensione per gli edifici in legno, purché questi siano studiati per una corretta

protezione al fuoco.

Nel 2010 è stata emanata la "**Legge sulla promozione dell'utilizzo del legno per l'edilizia pubblica**". Il Giappone prima di questa legge aveva un'esperienza ventennale di prove al fuoco su edifici in legno - da loro definiti "Quasi-fireproof Construction" - ma si basava principalmente su sperimentazioni su edifici di dimensioni ridotte e spazi ben definiti. Il governo, cosciente della scarsa conoscenza da parte degli "stake-holders" del settore a proposito del comportamento al fuoco su edifici di dimensioni ragguardevoli e composti da grandi spazi, ha avviato un progetto di ricerca della durata di tre anni su un edificio scolastico in legno a tre piani. L'Università di Waseda è stata selezionata per svolgere gli esperimenti e per esaminare il comportamento al fuoco dell'edificio scolastico realizzato con struttura in legno. Sono state eseguite due diverse prove dal vero:

- Nella prima l'edificio ha visto una propagazione delle fiamme molto rapida in altezza e l'incendio si è propagato totalmente dopo circa 17/22 minuti dall'ignizione. Questa prima prova è stata utile ai ricercatori per capire che era necessario rivedere il progetto dell'edificio, in particolare dei diversi giunti e dei balconi;
- La seconda prova, a seguito della revisione del progetto, è stata un successo poiché le fiamme hanno raggiunto il piano più alto dopo addirittura 89 minuti dal momento dell'ignizione. Questo ha dimostrato l'importanza del corretto studio dei balconi come strumento di mitigazione delle fiamme.

Queste prove, che passeranno alla storia come l'esperimento d'incendio più grande al mondo, hanno portato a una revisione nel 2014 della "Legge sulla promozione dell'utilizzo del legno per l'edilizia pubblica", ammettendo la possibilità di costruire edifici pubblici di grandi dimensioni con una struttura in legno, seguendo però alcune accortezze. Questa legge è in continua fase di revisione e la ricerca è

3.3.2.2 IL PROGETTO SOFIE

Come accennato nel capitolo precedente, il progetto "SOFIE" ha affrontato il tema relativo al comportamento al fuoco degli edifici realizzati con struttura a pannelli portanti in X-Lam. A Marzo del 2007 presso il "Building Research Institute" di Tsukuba (Giappone) è stata svolta una prova di incendio su un edificio reale di tre piani realizzato completamente in X-Lam e completo di rivestimenti, sia interni che esterni, quali l'isolamento termico e acustico, gli infissi e le finiture. L'incendio è stato appiccato al primo piano dell'edificio con un carico di incendio doppio rispetto a quello normalmente presente all'interno di una stanza d'hotel. Le fiamme, fuoriuscite dalle finestre, sono arrivate fino al piano superiore, interessando solo marginalmente la struttura. Dopo un'ora, l'incendio è stato spento e l'edificio non ha riportato gravi danni.

L'esperimento ha dimostrato come gli edifici in legno, se ben progettati, non solo sono in grado di resistere a un incendio, ma sono in grado di garantire una perfetta tenuta al passaggio dei fumi.



Figura 3.31 Esperimento sul condominio in legno a tre piani dopo circa tre ore dall'accensione dell'incendio, condotto da Hasemi Laboratory. Fonte: *Hasemi Laboratory*



Figura 3.32 Esperimento preliminare antincendio su un edificio scolastico a tre piani in legno condotto da Hasemi Laboratory nel 2012. Fonte: *Hasemi Laboratory*



Figura 3.33 Esperimento SOFIE, prova antincendio. Fonte: www.promolegno.com

La NTC 2018 per quanto concerne la progettazione delle strutture in legno al fuoco, risulta essere molto scarna:

«Le verifiche di resistenza al fuoco potranno eseguirsi con riferimento a UNI EN 1995-1-2, utilizzando i coefficienti γ_M (vedi §4.4.6, Tab. 4.4.III) relativi alle combinazioni eccezionali.»

(D.M., 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni", 4.4.14. Resistenza al fuoco)

Questo perché la progettazione della resistenza al fuoco per le strutture in legno è da considerarsi una "progettazione a parte" e si deve far riferimento all'**Eurocodice 5 parte 1.2**.

La suddetta Norma Europea, secondo quanto emerso dalle interviste, essendo stata redatta all'inizio degli anni Duemila, quindi precedente alle diverse ricerche svolte inerenti al tema, risulta essere "arretrata".

Con l'aggiornamento dell'Eurocodice che dovrebbe uscire nel 2022, una fonte autorevole ha confermato che la parte relativa alla progettazione al fuoco sarà "ammodernata" e che saranno messi a disposizione dei progettisti dei fogli di calcolo per semplificare la simulazione del comportamento al fuoco dei diversi elementi strutturali in legno.

3.3.3 Le criticità dell' Eurocodice per la progettazione della resistenza al fuoco

3.3.3.1 “ZERO STRENGHT LAYER” PER IL TE-LAIO IN LEGNO

Per garantire il requisito di resistenza R. è necessario seguire le “**procedure di progettazione per la resistenza meccanica**”, presenti nella **sezione 4 dell' Eurocodice 5 parte 1.2**.

Il metodo solitamente più utilizzato è quello della “**sezione ridotta**”: “*Il metodo della sezione efficace tiene conto del legno riscaldato al di sotto della linea di carbonizzazione sottraendo uno strato nominale di legno a resistenza zero della sezione ridotta dal fuoco. Si suppone che il legno nella sezione efficace possieda le proprietà che ha a temperatura normale senza alcuna riduzione dovuta alla temperatura*”⁶.

Questo è legato al fatto che si è ipotizzato che le proprietà del materiale rimangano invariate nella sezione non carbonizzata per via della bassa conducibilità termica del legno. Diversi studi hanno poi dimostrato che questa semplificazione non è corretta: il legno risulta essere erroneamente paragonato al comportamento dell'acciaio, che in caso di elevate temperature dimostra una perdita di resistenza meccanica e rigidità uniforme a tutta la sezione. Ipotizzando una lastra in legno infinitamente larga, l'area sottostante lo strato carbonizzato vede una diminuzione di temperatura da circa 300° C a una temperatura “normale” di circa 20° C e, l'effetto combinato dell'aumento di temperatura e dell'aumento di umidità, va a interessare la duttilità, la resistenza a compressione e il modulo di elasticità del legno. Questo porta ad avere diversi valori di resistenza e rigidità nella zona riscaldata della sezione in legno.

Il metodo è stato implementato nell' Eurocodice 5 parte 1.2 e considera la riduzione di sezione in legno data dalla carbonizzazione e la riduzione di forza e rigidità legata al cosiddetto “**zero-strenght layer**”, ovvero lo strato di resistenza ultimo. L'ipotesi di partenza è che una sezione effettiva in legno, con le proprietà di forza e rigidità considerate a temperatura “normale”, fornisca la stessa resistenza anche in caso di esposizione al fuoco.

Il metodo di calcolo della sezione residua, detto anche “RCSM” ovvero il cosiddetto “**Reduced Cross-Section Method**”, è stato sviluppato nel 1984 dal professor Schaffer⁷.

Il sistema, adottato poi dall' Eurocodice 1.2 sin dal principio, vanta una serie di test realizzati per comprovare l'efficacia del metodo. Tuttavia non è chiaro quali test siano stati realizzati e su quali dettagli. Il campo applicativo di questo metodo era stato testato per il calcolo dello “zero strenght layer” delle travi in legno lamellare e, una volta adottato dall' Eurocodice, è stato esteso alle altre tipologie di legno, senza considerare i diversi tipi di collasso meccanico delle diverse tipologie di legno.

Infatti, secondo la pubblicazione “*Schmid J., Just A., Klippel M., Fragiaco M., 2015, The Reduced Cross-Section Method for Evaluation of the Fire Resistance of Timber Members: Discussion and Determination of the Zero-Strenght Layer, «Fire Technol 51» pp. 1285-1309*” - che vede come autori alcuni dei massimi ricercatori sul tema del comportamento delle strutture in legno in caso di incendio – il RCSM può essere considerato come una procedura semplificata per la verifica della resistenza al fuoco degli elementi in legno poiché è stata

sviluppata partendo da semplici supposizioni che risultano essere “sbagliate” per il legno. Secondo il loro parere, questo sistema può essere applicato specialmente al calcolo delle travi in legno quando il progetto strutturale non è particolarmente complesso, poiché lo “zero strenght layer” è una variabile molto importante per il calcolo della resistenza al fuoco e non si possono seguire procedure standardizzate.

3.3.3.2 “ZERO STRENGHT LAYER” PER I PANNELLI IN X-LAM

Per i pannelli in X-Lam vi è innanzitutto una carenza alla base dell' Eurocodice.

Facendo riferimento alla tabella 3.1 dell' Eurocodice 5 parte 1.2 per il calcolo della velocità di carbonizzazione, si nota che non è presente una voce specifica per l'X-Lam, ma il progettista deve far riferimento alla voce generica “pannelli a base di legno diversi dal compensato” con un valore pari a 0.9 mm/minuto. Dalle prove sperimentali più recenti è invece emerso che la velocità di carbonizzazione dei pannelli in X-Lam risulta essere in realtà più simile a quella del legno lamellare, pari a circa 0.65 mm/minuto.

Inoltre per i pannelli in X-Lam la definizione di “ZSL”, dato dall' Eurocodice 5 parte 1.2, è di difficile applicazione poiché il modello presentato è quello di una trave e non di un elemento composto da diversi strati incrociati.

Un **primo metodo di calcolo del ZSL** per l'X-Lam è stato presentato nel 2010 al “*World Conference on Timber Engineering*”⁸, ed è risultato essere un grande passo avanti per la progettazione al fuoco

ma è stato accantonato poiché erano presenti troppi limiti e svantaggi alla sua applicazione.

A seguito di questa esperienza, è nata una nuova ricerca, portata avanti da “*Horizontal Group Fire*” HGF, definita dal CEN, con la collaborazione dell'industria Europea dell'X-Lam, volta a sviluppare il nuovo **aggiornamento dell' Eurocodice 5 parte 1.2** che dovrebbe vedere la luce nel 2022. Questo gruppo di lavoro ha definito dodici “layups”, ovvero dodici tipologie di X-Lam più utilizzate dai progettisti, da cui sono partiti per definire i diversi modelli di calcolo.

Nella revisione dell' Eurocodice 5, ci saranno tre diversi livelli di complessità per far fronte alle diverse necessità dei progettisti: valori tabulati, regole semplificate e modelli avanzati.

In particolare, per quanto riguarda il concetto di “ZSL” si avranno più definizioni: l'EC5 al momento contiene solamente una definizione che risulta essere la differenza tra la sezione residua, ovvero la sezione originale ridotta dalla carbonizzazione, e la sezione effettiva. Questa definizione però, come già anticipato, è valida solo per gli elementi di tipo omogeneo e non può essere applicata all'X-Lam, specialmente quando la lamella più esterna risulta essere trasversale. L'EC5 prevede, a proposito, l'introduzione di un'ulteriore definizione, ovvero l'“effective ZSL”, che considera solo le parti di una sezione con la direzione della fibra parallela alla direzione di carico principale, quindi le lamelle longitudinali, senza considerare le lamelle trasversali.

	β_0 mm/min	β_n mm/min
a) Conifere e Faggio Legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ Legno massiccio con massa volumica caratteristica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65 0,65	0,7 0,8
b) Latifoglie Legno massiccio o lamellare incollato di latifoglie con massa volumica caratteristica pari a 290 kg/m^3 Legno massiccio o lamellare incollato con massa volumica caratteristica $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,65 0,50	0,7 0,55
c) LVL con massa volumica caratteristica $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
d) Pannelli Rivestimenti di legno Compensato Pannelli a base di legno diversi dal compensato	0,9 ^{a)} 1,0 ^{a)} 0,9 ^{a)}	- - -
a) I valori si applicano a una massa volumica caratteristica di 450 kg/m^3 e a uno spessore del pannello di 20 mm; vedere punto 3.4.2(9) per altri spessori e massa volumica.		

Figura 3.34 Velocità di carbonizzazione β_0 e β_n per legno, LVL, rivestimenti di legno e pannelli a base di legno. Fonte: UNI EN 1995-1-2, Eurocodice 5 Progettazione delle strutture di legno. Parte 1-2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio, versione italiana aggiornata al luglio 2007

3.3.3.3 GLI ADESIVI

«Gli adesivi per impiego strutturale devono produrre unioni di resistenza e durabilità tali da mantenere l'integrità dell'incollaggio per tutta la durata di resistenza al fuoco attesa.

Nota: Per alcuni adesivi, la temperatura di rammollimento è significativamente più bassa della temperatura di carbonizzazione del legno.»

(UNI EN 1995-1-2, Eurocodice 5 Progettazione delle strutture di legno. Parte 1-2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio, versione italiana aggiornata al luglio 2007, Adesivi p. 26)

Per la progettazione alla resistenza al fuoco delle strutture in legno ingegnerizzato un fattore determinante è il **comportamento che gli adesivi** assumono a elevate temperature. Questo viene banalmente citato dall'EC5 ma non viene approfondito ulteriormente. Questa è sicuramente una mancanza importante.

I due adesivi più utilizzati in Europa nei pannelli multistrato in X-Lam sono il **poliuterano (1K-PUR)** e la **melamnina urea formaldeide (MUF)**. Entrambi gli adesivi risultano essere incolore e sono resistenti all'irraggiamento, all'umidità e all'idrolisi. 1K-PUR è quello maggiormente utilizzato per via della sua flessibilità e lavorabilità, ma è più vulnerabile al calore e alle alte temperature, e se non modificato adeguatamente risulta essere stabile a una temperatura minore di 60°C . La MUF è invece più resistente alle alte temperature, ma è meno utilizzata per via della presenza di formaldeide, un VOC potenzialmente cancerogeno. Questi due adesivi sono conformi ai requisiti prestazionali

forniti dalla EN 301 e della EN 15425, ma questi standard prestazionali si basano su prove effettuate a una temperatura inferiore ai 70°C , che non è comparabile alle alte temperature che possono svilupparsi in caso di incendio. Ad oggi si stanno sviluppando delle prove sperimentali per studiare il comportamento termico e prestazionale di questi adesivi ad alte temperature, in modo da poter aggiornare queste norme.

Ciò che risulta mancare nel calcolo della resistenza al fuoco nel EN 1995-1-2 è che non venga citata e considerata nella progettazione la cosiddetta **“delaminazione”** dell'X-Lam in caso di incendio. Le lamelle più esterne, infatti, a contatto con il fuoco in un primo momento iniziano a carbonizzare, la temperatura aumentando comporta una riduzione della resistenza meccanica degli adesivi e, spesso, si ha un **distaccamento della lamella più esterna**, dovuto al cedimento dell'adesivo ancor prima che avvenga la totale carbonizzazione della lamella.

Già a partire dagli inizi degli anni Duemila risulta esserci una consapevolezza di questa **mancanza dell'Eurocodice**: un esempio di ricerca è quella portata avanti da alcuni ricercatori Europei del settore⁹. Questa ricerca, volta a studiare il **comportamento al fuoco degli adesivi** più utilizzati per l'incollaggio dei pannelli in X-Lam, ha visto la sua realizzazione con alcuni test utilizzando un forno orizzontale presso l'Empa di Dübendorf (Svizzera). Un pannello in X-Lam è stato esposto su un lato al fuoco, secondo gli standard della ISO 834, e il test si è concluso una volta raggiunta la temperatura di 300°C . Per effettuare il test è stato realizzato un

provino ad hoc posizionando tra gli strati delle lamelle delle termocoppie in grado di rilevare e registrare la temperatura degli adesivi durante la sperimentazione. Da questo esperimento si è potuto osservare un distacco delle lamelle parzialmente carbonizzate e incollate con adesivi poliuretanici, mentre per i pannelli in cui è stata utilizzata la MUF non si è verificato. A conclusione di questa ricerca, è stato proposto di considerare una **velocità di carbonizzazione** maggiore per quanto riguarda i pannelli in X-Lam con adesivi poliuretanici, per compensare durante la fase di progettazione il possibile distaccamento delle lamelle carbonizzate, dovuto alle scarse prestazioni al fuoco del 1K-PUR.

E' importante sottolineare come alcune ricerche recenti¹⁰ abbiano messo in evidenza come sia inefficace valutare la resistenza al fuoco dell'X-Lam attraverso l'uso di un forno. Questo perchè una fornace non riesce a simulare al meglio le condizioni di un incendio reale, anche per quanto riguarda la concentrazione di ossigeno presente nell'ambiente. In secondo luogo la fase di estinzione del fuoco all'interno del forno è istantanea e controllata, mentre in un incendio reale la situazione è più complessa.

Attualmente un lavoro in questo campo è svolto dal **RISE**, il "Research Institute of Sweden" che, attraverso il suo team e una serie di collaborazioni internazionali, sviluppa ricerche importanti dal punto di vista della resistenza al fuoco. Il team di ricerca, che fa parte di diversi comitati internazionali come il "Task Force Fire", il "Fire Safe Use of Wood" e il CEN per lo sviluppo del nuovo aggiornamento

dell'Eurocodice 5, attraverso prove al fuoco dal vero e lo sviluppo di ricerche e metodi di calcolo, ha lo scopo di incrementare la conoscenza della resistenza al fuoco per gli elementi in legno.

Nel caso dello studio del comportamento al fuoco dei pannelli in X-Lam, un progetto di ricerca è il **GLIF**, "Glue Line Integrity in Fire", che ha l'obiettivo di sviluppare una metodologia standard di test antincendio e un metodo di caratterizzazione dell'integrità degli adesivi. Questo progetto nasce nel 2019 dalla collaborazione tra RISE, ETH Zurich e sedici partner del settore del legno, tra cui Fedelelegno&Arredo, Xlam Dolomiti, Rubner Holzbau,... Al momento la ricerca è ancora in corso di svolgimento quindi non è possibile definire le conclusioni di questo studio, che saranno però molto probabilmente presenti nel nuovo aggiornamento dell'EC5 1.2.

Parallelamente alle tracce del lavoro di Klippel e Schmid, in **Sud-Africa** è in corso uno studio sperimentale per determinare la resistenza al fuoco, i tassi di carbonizzazione e la delaminazione dei pannelli in X-lam. Le specie legnose più utilizzate nel Paese sono il Pino Silvestre e l'Eucalipto, mentre l'adesivo più impiegato risulta essere il poliuretano che, come citato, risulta avere pessime prestazioni a temperature maggiori di 60°C. La ricerca si è basata su diverse prove sperimentali di resistenza al fuoco dei pannelli più utilizzati e ha messo in evidenza come, per considerare la velocità di carbonizzazione, oltre alle proprietà fisiche del legno, sia necessario considerare la delaminazione: da questo risulta che i pannelli in X-Lam di Pino Silvestre abbiano una velocità di carbonizzazione

pari a 0.95 mm/minuto, mentre quelli in Eucalipto di 0.76 mm/minuto.

Inoltre i ricercatori con questo studio vogliono dimostrare che i pannelli possono essere utilizzati per la realizzazione di edifici con un'altezza maggiore di 10 piani, che costituisce al momento un limite normativo per il paese. Un'altra **criticità** è che l'Eurocodice 5 parte 1.2 dia indicazioni solamente per i rivestimenti comunemente utilizzati per la protezione degli elementi strutturali, quali i pannelli in

in cartongesso o i pannelli a base di legno, mentre per gli altri tipi di rivestimento ad oggi non ci sono indicazioni, ma viene indicata la necessità di seguire ulteriori test prima del loro utilizzo. Con l'aggiornamento dell'Eurocodice 5 però questa mancanza probabilmente verrà in parte colmata.

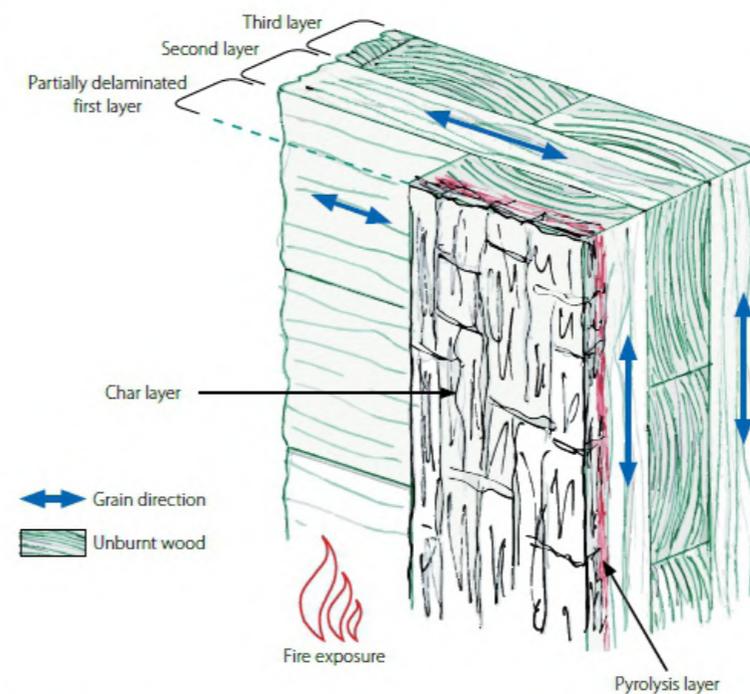


Figure 1 Cross-laminated timber wall panel exposed to fire (adapted from Buchanan (2002))

Figura 3.35 Schizzo del comportamento al fuoco di un pannello in CLT. Fonte: http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1021-201920200001000047

3.3.4 Le buone prassi per garantire la resistenza al fuoco degli edifici

3.3.4.1 LA PROGETTAZIONE

Per ridurre al minimo la propagazione di incendi nelle strutture in legno è necessaria una **progettazione accurata** dei particolari costruttivi e una **scelta consapevole** dei materiali da parte del progettista. Di seguito saranno elencate alcune **buone norme di tipo passivo** utili per evitare la propagazione di incendi durante la fase di progettazione:

- Prevedere un congruo distacco della struttura da possibili fonti di innesco, quali ad esempio le canne fumarie;
- Prevedere elementi tagliafuoco nei punti più strategici;
- Prevedere una corretta compartimentazione dell'edificio;
- Prediligere materiali incombustibili o con un potere calorifico molto basso in modo da proteggere la struttura lignea in caso di incendio.

Un esempio di progettazione virtuosa che considera la sicurezza al fuoco è il “**Greenhouse Ethical Property Company**” realizzato da Waugh Thistleton Architects a Londra. Nonostante sia spesso sconsigliato dagli esperti del settore di lasciare l'X-Lam a vista per il fatto che la struttura non venga protetta da un materiale di finitura incombustibile, il progettista ha lavorato **sovradimensionando i pannelli in CLT** in modo da garantire un certo livello di sicurezza al fuoco. Inoltre è mirabile il particolare costruttivo del **vano scala** in cui, secondo lo stesso principio, vengono accostati due pannelli in X-Lam assieme.



Figura 3.36 Il vano scala del “Greenhouse Ethical Property Company” a Londra. Fonte: <https://www.architectsjournal.co.uk/buildings/waugh-thistleton-halves-co2-emissions-of-office-building-in-east-london>

3.3.4.2 IL CANTIERE

Una situazione di rischio incendio che molte volte viene sottovalutata dai progettisti è la **fase di cantiere**. Durante la costruzione infatti gli elementi in legno sono maggiormente esposti a questo rischio, in quanto possono rimanere per molto tempo senza alcuna protezione incombustibile. Gli elaborati progettuali dovrebbero infatti contenere una serie di misure e buone prassi per ridurre al minimo il rischio di incendio.

Di seguito saranno elencate alcune **buone norme di tipo passivo** utili per evitare la propagazione di incendi durante la fase cantieristica:

- Installare quanto prima i **serramenti** in modo da realizzare una parziale compartimentazione;
- Più il cantiere è **prefabbricato** e minore sarà la probabilità che si inneschi un incendio;
- Il Direttore dei Lavori dovrebbe prevedere delle **distanze minime** da mantenere tra l'edificio in costruzione o il materiale stoccato ed eventuali fonti di innesco;
- Le lavorazioni che prevedono una **fiamma libera** e/o la generazione di scintille devono essere svolte a una distanza almeno di 2 metri dal materiale combustibile. Al termine di questi lavori i carpentieri devono controllare l'area adiacente e prestare attenzione a eventuali situazioni che possono sviluppare una combustione senza fiamma;
- E' necessario che il Direttore dei Lavori controlli la corretta posa di eventuali **elementi di protezione delle connessioni** e della

nastratura;

- **La posa dell'isolante** all'interno delle strutture a telaio deve essere controllata in quanto l'isolante stesso, in caso di incendio, può rallentare lo sviluppo;

Inoltre una delle principali cause di propagazione degli incendi nelle costruzioni in legno è la **errata posa in opera dei cavedi** poiché non vengono poste all'interno barriere al fuoco o vengono posizionate in modo scorretto.

3.3.5 L'Europa e il confronto con l'estero

3.3.5.1 UNIONE EUROPEA

In Europa i test di resistenza al fuoco e i relativi metodi di calcolo sono stati armonizzati, ma i **requisiti normativi rimangono su scala nazionale**: infatti, nonostante esistano a livello tecnico degli standard Europei, la sicurezza al fuoco è legata a una legislazione di tipo nazionale. È importante sottolineare che ad oggi le indicazioni di resistenza al fuoco per le strutture in legno non sono così esaustive se, paragonate a quelle fornite per gli edifici realizzati con i cosiddetti materiali "tradizionali".

Una linea guida di supporto al progettista è la "**Fire Safety in Timber building**"¹¹ realizzata da un team di esperti del settore provenienti dai diversi stati dell'Unione. Lo scopo del documento è quello di fornire indicazioni relative ai metodi di progettazione per le strutture in legno con buone prestazioni nei confronti della resistenza al fuoco. Vengono indicati dei metodi di calcolo avanzati, sia per le strutture in legno "massiccio", sia per le strutture a telaio che comprendono o meno i rivestimenti di protezione. Questa linea guida contiene indicazioni specifiche relative ai rivestimenti interni ed esterni, alle pavimentazioni, agli elementi teglia-fuoco e ai dispositivi attivi di sicurezza antincendio. Il documento recepisce gli standard di protezione al fuoco Europei, ma i principi base possono essere applicati anche a livello internazionale.

3.3.5.2 NORD AMERICA

"The Fire Protection Research Foundation" si occupa nelle sue pubblicazioni¹², attraverso la valutazione di numerosi casi studio, di svolgere

un'analisi delle lacune relative alla progettazione e realizzazione di edifici in legno, proponendo indicazioni per ricerche e test futuri.

Una seconda fase della ricerca è tuttora in corso e ha lo scopo di valutare le prestazioni al fuoco dell'X-Lam nel senso della compartimentazione, confrontandolo con le prestazioni dei materiali da costruzione più utilizzati in edilizia.

In Canada la **FPInnovations** ha pubblicato una linea guida tecnica¹³ per la progettazione di edifici in legno con un'altezza elevata, ricalcando i principi del "National Building Code of Canada", ma fornendo un metodo di progettazione "differente", con lo scopo di garantire al progettista uno strumento per definire una soluzione prestazionale accettabile dal punto di vista della resistenza al fuoco.

3.3.5.3 NIST WHITE PAPER

Il "**NIST**" è un "white paper"¹⁴, ovvero un documento informativo emesso da un team internazionale. Lo scopo è quello di fornire un modello prestazionale per la resistenza al fuoco di strutture in legno con un'altezza compresa tra i tre e i dieci piani, ovvero per la tipologia edilizia che si prevede sarà più diffusa in futuro. Il documento, oltre a trattare le diverse tipologie costruttive, si concentra anche su alcuni temi spesso poco trattati, come la propagazione del fuoco verso l'esterno attraverso i serramenti e i rivestimenti delle facciate, o l'importante combinazione di protezione antincendio attiva e passiva.

Note a pie' di pagina

¹ da "CNR DT 206-R1/2018, Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle strutture di legno, aggiornata a ottobre 2018" p. 111

² da "D.M., 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni", p. 62

³ da "CNR DT 206-R1/2018, Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle strutture di legno, aggiornata a ottobre 2018" p. 111

⁴ McGregor C., Hadjisophocleous G., Craft S., 2012, Contribution of Cross Laminated Timber Panels to Room Fires, Carleton University, Ottawa

⁵ da "Piazza M., Tomasi R., Modena R., 2005, Strutture in legno: materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative Europee, Milano, Hoepli" p. 575

⁶ da "AA.VV., 2009, Progetto delle strutture resistenti al fuoco, Milano, Hoepli", p. 306

⁷ Schaffer E., 1984, Structural fire design: wood, U.S. Dept. of Agriculture, Madison, WI

⁸ Schmid J., König J., Köhler J., 2010, Fire-exposed Cross-Laminated Timber – Modelling and tests, 2010 World Conference on Timber Engineering

⁹ Frangi A., Fontana M., Hugi E., Jöbstl R., 2009, Experimental analysis of cross-laminated timber panels in fire, «Fire Safety Journal 44», pp. 1078-1087

¹⁰ Schmid J., Klippel M., Frangi A., Lange D., Sjöström J., Brandon D., 2018, The use of furnace test to describe real fires of timber structures, 2018 World Conference on Timber Engineering Agosto 20-23 2018, Seoul

¹¹ AA.VV., 2010, Fire safety in timber buildings. Technical guideline for Europe, scaricato da https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/Fire_Timber_Ch_5-7.pdf, consultato il 21.04.2021

¹² Gerard R., Barber D., Wolski A., 2013, Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings, Fire Protection Research Foundation Quincy, MA, USA

¹³ FPInnovations, 2013, Technical Guide for the Design and Construction of Tall Wood Buildings in Canada, Vancouver, Canada

¹⁴ Buchanan A.H., Östman B., Frangi A., 2014, Fire Resistance of Timber Structures, NIST White Paper, Washington DC, USA

ANALISI CRITICA DELLE LACUNE DI ALCUNI CASI STUDIO



- 4.1 Premessa p.191
- 4.2 Categoria errori durante la fase di progettazione e/o di cantiere p.199
- 4.3 Categoria errori concettuali p.307
- 4.4 Categoria errori riguardanti l'uso del legno come rivestimento p.319

4.1 Premessa

Vi sono numerosi fattori che hanno causato, e causano tutt'ora, criticità e riducono la vita utile delle strutture in legno.

Questi errori sono imputabili alle **diverse fasi del processo edilizio**, a tal proposito ad esempio, viene riportato il grafico a destra relativo agli errori imputabili alla fase progettazione definiti sulla percentuale dello studio di 295 edifici danneggiati. Le considerazioni del grafico riguardano diverse tipologie di edifici realizzati con diversi materiali strutturali. Il grafico conferma come il crollo delle strutture sia principalmente causato dall'errore umano e come questo non possa essere eliminato aumentando i livelli di sicurezza nel design strutturale.

Secondo lo studio¹ della LUND University, e come effettivamente riscontrato, sono **poche le pubblicazioni** riguardanti i cedimenti degli edifici con strutture in legno. Questo non vuol dire necessariamente che le strutture in legno siano più sicure delle strutture realizzate in altri materiali.

Alcune ricerche relative ai cedimenti delle strutture in legno hanno evidenziato le **cause delle possibili situazioni di rischio**:

- Errata valutazione dei carichi in gioco;
- Inadeguata realizzazione dei collegamenti;
- Effetti derivanti da una scorretta impermeabilizzazione delle opere;
- Pessima progettazione dei particolari costruttivi in funzione della durabilità dell'opera;
- Inadeguata gestione del cantiere;
- Insufficienti performance dei materiali utilizzati;
- Assenza/carenza di manutenzione;

Distribuzione degli errori in fase progettuale



- Errori concettuali
- Analisi strutturale
- Disegni e particolari costruttivi
- Pianificazione e preparazione del lavoro
- Combinazioni

Fonte: AA.VV., 2007, *Design of safe timber structures – How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber?*, LUND University

Cause che NON POSSONO essere evitate o contrastate tramite un aumento dei fattori di sicurezza nelle Normative Tecniche

- Valutazione inadeguata delle condizioni di carico o del comportamento reale della struttura;
- Valutazione inadeguata delle condizioni di carico o del comportamento reale delle connessioni;
- Eccessivo affidamento sulla precisione di costruzione;
- Errori gravi nei calcoli e nei disegni;
- Informazione inadeguata nei documenti di contratto e istruzioni;
- Violazione dei requisiti dei documenti di contratto e delle istruzioni;
- Esecuzione inadeguata della procedura di montaggio;
- Eventi imprevedibili.

Cause che NON POSSONO essere evitate o contrastate tramite un aumento dei fattori di sicurezza nelle Normative Tecniche

- Variazione di carico sfavorevole o combinazione (per fattori parziali di carico);
- Imprecisioni nelle ipotesi di progettazione;
- Carenze nei materiali e nella lavorazione (in relazione a fattori parziali di resistenza);
- Deterioramento prevedibile.

Fonte: AA.VV., 2007, *Design of safe timber structures – How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber?*, LUND University

- difetti del materiale;
- degni dovuti alla presenza di umidità.

Gli errori che però spesso determinano l'insuccesso delle strutture in legno sono solitamente imputabili a più fattori correlati tra loro e, solamente in rari casi, sono imputabili a uno scorretto dimensionamento degli elementi strutturali.

In molti casi gli errori sono legati a un'**inadeguata considerazione dell'ambiente** in cui il legno viene posto: il problema più frequente è rappresentato dall'insorgere di fessurazioni perpendicolari alla fibratura.

Raramente, invece, i collassi sono dovuti a una scarsa qualità del materiale fornito. Un esempio presentato dalla LUND University nel suo studio¹ riporta l'esempio di una rottura di un elemento in legno lamellare dovuto alla scarsa qualità dei giunti a dita e all'eccessiva quantità di nodi all'interno delle lamelle.

E' possibile affermare che la maggior parte degli errori che tutt'ora vengono compiuti nella realizzazione degli edifici, indipendentemente dal materiale costruttivo utilizzato, possono essere evitati se gli "stakeholders" possiedono una **conoscenza approfondita** delle peculiarità naturali, tecnologiche e ingegneristiche del materiale utilizzato.

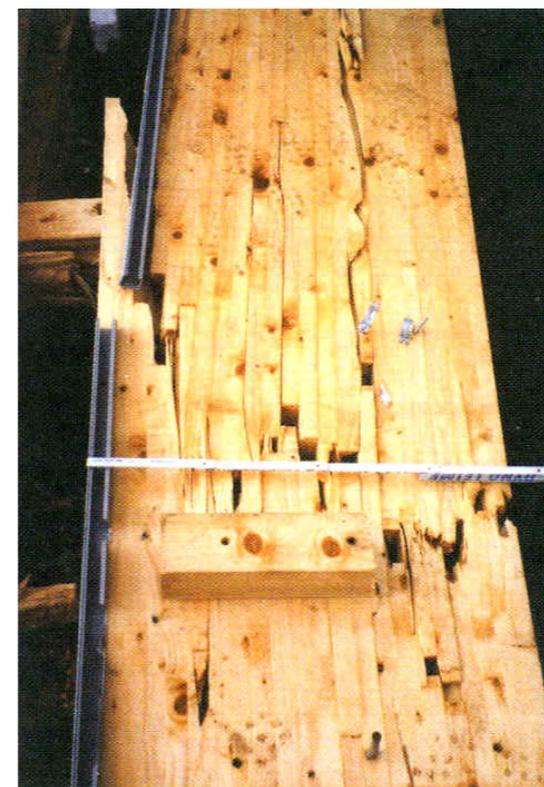


Figura 4.1 Rottura di un elemento in legno lamellare dovuto a una bassa qualità realizzativa del giunto a dita. Fonte: AA.VV., 2007, *Design of safe timber structures – How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber?*, LUND University, pg. 27

Correlazione tra il fenomeno di errore e l'età dell'opera



- Durante la costruzione
- Durante i primi tre anni della costruzione
- Dopo i tre anni della costruzione

Fonte: AA.VV., 2007, *Design of safe timber structures – How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber?*, LUND University

La pubblicazione della LUND University classifica tre tipologie di errore che possono verificarsi durante l'intero iter di realizzazione di un edificio:

- **Errori dovuti alla scarsa conoscenza:** questa tipologia vale per tutti i livelli dell'iter di realizzazione dell'edificio, ovvero per la realizzazione, per la produzione dei materiali da costruzione, per il cantiere, per la Direzione Lavori, per il collaudo. Per evitare questa tipologia di errori è fondamentale che tutti gli "stakeholders" abbiano un'adeguata preparazione nei confronti delle buone pratiche per la realizzazione di edifici a regola d'arte;
- **Errori dovuti alla scarsa attenzione e negligenza:** per evitare questi tipi di errori è importante che durante tutto il processo vi siano dei soggetti deputati al controllo, come ad esempio il Direttore dei Lavori per la fase del cantiere che controlla le operazioni svolte e verifica che l'opera realizzata risponda al progetto esecutivo;
- **Errori "intenzionali":** questi possono essere considerati "errori in senso lato" in quanto sono attuati in modo consapevole con il fine di avere una maggiore redditività delle opere cantierizzate, come nell'edilizia pubblica.

Come già accennato ed evidenziato dalla tabella a pagina 192, lo studio della LUND University sottolinea come queste tipologie di errori non possono e non devono essere risolte attraverso un incremento dei fattori di sicurezza, come accaduto nella NTC 2018: non è, infatti, il sovradimensionamento degli elementi strutturali che può garantire una corretta progettazione dell'opera, ad esempio una

struttura non progettata a regola d'arte dal punto di vista della durabilità rimarrà poco durevole, nonostante siano sovradimensionate le parti strutturali. E' altresì vero che è impossibile eliminare l'errore umano, ma è possibile limitarlo agendo sulla formazione, sui controlli in cantiere e sul monitoraggio durante la vita utile dell'opera.

Al fine di analizzare alcuni errori tipici nelle costruzioni in legno sono stati presi in considerazione alcuni casi studio che sono stati suddivisi a seconda della tipologia di errore:

- Errori durante la fase di progettazione e cantiere;
- Errori riguardanti la scarsa conoscenza nell'utilizzo dei sistemi costruttivi;
- Errori riguardanti l'uso del legno come rivestimento.

Le valutazioni e le ipotesi che sono proposte di seguito derivano da uno studio critico prevalentemente legato al materiale fotografico a disposizione e alle informazioni estrapolate da alcune pubblicazioni del settore o da articoli di cronaca. Per via del periodo di emergenza legata all'epidemia da COVID-19 e per via del prolungato periodo di "lock-down" non è stato possibile effettuare dei sopralluoghi agli edifici oggetto di studio.

Legenda

Deficit del processo:

-  Progettazione (architetti e ingegneri)
-  Iter di cantiere
-  Verifiche e prassi di validazione
-  Fase di uso e gestione dell'opera

Problematiche riscontrate:

-  Infiltrazioni di acqua e marcescenze
-  Presenza di vegetazione
-  Lesioni
-  Elemento soggetto all'azione delle intemperie
-  Problema concettuale
-  Mancata manutenzione

Causa dell'errore:

-  Scarsa conoscenza
-  Scarsa attenzione e negligenza
-  "Intenzionali"

Legenda

Codici:

C.C. Comparto centrale dell'involucro:

- C.C. 1: solaio
- C.C. 2: parete
- C.C. 3: impianti

E.E. Elemento esterno:

- E.E. 1: pareti perimetrali
- E.E. 2: serramento e davanzale
- E.E. 3: balcone
- E.E. 4: tetto
- E.E. 5: scale esterne/terrazze...
- E.E.6: Elemento esterno/facciate

A.T. Attacco a terra

“Si sappia che un’opera è architettonicamente riuscita, se è anche costruttivamente riuscita. Se manca della costruzione, ovvero della sicurezza statica e della congruenza e durata dei materiali, è meglio che sia solo disegnata!”

FRANCO LANER

(Laner F., 2005, Prontuario 3 Durabilità e manutenzione delle costruzioni di legno, Milano, promo_legno, p. 5)



**C A T E G O R I A
ERRORI
DURANTE LA
FASE DI
PROGETTAZIONE
E/O
DI CANTIERE**

4.1

CASO A	p.201
CASO B	p.233
CASO C	p.243
CASO D	p.257
CASO E	p.269
CASO F	p.285

CASO A



Informazioni progettuali

“Cenni di cambiamento” è il nome dato all'intervento di Social Housing promosso da Polaris Investment Italia SGR Spa in collaborazione con Fondazione Housing Sociale (FHS), nell'ambito del Fondo Immobiliare di Lombardia promosso da Fondazione Cariplo e da Regione Lombardia. E' stato uno dei progetti di edifici multipiano in legno più importante a livello Europeo.



Localizzazione: Milano (Italia)



Concorso: nel 2009 bandito da Polaris Investment Italia SGR Spa



Anno di costruzione: terminato alla fine del 2013



Tempistiche di cantiere:

- Inizio cantiere: Gennaio 2012
- Inizio cantiere legno: Luglio 2012
- Fine grezzo legno: febbraio 2013
- Fine lavori: settembre 2013
- Totale: 19 mesi



Esperienza dei progettisti con il legno: prima realizzazione di un edificio con struttura in legno



Tipo di intervento: partenariato pubblico-privato, il pubblico ha dato in disponibilità il terreno e il privato ha costruito, 10% degli appartamenti assegnati a canone sociale, il 9% a patto di futuro acquisto o affitto calmierato.



Costi: 17 Milioni di Euro per la costruzione

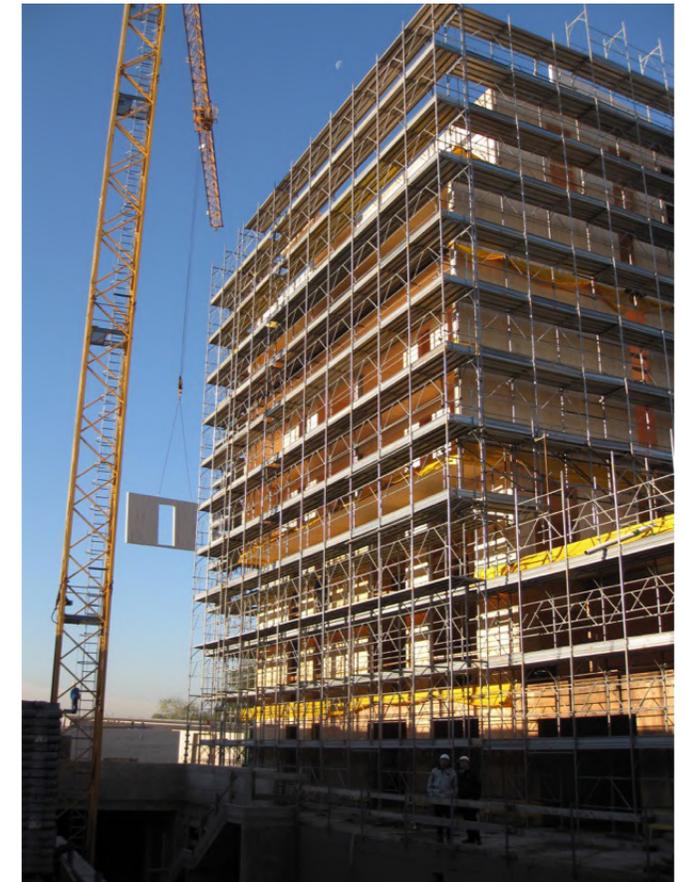


Figura 4.2 Fotografia di cantiere. Fonte: Bernasconi A., 2015, *4 volte 9 piani in legno in centro a Milano*, scaricato da www.promolegno.com

Figura 4.3 Fotografia di cantiere. Fonte: Bernasconi A., 2015, *4 volte 9 piani in legno in centro a Milano*, scaricato da www.promolegno.com



Sistema costruttivo: struttura in X-Lam (compresi vani ascensori e trombe delle scale) + travi e pilastri in acciaio nel caso di aperture elevate



Numero di piani: quattro torri di 9 piani e cinque edifici di 2 piani



Pianta: 19m X 25m, per ragioni sismiche la struttura portante delle torri è completamente indipendente da quella delle stecche (regolarità strutturale in pianta ed elevazione).



Tipo di parete: monolitiche, se necessario uso di architrave in legno lamellare o acciaio, spessore costante per piano (semplificazione della progettazione e la messa in opera, evita la discontinuità strutturale) ma decrescente con l'aumentare dell'altezza dell'edificio, tutti i pannelli in X-Lam sono di cinque strati.

- Piano terra: 200 mm
- Piano primo, secondo e terzo: 180 mm
- Piano quarto e quinto: 160 mm
- Piano sesto e settimo: 140 mm
- Piano ottavo: 120 mm



Balcone: prolungamento in aggetto del solaio o della parete (unica eccezione di aggetto nella struttura).



Solaio: orientato secondo la direzione portante principale che varia da piano a piano a seconda della disposizione dei locali e dei balconi e questo permette una distribuzione omogenea dei carichi sulle pareti.

- luce strutturale massima di 5.80 m: pannelli 5 strati da 200 mm;
- luce strutturale massima di 6.70 m: pannelli 7 strati da 230 mm.



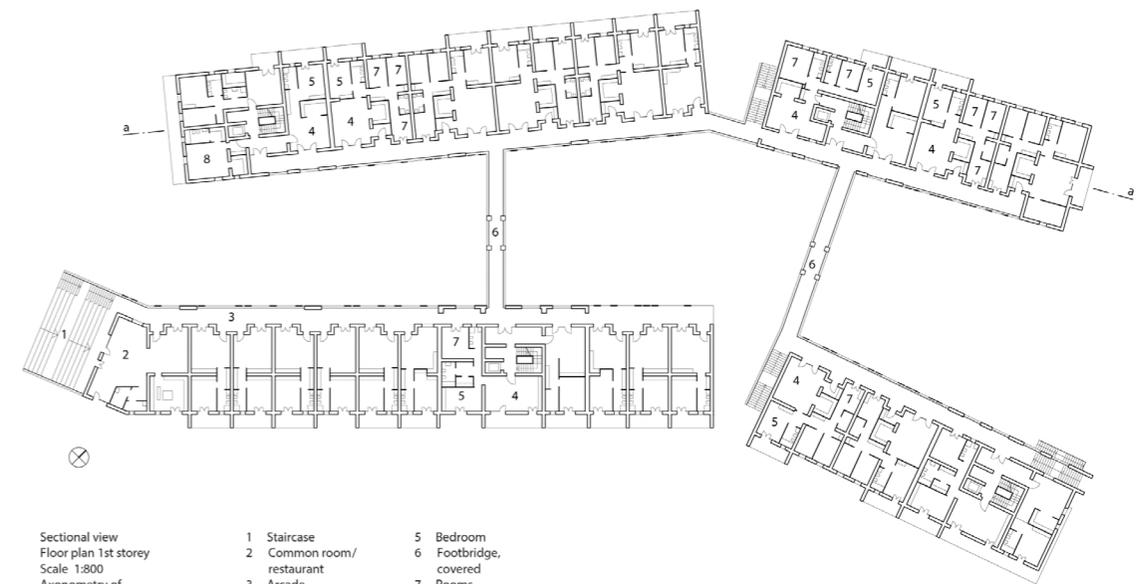
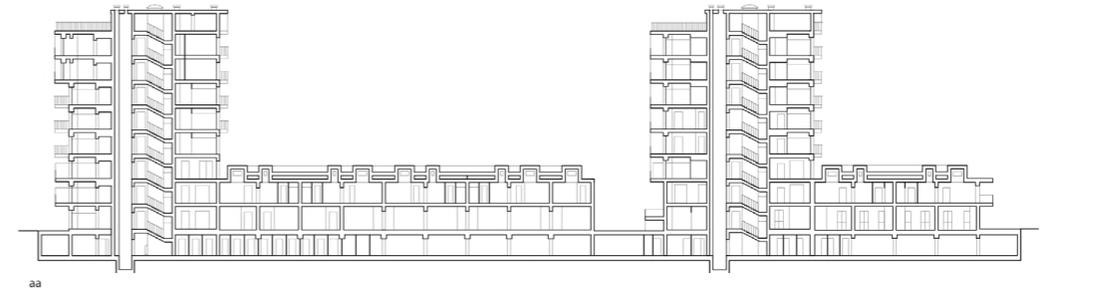
Fondazione: piano interrato e soletta in calcestruzzo armato, uso di perni e staffe in acciaio per il collegamento tra parete in X-Lam e cordolo in calcestruzzo



Protezione al fuoco: uso di rivestimento EI60



Isolante utilizzato: EPS



- | | | |
|------------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| Sectional view | 1 Staircase | 5 Bedroom |
| Floor plan 1st storey | 2 Common room/
restaurant | 6 Footbridge,
covered |
| Scale 1:800 | 3 Arcade | 7 Rooms |
| Axonometry of
residential tower | 4 Living room / kitchen | 8 Studio apartment |

Figura 4.4 Pianta e sezione. Fonte: Kaufmann H., Krotsch S., Winter S., 2018, *Manual of Multi-Storey Timber Construction*, Detail Business Information GmbH, Munich, pg. 174

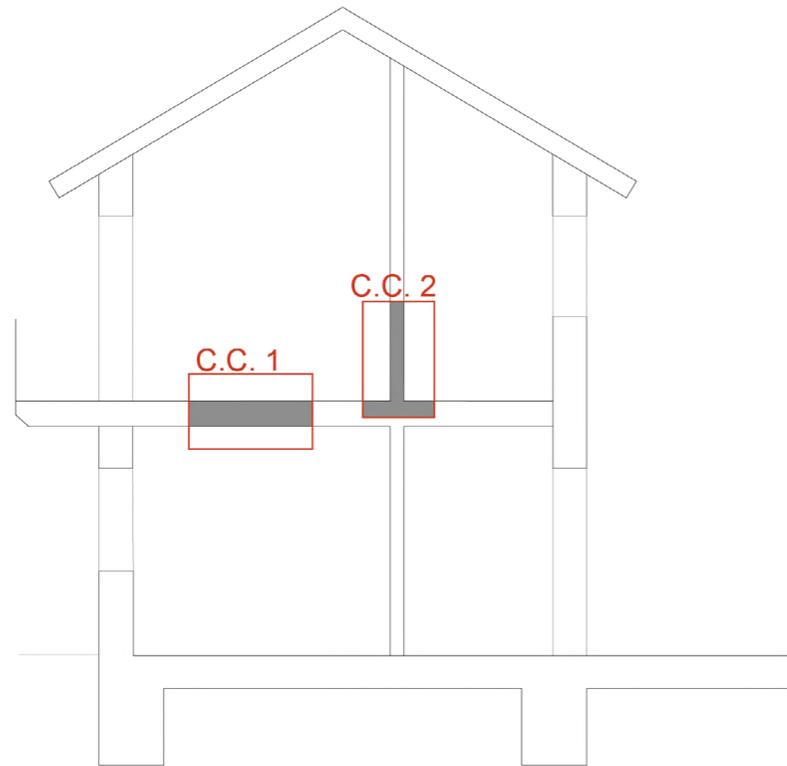
Errore di stoccaggio dei pannelli in cantiere



Deficit del processo:



Problematiche riscontrate:



Linea guida utilizzata per l'analisi:

- Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, *Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola

C.C 1

0. IL PROBLEMA

Colorazione differente e più scura dei pannelli dei solai rispetto ai pannelli delle pareti.

1. PROBABILI CAUSE DEL PROBLEMA

CAUSA A: il colore scuro della faccia vista di alcuni pannelli può essere riconducibile all'utilizzo di un assortimento di tavole della stessa specie ma provenienti da due aree geografiche diverse;

CAUSA B: è stato utilizzato il Pino silvestre, più nodoso e di conseguenza con una colorazione più scura;

CAUSA C: l'esposizione eccessiva dei pannelli del solaio ai raggi UV.

2. CONDIZIONI DI PREDISPOSIZIONE

CAUSA C: durante la fase di stoccaggio in cantiere i pannelli non sono stati conservati in maniera adeguata e sono stati soggetti all'azione dei raggi UV che ha portato a un ingrigimento del materiale.

3. CONSEGUENZE DIRETTE

Modificazione dell'umidità del pannello.



Figura 4.5 Fotografia di cantiere. Fonte: *Ferrario M., 2013, Sistema costruttivo in legno, «Il nuovo cantiere Marzo 2013 n. 2», p.23*

C.C. 2



0. IL PROBLEMA

Macchie sulla parte bassa delle pareti interne ed esterne e nei pannelli dei solai, in particolare nei solai del vano scala.

1. PROBABILI CAUSE DEL PROBLEMA

Presenza di umidità in eccesso nei pannelli.

2. CONDIZIONI DI PREDISPOSIZIONE

Scorretto stoccaggio dei pannelli e scarsa protezione dell'edificio durante la fase del cantiere.

3. CONSEGUENZE DIRETTE

Modificazione dell'umidità del pannello, se il pannello non è lasciato asciugare in modo adeguato prima della posa, il legno non raggiunge un equilibrio termo-igrometrico con l'ambiente e si potrebbe arrivare al fenomeno di marcescenza.

4. COME AVREBBE DOVUTO ESSERE FATTO

E' necessario prevedere durante la fase di cantiere apposite misure per evitare il contatto tra i materiali da costruzione e l'acqua. Lo stoccaggio del legno, in particolare, deve essere un punto focale sia per il costruttore che per il Direttore Lavori per via dei meccanismi di igroscopicità del materiale.

Lo stoccaggio deve essere previsto in un luogo adeguato e accessibile, anche in funzione della sua movimentazione. Il materiale, inoltre, deve es-

sere coperto in modo da non essere esposto agli agenti atmosferici per tutta la durata dello stoccaggio.

La soluzione migliore, secondo gli "Appunti sulle costruzioni in legno"¹, è quella di posizionare le travi in legno e i pannelli in X-Lam ancora confezionati al di sopra di dormienti in legno di almeno 6-8 cm di spessore. In alternativa per lo stoccaggio dei soli pannelli è bene che vengano posizionati in maniera distanziata grazie all'utilizzo di dormienti in legno per permettere una corretta ventilazione e coprire poi il tutto con un telo impermeabile e a tenuta. E' importante sottolineare che i teli impiegati siano impermeabili, ma allo stesso tempo traspiranti per evitare la formazione di condensa al loro interno.

In fase di montaggio sarebbe buona norma utilizzare un telo mobile in modo tale da proteggere la costruzione dal degrado, prassi che spesso viene utilizzata dai paesi Scandinavi per via delle frequenti condizioni meteorologiche avverse.

Nel caso in cui i pannelli non fossero stoccati in modo corretto e si fossero imbevuti di acqua, la prima operazione da mettere in atto è quella di misurare l'umidità del legno: se si riscontra un'umidità relativa maggiore del 18% è necessario seguire delle accortezze in modo da garantire un'asciugatura del materiale, come ad esempio ruotare il pannello di 90°.

Figura 4.6 Fotografia di cantiere. Fonte: *Ferrario M., 2013, Sistema costruttivo in legno, «Il nuovo cantiere Marzo 2013 n. 2», p.23*

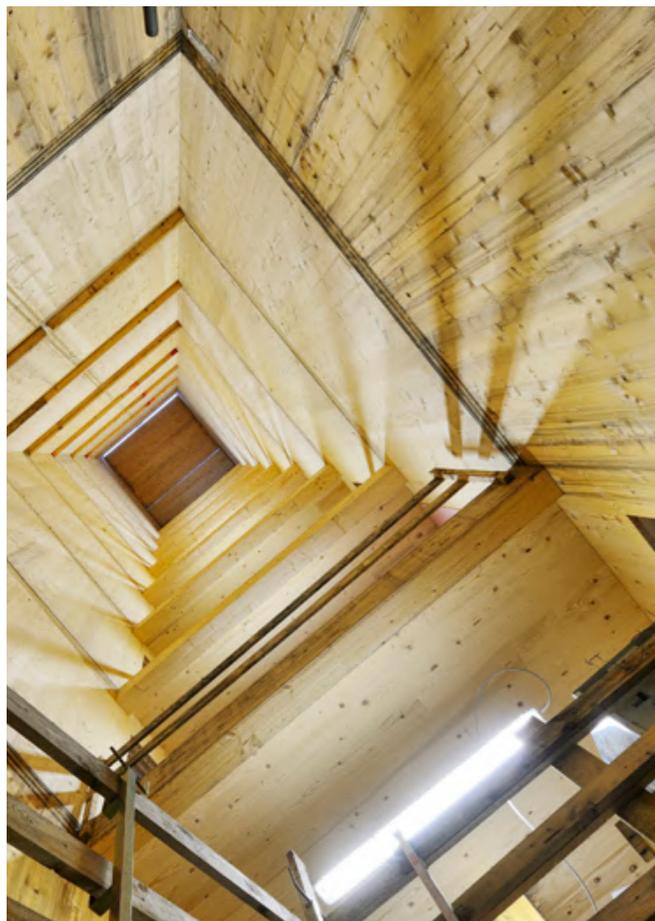


Figura 4.7 Fotografia di cantiere del vano scala: si possono notare macchie dovute all'infiltrazione di acqua. Fonte: www.rossiprodi.it



Figura 4.8 Fotografia di cantiere: vano scala: si possono notare macchie dovute all'infiltrazione di acqua. Fonte: *Bernasconi A. (a cura di), Materiale didattico del seminario "Wood groving city. Il contributo del legno per una crescita urbana sostenibile" del 24 Maggio 2013 con il titolo "Legno in città. Via Cenni: 9 piani in legno a Milano", Milano, scaricato da www.promolegno.it*



Figura 4.9 Fotografia di cantiere: si possono notare macchie dovute all'infiltrazione di acqua. Fonte: *Bernasconi A. (a cura di), Materiale didattico del seminario "Wood groving city. Il contributo del legno per una crescita urbana sostenibile" del 24 Maggio 2013 con il titolo "Legno in città. Via Cenni: 9 piani in legno a Milano", Milano, scaricato da www.promolegno.it*



Figura 4.10 Fotografia di cantiere: si possono notare macchie dovute all'infiltrazione di acqua. Fonte: *Bernasconi A. (a cura di), Materiale didattico del seminario "Wood groving city. Il contributo del legno per una crescita urbana sostenibile" del 24 Maggio 2013 con il titolo "Legno in città. Via Cenni: 9 piani in legno a Milano", Milano, scaricato da www.promolegno.it*

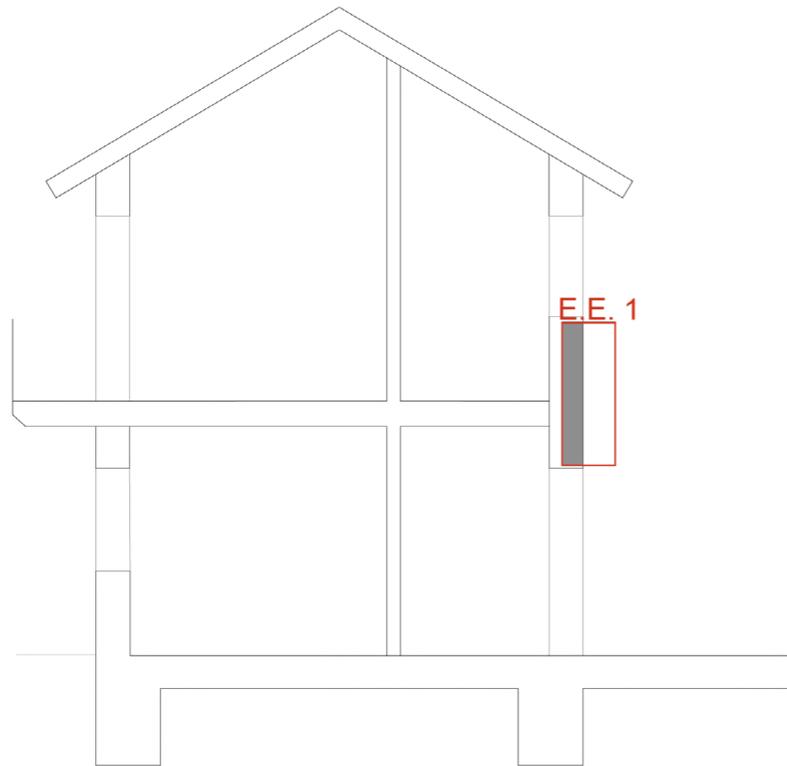
Errore di posa dell'isolante



Deficit del processo:



Problematiche riscontrate:



Linea guida utilizzata per l'analisi:

- Cortexa, *Manuale per l'applicazione del sistema a cappotto*. scaricato da www.cortexa.it
- Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, *Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola

E.E. 1

0. IL PROBLEMA

Fessurazioni dell'intonaco in alcuni punti.

1. PROBABILI CAUSE DEL PROBLEMA

Scorretta posa in opera del cappotto isolante e rasatura eseguita non a regola d'arte.

2. CONDIZIONI DI PREDISPOSIZIONE

Scorretta posa in opera del cappotto isolante e rasatura eseguita non a regola d'arte. Inoltre la mancanza di predisposizione di giunti di dilatazione potrebbe aver portato alla fessurazione: le strutture eseguite a secco mantengono una certa "dinamicità" strutturale per cui è necessario valutare preventivamente la posa di eventuali giunti di dilatazione (Fonte: Cortexa) in corrispondenza dei giunti strutturali del supporto, in alcuni casi è bene predisporre dei giunti di dilatazione in corrispondenza dei solai interpiano, per compensare eventuali spinte verso l'esterno della struttura.

3. CONSEGUENZE DIRETTE

L'intonaco si sta deteriorando e ritirando. Non essendoci una finitura costante si potrebbero avere infiltrazioni di acqua nell'isolante. Nei punti critici l'acqua potrebbe arrivare fino alla struttura portando l'edificio a un deterioramento precoce.



Figura 4.11 Fessurazione derivante dal ritiro dell'intonaco.
Fonte: *anonima*

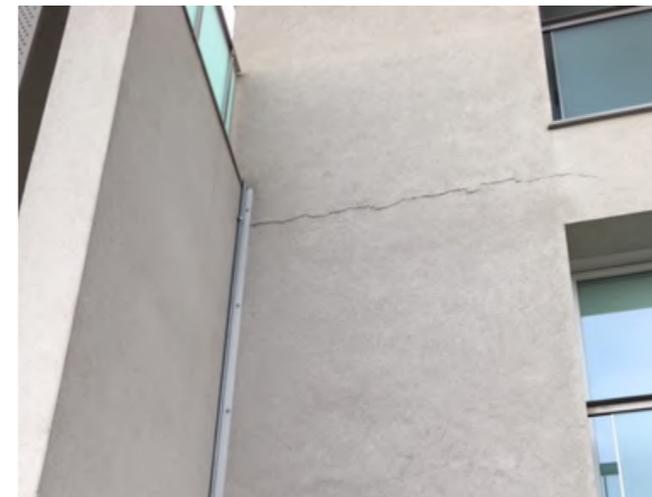


Figura 4.12 Fessurazione derivante dal ritiro dell'intonaco.
Fonte: *anonima*

4. GLI ERRORI NELLA FASE DI POSA

COME È STATO POSATO IL CAPPOTTO:

- fase 1: incollaggio dei pannelli di EPS alla struttura in X-Lam;
- fase 2: tassellatura dei pannelli di isolante alla struttura;
- fase 3: rasatura e finitura.

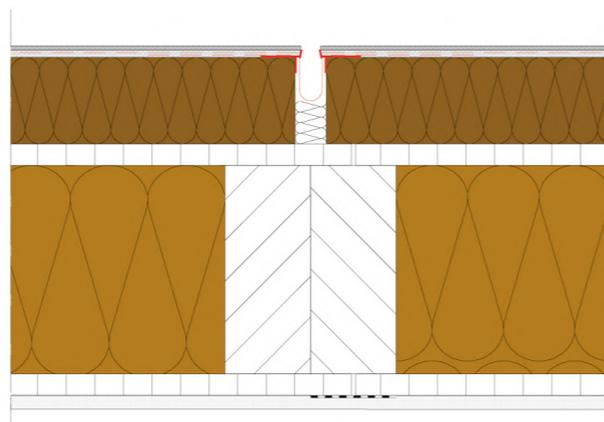


Figura 4.13 Giunto di dilatazione verticale. Fonte: Cortexa, *Manuale per l'applicazione del sistema a cappotto* pg. 97. scaricato da www.cortexa.it

FASI DI POSA DEL CAPPOTTO ISOLANTE



Figura 4.14 Incollaggio dei pannelli in EPS. Fonte: Bernasconi A. (a cura di), *Materiale didattico del seminario "Wood groving city. Il contributo del legno per una crescita urbana sostenibile" del 24 Maggio 2013 con il titolo "Legno in città. Via Cenni: 9 piani in legno a Milano"*, Milano, scaricato da www.promolegno.it



Figura 4.15 Tassellatura dei pannelli in EPS. Fonte: Bernasconi A. (a cura di), *Materiale didattico del seminario "Wood groving city. Il contributo del legno per una crescita urbana sostenibile" del 24 Maggio 2013 con il titolo "Legno in città. Via Cenni: 9 piani in legno a Milano"*, Milano, scaricato da www.promolegno.it



Figura 4.16 Rasatura e finitura dei pannelli in EPS. Fonte: Bernasconi A. (a cura di), *Materiale didattico del seminario "Wood groving city. Il contributo del legno per una crescita urbana sostenibile" del 24 Maggio 2013 con il titolo "Legno in città. Via Cenni: 9 piani in legno a Milano"*, Milano, scaricato da www.promolegno.it

I POSSIBILI ERRORI DURANTE LA POSA DEL CAPPOTTO E COME AVREBBE DOVUTO ESSERE REALIZZATO A REGOLA D'ARTE:

Mancanza delle condizioni ottimali per la posa:

- I materiali costituenti il sistema devono essere stoccati, al riparo dalle intemperie, protetti dal gelo e dall'azione diretta dei raggi UV. L'EPS grigio richiede accortezze maggiori durante la fase di stoccaggio rispetto ad altri materiali;
- La temperatura nell'ambiente di lavoro deve essere compresa tra +5°C e +30°C;
- Non operare su superfici esposte alla radia-

zione solare diretta.

Applicazione del collante: nello stendere il collante sulla superficie (manualmente o con l'ausilio di un'apposita macchina) probabilmente vi è stata una possibile circolazione di aria tra il supporto e lo strato isolante che ha portato a una fuoriuscita di collante in corrispondenza dell'apertura (vedi richiamo B).

Errato posizionamento dei pannelli isolanti in corrispondenza delle aperture: i pannelli isolanti devono essere sagomati in modo che il giunto dei pannelli non si trovi in corrispondenza dell'apertura (vedi richiamo A). Questo errore può portare alla

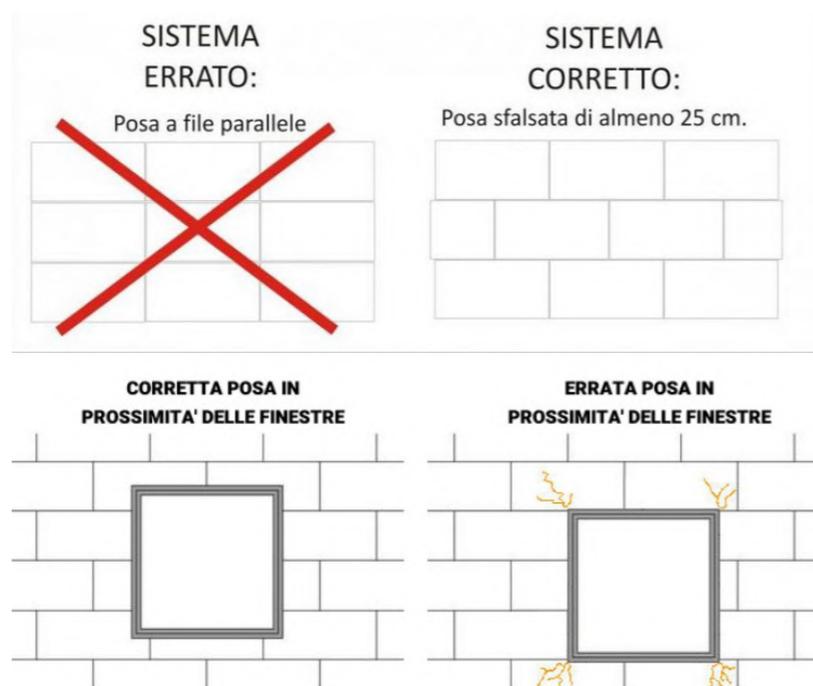


Figura 4.17 Errato posizionamento del pannello isolante. Fonte: <https://www.saperecasa.it/2018/03/15/il-cappotto-termico-guida-alla-scelta-e-alla-posa/>

formazione di crepe.

Scorretto incollaggio del pannello isolante: nella fase di preparazione del collante probabilmente non sono state seguite le indicazioni del produttore, il pannello isolante non è stato fissato correttamente alla struttura e questo ha portato all'effetto "cuscino o materasso" in alcuni punti.

Non sono state seguite le giuste accortezze nell'utilizzo dell' EPS: Un'accortezza da seguire è quella di eliminare le irregolarità mediante una leggera abrasione e la polvere che viene prodotta dalla levigatura deve essere eliminata. I pannelli in EPS ingialliscono per effetto dei raggi UV: la sostanza farinosa prodotta (giallastra) deve essere completamente rimossa prima dell'applicazione dell'intonaco di base (levigatura e spazzolatura).

Tempistiche errate di posa in cantiere: L'utilizzo di sufficiente manodopera evita giunti visibili. Una lavorazione fresco su fresco evita il rischio di variazioni cromatiche e strutturali della superficie; le pause di lavoro dovrebbero corrispondere al completamento di superfici intere. Per evitare stacchi visibili tra i piani dell'impalcatura si dovrebbe lavorare in modo sfalsato sopra e sotto il ponteggio. In alternativa, per ridurre il rischio di stacchi visibili, si può prevedere un'interruzione della finitura tra i livelli corrispondenti ai vari piani, inserendo ad esempio nastri, lesene, profili. Inoltre, uno strato troppo spesso di intonaco potrebbe aver portato alla comparsa di crepe sulla superficie.

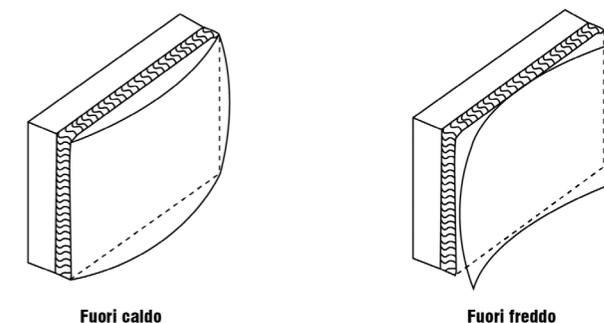


Figura 4.18 Effetto cuscinetto dei pannelli di isolante. Fonte: Cortexa, *Manuale per l'applicazione del sistema a cappotto*, scaricato da www.cortexa.it

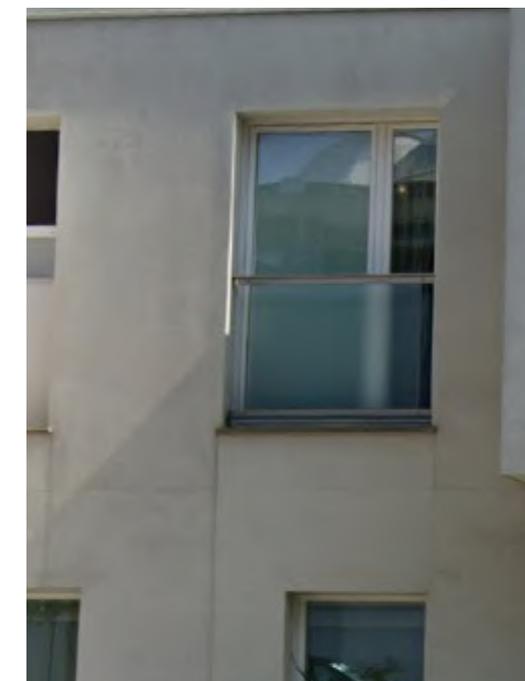


Figura 4.19 Effetto cuscinetto dei pannelli di isolante. Fonte: Google Maps

Mancate ispezioni: non sono state eseguite ispezioni preventive, durante la fase di uso dell'edificio, per individuare i danneggiamenti. E' buona prassi predisporre un documento, che segua un modello stile check-list, con la funzione di raccolta dati e verifica durante il sopralluogo.

Piano di manutenzione: sarebbe buona norma predisporre un piano per una manutenzione periodica.

TIPO DI INTERVENTO	FREQUENZA
Verifica generale per individuare eventuali problematiche (ad esempio nel collegamento con i serramenti, presenza di cavillature, anomalie e deformazioni, ecc.)	Ogni 2-3 anni o all'evidenza della problematica
Eventuale ripristino estetico tramite tinteggiatura, trattamento antialga o idrolavaggio a bassa pressione con apposito detergente	Ogni 10-15 anni
Eventuali riparazioni parziali o totali	All'evidenza della problematica

Figura 4.20 Esempio Piano di Manutenzione per il cappotto, suddiviso a seconda del tipo di intervento. Fonte: Cortexa, *Manuale per l'applicazione del sistema a cappotto*, p. 101. scaricato da www.cortexa.it

5. COME SI PUO' RIPARARE

Ogni intervento di ripristino deve essere valutato singolarmente in funzione dell'entità del danno. Per prima cosa deve essere eseguita una diagnosi in modo da identificare la tipologia di fessurazione (microcavillature, cavillature e crepe, fessure strutturali).

Alcune possibilità di intervento possono essere:

- cicli di finitura;
- ripristini di rasatura armata;
- ripristini parziali del sistema.

Qualora l'entità del problema non fosse risolvibile con un semplice ripristino, occorrerà valutare operazioni di "stripping" (rimozione della rasatura armata) o di demolizione integrale o parziale del sistema e sua relativa ricostruzione.

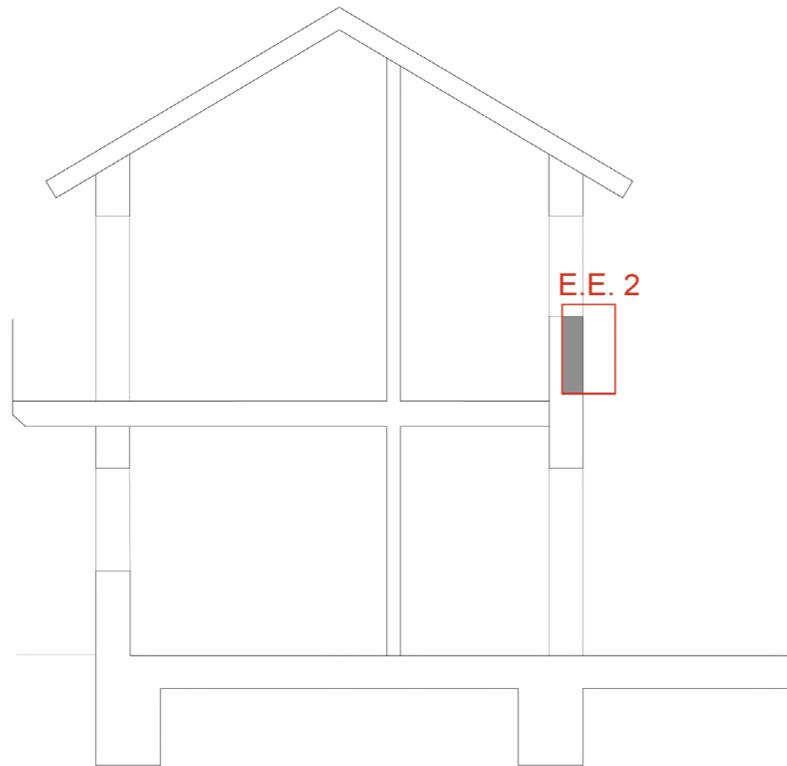
L'errata scelta e posa del davanzale



Deficit del processo:



Problematiche riscontrate:



Linea guida utilizzata per l'analisi:

- A.A.V.V. , 2020, *Richtlinie Fensterbank für deren Einbau in WDVS- und Putzfassaden in vorgehängten Fassaden sowie für Innenfensterbänke*, scaricato da www.dataholz.eu

- Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, *Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola

E.E. 2

0. IL PROBLEMA

Presenza di macchie sull'intonaco al di sotto delle aperture. Situazione più evidente sulle pareti esposte a Nord-Est, ovvero la direzione preferenziale dei venti. Inoltre il fenomeno è accentuato sulle facciate lato strada.

1. PROBABILI CAUSE DEL PROBLEMA

Scorrimento dell'acqua piovana lungo le pareti.

2. CONDIZIONI DI PREDISPOSIZIONE

Il ridotto sporto della soglia delle finestre e/o la mancanza di un rompi goccia.

3. CONSEGUENZE DIRETTE

Il fenomeno può portare a un' inefficienza da parte dell'involucro e generare numerosi problemi durante l'esercizio dell'opera.

4. CONDIZIONE AGGRAVANTE

La presenza di polvere sulla soglia.

5. GLI ERRORI COMMESSI

- L'inclinazione del davanzale probabilmente non è sufficiente, deve avere una pendenza minima del 2% verso l'esterno;
- Possibile mancanza della scanalatura rompi goccia per il davanzale in pietra;
- Probabilmente la sporgenza del davanza-

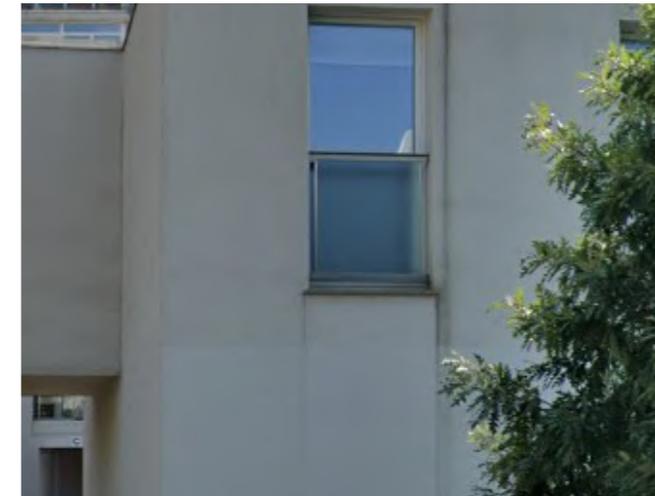


Figura 4.21 Presenza di macchie sull'intonaco. Fonte: Google Maps

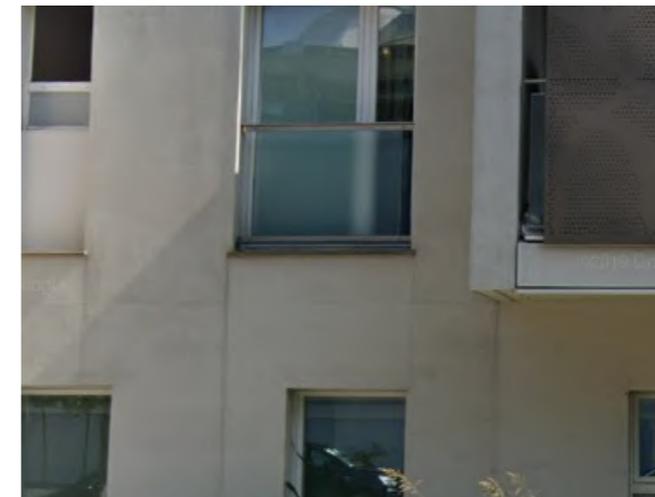


Figura 4.22 Presenza di macchie sull'intonaco. Fonte: Google Maps

le non è sufficiente, deve avere una distanza minima di 3 cm (per la pietra naturale) tra l'incavo del rompi goccia e il filo esterno della facciata finita;

- Il davanzale, in questo caso, ha una funzione principalmente estetica, piuttosto che di allontanamento delle acque meteoriche: questa è una prassi tipicamente Italiana. Una condizione aggravante nella scelta del davanzale in pietra è data dal fatto che non è dotato, contrariamente ai davanzali in alluminio, di alette laterali per il contenimento dell'acqua piovana. Questo riduce l'efficacia di far defluire l'acqua oltre la facciata: per questo motivo tendono a formarsi delle sbavature laterali al davanzale nei punti in cui l'acqua, dopo aver raccolto la polvere del davanzale, scorre lungo le pareti.

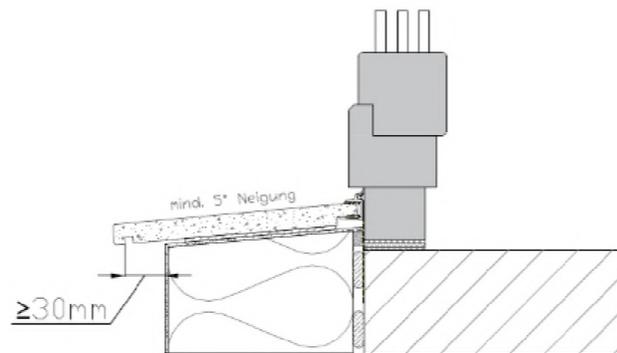


Figura 4.23 Rappresentazione schematica della proiezione del davanzale in pietra rispetto al filo facciata. Fonte: A.A.V.V., 2020, *Richtlinie Fensterbank für deren Einbau in WDVS- und Putzfassaden in vorgehängten Fassaden sowie für Innenfensterbänke*, scaricato da www.dataholz.eu



Figura 4.24 La fresatura sul bancale in pietra che favorisce il deflusso delle acque verso l'esterno. Fonte: Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, *Appunti per le costruzioni in legno*. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere, documento fornito da Marco Pio Lauriola, pg. 94

6. COME AVREBBE POTUTO ESSERE REALIZZATO

SOLUZIONE 1:

Se si vuole utilizzare il davanzale in pietra è opportuno seguire diversi accorgimenti come verificare la pendenza minima, predisporre adeguatamente la sporgenza del davanzale e prevedere delle scanalature e degli appositi raccordi di chiusura laterale. Inoltre, la base inferiore del davanzale in pietra deve essere incollata per tutta la superficie e non a "spot", in modo da evitare infiltrazioni di aria all'interno. Un'altra accortezza è far continuare l'isolamento termico per almeno 2,5 cm anche sotto il davanzale arrivando fino alla traversa inferiore

del controtelaio.

E' comunque fondamentale una pulizia, una cura e una manutenzione programmata da parte dell'utente o dell'eventuale impresa incaricata. Durante la fase di pulizia è necessario eseguire un controllo visivo in merito alla formazione di fessure o eventuali distacchi.

SOLUZIONE 2:

Utilizzo di davanzali in lamiera (alluminio verniciato o acciaio).

Questa tipologia è costituita da bordi rialzati su tre lati. Il lato più lungo del davanzale, posizionato verso la finestra, è applicato alla traversa inferiore del telaio del serramento in modo che l'acqua piovana, colando dall'infisso, defluisca sul davanzale. Lungo i lati più corti i due bordi rialzati sono posizionati a filo della parete e svolgono differenti funzioni: portano l'acqua della finestra oltre la facciata, impedendo una deviazione lungo i lati e la formazione di sbavature lungo la facciata, evitano infiltrazioni sotto l'intonaco e raccolgono l'acqua che scorre lungo le pareti laterali.

La soluzione, inoltre, è in grado di compensare eventuali difetti di impermeabilizzazione della traversa inferiore del telaio e controtelaio, oltre a essere una soluzione più economica rispetto all'utilizzo della pietra. Il davanzale in lamiera, essendo molto leggero, è facilmente manovrabile e può essere incollato direttamente allo strato di isolamento della parete.

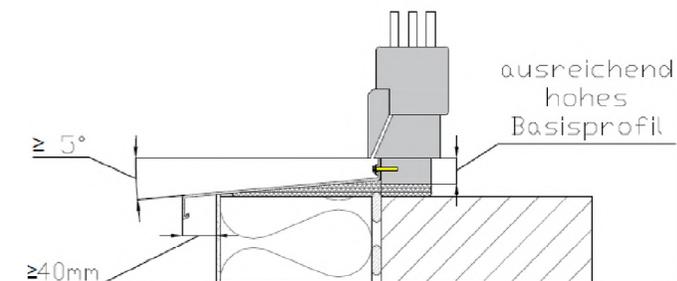


Figura 4.25 Rappresentazione schematica della proiezione del davanzale in lamiera rispetto al filo facciata. Fonte: A.A.V.V., 2020, *Richtlinie Fensterbank für deren Einbau in WDVS- und Putzfassaden in vorgehängten Fassaden sowie für Innenfensterbänke*, scaricato da www.dataholz.eu, pg. 15

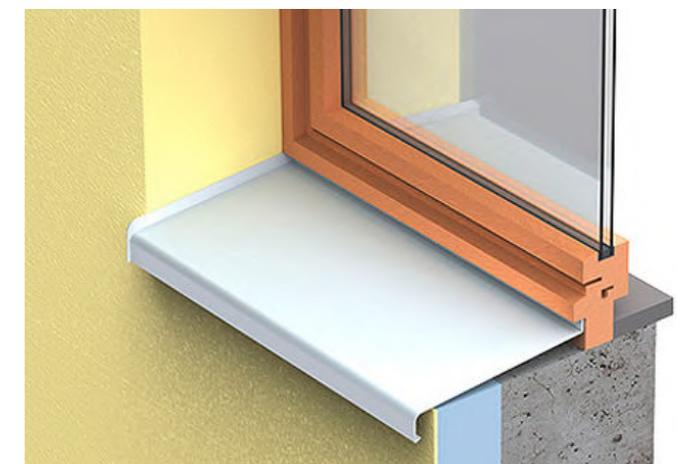


Figura 4.26 Davanzale in lamiera. Fonte: www.archiexpo.it

L'errata progettazione e posa del nodo del balcone



Deficit del processo:



Problematiche riscontrate:



Linea guida utilizzata per l'analisi:

- Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, *Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola
- Auskragende BSP-Deckenplatten als Balkon, Allegato alla domanda [2561] del 21 maggio 2020 © 2020, infoholz.at - un servizio di Holzforschung Austria, scaricato da www.proholz.at

E.E. 3

0. IL PROBLEMA

Fessurazioni da ritiro presenti sui pannelli in X-Lam dell'intradosso dei balconi.

1. PROBABILI CAUSE DEL PROBLEMA

Scorrimento dell'acqua piovana in orizzontale lungo il pannello.

2. CONDIZIONI DI PREDISPOSIZIONE

Studio non accurato del nodo costruttivo.

3. CONSEGUENZE DIRETTE

L'infiltrazione e il ristagno di acqua possono provocare fenomeni di degrado e marcescenza che possono compromettere la durabilità e resistenza strutturale del pannello.

4. CONDIZIONE AGGRAVANTE

Sul pannello, all'intradosso del balcone, è stata applicata solamente una vernice all'acqua bianca che non ha nessun effetto idro-repellente e che non protegge in nessun caso la struttura.



Figura 4.27 Intradosso del balcone. Fonte: anonima

5. COME E' STATO REALIZZATO

La struttura del balcone è composta da un pannello in X-Lam a 5 strati che costituisce la struttura portante a sbalzo del solaio. Al di sopra di questo è stato realizzato un massetto di pendenza e la relativa pavimentazione.

Per proteggere la parte estradossale del pannello in X-Lam è stata risvoltata una guaina impermeabilizzante sulla parte frontale del pannello terminante per qualche centimetro sulla parte intradossale dello stesso. Come chiusura della parte frontale del pannello è stato utilizzato un pannello tipo Aquapanel, che distanziato alcuni centimetri, ha generato un'intercapedine che è stata sfruttata per nascondere il fissaggio del parapetto del balcone. L'elemento di chiusura superiore dell'intercapedine si ipotizza possa essere una lamiera sagomata in funzione della presenza dei montanti del parapetto. Per la chiusura inferiore dell'intercapedine è stato utilizzato un profilo sagomato con rompi goccia distaccato alcuni centimetri. La parte intradossale del pannello in X-Lam è stata solamente trattata utilizzando una vernice all'acqua bianca.

6. GLI ERRORI

La guaina impermeabilizzante è stata bucata in più punti e probabilmente non sono state utilizzate le giuste accortezze per coprire i fori (nastro butilico). Questo perchè probabilmente, essendo un progetto di edilizia convenzionata, ha portato a delle scelte più economiche.

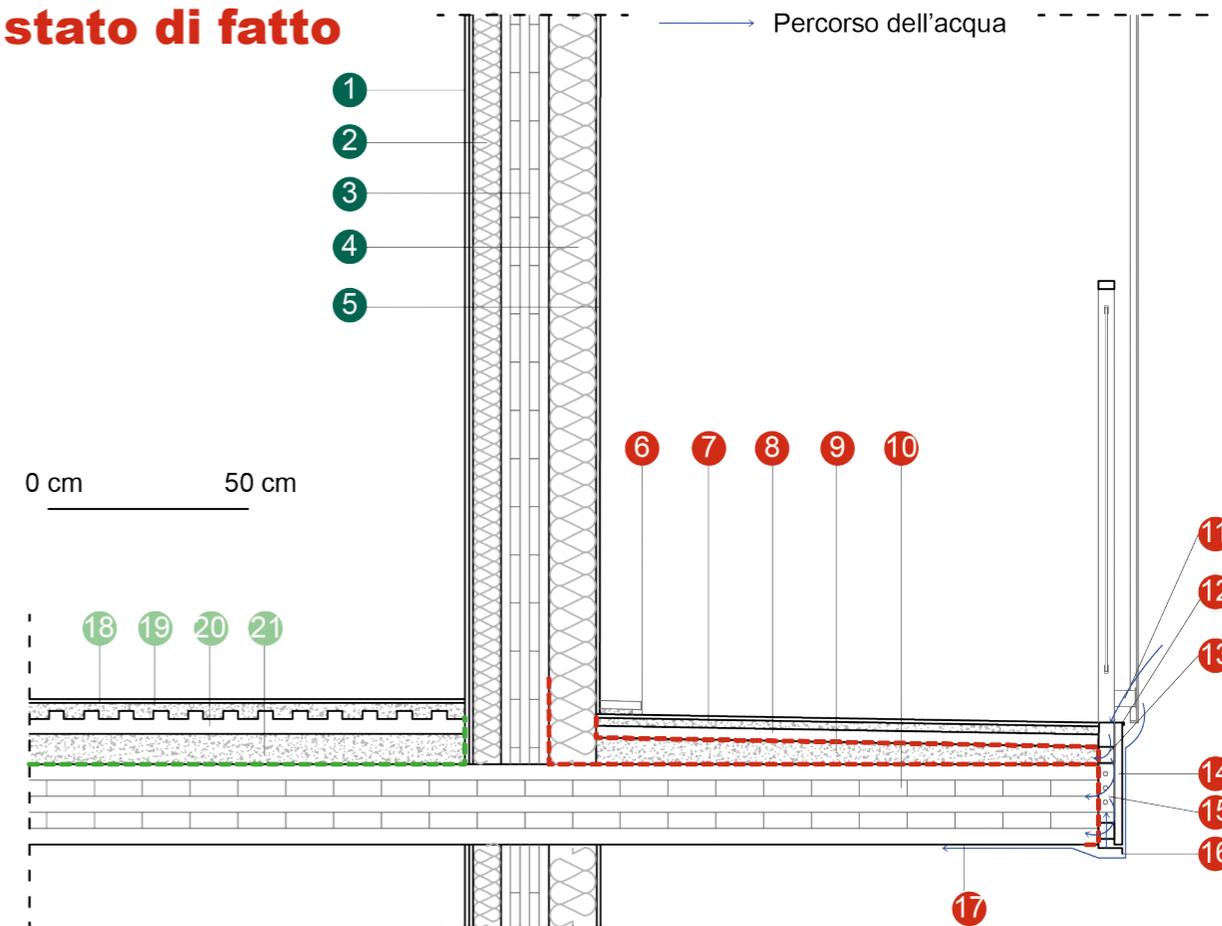
In ogni caso anche nei progetti realizzati a regola d'arte può capitare che la guaina venga bucata,

ciò su cui è necessario porre attenzione è quindi la protezione della struttura in legno derivante in special modo dal corretto smaltimento delle acque piovane, cosa che in questo caso studio sembra mancare.

L'intercapedine non è correttamente sigillata nella parte superiore e probabilmente l'acqua si deposita all'interno e riesce a penetrare nel pannello grazie ai numerosi fori presenti nella guaina. Il rompi goccia della parte di chiusura, inoltre, non è sufficientemente sporgente e questo permette all'acqua di correre orizzontalmente fino a raggiungere la parte intradossale del pannello.

Un altro errore è dato dal fatto di non proteggere adeguatamente la parte intradossale del pannello in X-Lam: è corretto il fatto che non vi sia la guaina impermeabilizzante perchè il pannello deve mantenere l'equilibrio termo-igrometrico con l'ambiente, ma dovrebbe essere protetto con una camera di ventilazione e un materiale traspirante, in modo che, nel caso si verificasse uno scorrimento di acqua come in questo caso, l'acqua impregnerebbe il pannello di protezione e non il pannello in legno.

Lo stato di fatto



LEGENDA

- | | |
|---|---|
| 1 Doppia lastra di cartongesso (2 cm) | 12 Lamiera di chiusura dell'intercapedine |
| 2 Isolante in lana di roccia (7 cm) | 13 Montante di fissaggio |
| 3 Pannello in X-Lam a 5 strati (12 cm) | 14 Pannello di chiusura tipo "Aquapanel" (2 cm) |
| 4 Isolante in EPS (12 cm) | 15 Piastra di fissaggio del parapetto |
| 5 Intonaco e tinteggiatura silossanica (1/2 cm) | 16 Lamiera rompigoccia di chiusura |
| 6 Pavimentazione in gres | 17 Vernice all'acqua di colore bianco |
| 7 Massetto per pavimentazione (2 cm) | 18 Pavimento interno (1 cm) |
| 8 Isolante (3 cm) | 19 Massetto di copertura degli impianti (4 cm) |
| 9 Massetto per pendenza 2% | 20 Pannello isolante |
| 10 Pannello in X-Lam a 5 strati (20 cm) | 21 Massetto (8 cm) |
| 11 Binario guida per pannelli frangisole | --- Guaina impermeabilizzante |



Figura 4.28 Intradosso del balcone. Fonte: anonima



Figura 4.29 Balcone. Fonte: Google Maps



Figura 4.30 Fessure nell'intradosso del Balcone. Fonte: Google Maps



Figura 4.31 Presenza di piante infestanti. Fonte: Google Maps



Figura 4.32 Mancanza del rompi goccia nelle logge. Fonte: Google Maps

Un' altra problematica riscontrata è la presenza di piante infestanti che tendono a infiltrarsi all'interno dell'intercapedine e con il loro peso tendono a portare al distacco del profilo rompi goccia peggiorando la situazione del balcone. Questo è dovuto probabilmente anche a una scarsa manutenzione da parte degli utenti.

Inoltre le logge non sono state provviste di rompi goccia: questo porta l'acqua a scorrere orizzontalmente lungo il pannello in X-Lam del solaio non protetto senza alcuna interruzione. Nel tempo questo errore può portare a marcescenza compromettendo la durabilità della struttura.



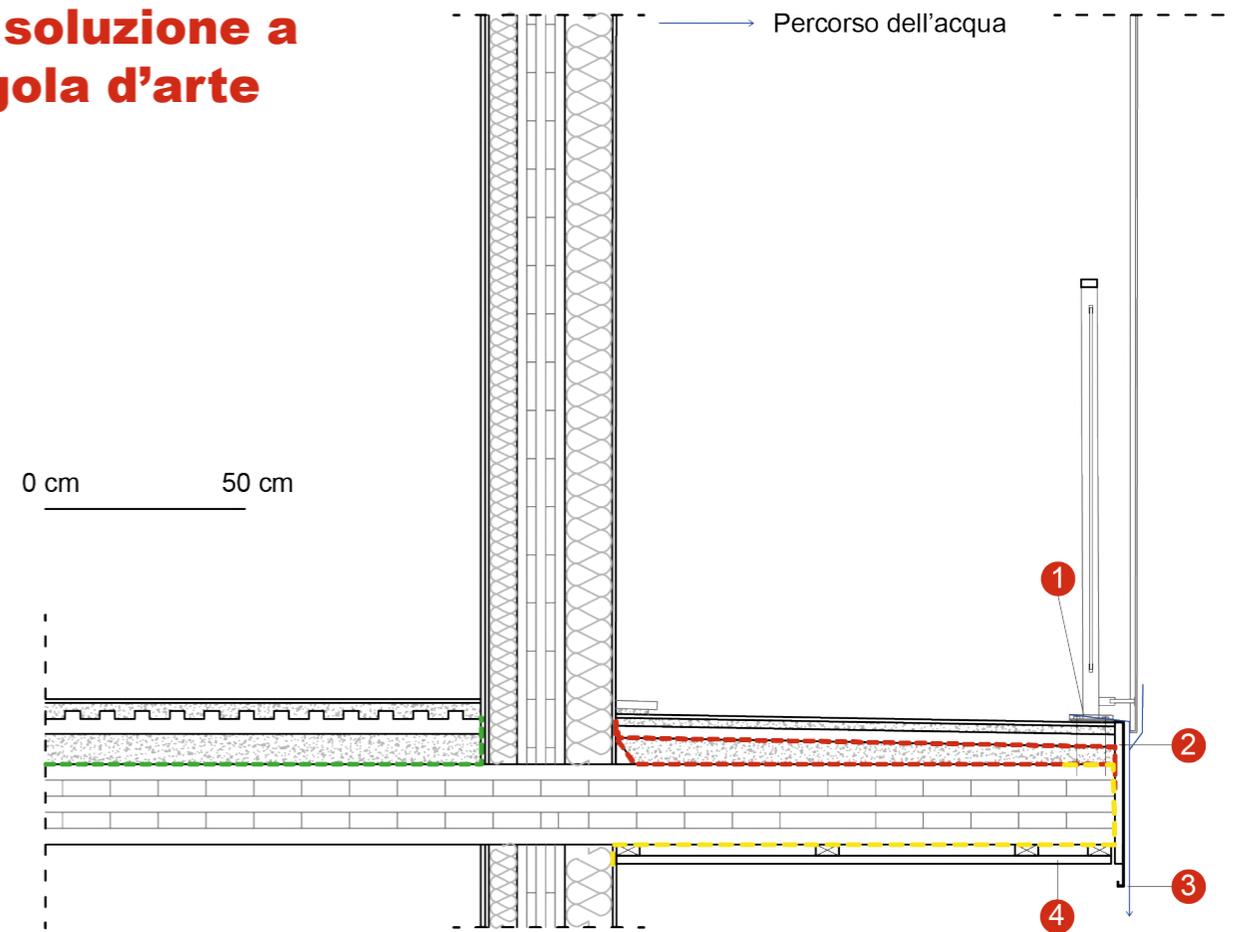
Figura 4.33 Pannello guida per un eventuale inserimento di frangisole. Fonte: Google Maps

In prossimità di alcuni balconi è stato inserito un pannello aggiuntivo che permette l'eventuale fissaggio delle guide dei pannelli frangisole. Se il pannello è di un materiale non traspirante può compromettere la traspirabilità del pannello in X-Lam e, nel caso di un'infiltrazione di acqua, porterebbe alla marcescenza.

7. CONSIDERAZIONE SULLA PROGETTAZIONE DEI BALCONI IN X-LAM IN ITALIA:

Svolgendo alcune ricerche, sui manuali del settore e sulle principali piattaforme di informazione per la progettazione di edifici in legno, quello che si è notato è la mancanza di particolari costruttivi dettagliati del nodo del balcone realizzato con struttura in X-Lam. Dopo i "fatti dell'Aquila", sicuramente è un argomento spinoso ma che ancora oggi viene poco trattato nei manuali e nelle linee guida Italiane. Sulla piattaforma "Promo_legno risponde", ad esempio, è stata posta una domanda riguardo alla realizzazione dei balconi con struttura in X-Lam: la risposta degli esperti ha fornito indicazioni generiche riguardanti le buone prassi di realizzazione di un balcone, specificando però che la soluzione migliore sia quella di realizzare un balcone con una struttura a sè in modo che, in caso di degrado, sia facilmente sostituibile. Pensare preventivamente che il balcone possa essere quasi sicuramente soggetto a degrado e quindi necessiti di una sostituzione in futuro non è la miglior base di partenza per la progettazione.

La soluzione a regola d'arte



LEGENDA

- ① Parapetto del balcone ancorato tramite bulloni, utilizzo di nastro butilico per sigillare i fori e utilizzo di una guarnizione copri-piastra
- ② Pannello di chiusura in compensato
- ③ Lamiera di protezione con rompigoccia fissata al di sotto della piastra del parapetto
- ④ Intercapedine ventilata con pannello di chiusura
- - - Guaina impermeabilizzante
- - - Guaina impermeabilizzante traspirante
- - - Guaina di protezione

Note a pie' di pagina

¹ Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere, documento fornito da Marco Pio Lauriola

CASO B



Informazioni progettuali



Localizzazione: Regione Piemonte



Anno di costruzione: 2020



Tempistiche: A luglio 2020 sono state posate le pareti in X-Lam ma tutt'ora (giugno 2021) sono ancora sprovviste di rivestimento esterno



Esperienza dei progettisti con il legno: scarsa



Tipo di intervento: residenziale



Sistema costruttivo: struttura portante in acciaio e pareti di tamponamento/controventamento in X-Lam



Numero di piani: 2 piani fuori terra



Tipo di parete: parete di controventamento in X-Lam



Fondazioni: in cls

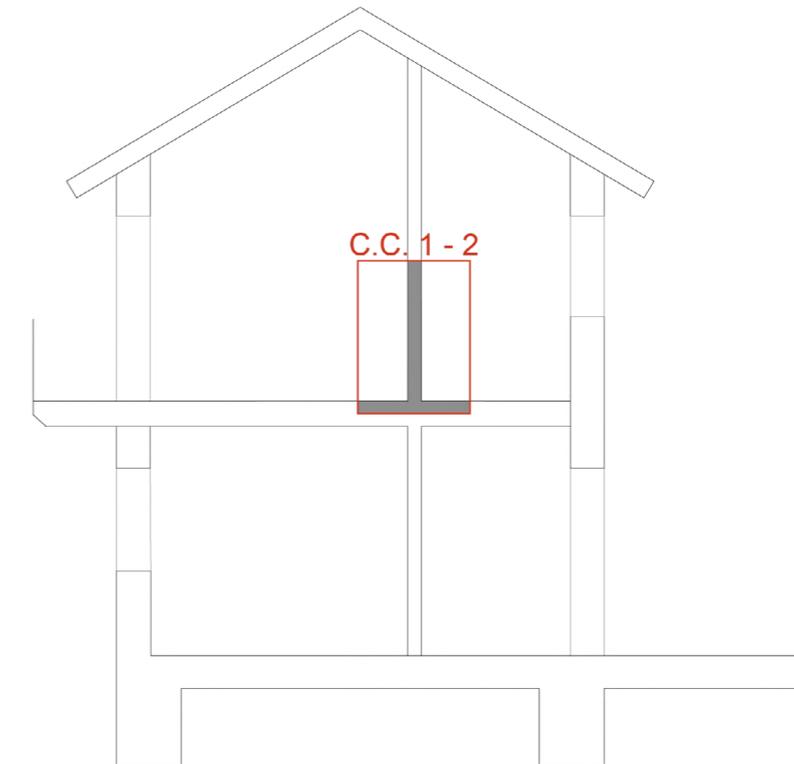
Errore di stoccaggio dei pannelli in cantiere



Deficit del processo:



Problematiche riscontrate:



Linea guida utilizzata per l'analisi:

-Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, Appunti per le costruzioni in legno. *Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola

C.C. 1 - 2

0. IL PROBLEMA

Macchie sulla parte bassa delle pareti in X-Lam.

1. PROBABILI CAUSE DEL PROBLEMA

Probabile esposizione prolungata agli agenti atmosferici e ai raggi UV senza protezione, e possibili infiltrazioni e/o ristagno di acqua.

2. CONDIZIONI DI PREDISPOSIZIONE

Errato stoccaggio dei pannelli in X-Lam in cantiere e posa dei pannelli senza controllare l'umidità del legno e senza permettere al materiale di asciugarsi.

3. CONSEGUENZE DIRETTE

Il pannello, se non correttamente asciugato all'interno del pacchetto della parete, può essere soggetto a fenomeni di marcescenza.

4. CONDIZIONE AGGRAVANTE

Le pareti esterne sono ad oggi esposte alle intemperie dopo circa un anno dalla posa.

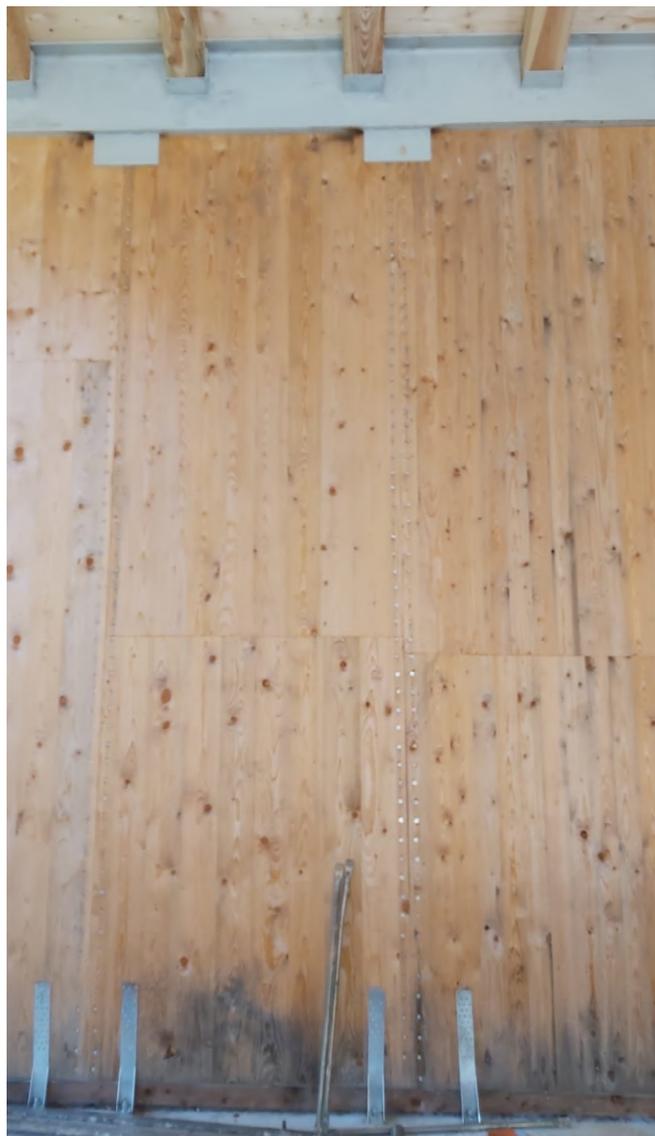


Figura 4.34 Fotografia di cantiere. Fonte: *Anonima*



Figura 4.35 Solai macchiati, foto di cantiere. Fonte: *Anonima*



Figura 4.36 Pareti esterne macchiate, foto di cantiere. Fonte: *Anonima*



Figura 4.37 Parete esterna macchiata, foto di cantiere. Fonte: Anonima

5. COME AVREBBE DOVUTO ESSERE FATTO

Come accennato per quanto riguarda il caso studio A, è molto importante il corretto stoccaggio in cantiere dei pannelli in X-Lam. Inoltre è importante proteggere la struttura durante la fase di montaggio, sia quotidianamente, sia da eventi atmosferici improvvisi e/o inaspettati, sia nel caso in cui il cantiere debba subire dei fermi prolungati, come in questo caso.

Nel caso di **eventi atmosferici** è buona norma porre una particolare attenzione alla protezione della testa dei pannelli e dei pilastri in legno essendo i punti in cui l'assorbimento dell'acqua è maggiore. Nella **fase di montaggio** un buon metodo è quello di prevedere una protezione con guaine traspiranti assicurate ai pannelli delle pareti, come nella foto nella pagina seguente. La stessa soluzione può essere utilizzata anche per i solai, avendo cura di togliere i teli per garantirne l'asciugatura durante i giorni non piovosi.

Nel caso in cui, invece, vi siano giorni di **fermo prolungato del cantiere** è necessario prendere ulteriori provvedimenti:

- La soluzione più semplice è quella di perimetrare esternamente l'edificio in legno con dei teli traspiranti di protezione all'acqua e, nel caso di ponteggi, utilizzare degli ulteriori teli protettivi per evitare l'infiltrazione dell'acqua piovana battente;
- Nel caso in cui non fossero ancora stati installati gli infissi è necessario proteggere le aperture mediante l'utilizzo di soluzioni prov-



Figura 4.38 Corretto stoccaggio in cantiere del materiale. Fonte: Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, *Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola



Figura 4.39 Corretto stoccaggio in cantiere del materiale. Fonte: Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, *Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola



Figura 4.40 Protezione delle teste delle pareti con guaine traspiranti durante il cantiere. Fonte: Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, *Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola



Figura 4.41 Infissi provvisori realizzati per proteggere le strutture durante il cantiere. Fonte: Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, *Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola

visorie che impediscono l'ingresso dell'acqua nella costruzione (come si può vedere nella fotografia a fianco);

- Un'altra accortezza dovrebbe essere adottata è quella di controllare periodicamente l'umidità e la temperatura all'interno dell'ambiente per prevenire le condizioni di degrado, attraverso l'installazione di igrometri e termometri.

6. UNO “STRUMENTO” CHE AVREBBERO POTUTO UTILIZZARE

Assolegno ha definito una proposta di standard dedicato alla fase di cantiere dell'opera, riportando differenti strategie in funzione della complessità del manufatto. Entro tale ambito è suggerita una redazione di un **piano di controllo dell'umidità** a carico del Direttore dei Lavori.

Tale piano deve contenere:

- I metodi con cui viene verificata l'umidità dei prodotti a base di legno durante le varie fasi di realizzazione dell'opera;
- La periodicità dei controlli;
- I limiti di ammissibilità entro i quali è possibile parlare di conformità della costruzione in funzione della vita nominale prevista in fase di progettazione;
- Le relative misure di protezione dagli agenti atmosferici utilizzate;
- Le relative misure dedicate alla protezione del legno nei confronti dell'umidità in condizioni di esercizio dell'opera.

CASO C



Informazioni progettuali



Localizzazione: L'Aquila (Italia)



Concorso: nel 2009 in seguito all'evento sismico che ha portato alla distruzione di gran parte del centro abitato



Anno di costruzione: terminato alla fine del 2010



Tempistiche di cantiere:

- Inizio cantiere: giugno/luglio 2009
- Fine lavori: fine 2010



Esperienza dell'impresa con il legno: l'impresa ha una probabile esperienza ma dopo la costruzione degli edifici di emergenza ha fallito



Tipo di intervento: edifici di abitazione temporanei di emergenza



Sistema costruttivo: pannelli prefabbricati in X-Lam, uso della prefabbricazione per alcuni elementi, mentre per la carpenteria, solai, isolamento e finiture realizzazione in cantiere



Numero di piani: tre pian fuori terra, con piano interrato per autorimesse



Pianta: modulare, dimensioni piuttosto ridotte



Tipo di parete: parete in X-Lam



Balcone: in X-Lam



Fondazione: fondazione in calcestruzzo armato e utilizzo di una piastra performante anti-sismica



Isolamento: fibra di legno

Errore nella progettazione e posa del balcone



Deficit del processo:



Problematiche riscontrate:



Linea guida utilizzata per l'analisi:

-Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, Appunti per le costruzioni in legno. *Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola

E.E. 3

0. IL PROBLEMA

Crollo di alcuni balconi.

1. PROBABILI CAUSE DEL PROBLEMA

Presenza di acqua e altri fattori concomitanti che hanno portato a una riduzione della resistenza del pannello in X-Lam fino giungere a rottura.

2. CONDIZIONI DI PREDISPOSIZIONE

Probabilmente errata progettazione e/o errata posa in opera del balcone.

3. CONSEGUENZE DIRETTE

Crollo di alcuni balconi dell'edificio.



Figura 4.42 Fotografia del crollo del primo balcone. Fonte: Eleonora Fegnani



Figura 4.42 Fotografia di alcuni balconi puntellati. Fonte: www.newtown.it



Figura 4.43 Crollo di un balcone. Fonte: www.ilcentro.it foto di Raniero Pizzi



Figura 4.44 Crollo di un balcone. Fonte: www.tpi.it

4. GLI ERRORI

Questo caso studio è tutt'oggi sotto inchiesta, quindi non è possibile reperire documenti tecnici per un'analisi completa. Le ipotesi che seguono si basano solo ed esclusivamente su informazioni e materiale fotografico reperiti dai numeri articoli di giornale.

IL PACCHETTO DEL BALCONE

La struttura portante è costituita da un pannello in X-Lam a 5 strati, non è stato possibile verificare se risulta essere una prosecuzione del solaio oppure un solaio a sè. Si ipotizza che sia una prosecuzione del solaio.

- Per raggiungere l'altezza di soglia è stato realizzato un massetto con una pendenza errata verso l'interno. Il getto probabilmente non ha la funzione di massetto di pendenza vero e proprio ma costituisce quasi una "struttura a sè": all'interno del getto, infatti, è possibile vedere dei mattoni forati come se la parte superiore del balcone fosse stata pensata come una struttura tradizionale. Il massetto probabilmente ha una pendenza verso l'esterno ma non è sufficiente;

- A protezione del pannello in X-Lam, prima della posa del massetto, è stata inserita una guaina impermeabilizzante che però è stata fatta risvoltare verso l'alto "a protezione" del getto e non a protezione della parte frontale



Figura 4.45 Fotografia del primo balcone crollato in cui è possibile vedere il legno marcito e la muffa all'interno del cemento. Fonte: www.6aprile.it



Figura 4.46 Fotografia della parete scattata a seguito del crollo del balcone. Fonte: www.abruzzo24ore.tv



Figura 4.47 Fotografia balcone: struttura in X-Lam, getto e mattoni. Fonte: www.raiply.it, trasmissione gazebo ottobre 2014



Figura 4.48 Fotografia balcone: struttura in X-Lam, getto e mattoni. Fonte: www.abruzzoweb.it



Figura 4.49 Fotografia laterale del balcone crollato. Fonte: www.6aprile.it

del pannello in X-Lam;

- Il parapetto è stato fissato sopra il pannello in X-Lam, prima della posa della guaina impermeabilizzante e del “getto”, questo ha portato alla “formazione” di aree vuote tra il getto e l’attacco del parapetto. Queste portano ad aumentare la possibilità di infiltrazione di acqua;
- Il pannello in X-Lam nella parte inferiore e laterale probabilmente è stato solamente intonato, questo non permette una corretta traspirazione del pannello;
- Un problema, anche se più marginale, è legato al fatto che la soglia in pietra del balcone non risulta avere una scanalatura rompi goccia e probabilmente non ha uno sporto sufficiente in modo da allontanare le acque meteoriche.

IL PROBLEMA E' STATO SOTTOVALUTATO

Inoltre sono state completamente sottovalutate le attività di manutenzione, o meglio, è stato sottovalutato il problema: è possibile notare dalle fotografie la presenza di lesioni verticali e orizzontali in prossimità dei balconi. Sicuramente queste sono state notate e sono state eseguite delle ispezioni preventive, ma il problema è stato “risolto” attraverso una mano di pittura, senza indagare più a fondo il problema. Forse se si avesse dato maggior peso al problema, invece di nascondere, non vi sarebbero stati numerosi crolli di balconi.

5. CONCLUSIONI

Non è possibile affermare quale fase dell’iter di realizzazione dell’edificio sia responsabile per i crolli dei balconi.

E’ possibile affermare, però, osservando le fotografie che la marcescenza è sicuramente “iniziata” per via dell’infiltrazione dell’acqua nella parte frontale del pannello in X-Lam non protetto. L’acqua all’interno del pannello ha iniziato a ristagnare poiché il balcone è stato inserito in un pacchetto a “tenuta stagna” non traspirante, di conseguenza l’acqua per capillarità ha iniziato a proseguire lungo le lamelle del pannello fino ad arrivare al nodo con la parete. La situazione è sicuramente stata aggravata dalla presenza di un massetto con una pendenza errata verso l’interno, dal peso eccessivo dato dalla presenza dei mattoni e dal fatto che tutti i segnali di cedimento siano stati ignorati.



Figura 4.50 Fotografia in cui si può notare una lesione orizzontale in corrispondenza del nodo balcone-parete. La lesione verticale invece è stata nascosta da una mano di vernice di colorazione differente. Fonte: www.raipaly.it, trasmissione gazebo ottobre 2014



Figura 4.51 Fotografia del tentativo di nascondere una lesione che percorre orizzontalmente la facciata da balcone a balcone. Fonte: www.abruzzoweb.it



Figura 4.52 Fotografia in cui si può notare una lesione verticale che si estende dal nodo del balcone all'apertura sottostante. Fonte: www.youtube.it

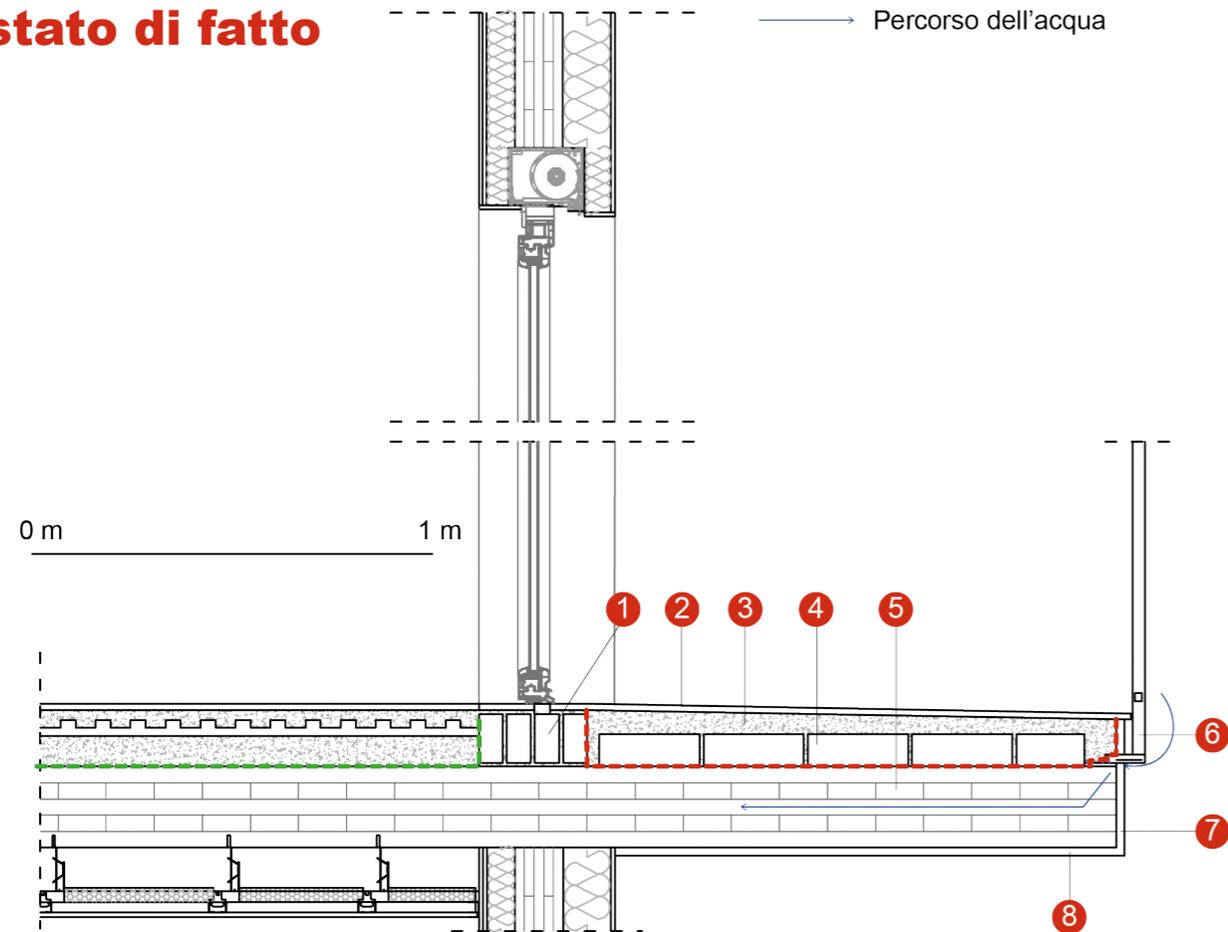


Figura 4.53 Fotografia di una lesione che è riaffiorata nonostante il tentativo di nascondere con una mano di vernice di colorazione differente. Fonte: www.abruzzoweb.it



Figura 4.54 Fotografia del balcone crollato. Fonte: www.6aprile.it

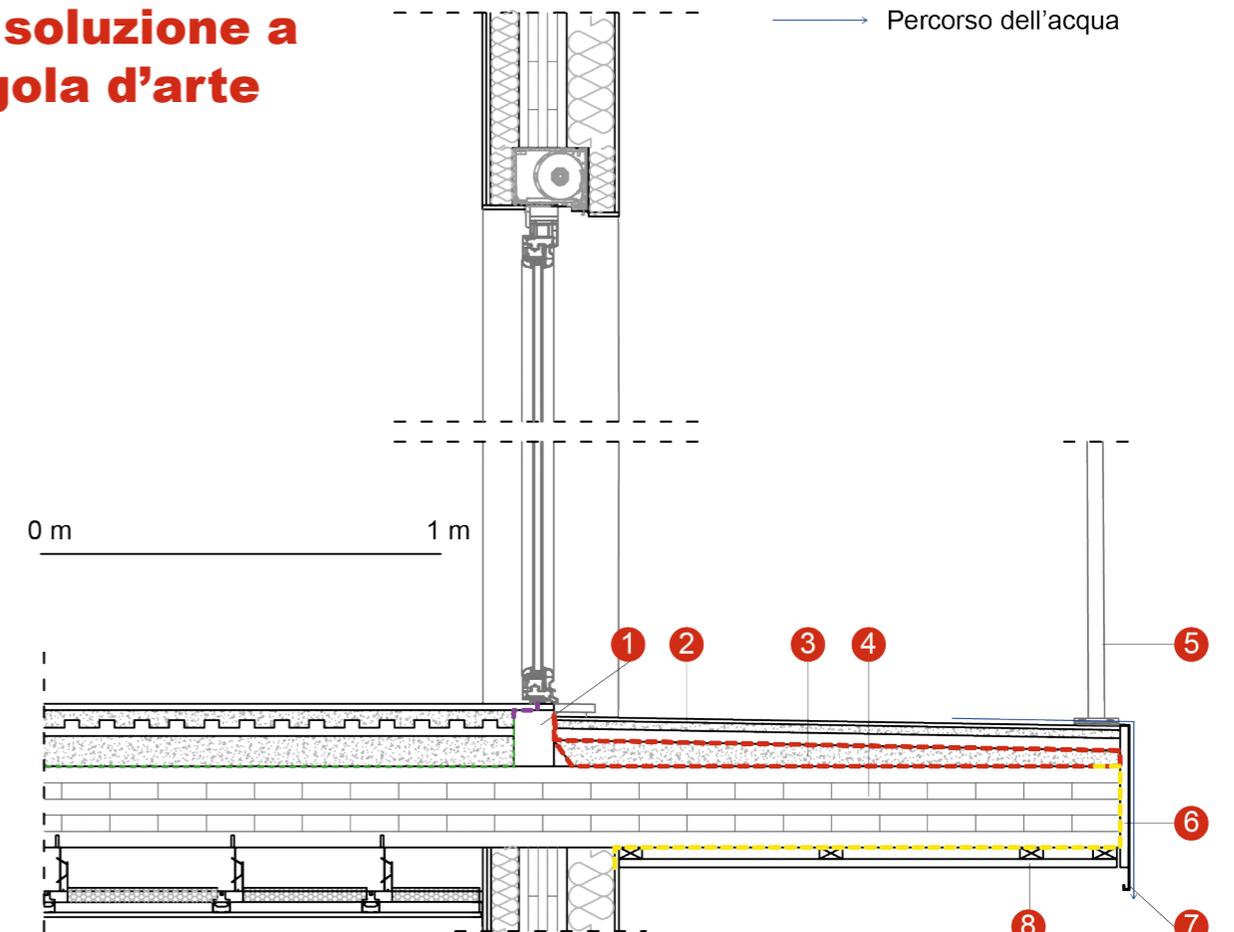
Lo stato di fatto



LEGENDA

- ① Chiusura di mattoni
- ② Pavimentazione in pietra
- ③ Massetto di pendenza
- ④ Mattoni forati (10 fori 25x25x8 cm)
- ⑤ Pannello in X-Lam 5 strati (si ipotizza uno spessore di 20 cm)
- ⑥ Parapetto del balcone fissato al pannello in X-Lam
- ⑦ Intonaco (1/2 cm)
- ⑧ Intonaco o lastra di fibrongesso tinteggiata
- Guaina impermeabilizzante
- Guaina di protezione

La soluzione a regola d'arte



LEGENDA

- ① Trave di legno lamellare per l'appoggio dei serramenti
- ② Pavimentazione e relativo getto
- ③ Massetto per pendenza (2%)
- ④ Pannello in X-Lam 5 strati (si ipotizza uno spessore di 20 cm)
- ⑤ Parapetto del balcone ancorato tramite bulloni, utilizzo di nastro butilico per sigillare i fori e utilizzo di una guarnizione copripietra
- ⑥ Pannello di chiusura in compensato
- ⑦ Lamiera di protezione con rompigoocia fissata al di sotto della piastra del parapetto
- ⑧ Intercapedine ventilata con pannello di chiusura
- Guaina impermeabilizzante
- Guaina impermeabilizzante traspirante
- Guaina di tenuta all'aria

CASO D



Informazioni progettuali



Localizzazione: L'Aquila (Italia)



Concorso: nel 2009 in seguito all'evento sismico che ha portato alla distruzione di gran parte del centro abitato



Anno di costruzione: terminato alla fine del 2010



Tempistiche di cantiere:

- Inizio cantiere: giugno/luglio 2009
- Fine lavori: fine 2010



Esperienza dell'impresa con il legno: probabile esperienza ma dopo la costruzione degli edifici di emergenza ha fallito



Tipo di intervento: edifici di abitazione temporanei di emergenza



Sistema costruttivo: struttura a telaio in legno massiccio KVH di Abete a "sandwich" tra pannelli in OSB



Numero di piani: tre pian fuori terra, con piano interrato per autorimesse



Pianta: modulare, dimensioni piuttosto ridotte



Fondazione: fondazione in calcestruzzo armato e utilizzo di una piastra performante anti-sismica



Isolamento: fibra di legno

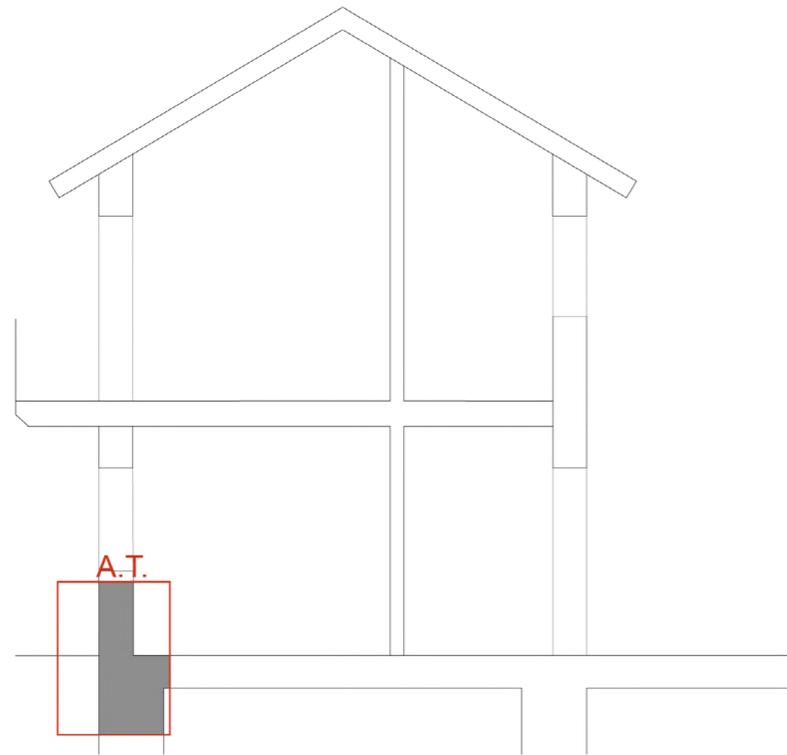
Errore dell'attacco a terra



Deficit del processo:



Problematiche riscontrate:



Linea guida utilizzata per l'analisi:

- Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, Appunti per le costruzioni in legno. *Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola
- Holzforschung Austria, 2015, *Richtlinie Sockelanschluss im Holzhausbau. Als Leitfaden für die Planung und Ausführung*, scaricato da <https://www.ehz-neumarkt.de/files/downloads/Holz-Forschung-Austria-Richtlinie-Sockelanschluss-im-Holzhausbau.pdf>,

A.T.

0. IL PROBLEMA

Marcescenza alla base dell'edificio.

1. PROBABILI CAUSE DEL PROBLEMA

Risalita capillare dell'acqua all'interno della struttura in legno.

2. CONDIZIONI DI PREDISPOSIZIONE

Mancanza di una guaina impermeabilizzante per la protezione della struttura dall'umidità e dall'acqua.

3. CONSEGUENZE DIRETTE

Danneggiamento della struttura portante.



Figura 4.55 Fotografia dei fenomeni di marcescenza presenti nell'attacco a terra dell'edificio. Fonte: www.abruzzoweb.it



Figura 4.56 Fotografia dei danni legati alla marcescenza presente nell'attacco a terra. Fonte: www.ansa.it



Figura 4.57 Fotografia dei danni legati alla marcescenza presente nell'attacco a terra. Fonte: Alberto Orsini



Figura 4.60 Fotografia della marcescenza presente nell'attacco a terra: si può notare che la guaina impermeabilizzante viene fatta risvoltare di pochi centimetri davanti all'intonaco della parete finita. Fonte: www.fanpage.it



Figura 4.58 Fotografia dei danni legati alla marcescenza presente nell'attacco a terra. Fonte: Alberto Orsini



Figura 4.59 Fotografia dei danni legati alla marcescenza presente nell'attacco a terra. Fonte: Alberto Orsini



Figura 4.61 Fotografia dei danni legati alla marcescenza: si può notare come l'attacco a terra sia posizionato a un livello più basso rispetto al livello di calpestio. Fonte: Marco Giancarli

4. GLI ERRORI

- La trave radice su cui appoggia la struttura risulta essere posizionata sotto il piano di calpestio e non è protetta da alcuna guaina impermeabilizzante;
- Da alcune fotografie sembra che sia stata realizzata prima la parete e poi è stata posata la pavimentazione esterna galleggiante che è rialzata di pochi centimetri rispetto a terra. Al di sotto del pavimento galleggiante è stata posta solamente una guaina impermeabilizzante che è stata fatta risvoltare contro l'edificio di alcuni centimetri, necessari a coprire l'altezza totale del pavimento. Questo fenomeno è stato scoperto durante un'ispezione a fine manutentiva.

5. COME AVREBBE DOVUTO ESSERE FATTO

Alcune buone prassi da seguire per la realizzazione di un attacco a terra a regola d'arte sono:

- E' consigliabile un cordolo a base cementizia alto almeno 30 cm;
- E' necessario prevedere la realizzazione di drenaggi, eventuali impermeabilizzazioni e studio del dettaglio volto a realizzare pendenze che assicurino l'allontanamento delle acque meteoriche. Si consiglia di prevedere una pendenza del terreno verso l'esterno di almeno il 2%;
- Secondo la DIN 688000-2 e la ÖNORM B

3802 è consigliabile rispettare una distanza minima di 10 cm tra la soglia di calpestio e il terreno e di 5 cm tra la soglia di calpestio e il relativo strato drenante;

- E' consigliabile che la superficie di appoggio per l'attacco delle strutture in legno non venga mai posta al di sotto del piano di campagna;

- Rifacendosi alla regola delle 4D è bene garantire una prima protezione data da un'adeguata sporgenza del tetto. Nel caso in cui non fosse possibile garantire sporgenze adeguate a protezione della facciata è buona norma prevedere grigliati con una larghezza maggiore di 12 cm;

- E' consigliabile nella progettazione del particolare studiare e prevedere le altezze relative ai risvolti delle membrane in facciata in modo da garantire al legno la possibilità di traspirare;

- E' importante che i diversi "stakeholders" che lavorano alla progettazione e alla realizzazione del particolare lavorino in modo sinergico per la realizzazione di un attacco a terra a regola d'arte. E' infatti fondamentale, in questo caso, la figura del Direttore dei Lavori che deve garantire che vengano presi tutti gli accorgimenti indicati all'interno del progetto esecutivo;

- Secondo la ÖNORM B 2320 le guaine impermeabilizzanti necessarie per contrastare l'umidità di risalita dalla platea di fondazione devono essere realizzate con materiali idonei, quali membrane bituminose, e l'impermeabilizzazione va estesa a tutta la platea di

fondazione;

- E' sconsigliabile posizionare gli elementi della struttura in legno direttamente a contatto con il cordolo in calcestruzzo, la soluzione migliore è quella di interporre una guaina bituminosa contro la salita dell'umidità tra la fondazione e gli elementi in legno;

- Un altro accorgimento è quello di isolare correttamente il nodo per evitare la formazione di un ponte termico tra il legno e il cordolo in calcestruzzo poichè spesso il nodo dell'attacco a terra risulta essere il punto più freddo dell'edificio e, a contatto con l'umidità relativa dell'aria interna, può portare alla formazione di condensa;

- Nelle linee guida dell'Holzforschung Austria viene inoltre consigliata la realizzazione di una zoccolatura arretrata rispetto alla facciata finita per favorire la protezione dell'attacco a terra rispetto alla pioggia di rimbalzo;

- E' necessario che la zona relativa all'attacco a terra sia soggetta a una pulizia, cura e manutenzione programmata. Inoltre è bene prevedere delle ispezioni visive regolari. E' infatti importante, se si hanno tubi di drenaggio, letti di ghiaia, sistemi di filtraggio, grigliati, svolgere attività di pulizia e manutenzione quali, ad esempio, la rimozione della neve o di eventuale fogliame accumulato.

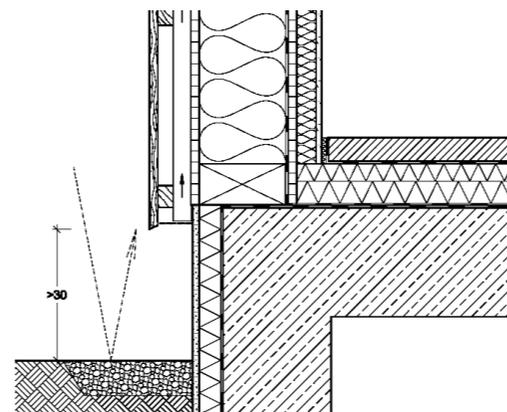


Figura 4.62 Sezione del nodo dell'attacco a terra: distanza da rispettare per evitare l'acqua di rimbalzo. Fonte: Koch C., 2021, Presentazione Seminario Modul I – Konstruktion / Bemessung / Holzschutz/Holzschutz: Fassaden. Dos and don'ts, scaricato da https://www.proholz.at/fileadmin/proholz/media/bauholz/2021/003_Modul1_CKoch.pdf



Figura 4.63 Esempio posa di un grigliato lungo il perimetro esterno di un edificio. Fonte: Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, *Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola, pg.79

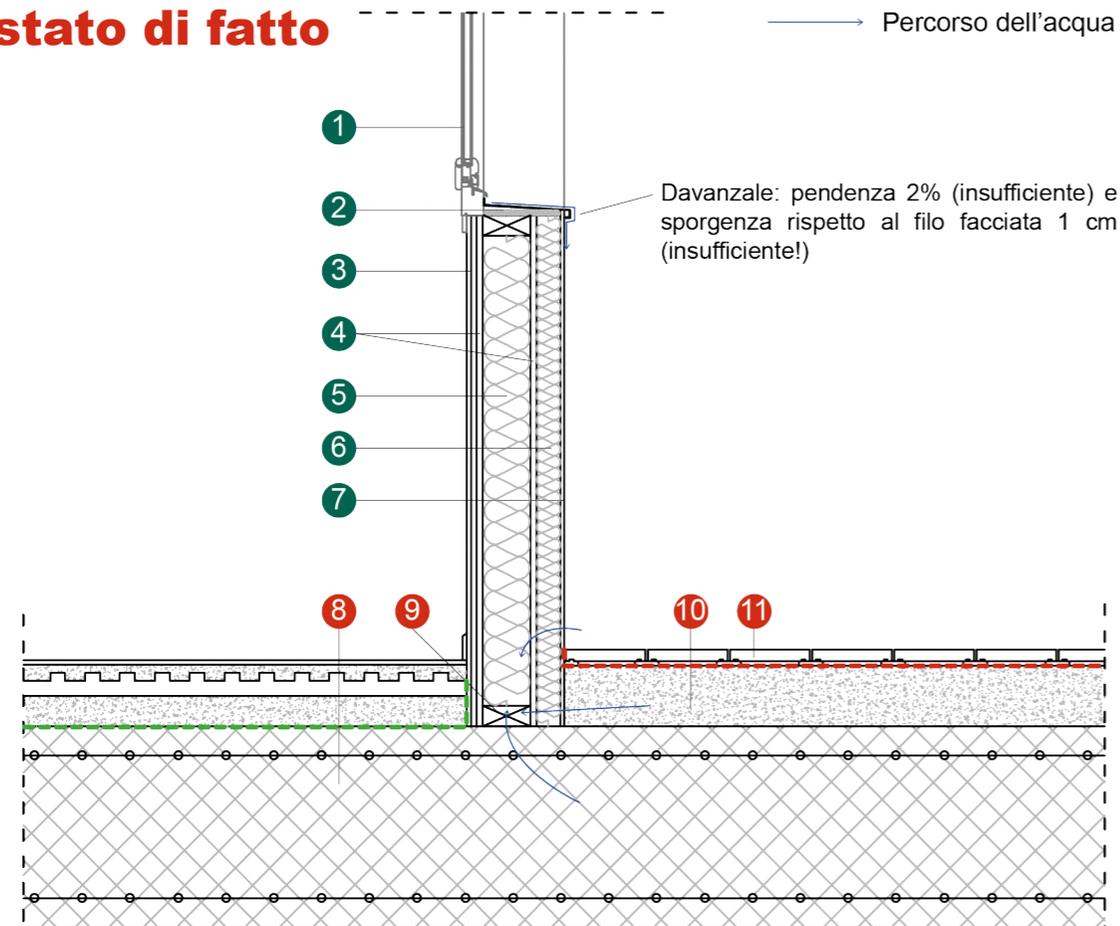


Figura 4.64 Attacco a terra errato poichè la parete in X-Lam è posata direttamente sulla platea senza una guaina di protezione. Fonte: Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, *Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola, pg.81



Figura 4.65 Attacco a terra eseguito correttamente, la guaina bituminosa protegge la parete in legno dalla risalita di umidità. Fonte: Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, *Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola, pg.81

Lo stato di fatto

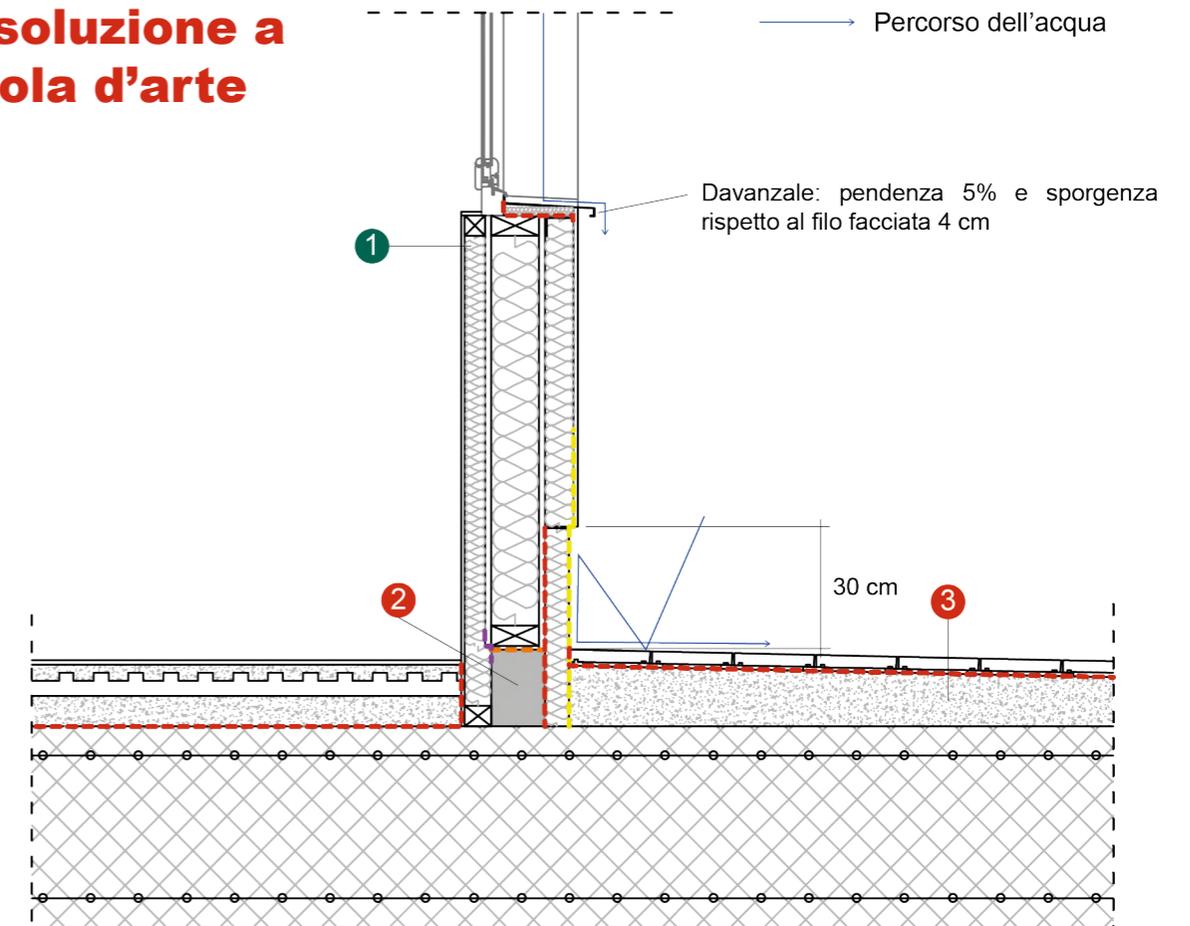


LEGENDA

- | | |
|--|--|
| ① Serramento in legno | ⑩ Massetto di pendenza in conglomerato cementizio (pendenza assente) |
| ② Davanzale in alluminio | ⑪ Pavimento rialzato |
| ③ Doppia lastra in cartongesso (1,2 cm l'una) | --- Guaina di protezione |
| ④ Pannelli di chiusura in OSB (1,5 cm l'uno) | --- Guaina impermeabilizzante |
| ⑤ Isolamento termico in fibra di legno (12 cm) | |
| ⑥ Isolamento a cappotto in polistirene (6 cm) | |
| ⑦ Intonaco minerale con rete e pittura ai silossani (1 cm) | |
| ⑧ Piastra armata superiore gettata in opera (50 cm) | |
| ⑨ Trave radice | |

0 cm 50 cm

La soluzione a regola d'arte



LEGENDA

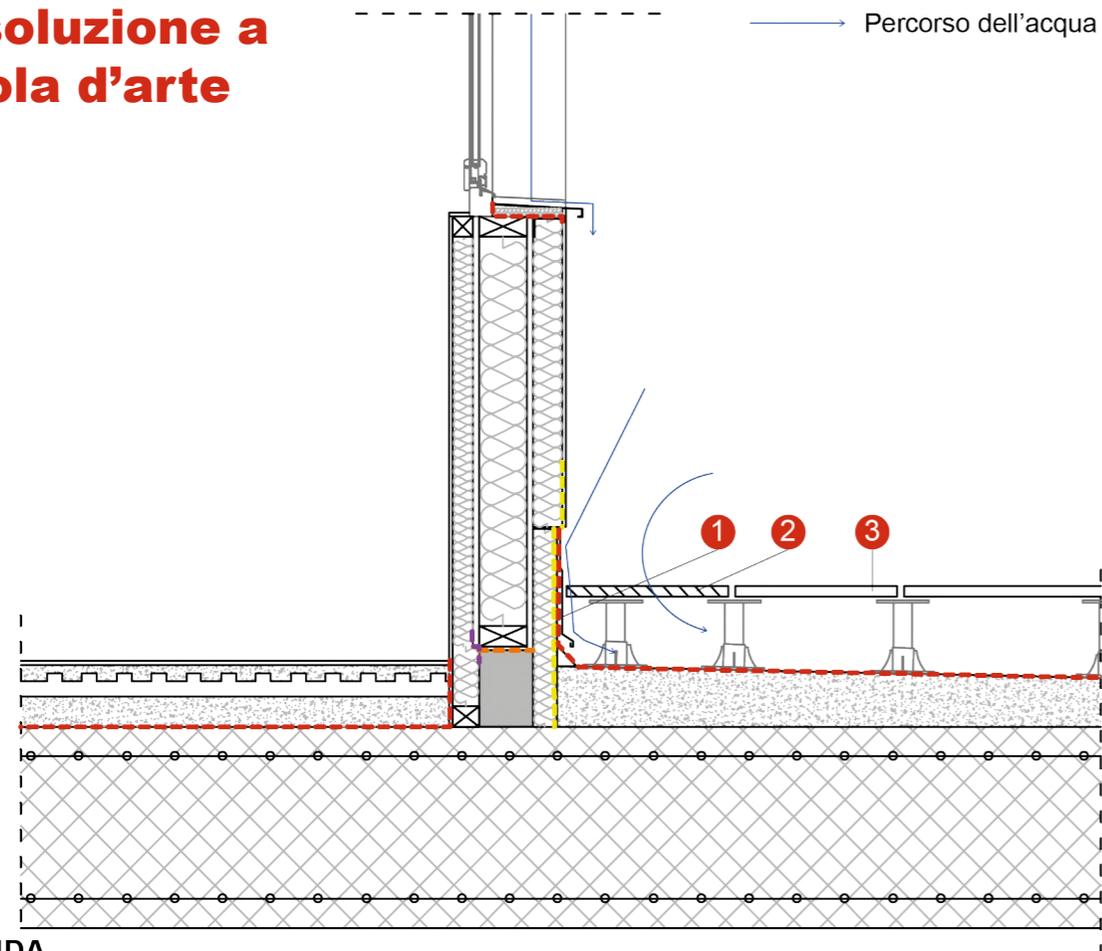
- | |
|---|
| ① Isolante (intercapedine per impianti) |
| ② Cordolo |
| ③ Massetto di pendenza ($\geq 2\%$) |
| --- Guaina impermeabilizzante |
| --- Chiusura ermetica del giunto del componente |
| --- Sigillatura contro l'umidità di risalita |
| --- Guaina di protezione e contro l'umidità di risalita |

Livello di fattibilità dal punto di vista tecnico:
3/4
Costi: 3/4
(dove 1 è il minimo e 4 è il massimo)

Fonte: Holzforschung Austria, 2015, *Richtlinie Sockelanschluss im Holzhausbau. Als Leitfaden für die Planung und Ausführung*, scaricato da www.dataholz.eu

0 cm 50 cm

La soluzione a regola d'arte



LEGENDA

- ① Lamiera di protezione
- ② Griglia
- ③ Pavimento flottante
- Guaina impermeabilizzante
- Chiusura ermetica del giunto del componente
- Sigillatura contro l'umidità di risalita
- Guaina di protezione e contro l'umidità di risalita

Livello di fattibilità dal punto di vista tecnico:

3/4

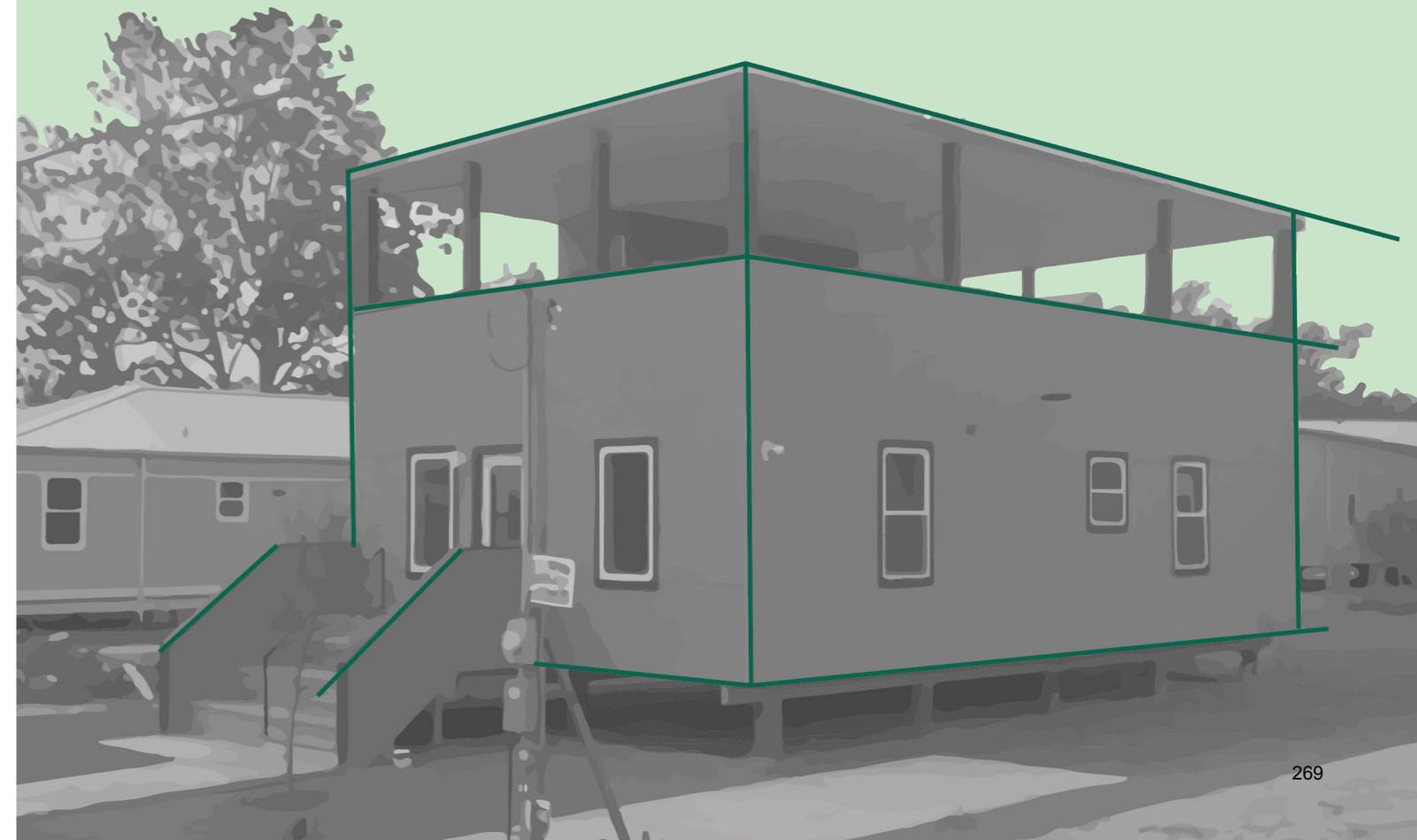
Costi: 4/4

(dove 1 è il minimo e 4 è il massimo)

Fonte: Holzforschung Austria, 2015, *Richtlinie Sockelanschluss im Holzhausbau. Als Leitfaden für die Planung und Ausführung*, scaricato da www.dataholz.eu

0 cm 50 cm

CASO E



Informazioni progettuali



Localizzazione: New Orleans (USA)



Concorso: bandito da un'associazione in seguito a un evento naturale catastrofico per la progettazione e realizzazione di edifici residenziali



Esperienza dei progettisti con il legno: il progettista è un architetto inglese e sembra aver realizzato solo il progetto compositivo, mentre il progetto esecutivo e la Direzione Lavori è stata eseguita da un architetto del luogo con esperienza con il legno



Esperienza Fornitori del legno utilizzato per esterni: materiale comprovato per l'ottenimento di una certificazione LEED, l'azienda ha fallito in seguito alle numerose cause intentate dai proprietari per via della marcescenza dei materiali da loro forniti



Anno di costruzione: 2008



Tempistiche di cantiere:

- Inizio cantiere: 2008
- Demolizione del primo edificio: 2018

- Demolizione dell'edificio oggetto della scheda: 2020



Tipo di intervento: edifici privati residenziali in seguito a un evento catastrofico



Sistema costruttivo: Platform frame



Numeri di piani: due piani fuori terra



Pianta: dimensioni ridotte

Certificazione: LEED Platinum

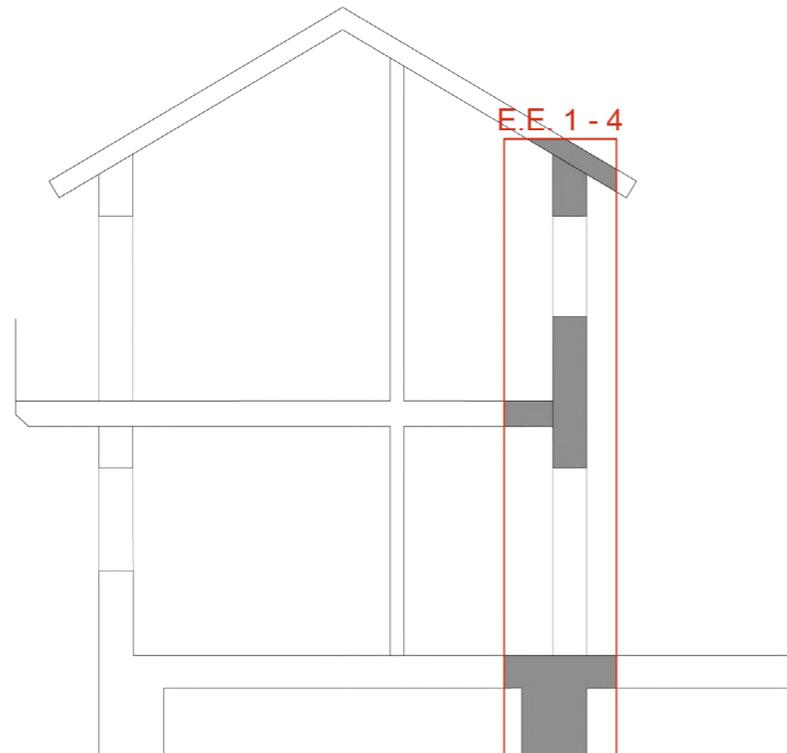
Errore della concezione stratigrafica



Deficit del processo:



Problematiche riscontrate:



Linea guida utilizzata per l'analisi:

-Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, Appunti per le costruzioni in legno. *Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola

- Holzforschung Austria, 2015, *Richtlinie Sockelanschluss im Holzhausbau. Als Leitfaden für die Planung und Ausführung*, scaricato da <https://www.ehz-neumarkt.de/files/downloads/Holz-Forschung-Austria-Richtlinie-Sockelanschluss-im-Holzhausbau.pdf>,

E.E. 1 - 4

0. IL PROBLEMA

Marcescenza diffusa e conseguenti problemi strutturali.

1. PROBABILI CAUSE DEL PROBLEMA

Mancanza di attenzione per la progettazione della durabilità.

2. CONDIZIONI DI PREDISPOSIZIONE

Errata progettazione della stratigrafia, mancanza dell'utilizzo di accortezze necessarie per preservare la struttura in legno dall'acqua piovana e per l'eventuale allontanamento delle acque meteoriche.

3. CONSEGUENZE DIRETTE

Parziale crollo, marcescenza della struttura e conseguente demolizione.

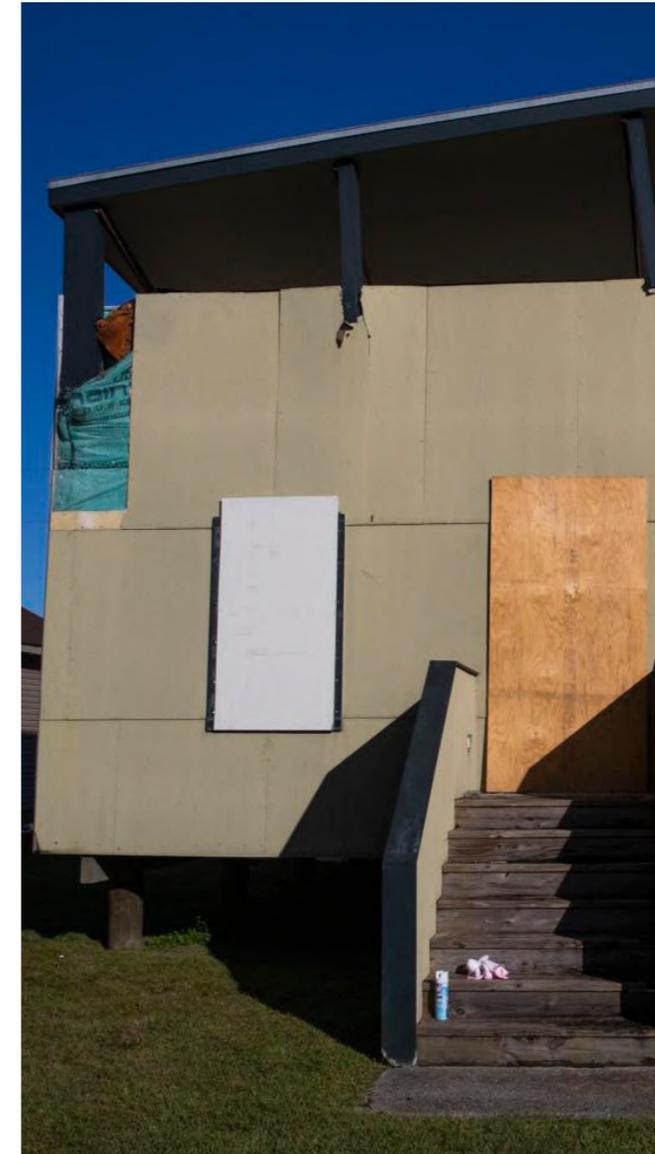


Figura 4.66 Fotografia dell'edificio prima della demolizione.
Fonte: www.nola.com



Figura 4.67 Fotografia dell'edificio aprile 2011: si nota la tubazione di scarico del terrazzo che è sporgente rispetto al filo dell'edificio. Fonte: [Google Maps](https://www.google.com/maps)



Figura 4.68 Fotografia pre-demolizione in cui si può notare che la tubazione di scolo del terrazzo è stata tranciata ed è a filo parete. Fonte: www.nola.com



Figura 4.69 Fotografia dell'edificio in cui si può notare che non è presente una scossalina di protezione delle pareti ma sembra essere stato utilizzato una sorta di telo. Fonte: www.nola.com



Figura 4.70 Fotografia del distacco di un pilastro che reggeva la struttura del tetto. Fonte: www.nola.com Foto di Sophia Germer



Figura 4.71 Fotografia dell'edificio novembre 2018: si notano i pannelli rigonfiati per via dell'acqua di infiltrazione. Fonte: [Google Maps](https://www.google.com/maps)

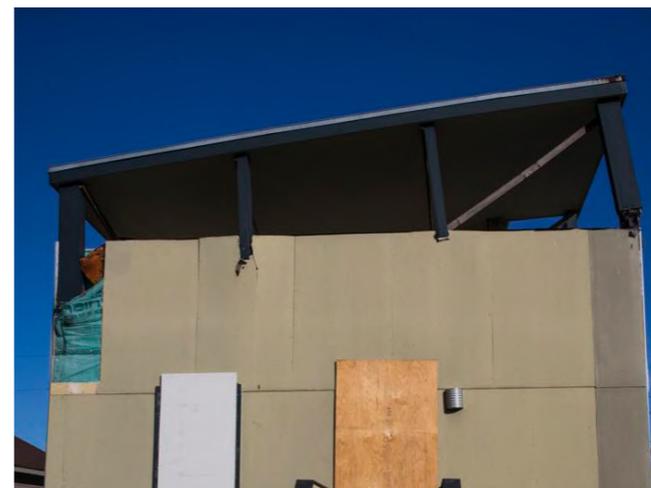


Figura 4.72 Fotografia del collasso della struttura del tetto. Fonte: www.nola.com Foto di Sophia Germer

4. GLI ERRORI

Il sistema costruttivo dell'edificio è a Platform Frame: i pilastri che sorreggono il tetto sono continui fino alla base. Questi pilastri sono stati rivestiti da un rivestimento in legno e protetti alla base della parete da una guaina bituminosa. Inoltre, come si può notare da alcune fotografie, la parte terminante della parete non è stata protetta da una scossalina in alluminio, ma solamente da una sorta di telo o da una guaina. E' probabile che l'acqua si sia infiltrata attraverso i pilastri e la parte terminale delle pareti non protetta adeguatamente, e che abbia iniziato a ristagnare poichè la stratigrafia non è stata correttamente studiata.

E' stato possibile ricostruire la probabile stratigrafia delle pareti a partire dalle fotografie della demolizione: a chiusura del sistema a Platform Frame sono stati utilizzati dei pannelli in OSB, in seguito è stata posata una guaina impermeabile ma traspirante per garantire, nel caso di infiltrazioni di acqua, la traspirabilità del materiale. L'errore è dovuto al fatto che non sia stato utilizzato un rivestimento che permetta la ventilazione e la traspirazione, ma un rivestimento impermeabile che è stato direttamente inchiodato alla struttura. Come si può notare da alcune fotografie, inoltre, i pannelli di rivestimento hanno iniziato a rigonfiare - e alcuni si sono addirittura staccati - probabilmente per via del rigonfiamento e della marcescenza della struttura in legno retrostante.

Un fattore aggravante è dato dal fatto che il tetto termini a filo facciata e quindi non abbia uno sporto sufficiente per la protezione della struttura (regola delle 4D). Inoltre, un ulteriore fattore che ha

determinato l'infiltrazione dell'acqua all'interno del pacchetto della parete è legato alla questione della ridotta sporgenza delle soglie, praticamente inesistenti, che ha portato l'acqua a scorrere lungo le pareti, macchiandole.

Un altro fattore che può aver determinato l'infiltrazione dell'acqua all'interno della struttura è il fatto che la tubazione per l'allontanamento delle acque meteoriche del terrazzo coperto sia stata tranciata dopo pochi anni e lasciata a filo facciata: questo ha aumentato l'apporto di acqua di scorrimento sulle pareti.

Tutti questi fattori concomitanti hanno determinato l'infiltrazione dell'acqua all'interno della struttura che, trovandosi in una vera propria "trappola d'acqua" e non riuscendo ad evacuare, ha determinato una grave marcescenza degli elementi in legno. In particolare, i pilastri che sorreggono il tetto, marcendo, hanno iniziato a perdere la propria resistenza meccanica, determinando anche al collasso della copertura.

L'edificio di fronte è stato progettato e realizzato dagli stessi architetti, come si può notare dalla fotografia a fianco, e ha subito un intervento di ristrutturazione dopo meno di dieci anni dalla costruzione. Si ipotizza che abbia avuto gli stessi problemi dell'edificio oggetto di studio.



Figura 4.73 Fotografia dell'edificio di fronte progettato dallo stesso architetto. Fonte: [Google Maps](https://www.google.com/maps)



Figura 4.74 Fotografia della ristrutturazione dell'edificio di fronte progettato dallo stesso architetto. Fonte: www.nola.com
Foto di Sophia Germer

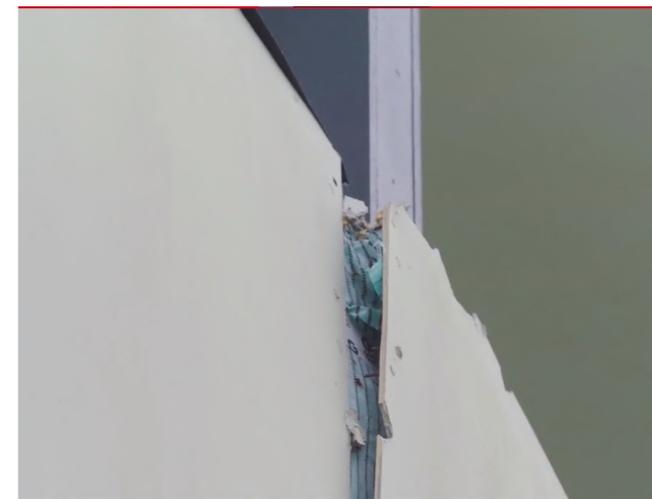


Figura 4.75 Fotografia del distacco dei pannelli di rivestimento. Fonte: [www.NBCnews.com](http://www.nbcnews.com), foto di Williams Widmer



Figura 4.76 Fotografia: soglia assente. Fonte: www.nbcnews.com, foto di Williams Widmer

Scelta di un materiale poco durevole



Deficit del processo:



Problematiche riscontrate:



Linea guida utilizzata per l'analisi:

-Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, Appunti per le costruzioni in legno. *Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola

- Holzforschung Austria, 2015, *Richtlinie Sockelanschluss im Holzhausbau. Als Leitfaden für die Planung und Ausführung*, scaricato da <https://www.ehz-neumarkt.de/files/downloads/Holz-Forschung-Austria-Richtlinie-Sockelanschluss-im-Holzhausbau.pdf>,

E.E. 5



Figura 4.77 Fotografia della scalinata in legno di ingresso dell'edificio nell'agosto 2011. Fonte: [Google Maps](#)



Figura 4.78 Fotografia della scalinata in legno di ingresso dell'edificio nell'agosto 2019. Fonte: [Google Maps](#)

0. IL PROBLEMA

Marcescenza e collasso di intere scalinate e porticati in legno, non solo in questo edificio ma in circa trenta altri edifici realizzati dalla stessa fondazione.

1. PROBABILI CAUSE DEL PROBLEMA

Presenza di acqua, funghi e muffe all'interno delle fessure da ritiro createsi nel materiale.

2. CONDIZIONI DI PREDISPOSIZIONE

Scelta di una specie legnosa con scarsa durabilità naturale e mancanza di manutenzione.

3. CONSEGUENZE DIRETTE

Rotture degli elementi in legno e necessaria sostituzione.

4. GLI ERRORI

LA SCELTA DEL MATERIALE

Il legno utilizzato è stato prodotto da un'azienda Americana ed è stato utilizzato poiché certificato LEED e garantito per 40 anni.

Il materiale è Pino giallo meridionale, specie legnosa particolarmente durevole nel tempo, coltivata nelle regioni meridionali degli Stati Uniti. Il materiale ha subito un trattamento innovativo in cui si lega il silicato di sodio alle fibre di legno con il fine di creare un legame permanente e quindi di garantire delle caratteristiche di maggior resistenza e



Figura 4.79 Fotografia dei problemi riscontrati dopo pochi anni dalla costruzione di uno degli edifici costruiti dalla fondazione. Fonte: www.nypost.com

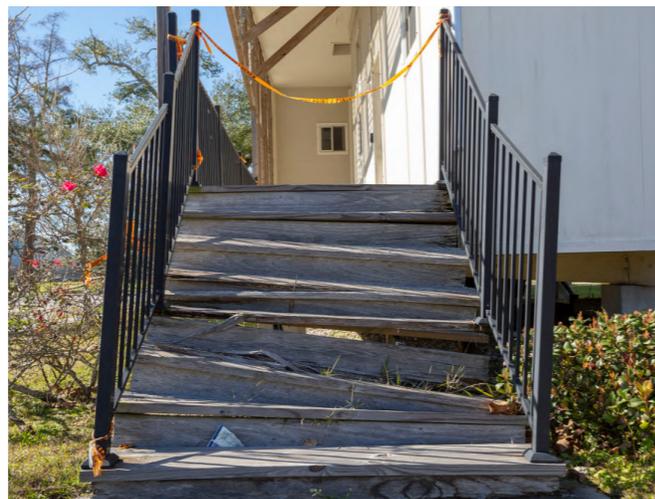


Figura 4.80 Fotografia dei problemi riscontrati dopo pochi anni dalla costruzione di uno degli edifici costruiti dalla fondazione. Fonte: www.nypost.com da MEGA casa di Mary Picout

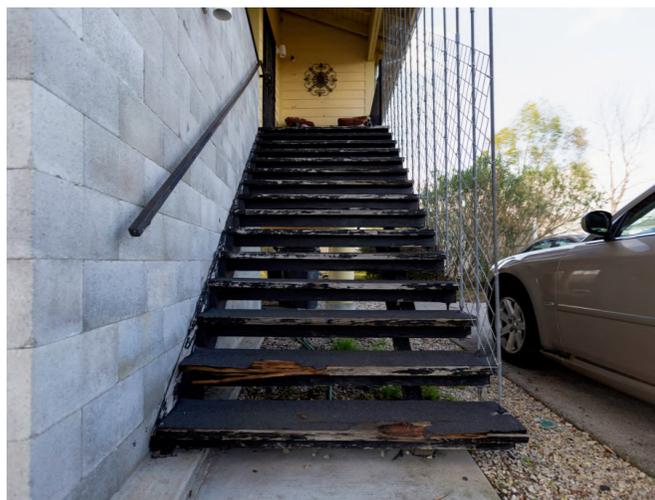


Figura 4.81 Scalinata costruita dalla fondazione: presenza di una guaina bitumisora sugli scalini. La scala è poi stata ricostruita. Fonte: www.nypost.com

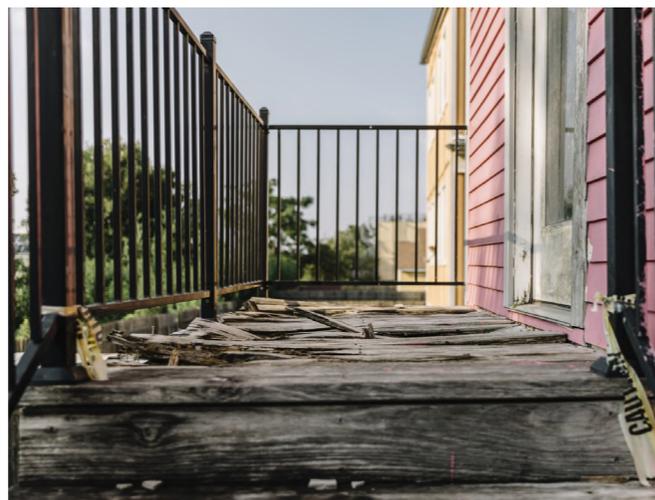


Figura 4.82 Fotografia dei problemi riscontrati dopo pochi anni dalla costruzione di uno degli edifici costruiti dalla fondazione. Fonte: www.nbcnews.com foto di Williams Widmer

stabilità dimensionale al legno. Questo sistema garantisce al materiale una minor sensibilità nei confronti dei cambiamenti igrometrici, oltre a renderlo più resistente contro un eventuale esposizione alla fiamma. Il problema di questo materiale è che si forma una barriera superficiale impermeabile non porosa, quindi, nel caso in cui l'umidità riuscisse a infiltrarsi all'interno dell'elemento in legno, il rischio è che non riesca più a traspirare e che porti a marcescenza.

L'acqua probabilmente riesce a infiltrarsi all'interno del materiale per via della formazione di fessure dovute all'effetto di osmosi che si forma all'interno del vetro resina. Inoltre, la formazione di fessure strette, senza ossigeno e con elevate percentuali di umidità all'interno del legno, costituisce un ambiente molto favorevole alla formazione di funghi. E' inoltre importante sottolineare come questo materiale "innovativo" sia di difficile smaltimento nell'ottica di uno studio del ciclo di vita di un edificio.

Prima dell'utilizzo di materiali innovativi vengono effettuate adeguate prove di durabilità che possono essere:

- Di tipo accelerato (in laboratorio);
- Di invecchiamento naturale (con l'esposizione agli agenti atmosferici per lunghi periodi).

Spesso i prodotti innovativi, se non correttamente testati, rivelano poi problemi imprevisti nel corso del loro impiego.

Errori nella scarsa progettazione della durabilità



Figura 4.83 Progettazione assente in funzione delle 4D: mancanza di deviazione. Fonte: www.nbcnews.com foto di Williams Widmer



Figura 4.84 Progettazione assente in funzione delle 4D: mancanza di drenaggio. Fonte: www.nbcnews.com foto di Williams Widmer



Figura 4.85 Progettazione assente in funzione delle 4D: mancanza di asciugatura. Fonte: www.thisischriswhite.com



Figura 4.86 Progettazione assente in funzione delle 4D: scelta di materiali non durevoli. Fonte: www.nola.com



Figura 4.87 Mancanza di cura e progettazione per il dettaglio. Fonte: www.nbcnews.com foto di Williams Widmer

Un'elevata percentuale dei circa cento edifici realizzati in seguito all'evento catastrofico e finanziati in parte dalla fondazione, ha riscontrato problemi riguardo la durabilità. Due edifici sono già stati demoliti poiché pericolanti.

Non tutti gli edifici sono stati realizzati con la classica tecnica costruttiva tipica del Platform Frame, ma è possibile trarre delle conclusioni in merito alla progettazione della durabilità di questi edifici. Osservando le fotografie dei problemi riscontrati si può notare come vi sia stata una poca cura nella progettazione del dettaglio e in particolare non siano state adottate le buone prassi per garantire una buona durabilità. E' possibile analizzare in modo critico gli edifici in funzione della regola delle 4D per la protezione della struttura dagli agenti atmosferici.

CASO F



Informazioni progettuali



Localizzazione: Trento (Italia)



Tempistiche:

- Costruito nel 2008
- Interventi di risanamento dell'edificio: 2017



Tipo di intervento: Condominio residenziale



Sistema costruttivo: X-Lam + pilastri in legno.



Numeri di piani: più di un piano fuori terra



Balcone: in X-Lam, struttura a sè composta da un pannello in X-Lam collegato alla struttura dell'edificio tramite delle piastre in acciaio

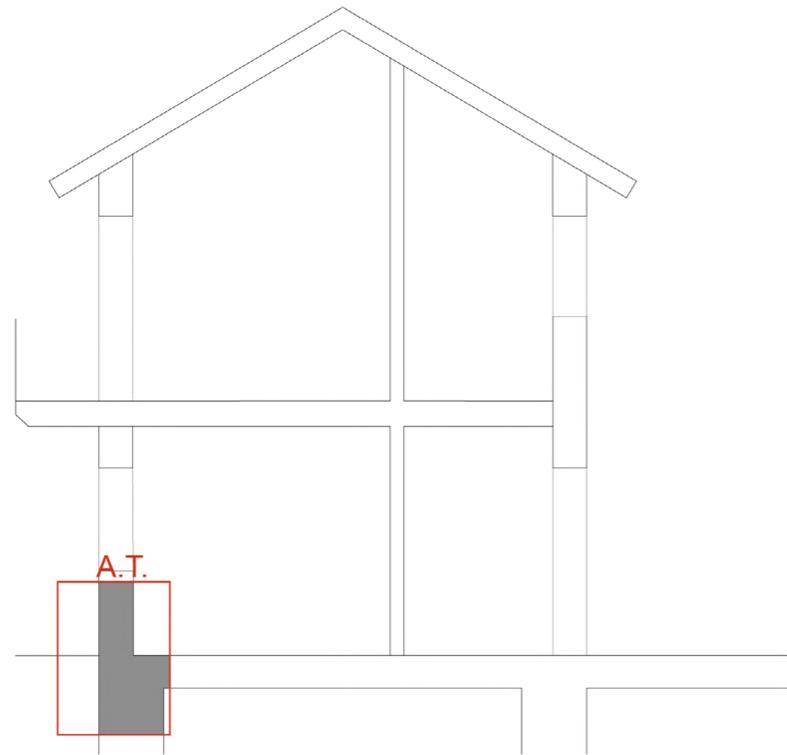
Errore dell'attacco a terra



Deficit del processo:



Problematiche riscontrate:



Linea guida utilizzata per l'analisi:

- Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, Appunti per le costruzioni in legno. *Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola
- Holzforschung Austria, 2015, *Richtlinie Sockelanschluss im Holzhausbau. Als Leitfaden für die Planung und Ausführung*, scaricato da <https://www.ehz-neumarkt.de/files/downloads/Holz-Forschung-Austria-Richtlinie-Sockelanschluss-im-Holzhausbau.pdf>,

A.T.

0. IL PROBLEMA

Marcescenza alla base dell'edificio.

1. PROBABILI CAUSE DEL PROBLEMA

Risalita capillare dell'acqua all'interno della struttura in legno.

2. CONDIZIONI DI PREDISPOSIZIONE

Errata progettazione del nodo.

3. CONSEGUENZE DIRETTE

Danneggiamento della struttura portante.

4. GLI ERRORI

- Le pareti in X-Lam non sono posizionate al di sopra di nessun cordolo o trave radice, risultano essere posizionate direttamente sulle fondazioni senza l'ausilio di nessuna guaina di protezione;
- L'attacco a terra risulta essere posizionato al di sotto del piano di campagna;
- Probabilmente all'interno dei garage, al piano terra, lungo il perimetro della pavimentazione sono state inserite delle griglie per il drenaggio dell'acqua, a diretto contatto con la parete, senza che siano state prese delle precauzioni;
- Probabilmente a chiusura del pannello in X-Lam è stato posizionato un pannello di rivestimento bianco, potrebbe essere carton-



Figura 4.88 Fotografia dei fenomeni di marcescenza presenti nell'attacco a terra dell'edificio. Fonte: anonima



Figura 4.89 Attacco a terra: si può notare la mancanza di un cordolo, di una guaina di protezione, la possibile presenza di una griglia e l'assenza delle connessioni. Fonte: anonima



Figura 4.90 Attacco a terra: si può notare la mancanza di un cordolo, di una guaina di protezione, la possibile presenza di una griglia e l'assenza delle connessioni. Fonte: anonima



Figura 4.91 Attacco a terra: la marcescenza è in uno stato avanzato. Fonte: anonima



Figura 4.92 Attacco a terra: si può notare come i pilastri in legno siano posati direttamente a terra e si trovino al di sotto del piano di calpestio senza protezioni (guaine, bicchiere..). Fonte: anonima

gesso, inchiodato alla parete (non è visibile alcuna sotto-struttura) che non ha permesso all'acqua di risalita di evaporare;

- Inoltre, l'errore più grave è di tipo strutturale: non sono state utilizzate le staffe di ancoraggio della struttura a terra.

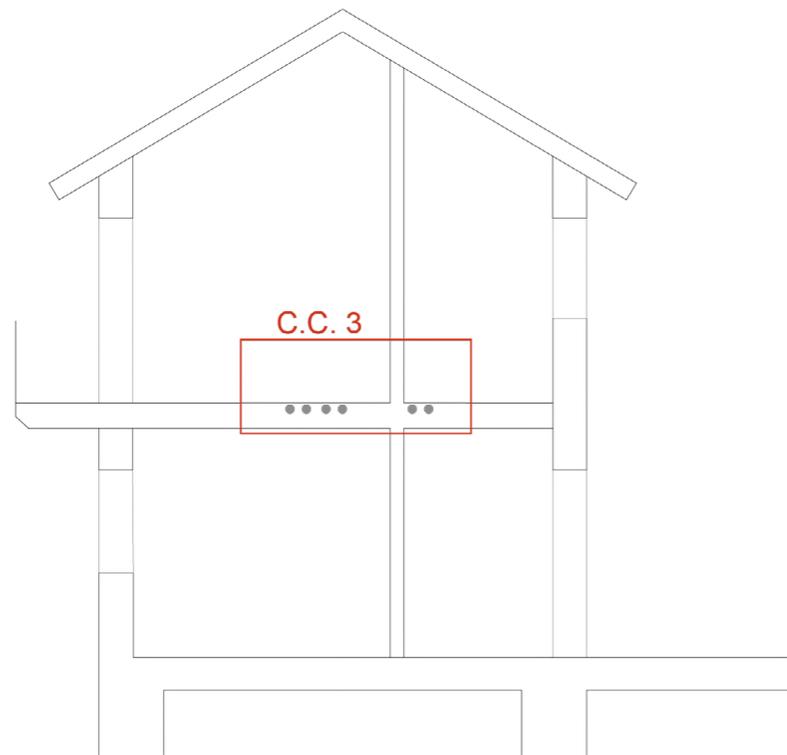
Scorretta posa delle tubazioni di allontanamento delle acque meteoriche all'interno della struttura?

C.C. 3

Deficit del processo:



Problematiche riscontrate:



Linea guida utilizzata per l'analisi:

-Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, Appunti per le costruzioni in legno. *Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola

- Holzforschung Austria, 2015, *Richtlinie Sockelanschluss im Holzhausbau. Als Leitfaden für die Planung und Ausführung*, scaricato da <https://www.ehz-neumarkt.de/files/downloads/Holz-Forschung-Austria-Richtlinie-Sockelanschluss-im-Holzhausbau.pdf>,

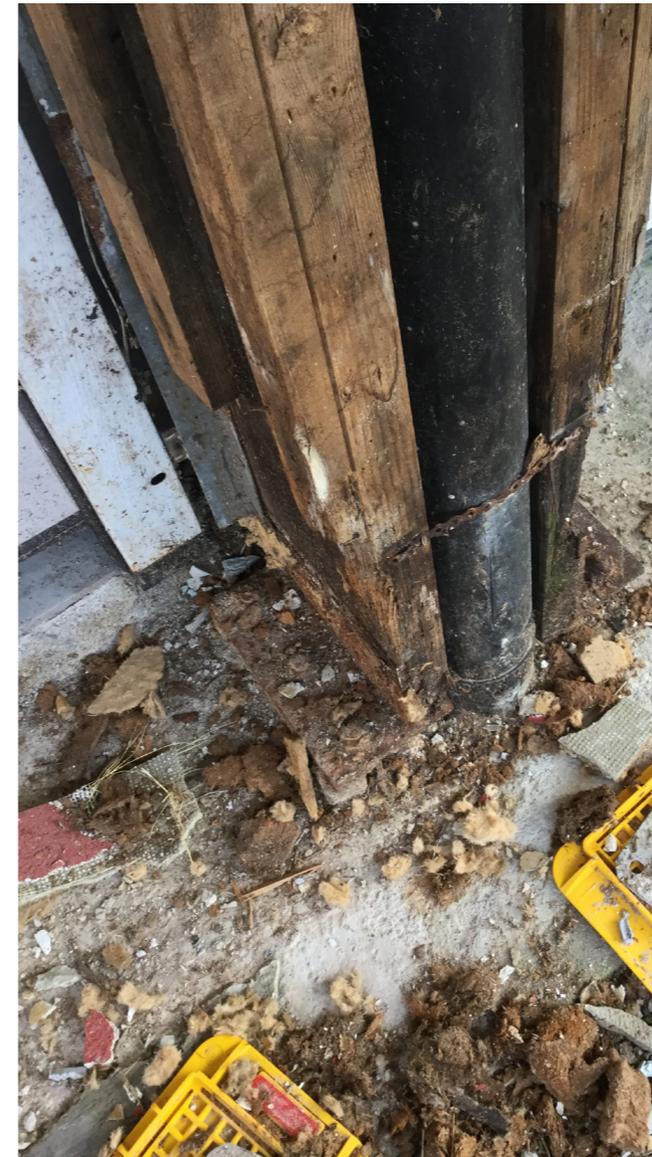


Figura 4.93 Fotografia dei fenomeni di marcescenza presenti nell'attacco a terra dell'edificio. Fonte: anonima

0. IL PROBLEMA

- Riduzione della sezione minima resistenze dell'elemento su cui è applicata la fresatura per permette il passaggio dei pluviali.
- Alcuni pluviali tra il primo piano e il piano terra non sono stati innestati (mancano circa 30/50 cm di tubazione).

1. PROBABILI CAUSE DEL PROBLEMA

Scorretta progettazione e/o inesperienza dei carpentieri e della Direzione dei Lavori.

2. CONDIZIONI DI PREDISPOSIZIONE

Scorretta progettazione e/o inesperienza dei carpentieri e della Direzione dei Lavori.

3. GLI ERRORI

Come si può notare nella foto della pagina corrente, per il passaggio del pluviale, è stato fresato in parte un pilastro in legno. Questo costituisce un errore in quanto riduce la sezione minima resistente del pilastro. Inoltre, nel caso in cui il tubo dovesse danneggiarsi, il pilastro sarebbe a diretto contatto con l'acqua. Nelle pareti, invece, i pluviali sono nascosti all'interno dell'isolante. Questo probabilmente ha determinato la dimenticanza di 50 cm terminali del pluviale. Senza la tubazione terminale del pluviale, l'acqua meteorica si è propagata all'interno dell'isolante e della parete in X-Lam, determinando la marcescenza.

Per il fissaggio degli impianti elettrici, inoltre, pre-



Figura 4.94 Parete in X-Lam fresata per il passaggio degli impianti. Fonte: anonima



Figura 4.95 Parete in X-Lam fresata per il passaggio degli impianti e utilizzo di schiume per il fissaggio dei tubi. Fonte: anonima



Figura 4.96 Pilastro in legno fresato per il passaggio di un pluviale, riduzione della sezione resistente. Fonte: anonima



Figura 4.97 Elevato grado di corrosione della piastra a T. Fonte: anonima

valentemente non sono stati utilizzati dei sistemi di fissaggio a secco quali collari, staffe... ma probabilmente delle schiume poliuretatiche. L'utilizzo delle schiume è sconsigliato soprattutto perchè in caso di incendio non resistono a temperature superiori a 750°C.

Errore di realizzazione del nodo del balcone



Deficit del processo:



Problematiche riscontrate:



Linea guida utilizzata per l'analisi:

-Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, Appunti per le costruzioni in legno. *Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola

E.E. 3

0. IL PROBLEMA

Marcescenza del pannello in X-Lam del balcone.

1. PROBABILI CAUSE DEL PROBLEMA

Infiltrazione di acqua nella testata del pannello in X-Lam.

2. CONDIZIONI DI PREDISPOSIZIONE

Il balcone non è stato protetto da alcuna guaina e la pendenza risulta essere verso l'interno.

3. GLI ERRORI

I balconi non protetti da alcuna guaina e con una pendenza errata hanno determinato l'infiltrazione dell'acqua all'interno dei pannelli del balcone in X-Lam, e successivamente si è propagata anche all'interno delle pareti. Un fattore aggravante, inoltre, deriva dalla stratigrafia della parete: il cappotto è stato realizzato "in doppia densità" per risparmiare ed è composto da una fibra di legno "morbida" posata sul pannello in X-Lam, mentre il secondo strato è composto da una fibra di legno più adeguata per l'utilizzo in un cappotto esterno, e quindi più resistente alle infiltrazioni. In assenza di guaine e della contro-pendenza, l'acqua si è infiltrata nel secondo strato di isolante in fibra di legno "morbido" e si è propagata nelle pareti, portandone alla marcescenza. Il degrado ha determinato un parziale cedimento dei balconi e ha richiesto un intervento di manutenzione straordinaria immediata.

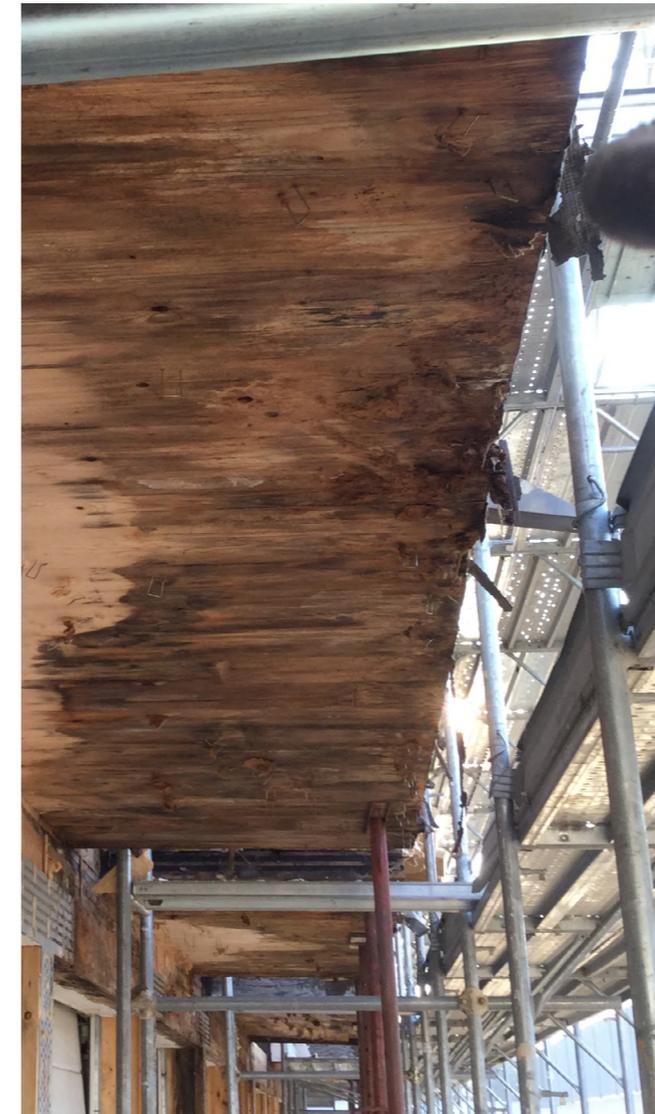


Figura 4.98 Fotografia del degrado del balcone determinato dall'infiltrazione di acqua all'interno del pannello in X-Lam. Fonte: *anonima*



Figura 4.100 Marcescenza del pannello in X-Lam del balcone
Fonte: anonima



Figura 4.101 Si può notare la piastra di fissaggio del pannello in X-Lam del balcone
Fonte: anonima

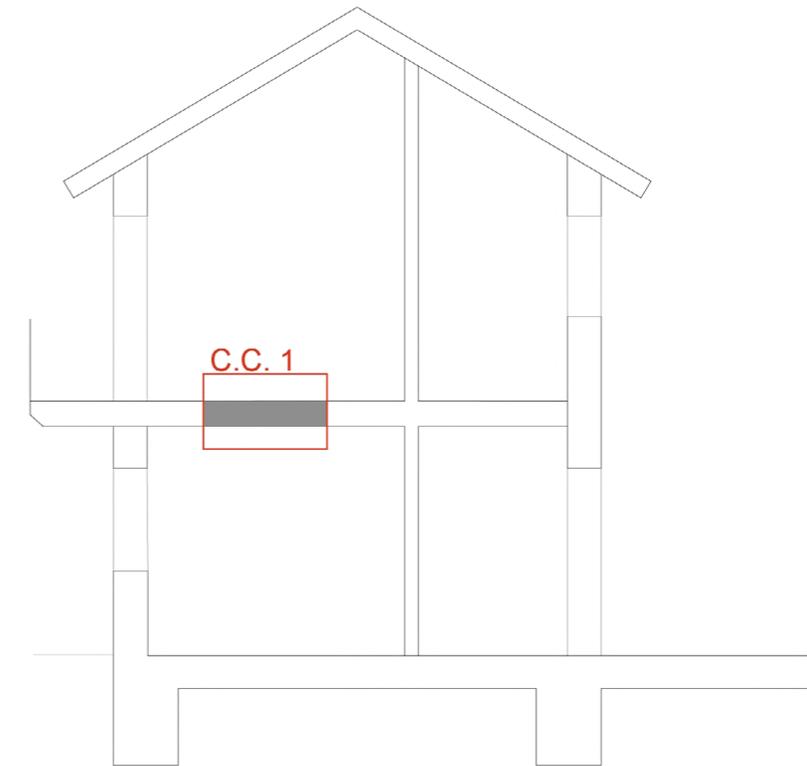
Difetto di posa delle pilette della doccia



Deficit del processo:



Problematiche riscontrate:



Linea guida utilizzata per l'analisi:

-Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, Appunti per le costruzioni in legno. *Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola



Figura 4.102 Pannello del solaio impregnato di acqua in seguito allo sversamento di 190 l di acqua . Fonte: *anonima*

0. IL PROBLEMA

Pannelli dei solai impregnati di acqua.

1. PROBABILI CAUSE DEL PROBLEMA

Sversamento di acqua in due bagni di un appartamento.

2. CONDIZIONI DI PREDISPOSIZIONE

Difetto di posa delle pilette della doccia in due bagni.

3. CONSEGUENZE DIRETTE

Il fenomeno ha portato alla necessità di un intervento di manutenzione straordinaria e al posizionamento in diversi punti del solaio di sonde per monitorare il livello di umidità della struttura.

4.2.1 Le buone prassi per la corretta posa degli impianti in un edificio in legno

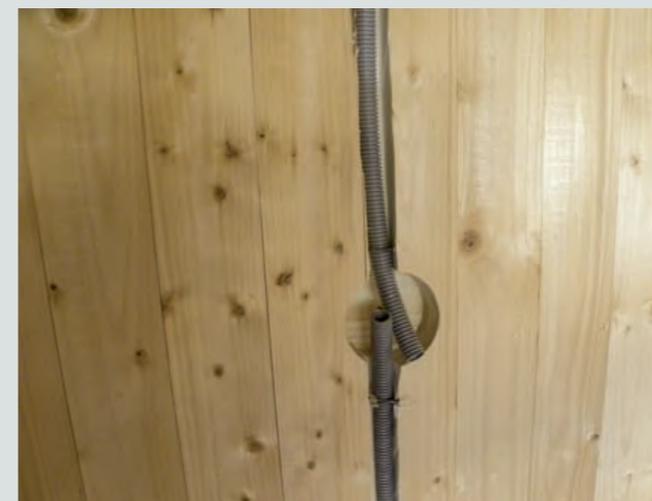


Figura 4.103 Posa in opera del corrugato in seguito alla fessatura del pannello in X-Lam. Fonte: KLH, 2012, Montaggio e installazione, scaricato da www.klh.at

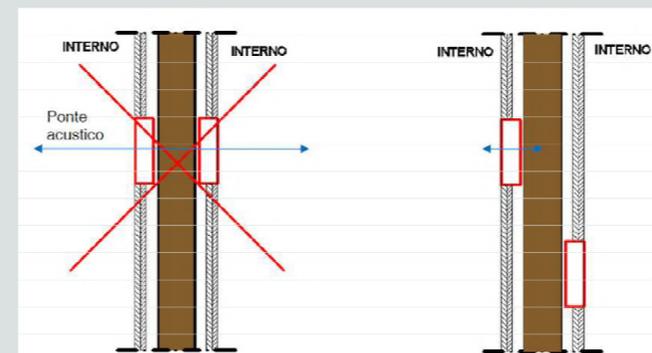


Figura 4.104 Installazione delle scatole elettriche in modo sfalsato. Fonte: "Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, *Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere, documento fornito da Marco Pio Lauriola, p. 138*"

Per quanto riguarda gli **impianti elettrici** è buona norma innanzitutto riferirsi alla **Norma CEI 64-8, parte 7 "Ambienti ed Applicazioni Particolati"**, in cui gli edifici realizzati con una struttura portante in legno sono classificati come **"Ambienti a maggior rischio in caso di incendio"**. E' quindi fondamentale l'applicazione di accorgimenti particolari per la progettazione e la posa degli impianti elettrici poiché durante il funzionamento ordinario, ma soprattutto in caso di guasto, tendono a scaldarsi. E' solitamente **sconsigliato l'utilizzo di intercedini "porta impianti"** a parete e/o a pavimento poiché, coprendo gli impianti, nascondono anche eventuali principi di incendio per molto tempo; inoltre, un fattore aggravante è la presenza di aria all'interno, che può innescare un "effetto camino" in caso di incendio. Per la posa dell'impianto elettrico è bene inoltre seguire alcune buone pratiche:

- Siccome gli impianti elettrici influiscono sul comfort acustico, è preferibile **installare le scatole elettriche in modo sfalsato sulla stessa parete;**
- Per quanto riguarda il **fissaggio del punto luce**, è necessario prevedere il passaggio dei cavi in aderenza al pannello in X-Lam, evitando la foratura del pannello dall'alto;
- Prestare attenzione alla **tenuta all'aria** nelle zone di passaggio dei corrugati. Per garantire la tenuta all'aria dell'involucro, i corrugati non devono essere legati a fascio e fatti passare in un unico foro, ma i fori stessi devono essere distribuiti linearmente, lasciando uno spazio tale da garantire la posa del nastro di tenuta all'aria tra i canali. Per quanto riguarda i corrugati in uscita verso l'esterno, o tra uni-

tà abitative differenti, è necessario procedere alla nastratura ed eventualmente all'uso di tappi idonei o tramite l'utilizzo di silicone per renderli ermetici;

- Le scatole “**porta frutto**” utilizzate devono aver superato la “prova del filo incandescente” (norma IEC 60695);

- Per il **fissaggio** delle scatole “porta frutto” e dei corrugati è errato l'utilizzo di schiuma poliuretana poiché non possiede buona resistenza a elevate temperature. Solitamente è consigliabile l'utilizzo di **staffe, tasselli, collari**, ...

- Nella distribuzione dei corrugati vale la regola - presente anche nelle costruzioni tradizionali - di mantenerne i **percorsi orizzontali e verticali**, evitando le direzioni oblique. Inoltre non si deve mai procedere all'attraversamento dei profili metallici in obliquo, poiché può portare alla corrosione del corrugato ;

- Nel caso di un incrocio con tubazioni idrauliche è buona norma “fascettare” e bloccare tutti i corrugati;

- Evitare di sovraccaricare di corrugati le scatole porta frutto.



Figura 4.105 Scorretta posa dei corrugati. Fonte: Gaia L., 2004, Materiale didattico “Impianti elettrici nelle costruzioni in legno”, scaricato da www.eventoelettromondo.it, pg.53



Figura 4.106 Predisposizione dei corrugati all'interno dei singoli fori di passaggio nel pannello in X-Lam. Fonte: “Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere, documento fornito da Marco Pio Lauriola”, p. 139



Figura 4.107 Passaggio errato degli impianti con scasso del cordolo e assenza di appoggio per l'hold-down. Fonte: “Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere, documento fornito da Marco Pio Lauriola”, pg. 137

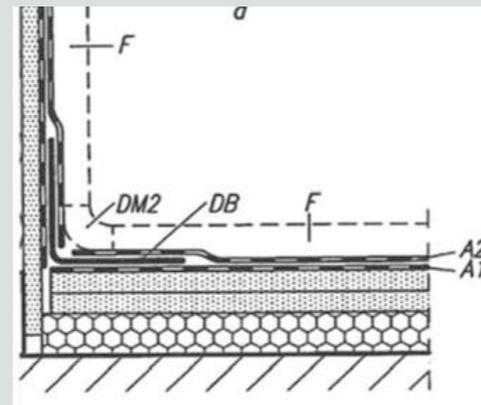


Figura 4.108 Sezione d'angolo e impermeabilizzazione delle zone più vulnerabili dei bagni. Fonte: KLH Massivholz GmbH, 2012, Fisica delle costruzioni, scaricato da www.klh.at, pg. 16

Per quanto riguarda gli **impianti idraulici** è bene seguire alcune buone prassi:

- In merito alla **distribuzione degli impianti**, in generale, è bene evitare il più possibile le sovrapposizioni e gli accavallamenti;

- Nel passaggio degli impianti tra due locali differenti è necessario prevedere il **passaggio dei tubi al di sotto delle porte**, evitando così la fresatura della parete.

- Nei bagni gli accorgimenti da utilizzare sono molteplici:

- Come già accennato è bene evitare gli accavallamenti di tubi. Per questo motivo deve essere utilizzata **una cassetta di distribuzione per ogni bagno**, evitando così i “giunti a T”;

- Per evitare un danneggiamento della struttura, dovuta alla possibile formazione di condensa sulle parti metalliche, è necessario l'inserimento di una **guaina protettiva tra la parete in X-Lam e il tubo**;

- I bagni, essendo luoghi particolarmente umidi, devono essere studiati correttamente dal punto di vista dell'impermeabilizzazione. Nelle zone più inaccessibili quali il piatto doccia, la vasca da bagno, ... e nelle zone soggette a una forte proiezione d'acqua, **è necessario prevedere un'impermeabilizzazione su tutta la superficie e senza discontinuità**.

- Le pareti della doccia devono essere realizzate in cartongesso o in lastre di fibrocemento e devono essere impermeabilizzate. E' importante che l'impermeabilizzazione

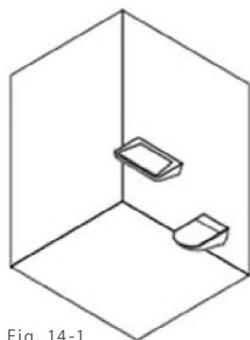


Fig. 14-1
WC ospiti

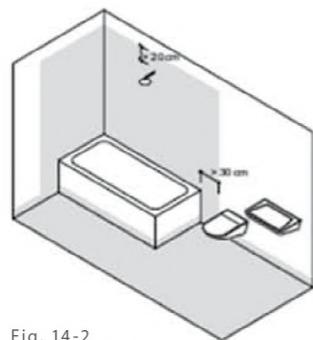


Fig. 14-2
Bagno domestico privato con vasca
come piatto doccia

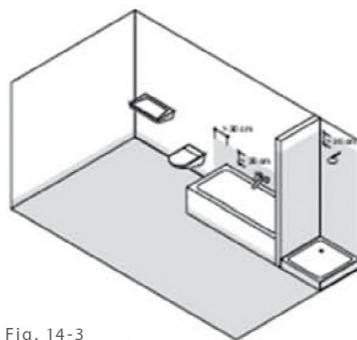


Fig. 14-3
Bagno domestico privato con vasca senza
uso doccia e doccia

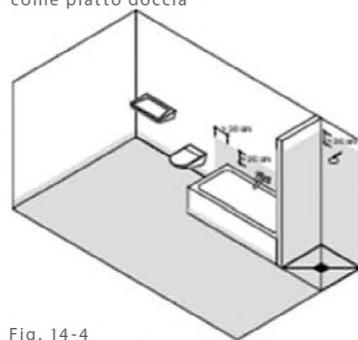


Fig. 14-4
Bagno domestico privato con vasca senza
uso doccia e uso previsto dello scarico a
pavimento nella zona doccia

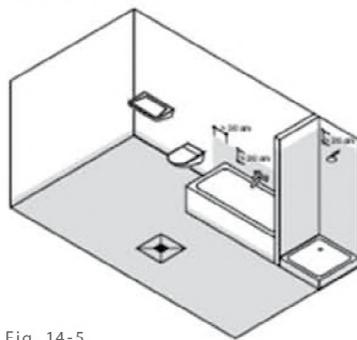


Fig. 14-5
Bagno domestico privato con vasca senza
uso doccia e uso non previsto dello
scarico a pavimento

Sollecitazione minima o assente
dovuta agli spruzzi d'acqua,
classe di sollecitazione 0

Sollecitazione media dovuta agli
spruzzi d'acqua (zona di
proiezione d'acqua), classe di
sollecitazione A01, A02

Figura 4.109 Aree maggiormente esposte agli spruzzi di acqua in bagno. Fonte: KLH Massivholz GmbH, 2012, Fisica delle costruzioni, scaricato da www.klh.at, pg. 17

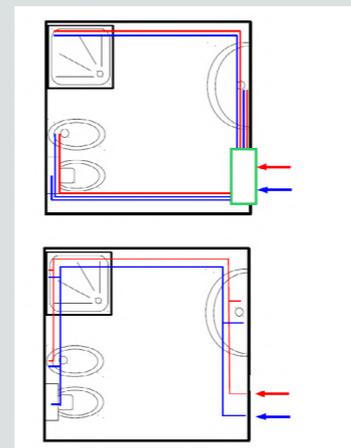


Figura 4.110 Distribuzione impianto idraulico senza accavallamenti e con un connettore (sopra), distribuzione impianto elettrico tradizionale (sotto). Fonte: Fedelegnoarredo, Manuale d'uso e manutenzione, guida fornita dall'Ingegnere Matteo Izzi, ufficio tecnico Assolegno, pg.24



Figura 4.111 Profilo rompigoce della doccia. Fonte: Fedelegnoarredo, Manuale d'uso e manutenzione, guida fornita dall'Ingegnere Matteo Izzi, ufficio tecnico Assolegno, pg.25

abilizzazione venga raccordata al bordo superiore del piatto doccia e che vengano posati dei profili tra il piatto doccia e il muro, per evitare infiltrazioni di acqua. I miscelatori devono essere sigillati mediante l'ausilio di collari di supporto impermeabilizzanti o sigillanti per evitare possibili infiltrazioni di acqua in prossimità del pannello in legno.

- E' inoltre fondamentale che vengano effettuate delle **ispezioni costanti da parte del conduttore** e che siano previste delle **attività manutentive a intervalli regolari, non superiori ai due anni**.

Louis Kahn era solito dire ai suoi studenti: ““ se siete a corto di ispirazione, parlate con i materiali, chiedete loro consiglio.

Chiedete al mattone “Cosa vuoi mattone?”

E il mattone risponderà “Mi piace l’arco”

E tu controbatti “Guarda, mattone, lo vorrei anche io, ma realizzare l’arco costa e posso usare un architrave di cemento! Cosa ne pensi mattone?”

E il mattone risponderà sempre “A me piace l’arco””

LOUIS KAHN

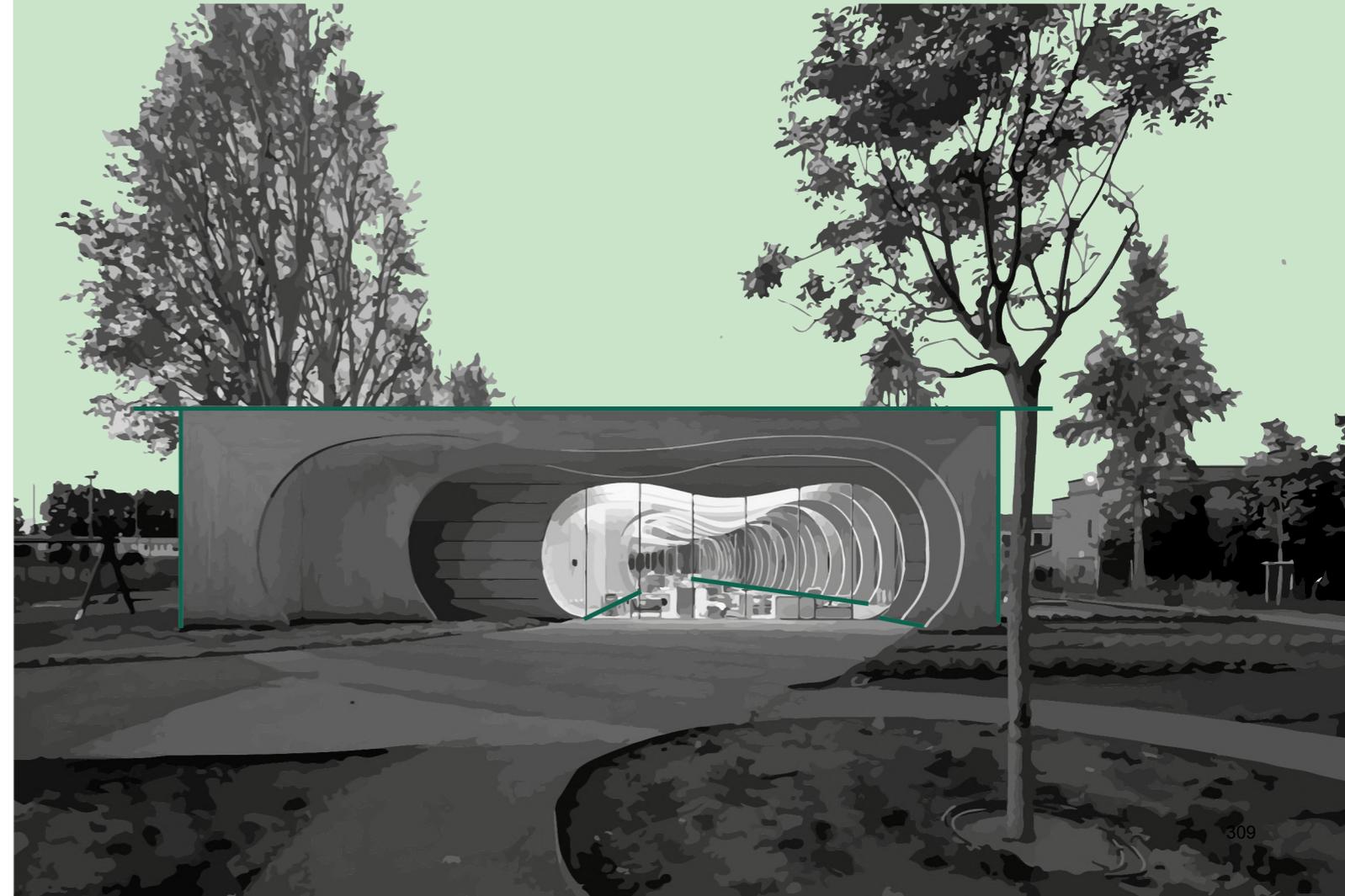
**C A T E G O R I A
ERRORI
RIGUARDANTI LA
SCARSA
C O N O S C E N Z A
NELL’UTILIZZO
DEI SISTEMI
COSTRUTTIVI**

4.2

CASO G

p.309

CASO G



Informazioni progettuali



Localizzazione: Regione Emilia Romagna



Concorso: gara di evidenza pubblica di appalto integrato, progetto vincitore



Anno di costruzione: 2015



Esperienza dei progettisti con il legno: scarsa esperienza



Esperienza dell'azienda che ha ingegnerizzato il progetto: azienda specializzata in edifici con struttura lignea



Tipo di intervento: asilo nido pubblico



Costi: 1650 €/m²



Sistema costruttivo: cinquanta telai portanti sagomati in legno lamellare di Abete, lunghi 18 m e alti 4.8 m, disposti a intervalli regolari di 1.56 m, a questi sono applicati dei pannelli di rivestimento di Abete a tre strati incrociati (22 mm). Le porzioni opache sono state realizzate con pareti a secco e intelaiatura lignea.



Numeri di piani: un piano fuori terra



Pianta: 78 x 18 m



Solaio: in tavolato di legno



Fondazione: platea in calcestruzzo armato

Certificazione: PEFC

Errore della concezione strutturale dei portali



Deficit del processo:



Problematiche riscontrate:



0. IL PROBLEMA

La struttura non è stata pensata in principio per essere realizzata in legno ma è stata adattata in seguito.

Figura 4.112 Fotografia di cantiere: si possono notare i portali ai quali è stata fissata la "scarpa", manca ancora il cuneo nel nodo trave-pilastro. Fonte: www.promolegno.com

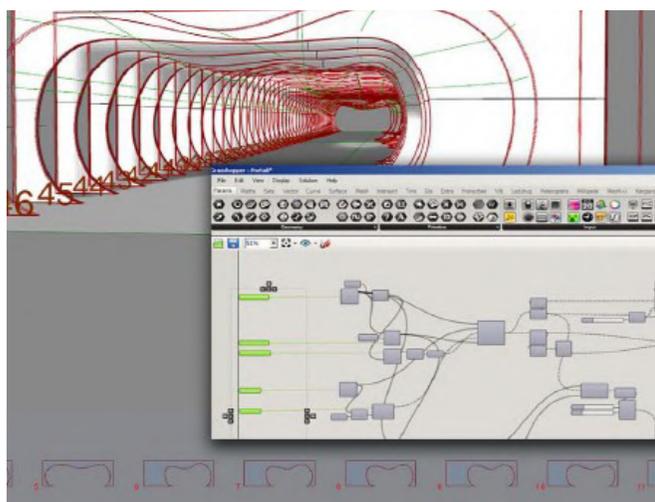


Figura 4.113 Fase di progettazione: utilizzo di un software per la modellazione. Fonte: anonima



Figura 4.114 Fase di realizzazione dei portali. Fonte: anonima



Figura 4.115 Fase di cantiere. Fonte: anonima



Figura 4.116 Fotografia interna dei portali. Fonte: anonima

Estratto di un intervento del 2016 in cui uno dei progettisti e l'azienda responsabile dell'ingegnerizzazione presentano il progetto:

“Azienda responsabile dell'ingegnerizzazione: “Diciamo che dal punto di vista costruttivo è **stato più facile il montaggio che la progettazione**, anche come tempi direi che è abbastanza facile capire che **avere cinquanta portali tutti diversi non è così semplice da gestire**. Perché noi siamo dei prefabbricatori [...].”

Progettista: “In questo caso c'era un problema di sfrido perché, **se partissimo da un rettangolo e dovessimo scavare quelle forme, butteremmo più del 40/50% del legno**. Il lamellare permetteva in questo caso di accompagnare la forma.”

Azienda responsabile dell'ingegnerizzazione: “Dal punto di vista tecnologico un'altra cosa che ci ha dato problemi sono stati gli **spigoli vivi che all'inizio voleva l'architetto**, soprattutto dove le travi intersecano i pilastri: **lui (rif. l'architetto) avrebbe voluto la continuità quasi del materiale**. Solo che dal punto di vista del materiale stesso questo **era quasi impossibile**, perché uno spigolo vivo sul legno costituisce un punto delicato. Maneggiando travi che pesano qualche migliaio di chili, è facile che lo spigolo vivo vada distrutto. Abbiamo anche realizzato un modellino in scala 1:1 e abbiamo capito che forse la soluzione migliore era tagliare il telaio superiore e il pilastro, per poi aggiungere un **cuneo sagomato** alla fine dei lavori, ovvero un pezzo maneggevole, veloce da posare, con forse un risultato tutto sommato accettabile.”

Come si può notare dall'intervento dei progettisti, l'edificio probabilmente è stato progettato senza pensare alla tecnica costruttiva e successivamente è stato ingegnerizzato e adattato a questo materiale.

Nei seguenti punti verranno analizzati i particolari del progetto che avvalorano questa tesi:

- Il fatto di avere cinquanta portali tutti differenti ha determinato un rallentamento del processo di produzione. Questo va in contrasto con i brevi tempi di lavorazione tipici degli edifici in legno;
- Dall'intervento si può notare come il problema di base risulti essere che lo studio di progettazione avesse inizialmente pensato che i portali potessero essere realizzati con un materiale continuo, o eventualmente prevedendo la realizzazione dei portali mediante una lavorazione per asportazione di materiale, a partire da un pannello rettangolare pieno;
- Questi portali sono stati poi progettati da un'azienda produttrice di pannelli di legno ed è stata individuata la miglior soluzione per la produzione e il montaggio in cantiere;
- Dal render, si può notare come gli architetti non avessero previsto il naturale invecchiamento del legno. Alcuni portali, infatti, esposti alle intemperie, hanno subito un “ingrigimento”. Attraverso l'analisi di numerose fotografie dei particolari costruttivi, è possibile affermare che i portali esterni siano protetti solamente da una scossalina di protezione sulla parte estradossale della trave. Non viene però protetta la parte più fragile della trave in legno, ovvero la testata. Per un fatto estetico,



Figura 4.117 Render dell'edificio. Fonte: www.promolegno.com



Figura 4.118 Fotografia dell'edificio: si può notare la scossalina che arriva fino al filo del pilastro del portale. Fonte: Facebook



Figura 4.119 Fotografia dell'edificio: si può notare la scossalina che arriva fino al filo del pilastro del portale ma non protegge la parte frontale della "trave". Fonte: Facebook



Figura 4.120 Fotografia dell'edificio in inverno. Fonte: Google Maps

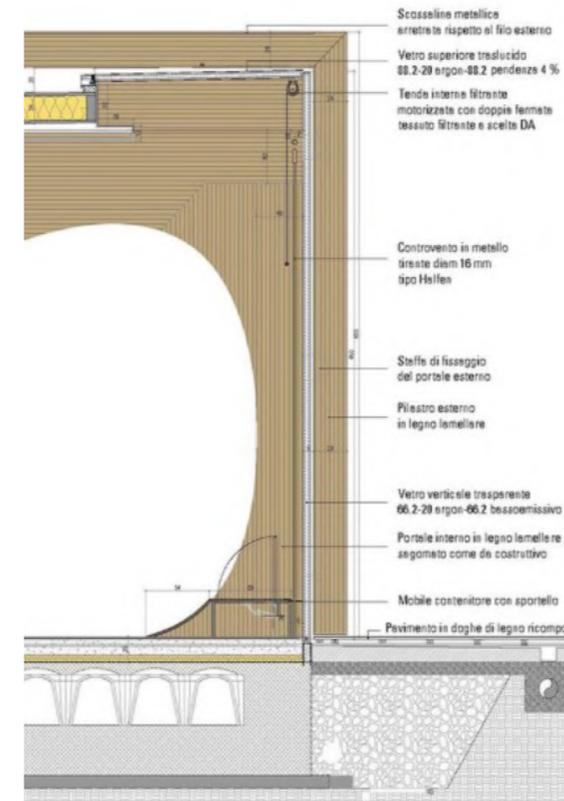


Figura 4.121 Sezione tecnologica. Fonte: <https://www.infobuildingenergia.it/>

inizialmente i progettisti avevano previsto una scossalina arretrata rispetto al filo facciata, annullandone totalmente la sua funzione di protezione. Fortunatamente i portali sono poi stati protetti;

- I portali esterni totalmente esposti alle intemperie risultano essere rialzati di qualche centimetro rispetto al piano di calpestio, ma questo non è sufficiente poichè non sono state considerate le particolarità climatiche della regione. In caso di neve, infatti, i portali esterni rimangono a diretto contatto con la neve depositata per un relativo lasso di tempo;
- Per garantire la continuità del materiale voluta dal progettista, in prossimità dei portali, nella parte esterna dell'edificio sono stati previsti ulteriori portali "coprifilo" autoportanti: nella sezione tecnologica dei progettisti questo "coprifilo" risulta arrivare fino a terra. E' probabile che l'azienda che ha ingegnerizzato il progetto, più esperta nell'uso del legno, abbia apportato delle modifiche: il "coprifilo" nell'edificio finito risulta essere rialzato da terra.

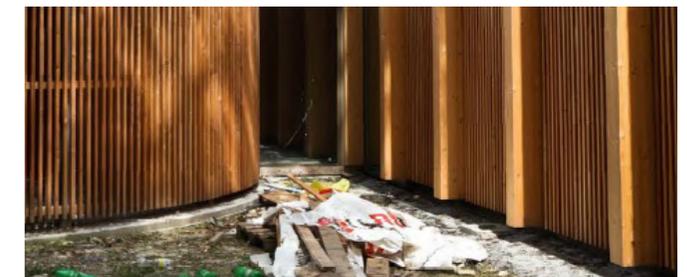


Figura 4.122 Fotografia in cui si nota che il portale "coprifilo" è rialzato di parecchi centimetri rispetto a terra. Fonte: www.promolegno.com

“Un altro errore che commettono i progettisti è lasciare il legno esposto alle intemperie, specialmente per quanto riguarda la finitura delle facciate. Ora vanno di “moda” i rivestimenti in legno: è bello, ma dopo tre anni ha bisogno di manutenzione!

“L’ingrigimento” del legno può essere apprezzato in alcuni contesti: forse va bene nei contesti montani in cui si è abituati al legno ingrigito, non in un contesto urbano! Il problema dei rivestimenti in legno esposti alle intemperie è che “ingrigiscono”. “L’ingrigimento” avviene in maniera differenziata a seconda dell’esposizione e questo non viene apprezzato. Se invece si prevede un “ingrigimento” costante della facciata, l’effetto sarebbe sicuramente più piacevole.”

MARCO PIO LAURIOLA



**C A T E G O R I A
ERRORI
R I G U A R D A N T I
L’U S O D E L L E G N O
C O M E
R I V E S T I M E N T O**

4.3

CASI I/L

p.321

CASI I-L



Problema di progettazione e manutenzione delle facciate in legno



CASO I

L'edificio ha una destinazione residenziale di lusso, è stato progettato da un "Archistar" nel 2013 ed è situato a City Life (Milano, Italia). Come rivestimento è stato utilizzato il Cedro rosso Canadese (*Thuja plicata*), una specie legnosa coltivata principalmente negli Stati Uniti e in Inghilterra. Questo materiale è spesso utilizzato per via delle sue ottime caratteristiche di resistenza alle intemperie e per il naturale colore grigio-argento che assume in seguito all'invecchiamento naturale.

Visionando il render di progetto dell'edificio, si può notare come i progettisti non avessero previsto il naturale invecchiamento del materiale.

Dalle fotografie, inoltre, è possibile notare come al rivestimento in legno sia stata applicata una tinta per renderlo più scuro, e che si sia verificato un dilavamento non omogeneo della tinta, a causa della conformazione dell'edificio, che ha determinato una diversa esposizione delle superfici lignee alla luce e all'acqua. Riguardo questo fenomeno è in corso una grande polemica.

"L'ingrigimento" del legno è un fenomeno naturale che non può essere evitato. Se l'effetto che si voleva ottenere era quello di un legno scuro, probabilmente era necessaria una manutenzione costante, attraverso l'applicazione di vernici apposite.

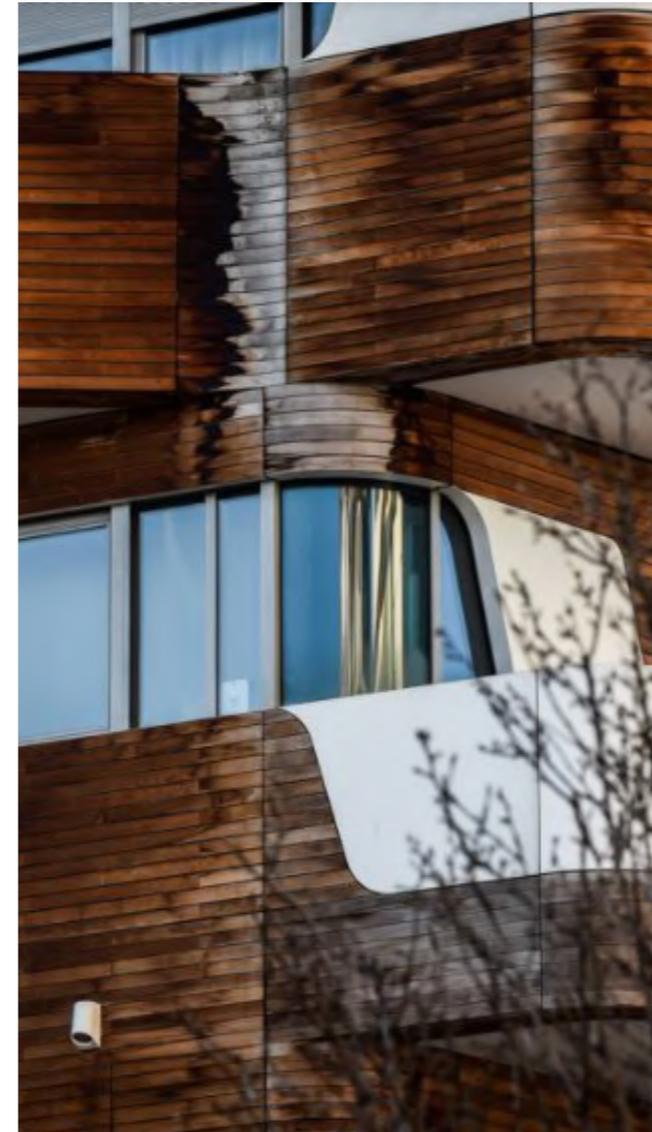


Figura 4.123 Immagine del rivestimento "ingrigito". Fonte: da www.ilcorriereellasera.it, foto di Giacomo Valtolina

E.E. 6



Figura 4.124 Render di progetto dell'edificio. Fonte: www.designboom.com



Figura 4.125 Immagine di un pannello in fase di realizzazione. Fonte: da www.arketipomagazine.it



Figura 4.126 Immagine del rivestimento "ingrigo". Fonte: da www.ilcorriereellasera.it, foto di Giacomo Valtolina

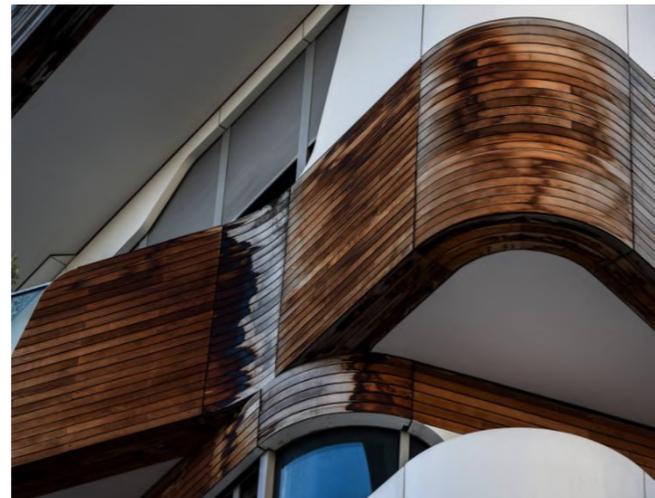


Figura 4.127 Immagine del rivestimento "ingrigo". Fonte: da www.ilcorriereellasera.it, foto di Giacomo Valtolina

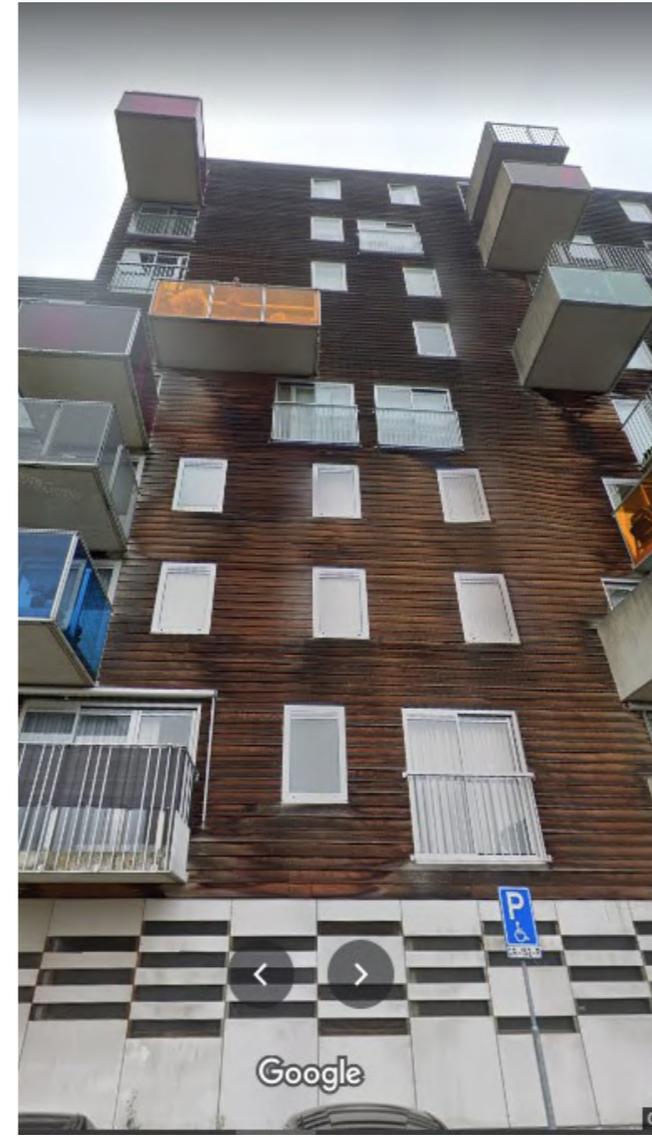


Figura 4.128 Immagine dell'edificio giugno 2019. Fonte: Google Maps

CASO L

L'edificio ha una destinazione housing sociale, è stato progettato da un "Archistar" nel 1997 ed è situato in Olanda. Circa dieci anni dopo la facciata posteriore è stata rifatta e nel 2018 sono state rifatte le restanti tre facciate. Anche in questo caso, è stato utilizzato il Cedro rosso Canadese (Thuja plicata) a cui è stata applicata una vernice scura. E' possibile infatti notare che nei punti di maggior esposizione la vernice è stata maggiormente dilavata, creando un effetto visivo poco piacevole.



Figura 4.129 Immagine dell'edificio giugno 2019. Fonte: Google Maps

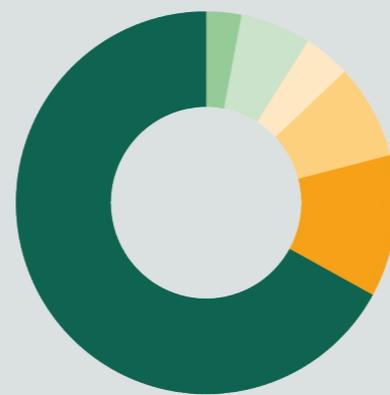
4.4.1 Le buone prassi per la corretta realizzazione delle facciate in legno

Di seguito verranno riportate alcune indicazioni relative alla progettazione delle facciate in legno, derivanti dall'analisi della linea guida redatta da Holzforschung Austria¹ e della linea guida redatta da Lignum². Questi enti hanno redatto i suddetti documenti poiché è stato riscontrato **un problema di conoscenza** da parte dei progettisti in merito alle facciate in legno: gli errori più comuni sono, ad esempio, la mancanza sempre più frequente di elementi di deviazione dell'acqua piovana (la prima delle 4D), la presenza di fughe aperte in facciata, ...

Holzforschung Austria innanzitutto sottolinea cosa sia necessario definire durante la **progettazione** di una facciata in legno:

- La **scelta della specie legnosa** e conseguentemente la conoscenza delle sue proprietà (naturali, fisiche, meccaniche, di durabilità naturale, ...);
- La **scelta del tipo di doghe** e forma del bordo del profilo. Sono sconsigliate ad esempio le doghe con giunzione a dita poiché sovente mostrano crepe o infiltrazioni da parte dell'impregnante;
- **Definire le dimensioni delle doghe** (lo spessore deve essere di circa 19 mm e la larghezza inferiore o uguale ai 150 mm);
- **L'umidità delle doghe** in legno durante il montaggio deve essere del $15\% \pm 3\%$;
- **La scelta più adeguata della sotto-struttura**.

Ponderazione dei diversi fattori di influenza sulla durata del trattamento superficiale



- Protezione (4D)
- Formazione strato coprente/spessore del trattamento
- Pigmentazione
- Tecnica applicativa
- Trattamento aggiuntivo
- Tipo di legno usato

Fonte: Schmid H., Bartlomé O., Burgherr A., Hug N., 2017, Compact. Rivestimento delle facciate in legno - Tipologia di superficie, scaricato da www.lignum.ch

Mesi di posa del rivestimento	0 Mesi	2 Mesi	4 Mesi	6 Mesi	12 Mesi
Specie legnosa					
Larice					
Robinia					
Quercia					
Frassino					

Figura 4.130 Rielaborazione: cambiamento cromatico di quattro diverse specie legnose durante il corso di un anno. Fonte: Koch C., 2021, Materiale didattico "Holzschutz: Fassaden. Dos and don'ts" del seminario "Modul I Konstruktion/Bemessung/Holzschutz" organizzato da ProHolz il 19 Maggio 2021, scaricato da www.proholz.at

L'ente di ricerca Austriaco, inoltre, attraverso delle fotografie di doghe scattate a distanza di mesi, sottolinea come sia importante per il progettista essere a conoscenza del naturale cambiamento di colore delle diverse specie legnose in funzione dell'esposizione agli agenti atmosferici. E' interessante come HFA porti a esempio molte facciate ingrigite soggette all'azione del tempo e delle intemperie, sottolineando come il fenomeno sia totalmente naturale e non un difetto, come si può pensare. Per garantire una buona conservazione nel tempo delle facciate in legno, i due enti consigliano l'adozione di alcune pratiche:

- Holzforschung Austria innanzitutto si basa sulla "regola delle 4D" per garantire una protezione del legno dall'acqua piovana. Un punto molto importante su cui si concentra la linea guida è il **drenaggio dell'acqua piovana**: questo può essere garantito tramite una corretta realizzazione del davanzale, delle giuste accortezze in merito al dimensionamento degli elementi di facciata e della sotto-struttura;
- E' importante inoltre la scelta del trattamento in funzione delle necessità estetiche e progettuali:
 - **Nessun trattamento della superficie**: in questo caso è importante, per garantire una buona durabilità del materiale, che l'edificio sia costruito a regola d'arte;
 - **Trattamento in autoclave**: l'impregnamento a seguito di un trattamento ad autoclave garantisce maggior durabilità del legno contro l'attacco di insetti e funghi. A causa del differente assorbimento,

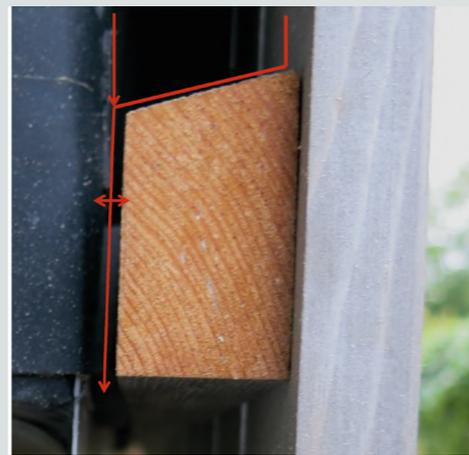


Figura 4.131 Una buona norma di come prevedere la sottostruttura del rivestimento. Fonte: Koch C., 2021, Materiale didattico "Holzschutz: Fassaden. Dos and don'ts" del seminario "Modul 1 Konstruktion/Bemessung/Holzschutz" organizzato da ProHolz il 19 Maggio 2021, scaricato da www.proholz.at, pg.37



Figura 4.132 Fotografia di una facciata in legno non trattata. Fonte: proholz, Foto: Günter Wett



Figura 4.133 Fotografia di una facciata che ha subito una verniciatura detta di "pre-ingrigimento". Fonte: Proholz, foto: Günter Wett

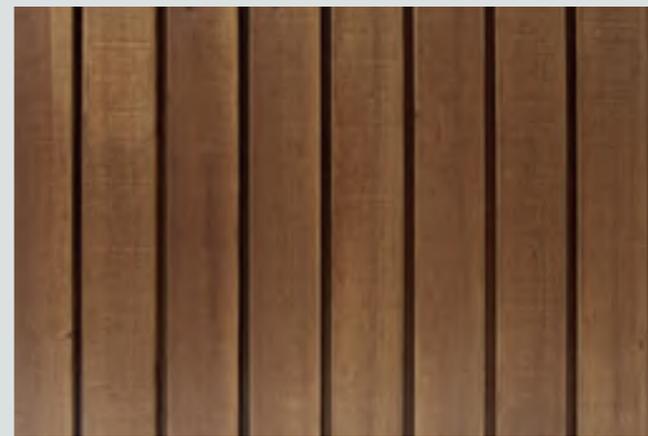


Figura 4.134 Trattamento in autoclave. Fonte: Schmid H., Bartlomé O., Burgherr A., Hug N., 2017, Compact. Rivestimento delle facciate in legno - Tipologia di superficie, scaricato da www.lignum.ch

vi può essere una differenza nell'intensità di colorazione tra una doga e l'altra: per questo motivo la soluzione viene spesso abbinata a una verniciatura specifica. Il trattamento è considerato positivamente dal punto di vista della manutenzione;

- **"Ingrigimento" artificiale della superficie**: è possibile accelerare "l'ingrigimento" naturale del legno esposto alle intemperie tramite un trattamento di "ingrigimento", che permette di ridurre le differenze di colore, spesso considerate antiestetiche. Il trattamento si basa sull'utilizzo di vernici con l'aggiunta di enzimi che garantiscono un effetto ingrigente della facciata in circa sei mesi. In ogni caso le zone della facciata particolarmente protette e soleggiate tendono comunque, con il tempo, ad assumere una tonalità tendente al marrone;
- **Velature a strato sottile, con uno spessore dello strato di circa 20 µm**. Questa tipologia risulta essere più facile da mantenere. In caso di rivestimento filmogeno, inoltre è importante che i bordi delle doghe siano arrotondati e che sia applicata una manutenzione regolare e puntale, poiché questo trattamento perde il suo effetto protettivo dopo alcuni anni. Di conseguenza è poco adatto per la protezione di grandi facciate;
- **Pittura/vernice a strato medio, con uno spessore dello strato compreso tra 20 e 60 µm**. Questi trattamenti superficiali coprenti proteggono il legno

dalle radiazioni solari. Un aspetto negativo nell'utilizzo di queste pitture/vernici coprenti è che, nel caso si formino fessure, il legno accumula umidità, causando il distacco del trattamento superficiale; queste fessurazioni sono frequenti soprattutto nel caso dell'utilizzo di tonalità scure: la temperatura della facciata può aumentare fino a 70° C, portando alla formazione di forti tensioni interne al materiale e conseguentemente alla fessurazione;

- **Smalto/vernice a spessore elevato** (> di 60 µm);

- **Altri trattamenti:** termo-trattamenti o impiego di materiali innovativi di protezione superficiale, come ad esempio i "nano-coatings".

- E' opportuno durante l'installazione delle doghe in legno prevedere che la **distanza tra ogni doga**, sia in direzione verticale che in direzione orizzontale, sia di almeno 1 cm. Questo garantisce uno spazio di dilatazione in caso di umidità elevata ed evita che si formino crepe dovute all'avvicinamento delle doghe in legno, se non correttamente distanziate;

- E' opportuno, in fase di progettazione, studiare il **giunto d'angolo** delle facciate in legno poiché rappresenta un punto critico;

- **Il rivestimento non deve essere a contatto con il piano di calpestio.** Le doghe troppo vicine a terra degradano più rapidamente poiché soggette alla cosiddetta "acqua di rimbalzo". La linea guida di HFA, rifacendosi alla ÖNORM B 2320:2017, indica la necessità di

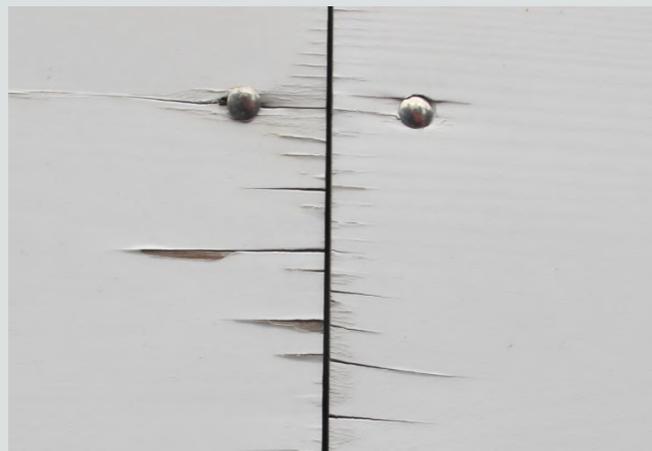


Figura 4.135 Fessurazioni dovute al mancato rispetto di una distanza minima tra le doghe lignee. Fonte: Koch C., 2021, Materiale didattico "Holzschutz: Fassaden. Dos and don'ts" del seminario "Modul I Konstruktion/Bemessung/Holzschutz" organizzato da ProHolz il 19 Maggio 2021, scaricato da www.proholz.at, pg.33



Figura 4.136 Fotografia di una facciata con il giunto ad angolo di protezione. Fonte: Koch C., 2021, Materiale didattico "Holzschutz: Fassaden. Dos and don'ts" del seminario "Modul I Konstruktion/Bemessung/Holzschutz" organizzato da ProHolz il 19 Maggio 2021, scaricato da www.proholz.at, pg.67



Figura 4.137 Fotografia in cui il rivestimento nella parte bassa è rovinato per via dell'acqua di rimbalzo. Fonte: Koch C., 2021, Materiale didattico "Holzschutz: Fassaden. Dos and don'ts" del seminario "Modul I Konstruktion/Bemessung/Holzschutz" organizzato da ProHolz il 19 Maggio 2021, scaricato da www.proholz.at, pg.44



Figura 4.138 Fotografia di un corretto posizionamento del rivestimento rialzato da terra. Fonte: Koch C., 2021, Materiale didattico "Holzschutz: Fassaden. Dos and don'ts" del seminario "Modul I Konstruktion/Bemessung/Holzschutz" organizzato da ProHolz il 19 Maggio 2021, scaricato da www.proholz.at, pg.43

posizionare il rivestimento in legno a partire da 30 cm al di sopra del piano di calpestio;

- **"Rivestimento significa manutenzione":** gli intervalli e le attività di manutenzione dipendono dai prodotti utilizzati, dalle indicazioni del produttore, dallo spessore delle doghe, dall'esposizione delle facciate dell'edificio. In genere è necessario un intervallo di manutenzione minore di due anni per le facciate fortemente esposte alle intemperie, orientate verso Sud e/o protette con una velatura sottile. Invece per le facciate riparate, esposte a Nord e/o protette con un trattamento superficiale colorato, l'intervallo di manutenzione può superare i dieci anni.

4.4.2 Un buon esempio di rivestimento in legno



L'edificio ha una destinazione di tipo residenziale, è stato progettato da Scheitlin Syfrig Architekten, nel 2006 ed è situato a Steinhausen in Svizzera. Anche in questo caso è stato utilizzato il Cedro rosso Canadese (*Thuja plicata*), a cui non sembrerebbe essere stata applicata nessuna tinta. Le macchie scure presenti sul rivestimento possono trattarsi esclusivamente di dilavamento del tannino avvenuto non in modo uniforme, a causa della conformazione dell'edificio. Alcune specie, infatti, contengono numerosi acidi tannici idrosolubili che quando migrano in superficie, a seguito di un contatto con l'acqua, danno origine alle cosiddette macchie di tannino. Una buona prassi che è stata utilizzata per la protezione della testa dei listelli in legno è stata quella di utilizzare dei profili metallici. Inoltre, osservando le fotografie e le viste su Google Maps, è possibile notare come il rivestimento termini circa a 30 cm al di sopra del piano di campagna, in modo da garantire una maggiore durabilità della parte inferiore del rivestimento.

Figura 4.139 Immagine dell'edificio. Fonte: www.architekturbibliothek.ch



Figura 4.140 Immagine dell'edificio. Fonte: www.architekturbibliothek.ch



Figura 4.141 Immagine dell'edificio. Fonte: www.architekturbibliothek.ch

Note a pie' di pagina

¹ Koch C., 2021, Materiale didattico "Holzschutz: Fassaden. Dos and don'ts" del seminario "Modul I Konstruktion/Bemessung/Holzschutz" organizzato da ProHolz il 19 Maggio 2021, scaricato da www.proholz.at

² Schmid H., Bartlomé O., Burgherr A., Hug N., 2017, Compact. Rivestimento delle facciate in legno - Tipologia di superficie, scaricato da www.lignum.ch

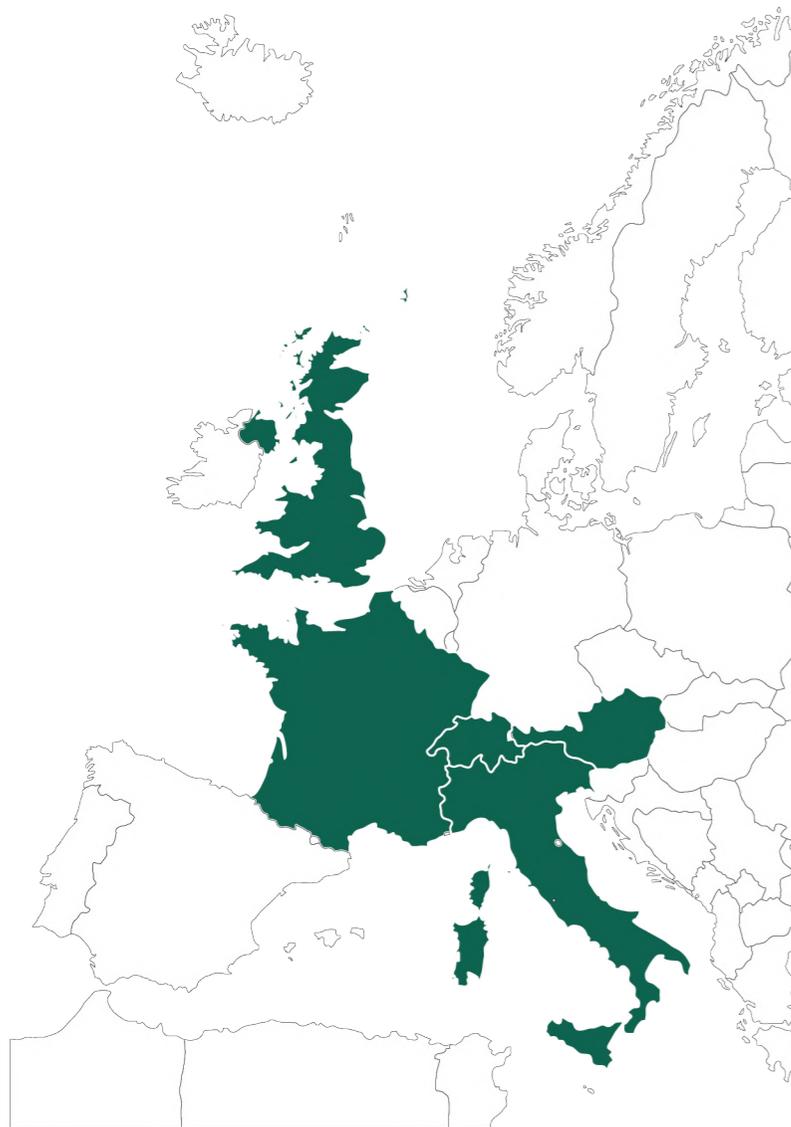
GLI STRUMENTI PER IL CONTROLLO DELLA QUALITA' DEL PROGETTO



- 5.1 L'approccio degli enti di promozione dei diversi paesi p.338
- 5.2 I protocolli di certificazione p.415
- 5.3 I sistemi di monitoraggio p.463

5.1 L'approccio degli Enti di promozione dei diversi paesi

E' stata svolta un'analisi che riguarda l'approccio dei principali promotori del legno nei confronti della divulgazione delle buone pratiche riguardanti questo materiale. Lo studio si è concentrato su sette paesi: l'Italia, l'Austria, la Francia, la Svizzera, la Gran Bretagna, gli Stati Uniti e il Canada.



EUROPA

Italia

5.1.1 FederlegnoArredo p. 341

5.1.2 Assolegno p. 343

5.1.3 Promo_legno p. 355

Austria

5.1.4 Pro_Holz p. 359

5.1.5 Holzforschung Austria p. 365

Francia

5.1.6 CNDB p. 371

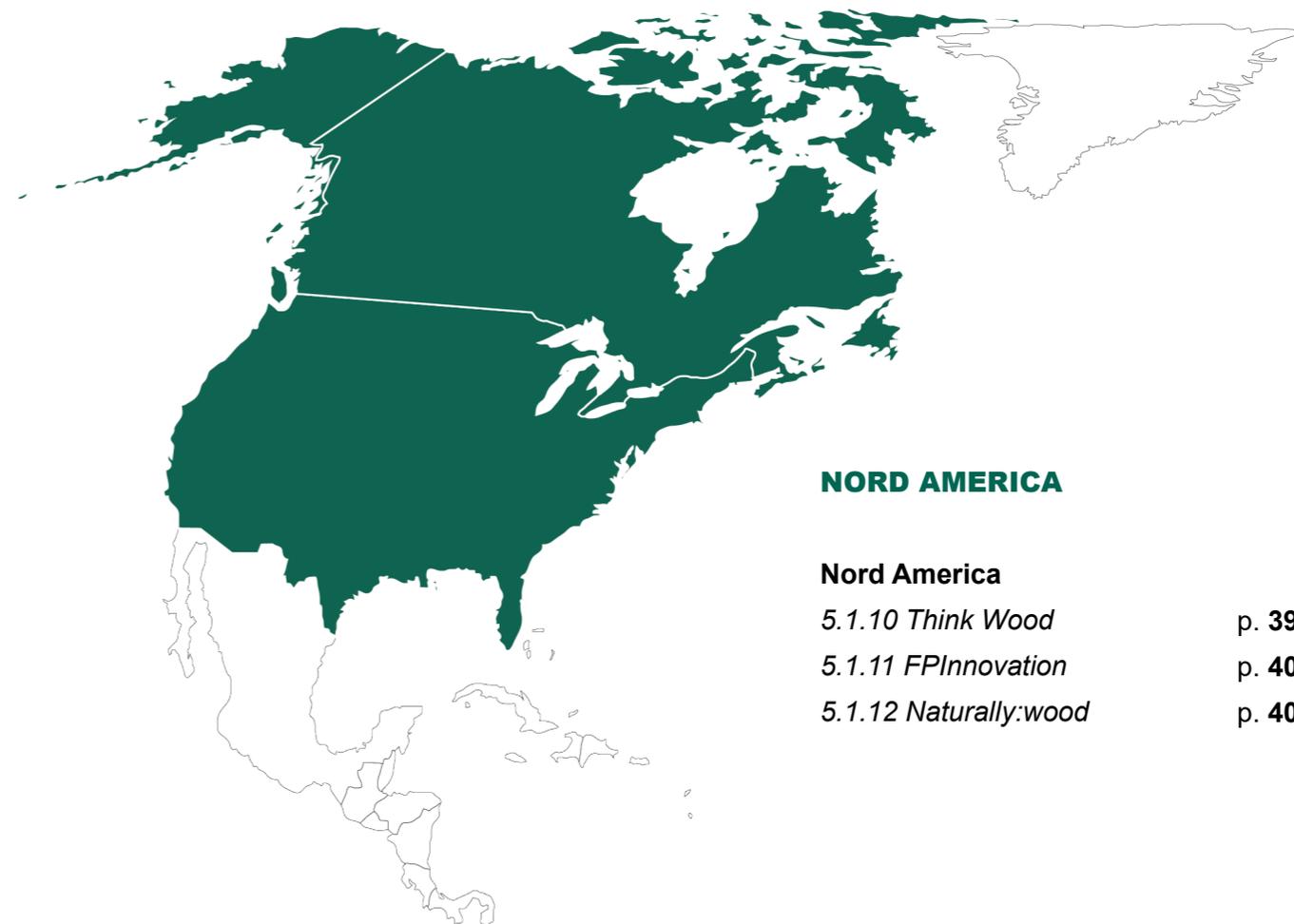
5.1.7 FCBA p. 373

Svizzera

5.1.8 Lignum p. 377

Gran Bretagna

5.1.9 TRADA p. 385



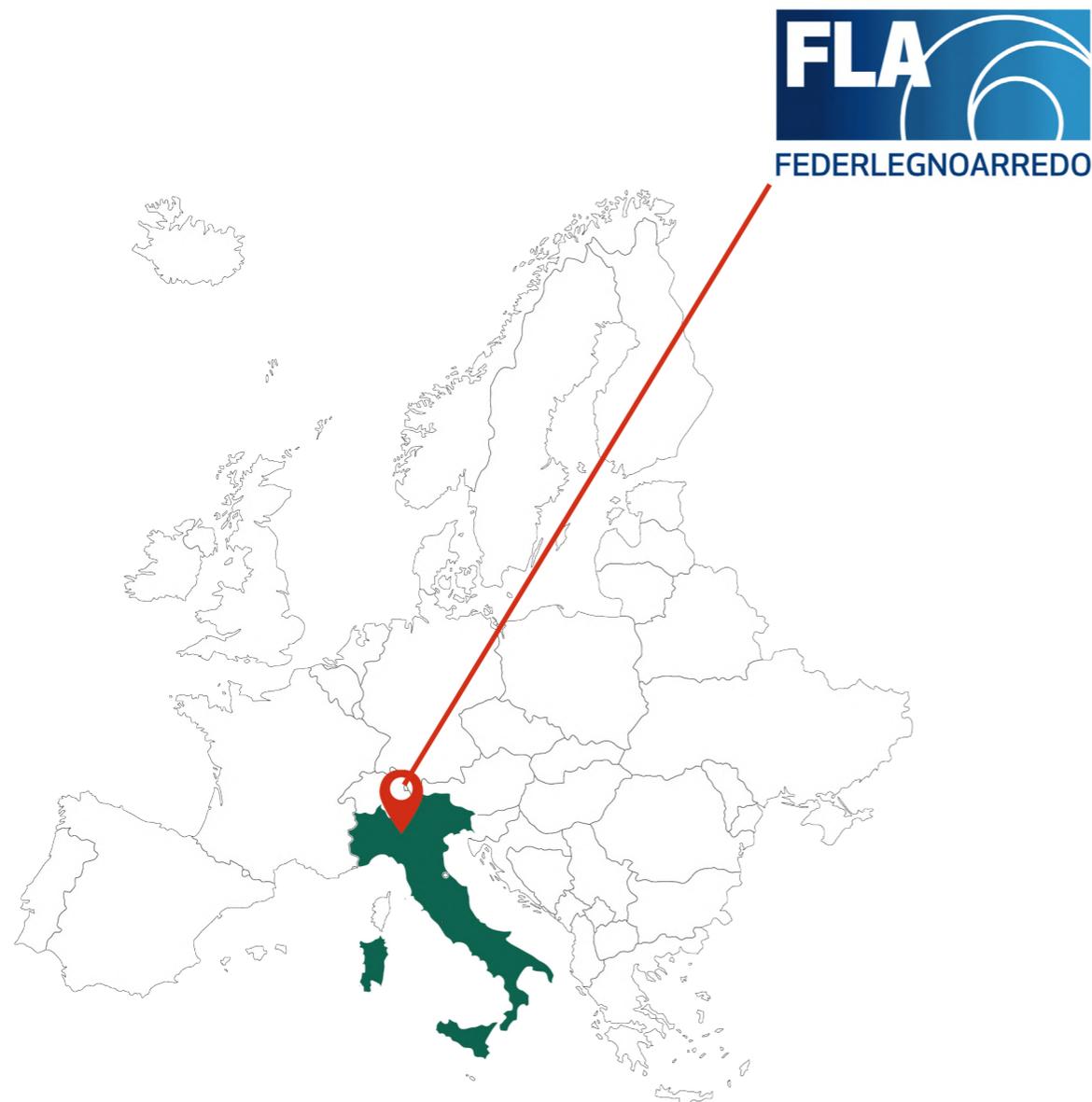
NORD AMERICA

Nord America

5.1.10 Think Wood p. 397

5.1.11 FPInnovation p. 403

5.1.12 Naturally:wood p. 409



5.1.1 FederlegnoArredo

COS'E'

FederlegnoArredo è una federazione che fa parte del sistema di Confindustria. Oggi la Federazione annovera al proprio interno oltre 2.100 imprese associate diffuse in tutta Italia, organizzate in 11 Associazioni Statutarie e 6 Associazioni Non Statutarie e di Professionisti. Le Associazioni Statutarie sono suddivise in area Legno e in area Arredo, mentre nelle associazioni Non Statuarie si trova, per esempio, ANTIAL (Associazione Nazionale Tecnologi, Ingegneri e Architetti del Legno).

STRATEGIA

La federazione vuole essere un supporto alle diverse imprese associate che ruotano attorno al settore del legno in modo da incentivarne sempre di più l'utilizzo.

RISORSE

LA FORMAZIONE: l'offerta dei servizi formativi per le aziende tiene conto delle necessità che le imprese hanno nei confronti del mercato, garantendo la possibilità di confronto e scambio con professionisti del settore. L'offerta formativa si declina in quattro differenti tipologie:

- **Academy FLA:** è un'offerta formativa interaziendale che, attraverso dei percorsi di "training", tratta le tematiche più cogenti per le imprese del settore legno e del settore arredo;
- **Progettazione formativa mirata:** per le aziende che ne fanno specifica richiesta. FederlegnoArredo si occupa di programmare l'evento individuando i consulenti formatori più competenti a seconda dell'argomento;
- **Formazione accreditata per professionisti:** l'ufficio di formazione di FederlegnoArredo è infatti accreditato per l'erogazione di CFP per architetti. Questo consente la progettazione di percorsi formativi in collaborazione con aziende del settore, in modo da poter diffondere tra i professionisti conoscenze, aggiornamenti normativi, buone pratiche..

L'ESTERO: FederlegnoArredo propone differenti **servizi di supporto alle aziende** con il fine di sviluppare un **"export" nei diversi mercati internazionali**. Queste attività sono dedicate sia alle aziende già legate a rapporti internazionali, sia ad aziende che hanno intenzione di dedicarsi a nuovi mercati. Attraverso il coinvolgimento di operatori esteri internazionali è possibile erogare i seguenti servizi:

- **"Business forum":** seminari e incontri tra aziende Italiane e tecnici esteri di alto livello;
- Attività legate alla promozione del **"Made in Italy"** attraverso sessioni e "incoming" di operatori

esperti nelle diverse aziende Italiane;

CENTRO STUDI-DATI E RICERCHE: questo centro ha la funzione di raccogliere e standardizzare tutti i dati riguardanti il settore del legno, con degli approfondimenti legati all'andamento dei mercati, ai mercati esteri, ai dati territoriali..

NORMATIVA: l'ufficio Normativa svolge un'attività di consulenza per le aziende associate e partecipa ai **lavori normativi in sede UNI, CEN e ISO** con l'obiettivo di **rappresentare le esigenze degli associati**. L'ufficio Normativa fornisce, anche a seconda delle richieste degli associati, dei **documenti tecnici** ad integrazione e supporto della normativa vigente, a seconda del settore di applicazione. Ad esempio, per quanto riguarda l'edilizia e il legno strutturale vengono forniti chiarimenti riguardo l'applicazione delle diverse norme tecniche quali, ad esempio, le Norme Tecniche per le Costruzioni, la normativa CEN, l' Eurocodice 5, le istruzioni CNR 206/2008, oppure materiale di supporto riguardante argomenti quali la durabilità e la sicurezza in caso di incendio. Un altro servizio messo a disposizione degli associati è un **dizionario** redatto in cinque lingue diverse sui termini corretti da utilizzare nel settore del legno.

SERVIZI LEGALI: il servizio **InfoLegal** è la compagna della principale "mission" della federazione, ovvero quella di essere un **supporto a "trecentosessanta gradi"** per le aziende associate. Le aziende, attraverso il servizio, vengono informate a riguardo di novità giuridiche in relazione a temi di carattere trasversale e hanno la possibilità di usu-

fruire di alcuni vademecum redatti da professionisti del settore.

5.1.2 Assolegno

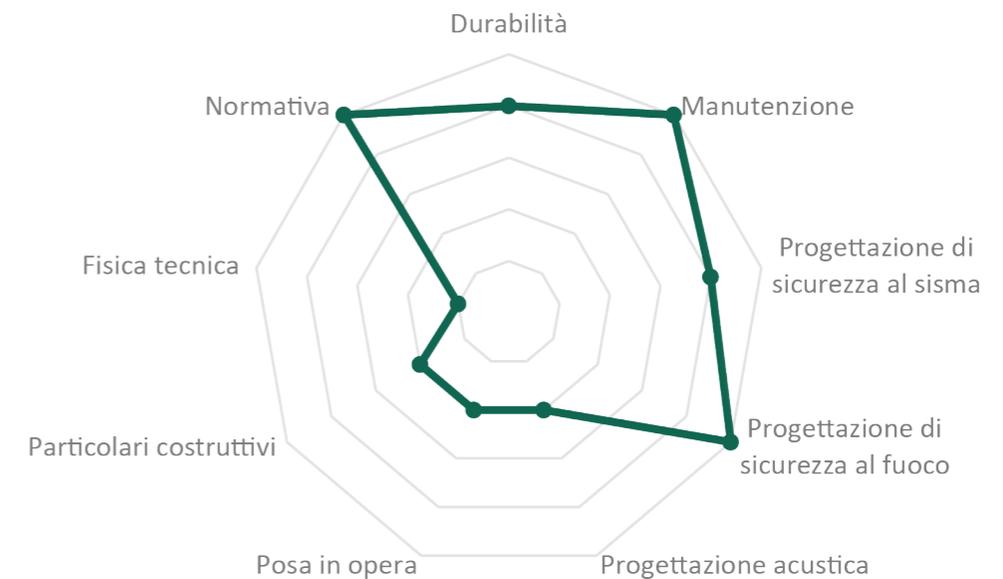
COS'E'

Assolegno è una delle associazione Statuarie dell'area legno di FederlegnoArredo e tratta il settore delle costruzioni in legno. Assolegno include i seguenti gruppi: Gruppo Prime Lavorazioni Legno, Gruppo Case ed Edifici a Struttura di Legno, Gruppo Costruttori in Legno e Gruppo Grandi Strutture e Produttori Legno Lamellare e Xlam e conta 463 associati.

STRATEGIA

L'associazione fornisce diversi servizi, tra cui una formazione continua sui temi di attualità, dei servizi di consulenza professionale e una tutela degli interessi del comparto, interfacciandosi con le associazioni di settore Europee.

AMBITI PREVALENTEMENTE TRATTATI:



RISORSE

LA FORMAZIONE: una delle attività principali è la divulgazione di informazioni tecnico-scientifiche volte a promuovere l'uso del legno in edilizia:

- **Attività divulgative per gli associati:** l'associazione organizza seminari informativi e convegni con lo scopo di promuovere le tecnologie costruttive in legno e informare i professionisti del settore circa il corretto impiego del legno in edilizia. Le aziende associate, oltre a partecipare gratuitamente, hanno la possibilità di diventare sponsor di queste attività;
- **Seminari online:** l'associazione organizza periodicamente dei "webinar" informativi gratuiti, coinvolgendo relatori ed esperti di rilevanza Nazionale e Internazionale, con il fine di offrire un servizio informativo di alta qualità, non solo per i progettisti, ma per tutti gli attori della filiera;
- **Portale formazione a distanza Assolegno:** il portale, al momento ancora in fase di sviluppo, erogherà corsi di formazione asincroni riguardo temi tecnico-progettuali per i professionisti e le imprese. L'obiettivo è di diffondere la conoscenza sulle corrette applicazioni del legno e dei prodotti a base di legno in ambito edile;
- L'associazione svolge inoltre numerosi **corsi di formazione:**
 - Corsi per direttore operativo e ispettore di cantiere;
 - Corsi per classificatore del legno strutturale;
 - Corsi per certificare la professione

del carpentiere;

- Corsi di formazione e aggiornamento per direttore tecnico di produzione;

NORMATIVA: Assolegno svolge il compito di **rappresentanza della filiera all'interno delle sedi ministeriali competenti**. Questa attività è fondamentale al fine di garantire la competitività delle imprese sul mercato e offrire strumenti di lavoro adeguati in termini di legislazione, regolamentazione e normativa vigente. Infatti, l'associazione è attiva all'interno dei tavoli di lavoro UNI (Nazionale), CEN (Internazionale) e presso gli uffici del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. A seguito di questi incontri l'associazione realizza dei **documenti informativi** che ne riassumono i contenuti e li distribuiscono agli associati.

CONSULENZA: Assolegno svolge attività di consulenza e supporto delle aziende associate con il fine di implementare la conoscenza legata all'impiego dei prodotti a base di legno. Per quanto riguarda la Normativa, gli ambiti di competenza riguardano sia le prescrizioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni, sia gli Standard di riferimento elaborati dall'UNI, dal CEN/EOTA. Inoltre, è stato attivato un **servizio di consulenza** a distanza rivolto agli associati grazie al quale i professionisti o le imprese possono porre i propri dubbi riguardanti la progettazione e la qualificazione di materiali per la produzione di elementi strutturali in legno e ricevere un'opportuna consulenza da parte di un esperto.

LINEE GUIDA REDATTE: Assolegno, in funzione delle necessità degli associati o a scopo informativo, redige ogni anno nuovi **manuali tecnici** specialistici in modo da supportare le aziende e/o i progettisti nelle attività di progettazione e realizzazione delle opere in legno. Di seguito sono indicate alcune delle linee guida di Assolegno che sono state utilizzate per lo svolgimento del lavoro di tesi:

Follesa M., Lauriola M.P., Moschi M., 2011, ***Durabilità e manutenzione delle strutture in legno***, Milano, Ticom Srl – Piacenza

TEMI TRATTATI:

- Cenni di tecnologia del legno
- Bio-degradamento, durabilità e preservazione
- Dissesti e degrado strutturale
- Dettagli costruttivi
- Controlli nel tempo
- Manutenzione

COMMENTI: Il documento, oltre ad approfondire la durabilità naturale del legno e le relative Norme UNI, presenta una serie di **errori di progettazione** e/o esecuzione che hanno compromesso la durabilità di alcuni edifici in legno. Per quanto riguarda alcuni nodi "critici" gli autori propongono una serie di **fotografie di casi studio** in positivo e in negativo, in cui vengono presentate le diverse soluzioni e commentate in modo critico.

Un altro tema centrale è quello relativo alla **manutenzione** che viene descritta, non solo da un punto di vista normativo, ma vengono fornite delle indicazioni pratiche per i diversi componenti.

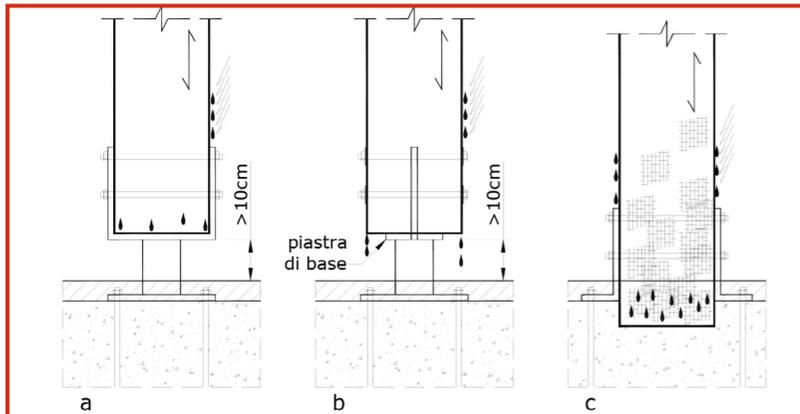


Figura 4.1: a: discutibile; b: corretto; c: sbagliato. I pilastri devono essere convenientemente sollevati dal pavimento finito per evitare che eventuale acqua possa essere assorbita; l'ampiezza della piastra di base deve essere ridotta al minimo indispensabile per diminuire la superficie di contatto tra testa del pilastro e metallo in quanto la superficie di massimo assorbimento di acqua da parte del legno è la sezione ortogonale alla fibratura. La soluzione "c" forma bicchiere e determina "trappola di umidità".

Figura 5.1 Indicazioni relative alla corretta esecuzione dell'attacco a terra. Fonte: "Follesa M., Lauriola M.P., Moschi M., 2011, *Durabilità e manutenzione delle strutture in legno*, Milano, Ticom Srl – Piacenza", p. 52



Figura 4.2: Questo è sicuramente il modo peggiore per realizzare l'appoggio a terra di un pilastro. In queste condizioni si forma un vero e proprio bicchiere che trattiene l'umidità e qualunque specie legnosa subisce degrado da funghi della carie in un tempo più o meno breve.

Figura 5.2 Indicazioni relative alla corretta esecuzione dell'attacco a terra. Fonte: "Follesa M., Lauriola M.P., Moschi M., 2011, *Durabilità e manutenzione delle strutture in legno*, Milano, Ticom Srl – Piacenza", p. 52

Fedelegnoarredo, *Manuale d'uso e manutenzione*, guida fornita dall'Ingegnere Matteo Izzi, ufficio tecnico Assolegno

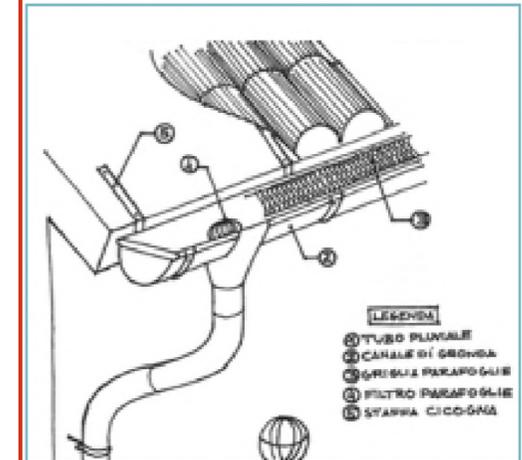
TEMI TRATTATI:

- Il manuale d'uso
- Programma e Manuale di Manutenzione
- Collaudi Programmati

COMMENTI: Il manuale è un **utile supporto al progettista** per la corretta progettazione della manutenzione di un edificio: per ogni componente vengono infatti indicate le motivazioni per le quali eseguire la manutenzione, le tempistiche e i compiti dei diversi soggetti, come nella figura a fianco. Un tema su cui il documento pone particolare importanza è la manutenzione dei bagni, gli apparecchi sanitari e il locale cucina, probabili fonti di problemi legati ad acqua e umidità. Anche se il fine del manuale è quello di fornire indicazioni riguardanti la manutenzione, vengono comunque fornite delle buone prassi da seguire per la posa degli impianti idraulici. Vengono inoltre fornite indicazioni riguardanti l'ispezione di una struttura in legno in caso di eventi eccezionali, quali sisma e incendio. Inoltre viene fornita una **scheda** che gli utenti devono compilare a seguito di ogni manutenzione e ispezione.

Figura 5.3 Indicazioni relative alla manutenzione dei canali di gronda. Fonte: "Fedelegnoarredo, *Manuale d'uso e manutenzione*, guida fornita dall'Ingegnere Matteo Izzi, ufficio tecnico Assolegno, p. 8"

1.5 Acque meteoriche: canali di gronda e pluviali



Perché? Per garantire che i canali di gronda siano efficienti nel tempo e non ci siano infiltrazioni di acqua nel tetto e nei pacchetti costruttivi.

Quando? Due volte l'anno (cambio di stagione) ed in occasione di eventi meteorici intensi.

Come? È sempre necessario avere attenzione nei confronti dei pluviali di scarico a terra delle gronde, nonché cercare di preservare la pulizia delle grondaie stesse: buona prassi è recidere rami di alberature presenti nell'intorno dell'abitazione (siano queste specie caducifoglie che sempreverdi) al fine di evitare che il deposito di fogliame possa ostruire i canali di scolo delle acque meteoriche. Allo stesso modo si deve evitare di porre elementi a terra che possono ostacolare il deflusso dell'acqua dal pluviale e che la stessa acqua non bagni la parte basale della struttura dell'edificio ma venga efficacemente allontanata da questo.

2.11 Bagno, apparecchi sanitari e locale cucina

Perché? Per verificare il corretto funzionamento delle sigillature dei sanitari, garantire la corretta funzionalità degli stessi e per rivelare eventuali perdite di acqua nocive per la struttura di legno.

I locali dove si produce umidità e dove ci sono impianti ad acqua devono essere oggetto di una maggiore attenzione nel processo di cura e manutenzione.

Quando e come?

Per il Conduttore

Durante il normale uso dell'edificio e comunque a intervalli non superiori a sei mesi.

Procedi a ventilare i locali secondo quanto indicato nel presente manuale di uso e manutenzione al fine di evitare fenomeni di condensa.

Verificare se le sigillature dei rivestimenti e dei sanitari sono integre; passando una mano sulle sigillature ci si può rendere conto se queste sono distaccate oppure mancanti. Particolare attenzione deve essere prestata a tutti quei piatti doccia posati incassati nel pavimento; in tal caso infatti è necessaria una supervisione più attenta. Si deve prestare attenzione alla comparsa di eventuali macchie di umidità che possono comparire su muri e pavimenti e nelle stanze poste al piano inferiore in corrispondenza del bagno e della cucina. Controllare che non ci siano perdite dalle tubazioni, rotture o anche lesioni ai sanitari, in particolare ai piatti doccia; tali situazioni richiedono un repentino intervento di un tecnico di una azienda specializzata.

Controllare che la stuccatura (fuga) fra le piastrelle in corrispondenza dei box doccia e dei lavandini sia integra e non fessurata.

Per il tecnico e/o l'azienda incaricata alla manutenzione

A intervalli non superiori a 2 anni.

È necessario che il conduttore metta a disposizione lo schema impiantistico in modo da poter rintracciare i passaggi di tubi e conseguentemente procedere ad una riparazione di eventuali perdite.

Dovrà essere ripetuta l'ispezione prescritta per il conduttore.

Utili indicazioni circa le perdite che possono verificarsi nell'impianto idrico, possono provenire da un esame con termocamera, accendendo il riscaldamento nei locali interessati e procedendo al confronto delle immagini catturate dallo strumento nell'arco delle ore successive.

Nei rifacimenti impiantistici si raccomanda di evitare qualsiasi tipo di accavallamento di tubi e garantire una disposizione ordinata e semplice degli stessi. Tra un locale e l'altro è opportuno prevedere il passaggio dei tubi sotto le porte e non attraverso fessure in parete.



Figura 2.5 Corretta distribuzione degli impianti.

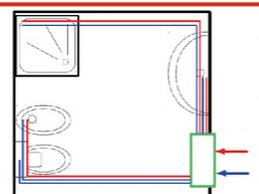


Figura 2.6 Distribuzione impianto idraulico tradizionale.

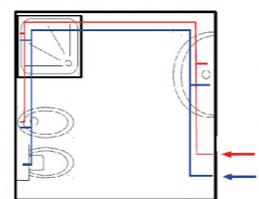


Figura 2.7 Distribuzione impianto idraulico senza accavallamenti e con collettore.

Particolare cura dovrà essere riservata alle operazioni di sigillatura dei sanitari e piatto doccia al fine di non avere problemi di infiltrazioni di acqua. Inoltre il fissaggio del tubo alla struttura dovrà essere eseguito tramite l'interposizione di guaina protettiva, per evitare che eventuali condense sulle parti metalliche esposte possano danneggiare la struttura (vedi Figura 2.8 e Figura 2.9).



Figura 2.8 Assenza di protezione per la struttura in legno.



Figura 2.9 Presenza di protezione per la struttura in legno.

Fare uso del collettore di distribuzione dedicato ad ogni bagno senza l'utilizzo di derivazioni a "T" (vedi Figura 2.6 e Figura 2.7).

Figura 5.4 Indicazioni relative alle accortezze da utilizzare per la posa e la manutenzione degli impianti. Fonte: "Fe-delegnoarredo, Manuale d'uso e manutenzione, guida fornita dall'Ingegnere Matteo IZZI, ufficio tecnico Assolegno, p. 23-24"

Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, **Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere**, documento fornito da Marco Pio Lauriola

TEMI TRATTATI:

- Normativa
- Progettazione in zona sismica
- Concezione tecnologica dell'opera in funzione della durabilità
- Nodi costruttivi e particolari di esecuzione
- Gestione del cantiere
- Manutenzione dell'opera
- Linee Guida Holzforschung Austria

RIFERIMENTI:

- DIN 688000-2 "Protezione del legno - Parte 2: misure costruttive per la prevenzione dei danni agli edifici"
- ÖNORM B 3802 dedicata alle misure protettive per gli elementi in legno utilizzati all'interno degli edifici
- Studi redatti dal "Construction Specifications Institute" Statunitense.

COMMENTI: Il documento presenta un **approccio a "trecentosessanta gradi"** nella descrizione delle costruzioni in legno, partendo dalla Normativa vigente e facendo un continuo confronto con le Normative e gli studi degli altri paesi, Europei ed ExtraEuropei. Ciò che distingue questo manuale è il **taglio pratico** posto nella descrizione dei diversi **nodi costruttivi** e nella corretta gestione della **fase di cantiere**.



Fig. 5.4 – Attacco a terra non corretto; la parete in CLT è stata posata direttamente sulla platea senza una guaina di separazione.



Fig. 5.5 – Attacco a terra eseguito correttamente, la guaina bituminosa protegge il CLT dalla risalita dell'umidità per capillarità.

Figura 5.5 Indicazioni relative all' attacco a terra. Fonte: "Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, **Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere**, documento fornito da Marco Pio Lauriola", p. 81

6.2.2.1 UMIDITA' E SITUAZIONI TRANSITORIE IN CANTIERE

È molto importante in un cantiere di un edificio in legno pensare ad una protezione adeguata delle strutture durante il montaggio, sia quotidianamente da eventi atmosferici improvvisi e inaspettati come temporali che possono capitare, sia in particolar modo nel caso in cui il cantiere debba subire dei fermi prolungati dovuti ad esempio ad eventi meteorologici (periodi di pioggia persistente) o di altra natura (ad esempio amministrativi o per cause di altra natura).

Nel primo caso occorre porre attenzione alla protezione soprattutto della testa di pareti o pilastri in legno, visto che le teste sono zone in cui l'assorbimento dell'acqua è maggiore. Una soluzione pratica da utilizzare è quella di prevedere una protezione con guaine traspiranti adeguatamente assicurate agli stessi elementi strutturali in modo da impedire in tutti i modi il possibile passaggio d'acqua, che possono essere facilmente posizionate e rimosse quotidianamente. La stessa soluzione va utilizzata anche per i solai, avendo cura però di togliere i teli per consentire l'asciugatura nelle giornate di sole.



Fig. 6.8 – Protezione delle teste delle pareti con guaine traspiranti durante il cantiere

In caso di periodi di fermo prolungato del cantiere occorre prevedere soluzioni leggermente più laboriose da mettere in opera ma tutto sommato semplici, economiche ed efficaci. Una soluzione è illustrata in Fig. 6.9, nella quale tutto il perimetro esterno dell'edificio è protetto con teli traspiranti di protezione all'acqua e persino i ponteggi sono ulteriormente protetti dall'acqua battente da un telo protettivo esterno. È necessario proteggere anche le aperture realizzate per porte e finestre, qualora gli infissi non siano stati ancora installati, mediante soluzioni provvisorie ma efficaci che impediscano l'ingresso dell'acqua all'interno della costruzione, come nel caso di Fig. 6.10.



Fig. 6.9 – Protezione del perimetro esterno dell'edificio con teli impermeabili traspiranti.

Figura 5.6 Umidità nella fase di cantiere. Fonte: "Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, *Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola", p. 124

Ufficio Tecnico Assolegno (a cura di), 2018, **Allegato 1: Mini-guida: Edifici a struttura di legno. Concezione e realizzazione dell'attacco a terra**, documento fornito da Matteo Izzi

TEMI TRATTATI:

Attacco a terra delle costruzioni in legno

RIFERIMENTI:

- DIN 688000-2 "Protezione del legno - Parte 2: misure costruttive per la prevenzione dei danni agli edifici"
- ÖNORM B 3802 dedicata alle misure protettive per gli elementi in legno utilizzati all'interno degli edifici
- Linee Guida Holzforschung Austria

COMMENTI: Questa linea guida fornisce indicazioni e raccomandazioni per la **corretta progettazione e posa in opera dell'attacco a terra**, portando a esempio disegni costruttivi e fotografie. Nonostante nel documento di presentazione della presente guida Assolegno specifici che per la redazione del documento è stato tratto spunto dalla Normativa Tedesca e Austriaca, il paper risulta essere una traduzione delle linee guida redatte da "Holzforschung Austria". Questo è stato riscontrato anche nelle Linee Guida redatte da ARCA.

Ufficio Tecnico Assolegno (a cura di), 2018, **Allegato 1: Edifici a struttura di legno, balconi e impermeabilizzazione**, documento fornito da Matteo Izzi

Ufficio Tecnico Assolegno (a cura di), 2018, **Allegato 1: Edifici a struttura di legno, nodo serramento e posa cappotto**, documento fornito da Matteo Izzi

TEMI TRATTATI:

- Nodo balcone parete
- Nodo serramento

RIFERIMENTI:

- Studi redatti dal "Construction Specifications Institute" Statunitense.

COMMENTI: Queste due linee guida forniscono indicazioni per una corretta **progettazione e posa in opera di due nodi critici che possono compromettere la durabilità** delle strutture in legno. Come per la Mini-Guida precedente, il documento risulta essere la "copia tradotta" di una ricerca affrontata dal "Construction Specifications Institute".

STRUMENTI DI DIVULGAZIONE E SUPPORTO : “www.assolegnorisponde.it” è una piattaforma che Assolegno offre a supporto dell’attività di progettisti, committenti, studenti, autorità e istituzioni che gravitano attorno alla filiera del legno strutturale, anche al fine di promuovere la conoscenza e la cultura del legno in Italia. Il portale si propone di diventare un punto di riferimento per la divulgazione di informazioni tecnico-scientifiche, consentendo agli utenti, attraverso la formulazione di domande, di potersi interfacciare con esperti.

Inoltre, Assolegno svolge numerose ricerche e studi specifici riguardanti l’analisi delle informazioni economiche sulla filiera del legno.

L’Osservatorio del Legno, ad esempio, è stato fondato con l’obiettivo di diffondere informazioni sistematiche, aggiornate e previsionali riguardanti il mercato del legno.

COLLABORAZIONI IN CORSO:

- RI.SE (“Research Institute of Sweden”), ETH Zurich e altri 16 partner del settore: **“Glue Line Integrity in FIRE”**
- Rothoblaas: **Corso di formazione carpentiere** e posatore di coperture discontinue e di elementi metallici
- Istituto Giordano: **Corso di formazione direttore operativo di cantiere**

PROTOCOLLI DI CERTIFICAZIONE: il protocollo di certificazione **S.A.L.E** (Sistema Affidabilità Legno Edilizia) è stato ideato da FederlegnoArredo in collaborazione con Conlegno (Consorzio Servizi Legno Sughero). La certificazione identifica le imprese costruttrici di edifici in legno con esperienza e in grado di garantire elevati standard realizzativi. In concreto, grazie alla collaborazione con Logica H&S, il protocollo S.A.L.E ha sviluppato un **sistema di monitoraggio del contenuto di umidità** per gli edifici in legno durante la fase di esercizio.

promo_legno



5.1.3 Promolegno

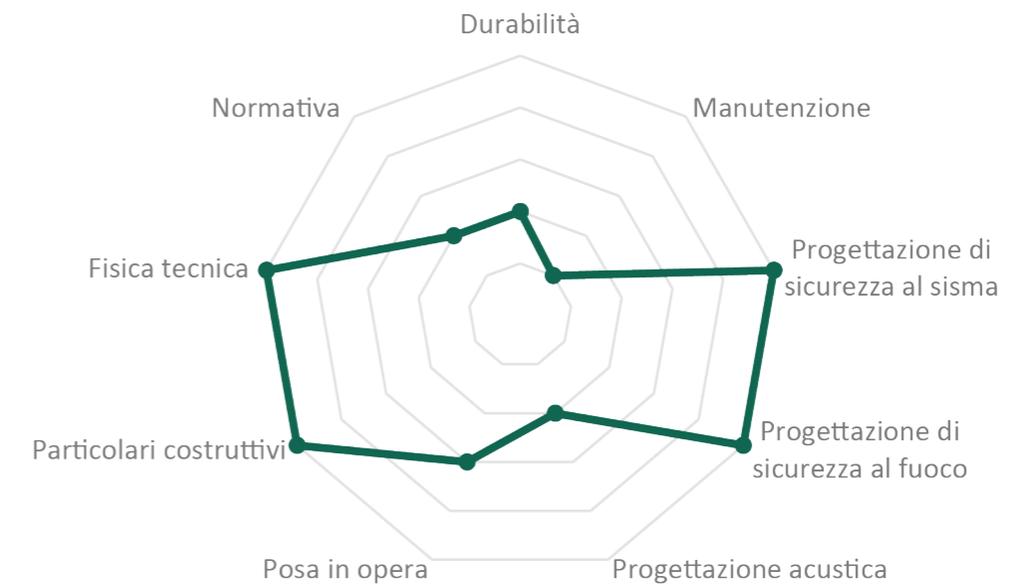
COS'E'

Promo_legno nasce dalla collaborazione di **ProHolz** – Austriaca – e le **Associazioni di Categoria Italiane**. Gli obiettivi dell'Ente sono: valorizzare e incentivare l'uso del legno in architettura, creare consapevolezza nei diversi utenti sull'uso del legno come materiale da costruzione "eco-friendly", fornire dei focus sulle abitazioni, sull'edilizia scolastica e sulla ridensificazione urbana, e rafforzare la collaborazione tra i diversi Enti di ricerca, le università e le aziende.

STRATEGIA

L'associazione propone diverse servizi, tra cui seminari e convegni, corsi e servizi online, per la promozione del legno in Italia.

AMBITI PREVALENTEMENTE TRATTATI:



RISORSE

LA FORMAZIONE: una delle attività principali di Promo_Legno è la **divulgazione del sapere** attraverso una continua formazione.

L'ente, infatti, in collaborazione con TimberTech srl ("spinoff" dell'Università di Trento) e il Politecnico di Graz in Austria, organizza due tipologie di corsi indirizzati ai professionisti del settore edile:

- **Il corso base.** Fornisce le tecniche delle costruzioni in legno in relazione al quadro normativo, fornendo gli strumenti di base al progettista che vuole approcciarsi al mondo delle costruzioni in legno;

- **Il corso di approfondimento.** E' suddiviso in tre differenti sessioni:

- Il corso sugli edifici in legno, il quale tratta in modo specifico l'utilizzo dei pannelli in X-Lam nella costruzione di un edificio;

- Il corso sugli edifici multipiano che mira all'applicazione concreta delle buone pratiche della progettazione, all'esecuzione pratica, alla progettazione e alla posa in opera a regola d'arte in cantiere;

- L'ultima sessione è dedicata alla progettazione e esecuzione di tetti in legno.

Inoltre, l'Ente di ricerca, in collaborazione con professionisti, aziende e università, organizza **convegni e seminari** per sensibilizzare e formare i diversi attori del processo costruttivo. Un esempio, è il ciclo di seminari "**Fabbricalegno**" in cui si sono trattati gli aspetti essenziali delle costruzioni mo-

derne in legno, con una particolare attenzione alla progettazione di edifici in legno in ambito urbano.

LA NORMATIVA: Promo_legno, nei diversi corsi di formazione, approfondisce il quadro normativo Nazionale cogente. Sul sito, i professionisti possono scaricare diverse **pubblicazioni** inerenti al tema della normativa, come, ad esempio, "La normativa tecnica Italiana e Europea" di Mario Luchetti o "Il comportamento al fuoco delle strutture di legno. Principi, normativa, valutazioni" di ©Maurizio Follesa. Per quanto riguarda la progettazione del comportamento sismico delle strutture, un documento molto utile per avere un inquadramento normativo è "I principi della sismica applicati agli edifici in legno Comportamento sismico di edifici con struttura di pannelli X-Lam" di ©Maurizio Follesa: nel documento viene descritto il comportamento sismico degli edifici in legno, i criteri generali di progettazione degli edifici in X-Lam in zona sismica e le accortezze da mettere in atto nella progettazione delle connessioni.

LINEE GUIDA REDATTE: Promo_legno non ha redatto una vera e propria linea guida sulle costruzioni in legno, ma pubblica il **materiale didattico** utilizzato dagli esperti che intervengono ai seminari e ai corsi di formazione. Oltre al materiale relativo a diversi casi studio, sono presenti dei "papers" relativi a diversi fattori di forma quali ad esempio la durabilità e protezione, la progettazione sismica e la resistenza al fuoco. Un documento sicuramente utile è "Pes M. R., 2012, **L'influenza dell'impiantistica nel processo della costruzione**", scaricato da www.promolegno.com che approfondisce una

criticità degli edifici in legno, ovvero la scorretta posa in opera dell'impiantistica. L'approccio utilizzato nel documento è molto pratico: attraverso il commento di alcune fotografie di cantiere, vengono spiegate le buone prassi per la corretta posa in opera degli impianti.

STRUMENTI DI DIVULGAZIONE E SUPPORTO: oltre alle diverse pubblicazioni presenti sul sito, Promo_legno, in collaborazione con il DICAM dell'università di Trento, offre un servizio di informazione tecnica "www.promolegno.com/risponde", strumento paragonabile come scopo e utilizzo a "Assolegnorisponde". Inoltre tramite il sito dell'Ente, è possibile accedere direttamente al servizio "www.dataholz.com". Questo servizio, essendo stato sviluppato da Proholz Austria in collaborazione con Holzforschung Austria, sarà approfondito nella scheda apposita.



"Tutti banali ma non sempre di facile attuazione se non vengono pianificati già contestualmente alla progettazione"

Figura 5.7 Una pagina tipo del documento. Fonte: "Pes M. R., 2012, *L'influenza dell'impiantistica nel processo della costruzione*, scaricato da www.promolegno.com, p.9"

pro:Holz



5.1.4 Pro:Holz

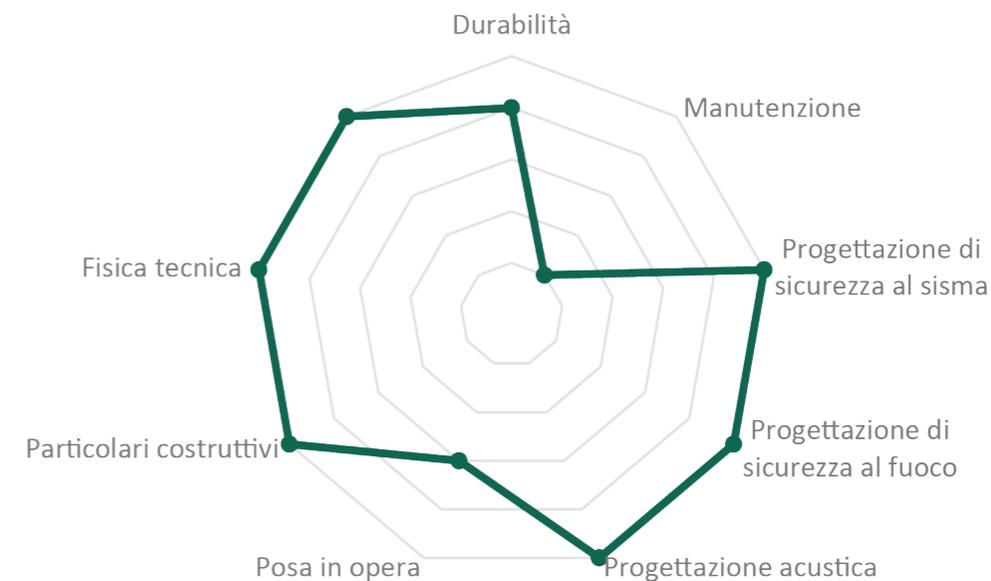
COS'E'

ProHolz Austria è un'istituzione di marketing per l'industria forestale e del legno austriaca. L'obiettivo è comunicare i vantaggi ecologici, economici e strutturali del legno come materiale naturale e come materiale da costruzione, incentivandone così l'utilizzo. Gli obiettivi sono, da un lato, rendere sostenibile la gestione delle foreste e l'uso del legno, dall'altra, rafforzare e incentivare le costruzioni con il legno, anche attraverso la divulgazione di esempi esemplari e eventi di formazione specialistici. L'istituzione è attiva in diversi paesi Europei ed Extraeuropei.

STRATEGIA

La strategia principale di ProHolz è legata alla promozione del legno come materiale per l'edilizia attraverso una diffusione della conoscenza e del "know-how" necessari per un uso corretto del legno.

AMBITI PREVALENTEMENTE TRATTATI:



RISORSE

FORMAZIONE: ProHolz pone molta importanza nella **divulgazione delle buone pratiche** e dei temi che circondano le costruzioni in legno: annualmente l'istituzione organizza **due moduli seminariali** a pagamento con il fine di implementare la conoscenza di architetti, ingegneri strutturisti, promotori immobiliari, in materia di costruzioni in legno. Questi seminari, tradotti in inglese in modo che possano coprire una fascia di progettisti internazionale, hanno diversi relatori in funzione del tema: comprendono infatti interlocutori quali enti di ricerca come Holzforschung Austria, progettisti esperti del settore, produttori di legno ingegnerizzato, tecnologi del legno... Questi seminari possono essere considerati quasi come una vera e propria linea guida dell'istituzione poiché vengono trattati molti temi in modo critico e funzionale alla divulgazione della corretta progettazione, realizzazione e cantierizzazione degli edifici in legno monopiano e/o multipiano dal punto di vista della durabilità, della progettazione al fuoco, al sisma, ...

I principali **temi trattati** da ProHolz sono: il legno come materia prima rinnovabile e fonte di stoccaggio della CO₂, la gestione forestale sostenibile, l'architettura passiva, i materiali ingegnerizzati a base di legno, l'impiego attuale e in futuro del legno in edilizia.

LINEE GUIDA REDATTE: Pro:Holz, come Promo_legno, non ha redatto una vera e propria linea guida sulle costruzioni in legno.

Oltre agli **articoli specialistici** relativi a diversi ambiti (quali tipologie costruttive, fisica delle costruzioni, protezione del legno, ...) presenti sul sito, l'istituzione pubblica a cadenza trimestrale **“Zuschnitt”**, una rivista specialistica rivolta ai diversi “stakeholders” del settore che approfondisce diversi argomenti. Di seguito viene presentato il numero 77 della rivista, consultato per approfondire il tema della resistenza al fuoco.

Pro:Holz Austria, Marzo 2020, **Zuschnitt Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz März 2020 Nr. 77**, scaricato da www.proholz.at

TEMI TRATTATI:

- Obiettivi generali della protezione antincendio;
- La ventilazione del fumo;
- Casi studio;
- Un'intervista con tre esperti provenienti da tre paesi diversi sulla protezione anticendio;
- La diffusione del fuoco attraverso la facciata.

COMMENTI: Il **format di base** che accomuna tutti i bollettini prevede la discussione del tema di base attraverso diversi strumenti. In questo caso specifico vengono riportate alcune ricerche Austriache e internazionali riguardanti il tema, le buone prassi da adottare nelle costruzioni in legno attraverso sezioni tecnologiche, casi studio e un'intervista a

diversi esperti del settore, provenienti da diversi stati, in modo da aver un inquadramento internazionale del tema affrontato.

STRUMENTI DI DIVULGAZIONE:

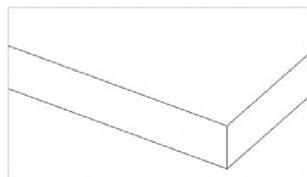
- Uno strumento di divulgazione per i giovani che intendono entrare a far parte della filiera produttiva del legno è [“genialerstoff.at”](http://genialerstoff.at). La piattaforma, traducibile come “cose geniali”, è un mezzo attraverso il quale i giovani possono informarsi per intraprendere una carriera all'interno del mondo del legno, grazie a documentazioni informative riguardanti scuole tecniche, apprendistati, ecc.. Proholz mette a disposizione anche una piattaforma in cui vengono inseriti posti vacanti e/o possibilità di tirocini formativi all'interno delle principali aziende produttrici di legno ingegnerizzato, proponendo inoltre delle borse di studio ai più meritevoli.
- Un servizio di informazione tecnica che viene offerto da Pro:Holz è il sito [“www.infoholz.at”](http://www.infoholz.at), strumento paragonabile come scopo e utilizzo a “Promo_legno risponde”, citato nella scheda di Promo_legno. Questo strumento è stato realizzato in collaborazione con Holzforschung Austria.
- Un altro servizio, curato dall'ente di ricerca Holzforschung Austria, ma direttamente accessibile dalla pagina web di Pro:Holz è il sito www.dataholz.eu. La piattaforma mette a disposizione del progettista un catalogo di soluzioni tecnologiche “testate e non” per le costruzioni in legno. Per ogni soluzione viene indicata la stratigrafia, le caratteristiche fisi-

che dei materiali ipotizzati e possibili alternative.

Le soluzioni proposte dal sito possono essere suddivisibili in:

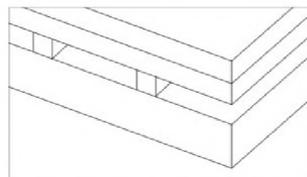
- **componenti** testati/omologati per pareti e soffitto/tetto;
- **nodi** quali l'intersezione dei muri e il nodo soffitto-parete;
- **applicazioni**, in cui sono presenti altri strumenti: uno strumento utile alla progettazione di un tetto piano; uno strumento redatto in collaborazione con Holzforshung Austria per la pianificazione dettagliata dell'installazione delle finestre; una piattaforma in cui è possibile visionare alcuni progetti di edifici in legno selezionati dall'istituzione in quanto realizzati a regola d'arte, a cui sono annesse fotografie e disegni di alcuni nodi; una sezione in cui viene inserita una letteratura a cui i progettisti possono fare riferimento.

Materiali da costruzione testati / approvati



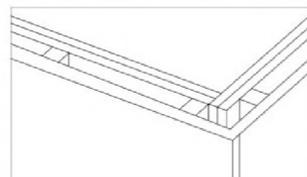
- Materiali a forma di bastoncino
- Materiali dei trucioli
- Materiali in fibra
- Materiali per strati
- Merci piallate
- Pavimenti in legno e parquet
- Materiali isolanti
- Tessuti per abbigliamento
- Fogli / sigilli
- Sistemi per facciate
- Materiali per l'installazione delle finestre

Componenti testati/omologati



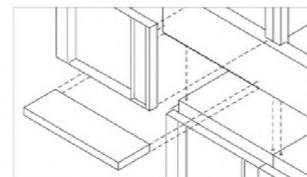
- Muro esterno**
- Muro interno
- muro di separazione
- Solaio
- Coperta contro non riscaldata
- Tetto inclinato
- Tetto piano / tetto spiovente

Unione dei componenti



- Muro esterno
- Muro interno
- muro di separazione
- Solaio
- Tetto piano / tetto spiovente

Applicazioni



- Aiuto per la progettazione del tetto piano
- Installazione di finestre di aiuto alla pianificazione
- Progetti di costruzione in legno
- Brochure tecniche, letteratura

STEP 1: individuazione del componente che si vuole approfondire.

Materiali da costruzione **Componenti** Unione dei componenti Applicazioni

Componenti testati/omologati > Muro esterno

Scopo

Tutti i componenti Germania

Filtro

3 componenti

Ripristina

costruzione

- Cornice in legno / pannello in legno
- Legno massiccio
- Intonaco per facciate**
- ETICHE EPS-F
- ETICHE WF
- ETICHE WW
- ETICHE MW-PT
- Legno per facciate**
- facciata ventilata
- facciata non ventilata

Tavolato esterno

- MDF
- OSB
- truciolare
- Cassaforma in legno
- cartongesso
- Materiale isolante**
- Lana minerale <1000 °C
- Lana minerale ≥1000 °C
- cellulosa
- Lana di pecora
- Fibra di legno

lascio interno

- OSB
- truciolare
- Cassaforma in legno
- cartongesso
- cartongesso
- Livello di installazione**
- isolato
- non isolato
- senza
- Superficie interna**
- Legno visibile
- superficie diversa

Protezione antincendio dall'interno

- REI30
- REI45
- REI60
- REI60 / K₂ 60
- REI90
- REI90 / K₂ 60
- Protezione antincendio dall'esterno**
- REI30
- REI45
- REI60
- REI60 / K₂ 60

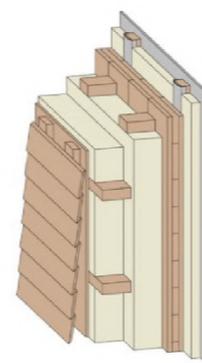
protezione dal calore

- U ≤ 0,15 W / (m² K)
- U 0,16-0,20 W / (m² K)
- U ≥ 0,21 W / (m² K)
- Insonorizzazione**
- R_w ≤ 43 dB
- R_w 44-47 dB
- R_w 48-57 dB
- R_w ≥ 58 dB

Pagina corrente e pagina a fianco: **Figura 5.8** Stratigrafia parete esterna ventilata con una struttura in legno con piano di installazione per persiane. Fonte: "www.dataholz.eu"

STEP 2: scelta delle diverse caratteristiche del componente.

taglio costruzione



Informazioni sul materiale da costruzione sulla costruzione, struttura a strati (fuori dentro)

	Spessore [mm]	Materiale da costruzione	protezione dal calore				Classe di comportamento al fuoco EN
			λ	μ min - max	p	c	
UN.	20.0	Rivestimento esterno in legno di larice	0,155	150	600	1.600	d.
B.	30.0	Listelli in legno di abete (30/60) - ventilazione posteriore	0,120	50	450	1.600	d.
c.	15.0	MDF	0,140	11	600	1.700	d.
d.	160.0	Legname da costruzione trasversalmente; (60/160; e = 625)	0,120	50	450	1.600	d.
e.	160.0	Legname da costruzione (60/160; e = 625)	0,120	50	450	1.600	d.
f.		-materiale isolante variabile					
G		Legno lamellare incrociato (almeno 3 strati, strato superiore almeno 30 mm)	0,130	50	500	1.600	d.
H	80.0	Listelli in legno di abete (50/80; e = 625) su forcellone	0,120	50	450	1.600	d.
IO.		-materiale isolante variabile					
J	12,5	Cartongesso tipo DF (GKF) o	0,250	10	800	1.050	la2
J	12,5	cartongesso	0,320	21	1000	1.100	la2

STEP 3: è possibile visionare la stratigrafia ed eventualmente visionare le schede dei materiali proposti

Materiali da costruzione testati / approvati > Materiali in fibra > Pannello di fibra a media densità (MDF)



Pannello di fibra a media densità (MDF)

Gli MDF sono prodotti utilizzando il processo a secco con l'aggiunta di un legante sintetico. I pannelli si differenziano in base alla densità grezza: pannelli di fibra ad alta densità (HDF) con densità ≥ 800 kg/m³, MDF leggero (L-MDF) con densità ≤ 650 kg/m³ e MDF ultraleggero (UL-MDF) con una densità ≤ 550 kg/m³. Modificando la composizione del legante sintetico o aggiungendo altri additivi, ai pannelli possono essere conferite proprietà aggiuntive, come protezione antincendio, resistenza all'umidità, resistenza all'attacco biologico e altre. Una forma speciale di MDF è il pannello di fibra permeabile al vapore. L'umidità fuoriesce facilmente all'aperto attraverso il pannello a diffusione. La posa dei pannelli è facilitata da un profilo maschio e femmina a due o quattro lati.

Valutazione ecologica (m³)

Pannello MDF 565 kg / m³

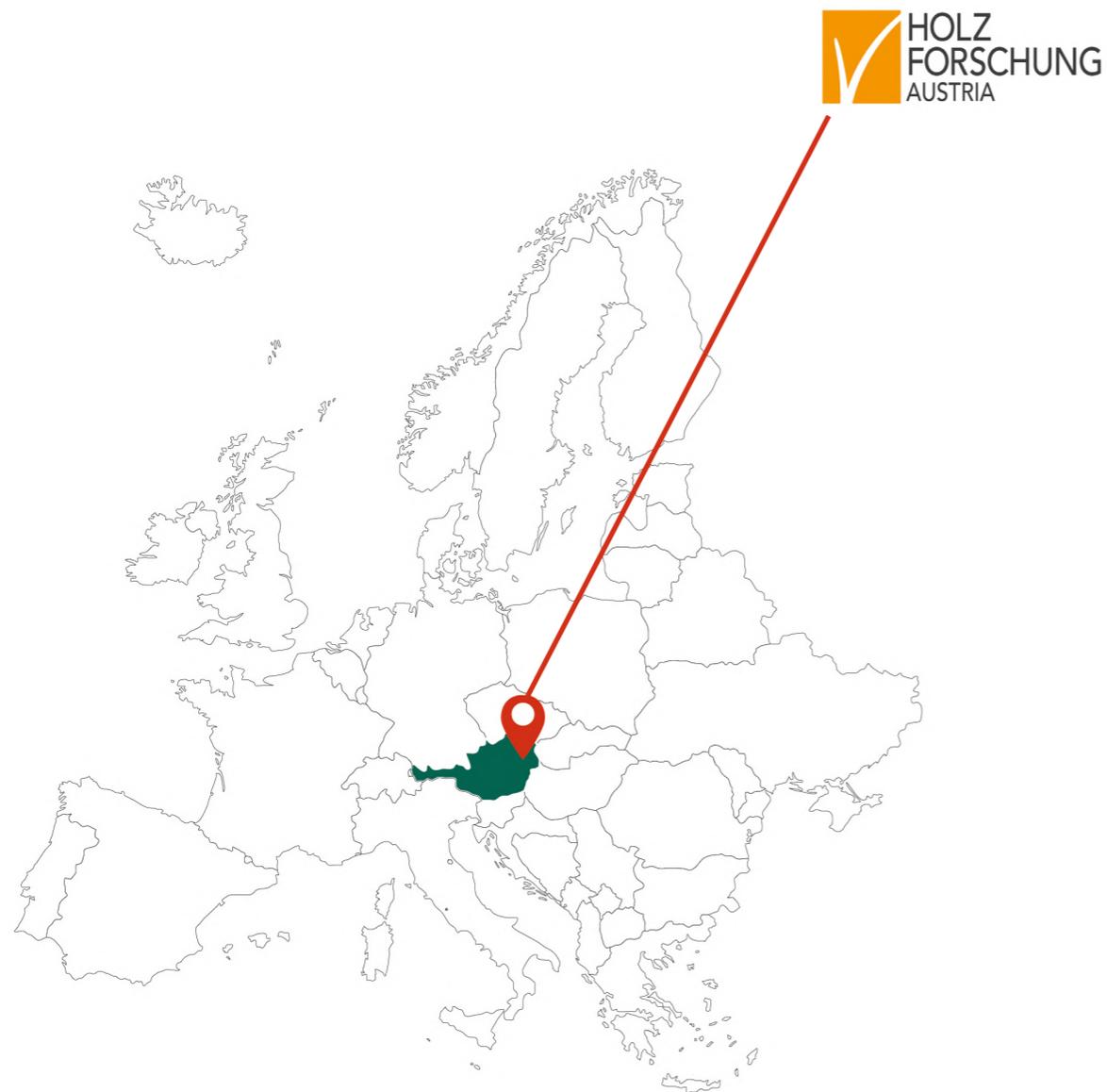
Fase del ciclo di vita	Uso delle risorse										
	GWP [kg CO ₂ equivalente]	PA [kg SO ₂ eq.]	EP [kg PO ₄ equivalente]	ODP [kg R11 equiv.]	POCP [kg etene equiv.]	PERE [MJ]	PERM [MJ]	PERT [MJ]	PENRE [MJ]	PENRM [MJ]	PENRT [MJ]
LA1-LA3	-517.544	2.066	0,469	9,76e-6	0,048	736.216	8174,250	8910,466	4569,103	1002,800	5571,903

Produttore

Secondo EN 622-5, EN 13986 e approvazione tecnica

Prodotto	Produttore	Certificati, omologazioni...
EGGER DHF	Fritz Egger Gesellschaft mbH & Co	± DoP (321 KB)
KRONO SVIZZERO WP / DP 50	SWISS KRONO sp.z oo	± DoP (192 KB)

STEP 4: ogni prodotto, oltre alla descrizione e alle caratteristiche, inserisce i nominativi di alcune aziende produttrici a cui è possibile fare riferimento.



5.1.5 Holzforschung Austria

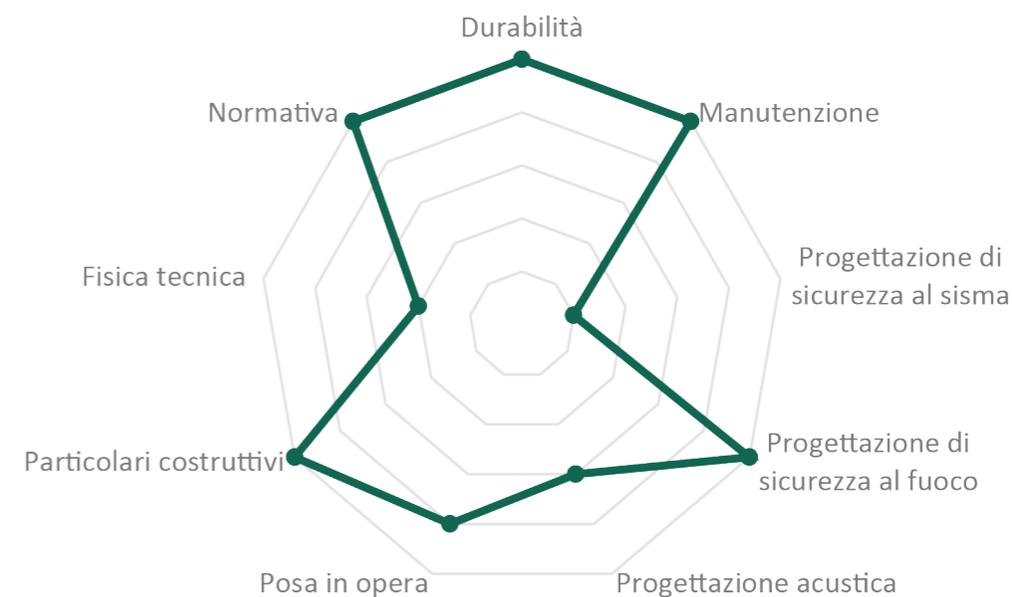
COS'E'

"Holzforschung Austria" è il più grande **istituto di ricerca e di sperimentazione per il legno senza scopo di lucro nel paese**. L'istituto, attraverso i suoi studi, affronta i problemi e le domande che affliggono l'industria del legno: uno dei temi cruciali è infatti legato alla durabilità. HFA è, inoltre, un laboratorio di prova notificato, un organismo di certificazione del prodotto notificato e un ente di verifica per i sistemi elettronici di misurazione del legno.

STRATEGIA

Essendo un istituto orientato alla ricerca, Holzforschung Austria si occupa dell'intera catena che riguarda il settore del legno. L'ente, come fonte del proprio "know-how" relativo all'impiego del legno, ha le proprie sperimentazioni e ricerche che si svolgono nei diversi laboratori di ricerca, quali un Acoustic Center, un Istituto Tecnico delle biomasse, un laboratorio per i test meccanici, un centro per testare porte e finestre, un laboratorio di chimica e un centro di simulazione.

AMBITI PREVALENTEMENTE TRATTATI:



RISORSE

FORMAZIONE: Holzforschung ha come obiettivo quello di trasmettere agli operatori del settore le conoscenze specifiche acquisite tramite le proprie ricerche. Questo è reso possibile attraverso riunioni di settore, seminari informativi e corsi a pagamento tenuti dagli esperti.

L'istituto di ricerca ha fondato, inoltre, la **HFA Academy**, un'"accademia" che prevede una serie di attività didattiche tra cui:

- **conferenze:** in cui specialisti dell'accademia e relatori del settore trattano argomenti di attualità legali alla filiera del legno. Questi eventi consentono ai partecipanti di scambiarsi informazioni professionali;
- **seminari:** in cui vengono trattati argomenti tecnici specifici. L'attività offre ai partecipanti un forum per questioni di tipo tecnico;
- **corsi intensivi:** si svolgono durante uno o più giorni. Le conoscenze vengono impartite attraverso teoria e pratica;
- **workshop;**

CONSULENZA: HFA svolge attività di **consulenza a pagamento** per progettisti che ne fanno richiesta, attingendo ad un vasto archivio di standard, linee guida, letteratura e conoscenze specialistiche. Gli esperti possono anche essere chiamati per delle **perizie in caso di marcescenze** o problemi strutturali: propongono conclusioni sulle cause dei danni e sulle possibili soluzioni.

LINEE GUIDA: Gli esperti di Holzforschung redigono periodicamente **articoli specialistici** su riviste del settore. I "papers" redatti per descrivere le numerose ricerche svolte sono tutti a pagamento. Grazie alla rivista "**HFA**" redatta dall'ente, però, è possibile consultare alcuni seminari di settore, contributi tecnici dettagliati di specialisti e alcuni report di ricerche in corso.

Holzforschung Austria ha redatto numerose linee guida sull'uso del legno strutturale e non, derivanti dal lavoro di ricerca continuo svolto in diversi campi, quali la durabilità, la protezione al fuoco, ...

Si riporta l'esempio di una linea guida gratuita relativa al **nodo dell'attacco a terra** degli edifici in legno, documento preso come "riferimento" da FederlegnoArredo e ARCA.

Holzforschung Austria, 2015, **Richtlinie Sockelanschluss im Holzhausbau. Als Leitfaden für die Planung und Ausführung**, scaricato da <https://www.ehz-neumarkt.de/files/downloads/Holz-Forschung-Austria-Richtlinie-Sockelanschluss-im-Holzhausbau.pdf>

TEMI TRATTATI:

- Spiegazioni teoriche sull'attacco a terra;
- Corretta pianificazione e esecuzione del particolare;
- La zona "degli spruzzi d'acqua";
- Cura e manutenzione;
- Dettagli costruttivi con le diverse sezioni tecnologiche.

RIFERIMENTI:

- DIN 18442
- ÖNORM B

COMMENTI: nella prefazione viene sottolineato come la **coordinazione sia fondamentale** nella realizzazione dell'attacco a terra poiché si incontrano diversi mestieri. Questa linea guida infatti è frutto della collaborazione tra Holzforschung, alcune associazioni del settore, aziende che producono componenti per l'edilizia e numerosi professionisti esperti. Un'attenzione particolare viene posta ad esempio alle indicazioni in termini dimensionali legate alla cosiddetta "**zona degli spruzzi d'acqua**", sottolineando come la distanza tra il piano di campagna del terreno e l'attacco della struttura in legno allo zoccolo in calcestruzzo debba essere maggiore o uguale di 30 cm. Il metodo proposto si riferisce esplicitamente alla "regola delle 4D" e propone una grande **varietà di dettagli tecnologici**, suddivisi a seconda del grado di difficoltà tecnica e di esecuzione e a seconda dell'economia della soluzione proposta.

Inoltre viene posta particolare attenzione al tema della **cura e manutenzione della struttura**, sottolineando come regolari **ispezioni visive e interventi di manutenzione ordinaria** abbiano pari peso alla corretta progettazione di un particolare costruttivo in funzione della durabilità.

STRUMENTI DI DIVULGAZIONE: Holzforschung offre - a pagamento - un servizio di consulto della propria **biblioteca internazionale** di ricerca sul legno. Questa raccolta bibliografica copre le aree specialistiche dell'intera catena del legno,

della silvicoltura, della lavorazione del legno,... I progettisti hanno a disposizione più di 13400 libri specialistici e oltre 200 riviste specializzate.

COLLABORAZIONE IN ATTO: Holzforschung collabora continuamente con le **aziende del settore** per la **sperimentazione di nuovi prodotti e processi produttivi**. HFA, in particolare, supporta i propri clienti nella strutturazione della loro idea trovando possibili partner di progetto, rendendo così possibile l'applicazione di questi progetti. Queste collaborazioni con le aziende sono principalmente suddivise in:

- **materie prime e prodotti da costruzione in legno:** in particolare l'ente si focalizza sulle tecnologie adesive e di connessione per il legno;
- **costruzione dal vivo:** per lo sviluppo di componenti edilizi. HFA supporta i clienti attraverso attività di consulenza che spaziano da simulazioni igrometriche a test in laboratorio su provini in scala 1:1, nonché misurazioni per quanto riguarda l'acustica e test antincendio;
- **aspetti ecologici:** per lo sviluppo di prodotti a base di legno con un ridotto impatto ambientale e un ridotto contenuto di COV;
- **Prodotti a base di legno e processi in funzione della transizione energetica;**

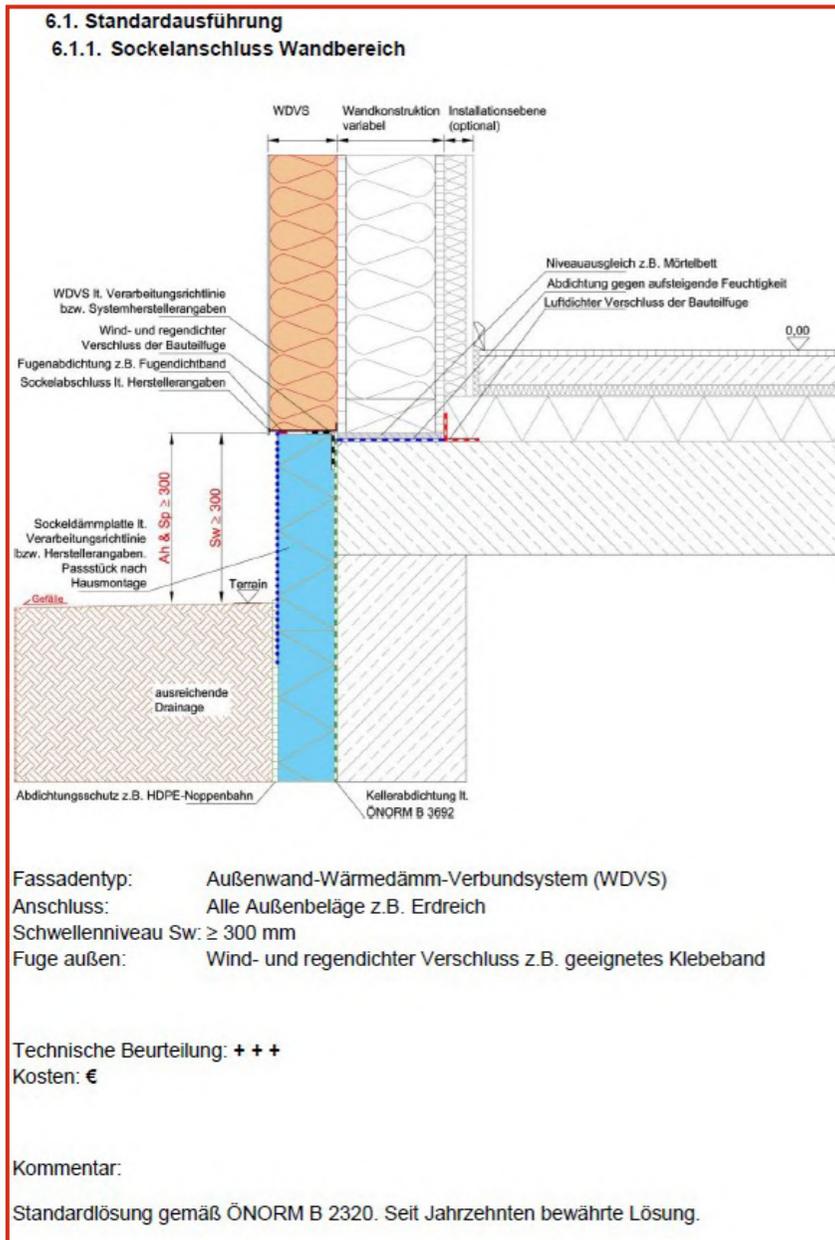


Figura 5.9 Una proposta di dettaglio di un attacco a terra performante ed economico. Fonte: "Holzforschung Austria, 2015, Richtlinie Sockelanschluss im Holzhausbau. Als Leitfaden für die Planung und Ausführung, scaricato da <https://www.ehz-neumarkt.de/files/downloads/Holz-Forschung-Austria-Richtlinie-Sockelanschluss-im-Holzhausbau.pdf>, p.16"

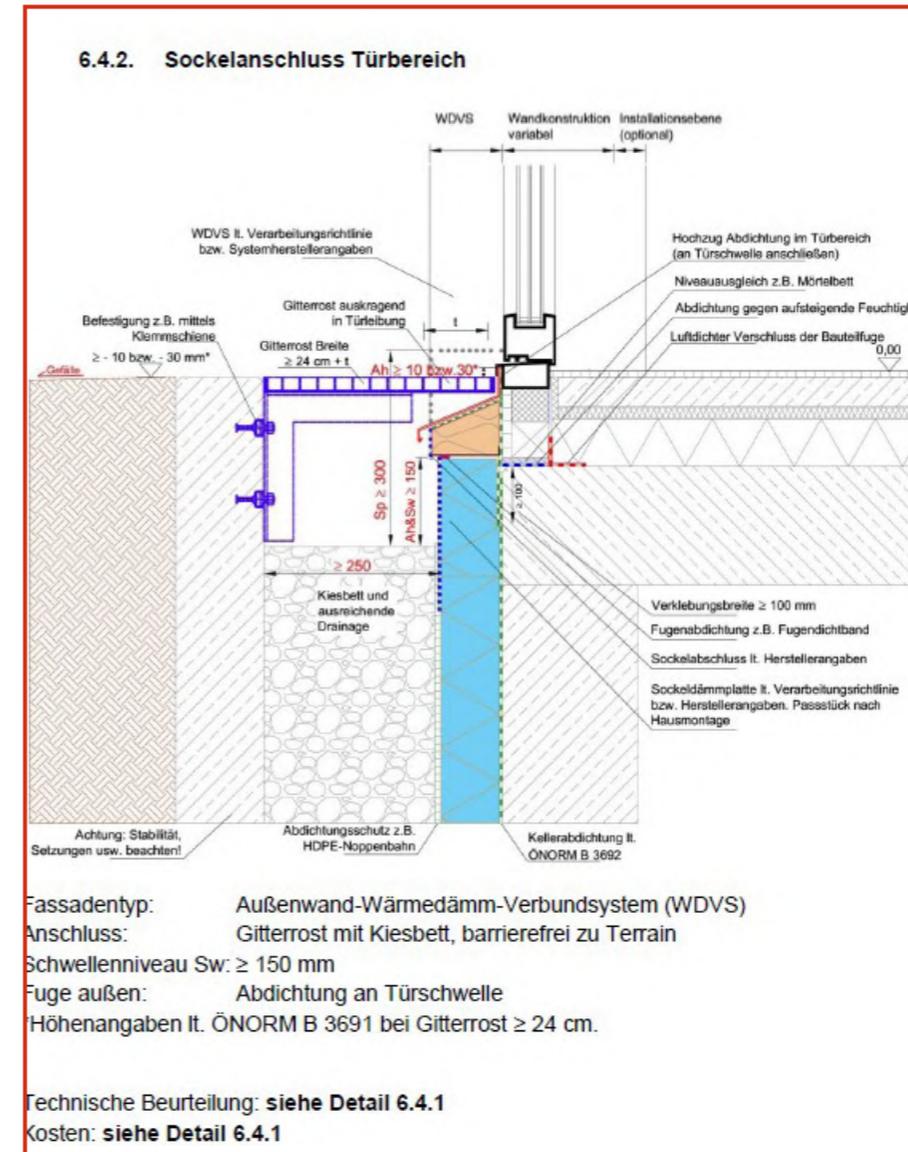
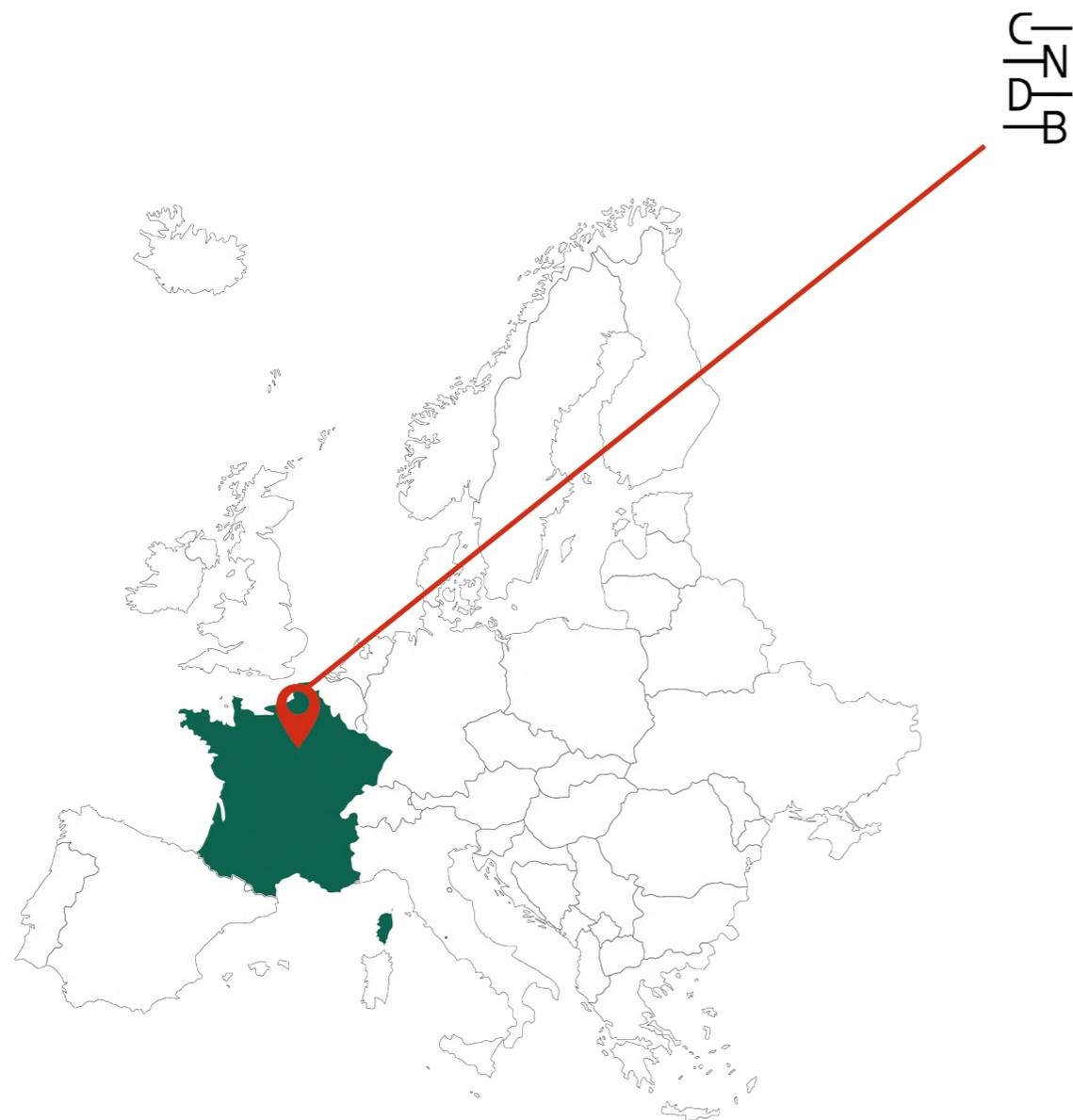


Figura 5.10 Un dettaglio di un attacco a terra performante ma costoso. Fonte: "Holzforschung Austria, 2015, Richtlinie Sockelanschluss im Holzhausbau. Als Leitfaden für die Planung und Ausführung, scaricato da <https://www.ehz-neumarkt.de/files/downloads/Holz-Forschung-Austria-Richtlinie-Sockelanschluss-im-Holzhausbau.pdf>, p.24"



5.1.6 CNDB

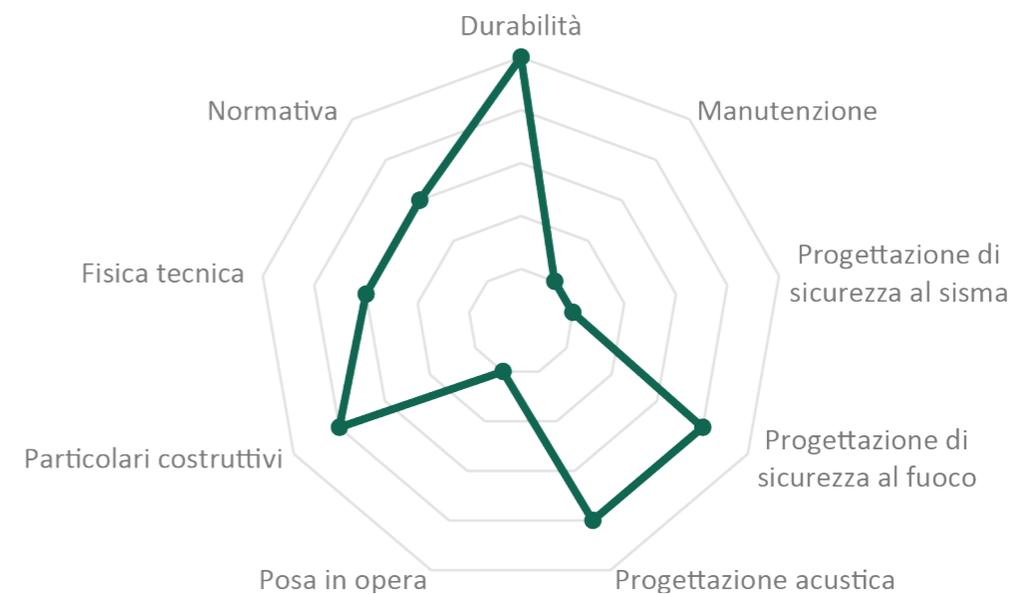
COS'E'

CNDB (“Comité National pour le Developpement du Bois”) è un’**associazione senza scopo di lucro**, il cui ruolo è quello di promuovere l’uso del legno e sostenerne lo sviluppo. Più di 40.000 operatori di “project management” popolano l’ecosistema CNDB. Membro attivo dell’industria forestale francese, il CNDB assiste e sostiene le organizzazioni professionali nella creazione e trasmissione dei loro messaggi ai professionisti e al pubblico in generale.

STRATEGIA

Le attività dell’associazione si basano sull’informazione, la comunicazione e la formazione di professionisti, nonché sulla promozione dei diversi usi del legno.

AMBITI PREVALENTEMENTE TRATTATI:



RISORSE

LA FORMAZIONE: Una delle attività principali della CNDB è la continua formazione delle diverse figure professionali: organizzano infatti **diversi moduli di formazione**, come ad esempio “Facciate in legno: isolare, ristrutturare e rivestire con il legno.”, “Tecnologie di costruzione in legno”, “Principi di costruzione”,... Tutti i corsi di formazione sono tenuti da professionisti che operano in diversi settori (architetti, ingegneri, termotecnici, ricercatori) con il fine di formare i diversi attori dell’intera filiera del legno. Inoltre il CNDB offre la possibilità per gli architetti di svolgere una formazione “sul campo” con un corso di apprendimento in cantiere in modo tale da formarsi, non solo sulla corretta progettazione, ma anche sulle buone pratiche da mettere in atto in cantiere. Su richiesta l’ente organizza corsi di formazione specifici per studi di progettazione che vogliono approcciarsi all’edilizia in legno. Inoltre, il CNBD organizza diversi **seminari e webinar** in collaborazione con aziende leader nel settore.

LINEE GUIDA REDATTE: Il CNDB non dispone di linee guida specifiche ma mette a disposizione **diverse pubblicazioni**, in particolare utilizzando come metodo l’**analisi di casi studio** con l’obiettivo di definire delle buone prassi da adottare. Un esempio di pubblicazione è “**B.A BOIS**”, composta da tre volumi, ognuno dei quali analizza un nodo costruttivo specifico (nodo balcone-parete, nodo tetto-terrazzo, “nodo” facciate). Il metodo utilizzato prevede l’analisi di un caso studio “in positivo”

richiamando gli aspetti normativi e definendo delle buone prassi da adottare.

STRUMENTI DI DIVULGAZIONE:

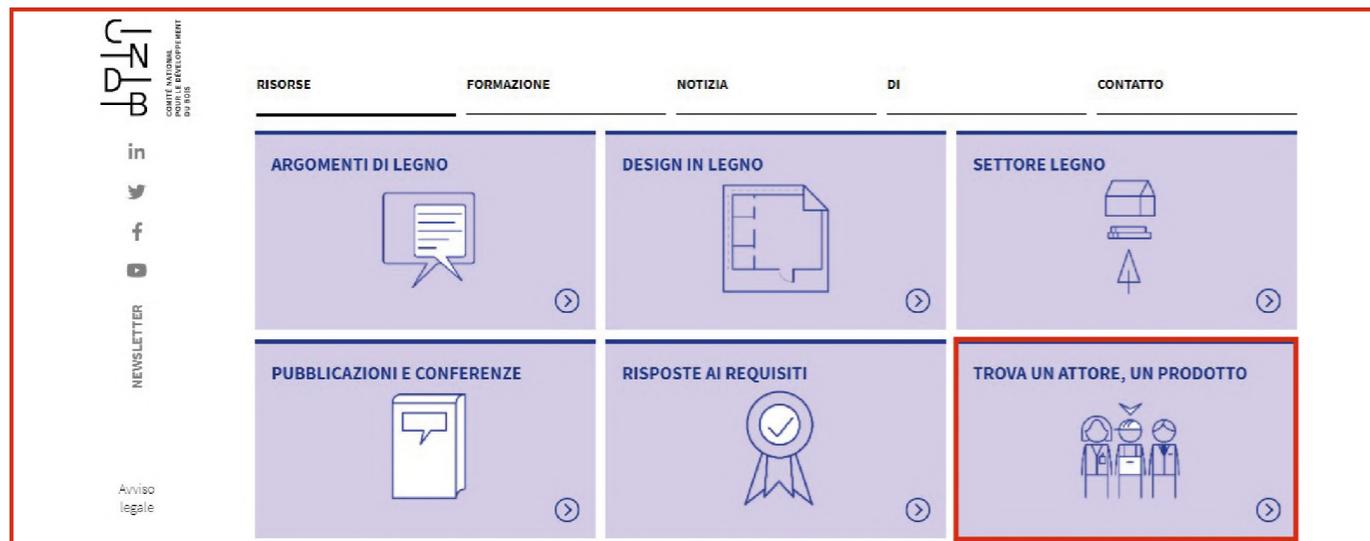
- Uno strumento molto utile per il committente che vuole un edificio in legno è la sezione “trova un attore, un prodotto”. Il CNDB mette a disposizione un **elenco di aziende, di professionisti riconosciuti come esperti del settore, di imprese specializzate nella costruzione di edifici in legno e di prodotti in legno certificati**. Per ogni categoria vengono indicate le associazioni di settore e un elenco completo e aggiornato annualmente delle diverse figure e/o prodotti, suddivisi per regione. Ad esempio, per quanto riguarda la sezione dei progettisti, il committente può accedere al sito www.club-oui-au-bois.com in cui vengono indicati gli architetti e gli ingegneri strutturisti specializzati e formati sul tema. Inoltre, tramite il sito “www.panorama-bois.fr”, sia il committente che il progettista possono prendere visione di alcuni progetti, realizzati a regola d’arte e candidati al **Premio Nazionale Costruzioni in Legno**, e dei relativi nodi costruttivi. Questo “strumento” permette al committente di fare delle scelte consapevoli e in qualche modo lo tutela.
- Un ulteriore strumento molto utile alle diverse figure professionali è la sezione dedicata alla **risposta ai quesiti**. La sezione è suddivisa in diversi temi, come ad esempio la progettazione al fuoco, la progettazione sismica, la durabilità, e il progettista può trovare normative di riferimento, linee guida o il rimando

ad altri siti che trattano il tema in modo esauritivo.

- Il CNDB produce **pubblicazioni** di propria iniziativa o su richiesta di altre organizzazioni. Sul sito è possibile trovare e prendere visione di quattro diverse collezioni di pubblicazioni: **BA-Bois, Experience feedback, Case studies, Wood essentials**. Queste quattro serie di pubblicazioni affrontano in modo approfondito il mondo delle costruzioni in legno analizzando diversi casi studio realizzati a regola d’arte, richiamando di volta in volta gli aspetti normativi fondamentali e le buone pratiche da mettere in atto. Oltre a queste pubblicazioni specifiche sulla progettazione, il CNDB mette a disposizione dei diversi attori pubblicazioni e studi sull’intera filiera del legno.
- Inoltre il CNDB mette a disposizione degli **strumenti specifici e dei rimandi a siti esterni** per la progettazione a regola d’arte, suddivisi a seconda della tecnica costruttiva e del componente: uno strumento molto utile è il sito <https://catalogue-bois-construction.fr/referentiels-techniques/boisref/mur/> che permette di visionare diverse soluzioni stratigrafiche e dettagli tecnici dei diversi componenti.
- Un ulteriore strumento messo a disposizione dei diversi attori, è il simulatore “**legno e biobased**”. Questo “tool” permette di stimare il tasso di legno e carbonio biogenico in una struttura, in base alle principali scelte costruttive. Questa applicazione può essere utilizzata durante la fase di progettazione come stima previsionale con lo scopo di effettuare delle scelte consapevoli in fase di progetta-

zione.

- Oltre a questo “tool” specifico, sono presenti numerose **schede tecniche su diversi prodotti a base di legno** evidenziando l’impatto ambientale e le dichiarazioni ambientali per i prodotti da costruzione.



↓ **STEP 1:** Sulla pagina web è possibile scegliere tra diversi “tool”, tra cui è presente anche “trova un attore, un prodotto”



↓ **STEP 2:** è possibile scegliere la categoria di interesse tra quelle proposte

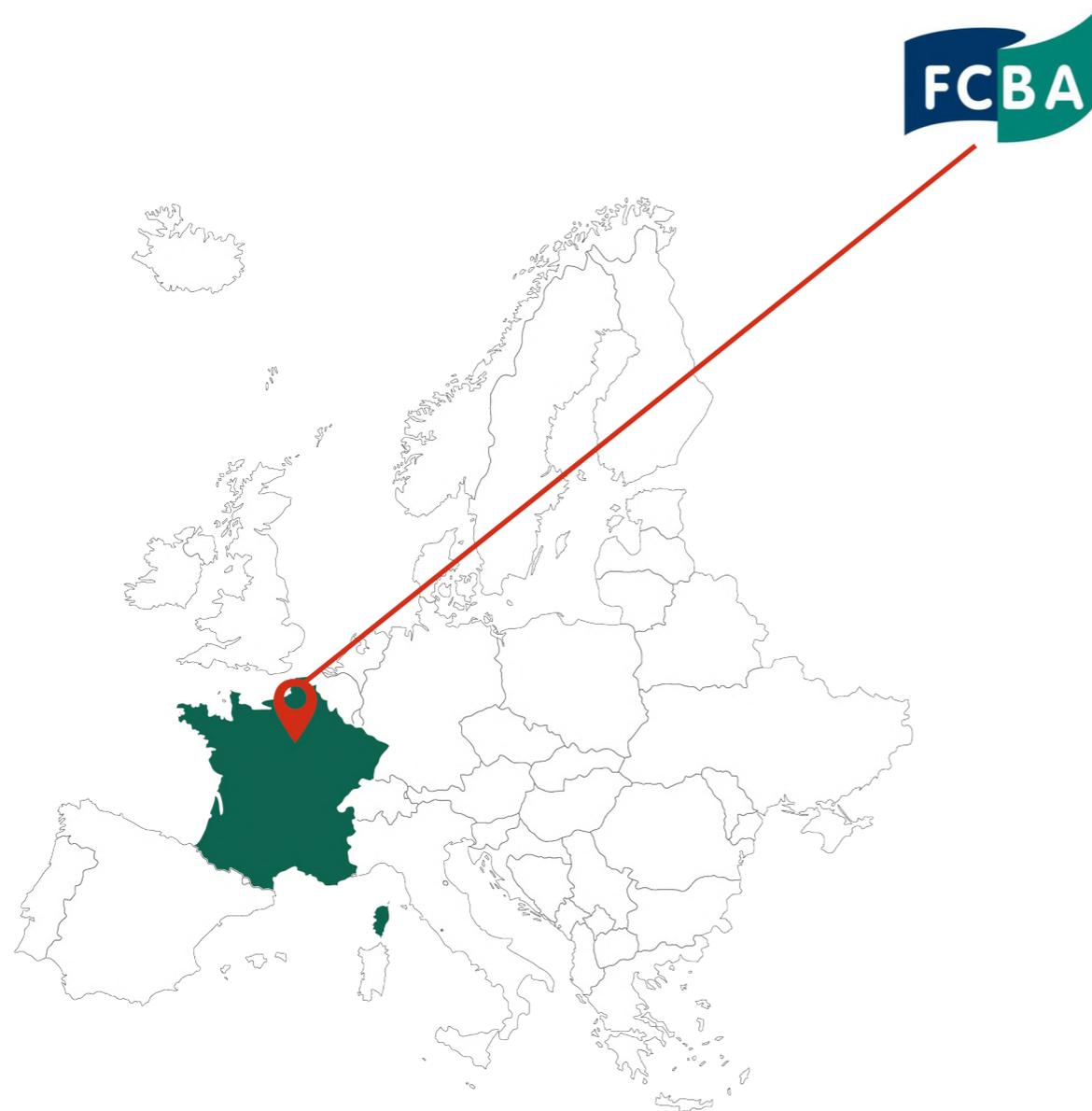
Pagina corrente e pagina a fianco: Figura 5.10 Step per individuare dei professionisti accreditati sul sito del CNDB. Fonte: www.cndb.org



↓ **STEP 3:** dopo aver selezionato la categoria, è possibile visionare le associazioni di riferimento a cui fare riferimento, consigliate da CNDB



STEP 4: ogni associazione di categoria fornisce un “database” da cui è possibile visionare gli esperti associati



5.1.7 FCBA

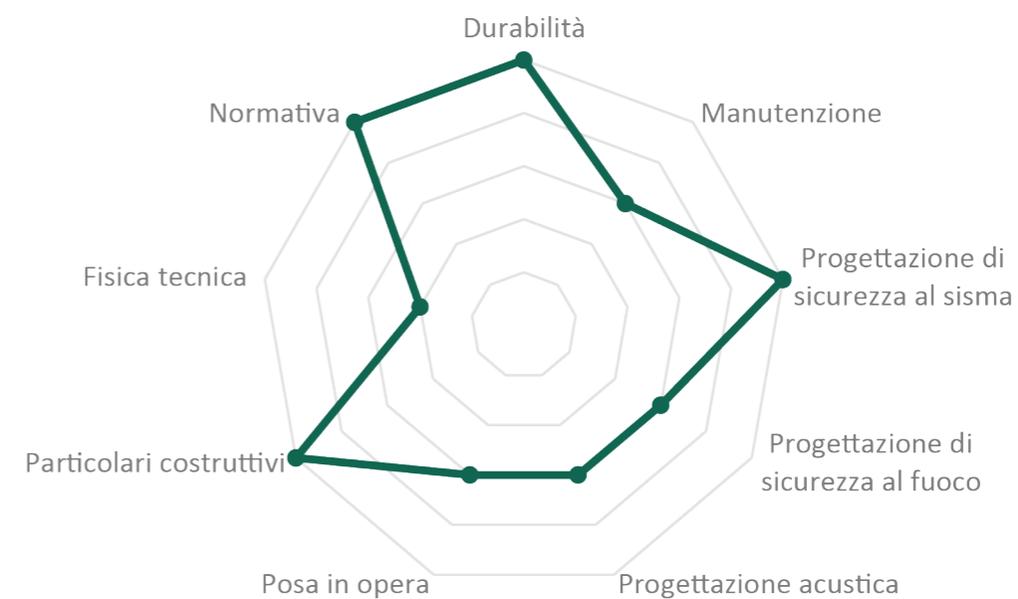
COS'È

L'FCBA è un **istituto tecnologico di ricerca Francese**: promuove il “progresso” tecnico del legno coprendo tutti i settori di applicazione (forestale, architettura e arredo). Le attività principali dell'ente sono la ricerca, lo sviluppo, la Normativa, l'assistenza tecnica e la formazione.

STRATEGIA

L'FCBA mette a disposizione delle aziende il proprio “know-how” e le competenze, supporta i professionisti affinché occupino una posizione di leadership sui mercati nazionali e internazionali. Inoltre svolge numerosi lavori di ricerca sull'intera filiera del legno (studi sulle risorse legnose e biomasse, misurazioni delle emissioni di COV e formaldeide..).

AMBITI PREVALENTEMENTE TRATTATI:



RISORSE

FORMAZIONE: l'FCBA è anche un'organizzazione di formazione accreditata e riconosciuta: la sua offerta formativa riguarda il processo di progettazione di un edificio in legno dalla "culla" alla fase di posa in opera. Un esempio di corso di formazione, è il corso di specializzazione sugli Eurocodici: il corso è rivolto agli ingegneri strutturisti e agli architetti e tratta in modo teorico e pratico le regole normative per la corretta progettazione di un edificio in legno. Durante le sette giornate di corso intensivo, vengono trattati i vincoli normativi sia in forma teorica sia in modo pratico, attraverso simulazioni di casi studi. Un ulteriore corso di specializzazione è quello relativo alla diagnosi delle patologie del legno in edilizia: i progettisti vengono formati riguardo alle buone pratiche da mettere in atto per una maggiore durabilità delle strutture e vengono fornite le basi teoriche e pratiche per eseguire una **corretta diagnosi dei problemi e le possibili soluzioni** da mettere in atto in caso di marcescenza di parte della struttura.

LA NORMATIVA: l'Ufficio per la standardizzazione del legno e del mobile (BNBA), parte di FCBA, guida e coordina il **lavoro di standardizzazione per il legno**, i suoi prodotti derivati e i mobili. Sul sito è possibile avere accesso a **numeroso pubblicazioni** che hanno lo scopo di informare il progettista sui requisiti normativi e di semplificare la lettura della normativa cogente.

LINEE GUIDA REDATTE: L'FCBA essendo un Istituto di ricerca ha pubblicato diverse **pubblicazioni e linee guida** con un taglio molto teorico. Di seguito viene presentata una linea guida riguardante la durabilità:

FCBA, 2020, **Comprendre et maîtriser la durabilité du bois dans la construction**, scaricato da www.fcba.fr

TEMI TRATTATI:

- Contesto Normativo Francese ed Europeo;
- Gli agenti biologici e il degrado del legno;
- Capire, prescrivere e applicare il legno;
- Le soluzioni tecniche per una maggiore durabilità.

COMMENTI: questa linea guida affronta nello specifico il tema della **durabilità** delle costruzioni in legno con un approccio molto teorico. Il tema viene affrontato puramente da un punto di vista normativo senza dare però informazioni progettuali concrete ai professionisti.

STRUMENTI DI DIVULGAZIONE:

- FCBA supporta i progettisti offrendo un servizio di **consulenza per la progettazione** di un edificio in legno. L'istituto tecnologico di ricerca, infatti, propone un servizio di collaborazione con il progettista per assistenza nella fase progettuale, nella stesura del progetto esecutivo e si propone di monitorare le diverse fasi di lavoro in modo da ridurre al minimo le possibili problematiche tecniche che possono sorgere durante l'iter di progettazione di

un edificio;

- Un servizio che l'Ente mette a disposizione è **Connect'Expert**: grazie a questa applicazione, il progettista, può ricevere istantaneamente una consulenza, a pagamento, specifica sui vincoli normativi o sui regolamenti edilizi, sulla progettazione della resistenza al fuoco, sulle accortezze da mettere in atto a favore della durabilità della struttura. Inoltre, è possibile richiedere una consulenza anche in ambito giuridico e sulla scelta consapevole del sistema costruttivo più adatto alle peculiarità del progetto;

- Uno strumento che FCBA mette a disposizione è **l'analisi del mercato**. Questo strumento è studiato appositamente per le aziende della lavorazione primaria (segherie), della lavorazione secondaria (imballaggi, mobili..) e delle aziende che producono prodotti in legno per l'edilizia. Gli esperti dell'ente di ricerca identificano i possibili sbocchi dei prodotti, studiano attentamente l'andamento del mercato del legno e valutano l'impatto ambientale dei prodotti dell'azienda;

- Uno strumento molto utile ai diversi attori della filiera del legno è il servizio **De-Bois** che permette di accedere alle **Schede di Dichiarazione Ambientale e Sanitaria (FDES)** dei prodotti, permettendo così al professionista di effettuare delle scelte consapevoli. Questo servizio è curato da FCBA su mandato del Comitato professionale per lo sviluppo dell'industria Francese del mobile e del legno (CODIFAB). Può essere utile sia al professionista, inserendo le caratteristiche del prodotto che

si intende utilizzare, sia all'azienda che può ottenere la scheda inserendo i parametri di produzione (origine e fornitura del legno segato, output di processo, consumo di elettricità per la produzione, ecc.);

- **BoisREF**: uno strumento sviluppato dall'ente, in collaborazione con diverse associazioni del settore, è il sito www.catalogue-bois-construction.fr. Questo strumento, simile a "DataHolz", permette al professionista, inserendo indicazioni progettuali specifiche, la possibilità di aver accesso a una **scheda riassuntiva delle buone pratiche** da mettere in atto per il nodo specifico selezionato e dei **riferimenti relativi alla Normativa Tecnica Francese** e delle linee guida specifiche redatte da FCBA. L'obiettivo è promuovere, attraverso la sensibilizzazione e lo sviluppo di uno strumento adeguato, l'appropriazione in modo semplice e intuitivo delle conoscenze tecniche del settore. Inoltre, tramite questo sito, è possibile accedere a molte pubblicazioni redatte congiuntamente da FCBA e CODIFAB, su diversi temi quali, ad esempio, la sicurezza antincendio, il processo di fabbricazione, la durabilità, la normativa... Inoltre è presente una sezione dedicata ai prodotti accompagnati da delle schede che contengono informazioni sulle caratteristiche tecniche, sui requisiti normativi relativi al prodotto in questione;

- Tramite il sito di FCBA è possibile accedere a diversi siti specializzati su determinate tematiche, sviluppati da FCBA in collaborazione con altri enti e associazioni di settore: un esempio è il "tool" **Innovatchèque** che mette

a disposizione una banca dati classificata in tre differenti categorie (materiali, processi e sistemi) e per ogni scheda vengono indicate le caratteristiche tecniche, l'impatto ambientale, le modalità di lavorazione...

PROTOCOLLI DI CERTIFICAZIONE: l'ente di ricerca mette a disposizione delle **consulenze specifiche per ottenere diverse certificazioni** come, ad esempio, la CARB che certifica i pannelli a base di legno destinati all'arredamento secondo il contenuto di formaldeide.

FCBA ha sviluppato diversi **marchi di certificazione riuniti nel marchio CTB (Certifié par FCBA)** specifici per l'industria del mobile. Gli ambiti dedicati a questa certificazione, infatti, sono quelli dell'arredamento, delle costruzioni in legno e della sostenibilità. FCBA collabora con i produttori durante gli audit dei processi di produzione per certificare le prestazioni e le qualità dei prodotti fabbricati. Ha sviluppato una certificazione di servizio che attesta la capacità di progettazione, produzione e implementazione di un'azienda, con lo scopo di garantire il rispetto dell'etica professionale. Alcuni esempi di certificazione che fanno parte di questo marchio sono:

- Per quanto riguarda la durabilità degli edifici in legno, viene rilasciata la certificazione **CTB B+** che attesta l'idoneità all'uso del legno nelle opere edili e di ingegneria civile, garantisce che la durabilità naturale o conferita dal trattamento renda il legno idoneo per la classe d'uso e di servizio in cui si trova l'edificio;
- Il marchio **CTB BARDAGE BOIS** certifica alcune caratteristiche come il tipo di legno, la

sua origine, la geometria dei profili, l'umidità, la compatibilità con la classe di utilizzo;

- **CTB Constructeur Bois:** questa certificazione attesta la qualità del servizio fornito dai costruttori di strutture in legno. Le caratteristiche certificate riguardano il controllo della progettazione, fabbricazione e realizzazione;
- **CTB Lamellès Collès aboutès:** questa certificazione attesta le caratteristiche di fabbricazione (qualità dell'incollaggio, impiallacciatura) dei profili lamellari incollati di testa destinati all'uso in carpenteria esterna;

Inoltre FCBA, in qualità di organismo notificato ai sensi del regolamento sui prodotti da costruzione (CPR), è responsabile della valutazione della conformità dei prodotti secondo il regolamento n. 305/2011 che prevede la marcatura CE dei prodotti da costruzione.

Sul sito sono presenti numerosi elenchi di prodotti, materiali, componenti che presentano delle certificazioni. Questo sicuramente è molto utile e permette al progettista e/o committente di intraprendere delle scelte consapevoli nei confronti dell'ambiente.

COLLABORAZIONI IN ATTO: l'ente di ricerca collabora per la stesura delle pubblicazioni e degli standard con il Comitato professionale per lo sviluppo dell'industria Francese del mobile e del legno (CODIFAB)



↓ **STEP 1:** Sulla pagina web è possibile ottenere informazioni riguardanti stratigrafie, rivestimenti e elementi di carpenteria.



↓ **STEP 2:** è possibile ottenere informazioni più approfondite di alcuni nodi costruttivi

CARATTERISTICHE TECNICHE

Ricerca

Larghezza dei montanti: 145 mm

Doppiaggio interno: 0

Doppiaggio esterno: 0

ricercare

Numero di risultati: 15

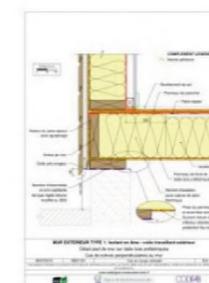
Soluzioni di rivestimento per interni	SEMAFORO Prestazioni al fuoco in pochi minuti	ACUSTICO Riduzione acustica del rumore aereo esterno RA in dB	TERMICO		
			Conducibilità termica (lambda) dell'isolamento in W/mK	Coefficiente di trasmissione termica Up in W/m2.K	Resistenza termica R in m2.K / W
1 BA 13	REI 15	32	0,032	0,239	3,92
2 BA 13	REI 30	35	0,032	0,239	3,92
1 BA 15F	REI 30	33	0,032	0,239	3,92
1 BA 18	REI 30	34	0,032	0,239	3,92
2 BA 18	REI 60	36	0,032	0,239	3,92

Les indices d'affaiblissement acoustique et de niveau de bruit de choc normalisé pondéré donnés dans le tableau ci-dessus sont basés sur :

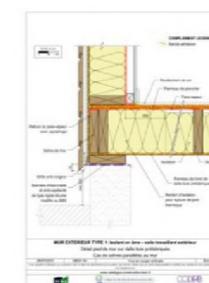
- 32 La méthode simplifiée Etude Acoubois 2014
- 33 Des PV d'essais
- 36 Des estimations à partir des PV d'essai

In acustica, per pareti che mirano all'isolamento (valore normativo) inferiore a 35 dB, i valori dell'indice di riduzione del

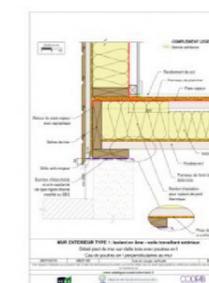
PUNTI SINGOLARI



ME01-03



ME01-04



ME-01-05

Piede a muro su lastra di legno - travetti perpendicolari al muro

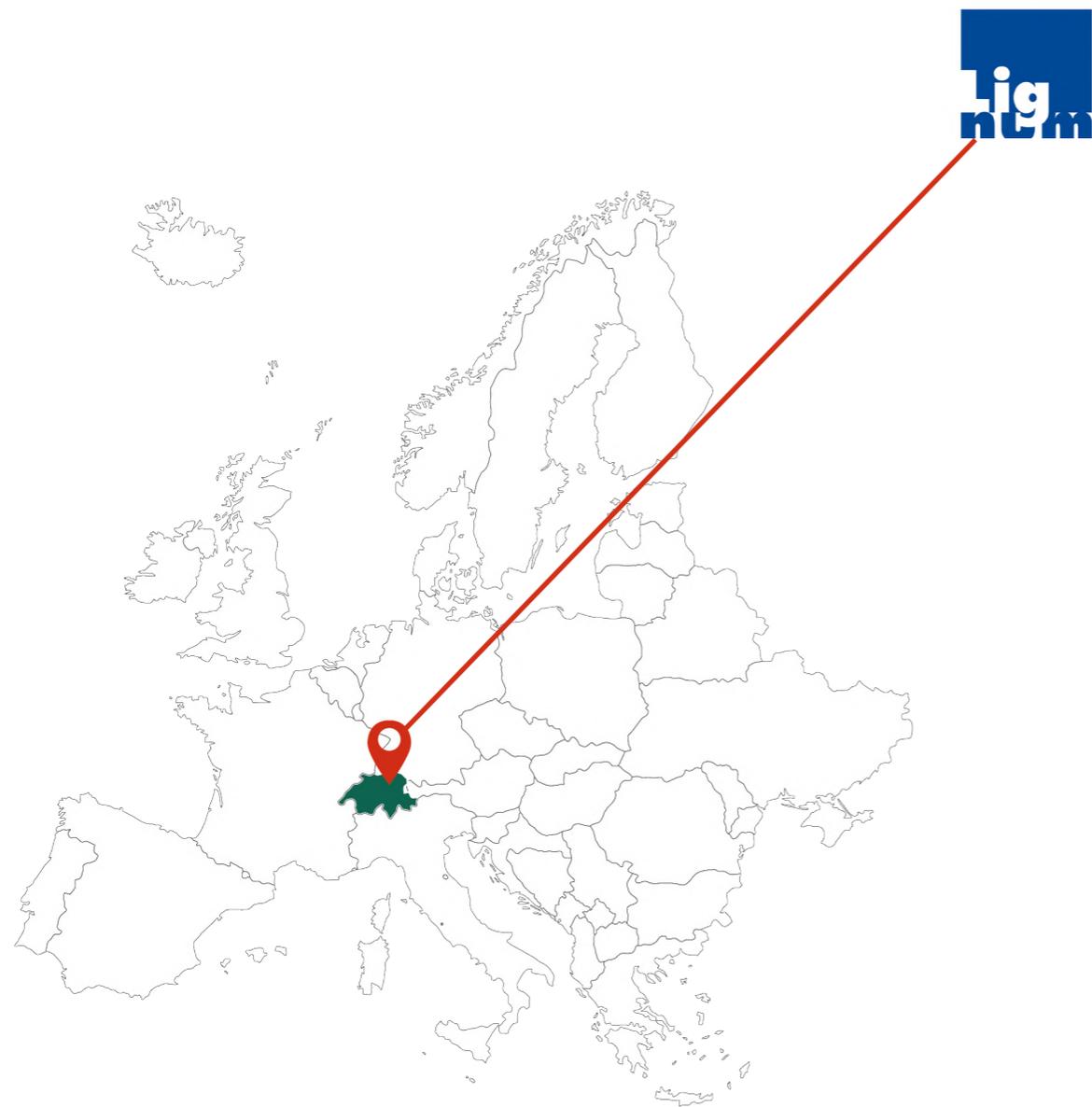
Piede a muro su lastra di legno - travetti paralleli al muro

Base a muro su lastra di legno con travi a I - travi perpendicolari alla parete

Prodotto	Produttore	Certificati, omologazioni,...
EGGER DHF	Fritz Egger Gesellschaft mbH & Co	↓ DoP (321 KB)
KRONO SVIZZERO WP / DP 50	SWISS KRONO sp.z oo	↓ DoP (192 KB)

Pagina corrente e pagina a fianco: Figura 5.11 Step per individuare i componenti di una stratigrafia. Fonte: www.catalogue-bois-construction.fr

STEP 3: vengono fornite le caratteristiche di resistenza al fuoco, acustiche e termiche della stratigrafia selezionata, oltre a materiale in pdf/dwg di alcuni nodi critici



5.1.8 Lignum

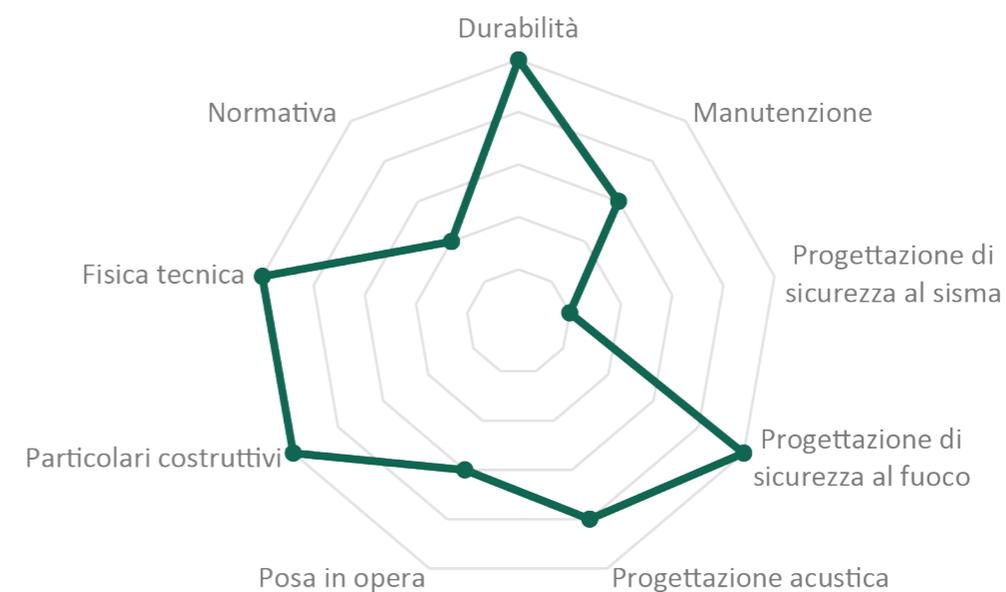
COS'E'

Lignum è un'organizzazione Svizzera che riunisce tutte le più importanti associazioni, organizzazioni e istituti di ricerca della filiera del legno nel paese. Lignum ha cinque obiettivi fondamentali: ampliare la conoscenza per le applicazioni del legno, migliorare le condizioni del quadro tecnico, aumentare la consapevolezza dell'uso del legno, delineare uno sviluppo sostenibile della filiera e raggruppare le forze del settore sul piano politico.

STRATEGIA

La strategia di Lignum è quella di divulgare il più possibile l'utilizzo del legno tramite servizi di supporto al progettista, principalmente legati alla divulgazione di buoni esempi e soluzioni tecniche.

AMBITI PREVALENTEMENTE TRATTATI:



RISORSE

FORMAZIONE: Lignum organizza spesso **eventi di formazione e seminari**, ma non è una delle sue attività principali.

CONSULENZA:

- Lignum mette a disposizione un **servizio di consulenza per i progettisti** che vogliono avere supporto in merito a informazioni tecniche sul legno, mediazione di aziende, contatti nel settore del legno e consulenza sugli appalti di edifici pubblici e privati. Questo servizio, gratuito fino ai 30 minuti di chiamata, è supervisionato da esperti del team di Lignum;
- Lignum **redige perizie** indipendenti e su richiesta in relazione al legno. Oltre alle conclusioni tecniche, l'organizzazione spesso fornisce soluzioni proporzionate e soddisfacenti per entrambi le parti coinvolte;
- Lignum inoltre dà la possibilità ai professionisti, alle aziende e ai proprietari delle foreste di associarsi. Tramite il pagamento di una quota annuale, gli **associati** possono beneficiare di diversi servizi forniti dall'organizzazione, quali i servizi precedentemente descritti ma in versione gratuita, l'accesso alle pubblicazioni di Lignum e numerose sconti.

LINEE GUIDA: Lignum non ha redatto delle vere e proprie linee guida ma trimestralmente pubblica un bollettino, "**Holzbulletin**", redatto in lingua tedesca e "**Bulletin Bois**", redatto in lingua francese. Ogni numero, fornito gratuitamente a ogni socio,

tratta un argomento specifico, presentando l'analisi di edifici innovativi (in legno) come buone pratiche da seguire. Ogni progetto viene documentato grazie all'intenso scambio dell'organizzazione con i progettisti, che permette l'inserimento di foto di cantiere, disegni di piante, prospetti, particolari costruttivi e altro. Il bollettino ha l'obiettivo di essere una **fonte di ispirazione per il progettista, oltre che fungere da strumento di supporto**. Questi bollettini, solo da alcuni anni, sono resi disponibili sotto forma di cataloghi, attraverso la piattaforma gratuita "ISSUU". Sul sito di Lignum è inoltre disponibile una carta geografica della Svizzera in cui sono localizzati tutti i progetti documentati dalla rivista con relativi rimandi, fotografie e informazioni. "**Lignatec**", invece, è un opuscolo tecnico che copre in modo completo gli attuali aspetti tecnici del legno, dei materiali e dei processi. Lignatec raggruppa i contributi di diversi esperti del settore in massimo tre numeri annuali e viene fornito in formato pdf gratuito.

Lignum, infine, redige periodicamente delle **pubblicazioni specializzate** su tutti gli aspetti dell'uso strutturale del legno, suddividendole in tre categorie: architettura, costruzione e legno. Questi libri, disponibili solo in formato cartaceo, sono invece solamente a pagamento.

STRUMENTI DI DIVULGAZIONE:

- Lignum partecipa attivamente a fiere e esposizioni.
- Al momento Lignum ha **tre tavoli di lavoro** attivi: una commissione per la protezione del legno, una commissione di certificazione e un comitato di esperti svizzeri "Legno antincen-

dio".

- L'organizzazione redige, inoltre, delle **pubblicazioni in merito alle dogane** per il commercio del legno.

- Lignum offre sul proprio sito un elenco di **informazioni, articoli, novità del settore**, suddivisi in funzione di alcuni macro argomenti: antincendio, insonorizzazione, protezione del legno, strutture e sostenibilità.

- Lignum sulla propria piattaforma, inoltre, inserisce uno strumento "**Legno dalla A alla Z**" in cui è possibile consultare differenti articoli in relazione a differenti argomenti.

- Ogni tre anni Lignum bandisce un "**Premio Lignum**" con lo scopo di valutare e premiare la qualità, l'originalità e l'utilizzo innovativo dell'uso del legno in edilizia, interior design e lavoro artistico. Il premio si svolge in parallelo nelle cinque regioni Svizzere.

- Uno strumento messo a disposizione da Lignum è il sito www.lignumdata.ch, un software paragonabile a tutti gli effetti a DataHolz. Su questa piattaforma vengono raggruppate le informazioni sui componenti e sui materiali da costruzione, fornendo al progettista diverse **sezioni tecnologiche** a cui fare riferimento.

A differenza dello strumento Austriaco, però, Lignumdata offre dei dati adattati alla descrizione digitale del sistema BIM per i modelli di edifici. La piattaforma, inoltre, offre la possibilità di scegliere tra sedici lingue diverse, rendendolo un **servizio internazionale**, a tutti gli effetti. Il sito offre due differenti possibilità:

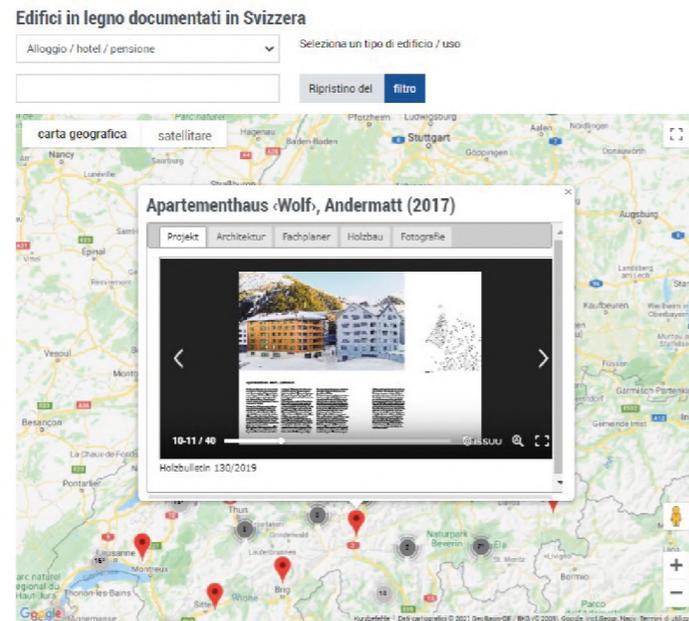
- La possibilità di valutare un databa-

se relativo a un **nodo costruttivo** tra quelli elencati (solaio, parete divisoria doppia, parete divisoria semplice, parete esterna, tetto a falde e tetto piano). In relazione al nodo scelto, per ottenere la scheda relativa al particolare di interesse, è necessario inserire alcune informazioni generali, quali i valori di isolamento acustico desiderati, lo spessore del componente, la trasmittanza termica,...; alcune informazioni riguardanti la costruzione; eventualmente è anche possibile selezionare un produttore tra quelli che collaborano con l'organizzazione. Il database fornirà diverse varianti dei particolari costruttivi tra cui scegliere, in funzione delle esigenze progettuali, una scheda di dettaglio corredata con alcuni dei principali indicatori di impatto e, come anticipato, i dati necessari per inserire il componente in **BIM**;

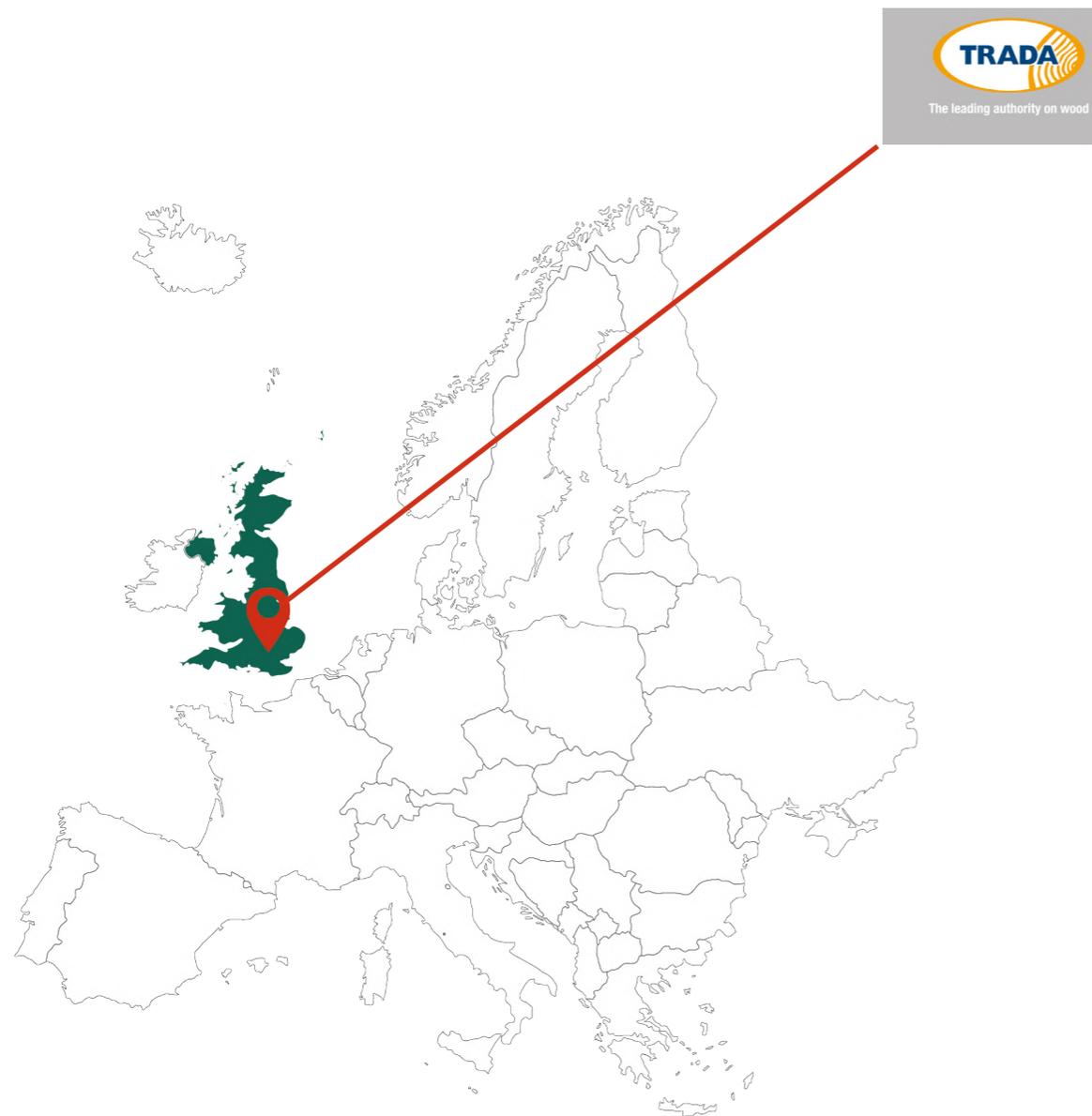
- La possibilità di valutare un database di **prodotti per l'edilizia in legno**. Questo servizio espone i principali prodotti di molte aziende svizzere.

Figura 5.12 Carta geografica con l'individuazione dei progetti. Fonte: www.lignum.ch

STEP 1: è possibile visionare tutti gli edifici in legno Svizzeri pubblicati sulle riviste di Lignum in quanto esempi esemplari. Questi sono divisi per categorie: turismo, scuola, ufficio, commercio, infrastrutture, arte, residenziale, ospedali.



STEP 2: per ogni esempio è possibile visionare la letteratura di riferimento, il nome del progettista, dell'impresa edile, ...



5.1.9 TRADA

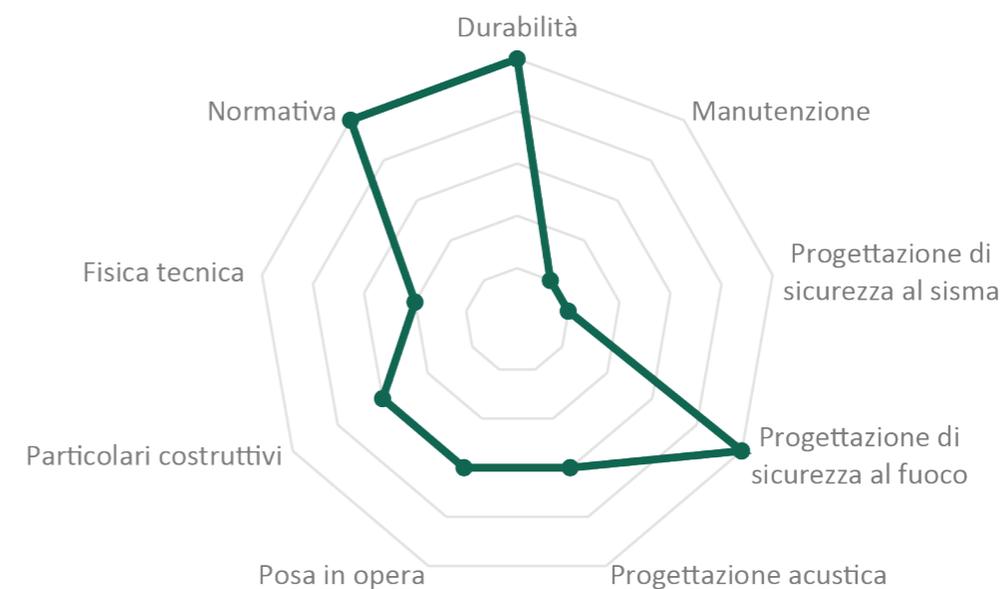
COS'E'

TRADA ("The Timber Research and Development Association") è un'organizzazione di appartenenza internazionale dedicata a ispirare e informare la progettazione, le specifiche e l'uso delle migliori pratiche del legno nell'ambiente costruito e nei campi correlati.

STRATEGIA

TRADA, attraverso il sito web e gli strumenti a esso correlati, ha l'obiettivo di diventare una sorta di guida indipendente alla progettazione di edifici in legno.

AMBITI PREVALENTEMENTE TRATTATI:



RISORSE

FORMAZIONE: Uno degli scopi principali dell'associazione è la **continua formazione**: organizzano infatti diversi corsi e seminari. In particolare, uno degli obiettivi, è quello di trasmettere le buone pratiche per realizzare costruzioni in legno a regola d'arte.

NORMATIVA: TRADA ha una serie di **pubblicazioni** fondamentali per promulgare e spiegare al meglio ai progettisti i principi base dell'Eurocodice 5. Organizza, infatti, dei seminari e corsi a pagamento per garantire una diffusione capillare dei "topics" legati alle Normative cogenti.

CONSULENZA: TRADA offre una linea di consulenza telefonica.

LINEE GUIDA: TRADA redige in modo continuativo delle **pubblicazioni** riguardanti ricerche in differenti ambiti. I "papers" però sono riservati ai membri associati e solo alcuni sono scaricabili anche dagli studenti, previa registrazione e autenticazione.

Un esempio sono le "*Schede informative sul legno*", dei piccoli opuscoli che forniscono, in modo totalizzante, un'**introduzione completa a molti argomenti relativi al legno**. Ogni documento, di circa 4-10 pagine, tratta in modo sintetico ma diretto un argomento particolare.

TRADA offre, inoltre, la possibilità di visionare una serie di **casì studio** selezionati dall'organizzazione per via della loro qualità in fatto di progettazione e costruzione. Ogni caso studio presenta una descri-

zione del progetto, con un accento posto sul motivo per cui è stato selezionato il legno e come viene applicato nella costruzione, corredando il tutto di documentazione tecnica e fotografie di cantiere.

STRUMENTI DI DIVULGAZIONE: E' possibile diventare **membri di TRADA** e, a seconda della categoria di appartenenza selezionata (industria del legno, appaltatori, professionisti, docenti, studenti), è possibile accedere ad alcune informazioni gratuite e risorse online quali, ad esempio:

- La possibilità di visualizzare centinaia di **pubblicazioni tecniche** sviluppate da TRADA;
- La possibilità di accedere a **eventi di formazione** in forma gratuita o fortemente scontata;
- La possibilità di utilizzare il software di progettazione "**TimbersizerPro EC5**" che permette di calcolare gli elementi strutturali in legno e le relative connessioni in funzione delle normative cogenti;
- La possibilità di visionare oltre sessanta schede informative relative a un'ampia gamma di argomenti relativi al legno in funzione di una corretta progettazione e posa in opera delle strutture;
- L'accesso alla **banca dati** relativa alle migliori pratiche per la realizzazione di dettagli costruttivi in legno.;
- L'accesso ai **report trimestrali redatti dalla Construction Products association in relazione all'andamento del mercato dell'edilizia**;
- La possibilità di entrar a far parte della

rete "**Find a supplier**" ovvero "Trova un fornitore": questo strumento permette a tutti gli "stakeholder" del settore delle costruzioni in legno (e non solo) – quali produttori, distributori, agenti, rivenditori, installatori, progettisti, ecc. - di caricare brochure, indirizzi e descrizioni aziendali;

- L'accesso a un **database per la scelta delle specie legnose** da adottare in edilizia, a seconda delle esigenze progettuali;
- L'accesso a un **motore di ricerca in cui è possibile visionare tutti i progetti** e le sperimentazioni in atto riguardanti il legno. L'aspetto interessante è che i membri stessi di TRADA possono suggerire un argomento di ricerca oppure, previa compilazione di un modulo, anche inviare i propri risultati di ricerca.

TRADA pone, inoltre, una **particolare attenzione all'ambito universitario**, sia per quanto riguarda i docenti, ma soprattutto per quanto riguarda gli studenti di architettura, ingegneria, ovvero i progettisti del domani. Di seguito verranno elencate alcune iniziative:

- La possibilità di accedere a una serie di **risorse fondamentali per l'apprendimento**, che spaziano dalla conoscenza del legno come materiale naturale, sostenibile, biodegradabile e fondamentale per la mitigazione del clima, a pubblicazioni che riguardano l'uso del legno come materiale da costruzione, le Norme a cui fare riferimento per la progettazione, ...
- Per stimolare gli studenti universitari, TRADA organizza spesso **competizioni interne**

alle università o finanzia la progettazione e realizzazione di moduli in legno offrendo borse di studio agli studenti più meritevoli delle Università Partner;

- Gli studenti hanno accesso, come gli altri membri di TRADA, alle "Eurocode 5 Span Tables", delle tavole di supporto alla scelta dei componenti in legno, a seconda delle caratteristiche progettuali, garantendo un rispetto delle normative cogenti.

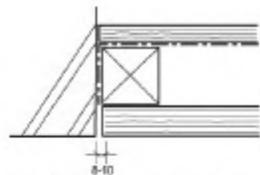


Figure 1: Separation gap between timber and other components

- using gravel or drainage channels to reduce water splash below wood cladding or joinery
- ensuring that flashings below wood components do not project to the extent that rain will splash back onto surfaces above – if protection is necessary, angle the surface sufficiently to deflect water
- supporting timber posts or columns on steel brackets out of ground contact and above splash level – supports should be designed to avoid moisture traps.

Examples of protective design against wetting

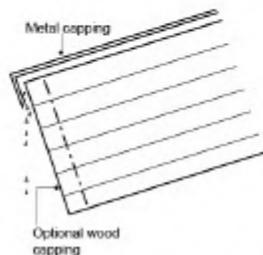


Figure 2: Sloping ventilated capping on an exposed beam

The upper surfaces of exposed timber or timber composite beams may be protected by preformed metal capping with an airspace between, to provide ventilation and drain away any condensation. Protect the exposed end grain of timbers by sealing or with wood or metal cappings.

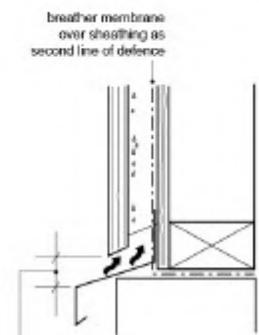


Figure 3: Ventilated cavity behind timber cladding

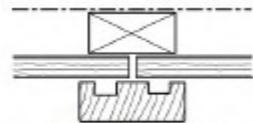


Figure 4: Pressure relief grooves in timber cladding

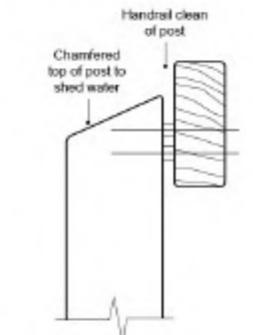


Figure 6: Typical post base to avoid water entrapment and splashing

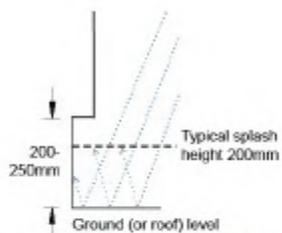
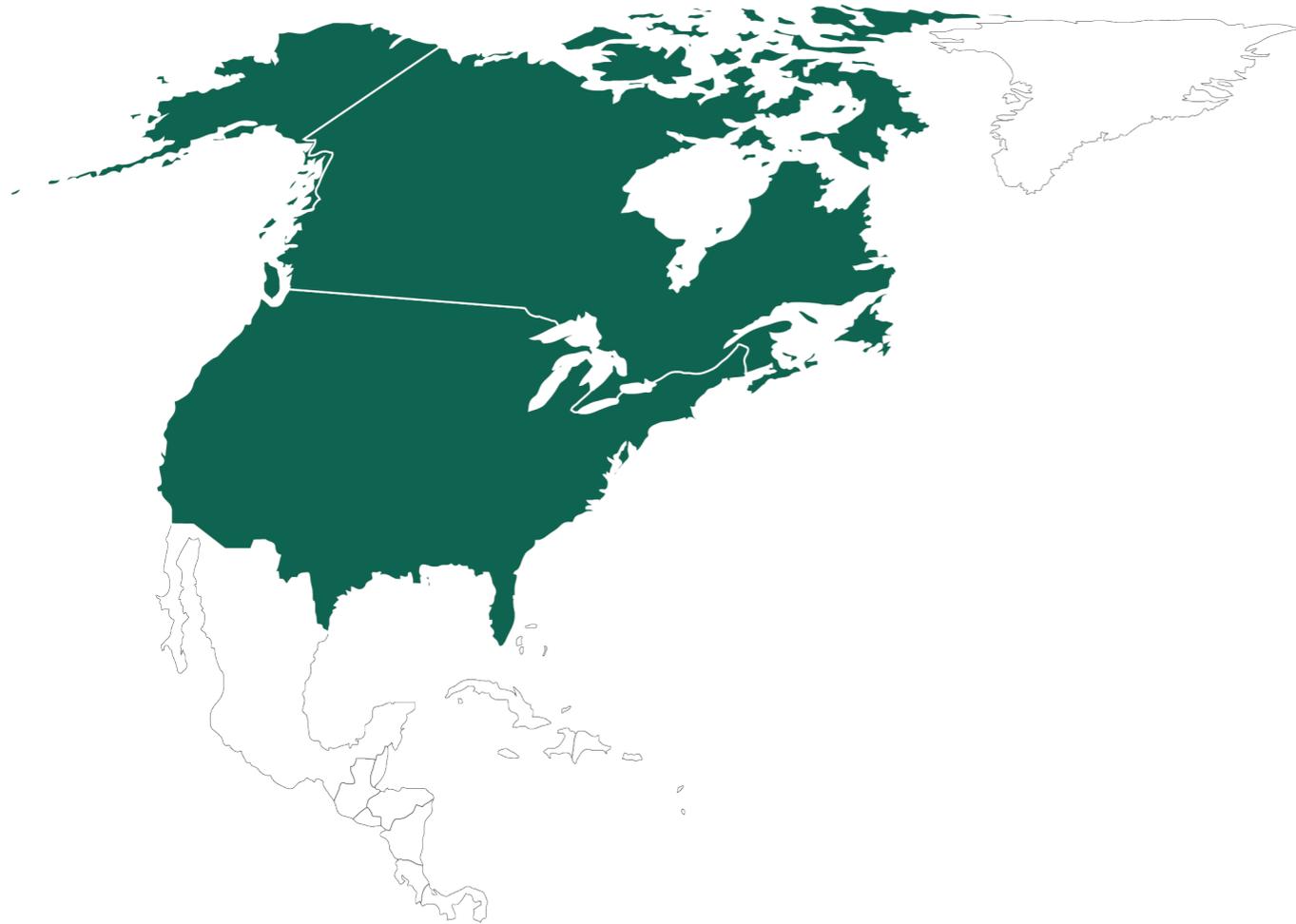


Figure 5: Timber raised above splash zone



Figure 7: Handrail and post details to protect end grain of timber

Figura 5.13 Esempi per la progettazione di particolare per proteggere il legno dall'acqua piovana. Fonte: TRADA, s.d., Module: *Construction principles, specification and design Unit: Designing for durability. Parte 2: principles of design*, scaricato da www.trada.co.uk, p.3



5.1.10 THINK WOOD

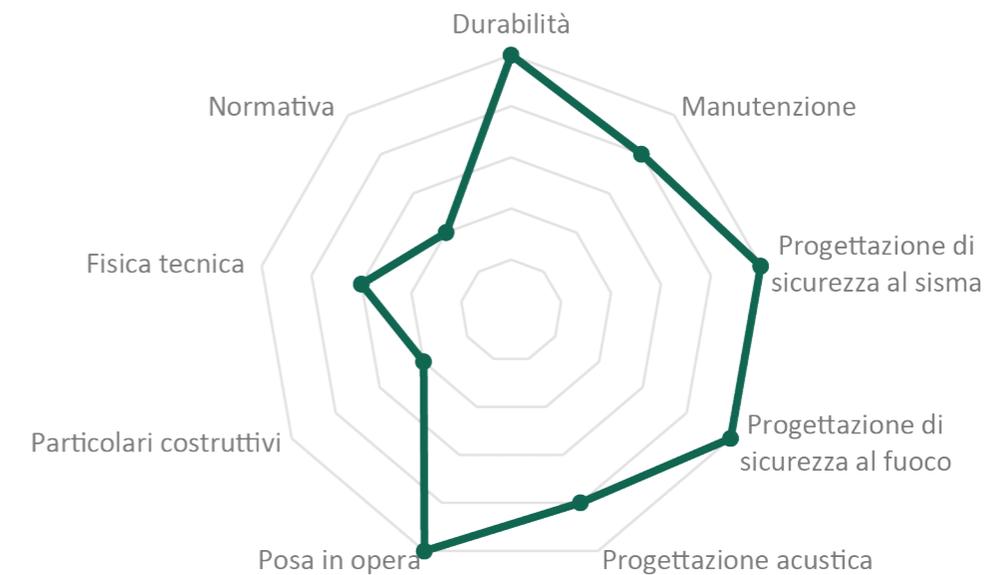
COS'E'

Think Wood è una **campagna di comunicazione** che fornisce risorse per la progettazione e la costruzione di edifici in legno. Il principale finanziatore di Think Wood è il "Softwood Lumber Board". Think Wood è stato istituito per promuovere i vantaggi e gli usi dei prodotti in legno di Conifere nelle costruzioni residenziali e non residenziali.

STRATEGIA

Lo scopo di Think Wood è quello di promuovere l'uso del legno in edilizia e incrementare la conoscenza di questo materiale tra le diverse figure dell'iter di progettazione e realizzazione. Il sito raggruppa una serie applicativi di calcolo, pubblicazioni, report e linee guida, rimandando spesso a Enti di Ricerca, associazioni e Università.

AMBITI PREVALENTEMENTE TRATTATI:



RISORSE

FORMAZIONE: una delle attività di Think Wood è la **formazione continua** per tutti gli attori dell'iter di costruzione, in collaborazione con **The Wood Institute**. Il catalogo di corsi di formazione consente, infatti, agli architetti, ingegneri, appaltatori di formarsi sul tema e di acquisire i crediti richiesti dall'American Wood Council. I corsi di formazione organizzati spaziano su molti temi come ad esempio la sostenibilità, i prodotti e materiali, le prestazioni e gli edifici in legno multipiano.

LINEE GUIDA REDATTE:

Think Wood, **Wood Performance: Fire Safety**, scaricato da <https://info.thinkwood.com>

TEMI TRATTATI:

- Il codice edilizio internazionale;
- La massa carbonizzata rallenta la combustione dell'elemento in legno;
- Legno massiccio: nuove disposizioni approvate;
- Risultati dei test di sicurezza antincendio in legno massiccio;
- Sicurezza antincendio: cantieri ed edifici occupati.

COMMENTI:

Questa linea guida sotto forma di eBook **illustra gli aspetti normativi e la corretta progettazione antincendio** negli edifici in legno. Un aspetto molto interessante è che rimanda a dei video in cui è possibile vedere il comportamento al fuoco degli

edifici e ad altre linee guida/manuali per una corretta progettazione.

WoodWorks and Think Wood, 2021, **Mass Timber Design Manual**, scaricato da <https://info.thinkwood.com>

TEMI TRATTATI:

- Prodotti in legno;
- Applicazioni e progettazione degli edifici in legno;
- Soluzione per costruire edifici alti in legno;
- Sostenibilità.

COMMENTI:

Questo manuale, che verrà aggiornato ogni anno, contiene **documenti tecnici di Wood Works e Think Wood, casi studio, domande e risposte degli esperti e guide tecniche per la corretta progettazione e posa in opera**. Per ogni argomento il manuale rimanda a manuali specifici, pubblicazioni o materiale didattico presente nel web.

STRUMENTI DI DIVULGAZIONE:

- Il sito mette a disposizione un'**enciclopedia del legno**: questo strumento permette di accedere a una serie di schede sulle diverse specie legnose. Per ogni specie legnosa vengono indicate le caratteristiche fisiche, la provenienza geografica, gli usi, l'aspetto e alcuni aspetti legati alla sostenibilità. Inoltre viene messa a disposizione una vera e propria libreria digitale in cui il progettista può scari-

care diverse pubblicazioni sui diversi aspetti delle costruzioni in legno: le connessioni, la prefabbricazione, la progettazione antincendio, il mercato del legno in Nord America...

- Think Wood mette a disposizione del progettista una serie di **strumenti di progettazione**, ovvero delle pubblicazioni suddivise per argomento in cui il progettista può trovare delle indicazioni tecniche e progettuali, dei dettagli costruttivi dei nodi critici, delle buone prassi da mettere in atto a favore della durabilità.

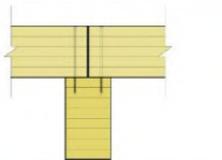
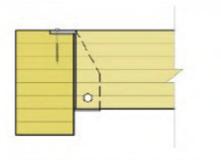
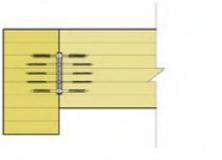
- Per sostenere e supportare il progettista, il sito rimanda a una serie di **programmi per il calcolo di alcune specifiche** per gli edifici in legno. Un esempio, è il "calcolatore di altezze e aree", strumento realizzato da un lavoro congiunto dell'American Wood Council, WoodWorks - The Wood Products Council e dell'International Code Council (ICC). Permette al progettista di calcolare le altezze massime degli edifici in funzione della protezione antincendio, seguendo le norme dell'International Building Code®.

- Inoltre è presente una sezione che contiene le **schede di Dichiarazione Ambientale di Prodotto (EPD)** per il legname di conifera Nord Americano e per il legno lamellare incollato Nord Americano. Le EPD includono le valutazioni dell'intero ciclo di vita del prodotto. Queste EPD sono state redatte dall'American Wood Council (AWC) e dal Canadian Wood Council (CWC), i quali rappresentano i produttori di prodotti di legno in tutto il Nord America. In questa sezione è anche presente

un **"tool" per calcolare l'impronta di carbonio**.

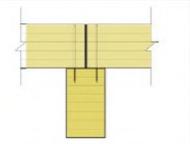
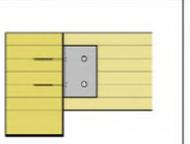
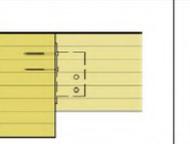
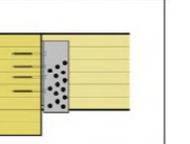
- Think Wood, per aiutare il progettista nel reperire informazioni sulle costruzioni in legno, cataloga le diverse norme necessarie e le pubblicazioni utili, rimanda inoltre a diversi manuali di progettazione e linee guida dell'American Wood Council. Queste sono suddivise sia per argomento, sia per Enti e/o associazione che le redigono.

CONNECTION CLASSES

Connection Class	Class 1	Class 2	Class 3
Class Description	Requires only mass timber elements and fasteners	Utilizes steel fabricated elements, with components such as angles and plates, and includes fasteners	Prefabricated proprietary connectors
Connection Example			
	Beam Bears on Girder*	Beam Bears on Steel Bearing Seat with Knife Plate*	Beam Connected to Girder with Proprietary Concealed Connector*

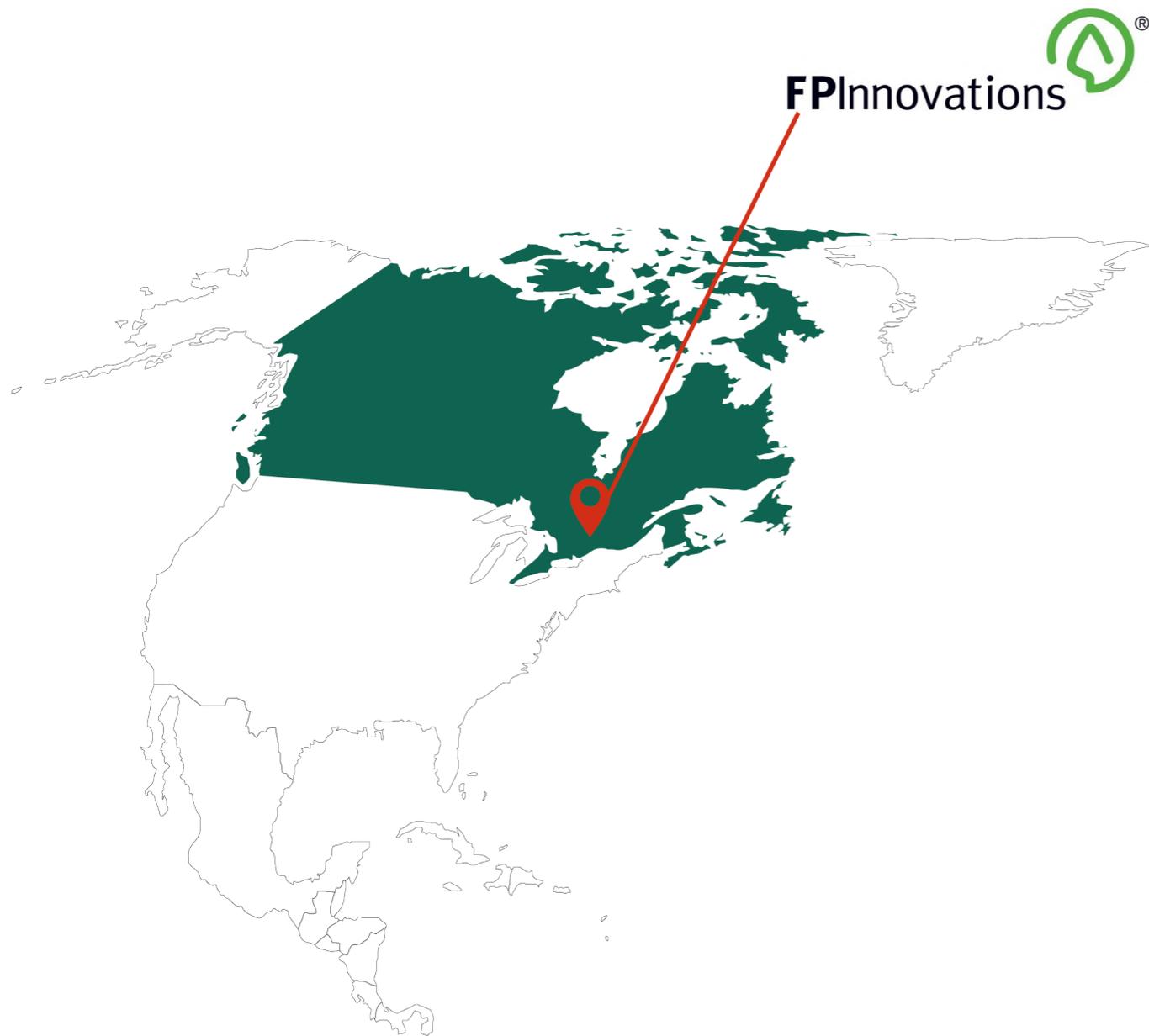
*Table 8 in the WoodWorks Index of Mass Timber Connections

CONNECTION CLASSES IN RELATION TO FIRE RATING

Connection Class	Class 1	Class 2	Class 3	Class 3
Fire Resistance	May be inherently fire resistant according to NDS calculations	Requires additional protection to meet fire-rating requirements	Tested fire-resistance rating (as specified by manufacturer)	Requires additional protection to meet fire-rating requirements
Connection Example				
	Beam Bears on Girder*	Beam Connected to Girder with Steel Angles*	Beam Connected to Girder with Proprietary Concealed Face-Mounted Knife Plate Connector*	Beam Connected to Girder with Proprietary Hanger*

*Table 8 in the WoodWorks Index of Mass Timber Connections

Figura 5.14 Classi delle connessioni e classi delle connessioni in relazione alla progettazione della resistenza al fuoco.
 Fonte: WoodWorks and Think Wood, 2021, *Mass Timber Design Manual*, scaricato da <https://info.thinkwood.com>, pg. 50-51



5.1.11 FPInnovations

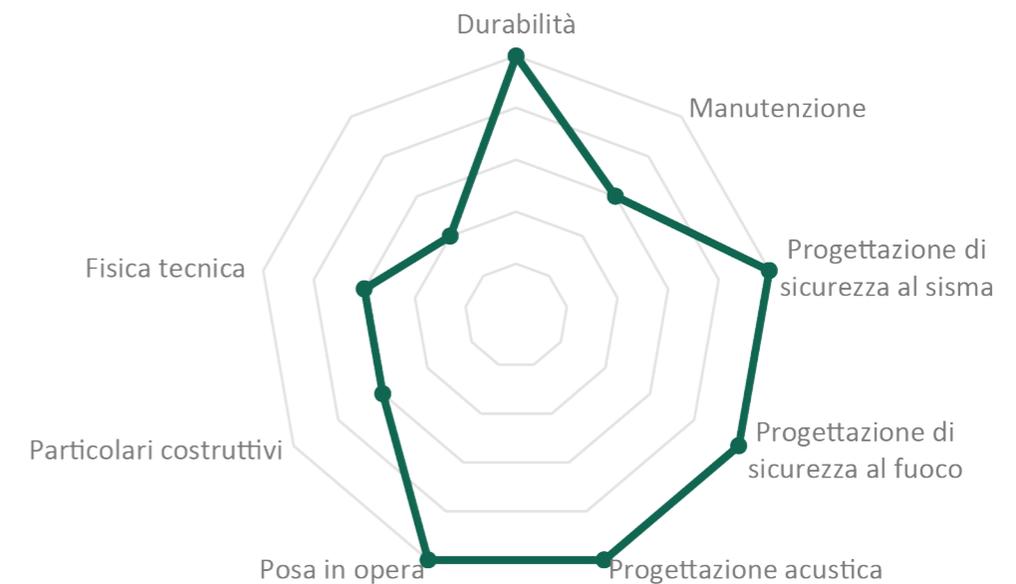
COS'E'

FPInnovations è un'organizzazione privata senza fini di lucro con l'obiettivo di realizzare soluzioni a sostegno della competitività globale del settore forestale Canadese. L'organizzazione segue ricerche all'avanguardia, sviluppa tecnologie avanzate e fornisce soluzioni innovative in merito ai problemi complessi relativi a ogni area della filiera.

STRATEGIA

Gli obiettivi di FPI sono di accelerare la crescita e la trasformazione del settore forestale creando nuove opportunità di mercato e sviluppare sempre nuove soluzioni innovative. Per migliorare la competitività del settore forestale, FPI garantisce l'accesso a materiali tecnici ai professionisti e alle aziende.

AMBITI PREVALENTEMENTE TRATTATI:



RISORSE

LINEE GUIDA: FPI redige annualmente dei report relativi all'andamento di mercato del legno in Canada.

Karacabeyli E., Gagnon S., 2019, *Canadian CLT Handbook 2019 Ediction volume 1-volume 2*, FPIInnovations, scaricato da <https://web.fpinnovations.ca/>

TEMI TRATTATI:

- Come costruire in X-Lam (introduzione, produzione, le connessioni, i metodi di calcolo, i fattori di calcolo);
- Performance dell' X-Lam in caso di incendio e di sisma;
- Performance acustiche dell' X-Lam;
- Le stratigrafie degli edifici in X-Lam;
- Performance "ambientali" dei pannelli in X-Lam;
- Sollevamento e movimentazione in cantiere dei pannelli in X-Lam.

RIFERIMENTI:

Il manuale è stato redatto a partire dalla **rielaborazione di alcuni studi e ricerche importanti svolti in Europa**, adattandoli secondo le proprie esperienze Nazionali, o comunque Nord-Americane. Questa metodologia viene continuamente dichiarata, sia attraverso dei paragrafi espliciti, sia tramite la vasta bibliografia. Un esempio tangibile si può notare nel capitolo relativo al "Lateral Design of CLT building": FPIInnovation ha recepito a tutti

gli effetti il grande lavoro di ricerca svolto dal CNR Invalsa all'inizio degli anni 2000.

COMMENTI:

Il documento può essere considerato un vero e proprio manuale che affronta quasi "dalla A alla Z" la progettazione e realizzazione di edifici in X-Lam . E' presente un capitolo ("Building enclosure design of cross-laminated timber construction") relativo all'involucro degli edifici in X-Lam, in cui viene affrontato nello specifico il tema della **durabilità**, considerato come strumento in funzione dell'efficienza energetica dell'involucro edilizio. La guida è un elenco di **buone pratiche** per la realizzazione a regola d'arte degli involucri protettivi dei pannelli in X-Lam, basata sulla combinazione di ricerche, test ed esperienze Europee e Nord-Americane. FPIInnovation propone inoltre un "**Construction Moisture Managment Planning**", ovvero un piano per gestire il potenziale rischio di infiltrazioni d'acqua all'interno dei pannelli in X-Lam: vengono analizzate le possibilità di rischio che vanno dallo stoccaggio in cantiere dei pannelli, alla gestione del cantiere fino alla progettazione dei particolari. Rispetto alle linee guida Austriache, ad esempio, questo manuale è molto meno tecnico, affronta l'argomento della durabilità non da un punto di vista prettamente tecnico ma si avvicina molto al "metodo Italiano": fornisce una serie di linee guida per garantire la durabilità dell'edificio, a partire dalla progettazione fino alla fase di cantiere . A differenza però dalle linee guida Italiane, affronta il tema in modo molto approfondito attingendo a diverse ricerche e soprattutto alle esperienze del Nord America. Inoltre è la prima linea guida a for-

nire un possibile strumento per programmare in modo corretto la durabilità di un edificio realizzato in X-Lam.

STRUMENTI DI DIVULGAZIONE

- FPI redige costantemente un blog in cui sono presenti **articoli informativi** di ogni genere legati alle novità, alle ricerche e all'andamento del mercato del legno in Canada.
- FPI mette a disposizione una piattaforma in cui vengono inserite continuamente **offerte di lavoro** per progettisti, ricercatori, carpentieri, tecnologi, in collaborazioni con le diverse sedi dell'organizzazione.

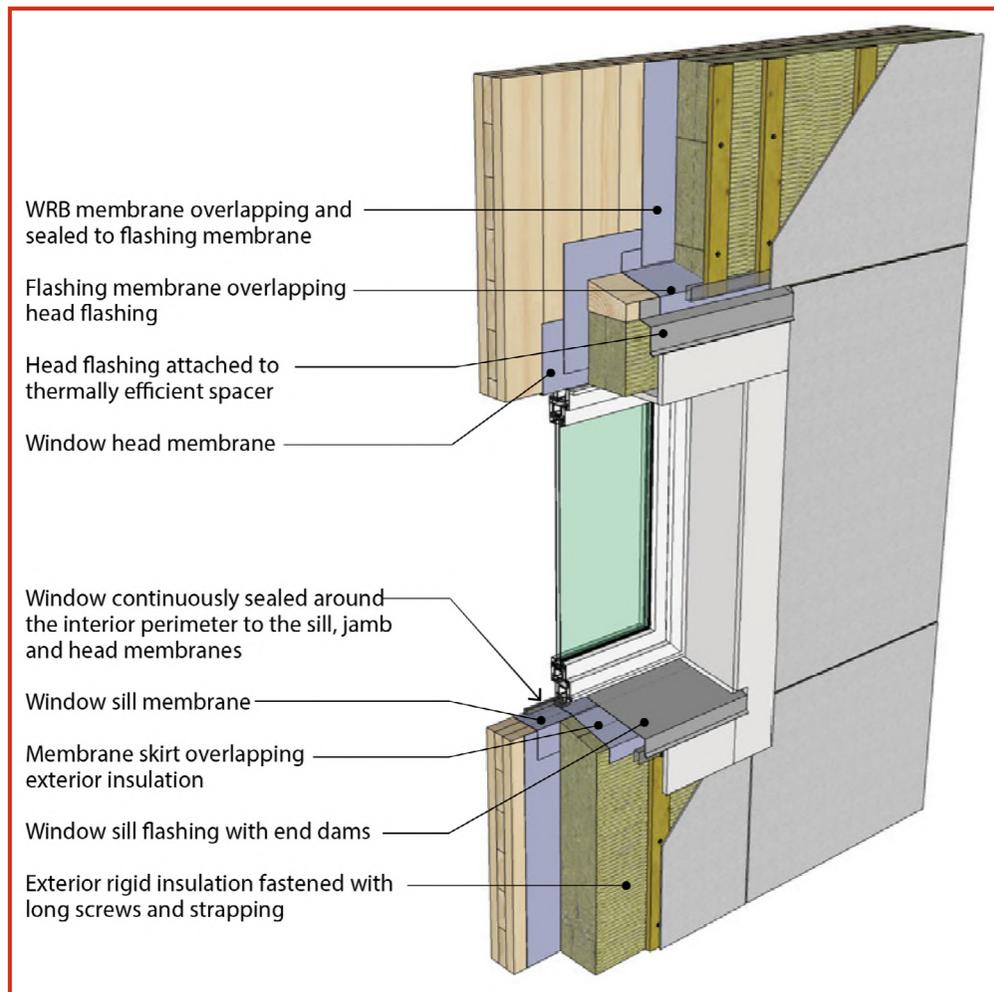


Figura 5.15 Esempio del dettaglio di installazione per una finestra. Fonte: Karacabeyli E., Gagnon S., 2019, *Canadian CLT Handbook 2019 Edition volume 1-volume 2*, FPInnovations, scaricato da <https://web.fpinnovations.ca/>

12.2.1.4 Threaded Eyelet Bolt Used with Socket Steel Tube Welded onto Flat Steel Plate

A threaded eyelet bolt used in conjunction with a socket steel tube welded onto a flat steel plate is also a good option for quick and safe lifting. However, it is important to choose the right eyelet bolt and to install it correctly (Figures 14 and 15). It is recommended to use an eyelet base bolt when lifting heavy loads at an angle, and ensure there is proper contact between the base and the wood panel, as well as sufficient thread engagement between the eyelet and threaded sleeve. Plain or regular eyelet bolts (without base) are normally used in straight tension when lifting light loads; that is, when used with a spreader beam or with only one attachment point. In addition, in accordance with good practice, the eyelet bolts must be oriented in the same direction as the tensioned slings, to prevent the eyelet from bending under heavy oblique loads. When handling is completed, the two components must be removed carefully.

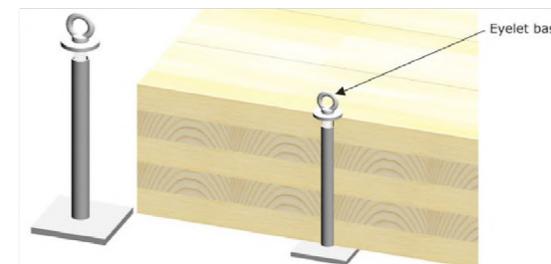


Figure 14 Threaded eyelet bolt (with base) used with socket steel tube welded onto flat steel plate

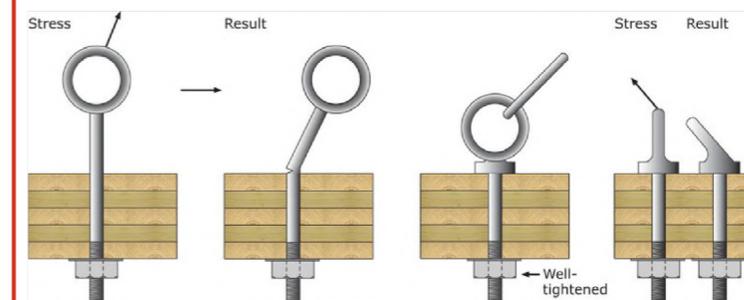
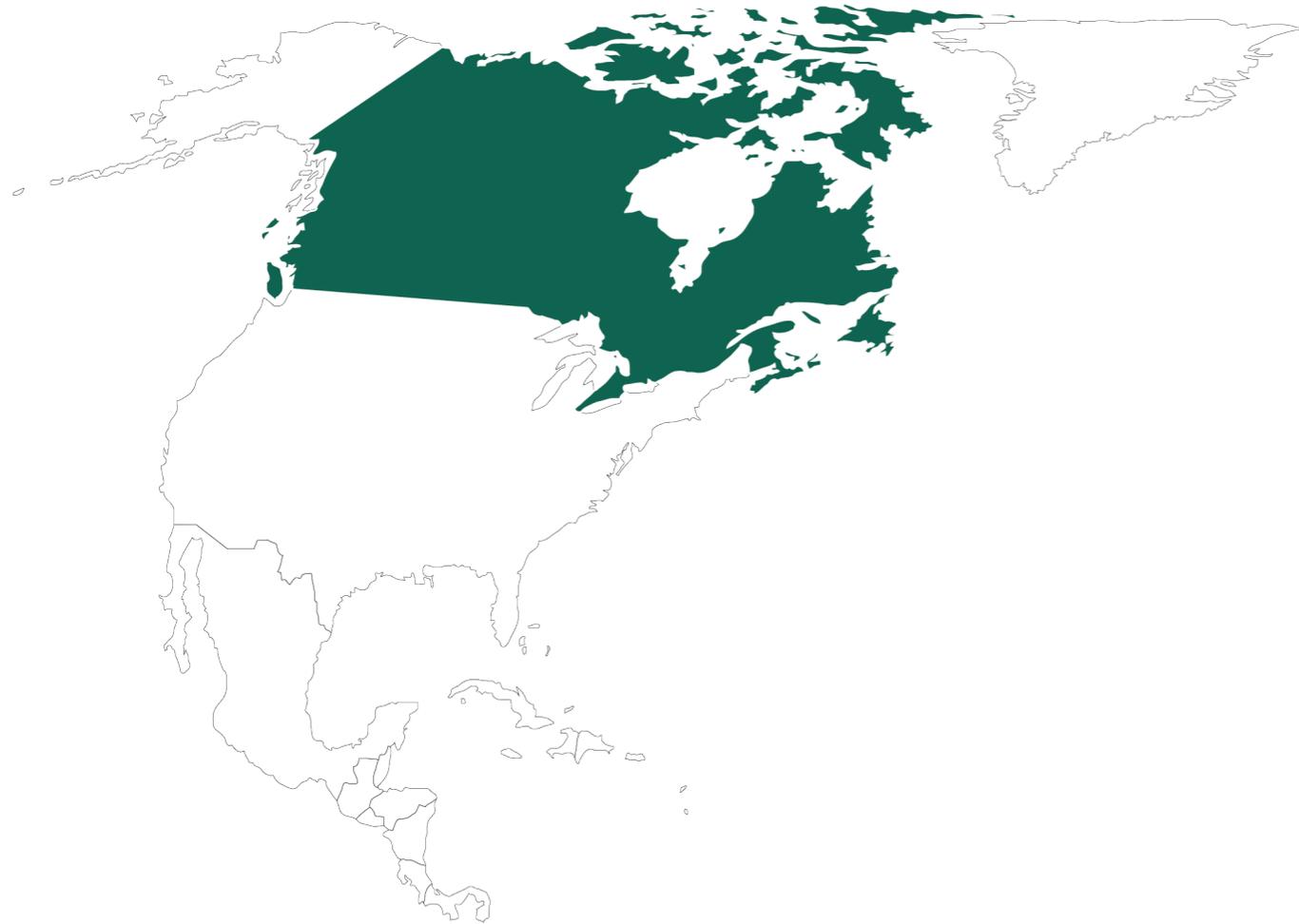


Figure 15 Correct use of threaded eyelet bolt (with and without eyelet base)

Figura 5.16 Descrizione di come installare le giuste connessioni per la movimentazione dei pannelli in cantiere. Fonte: Karacabeyli E., Gagnon S., 2019, *Canadian CLT Handbook 2019 Edition volume 1-volume 2*, FPInnovations, scaricato da <https://web.fpinnovations.ca/>, p.655



5.1.12 naturally:wood

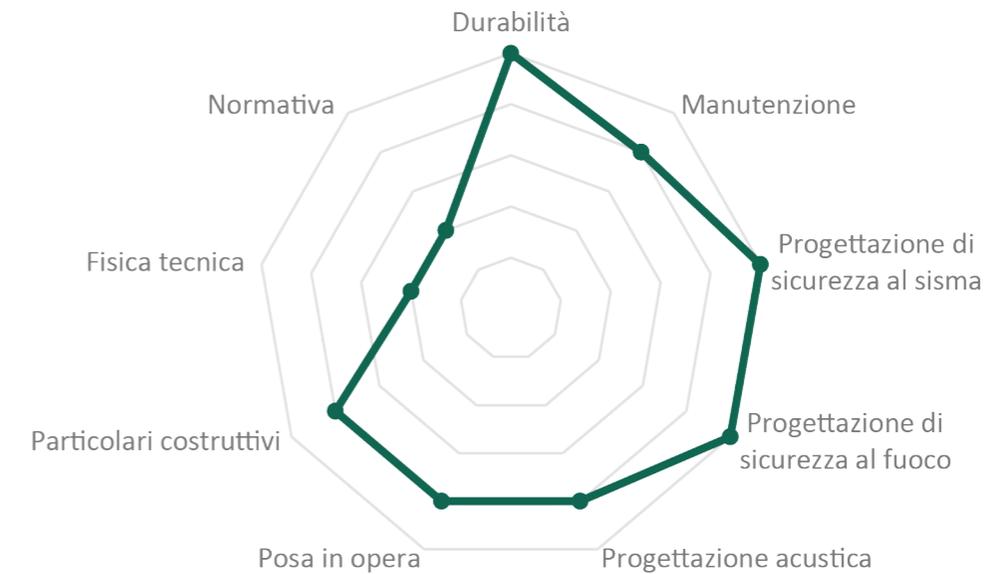
COS'E'

Sviluppato da Forestry Innovation Investment, naturally:wood è una **risorsa informativa** completa che promuove la Columbia Britannica come fornitore globale di prodotti forestali di qualità e rispettosi dell'ambiente provenienti da foreste gestite in modo sostenibile.

STRATEGIA

Natural:wood è una community di riferimento in cui è possibile conoscere le foreste e i prodotti forestali di British Columbia (BC). Naturally:wood mette in contatto il progettista e le imprese con gli oltre 400 fornitori dei prodotti forestali di alta qualità, di legno ingegnerizzato, di legno massiccio, della BC.

AMBITI PREVALENTEMENTE TRATTATI:



RISORSE

LINEE GUIDA REDATTE: per supportare l'edilizia in legno, Engineers and Geoscientists BC e l'Architectural Institute of British Columbia (AIBC), hanno pubblicato nuove linee guida per approfondire il tema della progettazione degli edifici multi-piano (fino a 12 piani) in legno massiccio.

Architectural Institute of British Columbia e Engineers and Geoscientists British Columbia, 2021, **Encapsulated mass timber construction up to 12 storeys**, scaricato da <https://www.naturallywood.com>

TEMI TRATTATI:

- Ruoli e responsabilità;
- La progettazione: le performance dell'edificio, facciate ed edifici prefabbricati, l'incapsulamento e la progettazione della resistenza al fuoco, le connessioni, la progettazione acustica, la progettazione della durabilità;
- Istruzione, formazione e esperienza.

RIFERIMENTI: Karacabeyli E., Gagnon S., 2019, **Canadian CLT Handbook 2019 Ediction volume 1-volume 2**, FPInnovations, scaricato da <https://web.fpinnovations.ca/>

COMMENTO:

In questa linea guida vengono affrontati diversi temi della corretta progettazione delle strutture in legno, sia in modo teorico attraverso delle spiega-

zioni, ma anche con molti dettagli costruttivi e stratigrafie. La linea guida punta molto sulla **protezione del legno dall'umidità e dall'acqua fornendo degli accorgimenti progettuali**. Inoltre, propone delle strategie di gestione attiva dell'acqua, come ad esempio l'utilizzo della tecnologia di rilevamento dell'umidità durante la fase di costruzione dell'edificio per monitorare il contenuto di umidità dei pannelli prima della posa in opera, e il monitoraggio attraverso strumenti attivi per controllare l'umidità dei pannelli durante la vita utile dell'edificio.

Un aspetto che viene sottolineato è il tema della **formazione**: tutte le figure professionali dell'intero iter di progettazione e realizzazione di un edificio in legno, devono essere correttamente formate ed è importante che durante la loro carriera continuino a seguire dei corsi formativi e/o seminari per essere aggiornati sulle nuove tecniche costruttive.

STRUMENTI DI DIVULGAZIONE:

• Uno strumento molto utile è l'**elenco delle aziende dei prodotti in legno ingegnerizzato e dei fornitori di prodotti**. La provincia della Columbia Britannica è riconosciuta come un leader globale nella gestione forestale sostenibile. Tramite questo elenco il progettista e/o committente può effettuare delle scelte consapevoli su legname di qualità e certificato.

• **Timber Bay Design Tool**: è uno strumento sviluppato dal team di progettazione parametrica di Fast+Epp, consente agli architetti di esplorare e visualizzare diverse opzioni e possibilità progettuali di edifici in legno mas-

siccio. Una volta scelta la tipologia costruttiva, le dimensioni in pianta e in alzato il "tool", calcola la quantità di legno necessaria per la struttura.

• **L'Athena Impact Estimator for Buildings**: tramite il sito di Natural:wood è possibile accedere a questo software gratuito che permette di valutare l'edificio attraverso una metodologia di **valutazione del ciclo di vita LCA**. I risultati possono essere visualizzati in tabelle e grafici riepilogativi intuitivi e, grazie a questo "tool", il progettista può valutare le implicazioni ambientali del progetto optando così per delle scelte sostenibili.

• Uno strumento utile proposto da naturally:wood è il **calcolatore di carbonio del Canadian Wood Council**: il calcolatore stima quanto tempo impiegano le foreste statunitensi per fornire un determinato quantitativo di legno in funzione della costruzione di un edificio.

• Il sito, inoltre, mette a disposizione disegni tecnici, nodi costrutti e le scelte progettuali di quattro **cas studio**. Lo scopo di questo strumento è quello di mettere in luce come sono stati risolti i nodi più critici degli edifici in legno, le buone accortezze messe in atto per garantire la durabilità della struttura. Questo progetto consiste in una ricerca preliminare e un workshop che coinvolgeva i leader del settore. I casi oggetto di studio sono stati sviluppati attraverso un processo collaborativo tra i leader di architettura, ingegneria e costruzione in British Columbia, dove sono stati esplorati i problemi tecnici e normativi che sorgono

quando si applicano innovazioni nella progettazione di edifici in legno massiccio.

• Una **pubblicazione digitale** di oltre 65 casi studio analizzati per raccontare la storia della Columbia Britannica, dei prodotti in legno, della tecnologia, dell'architettura e design all'avanguardia che vengono utilizzati per la costruzione degli edifici in legno.

• Inoltre, dal sito si possono scaricare molte **schede informative** e tecniche sui diversi prodotti ingegnerizzati, sull'uso delle foreste, sulla politica di incentivazione dell'uso del legno come materiali da costruzione...

COLLABORAZIONI IN ATTO: Naturally:wood collabora con il Canadian Wood Council.

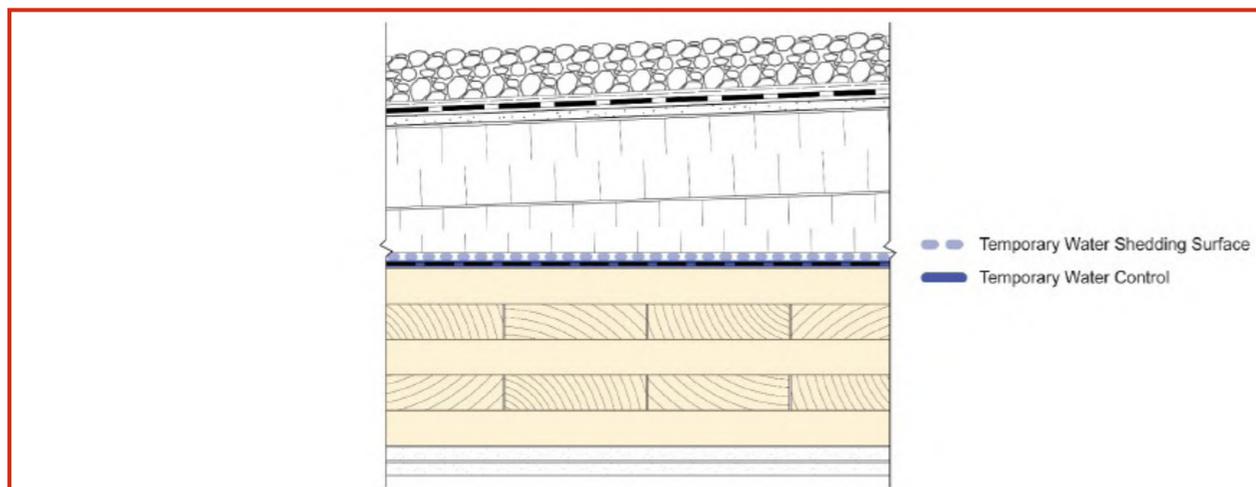


Figura 5.17 Illustrazione che mostra come la membrana direttamente sulla superficie del tetto Mass Timber può essere utilizzata come protezione temporanea dall'umidità durante la costruzione, e poi funge da membrana barriera d'aria del tetto una volta completato il montaggio. Fonte: Architectural Institute of British Columbia e Engineers and Geoscientists British Columbia, 2021, *Encapsulated mass timber construction up to 12 storeys*, scaricato da <https://www.naturallywood.com>, pg.82

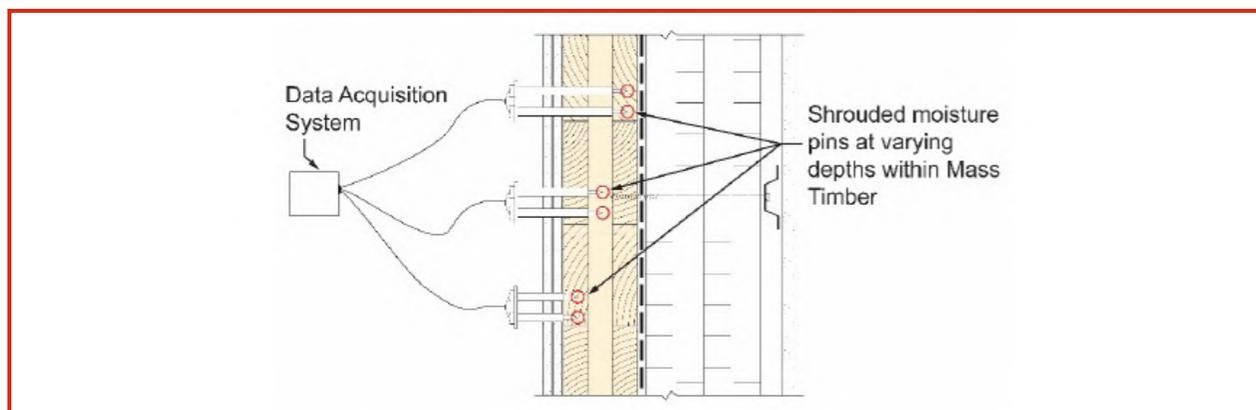


Figura 5.18 Illustrazione del monitoraggio dell'umidità delle porzioni Mass Timber di un assieme di parete. Fonte: Architectural Institute of British Columbia e Engineers and Geoscientists British Columbia, 2021, *Encapsulated mass timber construction up to 12 storeys*, scaricato da <https://www.naturallywood.com>, pg.83

1. Construction Type 2. Lumber 3. Panels 4. Engineered Wood Products 5. Decking, Siding & Roofing 6. Carbon Summary

1 of 6

Construction Type [?]

Canadian Wood Council Conseil canadien du bois

Reference

Construction type:	Light-frame [?]	
Displacement factor:	3.9	
		Light-frame [?]
		Low-rise or mid-rise 3.9
		Post and beam [?]
		Low-rise or mid-rise 3.9
		Mass timber [?]
		Low-rise, mid-rise or high-rise 0.71
		Combination [?]
		Mass timber/light-frame/post and beam

Compared with other functionally equivalent buildings made of non-wood materials, wood-frame buildings typically generate less embodied GHG emissions during their life cycle. In other words, there are fewer GHG emissions associated with a wood-frame building than other building types. This difference can be quite large and can be taken as a carbon credit for the amount of CO₂ emissions that were avoided (displaced) by choosing wood over other more GHG-intensive materials.

Figura 5.19 Schermata del "tool" per calcolare la quantità di carbonio stoccata in funzione del progetto dell'edificio in legno. Fonte: www.naturallywood.com.

5.2 I protocolli di certificazione

E' stata svolta un' analisi di due protocolli di certificazione Italiani: ARCA, che certifica l'edificio in legno, e S.A.L.E, che certifica il costruttore di edifici in legno. Questi protocolli di certificazione si possono considerare anche due strumenti di divulgazione degli edifici in legno e conseguentemente delle buone pratiche di progettazione e costruzione. L'analisi è stata utile per determinare l'approccio dei due enti e evidenziare punti di contatto piuttosto che di contrasto.



5.2.1. ARCA	
5.2.1.1 <i>Cos'è</i>	p. 418
5.2.1.2 <i>A chi è rivolto</i>	p. 419
5.2.1.3 <i>Come è strutturata la certificazione</i>	p. 421
5.2.1.4 <i>Iter di certificazione</i>	p. 424
5.2.1.5 <i>Ulteriori risorse fornite da ARCA</i>	p. 425

5.2.2. S.A.L.E.	
5.2.2.1 <i>Cos'è</i>	p. 429
5.2.2.2 <i>A chi è rivolto</i>	p. 430
5.2.2.3 <i>Come è strutturata la certificazione</i>	p. 431
5.2.2.4 <i>Iter di certificazione</i>	p. 432
5.2.2.5 <i>Ulteriori risorse fornite da S.A.L.E.</i>	p. 435

5.2.3. Comparazione generale tra ARCA e S.A.L.E.	p.436

5.2.4. Comparazione tra le specifiche di ARCA e S.A.L.E.	p. 437

5.2.5. Comparazione tra le specifiche ARCA e S.A.L.E riguardanti l'umidità e la durabilità	p. 440

5.2.6. Comparazione critica relativa all'approccio di ARCA e S.A.L.E. per la specifica umidità e durabilità	p. 450

5.2.7. Una possibile interazione delle certificazioni per quanto riguarda la gestione dell'umidità: l'esempio dell' Hand-book Canadese	p. 454

5.2.8. Il confronto con la Repubblica Ceca	p. 460

63 EDIFICI IN FASE DI CERTIFICAZIONE

19 PRODOTTI CERTIFICATI ARCA

762 TECNICI BASE ARCA

63 EDIFICI IN FASE DI CERTIFICAZIONE

94 EDIFICI CERTIFICATI ARCA

38 AZIENDE PARTNER ARCA

89 PROGETTISTI ACCREDITATI ARCA



5.2.1 ARCA

5.2.1.1 COS'E'

ARCA è un sistema di certificazione che ha lo scopo di **promuovere e incentivare un'edilizia qualitativa in legno, andando a certificare l'edificio "chiavi in mano"**.

Il progetto ARCA nasce in Trentino su iniziativa della Provincia Autonoma di Trento che lavora al progetto dal 2009, con l'intento di valorizzare l'edificio in legno in grado di competere in un mercato in forte crescita ed espansione qual è l'edilizia sostenibile. ARCA recepisce l'esperienza di ricerca SOFIE, che ha avuto una rilevanza internazionale poiché ha contribuito alla ricerca scientifica riguardante gli edifici realizzati con pannelli in X-Lam agli inizi degli anni Duemila. In particolare, a termine del progetto SOFIE era nata una bozza di idea detta "SOFIE Veritas", un sistema complesso di certificazione che aveva l'intento di simulare lo storico "Bureau Veritas" Francese. Il progetto non ha però preso piede e in seguito è stato sviluppato ARCA, gestito da Habitech (Distretto Tecnologico Trentino Per L'Energia e Ambiente). ARCA è stato sviluppato valorizzando le **esperienze locali della ricerca** (Università degli Studi di Trento, CNR-Ivalsa), il "know-how" delle imprese, dei progettisti, delle istituzioni e le competenze di GBC Italia (Green Building Council) (Fonte: www.arcacert.com).

ENTE PROMOTORE: Provincia Autonoma di Trento

SVILUPPO DEL PROGETTO: Trentino Sviluppo Business Development and Destination Marke-

ting Agency.

GESTIONE DEL PROGETTO: Habitech (Distretto Tecnologico Trentino Per L'Energia e Ambiente)

COMITATO SCIENTIFICO: Composto da esperti scientifici a livello internazionale, fornisce una supervisione e delle linee di indirizzo tecnico-scientifiche, Il Comitato fornisce inoltre risposte a quesiti tecnici eventualmente formulati dal Comitato Tecnico (l'elenco completo è disponibile all'interno dei Regolamenti Tecnici ARCA).

COMITATO TECNICO: Composto da esperti del mondo della progettazione, produzione e certificazione. Vaglia i Regolamenti Tecnici di ARCA, ed è articolato nelle diverse categorie individuate, tenendo conto delle linee di indirizzo formulate dal Comitato Scientifico (l'elenco completo è disponibile all'interno dei Regolamenti Tecnici ARCA).

ORGANISMI DI VERIFICA: Habitech – Distretto Tecnologico Trentino, si avvale dei seguenti organismi internazionali per le attività di verifica, prova e certificazione: ARCA Verificatore, Bureau Veritas, ICMQ, TÜV SÜD

ORGANISMI DI PROVA: ARCA si avvale dei seguenti organismi internazionali per le attività di verifica, prova e certificazione: CNR-INVALSA, Trees and Timber Institute e Biosafe Certificazione di salubrità Ambientale

COLLABORAZIONI:

Collaborazioni con Enti e organizzazioni:



Collaborazioni per il supporto tecnico:



CONVENZIONI:



5.2.1.2 A CHI E' RIVOLTO

Il protocollo di certificazione ARCA ha come scopo quello di realizzare un **network ARCA di imprese, progettisti, impiantisti, aziende di prodotti in legno** che si contraddistinguono per la qualità dei loro prodotti e servizi. Il network attivo di ARCA si suddivide in due livelli di accreditamento: il base e l'avanzato. Entrare nel network non è obbligatorio per certificare un edificio ARCA, ma garantisce una serie di vantaggi, quali ad esempio l'accesso a scontistiche per ottenere la certificazione. La certificazione ARCA può essere richiesta da qualsiasi persona fisica o giuridica che ha presentato richiesta scritta di valutazione di uno o più edifici in legno.

VANTAGGI PER I PROGETTISTI ASSOCIATI

VANTAGGI PER IL TECNICO CORSO BASE



- Utilizzare il marchio "Tecnico Corso Base";
- Ricevere supporto durante l'avvio della certificazione ARCA;
- Accesso gratuito alle iniziative del Network e delle Convention ARCA.

VANTAGGI PER IL PROGETTISTA ARCA



- Utilizzare il marchio "Progettista ARCA";
- Accesso gratuito alle iniziative del Network e delle Convention ARCA;
- Utilizzare strumenti di comunicazione in occasione di eventi e fiere;
- Avere accesso a scontistiche per la certificazione degli edifici ARCA;
- Avere la possibilità di diventare un Verificatore ARCA.

VANTAGGI PER LE IMPRESE/AZIENDE ASSOCIATE

VANTAGGI PER I “PARTNER ARCA”



- Utilizzare il marchio “Tecnico Corso Base”;
- Ricevere supporto durante l’avvio della certificazione ARCA.

VANTAGGI PER I “PARTNER QUALIFICATO ARCA”



- Utilizzare il marchio;
- Utilizzare strumenti di comunicazione in occasione di eventi e fiere;
- Avere costi inferiori per la certificazione degli edifici ARCA;
- Aderire ad iniziative di formazione e aggiornamento continuo riservate al Network ARCA;
- Avere la possibilità di accedere a standard definiti nella sottoscrizione di polizze assicurative con primarie compagnie di assicurazione (es. postuma decennale).

5.2.1.3 COME E' STRUTTURATA LA CERTIFICAZIONE

ARCA è un sistema di certificazione Nazionale a carattere volontario, nato per certificare la realizzazione di edifici in legno ad alte prestazioni. La certificazione ARCA verifica la fase di progettazione e realizzazione di un edificio secondo i regolamenti tecnici redatti dall’organizzazione. La certificazione è un sistema a multi-criterio che si compone di requisiti obbligatori e un sistema di crediti facoltativi.

I DUE PROTOCOLLI DI CERTIFICAZIONE:



Nuove costruzioni

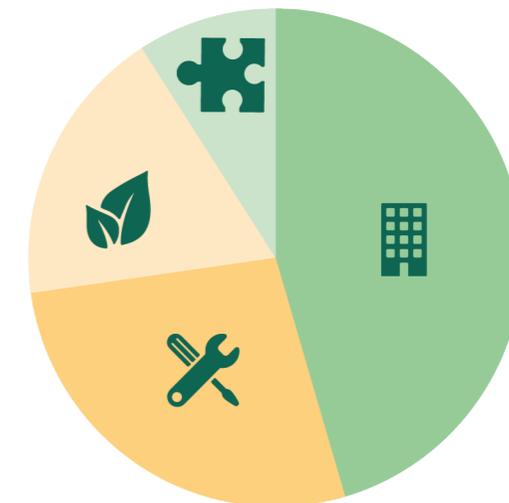


Sopraelevazioni e ampliamenti

I Regolamenti Tecnici ARCA non definiscono a priori specifiche modalità costruttive, non segnalano soluzioni prescrittive, ma fissano elementi qualitativi, che li rende misurabili in maniera uniforme, obiettiva e imparziale. Nella certificazione ARCA vengono valutate **quattro categorie**.

Il Certificato, il Rapporto Finale di Certificazione e la Targa rilasciati sono validi fino a quando non vengono modificati i requisiti e le prestazioni verificate in fase di certificazione. Ogni **10 anni**, dalla data di rilascio della relativa certificazione, dovranno essere **ripetuti i Test in opera e la verifica di mantenimento dei requisiti e delle prestazioni certificate**, anche attraverso la verifica dell’esecuzione della **manutenzione** prevista, secondo le modalità definite da ARCA.

LE QUATTRO CATEGORIE:



PRESTAZIONI TECNICHE



GESTIONE DELL’EDIFICIO



EDILIZIA SOSTENIBILE



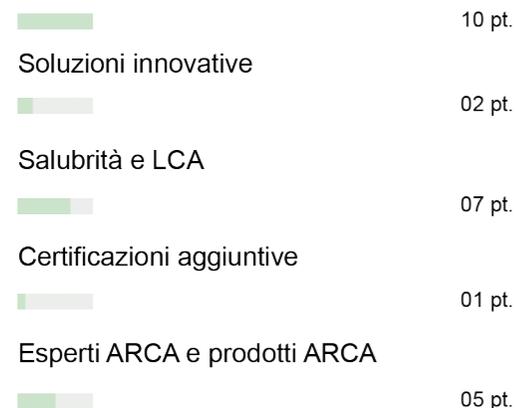
INNOVAZIONE E FILIERA



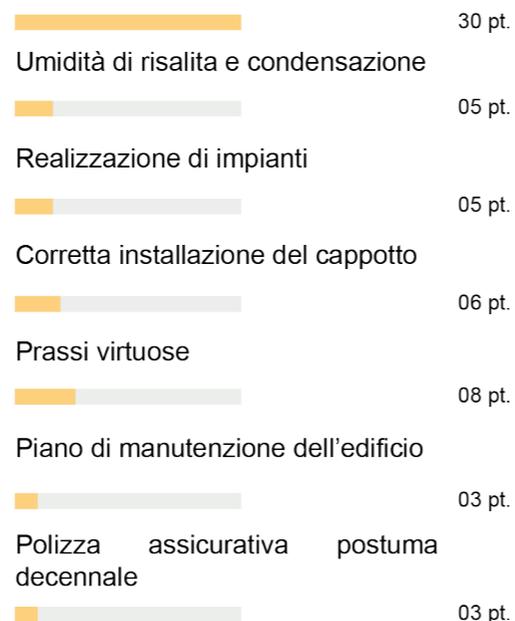
PRESTAZIONI TECNICHE (PT)



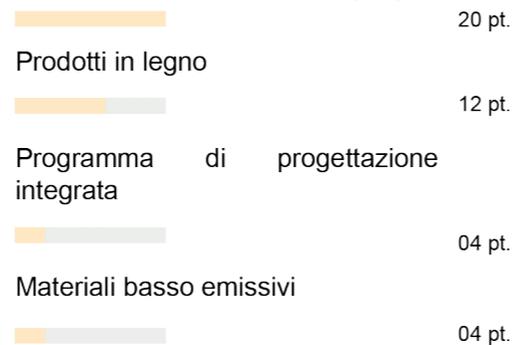
INNOVAZIONE E FILIERA (IF)



GESTIONE EDIFICIO (GE)



EDILIZIA SOSTENIBILE (ES)



Il sistema di certificazione prevede una serie di **prerequisiti obbligatori** e un sistema di **crediti associati** ad altre caratteristiche facoltative, l'edificio può essere classificato in quattro diversi livelli di certificazione, che rappresentano le diverse fasce qualitative, in ordine crescente per "virtuosità" sono:



I **VANTAGGI** di certificare un edificio in legno con ARCA sono:



QUALITA' GLOBALE

L'edificio, certificato ARCA, risponde a importanti specifiche volte a garantire l'assoluta qualità: efficienza energetica, sostenibilità, resistenza e sicurezza al sisma e al fuoco, durabilità, salubrità dell'aria interna e comfort interno.



VALORE DELL'IMMOBILE

L'edificio, certificato ARCA, in fase di stima è valutato maggiormente rispetto agli immobili non certificati, grazie alla qualità che contraddistingue la certificazione ARCA.



INVESTIMENTO SICURO

ARCA è uno strumento di supporto per definire in modo oggettivo tutte le caratteristiche dell'edificio in legno



RISPARMIO IN BOLLETTA

L'edificio certificato ARCA garantisce l'accesso a scontistiche per quanto riguarda la luce e il gas, grazie delle convenzioni stipulate con alcuni dei primari gestori di energia.



MINORI COSTI ASSICURATIVI

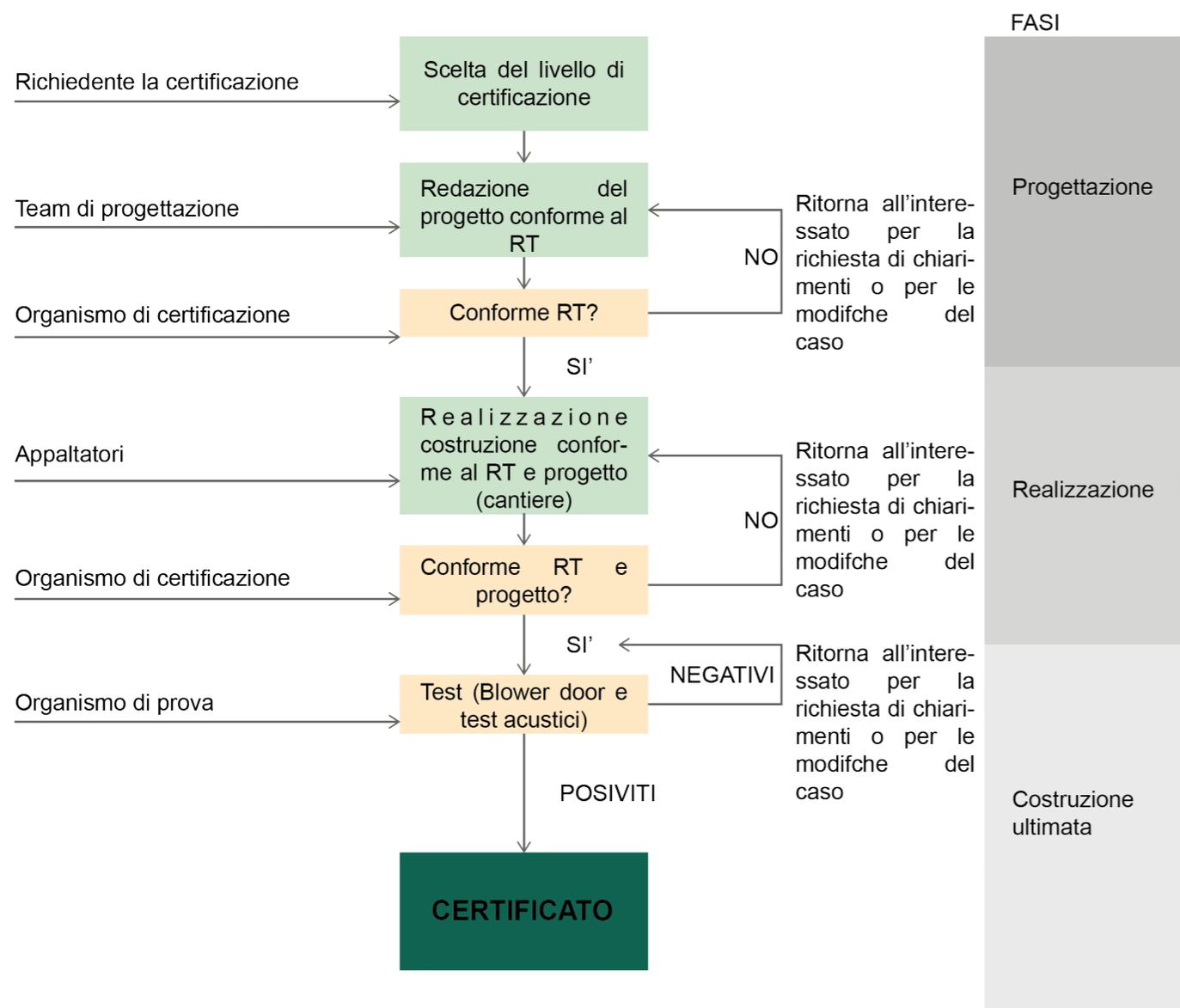
La certificazione ARCA, con il controllo terzo in tutte le fasi, è riconosciuta dalle compagnie assicurative come garanzia e può portare una diminuzione del rischio assicurativo.



MUTUI SEMPLICI

Certificare l'edificio ARCA, può portare vantaggi per quanto riguarda l'accesso al mutuo e ai relativi tassi di interesse.

5.2.1.4 ITER DI CERTIFICAZIONE



5.2.1.5 ULTERIORI RISORSE OFFERTE DA ARCA

FORMAZIONE: ARCA ha fondato l'**ARCA Academy**, un progetto formativo rivolto agli "stakeholders" del settore. ARCA Academy permette ai professionisti di poter entrare nel network di ARCA, in cui è possibile partecipare a viaggi studio internazionali, seminari su innovazione e buone pratiche del settore...Principalmente nell'ARCA Academy i corsi sono suddivisi per impiantisti e progettisti. Un altro progetto dell'ARCA Academy è quello di coinvolgere le scuole tecniche secondarie professionali, organizzando delle giornate di sensibilizzazione sul tema degli edifici in legno.

LINEE GUIDA: ARCA ha redatto diversi quaderni tecnici che sono scaricabili gratuitamente dal sito.

ARCA, 2013, *Manuali pratici ARCA. Camino sicuro*, scaricato da www.arcacert.com

TEMI TRATTATI:

- La dichiarazione di conformità del camino e la responsabilità;
- Com'è composto un camino e il suo progetto;
- Scelta dei materiali da utilizzare e controlli prima dell'installazione;
- Controllo finale dell'installazione;
- Controllo e manutenzione;
- L'efficienza energetica;
- Riferimenti normativi.

COMMENTO: questa linea guida è stata redatta poichè il camino è un punto critico per tutti gli edifici, ma per gli edifici con struttura in legno sicuramente è un nodo che deve essere studiato nel dettaglio. Questo documento tratta tutti i temi, dalla progettazione, alla posa del camino. La linea guida è di facile lettura poichè descrive le buone pratiche attraverso fotografie e disegni di dettaglio.

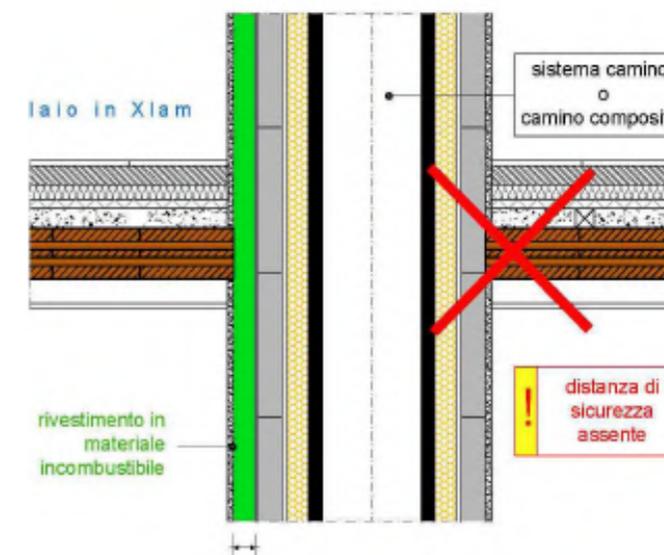


Figura 5.20 Passaggio del camino attraverso il solaio. Fonte: ARCA, 2013, *Manuali pratici ARCA. Camino sicuro*, scaricato da www.arcacert.com, pag.21

ARCA, CAPAROL, 2018, *Manuali pratici ARCA. Cappotto per case in legno*, scaricato da www.arcacert.com

TEMI TRATTATI: buone pratiche per quanto riguarda la posa del cappotto.

COMMENTI: lo scopo di questa linea guida è quello di fornire tutte le indicazioni per quanto riguarda la **posa del cappotto su edifici in legno**, in quanto risulta essere un elemento fondamentale per la risoluzione dei ponti termici, per garantire un buon livello performante della coibentazione e soprattutto poichè rappresenta un'ottima protezione della struttura dagli agenti atmosferici e dagli sbalzi

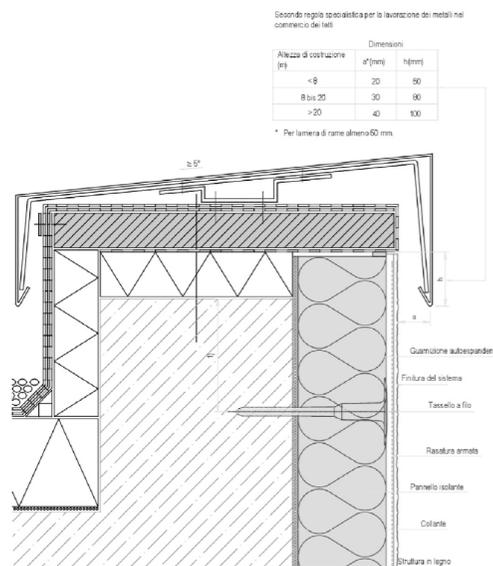


Figura 5.21 Isolamento termico continuo per un tetto piano. Fonte: ARCA, 2013, ARCA, CAPAROL, 2018, *Manuali pratici ARCA. Cappotto per case in legno*, scaricato da www.arcacert.com

termici. Come sottolineato nel documento, se non correttamente eseguito, il sistema a cappotto può, non solo compromettere la durabilità del sistema di isolamento, ma può compromettere la durabilità totale della struttura. La linea guida è un vero e proprio manuale di posa per quanto riguarda i cappotti isolanti. Fondamentale è il capitolo che tratta i nodi costruttivi poichè sono inseriti differenti particolari progettuali in funzione dei nodi costruttivi più critici.

Busa L., 2015, *Linea guida ARCA per la salubrità dell'aria indoor*, scaricato da www.arcacert.com

TEMI TRATTATI:

- Riferimenti normativi;
- I protocolli di misurazione dell'aria indoor;
- I protocolli di gestione del cantiere;
- Le strategie per la purificazione dell'aria.

COMMENTI: è un documento di supporto paragonabile quasi a un "punto elenco", in cui vengono indicati i principali inquinanti dell'aria indoor e le buone prassi da tenere in considerazione nella fase di progettazione e di cantiere.

STRUMENTI DI DIVULGAZIONE:

- ARCA mette a disposizione sul sito un elenco di tutti i professionisti, gli impiantisti e le aziende accreditate ARCA. Queste permettono ai possibili committenti di effettuare scelte consapevoli.
- ARCA prevede anche un protocollo di certificazione per i prodotti (finestre, pannelli in X-Lam, portoncini esterni, portoncini interni...)

VANTAGGI PER I "PRODOTTI ARCA"



- Utilizzare il marchio relativo al Prodotto ARCA certificato con livello di certificazione;
- Essere riconosciuti dal potenziale committente come azienda di prodotti accreditata;
- Utilizzare strumenti di comunicazione in occasione di eventi e fiere;
- Aderire a iniziative di formazione e aggiornamento continuo riservate al Network ARCA.

52 AZIENDE CERTIFICATE
S.A.L.E.

8 AZIENDE CERTIFICATE
S.A.L.E. +



5.2.2 S.A.L.E.

5.2.2.1 COS'E'

Il protocollo di qualità **S.A.L.E.** (Sistema Affidabilità Legno Edilizia) nasce invece dalla collaborazione tra **Assolegno e Conlegno** - due associazioni di settore affiliate alla Federazione di FederlegnoArredo - con lo scopo di certificare le diverse imprese edili che costruiscono edifici in legno a regola d'arte. Il sistema permette l'accesso ad alcune agevolazioni dal punto di vista finanziario, tra cui linee di credito e sconti sui tassi di polizze per eventuali incendi per i committenti privati, e linee "CAR" e postuma per l'impresa. Questa garanzia incentiva la diffusione degli edifici realizzati con struttura in legno, provando a limitare i pregiudizi legati all'uso di questo materiale: dalle interviste è infatti emerso che, in passato, con l'avvento dell'impiego del legno ingegnerizzato come materiale strutturale, difficilmente le banche concedevano un mutuo per una casa in bio-edilizia, per via di un preconcetto culturale.

Il Protocollo S.A.L.E. è redatto sulla base dei criteri generali definiti dalla FprEN 14732 "Timber structures - Structural prefabricated wall, floor and roof elements - Requirements" e dalla UNI TR 11499/2013 "Legno strutturale - Linee guida per i controlli di accettazione in cantiere". **Il protocollo non mira ad attestare la conformità del singolo edificio, bensì del processo produttivo/costruttivo adottato dal Costruttore per la sua realizzazione.** (Fonte: www.certificazionesale.it)

ENTE PROMOTORE: Assolegno e Conlegno



SVILUPPO DEL PROGETTO: il regolamento tecnico è stato redatto e messo a punto da un Gruppo di Lavoro composto da rappresentanti di Assolegno e Conlegno.

CONVENZIONI: S.A.L.E è riconosciuto da numerosi Istituti di Credito e Assicurazioni che, con particolare attenzione alla sostenibilità ambientale, alla sicurezza e alla qualità del costruito, hanno riconosciuto il protocollo S.A.L.E. quale elemento di garanzia per l'accesso a linee di mutuo e prodotti assicurativi.



5.2.2.2 A CHI E' RIVOLTO

Il protocollo di certificazione S.A.L.E. è rivolto ai costruttori di edifici in legno che possono aderire al protocollo solamente se provvisti di sede legale sul territorio Italiano e in possesso dei seguenti requisiti, differenziati a seconda del livello di attestazione richiesto:

S.A.L.E.



- Aver realizzato in Italia negli ultimi cinque anni almeno 6 unità abitative “chiavi in mano” o, in alternativa, almeno 3 unità abitative “chiavi in mano” e 3 opere di ingegneria in legno di paragonabile complessità;
- Avere in organico almeno un Direttore Operativo o Ispettore di Cantiere in possesso di attestato rilasciato da FederlegnoArredo o, limitatamente al primo accesso al protocollo, avere effettuato l’iscrizione al corso;
- Essere in possesso di attestato S.A.L.E. in corso di validità.

S.A.L.E +



- Essere in possesso di attestato S.A.L.E. in corso di validità.
- Aver realizzato in Italia negli ultimi dieci anni almeno 6 edifici con un numero di piani fuori terra pari o superiore a tre o, in alternativa, almeno 3 edifici con un numero di piani fuori terra pari o superiore a 3 e 3 opere di ingegneria in legno di paragonabile complessità;
- Struttura organizzativa interna dell’azienda costituita da almeno due delle seguenti caratteristiche: ufficio tecnico interno all’azienda che abbia le competenze minime per l’elaborazione degli esecutivi di montaggio della struttura; stabilimento proprio per la prefabbricazione e/o pretaglio della struttura portante; gestione del cantiere attraverso squadre di montaggio interne.

5.2.2.3 COME E' STRUTTURATA LA CERTIFICAZIONE

S.A.L.E. è un sistema di certificazione Nazionale a carattere volontario sviluppato per **certificare le imprese che realizzano edifici in legno ad alte prestazioni**. L’iter di attestazione e certificazione è sicuramente molto complesso e si articola in diverse fasi, riassunte nei grafici delle pagine seguenti. **Le visite degli Auditor** si basano su una serie di specifiche e requisiti in funzione delle cinque fasi del processo costruttivo individuate da S.A.L.E.. La verifica si svolge su un edificio realizzato dall’impresa, secondo due possibili criteri: o perchè è stata fatta specifica richiesta da parte di un committente dell’azienda, oppure sull’edificio più rappresentativo dell’impresa. Inoltre viene anche svolto un Audit su un cantiere al grezzo. La certificazione S.A.L.E. è un sistema a **check-list**: per ogni fase del processo (progettazione, qualificazione dei materiali, gestione del cantiere, documentazione per il committente) sono indicate delle **specifiche e definiti dei requisiti obbligatori** che il costruttore deve soddisfare in termini di caratteristiche prestazionali, modalità operative o di processo, al fine di ottenere l’attestazione. Nel caso in cui, uno o più requisiti non fossero soddisfatti, è necessario attuare tutte le azioni correttive al fine di rispondere positivamente al requisito e ottenere la certificazione. L’attestato ha **validità triennale** ed è subordinato al superamento delle visite di sorveglianza annuali.

LE FASI E LE RELATIVE SPECIFICHE



FASE A: PROGETTAZIONE

- Progettazione strutturale;
- Progettazione rispetto alla resistenza e sicurezza al fuoco;
- Progettazione della durabilità;
- Progettazione energetica;
- Progettazione impiantistica;
- Progettazione acustica.



FASE B: QUALIFICAZIONE DEI MATERIALI

- Prodotti e materiali a base di legno;
- Pannelli in cartongesso/fibrongesso;
- Fissaggi meccanici e connettori;
- Prodotti e materiali isolanti;
- Membrane flessibili.



FASE C: PREFABBRICAZIONE



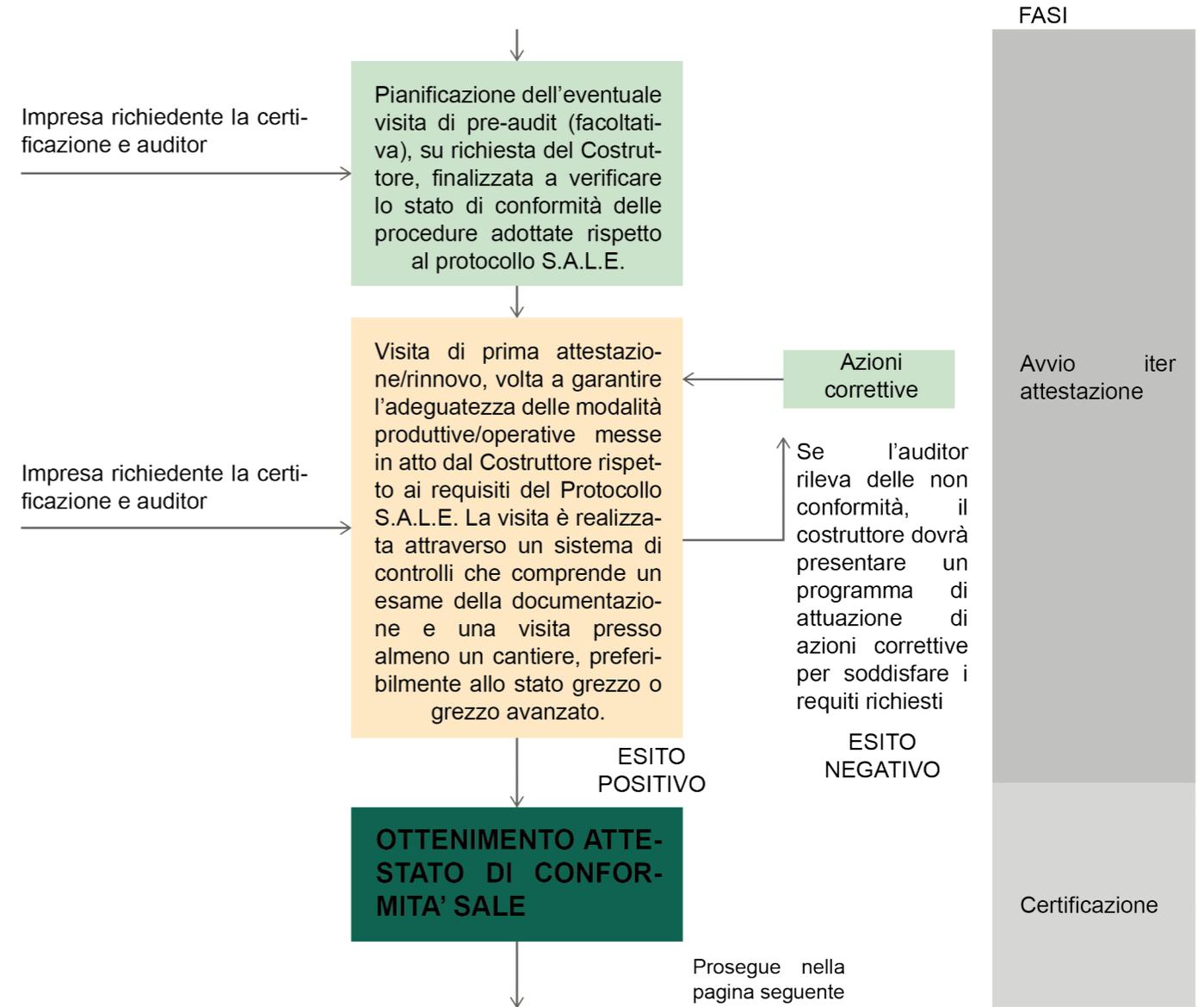
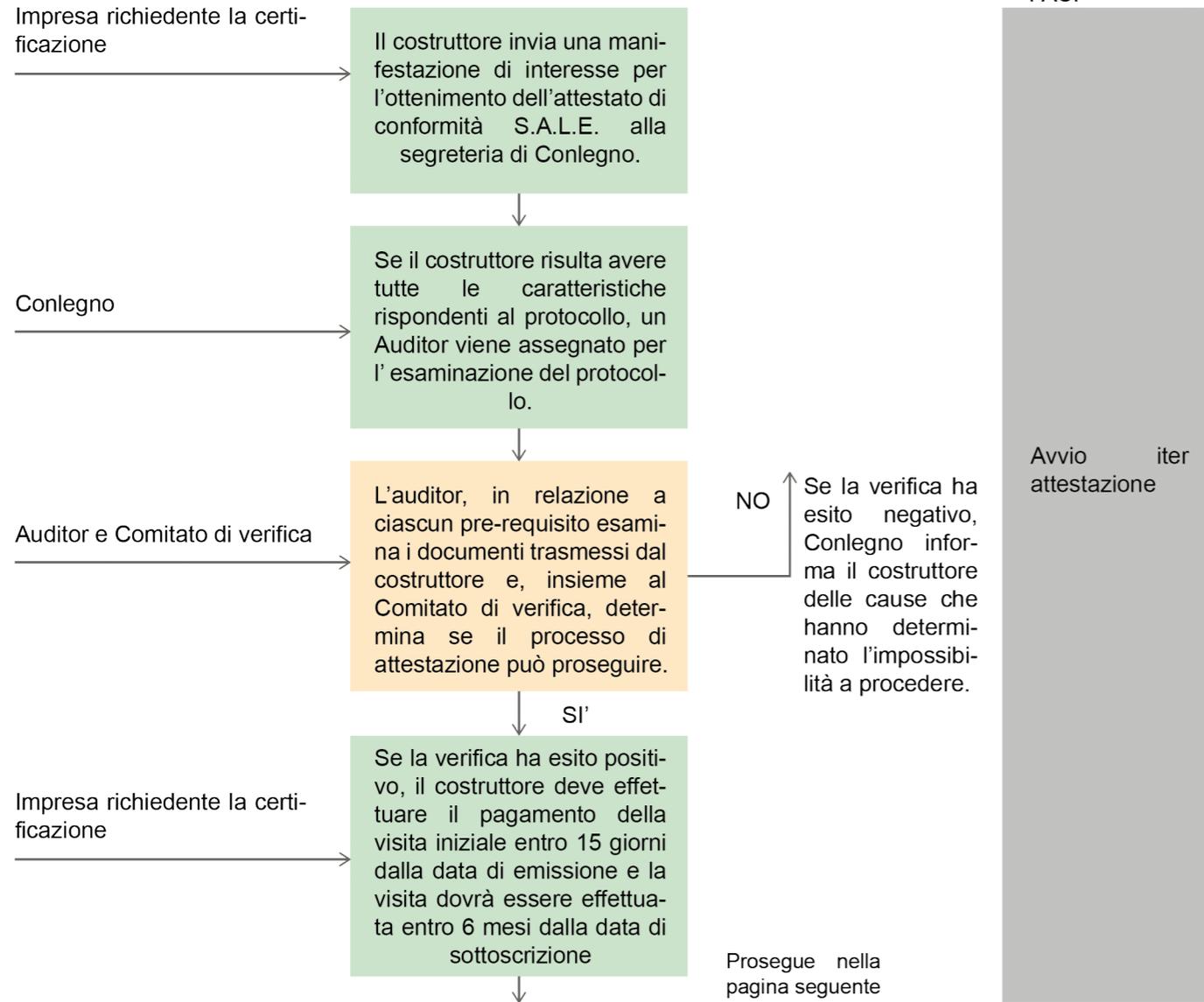
FASE D: GESTIONE DEL CANTIERE

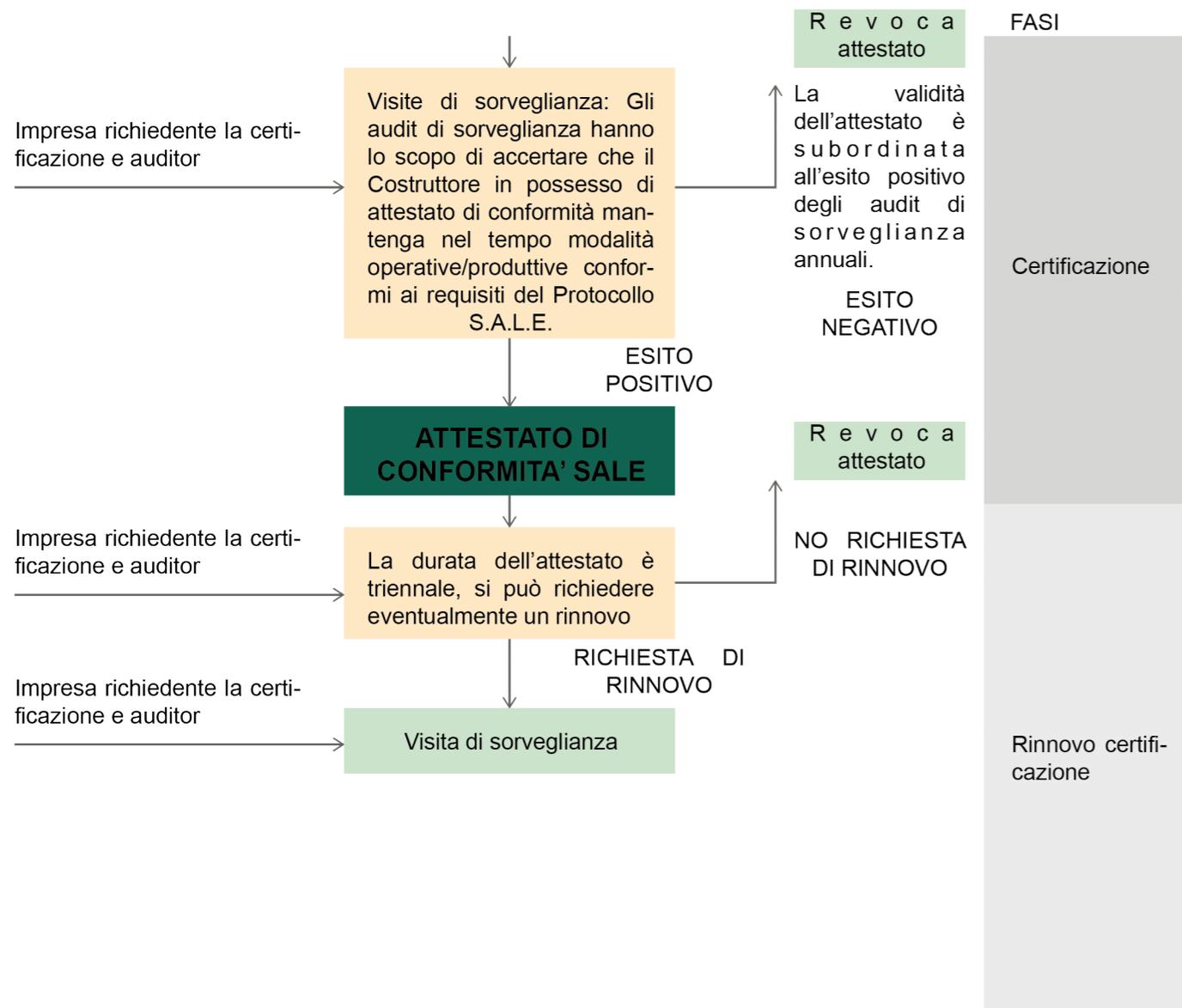
- Piano operativo di montaggio;
- Permeabilità all’aria dell’edificio;
- Gestione del cappotto;
- Controlli in fase di montaggio;
- Protezione elementi.



FASE E: DOCUMENTAZIONE PER IL COMMITTENTE

5.2.2.4 ITER DI CERTIFICAZIONE





5.2.2.5 ULTERIORI RISORSE OFFERTE DA S.A.L.E.

LINEE GUIDA:

Assolegno, Conlegno, 2019, *Regolamento Tecnico Protocollo S.A.L.E. (Sistema Affidabilità Legno Edilizia)*, scaricato da www.certificazionesale.it

S.A.L.E. nel suo regolamento tecnico mette a disposizione delle imprese costruttrici una linea guida "Piano operativo di montaggio" e una linea guida "Piano di manutenzione".

STRUMENTI DI DIVULGAZIONE:

- S.A.L.E. mette a disposizione sul sito un **elenco di tutte le imprese associate**, sia quelle con attestazione S.A.L.E., sia quelle con attestazione S.A.L.E.+ . Questo permette ai possibili committenti di visionare le imprese con una certificazione di qualità del costruito.
- **SISTEMA DI MONITORAGGIO S.A.L.E.:** il sistema di monitoraggio predittivo per l'umidità delle strutture in legno del protocollo S.A.L.E. prende il nome di HumiCONTROL. Il sistema è stato sviluppato in collaborazione con Logica H&S (Azienda leader nei dispositivi di rilevazione e misura). Il sistema, rilevando l'umidità degli elementi strutturali in legno e le relative variazioni nel tempo, consente di ottimizzare gli interventi di manutenzione, garantendo quindi una maggiore durabilità nel tempo.

5.2.3 Comparazione generale tra ARCA e S.A.L.E.

CONTENUTI	ARCA	S.A.L.E.
Tipo di certificazione	Certificazione dell'edificio	Certificazione dell'impresa
Sistema di certificazione	Multicriterio	Checklist
Livelli di certificazione	4	2
Protocolli di certificazione	Nuove costruzioni e sopraelevazioni	S.A.L.E. e S.A.L.E. +
Fasi del processo considerate	Progettazione, realizzazione e costruzione ultimata	Progettazione, qualificazione materiali, prefabbricazione, gestione del cantiere, documentazione per il committente
Audit	1 ogni 10 anni	1 o più preaudit a richiesta, 1 audit di certificazione, 1 audit annuale per tre anni
Complessità del sistema	Media	Elevata

5.2.4 Comparazione tra le specifiche di ARCA e S.A.L.E.

CONTENUTI	ARCA	S.A.L.E.
Resistenza e sicurezza sismica	✓	✗
Resistenza e sicurezza al fuoco	✓	✓
Efficienza energetica dell'edificio	✓	✓
Isolamento acustico	✓	✓
Permeabilità all'aria dell'edificio (blower door test)	✓	✓
Ventilazione meccanica controllata	✓	✗
Umidità di risalita e condensation	✓	✓
Realizzazione di impianti	✓	✓
Corretta installazione del cappotto	✓	✓
Prassi virtuose per la gestione dell'edificio	✓	✗

CONTENUTI	ARCA	S.A.L.E.
Piano di manutenzione dell'edificio	✓	✓
Polizza assicurativa postuma decennale	✓	✓
Prodotti in legno	✓	✓
Programma di progettazione integrata	✓	✗
Materiali basso-emissivi	✓	✓
Soluzioni innovative filiera	✓	✗
Salubrità e LCA	✓	✗
Certificazioni aggiuntive	✓	✗
Membrane flessibili	✗	✓
Fissaggi meccanici e connettori delle strutture in legno	✗	✓

CONTENUTI	ARCA	S.A.L.E.
Prefabbricazione	✗	✓
Piano operativo di montaggio	✗	✓
Controllo in fase di montaggio	✗	✓
Protezione degli elementi in cantiere	✗	✓
Documentazione per il committente	✗	✓

5.2.5 Comparazione tra le specifiche ARCA e S.A.L.E riguardanti l'umidità e la durabilità

Legenda:

abc considerazioni pressochè identiche

abc considerazioni ispirate alla linea guida per l'attacco a terra degli edifici in legno di Holzforschung Austria



Specifica GE.1 Umidità di risalita e condensazione

CATEGORIA DI APPARTENENZA

Gestione dell'edificio.

DESCRIZIONE DELLA SPECIFICA

SPECIFICA GE.1 Umidità di risalita e condensazione: *“L'intento della presente specifica è quello di garantire che l'edificio in legno venga progettato e realizzato secondo regole dell'arte comunemente riconosciute al fine di aumentarne la durabilità, grazie ad una corretta mitigazione del rischio di presenza di umidità di risalita e condensazione.”*

PUNTEGGIO

Tabella Punteggio (massimo punteggio ottenibile = 5):

Rif	Voce	Fase	Punteggio
A1	Prerequisito <ul style="list-style-type: none"> Mitigazione del rischio di umidità di risalita Mitigazione del rischio di umidità di condensazione superficiale e interstiziale 	P&C	3
B1	Credito Mitigazione del rischio di umidità di condensazione interstiziale – gestione della permeabilità al vapore (Sd)	C	2

Figura 2.16 Specifica GE.1. Fonte: ARCA Casa Legno S.r.l., 2014, *Regolamento Tecnico Nuove Costruzioni Rev. 3.00. Versione estesa, Rovereto, Trentino Sviluppo S.p.A., p. 27*



Legenda:

abc considerazioni pressochè identiche

abc considerazioni ispirate alla linea guida per l'attacco a terra degli edifici in legno di Holzforschung Austria

Progettazione della durabilità Sp.3

CATEGORIA DI APPARTENENZA

Fase di progettazione.

DESCRIZIONE DELLA SPECIFICA

Progettazione della durabilità Sp.3: *“L'intento della presente specifica è quello di garantire che l'edificio in legno venga progettato e realizzato secondo regole dell'arte comunemente riconosciute al fine di aumentarne la durabilità, grazie ad una corretta mitigazione del rischio di presenza di umidità di risalita e condensazione.”*

PUNTEGGIO

La certificazione S.A.L.E., essendo un sistema a “check-list”, non prevede un punteggio per ogni specifica ma solamente dei requisiti obbligatori da rispettare. S.A.L.E. prevede per questa specifica tre requisiti obbligatori:

- L'umidità di risalita;
- L'umidità di condensazione superficiale e interstiziale;
- Altri dettagli costruttivi da considerare per garantire la durabilità dell'edificio.

1. PREREQUISITO OBBLIGATORIO

1.1 MITIGAZIONE DEL RISCHIO DI RISALITA

Al fine di soddisfare l'intento del presente requisito è necessario prevedere in fase di progettazione:

- “*Dettagli costruttivi (ad es. taglio con guaina bituminosa o altro materiale impermeabile e duraturo) contro la risalita capillare di acqua dalla fondazione, così da mantenere all'asciutto la base di appoggio della struttura lignea, evitando nel contempo di creare trappole per l'acqua sia nella fase di cantiere che in esercizio (ad es. evitando di rimboccare la guaina a “U” sulla faccia esterna della chiusura opaca verticale ancora esposta alla pioggia);*
- *Un efficace allontanamento dell'acqua meteorica o dell'acqua di ruscellamento, per evitare il contatto con gli elementi lignei e per evitare il ristagno di acqua nelle strutture lignee (ad es. corretta gestione delle pendenze per l'allontanamento dell'acqua meteorica o dell'acqua di ruscellamento);*
- *La separazione netta tra il piano di campagna esterno e gli elementi lignei con una zona di rispetto pari ad almeno 20 cm (in verticale); in alternativa prevedere altra soluzione di dimostrabile efficacia (ad es. abbassare il piano di scorrimento dell'acqua rispetto al piano di campagna);*
- *Dettagli costruttivi (ad esempio un'adeguata ventilazione naturale o forzata o un sottofondo di materiale sciolto non igroscopico) idonei a mantenere asciutto l'orizzontamento al piano terra, (se di legno, anche ai fini della durabilità), nel caso in cui non vi siano locali o volumi vuoti sottostanti sufficientemente ventilati e asciutti.”*

RICHIESTE IN FASE DI REALIZZAZIONE (CANTIERE): “Al fine di soddisfare il presente requisito è necessario realizzare quanto indicato nei documenti prodotti in fase di progettazione con i materiali e i prodotti ivi descritti.”

1.2 MITIGAZIONE RISCHIO DI UMIDITA' DI CONDENSAZIONE SUPERFICIALE E INTERSTIZIALE

“Al fine di soddisfare l'intento del presente requisito è necessario effettuare tutte le verifiche richieste dal D.L. gs. 192/205 e ss.mm, alla norma UNI EN ISO 13788 e al DPR 59/2009 e ss.mm, curando che non vi sia condensazione superficiale e interstiziale per tutte le stratigrafie con elementi strutturali lignei.

NOTE: Si consiglia di prevedere il calcolo delle stratigrafie opache dell'involucro edilizio (dirette inverse ventilate e non) in modo tale che il bilancio netto (calcolato per ogni stagione dell'anno, tenendo conto anche dell'uso prevalente dei locali) dei trasferimenti di umidità all'interno delle chiusure opache verticali sia tale da non compromettere la durabilità dei materiali e prodotti a base di legno (umidità del legno costantemente <18% per le parti strutturali e >18% per non più di qualche settimana all'anno, complessivamente, per le parti non strutturali). Si consiglia un opportuno monitoraggio del grado di umidità prima della chiusura dei pacchetti strutturali (<18%).

RICHIESTE IN FASE DI REALIZZAZIONE (CANTIERE): Al fine di soddisfare il presente requisito è necessario realizzare quanto indicato nei documenti prodotti in fase di progettazione con i materiali e i prodotti”.

1. REQUISITO OBBLIGATORIO

1.1 UMIDITA' DI RISALITA

- “*Dettagli costruttivi (ad es. taglio con guaina bituminosa o altro materiale impermeabile) contro la risalita capillare di acqua dalla fondazione, così da mantenere all'asciutto la base di appoggio della struttura lignea, evitando nel contempo di creare trappole per l'acqua sia nella fase di cantiere che in esercizio (ad es. evitando di rimboccare la guaina a “U” sulla faccia esterna della chiusura opaca verticale ancora esposta alla pioggia);*
- *Un efficace allontanamento dell'acqua meteorica o dell'acqua di ruscellamento, per evitare il contatto con gli elementi lignei e per evitare il ristagno di acqua nelle strutture lignee (ad es. corretta gestione delle pendenze per l'allontanamento dell'acqua meteorica o dell'acqua di ruscellamento);*
- *La separazione netta tra il piano di campagna esterno e gli elementi lignei (ad es. impostando l'appoggio della parete lignea ad una quota superiore al piano di campagna esterno); in alternativa prevedere altra soluzione di dimostrabile efficacia (ad es. abbassare il piano di scorrimento dell'acqua rispetto al piano di campagna).”.*

1.2 UMIDITA' DI CONDENSAZIONE SUPERFICIALE E INTERSTIZIALE

“*Effettuare il calcolo delle stratigrafie opache dell'involucro edilizio, in modo tale che il bilancio netto (calcolato per ogni stagione dell'anno, tenendo conto anche dell'uso prevalente dei locali) dei trasferimenti di umidità all'interno dei setti sia tale da non compromettere la durabilità dei materiali e prodotti a base di legno (umidità del legno costantemente <18% per le parti strutturali e >18% per non più di qualche settimana all'anno, complessivamente, per le parti non strutturali).”.*

NOTE AGGIUNTIVE NON OBBLIGATORIE LEGATE ALLA DURABILITA':

- *“Va prestata particolare cura ai fori di passaggio, attraverso opportuni passaggi sigillati, al fine di evitare possibili infiltrazioni d'aria che possono dare origine a condensazioni localizzate all'interno delle chiusure opache verticali;*
- *Come utile riferimento per la valutazione della classe di rischio per la durabilità si rimanda alle definizioni di classi di servizio del § C4.4.5 della Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008;*
- *Per valutare la classe di rischio per la durabilità, in base alle condizioni di utilizzo e climatiche rispettivamente dell'edificio in legno e della zona di insediamento della costruzione, è possibile fare utile riferimento alle seguenti norme: UNI EN 335-1 / 2 ; UNI EN 335-3;*
- *Come utile riferimento per la valutazione della classe di rischio per la durabilità si riporta la nota del prospetto 1 della norma UNI EN 301 : 2006 “Un'umidità relativa (u.r.) dell'85 % a 20°C determina una percentuale di umidità del 20% circa nel legno di conifere e nella maggior parte dei legni di latifoglie e una percentuale di umidità leggermente più bassa nei pannelli a base di legno”;*
- *Va prestata particolare cura ai fori di passaggio, attraverso opportuni passaggi sigillati, al fine di evitare possibili infiltrazioni d'aria che possono dare origine a condensazioni localizzate all'interno delle chiusure opache verticali”.*

2. DOCUMENTAZIONE RICHIESTA PER I PREREQUISITI OBBLIGATORI

2.1 DOCUMENTAZIONE RICHIESTA PER L'UMIDITA' DI RISALITA

- *“Relazione tecnica con eventuali elaborati grafici, dettagli costruttivi e la descrizione dei materiali necessari nella quale si evinca come sono soddisfatte le “richieste in fase di progettazione” sopra indicate al fine di mitigare il rischio di umidità di risalita. Responsabile di produzione del documento: responsabile di progetto;*
- *Documentazione di dettaglio e una relazione che illustri le ragioni di eventuali varianti in corso d'opera. Responsabile di produzione del documento: tecnico competente;*
- *Documentazione fotografica di ogni fase nevralgica su supporto digitale - l'OdC incaricato all'atto delle ispezioni ne verificherà la presenza e la corrispondenza alle prescrizioni fornite. Responsabile di produzione del documento: produttore dell'edificio”.*

1.3 ALTRI DETTAGLI COSTRUTTIVI DA CONSIDERARE PER GARANTIRE LA DURABILITA' DELL'EDIFICIO

- *“Prestare particolare cura alla sigillatura dei fori di passaggio, al fine di evitare possibili infiltrazioni d'aria che possono dare origine a condensazioni localizzate all'interno delle chiusure opache verticali (* vedi pagina a fianco, nelle note non obbligatorie è presente un'indicazione identica);*
- *Prevedere la corretta coibentazione delle tubazioni, dei raccordi e dei pezzi speciali delle condotte di acqua fredda, al fine di evitare fenomeni di condensazione e gocciolamento entro le pareti;*
- *Prevedere per i cappotti un cambio del materiale, per una fascia minima di 40-50 cm., nelle parti basse che possono essere a potenziale contatto con acqua, neve e terreno (ad es. terrazze, partenza piano campagna) con materiale a cellula chiusa (es. XPS);*
- *Tutte le connessioni tra le componenti trasparenti e quelle opache devono essere sigillate attraverso giunti elastici di adeguata durabilità, al fine di evitare possibili infiltrazioni di acqua piovana all'interno della parete;*
- *Prevedere per i locali “umidi” specifiche prescrizioni per la sigillatura/impermeabilizzazione del pavimento e di tutte le zone di possibili infiltrazioni d'acqua, sanitari, pareti doccia, gruppi miscelatori, ecc. (ad es. impermeabilizzare le pareti della doccia con guaina liquida, sigillare i gruppi miscelatori con collari di supporto o silicone);*
- *Prevedere, nel caso si utilizzino esternamente sistemi di fissaggio metallici per elementi e prodotti a base di legno (strutturali e non strutturali), il rispetto delle specifiche minime per la protezione del materiale dei mezzi di unione contro la corrosione in funzione della classe di servizio, conformemente alla EN 1995-1-1, prospetto 4.1.”*

2. DOCUMENTAZIONE RICHIESTA PER I REQUISITI OBBLIGATORI

2.1 DOCUMENTAZIONE RICHIESTA PER L'UMIDITA' DI RISALITA

- *“Dettaglio del nodo di appoggio della parete alla fondazione in c.a. con chiara indicazione delle stratigrafie, degli spessori, delle quote altimetriche e del posizionamento delle guaine impermeabilizzanti;*
- *Specifiche prescrizioni con eventuali dettagli costruttivi per la sigillatura/impermeabilizzazione dei locali “umidi.””.*

2.2 DOCUMENTAZIONE RICHIESTA PER L'UMIDITA' DI CONDENSAZIONE SUPERFICIALE E INTERSTIZIALE

- *“Relazione tecnica con eventuali elaborati grafici, dettagli costruttivi e la descrizione dei materiali necessari nella quale si evinca come sono soddisfatte le “richieste in fase di progettazione” sopra indicate al fine di mitigare il rischio di umidità di condensazione interstiziale. Responsabile di produzione del documento: progettista energetico;*
- *Documentazione di dettaglio e una relazione che illustri le ragioni di eventuali varianti in corso d'opera. Responsabile di produzione del documento: tecnico competente;*
- *Documentazione fotografica di ogni fase nevralgica su supporto digitale - l'OdC incaricato all'atto delle ispezioni ne verificherà la presenza e la corrispondenza alle prescrizioni fornite. Responsabile di produzione del documento: produttore dell'edificio”.*

2.2 DOCUMENTAZIONE RICHIESTA PER L'UMIDITA' DI CONDENSAZIONE SUPERFICIALE E INTERSTIZIALE

- *“Verifica della condensa superficiale e interstiziale per tutte le stratigrafie con elementi strutturali.”*

2.3 DOCUMENTAZIONE RICHIESTA PER ALTRI DETTAGLI COSTRUTTIVI DA CONSIDERARE PER GARANTIRE LA DURABILITA' DELL'EDIFICIO

- *“Dettagli dei serramenti esterni (finestre, porte finestre, portoncino d'ingresso) con chiara indicazione del sistema di fissaggio e degli opportuni accorgimenti per evitare possibili infiltrazioni di acqua piovana all'interno della parete;*
- *Schede tecniche e certificazioni dei sistemi di fissaggio per la protezione del materiale dei mezzi di unione contro la corrosione nel caso siano utilizzati esternamente per il fissaggio di elementi e prodotti a base di legno (strutturali e non strutturali);*
- *Specifiche documentazione (prescrizioni tecniche, dettagli costruttivi, immagini fotografiche, ecc.) che diano evidenza delle modalità di sigillatura dei fori di passaggio, di coibentazione delle tubazioni e dei raccordi delle condotte di acqua fredda e di ogni altra soluzione utilizzata per mitigare il rischio di ristagni di umidità a contatto con gli elementi in legno.”.*

3. CREDITO NON OBBLIGATORIO

3.1 MITIGAZIONE DEL RISCHIO DI UMIDITA' DI CONDENSAZIONE INTERSTIZIALE - GESTIONE DELLA PERMEABILITA' AL VAPORE (Sd)

“RICHIESTE IN FASE DI REALIZZAZIONE (CANTIERE): Il presente requisito si applica alla chiusure opache verticali esterne ed alla copertura, per tutte le tipologie di stratigrafia utilizzate nelle strutture lignee presenti nella costruzione. Per l'ottenimento è necessario individuare preliminarmente il valore della temperatura di rugiada sulla base delle condizioni di temperatura e umidità interne medie secondo quanto indicato nella norma UNI EN ISO 13788 per mesi invernali, calcolate con riferimento luogo di edificazione. Va in seguito individuata la posizione geometrica in cui la chiusura opaca verticale, o orizzontale, raggiun-



ge il punto di rugiada, considerando una temperatura interna pari a 20°C e sulla base delle condizioni di temperatura esterna indicate nella norma UNI EN ISO 13788, per i mesi invernali, calcolato con riferimento al luogo di edificazione.

Va quindi selezionata la posizione geometrica più sfavorevole tra tutti i mesi invernali, ovvero quella più vicino al lato caldo, risulta così individuata la parte calda della stratigrafia, che si trova verso il lato caldo, e la parte fredda, che si trova verso il lato freddo.

Il credito viene assegnato se vengono rispettati i seguenti due requisiti:

- Il punto di rugiada deve cadere all'interno dello strato isolante posto verso il lato freddo, ovvero sempre all'esterno del pacchetto strutturale;
- Lo spessore di aria equivalente S_d del lato caldo della stratigrafia, calcolato come la sommatoria $\mu*s$, deve essere maggiore dello spessore di aria equivalente S_d del lato freddo della parete;
- Oppure presenza di VMC, secondo la specifica PT.6, con sistema di controllo dell'umidità (sensori e controllo velocità della VMC) in grado di mantenere l'umidità relativa dell'ambiente inferiore al 65%. Tutti i valori di conduttività termica e permeabilità al vapore, oppure di S_d , utilizzati per il calcolo, devono risultare dalle schede tecniche e/o certificati dei materiali effettivamente impiegati nella stratigrafia.”.

3.2. DOCUMENTAZIONE RICHIESTA PER IL CREDITO

- “Relazione tecnica con eventuali elaborati grafici, dettagli costruttivi e la descrizione dei materiali necessari nella quale si evinca come soddisfare le “richieste in fase di realizzazione (cantiere)” sopra indicate. Responsabile di produzione del documento: progettista energetico;
- Raccolta e registrazione delle schede tecniche e/o certificati dei materiali effettivamente impiegati nella stratigrafia (esempio nell'elenco riportato nell'elenco C) – l'OdC incaricato all'atto delle ispezioni ne verificherà la presenza e la corrispondenza tipologica. Responsabile di produzione del documento: produttore dell'edificio”.

5.2.6 Comparazione critica relativa all'approccio di ARCA e S.A.L.E. per la specifica umidità e durabilità

CONTENUTI	ARCA	S.A.L.E.	CONTENUTI	ARCA	S.A.L.E.
Approccio grafico adottato	ARCA, grazie a un approccio grafico ben studiato (icone, schemi, grafici,...) garantisce un'ottima facilità di lettura .	Il regolamento tecnico di S.A.L.E. è di difficile comprensione e lettura : scarso apparato grafico per quanto riguarda i dettagli, mancanza di schemi, ...	Requisito obbligatorio: umidità di risalita	ARCA fornisce, come anticipato, una serie di input per la corretta realizzazione dell'attacco a terra. Queste indicazioni sommarie sono però integrate da un'appendice detta " <i>Approfondimento sull'umidità di risalita: il dettaglio dell'attacco a terra nelle costruzioni in legno</i> ". Questa linea guida però non deriva da uno studio di ARCA, ma risulta essere una traduzione (parzialmente dichiarata) della linea guida austriaca "Richtlinie Sockelanschluss im Holzhausbau. Als Leitfaden für die Planung und Ausführung" , realizzata dall'ente di ricerca Holzforschung Austria e fornita gratuitamente sul sito www.dataholz.com .	Le indicazioni che riguardano questo requisito obbligatorio sono pressochè identiche a quelle fornite da ARCA.
Approccio metodologico adottato	ARCA fornisce degli input per quanto riguarda le indicazioni per garantire una buona durabilità dell'edificio. Le indicazioni forse non sono sufficienti. L'organizzazione fornisce comunque un'appendice con una lista di indicazioni per realizzare un attacco a terra a regola d'arte. E' importante sottolineare che i progettisti possono anche non far parte del network di ARCA e non avere esperienze pregresse con gli edifici in legno per certificare ARCA. E' interessante notare come i due protocolli di certificare spesso riportino indicazioni pressochè identiche .	S.A.L.E. fornisce degli input per quanto riguarda le indicazioni per garantire una buona durabilità dell'edificio. Anche in questo caso gli input non sono sufficienti, probabilmente viene data per scontata la capacità del costruttore poichè il primo requisito di accesso alla certificazione è legata alla sua esperienza pregressa. Per ogni specifica l'ente richiede al costruttore di fornire una documentazione molto consistente e specifica , che potrebbe rendere il processo troppo macchinoso.			

CONTENUTI

ARCA

S.A.L.E.

Requisito obbligatorio: umidità di condensazione interstiziale

In questo requisito ARCA sottolinea la necessità di **seguire le norme** per quanto riguarda il calcolo adeguato delle stratigrafie, verificando che non vi sia condensazione.

In questo requisito S.A.L.E., **senza riferirsi alle norme**, indica la necessità di effettuare un calcolo delle stratigrafie per garantire la durabilità delle strutture in legno.

Impone inoltre che durante la realizzazione delle stratigrafie, l'**umidità** di tutti i prodotti in legno sia **minore del 18%**.

ARCA in una nota, riporta una frase molto simile, ma **consiglia e non obbliga** il monitoraggio e la verifica dell'umidità degli elementi in legno prima della realizzazione della stratigrafia.

Requisito obbligatorio: altri dettagli costruttivi da considerare per garantire la durabilità dell'edificio

ARCA non ha un prerequisito riguardante i dettagli costruttivi in funzione della durabilità, ma nelle note, oltre a riportare alcune indicazioni simili a quelle di S.A.L.E., fornisce solo dei rimandi a delle **norme legate alle classi di rischio del legno**.

S.A.L.E., oltre ai requisiti precedenti, richiede al costruttore di prestare particolare attenzione nella realizzazione dei **particolari costruttivi più critici** per quanto concerne la durabilità di un edificio in legno.

CONTENUTI

ARCA

S.A.L.E.

Documentazione richiesta

ARCA, essendo una **certificazione dell'edificio** e prevenendo quindi la verifica delle fasi di progettazione, costruzione e costruzione ultimata, richiede una **documentazione che attesti l'adozione delle buone pratiche** per garantire una corretta durabilità dell'edificio durante tutto lo svolgimento del processo.

Per quanto riguarda la fase di progettazione, infatti, richiede una relazione tecnica con relativi particolari costruttivi, mentre per la fase di cantiere richiede una documentazione fotografica di ogni fase nevralgica di realizzazione dell'edificio e una relazione che attesti i motivi relativi a eventuali cambiamenti in corso d'opera.

S.A.L.E., essendo una **certificazione di qualità del costruttore**, non può richiedere documentazione riguardante i cantieri. Per questo motivo richiede dettagli costruttivi precisi e schede tecniche.

5.2.7 L'esempio del piano di gestione dell'umidità dell' Hand-book Canadese

A seguito dell'analisi dei due protocolli di certificazione e delle relative specifiche riguardanti la durabilità, è possibile affermare che:

- **ARCA** tratta il tema della durabilità nella categoria di "Gestione dell'edificio" in differenti specifiche, ma in modo molto generale e senza esporsi particolarmente per quanto riguarda la gestione dell'acqua e dell'umidità e lo stoccaggio del materiale in fase di cantiere. Le specifiche che trattano in particolare la durabilità sono:

- **Specifica GE.1 Umidità di risalita e condensazione.** ARCA fornisce delle indicazioni generali e con riferimenti normativi per quanto riguarda la realizzazione dell'attacco a terra e delle stratigrafie dell'edificio in legno;
- **Specifica GE.3 Corretta installazione del cappotto.** Il cappotto, come accennato in precedenza, è un elemento di fondamentale importanza per la protezione della struttura in legno. ARCA fornisce delle indicazioni generali sulla gestione dei sistemi di fissaggio, sul cambio di materiale alla base dell'edificio e sui punti di ancoraggio;
- **Specifica GE.4 Prassi virtuose.** Vengono indicate alcune buone pratiche per quanto riguarda la protezione della struttura quali, ad esempio, la sostituibilità degli elementi meno durevoli e la progettazione dei componenti trasparenti e dei relativi ombreggiamenti;

- **Specifica GE.5 Piano di manutenzione dell'edificio.** Il piano di manutenzione delle strutture è obbligatorio secondo la NTC 2018, ARCA richiede di redigere il piano di manutenzione anche per la "parte generale" dell'edificio e per gli impianti. Sottolinea inoltre l'importanza di consegnare i piani di manutenzione al proprietario dell'edificio in legno prima del rogito notarile.

- **S.A.L.E.** tratta il tema della durabilità in diverse specifiche e fasi della certificazione:

- **Progettazione della durabilità Sp. 3 (Fase di progettazione):** S.A.L.E. tratta il tema dell'umidità di risalita e di condensazione interstiziale analogamente ad ARCA;
- **Protezione elementi Sp.5 (Fase di gestione del cantiere):** rifacendosi al documento "Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere" redatto dall' Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL, S.A.L.E. pone particolare importanza allo stoccaggio dei materiali a base di legno durante la fase di cantiere fornendo delle indicazioni generali, legate spesso a buone prassi di cantiere;
- **Documentazione per il committente:** S.A.L.E. specifica che il costruttore dovrà consegnare al committente il Piano di Manutenzione con indicate le azioni da svolgere al fine di mantenere la durabilità e le prestazioni dell'edificio per l'intera vita

utile. Per ottenere la certificazione, infatti, il costruttore deve consegnare una copia controfirmata dal committente a Conlegno, questo passaggio è fondamentale per rendere consapevole il committente dell'esistenza e dell'importanza del Piano di Manutenzione. Inoltre, S.A.L.E. fornisce una linea guida per la redazione del Piano di Manutenzione a regola d'arte.

Ciò che sembra mancare a entrambe le certificazioni, ma in particolare ad ARCA, in quanto certifica l'edificio in legno, è la richiesta della redazione di un **Piano di gestione dell'umidità**. Come anticipato precedentemente, il "*Canadian CLT Handbook 2019 Ediction volume 1-volume 2*"¹ propone un **Piano di gestione dell'umidità per gli edifici in legno**.

La costruzione di edifici in X-Lam, infatti, richiede un'attenta pianificazione per gestire i **potenziali rischi legati all'umidità**. L'X-Lam deve essere protetto dagli agenti atmosferici e dall'acqua piovana poiché, ad esempio, un'eventuale bagnatura e la conseguente asciugatura naturale e/o meccanica potrebbero influire sulle tempistiche di costruzione. Inoltre, i pannelli in X-Lam che presentano un'elevata umidità e vengono "chiusi" all'interno delle stratigrafie senza effettuare controlli o operazioni di asciugatura, possono essere a rischio di deterioramento a causa della formazione di funghi, e questo, oltre a dare problemi strutturali e funzionali all'edificio, potrebbe influire negativamente sulla qualità dell'aria interna. Quando questi rischi sono mitigati correttamente, grazie a una gestione

corretta dell'umidità e dell'acqua, sia nella fase del processo di costruzione, sia nella fase di progettazione, ci si può aspettare una lunga durata dell'edificio.

FPInnovation, attraverso le esperienze acquisite, sottolinea l'importanza di realizzare un **piano di gestione dell'umidità**, già in fase di progettazione. Questo piano è descritto come uno strumento fondamentale per prendere alcune decisioni in merito alle tempistiche di cantiere: ad esempio, il piano può definire le diverse necessità di cantiere in funzione della tipologia costruttiva; può inoltre prevedere come gestire i materiali in legno in caso venissero inavvertitamente a contatto con l'acqua, ...

Il piano è suddiviso in diverse sezioni che spaziano dalle strategie più semplici (e quindi più economiche) alle più complesse (e quindi più onerose).

Come già accennato, FederlegnoArredo, in una delle sue linee guida, accenna a un piano di gestione dell'umidità che però risulta essere molto simile a quello elaborato nell'Hand-Book.

Il piano di gestione dell'umidità dell' "Hand-book" Canadese

L' "Hand-Book" Canadese propone un modello di come strutturare un possibile piano di gestione dell'umidità per un cantiere di un edificio in X-Lam.

+ COMPLESSO
- ECONOMICO

VALUTAZIONE DEL RISCHIO NELLA FASE DI PROGETTAZIONE E COSTRUZIONE

- Considerare il clima e le precipitazioni stagionali dell'area di cantiere;
- Stimare un programma della costruzione e il tempo in cui i pannelli in X-lam potrebbero potenzialmente bagnarsi;
- Eventualmente prevedere alti livelli di prefabbricazione per ridurre l'esposizione del legno agli agenti atmosferici;
- Prevedere un'installazione rapida del tetto potrebbe ulteriormente proteggere la struttura dall'esposizione alle intemperie;
- Prevedere una protezione della "testa" dei pannelli posti in verticale.

- COMPLESSO
+ ECONOMICO

MITIGAZIONE DEL RISCHIO E PROGRAMMAZIONE

- L'accelerazione dell'installazione di alcuni componenti dell'edificio, quali le finestre e il tetto, può mitigare il rischio di umidità nei pannelli in X-lam;
- Prevedere l'utilizzo di membrane temporanee per proteggere il tetto, purchè queste siano ben aderenti alla struttura, altrimenti possibili infiltrazioni d'acqua potrebbero rallentare le tempistiche di progetto;
- E' importante prevedere la protezione dei pannelli del solaio in X-lam nel momento in cui vengono gettati dei massetti in cemento: questo perchè spesso il rapporto a/c è elevato e l'acqua che non reagisce con l'impasto potrebbe dare dei problemi ai pannelli in legno.

CONSIDERAZIONI PER LA PROTEZIONE IN FABBRICA E IN LOCO DEI PANNELLI IN X-LAM

- Possono essere applicati dei rivestimenti protettivi permanenti o temporanei per i pannelli utilizzati nelle coperture o particolarmente esposti alle intemperie;
- Un metodo è quello di rivestire i pannelli con un rivestimento idrorepellente (fonte: Hand-book, FPInnovation) applicato in fabbrica, anche se non è del tutto efficace. Una soluzione efficace per evitare la risalita capillare dell'acqua è quella di proteggere, attraverso l'applicazione di idrorepellenti a base di paraffina, i bordi dei pannelli (compresi i fori derivanti da fresatura);
- E' possibile utilizzare diverse membrane di protezione, temporanee o permanenti.

UTILIZZO DI TELONI TEMPORANEI PER LA PROTEZIONE DELL'EDIFICIO

- In fase di progettazione è importante prevedere se la struttura di elementi di protezione temporanea come ad esempio tende o teloni, oltre alle altre misure di protezione passiva, poiché questo influisce sul piano economico del cantiere. Questo, se non programmato adeguatamente, potrebbe ritardare le tempistiche di realizzazione.



MECCANISMI DI ASCIUGATURA DELL'X-LAM

- Prevedere un piano di asciugatura in caso di necessità, anche se questo potrebbe non essere mai utilizzato;
- Il piano può prevedere l'adozione di soluzioni di essiccazione naturale o meccanica, o entrambi, a seconda delle condizioni ambientali e climatiche e del budget a disposizione;
- I tempi di essiccazione naturale dipendono dal contenuto di umidità del pannello, dalla temperatura e umidità relativa dell'aria, dalla velocità del vento, ...
- I metodi meccanici prevedono l'utilizzo di un ventilatore che possono prevedere o meno l'utilizzo di aria calda. Per evitare danneggiamenti del pannello l'essiccazione deve avvenire in modo controllato.



SIGILLATURA DEI GIUNTI E DELLE MEMBRANE

- Prevedere la corretta giunzione delle diverse membrane in modo da evitare possibili infiltrazioni di acqua all'interno della struttura;
- Il piano di gestione dell'umidità dovrebbe contenere i dettagli riguardanti la sigillatura dei giunti, inclusa la sequenza di montaggio. Particolare attenzione va posta sui giunti scanalati;



STRATEGIE ATTIVE PER LA GESTIONE DELL'ACQUA IN SITU

- Prevedere il monitoraggio degli eventi meteorologici, quali ad esempio le piogge in estate;
- Mettere in atto delle misure attive durante i fenomeni di pioggia per dirigere l'acqua e ridurre l'assorbimento. Queste strategie possono includere spazzare via l'acqua, l'aspirazione dell'acqua e l'asciugatura oppure prevedere degli scarichi temporanei.



5.2.8 Il confronto con la Repubblica Ceca

Un omonimo Ceco di S.A.L.E. è l'ente di certificazione indipendente "**Timber Institute**" che controlla e supervisiona la qualità degli edifici in legno e si impegna ad aumentare il livello di qualità nella costruzione. Il certificato di qualità della costruzione può essere richiesto dai proprietari e/o dai costruttori di edifici in legno. Questo servizio è un vero e proprio strumento di controllo della costruzione che, come attività principale, ha quella di svolgere Audit con lo scopo di rilevare eventuali errori e correggerli in tempo e a basso costo.

L'Istituto prevede una serie di requisiti necessari per l'ottenimento della certificazione di qualità:

- Due visite tecniche necessarie a verificare la corretta posa dei diversi componenti in cantiere;
- Un' ispezione della documentazione di progetto;
- Un' ispezione del materiale da costruzione;
- Una misurazione costante del contenuto di umidità nel legno;
- Un' ispezione dell'installazione dei serramenti;
- Una verifica della tenuta all'aria attraverso il metodo 2 del "Blower Door Test";
- L'investitore può richiedere che l'edificio venga ispezionato ogni giorno oppure ogni settimana (il servizio risulta però essere più impegnativo dal punto di vista finanziario).

5.3. I sistemi di monitoraggio

p. 643

5.3.1. Analisi di due casi studio: caso A

p. 468

5.3.2. Analisi di due casi studio: caso B

p.480

“Ci sono delle aziende che stanno sviluppando delle tecnologie che permettono di monitorare il grado di umidità delle pareti in X-Lam. Un esempio è Woodcontrol: con un investimento relativamente economico, il committente può tutelare il proprio edificio in legno. Fosse casa mia, lo installerei!”

MAURO FRATE

5.3 I sistemi di monitoraggio

E' importante che le strutture in legno siano progettate in funzione della durabilità, ma vista la natura biotica del materiale è bene prendere delle **misure preventive e predittive** in relazione alla maggior causa di degrado legata al materiale, ovvero l'umidità.

Quando, infatti, l'umidità del legno supera il "limite" del 20% la possibilità di un attacco da parte di funghi, muffe e insetti aumenta, oltre ad aumentare la probabilità di un fenomeno di marcescenza.

Uno strumento utile per la misurazione della percentuale di umidità all'interno del legno è il **sistema di monitoraggio dell'umidità**, basato sull'utilizzo di elettrodi posizionati nei punti più critici e più probabilmente soggetti a umidità.

Questi sistemi, monitorando il livello di umidità del legno per tutta la vita utile dell'edificio, consentono di controllare l'efficacia delle misure di protezione adottate per la struttura in legno, riconoscere eventuali aree di vulnerabilità e riscontrare problemi, in modo da intervenire prima che si verifichino gravi danni.

I sistemi di monitoraggio, inoltre, possono fornire un importante contributo per pianificare ancora meglio la durabilità delle costruzioni in legno in futuro.

Nel 2015 un sistema di monitoraggio dell'umidità è stato adottato per il monitoraggio di un ponte a Hönigesberg in Germania. Negli ultimi decenni, nel paese è stato costruito un numero esiguo di ponti in legno poiché questi non sono considerati durevoli quanto i ponti realizzati in calcestruzzo armato o in acciaio. Secondo uno studio¹ solamente i ponti in legno protetti e monitorati possono competere in

fatto di durabilità, sostenibilità ed economia rispetto a ponti realizzati in altri materiali.

In Italia vi sono due Leader nel settore " del monitoraggio": il sistema di monitoraggio del protocollo di certificazione S.A.L.E, nato dalla collaborazione tra Assolegno, Conlegno e Logica H&S; il sistema studiato dalla start-up innovativa WoodControl.

Come accennato, **Il sistema di monitoraggio S.A.L.E** è un sistema brevettato, dedicato prevalentemente alle case in legno. Il sistema flessibile e modulare permette di rilevare continuamente l'umidità del legno, l'umidità relativa e la temperatura degli ambienti, oltre allo spostamento dell'edificio rispetto alla verticale. I dati possono essere visualizzati in tempo reale, anche da remoto, e vengono archiviati per averne uno storico. Qualora il sistema riscontri un superamento dei valori soglia, definiti preventivamente dal gestore, invia una segnalazione di allarme.



Figura 5.22 Sensori per la misurazione dell'umidità e la temperatura del legno sotto il ponte a Hönigesberg, Germania. Fonte: Koch J., Simon A., Arndt R.W., 2016, *Monitoring of moisture content of produced timber bridges*, seminario WCTE 2016 World Conference on Timber Engineering Agosto 22-25



Con il fine di indagare questo sistema innovativo di monitoraggio e capire come lo storico dei dati, relativi all'umidità e alla temperatura del legno possano fungere da campanello di allarme di una scorretta progettazione della durabilità di un edificio in legno, ci si è interfacciati con la start-up WoodControl. Uno strumento utile al committente di un edificio in legno per monitorare l'umidità della struttura è, infatti, il sistema di monitoraggio "MyMeter" brevettato dalla Start Up "Woodcontrol".

COS'È

Questo sistema permette di rilevare e successivamente elaborare dati relativi all'umidità e alla temperatura nelle strutture in legno, mediante una rete di sensori distribuiti in punti strategici e collegati alla rete Wi-Fi.

COME FUNZIONANO LE MISURAZIONI

I sensori sono dotati di un termometro incorporato, concepito per entrare in contatto con il legno in prossimità dei rilevatori di umidità. I sensori usano la tecnologia che misura la conduttività elettrica all'interno del legno, in modo da non limitare la misurazione allo strato superficiale dell'elemento. Attraverso la rete di sensori è possibile sorvegliare l'assorbimento di acqua da parte dei componenti strutturali in legno e ottenere informazioni per individuare, in modo tempestivo, eventuali eccessi che, se trascurati, possono portare a fenomeni di marcescenza. Ogni sensore dispone di due elementi rilevatori: **una coppia di elettrodi** per misurare l'umidità e la conduttività, e un **termometro**

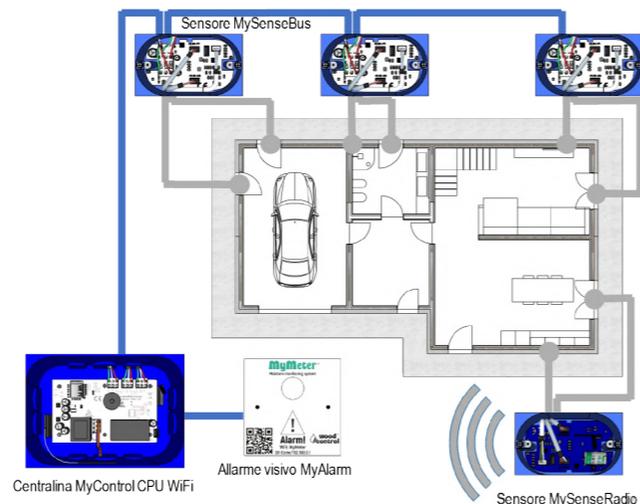


Figura 5.23 Schema tipo di distribuzione dei sensori e della centralina. Fonte: <https://woodcontrol.eu/>

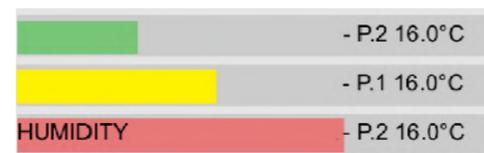


Figura 5.24 Barre che indicano la percentuale di umidità rilevata dai sensori. Fonte: <https://woodcontrol.eu/>

per misurare la temperatura. Inoltre il sistema si compone di una centralina, "My Control", collegata a uno o più sensori che ne permette la trasmissione dei dati rilevati. Questi dati vengono raccolti in un sistema che ne permette il controllo costante da parte degli utenti dell'edificio.

DOVE INSTALLARE I SENSORI

I sensori vanno posizionati nei punti critici della struttura, come ad esempio l'attacco a terra, in prossimità di aperture e serramenti, sui tetti piani o terrazze, e nei locali maggiormente soggetti all'umidità, come i bagni (piatti doccia) e le cucine. Gli

elettrodi vanno posizionati in direzione ortogonale rispetto alla fibra del legno. Nel caso di un edificio in X-Lam, gli elettrodi vengono fissati circa a metà della lamella del pannello e a un'altezza di 30/40 cm rispetto al piano di appoggio. Le specie legnose per le quali è stato tarato il sistema sono: l'Abete rosso, il Pino e il Larice. Le tecniche costruttive per le quali è stato studiato sono le strutture a pannelli in l'X-Lam, il telaio e la travatura (Fonte: manuale di posa di Wood Control).

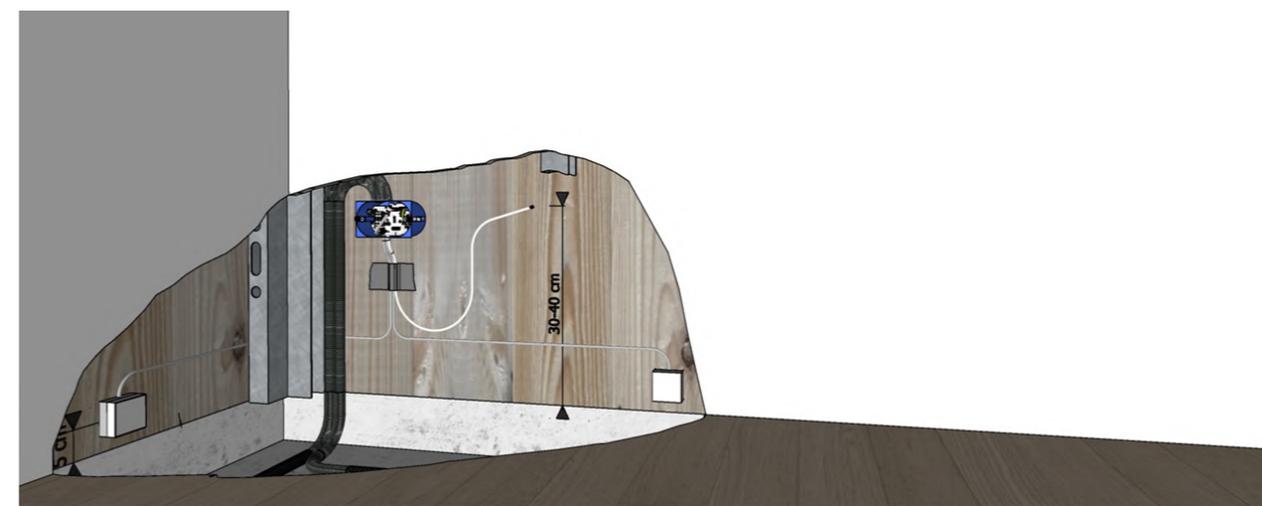


Figura 5.25 Corretto posizionamento dei sensori. Fonte: <https://woodcontrol.eu/>

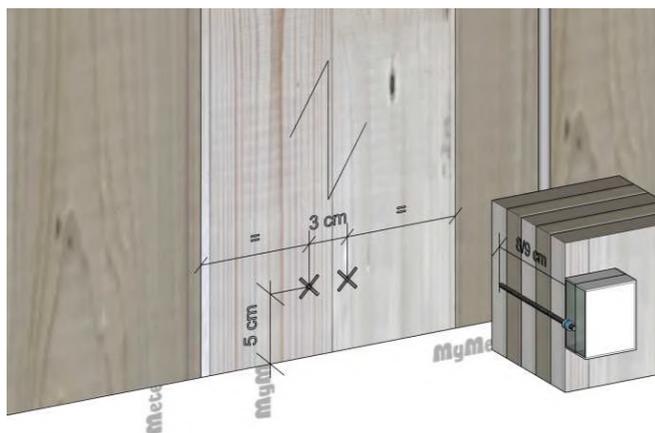


Figura 5.26 Sistema X-Lam: schema per un corretto posizionamento degli elettrodi. Fonte: <https://woodcontrol.eu/>



Figura 5.27 Sistema a telaio: posizionare gli elettrodi trasversalmente rispetto alla fibra del legno e fissarli a metà circa della banchina del telaio. Fonte: <https://woodcontrol.eu/>



Figura 5.28 Corretto posizionamento dei sensori nelle travi in legno: posizionare gli elettrodi trasversalmente rispetto alla fibra del legno. Fonte: <https://woodcontrol.eu/>

IL RANGE DI RILEVAMENTO DELL'UMIDITÀ

Il range di rilevamento è compreso tra il 10% e il 32%.

- **RANGE VERDE:** dal 10% al 17%, la struttura non presenta criticità legate all'umidità;
- **RANGE GIALLO:** dal 18% al 20%, è la prima soglia di allerta. In questo caso non scatta un allarme sonoro ma il committente, prendendo visione dai dati, viene a conoscenza della presenza di un'alterazione di umidità nella struttura che potrebbe diventare critica;
- **RANGE ROSSO:** dal 21% al 32%. In questo caso la centralina emette un allarme sonoro, un allarme visivo e invia un'email all'indirizzo impostato (se non connesso al cloud).

COSA CAPITA SE VIENE RILEVATO UN VALORE CRITICO DI UMIDITÀ

Una volta rilevata una presenza costante dell'umidità in fascia critica, in uno o più punti dell'edificio, l'utente dovrebbe contattare il progettista e/o l'impresa costruttrice in modo da svolgere le giuste verifiche del caso.

CRITICITA' DEL SISTEMA

- In caso di "blackout" della rete elettrica, i sensori smettono di funzionare e scatta l'allarme sonoro della centralina;
- La rilevazione dell'umidità è strettamente correlata allo stile di vita degli utenti e alle azioni che compiono: spesso, anche solo aprire una finestra o cucinare, può influire sulla misurazione dell'umidità.

CONSIGLI PER UNA CORRETTA VALUTAZIONE DELL'UMIDITÀ DEL LEGNO IN CANTIERE

Come accennato precedentemente, la fase di cantiere e lo stoccaggio del legno è molto delicata: i tempi di cantierizzazione eccessivi e uno scorretto stoccaggio dei materiali, nonché la loro prolungata esposizione agli agenti atmosferici, possono determinare situazioni di criticità. WoodControl ha redatto una sorta di "breve linea guida" sulle attenzioni da prestare prima di "chiudere" pareti, solai e tetti in legno, poiché la presenza di umidità elevata rischia di danneggiare in partenza la struttura. Prima di realizzare chiusure e di installare i sensori, la start-up consiglia, infatti, di misurare la temperatura e l'umidità dell'elemento strutturale in legno.

“Diventa, pertanto, fondamentale avere conoscenza e consapevolezza del livello di umidità del legno di queste strutture, monitorandolo nel tempo. Scegliere il momento giusto in cui “chiudere” le parti in legno è fondamentale per mettere l'edificio in sicurezza ed evitare di sottoporre la struttura a lunghi periodi in presenza di umidità eccessiva, che potrebbe danneggiare il legno in modo anche irreparabile.

Il nostro consiglio, maturato in anni di esperienza nell'installazione dei Sistemi di monitoraggio MyMeter è quello di effettuare delle misurazioni puntuali di umidità, mappando la struttura e individuando i punti critici dove effettuare le rilevazioni. Per fare questo è sufficiente un semplice igrometro per legno. “

(Fonte: MyMeter Moisture Monitoring System, s.d., *Consigli e pratiche per una corretta valutazione dell'umidità del legno in cantiere*, scaricato da www.woodcontrol.eu)

5.3.1 CASO A

INFORMAZIONI GENERALI

Localizzazione: Sacile in Provincia Pordenone (Friuli Venezia Giulia);

Anno di costruzione: 2019;

Tipo di intervento: Residenziale;

Esperienza dei progettisti con il legno:

- Architetto: esperienza ventennale con il legno, ha seguito un corso di bioedilizia;
- Ingegnere strutturista: opera nel settore del legno;

Esperienza dell'impresa costruttrice con il legno: impresa veneziana che lavora prevalentemente nel settore dell'edilizia prefabbricata, in legno e in calcestruzzo armato;

INFORMAZIONI PROGETTUALI

Sistema costruttivo: pareti portanti in X-Lam; solaio e tetto in legno;

Numero di piani: due piani fuori terra;

Stratigrafia della parete: dall'esterno all'interno:

- A: Rasatura e tinteggiatura
- B: Cappotto in sughero, spessore 120 mm;
- C: Pannello in X-Lam, spessore 120 mm;
- D: Isolante in fibra minerale, spessore 50 mm;
- E: 2 lastre di fibrongesso, spessore 12.5 mm l'una;

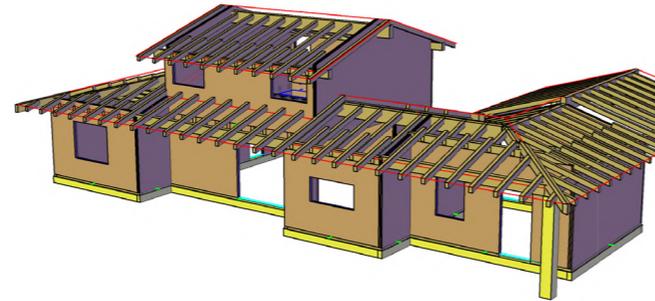


Figura 5.29 Modello strutturale tridimensionale realizzato dall'impresa costruttrice

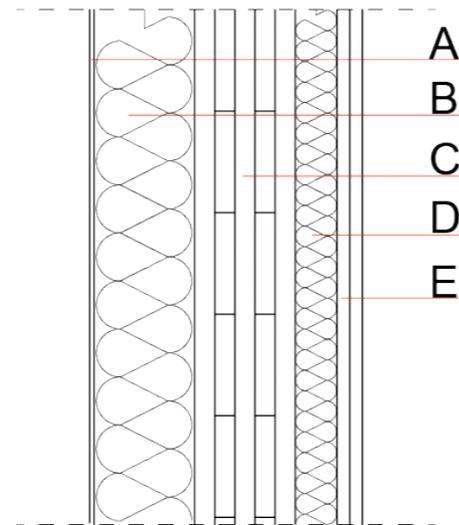
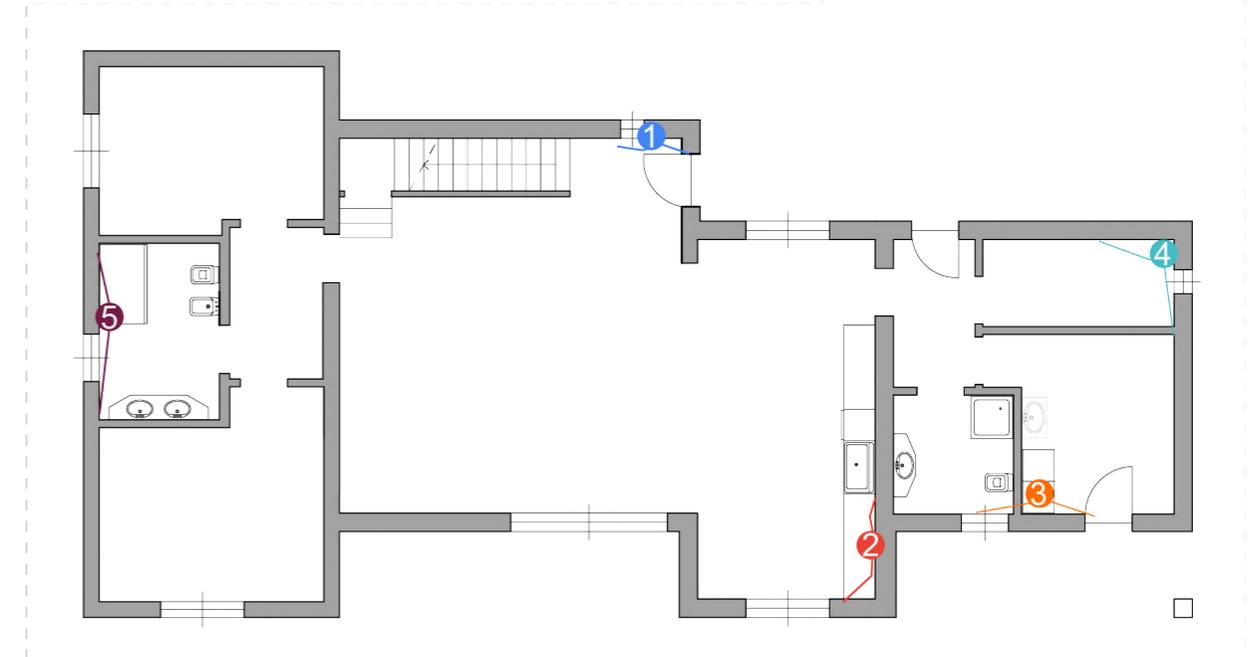


Figura 5.30 Stratigrafia parete esterna

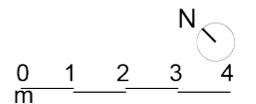
I SENSORI

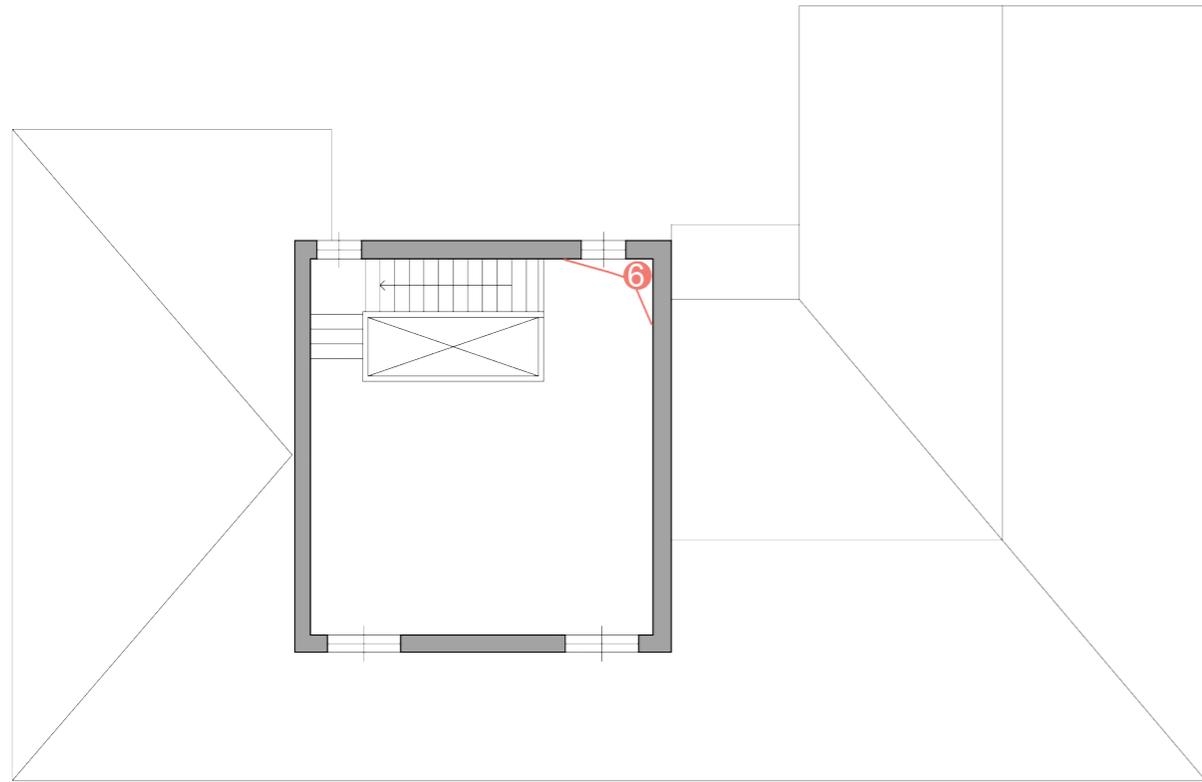
Numero di sensori:6

Punti di rilevazione: 12

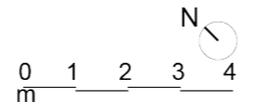


- sensore 1: INGRESSO
- sensore 2: CUCINA
- sensore 3: LAVANDERIA
- sensore 4: LOCALE TECNICO
- sensore 5: BAGNO





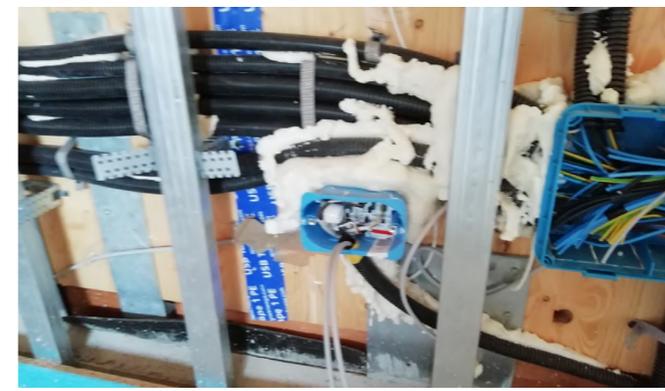
● sensore 6: INGRESSO



SENSORE 1



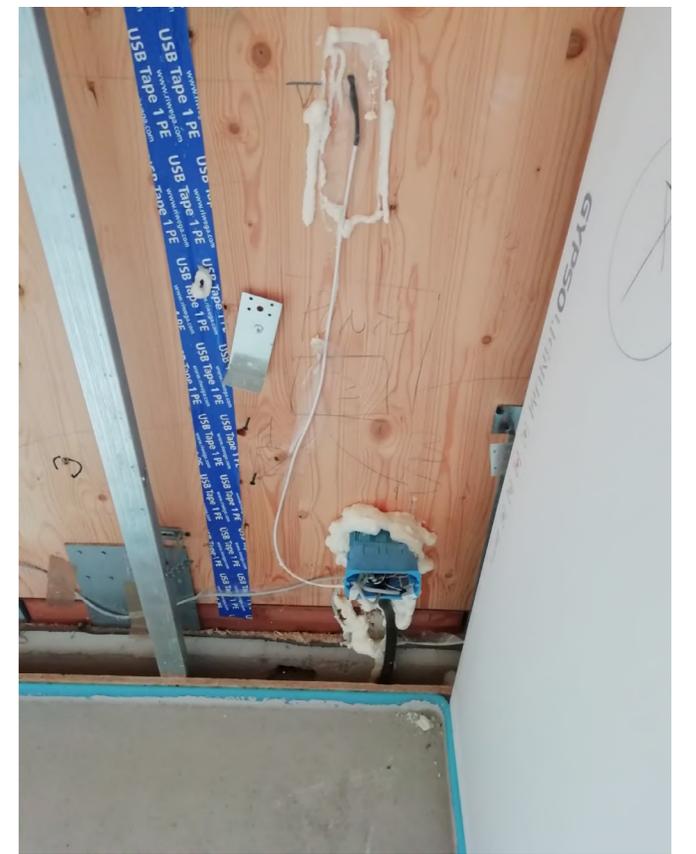
SENSORE 2



SENSORE 3



SENSORE 5



SENSORE 4

ANALISI DEI DATI

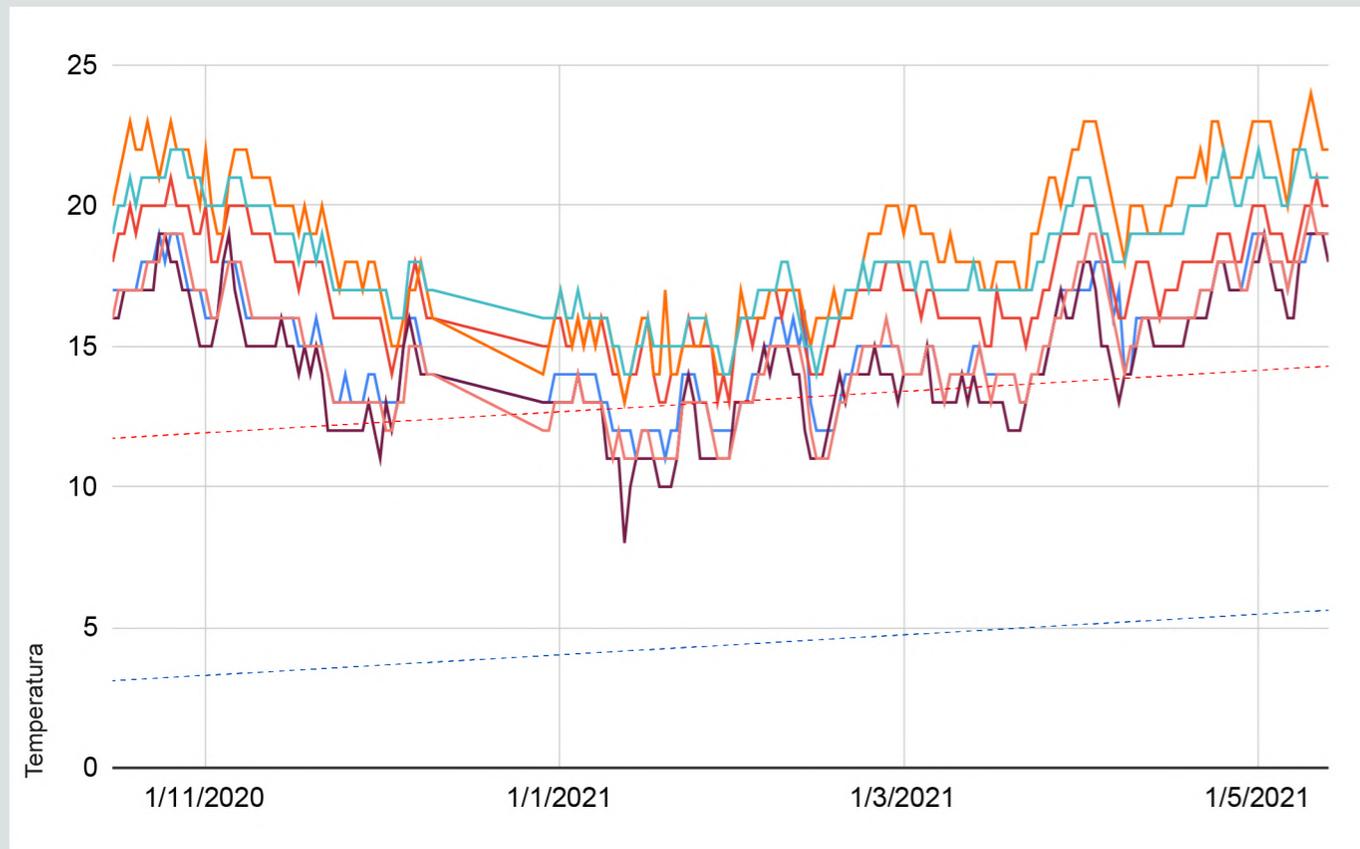


Grafico 1 Rielaborazione dei dati della TEMPERATURA, forniti da Woodcontrol, relativi ai sei sensori di misurazione dell'edificio

LEGENDA:

- Linea di tendenza della temperatura minima del luogo
- Linea di tendenza della t. massima del luogo
- Sensori 1: INGRESSO
- Sensori 2: CUCINA
- Sensori 3: LAVANDERIA
- Sensori 4: LOCALE TECNICO
- Sensori 5: BAGNO ZONA NOTTE
- Sensori 6: MANSARDA

Data di partenza considerata per l'analisi: 14/10/2020

Data finale considerata: 13/05/2021

Periodo di interruzione: dal 11/12/2020 al 28/12/2020 (corrispondente al tratto obliquo del grafico)

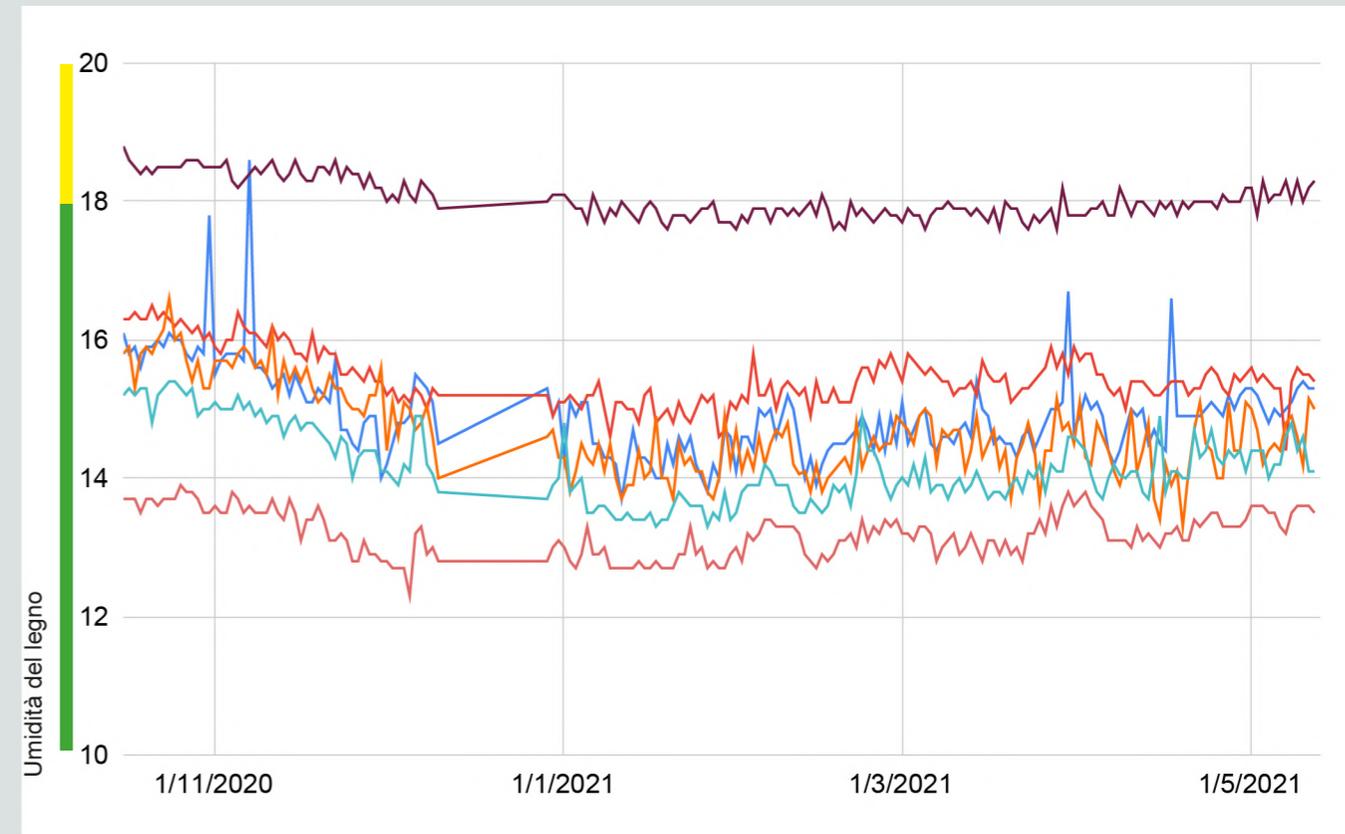


Grafico 2 Rielaborazione dei dati dell' UMIDITA' DEL LEGNO, forniti da Woodcontrol, relativi ai sei sensori di misurazione dell'edificio

Come sono stati rielaborati i dati forniti dall'azienda: Ogni sensore rileva i dati circa tre volte al giorno (circa all'una di notte, alle nove del mattino e alle diciassette del pomeriggio). I dati relativi all'umidità del legno sono forniti con una minima e una massima. Per l'elaborazione grafica è stata calcolata una media dei dati giornalieri.

Calcoli relativi alla stratigrafia: per analizzare in modo completo i dati, è stata svolta una verifica relativa alla stratigrafia. Per lo svolgimento dei calcoli, relativi alla trasmittanza termica e alla presenza di condensa interstiziale e superficiale, sono stati considerati dei materiali di base, consultando alcune aziende leader del settore.

- U (trasmittanza termica) = 0.116 W/m²k
- Sfasamento = 21.80 ore
- NO condensa superficiale e interstiziale

CONCLUSIONI

Commenti:

- Ciò che si evince dal grafico relativo alle temperature è che la temperatura delle pareti, rilevata dai sensori, sembra avere un andamento non costante, anzi sembra seguire **l'andamento delle temperature esterne**: questo può essere legato a diversi tipi di errori, quali la scorretta posa in opera e nastratura dei serramenti (tutti i sensori sono posizionati in prossimità delle finestre), una scorretta nastratura delle pareti in X-Lam e/o la presenza di ponti termici importanti. Visionando il grafico che rappresenta l'andamento dell'umidità nel legno, questi problemi non hanno ancora comportato un aumento generale dell'umidità dei pannelli in legno. Il locale che mantiene valori più o meno costanti di temperatura e umidità nel tempo è il **locale tecnico**, questo probabilmente perchè non viene comunemente utilizzato dagli utenti: è presente solamente una piccola finestra di comunicazione con l'esterno e i macchinari producono, in ogni caso, calore.

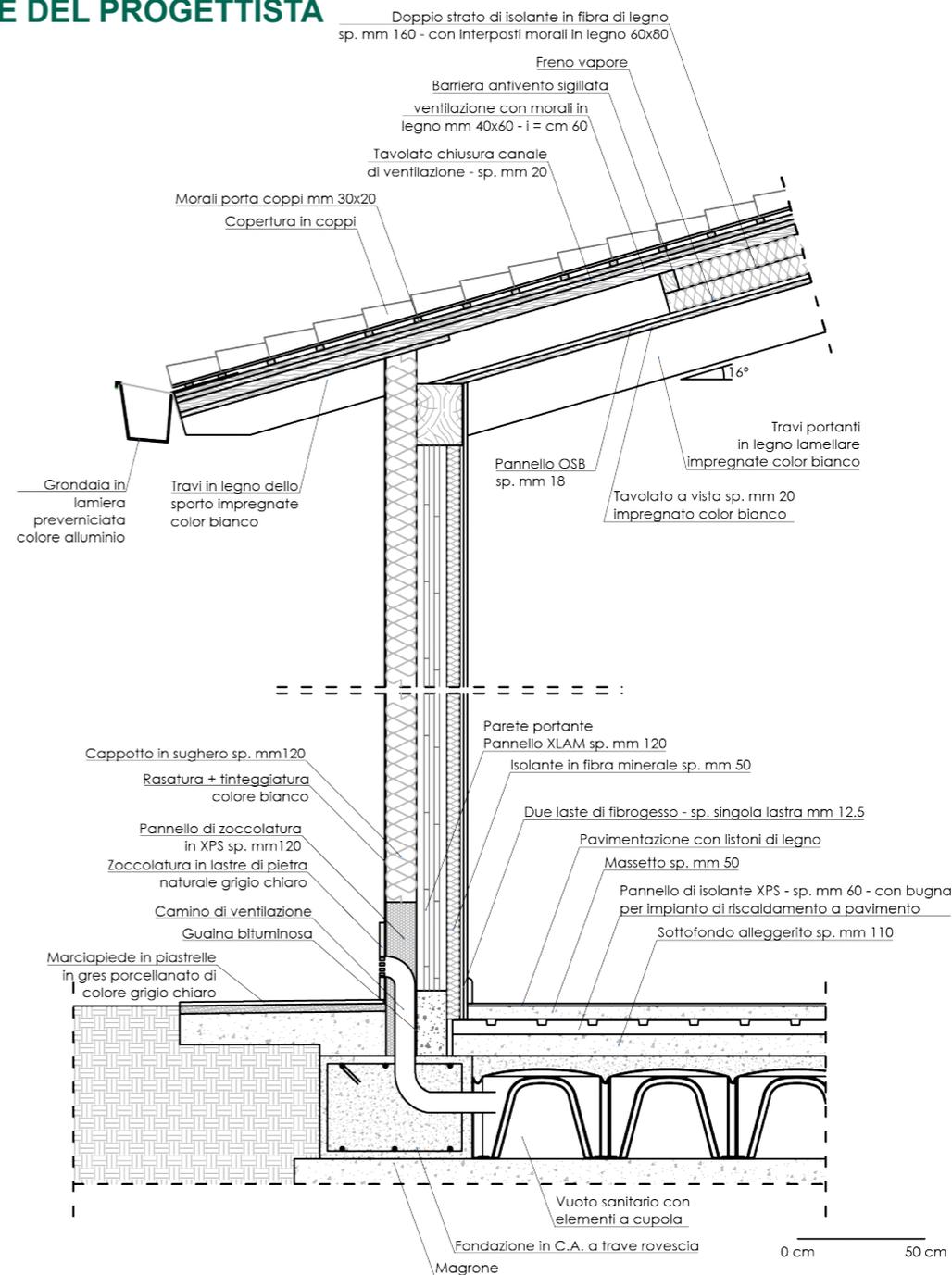
- Il **sensore numero 1** è stato posto all'ingresso dell'edificio, in prossimità della porta: il passaggio continuo delle persone attraverso l'unica entrata dell'edificio può compromettere la corretta valutazione dei dati. Ciò che infatti si può notare dal grafico è che sono presenti dei picchi di temperatura e di umidità, probabilmente legati all'attività degli occupanti.

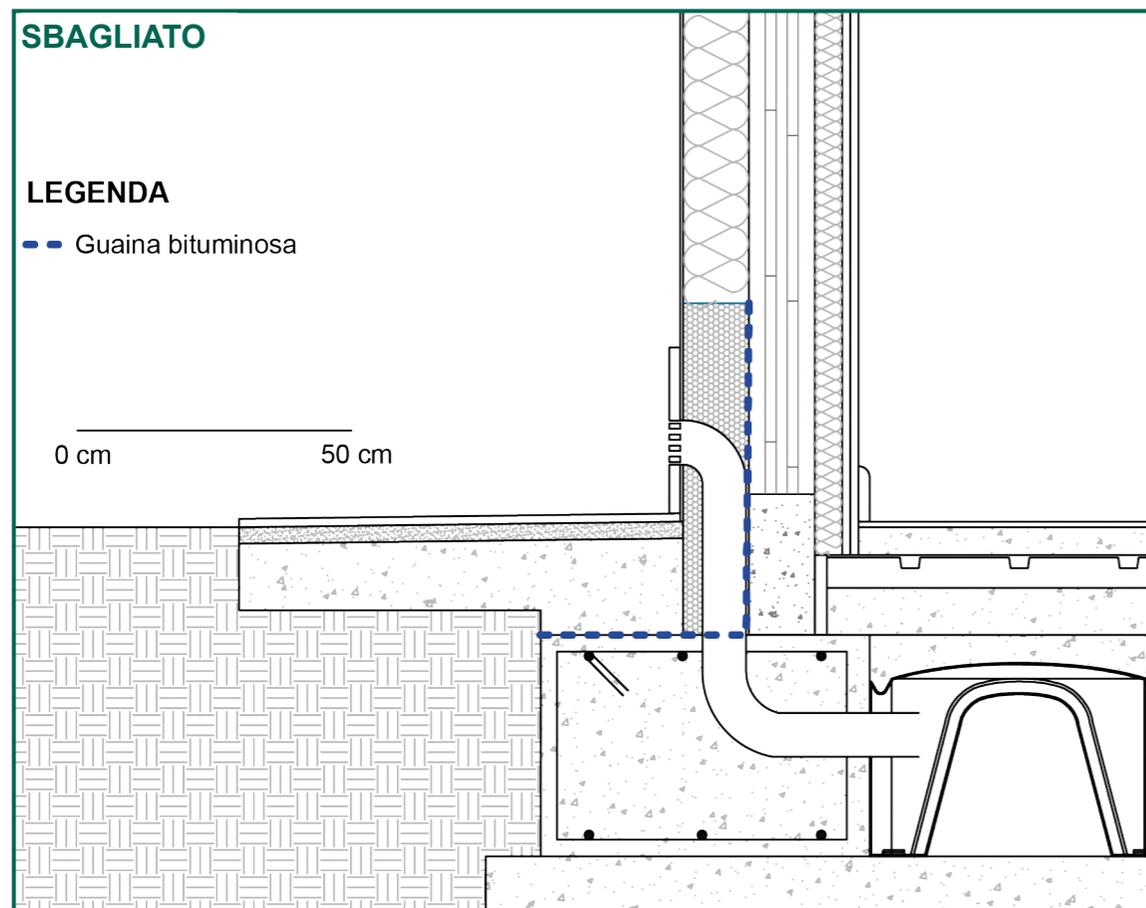
- Il locale che sembra avere più problemi è il **bagno della zona notte**, esposto a Nord

-Ovest. L'andamento della temperatura e dell'umidità nel pannello è anomalo: la temperatura diminuisce fino a raggiungere una temperatura minima di 9° C (la temperatura di progetto di un bagno è generalmente 21° C), mentre l'umidità del pannello è costantemente nel "range giallo", ovvero con un valore di umidità attorno al 18%. Questo fenomeno si è manifestato già nei primi giorni di permanenza degli inquilini, questo fa pensare che non sia legato a una loro attività. In alcuni casi - non in questo caso- un'attività che può compromettere la corretta misurazione dell'umidità di un pannello è legata al fatto di non aprire le finestre dopo la doccia (questa attività comunque porterebbe alla formazione di muffe e a problemi di umidità nel lungo periodo).

- Posa delle scatole porta frutto: il sistema viene fornito da Wood Control con scatole elettriche adatte all'utilizzo con tanto di dime, punte, chiavi e cavi di connessione, evitando così di lasciare interpretazioni al posatore. Queste scatole elettriche sono resistenti al calore a filo caldo fino a 850°C, come prescritto dalla Norma. Come si può notare dalle fotografie di pagina 473, è stata utilizzata della schiuma poliuretana. La posa non è corretta ma non inficia sul funzionamento del sistema. Nonostante Wood Control fornisca un manuale chiaro di posa, non sempre gli elettricisti lo consultano e, se non hanno esperienza con le costruzioni in legno, tendono ad improvvisare.

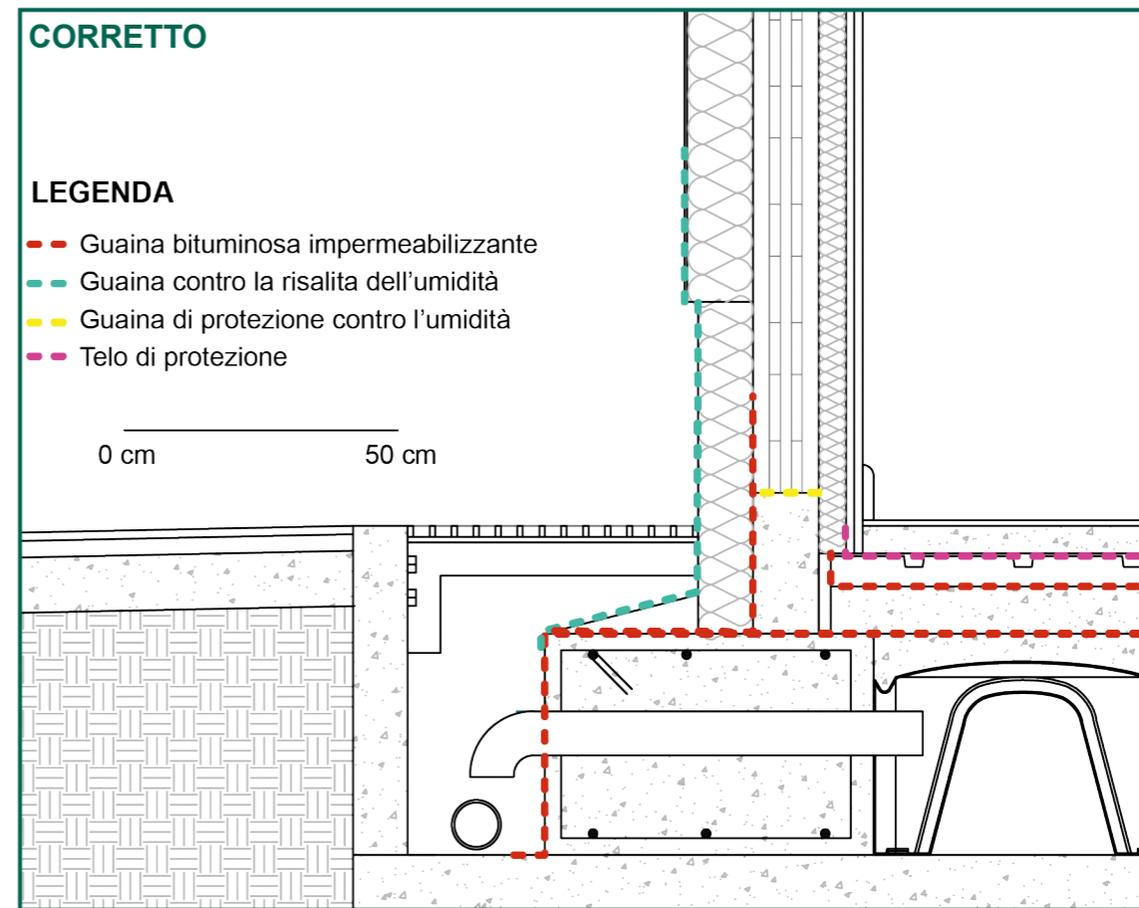
LA SEZIONE DEL PROGETTISTA

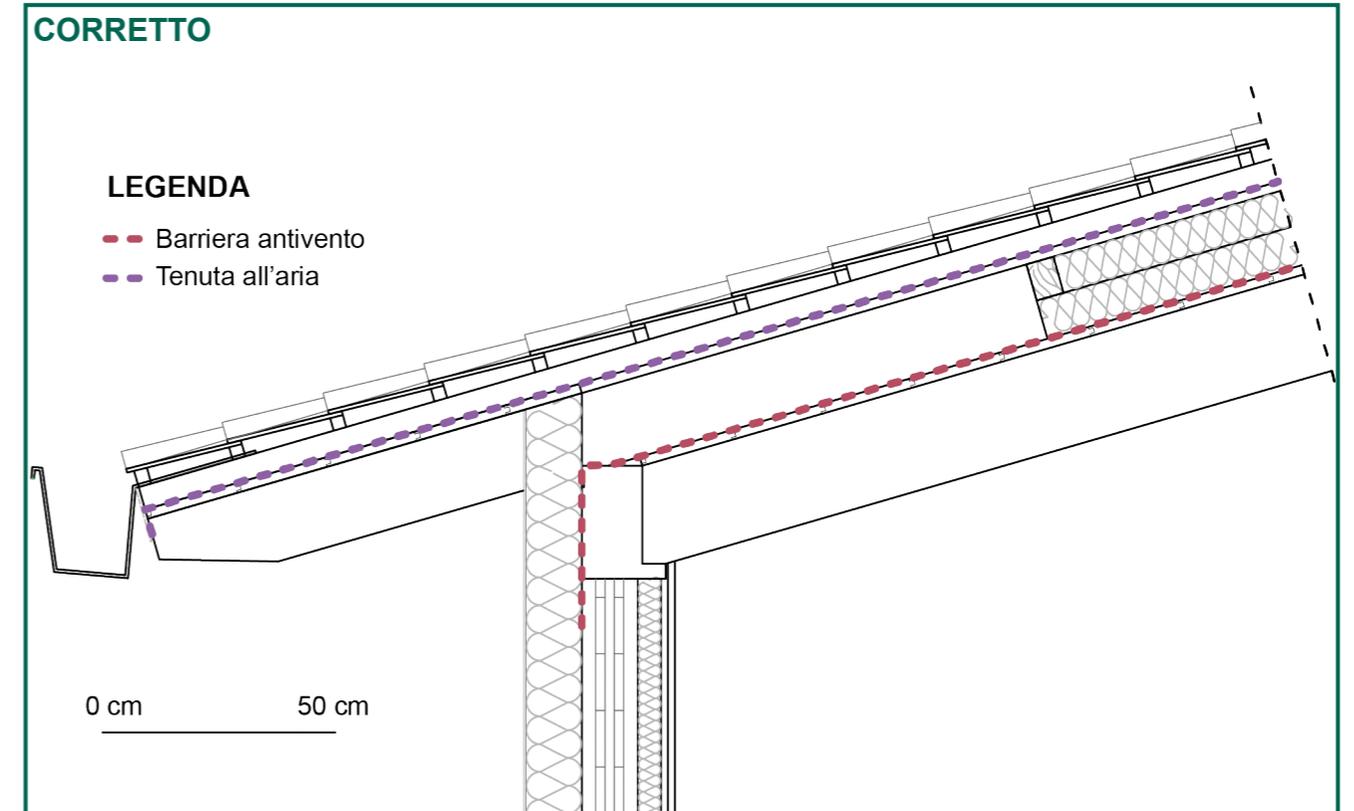
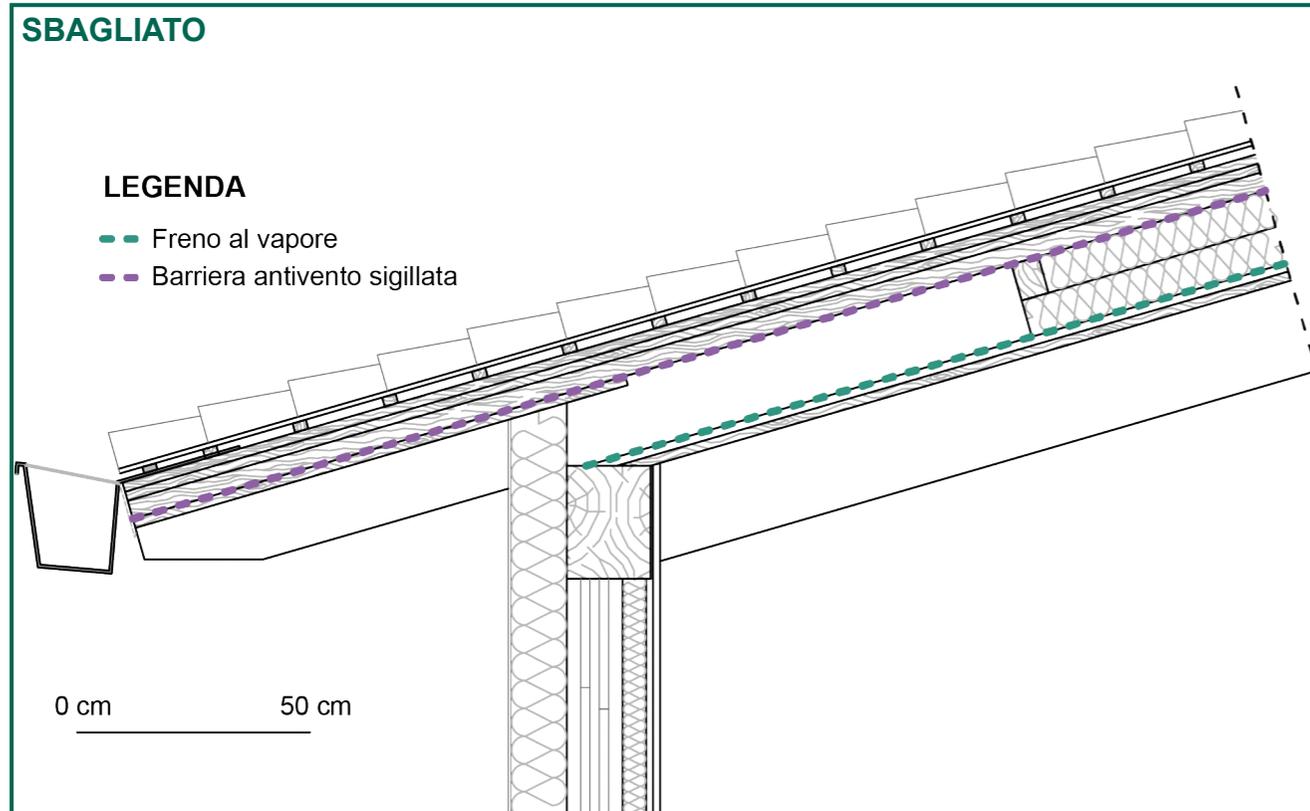




Normalmente è sconsigliabile inserire il passaggio del camino di ventilazione all'interno di una trave rovescia. Nel caso in questione, inoltre, il condotto di areazione fora quasi completamente l'isolante, formando un vero e proprio ponte termico e andando così ad aumentare la possibilità che si formi condensa nella zona dell'attacco a terra dell'edificio. La soluzione corretta è stata elaborata comunque a partire dal presupposto che la trave rovescia e il vespaio areato siano alla stessa altezza. Per risolvere il nodo è stata ipotizzata la realizzazione di un'intercapedine di ventilazione protetta da

una griglia fissata tramite un profilo a L al "muretto di contenimento". Rifacendosi alle linee guida dell'Holzforschung Austria, sono state inserite le guaine corrette, in modo da evitare il passaggio dell'acqua dovuta sia alla risalita sia alle infiltrazioni di acqua piovana.





5.3.2 CASO B

INFORMAZIONI GENERALI

Localizzazione: Tombolo in Provincia Padova (Veneto);

Anno di costruzione: 2020;

Tipo di intervento: Residenziale;

INFORMAZIONI PROGETTUALI

Sistema costruttivo: pareti portanti in X-Lam;

Numero di piani: Due piani fuori terra;

Stratigrafia della parete: dall'esterno verso l'interno:

- A: Rasatura e tinteggiatura
- B: Cappotto in sughero, spessore 120 mm;
- C: Pannello in X-Lam, spessore 120 mm;
- D: Isolante in lana di roccia, spessore 80 mm;
- E: 2 lastre di fibrongesso, spessore 12.5 mm l'una

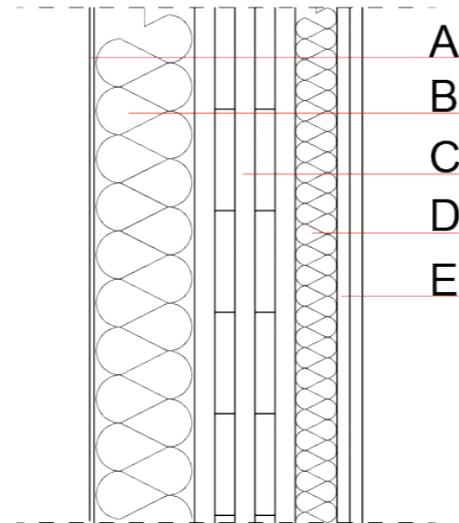
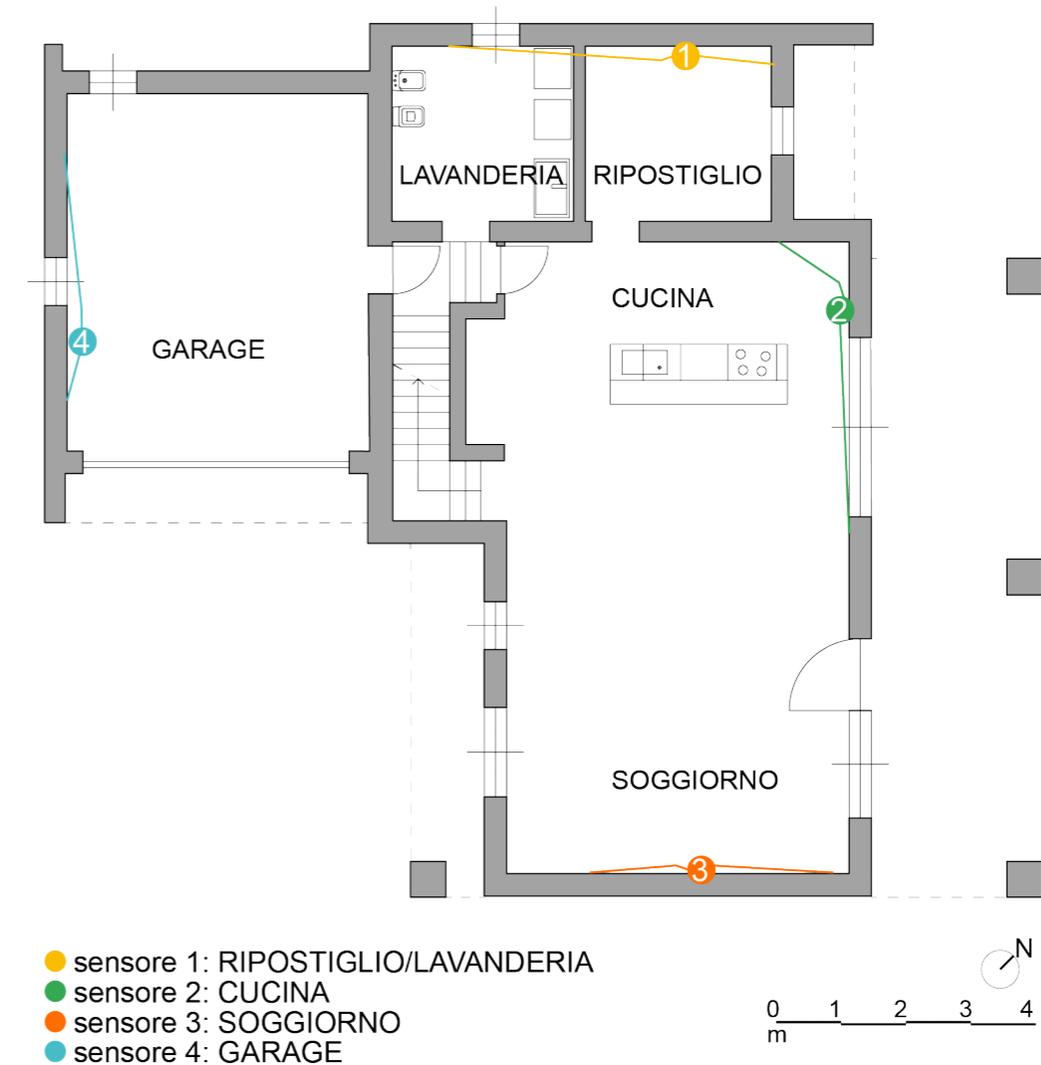


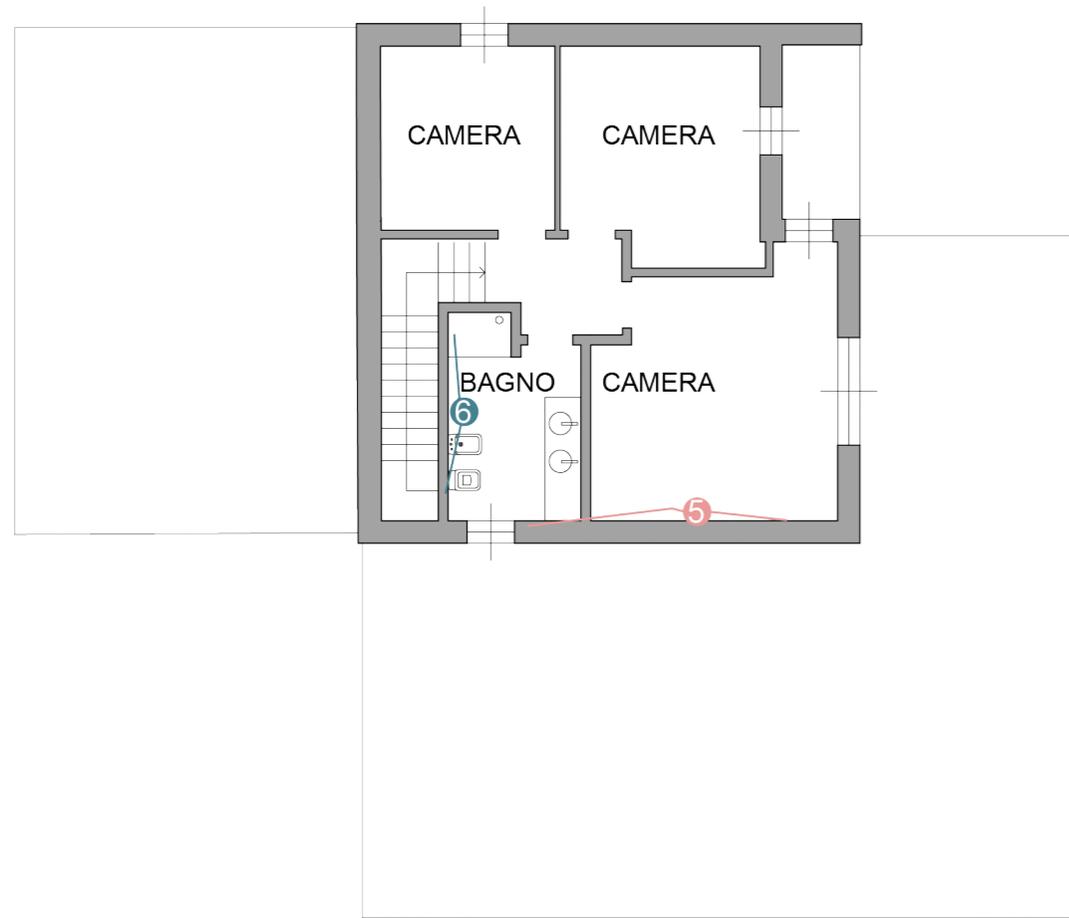
Figura 5.31 Stratigrafia della parete esterna

I SENSORI

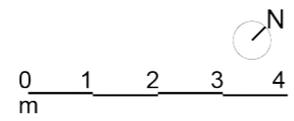
Numero di sensori: 6

Punti di rilevazione: 12





- sensore 5: CAMERA/BAGNO
- sensore 6: BAGNO



ANALISI DEI DATI

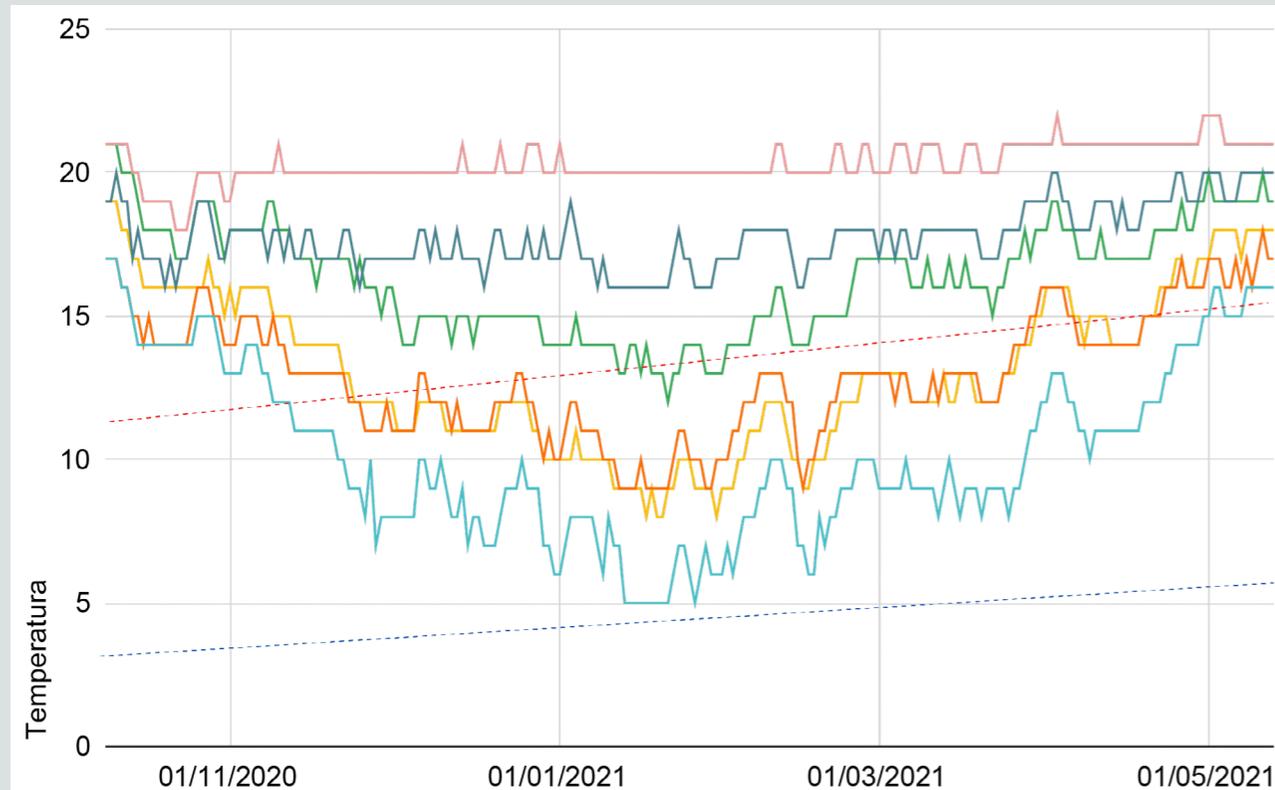


Grafico 1 Rielaborazione dei dati della TEMPERATURA, forniti da Woodcontrol, relativi ai sei sensori di misurazione dell'edificio

LEGENDA:

- Linea di tendenza della temperatura minima del luogo
- Linea di tendenza della t. massima del luogo
- Sensore 1: RIPOSTIGLIO/LAVANDERIA
- Sensore 2: CUCINA
- Sensore 3: SOGGIORNO
- Sensore 4: GARAGE
- Sensore 5: CAMERA/BAGNO
- Sensore 6: BAGNO

Data di partenza considerata per l'analisi:
09/10/2020

Data finale considerata: 16/01/2021

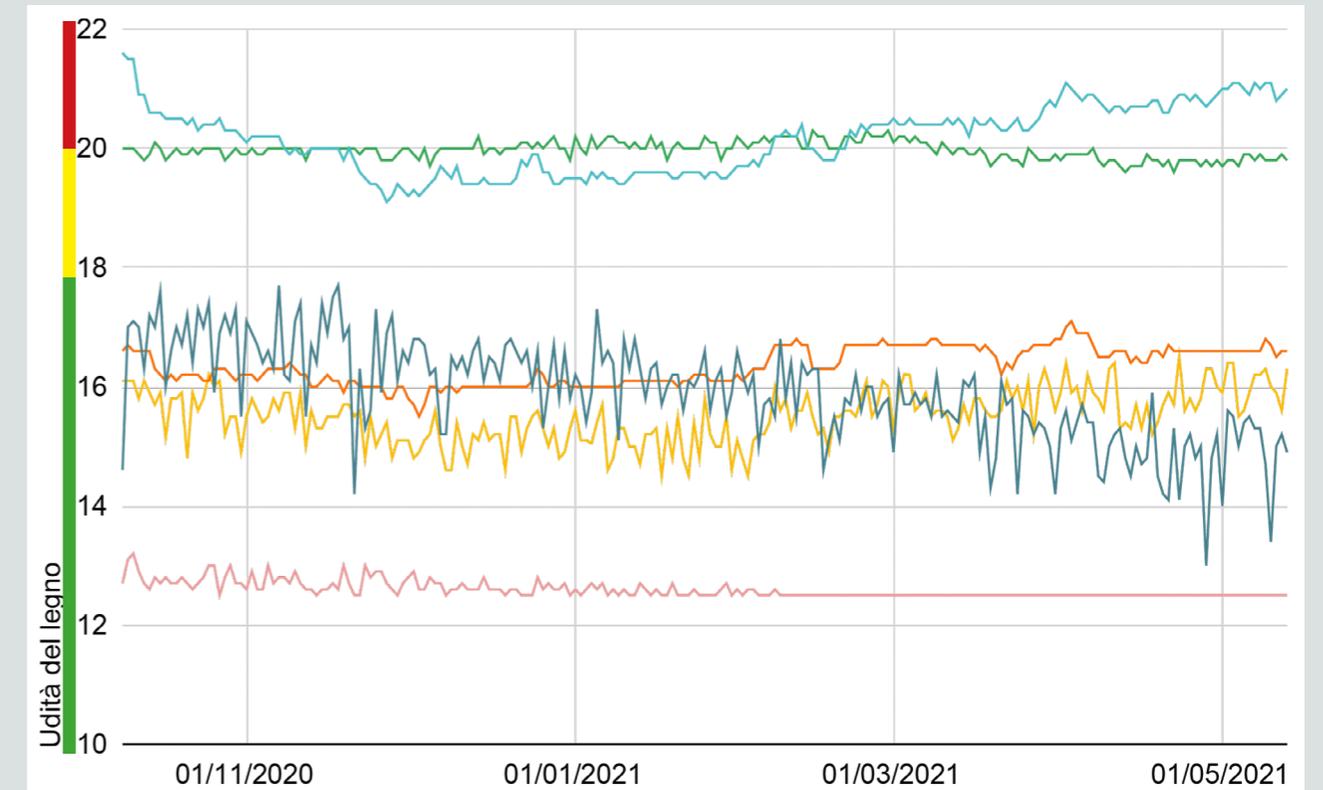


Grafico 2 Rielaborazione dei dati dell' UMIDITA' DEL LEGNO, forniti da Woodcontrol, relativi ai sei sensori di misurazione dell'edificio

Come sono stati rielaborati i dati forniti dall'azienda: Ogni sensore rileva i dati circa tre volte al giorno (circa all'una di notte, alle nove del mattino e alle diciassette del pomeriggio). I dati relativi all'umidità del legno sono forniti con una minima e una massima. Per l'elaborazione grafica è stata calcolata una media dei dati giornalieri.

Calcoli relativi alla stratigrafia: per analizzare in modo completo i dati, è stata svolta una verifica relativa alla stratigrafia. Per lo svolgimento dei calcoli relativi alla trasmittanza termica e alla presenza di condensa interstiziale e superficiale sono stati considerati dei materiali di base consultando alcune aziende leader del settore.

- U (trasmittanza termica) = 0.105 W/m²k
- Sfasamento = 23.37 ore
- NO condensa superficiale e interstiziale

CONCLUSIONI

Commenti:

- Ciò che si evince dal grafico relativo alle temperature è che la temperatura delle pareti al piano terra, rilevata dai sensori, sembra avere un andamento non costante che è probabilmente influenzato dall'**andamento delle temperature esterne**: questo può essere legato probabilmente alla presenza di un ponte termico o al fatto che l'attacco a terra non sia stato eseguito a regola d'arte. I locali al piano superiore, sensori 5 e 6, infatti mantengono una temperatura costante di circa 20°C.

- **Il sensore numero 2**, posto nel locale **cucina**, è quello che presenta maggiori problemi di temperatura e umidità: presenta sempre un'umidità maggiore del 20%, mantenendosi costantemente nella soglia di allarme. Nello stesso locale, ma nella zona soggiorno (in direzione Sud-Est), è stato inserito un ulteriore sensore che non risulta rilevare particolari problematiche di umidità, l'unico problema che viene rilevato è che la temperatura interna viene influenzata dalle temperature esterne. Questo fa pensare che vi sia un ponte termico diffuso e probabilmente legato all'attacco a terra. Ciò che si è ipotizzato è che in cucina, ambiente fonte di umidità, il vapore prodotto tende a traspirare verso l'esterno, soprattutto "orientandosi" verso le zone più fredde, ovvero quelle esposte a Nord. Probabilmente l'errore commesso nella realizzazione dell'attacco a terra, è che tra la parete e la fondazione in calcestruzzo sia stata interpo-

sta una guaina a cuffia incollata al legno, che non permette al materiale di traspirare correttamente, portando quindi alla formazione di condensa.

- **Il sensore numero 5**, posto in **garage**, rileva dei problemi riguardanti sia la temperatura che l'umidità. Sicuramente l'ambiente non è riscaldato e potrebbe essere condizionato dalle attività degli utenti, oltre al fatto che, essendo una struttura a sè, potrebbe avere un isolante con uno spessore minore rispetto a quello dell'abitazione. Questo spiegherebbe l'andamento della temperatura. Per quanto riguarda la forte presenza di umidità è probabile che l'ambiente abbia problemi riguardanti umidità di risalita oppure infiltrazioni di acqua.

- Per quanto riguarda il **bagno** al piano superiore risulta avere dei picchi molto discontinui di umidità. Questo potrebbe essere legato al fatto che un sensore è stato posizionato in prossimità del piatto doccia, e quindi potrebbe essere condizionato dall'attività degli utenti. Nel caso più grave, invece, è possibile che vi sia una perdita che ha determinato l'infiltrazione di acqua all'interno dei pannelli in X-Lam.



6.1 Conclusioni

p.491

6.1 Conclusioni

A conclusione del lavoro di Tesi è possibile trarre delle osservazioni in merito al panorama che ci circonda il mondo delle costruzioni in legno.

L'aumento della consapevolezza nei confronti dei cambiamenti climatici, ha portato in evidenza la necessità di ridurre le emissioni di gas inquinanti derivanti dall'impatto delle attività antropogeniche. Per quanto riguarda l'edilizia, questo ha portato a un crescente interesse nell'ambito della bio-edilizia e del recupero di edifici esistenti. Il legno in entrambi i casi, per via anche della sua capacità di "bio sequestrare" anidride carbonica, è il materiale che meglio si presta a queste nuove necessità. Negli ultimi dieci anni sono stati sviluppati sistemi costruttivi in funzione dei nuovi materiali ingegnerizzati a base di legno. Questo panorama sta determinando un cambiamento generale del mercato, oltre a una trasformazione di tipo "culturale", non solo in Italia, ma in tutto il Mondo.

Grazie ai dialoghi sono state affrontate le potenzialità e le criticità che ad oggi caratterizzano la progettazione e la realizzazione di edifici in legno ingegnerizzati. Con un taglio particolarmente critico, grazie all'aiuto degli Esperti, è stato possibile indagare alcune delle lacune e mancanze che caratterizzano l'uso di questo materiale in edilizia, che spaziano dalla Normativa, recente e in fase di evoluzione, alla mancanza di formazione che spesso caratterizza gli attori del processo progettuale e costruttivo. Grazie al confronto con gli esperti e ai seminari seguiti, è stato anche possibile approcciarsi alle strategie di alcuni paesi Europei ed Extra Europei, in cui l'Austria e il Canada sembrano essere

i maggiori protagonisti e promotori delle costruzioni in legno, oltre a essere i maggiori depositari del "know-how".

Con queste basi è stato possibile studiare la progettazione della durabilità, da tre differenti punti di vista, e valutare in modo critico alcuni casi studio in negativo, proponendo delle interpretazioni derivanti dallo studio delle principali pubblicazioni e linee guida redatte dai principali Enti promotori dell'uso del legno in Italia e all'Estero.

Alla luce di queste mancanze e carenze sono stati studiati alcuni degli strumenti a cui il progettista può attingere per progettare un edificio in legno a regola d'arte. Sono stati studiati i diversi approcci dei principali enti di promozione di alcuni paesi e gli strumenti che mettono a disposizione ai progettisti e alle imprese. A livello Italiano, inoltre, sono stati analizzati e confrontati i due principali enti di certificazione degli edifici in legno: ARCA e S.A.L.E.. A seguito di ciò, grazie alla collaborazione di Wood Control è stato possibile approfondire anche un sistema predittivo di monitoraggio delle strutture in legno.

Alla luce di tutto questo verrà proposta un'analisi del mercato futuro e alcune considerazioni critiche che riguardano l'approccio che i diversi Paesi hanno nei confronti delle costruzioni in legno.

6.1.1 Il mercato del legno

Nel 2020 il **mercato globale del legno** ingegnerizzato è stato di 229.120 migliaia di m³ e si prevede che il CAGR (Compound Annual Growth Rate, ovvero il tasso annuo di crescita composto) sarà del 4,99% nel periodo di previsione compreso tra il 2021 e il 2026.

Secondo il “Engineered Wood Market - Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2021-2026)”¹ del ReportLinker, la domanda del legno ingegnerizzato è fortemente associata all’industria delle costruzioni che, a sua volta, è direttamente collegata alla crescita del PIL. A causa dell’epidemia di COVID-19, i governi di tutto il mondo hanno bloccato i sistemi di spedizione nazionali ed esteri portando a delle ripercussioni importanti sulla catena di approvvigionamento dell’industria forestale, in particolare sul mercato della lavorazione del legno.

Inoltre, ad esempio in Europa, si dovrà affrontare una crisi economica estesa: la contrazione prevista nel 2020 dell’Unione Europea è del 6,1%. Anche se l’economia dell’UE dovesse riprendersi e registrare una crescita di oltre il 4,4% nel 2021, in un’ottica fortemente ottimista, si avrebbe comunque un grave impatto sulla domanda e sull’offerta. Anche se questo scenario si dovesse avverare, immaginando di tornare ai livelli del 2019 solo nel 2022, questo andrebbe a incidere comunque in modo negativo sulla domanda del legno ingegnerizzato. Le previsioni, comunque, risultano ancora incerte.

E’ previsto, invece, che nel medio termine vi sarà una **domanda crescente di legno ingegnerizzato e, in particolare di X-Lam**, per quanto riguarda il settore non residenziale.

Il report analizzato, sottolinea come questa possibile e crescente domanda di legno ingegnerizzato sia legata al fatto che questi materiali richiedano meno energia primaria rispetto ai materiali da costruzione “tradizionali”, come il cemento e l’acciaio. Il legno ingegnerizzato essendo prodotto “artificialmente” permette di ridurre gli sprechi, i tempi e i costi complessivi.

Ciò che inverosimilmente potrebbe rallentare questa probabile crescita è la preoccupazione ambientale relativa alle emissioni di Formaldeide da parte degli elementi ingegnerizzati a base di legno.

Anche per quanto riguarda il settore residenziale e in particolare nelle costruzioni a pochi piani, il materiale che si prevede dominerà il mercato è l’X-Lam. Inoltre, si prevede che molte persone si sposteranno sempre di più dalle aree rurali a quelle urbane: questo porterà a un aumento degli investimenti per realizzare edifici in legno salubri e in funzione della sostenibilità.

I cambiamenti sopra descritti stanno effettivamente già portando a un cambiamento del mercato del legno. Ad esempio, in **Europa**, si sta verificando un aumento dei costi del legno da costruzione (massiccio e incollato) del 60-70%, rispetto a settembre 2020. Secondo i dati forniti dal Corriere della Sera,² il legno lamellare è passato da 400 €/m³ a 700 €/m³. Questo è dovuto a una serie di fattori concomitanti:

- Alle numerose nevicate avvenute nelle zone mon-

tane dell’emisfero boreale che hanno portato a una carenza di legno;

- Un boom dell’edilizia in legno negli Stati Uniti e in Canada che, negli ultimi mesi del 2020, ha portato l’Europa a esportare il 50% in più di legno di conifera segato rispetto all’anno precedente;

- Un fattore aggravante, inoltre, è legato alla decisione della Cina di “convertirsi” alle costruzioni in legno portando, per la prima volta, la domanda globale di legno da costruzione a superare l’effettiva produzione;

- Inoltre, l’edilizia in legno Europea sta registrando una massiccia domanda di case in legno prefabbricate, portando a un’ulteriore crescita della domanda. Questo potrebbe anche essere legato alla “spinta” data dall’European Green Deal, un piano di azione dell’Unione Europea che ha l’obiettivo di rendere sostenibile l’economia dell’Unione attraverso un piano ben strutturato. Entro il 2050 il piano si pone l’obiettivo di eliminare le emissioni nette di gas effetto serra e dissociare la crescita economica dall’uso delle risorse. Il settore edile per emissioni di gas serra, produzione di rifiuti e inquinamento, è uno dei settori cardine su cui si concentra questa transizione. Il legno, infatti, entra a pieno titolo nell’agenda politica del prossimo quinquennio.

Se continuerà ad aumentare il prezzo al metro cubo del legno, questo materiale non potrà più essere considerato, in futuro, un materiale sostenibile dal punto di vista economico.

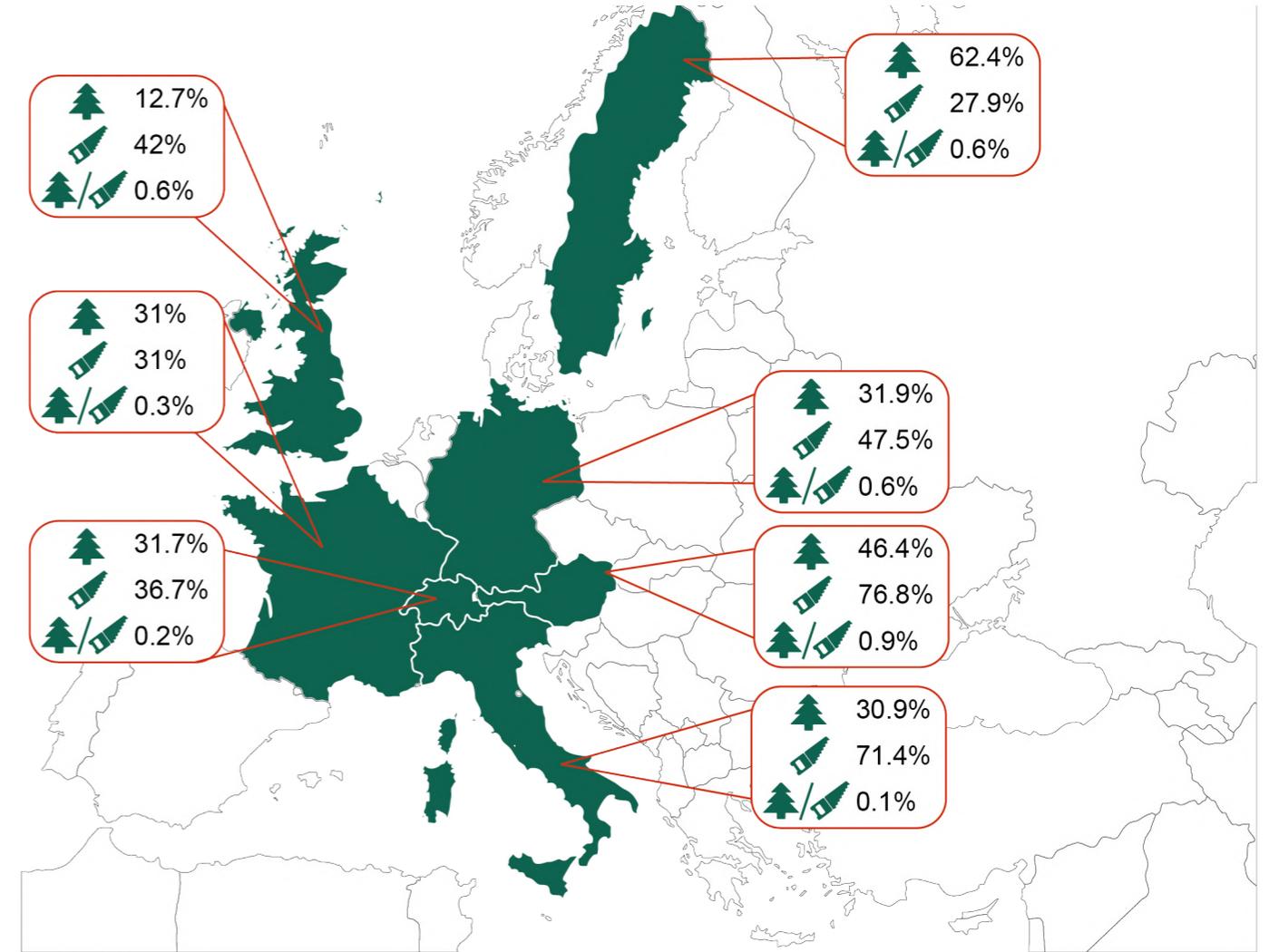
Un possibile freno però al settore del legno, e in generale all’uso di risorse “nuove”, potrebbe essere legato alle spinte dell’Unione Europea verso un’economia circolare. L’economia circolare è infatti un modello di produzione e consumo che implica condivisione, prestito, riutilizzo, riparazione, ricondizionamento e riciclo dei materiali e prodotti esistenti il più a lungo possibile. In questo modo si estende il ciclo di vita dei prodotti, contribuendo a ridurre i rifiuti al minimo. Sicuramente il legno, per via delle sue caratteristiche e per via del suo utilizzo nella prefabbricazione, ben si presta a questo modello, ma potrebbe risentirne il settore produttivo.

6.1.2 Alcuni dati riguardanti le foreste e l'utilizzo del legno

6.1.2.1 EUROPA

Nonostante i boschi Europei - escludendo la Russia - rappresentino il 5% rispetto alla superficie boschiva totale, esse sono le più intensamente utilizzate per la produzione di legno. Il settore forestale Europeo, infatti, copre il 25% della produzione globale di prodotti in forestali e il 30% di pannelli a base di legno. Le foreste Europee, nonostante lo sfruttamento, sono in continua espansione: la crescita è di 510 mila ettari all'anno. Attualmente un miliardo di ettari di foresta ricopre il suolo Europeo. E' importante sottolineare che il 12% della superficie forestale Europea è protetta per preservarne l'ecosistema. Nel 1993 è stato definito il concetto di gestione sostenibile delle foreste come " la gestione e l'utilizzo delle foreste deve essere operato con modalità e livelli tali da salvaguardare la loro produttività, biodiversità, capacità di rigenerazione, vitalità e la loro capacità di svolgere, oggi e in futuro, le loro funzioni ecologiche, economiche e sociali a livello locale, nazionale e globale, senza recare danni ad altri ecosistemi"³.

Nelle pagine seguenti vengono riportate due mappe tematiche. E' importante sottolineare come ogni valore sia dipendente dalle politiche di gestione forestale dei singoli Paesi. L'analisi è stata svolta con il fine di mostrare una visione di insieme per il confronto del settore forestale dei diversi Paesi.

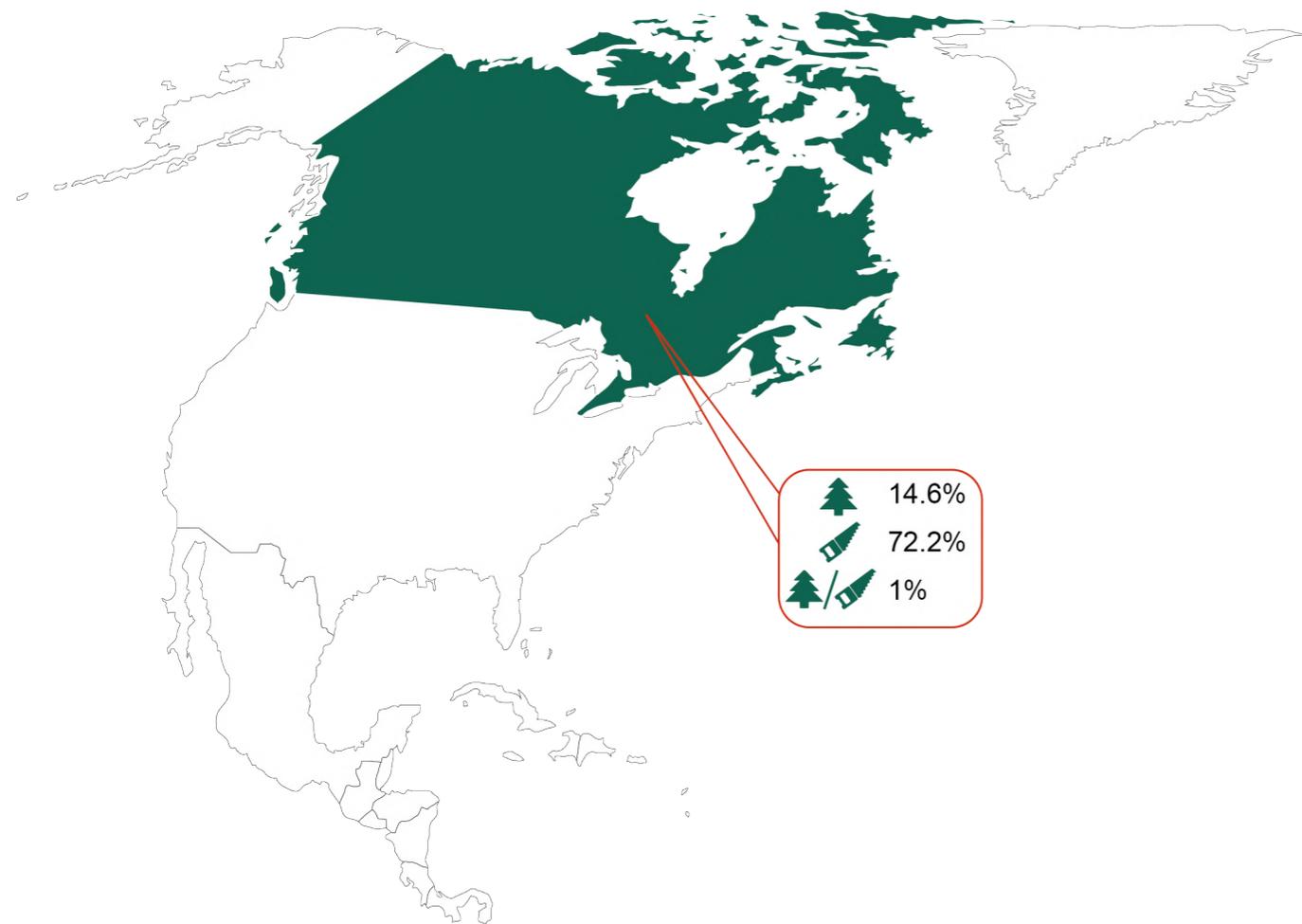


LEGENDA

-  Rapporto in percentuale tra superficie territoriale totale e superficie boschiva
-  Rapporto in percentuale tra il legno raccolto e il legno lavorato
-  Rapporto in percentuale tra il volume complessivo delle foreste e il volume di legno lavorato

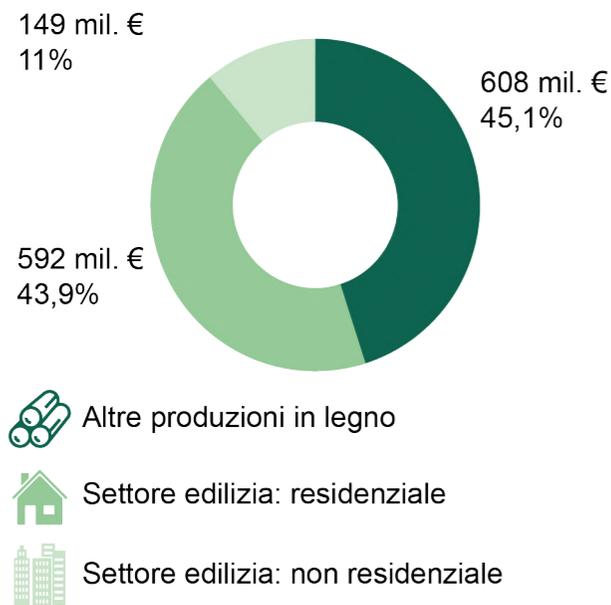
Fonte: FCBA, 2020, Memento 2020, scaricato da www.fcba.fr

6.1.2.2 AMERICA

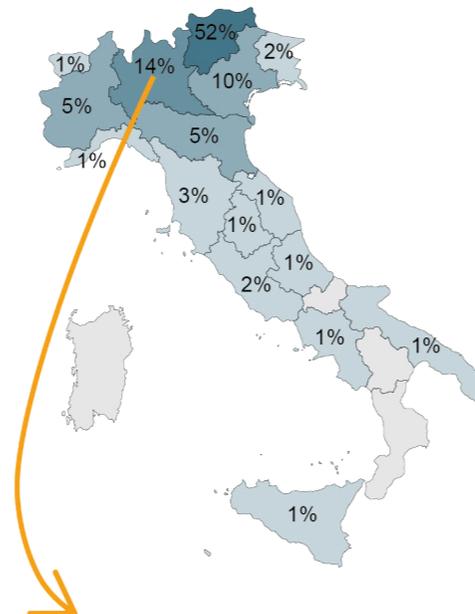


Fonte: National Forestry Database, www.ccfm.org

Fatturato relativo al comparto del legno in Italia



Fatturato relativo al comparto del legno in Italia



EXPORT

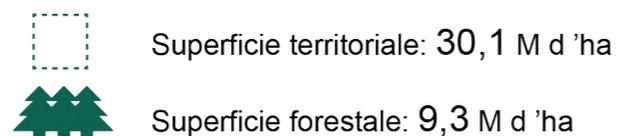
In espansione con 60 Milioni di Euro per edifici realizzati all'estero da imprese Italiane (+20% rispetto al 2018)

Settore edifici in legno

↑ + 3,7 %*



Dati relativi alle foreste



Fonte: FCBA, Memento 2020

Fonte: FederlegnoArredo, 2020, 5° Rapporto Edilizi in legno 2020, s.l.
*Dati relativi all'anno 2019 confrontati con l'andamento del 2018

6.1.3 L'Italia

Come si può notare nella carta tematica delle pagine precedenti, l'Italia ha un buon rapporto tra superficie territoriale e superficie boschiva, pari al 30,9%. Sicuramente una buona percentuale di aree boschive sono rappresentate da aree protette. Rispetto alla Francia il rapporto in percentuale tra il legno raccolto e il legno lavorato è decisamente migliore, nonostante il rapporto in percentuale tra il volume complessivo delle foreste e il volume di legno lavorato sia molto ridotto.

L'utilizzo del legno nell'edilizia è attualmente in crescita: oltre il 60% del legno prodotto annualmente è destinato alle costruzioni. Il trend globale è mediamente in crescita e si prevede che nei prossimi trent'anni il consumo del legname aumenterà del +170%.

In generale l'Unione Europea, come sottolineato nel capitolo 1 e nei paragrafi precedenti, è condizionata dalla crescente consapevolezza ambientale legata ai problemi climatici, sensibilizzata anche con il recente accordo di Parigi. Alla luce di queste dinamiche in Italia il **valore dell'edilizia in legno** è stato di 1,349 miliardi di Euro nel 2019, per un totale di 3154 edifici realizzati. Il comparto residenziale è cresciuto in valore del +3,7%, e in numero di abitazioni del +2,2%, inoltre, sembra anche essere in aumento la realizzazione delle opere non residenziali. Secondo il 5° rapporto dell'edilizia in legno⁴ gli operatori delle costruzioni in legno - che si dividono in produttori di edifici, importatori, assemblatori e imprese edili - sono maggiormente localizzati nel Nord Italia, principalmente in Lombardia, Trentino Alto Adige e Veneto, ma è in Trentino Alto Adige in cui sono presenti le imprese più importanti del

settore che producono il 6% del PIL della regione. Questo è dovuto anche all'influenza Austriaca, di cui si parlerà in seguito. Anche dal punto di vista della quantità di edifici realizzati in legno, il Nord Est rimane la zona di massima concentrazione. E' importante sottolineare come il Super Bonus 110 e la sua successiva proroga abbiano avuto una ripercussione positiva dal punto di vista dell'utilizzo di materiali "verdi" nelle ristrutturazioni. Questo, secondo FederlegnoArredo, è un'ottima base di partenza per avviare un profondo cambiamento nel mondo dell'edilizia Italiana. Secondo la Federazione, inoltre, sarà crescente la **domanda di edifici in legno**, sviluppati in altezza, o di sopraelevazioni per via del trend in aumento legato allo spostamento delle persone nei centri urbani. Questo implicherà il fatto che gli operatori dell'edilizia in legno avranno la necessità di specializzarsi anche nel settore "tradizionale"- e viceversa gli operatori del settore tradizionale - in modo da fornire uno sguardo a "trecentosessanta gradi".

Il **principale fornitore** dell'Italia di X-Lam e legno lamellare è **l'Austria**, che nel 2019 ha importato materiale in legno ingegnerizzato per un valore di 151 milioni di Euro. Rispetto agli anni precedenti si è registrata, però, una flessione dovuta all'aumento della produzione Italiana di legname.

Per quanto riguarda invece **l'export Italiano** di edifici in legno la crescita è stata progressiva, nel 2019 sono stati esportati materiali ingegnerizzati a base di legno per un valore complessivo di 60 milioni di Euro. I paesi principalmente interessati dall'export Italiano sono l'Algeria, la Croazia, la Svizzera, la Francia, la Norvegia, la Russia e la Germania. Questo evidenzia come l'Italia stia iniziando a

penetrare nel mercato globale del legno, confrontandosi con i maggiori “competitors” del mercato, quali la Svizzera, la Norvegia e la Germania.

Il progetto SOFIE del 2007 è stato fondamentale per lo studio e la ricerca riguardante gli edifici in X-Lam e ha avuto il merito di portare prestigio a questa tecnica costruttiva e, in generale, alle costruzioni in legno Made in Italy.

In Italia sono presenti due principali enti di promozione del legno: FederlegnoArredo, tutto Italiano, e Promolegno, di derivazione Austriaca.

FederlegnoArredo, una federazione di associazioni del settore del legno, ha un approccio a “trecentosessanta gradi” con l’obiettivo di rappresentare un vero e proprio punto di riferimento per le aziende associate del settore Italiano del legno. In base alle esigenze delle aziende, infatti, redige linee guida, documentazioni e chiarimenti in merito agli aggiornamenti del settore con l’obiettivo di portare all’espansione del mercato Italiano. Inoltre, tende ad avere uno sguardo non solo Europeo, ma anche estero. FederlegnoArredo, essendo una federazione di associazioni, ha ovviamente come fine principale la divulgazione di materiale, informazioni e buone pratiche ai propri associati: raramente infatti sono disponibili i propri manuali gratuitamente. La federazione, soprattutto per quanto riguarda l’edilizia, consapevole della difficoltà di diffusione delle buone pratiche durante questa transizione dalle costruzioni “tradizionali” alle costruzioni in legno ingegnerizzato, redige una serie di pubblicazioni molto pragmatiche con il fine di diffondere il sapere

su vasta scala.

Assolegno è una delle associazioni Statuarie dell’area legno di FederlegnoArredo e tratta il settore delle costruzioni in legno. Analogamente a FederlegnoArredo, Assolegno risulta essere uno strumento vero e proprio di supporto per gli associati, grazie ai continui corsi di formazione erogati, alla possibilità di consulenza in merito ai temi più “spinosi” della normativa e alla redazione continua e aggiornata di manuali tecnici e critici riguardo al tema. Entrambe svolgono delle collaborazioni con altri enti Europei di promozione e ricerca, al fine di offrire un miglior servizio ai propri associati. Un approccio sicuramente singolare è quello adottato anche durante i seminari di formazione, approccio riscontrabile anche nelle pubblicazioni consultate: vengono presentati numerosi esempi reali di errori commessi nelle costruzioni in legno con il fine di illustrare come non costruire, come risolvere e come costruire a regola d’arte.

Promo_legno, ente di promozione di derivazione Austriaca, ha un approccio principalmente divulgativo e di formazione, con un taglio particolarmente tecnico. Attraverso la continua formazione e le innumerevoli pubblicazioni presenti sul sito, si pone come obiettivo quello di informare il progettista sull’intera filiera del legno, con particolare attenzione alla progettazione e alla corretta posa in opera in cantiere.

Assolegno ha un approccio più pragmatico, orientando il progettista verso gli argomenti più “spinosi” che sono le buone pratiche e la normativa, rispetto a Promo_legno che affronta il tema delle costruzio-

ni in legno a “trecentosessanta gradi”, con approfondimenti anche di carattere ambientale.

L’Italia, rispetto agli altri paesi Europei, può vantare due protocolli di certificazione riguardanti le costruzioni in legno: ARCA e S.A.L.E..

ARCA è un sistema volontario di certificazione dell’edificio in legno, gestito da Habitech (Distretto Tecnologico Trentino per L’Energia e Ambiente). Il sistema di certificazione definisce una serie di input necessari per la realizzazione di un edificio in legno a regola d’arte, ma è anche importante sottolineare che, essendo un sistema a multicriterio, la mancata rispondenza a un prerequisito non pregiudica la possibilità di poter ottenere la certificazione e i criteri sono volontari. ARCA punta alla realizzazione di un network di progettisti e imprese specializzati, ma l’accesso al sistema di certificazione non è vincolato ai soli soci ARCA. Questo porta al fatto che anche i cosiddetti “progettisti improvvisati” possano accedere al sistema di certificazione. ARCA, comunque, nei propri quaderni tecnici - di ispirazione Austriaca - inserisce una serie di linee guida per far fronte a questo possibile “problema”, indicando delle buone prassi da seguire. Questo però non è sufficiente per poter formare a “trecentosessanta gradi” un professionista che non ha mai progettato un edificio in legno.

S.A.L.E. è un protocollo volontario che certifica la qualità dell’impresa che costruisce in legno ed è stato sviluppato dalla collaborazione di Assolegno e Conlegno. Il protocollo si presenta però di difficile lettura, rispetto a quello di ARCA, che invece è

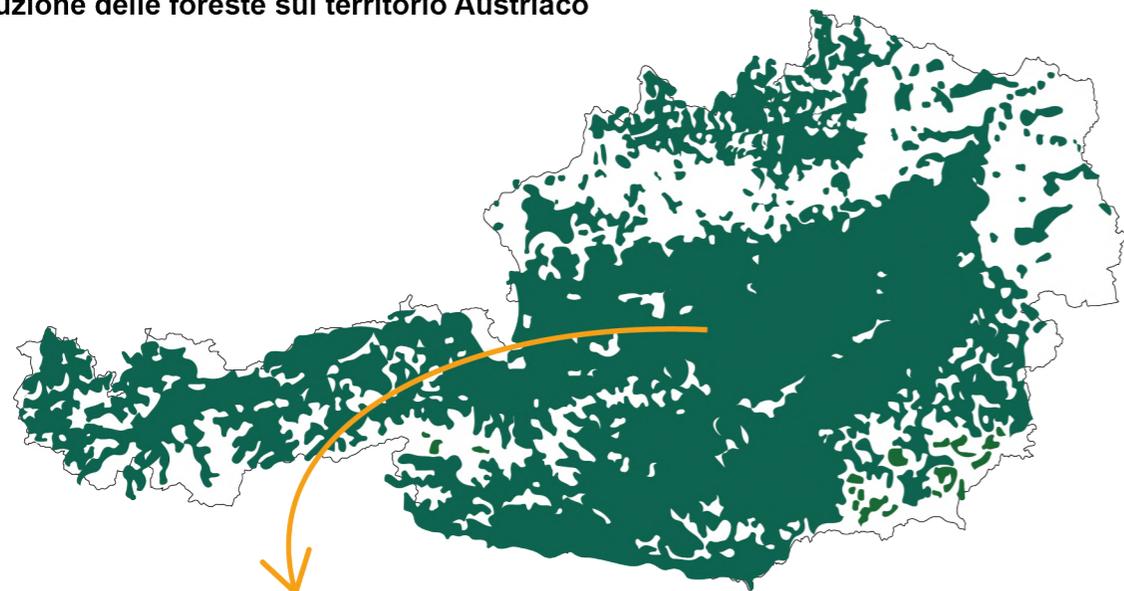
molto più fruibile poichè, anche se può sembrare una banalità, l’infografica è molto studiata. Un’altra differenza tra i due protocolli di certificazione è che S.A.L.E., per garantire l’esclusività della certificazione, definisce dei criteri di accesso legati all’esperienza dell’impresa richiedente.

A seguito di queste analisi e dei dialoghi avuti con gli esperti è stata notata una forte influenza Austriaca nel settore del legno Italiano. Promo_legno, l’ente di promozione del legno più importante in Italia, non è altro che la derivazione Italiana di Pro:holz Austria. Inoltre, quasi tutti gli intervistati, parlando di buoni esempi e buone prassi, hanno sempre fatto riferimento all’Austria. Questa tendenza è anche stata riscontrata nelle pubblicazioni sia di FederlegnoArredo e di ARCA. Di conseguenza, a livello Nazionale, il Trentino Alto Adige che storicamente risulta avere forti legami con l’Austria, risulta essere la regione con maggiore credibilità nell’ambito delle costruzioni in legno.

Per quanto riguarda l’edilizia Italiana in legno, dai dialoghi con gli esperti è emerso uno scenario “catastrofico”, caratterizzato dagli errori commessi dai progettisti inesperti e poco formati. Sicuramente l’andamento dei dialoghi è stato condizionato dalle domande dirette e spinose che sono state poste, in cui gli errori hanno rappresentato il tema centrale. A seguito del lavoro di tesi, è possibile affermare che non è totalmente corretto generalizzare il problema riguardante gli errori commessi negli edifici in legno, poichè esistono anche “cattivi” progettisti per quanto riguarda l’edilizia tradizionale. Questa fase di transizione pone sicuramente l’accento

sulla necessità di formazione per questo nuovo comparto, ma gli strumenti e la divulgazione sono sicuramente numerosi e probabilmente, nel giro di pochi anni, l'Italia si convertirà quasi del tutto agli edifici in legno, anche per via delle necessità ambientali già descritte. Quello che si può affermare è che in Italia esista ancora un certo preconceito sull'uso del legno come materiale da costruzione e spesso ha più scalpore il crollo di un singolo balcone in legno, che i problemi di risalita capillare che caratterizzano gli edifici in edilizia tradizionale.

Distribuzione delle foreste sul territorio Austriaco



EXPORT

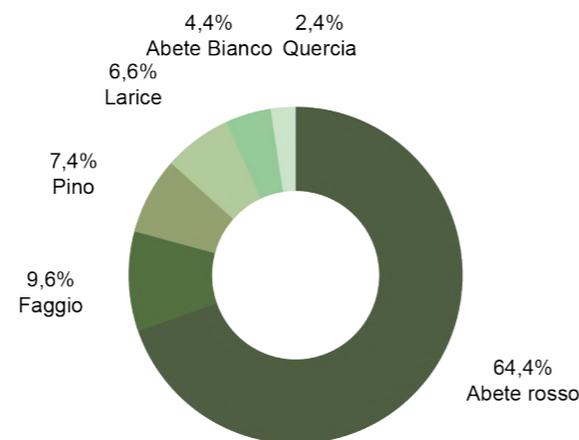
Il 70% della produzione viene esportata, di cui il 56% in Italia

Dati relativi alle foreste

-  Superficie territoriale: 8,4 M d 'ha
-  Superficie forestale: 3,9 M d 'ha
- P.I.L.** 4% valore del mercato del legno
-  Accrescimento annuale delle foreste di 30 Mil. m²/anno
-  300'000 persone che lavorano nell'industria del legno

Fonte: FCBA, Memento 2020

Composizione delle foreste



Fonte: Promolegno

6.1.4 L' Austria

L'Austria è uno dei paesi più ricchi di superfici boschive. La specie arborea più frequente è l'Abete rosso che costituisce il 60% rispetto al totale delle foreste: questa specie è una delle più utilizzate in Europa per la produzione di X-Lam. Come si può notare dalla mappa tematica nelle pagine precedenti, l'Austria è il paese che maggiormente sfrutta la propria disponibilità di legname. Nonostante questo, ogni anno ricrescono 30 milioni di m² di legno.

In Austria il legno è un vero e proprio traino dell'economia: il settore garantisce un valore produttivo annuo di 12 miliardi di Euro, pari al 4% del PIL Austriaco. Per quanto riguarda l'export Austriaco il 70% di legname viene esportato, di cui più della metà in Italia.

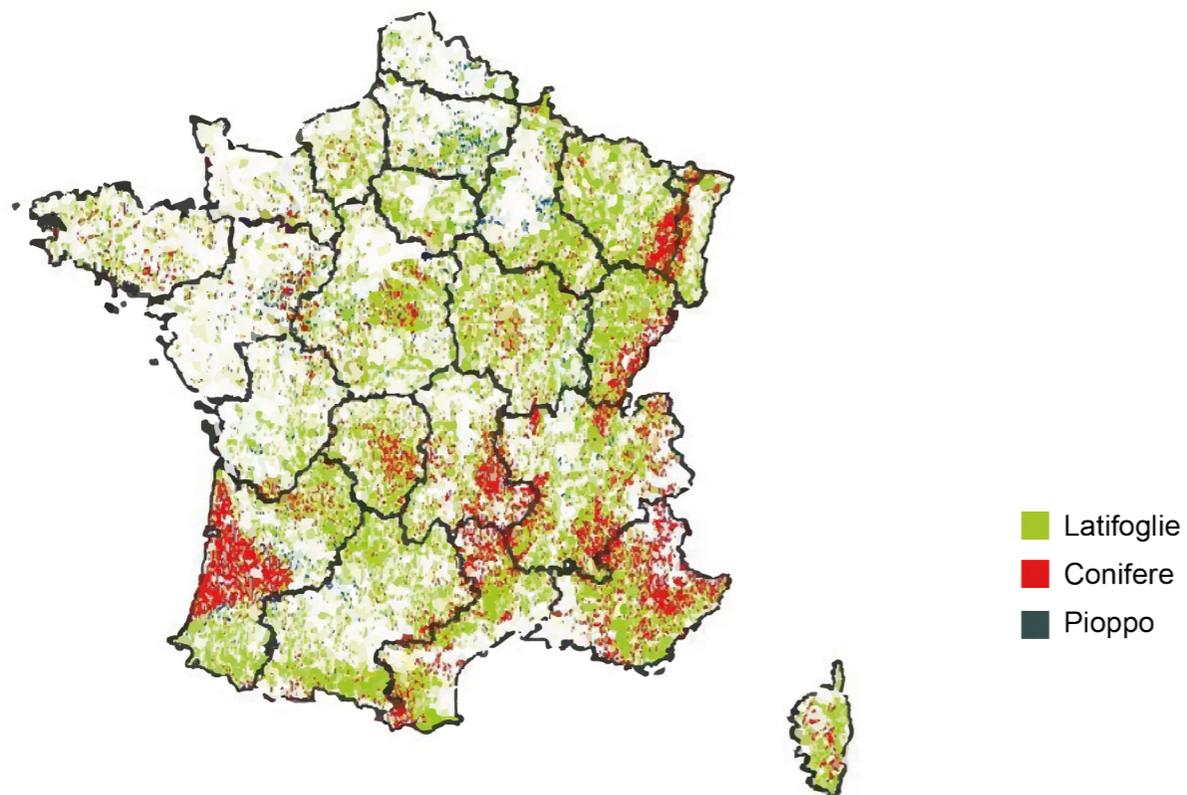
In Austria, patria dell'edilizia in legno, sono presenti due principali enti di promozione: ProHolz e Holzforschung.

Pro:Holz è un'istituzione di marketing per l'industria forestale e del legno, molto conosciuta a livello Europeo. Seppur Promo_legno sia la derivazione Italiana di Pro:Holz, quest'ultimo risulta possedere un approccio più completo. Il suo metodo è prevalentemente divulgativo e tecnico: attraverso la formazione, le pubblicazioni tecniche gratuite e lo strumento Dataholz, lo scopo centrale è di informare il progettista a proposito del "know-how" e delle innovazioni che circondano il settore delle costruzioni in legno, un mercato in continua espansione.

Holzforschung Austria, il più grande istituto di ricerca e di sperimentazione per il legno senza sco-

po di lucro del paese, risulta avere un approccio molto tecnico per quanto riguarda la divulgazione delle buone pratiche nell'edilizia in legno. Questo si può notare in particolare nelle pubblicazioni e seguendone i seminari: l'ente fornisce addirittura indicazioni dimensionali per quanto riguarda, ad esempio, la posa di elementi in legno esposti alle intemperie quali facciate e pavimentazioni, o la realizzazione di alcuni nodi critici degli edifici quale l'attacco a terra. Questi dati derivano dall'esperienza e dai numerosi test effettuati dall'ente di ricerca. Questo, sicuramente, ne differenzia l'approccio rispetto a quello di altri enti di promozione.

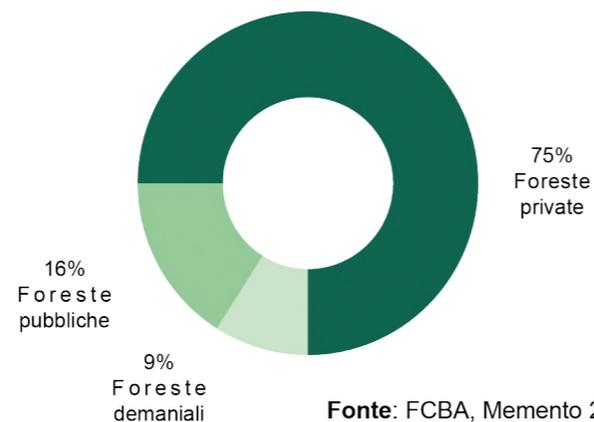
Dai dialoghi con gli esperti, come già accennato, è emerso che l'Austria sia il paese trainante nell'edilizia in legno: questo probabilmente deriva anche dal fatto che il paese tradizionalmente abbia una forte cultura nell'utilizzo del legno. Analizzando i dati relativi al mercato Austriaco è chiaro che il motivo principale sia il fatto che il legno rappresenti il 4% del PIL. L'Austria ha un forte interesse economico legato alla divulgazione delle proprie conoscenze in merito a questo settore. In funzione di un'espansione di mercato, infatti, Pro:Holz si sta ampliando a livello Internazionale, aprendo nuove sedi in alcuni Paesi considerati fondamentali per lo sviluppo del proprio mercato di esportazione. Questi paesi sono: l'Italia, la Repubblica Ceca, la Slovacchia, la Spagna, la Bosnia Erzegovina, la Croazia, la Serbia, la Bulgaria, la Slovenia, il Giappone e la Cina. Siccome il 56% delle sue esportazioni sono dirette all'Italia, sono chiari i motivi per cui l'Italia stia subendo una forte influenza Austriaca.



Dati relativi alle foreste

-  Superficie territoriale: 50,9 M d 'ha
-  Superficie forestale: 17 M d 'ha
- P.I.L.** 1,1% valore del mercato del legno
- €** 2,9 Miliardi di Euro è il valore del mercato del legno

Distribuzione dei boschi di produzione e dei pioppeti per tipologia di proprietà



Fonte: FCBA, Memento 2020

6.1.5 La Francia

La Francia ha un rapporto superficie territoriale/superficie boschiva simile all'Italia, ma il rapporto tra il legno segato e il legno raccolto è circa pari alla metà.

L'attività economica del settore forestale a partire da marzo 2020 ha subito una flessione a causa dell'epidemia da COVID 19, questo calo va in contrasto con l'economia crescente del settore del legno registrata in Francia negli ultimi anni, soprattutto per quanto riguarda il settore edile. La revisione della "National Low Carbon Strategy" è stata pubblicata nell'aprile 2020, sulla scia del trattato di Parigi, e impone di raggiungere la neutralità carbonica entro il 2050. Questa strategia impone che la gestione forestale debba essere orientata verso lo sviluppo forestale, incentivando così la crescita di legno come strategia per mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici. Come già ribadito, questa crescente attenzione per il "climate change" sta avendo un'influenza positiva sul mercato delle costruzioni in legno. Il mercato del legno Francese sta compiendo grandi progressi nel realizzare strumenti di analisi e previsione economica con il fine di ottimizzare gli approvvigionamenti del materiale. Il settore del legno occupa un posto importante nell'economia Francese: ha un valore di 2,9 miliardi di Euro, e corrisponde all' 1,1% del PIL. Rispetto al 2018 il mercato del legno ha avuto un incremento di 1 miliardo di Euro, quasi pari all'intero fatturato del mercato del settore in Italia.

Per quanto riguarda l'ambito di promozione del legno Francese sono stati analizzati due enti di promozione: il CNDB "Comité National pour le De-

veloppement du Bois", un istituto tecnologico di ricerca Francese, e FCBA, "Istitut Technologique". L'approccio di **CNDB** è prevalentemente di formazione e informazione: grazie ai numerosi corsi per le diverse figure professionali e ai diversi strumenti messi a disposizione, non solo dei progettisti, ma anche dei committenti, è orientato a supportare correttamente il mercato. Attraverso azioni e campagne di comunicazione, il CNDB promuove il legno e i suoi usi al grande pubblico e ai professionisti del "project management". Le azioni di comunicazione avviate e coordinate dal CNDB sono svolte da squadre interne specializzate, composte da dipendenti formati nelle costruzioni in legno. Il CNDB, inoltre, fornisce un supporto trasversale alle organizzazioni professionali che lo compongono.

A differenza di CNDB che è orientato per essere uno strumento di supporto al mercato del legno, **FCBA** ha lo scopo prevalente di supportare il professionista, attraverso corsi di formazione e numerosi strumenti per la progettazione degli edifici in legno.

L'approccio Francese per quanto riguarda le costruzioni in legno è molto pragmatico. Nelle pubblicazioni consultate si è riscontrata una tendenza a voler evidenziare le buone prassi attraverso fotografie di cantiere e dettagli tridimensionali. In particolare viene posto l'accento sulla posa e sul montaggio dei diversi componenti degli edifici in legno, anche attraverso il supporto di fotografie di cantiere consequenziali.

Nell'ambito dei dialoghi con gli esperti, solamente i tecnologi del legno hanno menzionato la Francia,

6.1.6 Il Regno Unito

in particolare poichè nel paese sono numerose le pubblicazioni e i quaderni tecnici che trattano l'utilizzo del legno e le differenti specie legnose. A seguito dell'analisi è infatti possibile affermare che la "rotta Francese" sia prevalentemente concentrata sul commercio del legno in quanto materiale da costruzione. Questo è stato anche riscontrato analizzando in modo critico il sito di CNDB in cui è presente un "tool" totalmente dedicato alla **promozione dei prodotti a base di legno**. E' possibile a questo proposito confrontare l'approccio di alcuni enti legati alla promozione dell'industria del legno di tre paesi differenti: la Francia, l'Austria e la Svizzera.

Il **CNDB Francese**, come accennato, propone un "tool" in cui vengono indicate le associazioni di settore e un elenco completo e aggiornato annualmente delle diverse figure e/o prodotti, suddivisi per regione. Questo "strumento" permette al committente di effettuare delle scelte consapevoli e in qualche modo lo tutela.

Pro:Holz, il gruppo di lavoro dell'industria del legno Austriaca, promuove i prodotti a base di legno, non solo Austriaci, ma anche Svizzeri. Questo mette in luce lo stretto rapporto commerciale che esiste tra i due paesi. A differenza dello strumento Francese che sponsorizza in modo diretto i produttori in legno, Pro:holz lo fa indirettamente attraverso il "tool" **"dataholz.eu"**: nel database, descritto nel capitolo 5, una volta individuata la stratigrafia e il nodo costruttivo di interesse, vengono suggerite delle aziende produttrici per quanto concerne i prodotti a base di legno.

Lignum, ente che rappresenta l'industria del legno in Svizzera, attraverso **"lignumdata"**, sponsorizza

in modo diretto i produttori partner, che non sono circoscritti solo all'area dei prodotti a base di legno. Questo "tool" indica i produttori dei diversi prodotti per l'edilizia, sia Svizzeri che Tedeschi che Austriaci. "Lignumdata" rispetto agli strumenti degli altri due paesi, ha un obiettivo di propagazione più internazionale: è infatti traducibile in sedici lingue diverse.

Come è possibile notare dall'infografica delle pagine precedenti, il Regno Unito risulta essere molto povero di foreste. Nonostante lo sfruttamento delle proprie possibilità boschive sia paragonabile a quello della Germania o della Svezia, il paese dipende soprattutto dall'importazione. E' inoltre importante sottolineare come la Brexit stia determinando, non solo un rallentamento delle importazioni di legno, ma anche un'incertezza generale che sta determinando un rallentamento degli investimenti nell'edilizia. Il Regno Unito, ad esempio, rappresenta il maggior importatore di prodotti in legno tropicale.

A seguito del referendum per la Brexit, nel Paese i prezzi per l'importazione del legno hanno subito un forte aumento e la conseguenza è stata un'interruzione degli acquisti internazionali e un aumento della domanda di legno Inglese, determinandone quindi un aumento dei prezzi. Questo clima di incertezza riguardante gli accordi tra UK e UE, ha inoltre portato a una significativa riduzione della volontà degli importatori di contrattare con il paese.

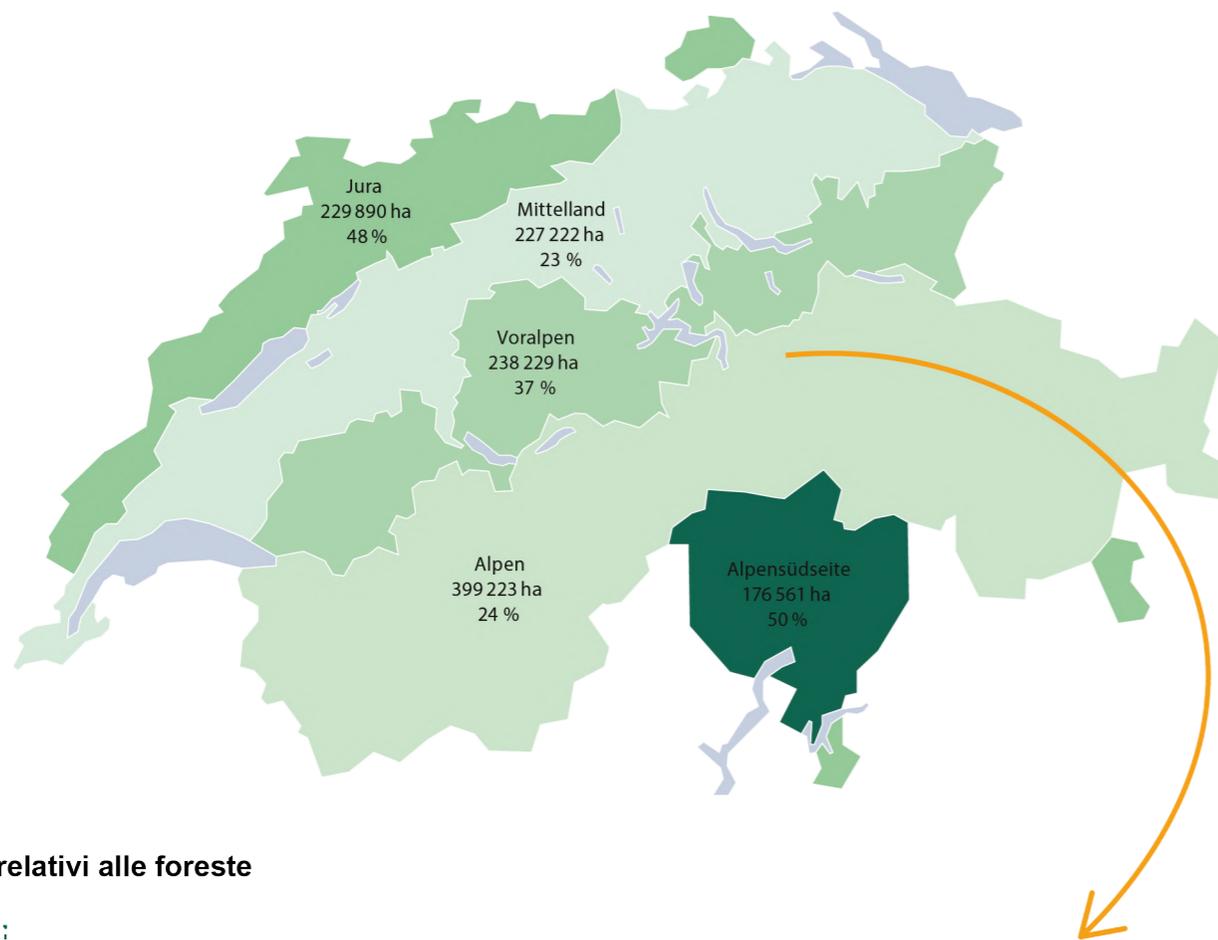
In Inghilterra il maggior ente di promozione per l'uso del legno in edilizia è **TRADA** ("The Timber Research and Development Association"). L'organizzazione ha un taglio molto internazionale e, rispetto agli enti prima analizzati, non si pone come obiettivo quello di promuovere l'azione forestale del paese. TRADA permette agli associati di poter usufruire di una grande quantità di servizi che coprono, non solo l'ambito delle costruzioni in legno, ma anche questioni generali, come il cambiamento climatico e le proprietà delle specie legnose. Gli associati non sono solo progettisti ma anche pro-

duttori, fornitori, aziende. Analogamente a CNDB, infatti, mette a disposizione sul sito un motore di ricerca in cui è possibile visionare tutte le aziende specializzate nel settore della bio-edilizia e associate a TRADA.

Un aspetto simile a ProHolz è l'importanza che TRADA pone sui giovani: ProHolz attraverso la piattaforma "genialerstoff.at", punta a coinvolgere i giovani per promuovere il lavoro nella filiera produttiva del legno, TRADA, invece, punta sulla formazione dei "progettisti di domani" attraverso la divulgazione del materiale di base e la promozione di alcune gare ed eventi legati all'università.

Durante i dialoghi con gli esperti non è stato menzionato il Regno Unito, questo sottolinea ancora di più la visione "austriaco-centrica" che caratterizza il panorama dei progettisti Italiani. Questo perchè, ad esempio, il primo edificio multipiano (di nove piani di altezza) realizzato interamente in pannelli in X-Lam non è stato costruito in Austria, bensì in UK. Il Murray Grove è stato progettato da Waugh Thistleton Architects nel 2009 ed è situato a Londra. Lo stesso studio di progettazione, conosciuto ormai a livello Internazionale, ha inoltre prodotto un efficace manuale di promozione dell'architettura Inglese in legno "Waugh Thistleton Architects, 2018, 100 *Project UK CLT*", un report che ha lo scopo di illustrare i cento edifici più significativi realizzati in X-Lam e costruiti negli ultimi quindici anni in UK.

Percentuale di superficie forestale per zone (Svizzera)



Dati relativi alle foreste

 Superficie territoriale: 4,1 M d 'ha

 Superficie forestale: 1,3 M d 'ha

P.I.L. 1,1% valore del mercato del legno

€ 5,48 Miliardi di Euro è il valore del mercato del legno

EXPORT

Legname grezzo: 23,8%

Legname tagliato: 19,8%
(dati relativi al 2019)

Fonte: FCBA, Memento 2020

Fonte: UFAM, 2020, Jahrbuch Wald und Holz 2020

6.1.7 La Svizzera

Secondo le statistiche dell' UFS, ovvero l'Ufficio Federale Svizzero di Statistica, in Svizzera il 31,7% della superficie territoriale è ricoperta da boschi. Nel 2019 vi è diminuita la superficie boschiva rispetto all'anno precedente di 913 ettari, corrispondenti a circa 1304 campi da calcio. Questo fenomeno dipende da una serie di eventi eccezionali, quali tempeste e siccità estiva, determinati dal cambiamento climatico, che hanno portato a un aumento della proliferazione di insetti xilofagi. Questo fenomeno sta determinando delle gravi conseguenze per mercato del legno. In ogni caso, negli ultimi dieci anni, in Svizzera è in corso una campagna di rimboschimento che ha portato alla riconversione del 73% delle aree che avevano subito un'azione di deforestazione.

Il PIL della Svizzera è cresciuto in modo modesto nel 2019, con aumento dello 0,9%, a differenza del 2,8% riscontrato nel 2018. Di conseguenza gli investimenti in edifici stanno aumentando solo in modo moderato. Come sottolineato, nel 2019 la produzione di legno Svizzero ha subito un calo per via degli eventi eccezionali sopra descritti, sia per quanto riguarda il legno di Conifera, sia per il legno di Latifoglie. Questo ha portato a un forte impatto sui prezzi del legno e sulla quantità di materiale prodotto.

La quota di esportazione di legname grezzo e lavorato è aumentata dal 22,9% al 23,8% nel 2019, risultato che è leggermente al di sotto della media degli ultimi dieci anni, corrispondente al 24,1%. Per quanto riguarda invece la quota di esportazione di legname tagliato risulta essere del 19,8%. Il confronto con l'Austria è inevitabile: quest'ultimo

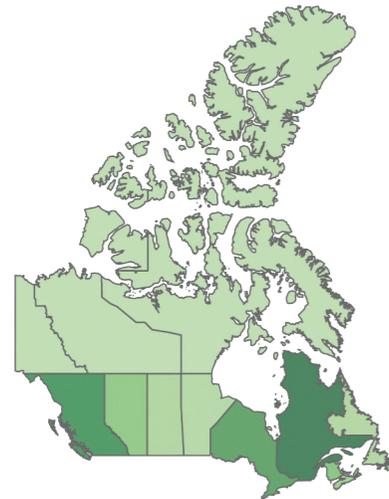
esporta circa il 70% di legname. Sicuramente il fatto che la Svizzera non sia un membro dell'Unione Europea incide molto sulla sua espansione di mercato e sulla sua rilevanza a livello Internazionale, nonostante il maggior ente di promozione del legno Svizzero, Lignum, punti a una internazionalizzazione del mercato, anche attraverso la pubblicazione di documenti informativi riguardanti i pagamenti doganali.

Nel 2010 le imprese attive nella produzione di legno in Svizzera hanno realizzato un valore aggiunto diretto di oltre 5,48 miliardi di Euro, corrispondente a circa l'1,1% del PIL.

In Svizzera il maggior ente di promozione è **Lignum**. Il suo approccio può essere paragonato a quello tecnico di ProHolz Austriaco: attraverso la redazione di manuali e bollettini (scritti in due lingue diverse e forniti gratuitamente in versione online), e lo sviluppo dello strumento "lignumdata" (molto simile a "DataHolz"), fornisce un supporto tecnico molto valido per i progettisti. Inoltre, Lignum organizza un premio, "Prix lignum", per promuovere e premiare le buone pratiche adottate nella progettazione e realizzazione degli edifici in legno.

Area forestale in Canada

Area (hectares)
0 7.657.475



Dati relativi alle foreste



Superficie territoriale: 998,5 M d 'ha



Superficie forestale: 146 M d 'ha
Aree forestali certificate: 49%



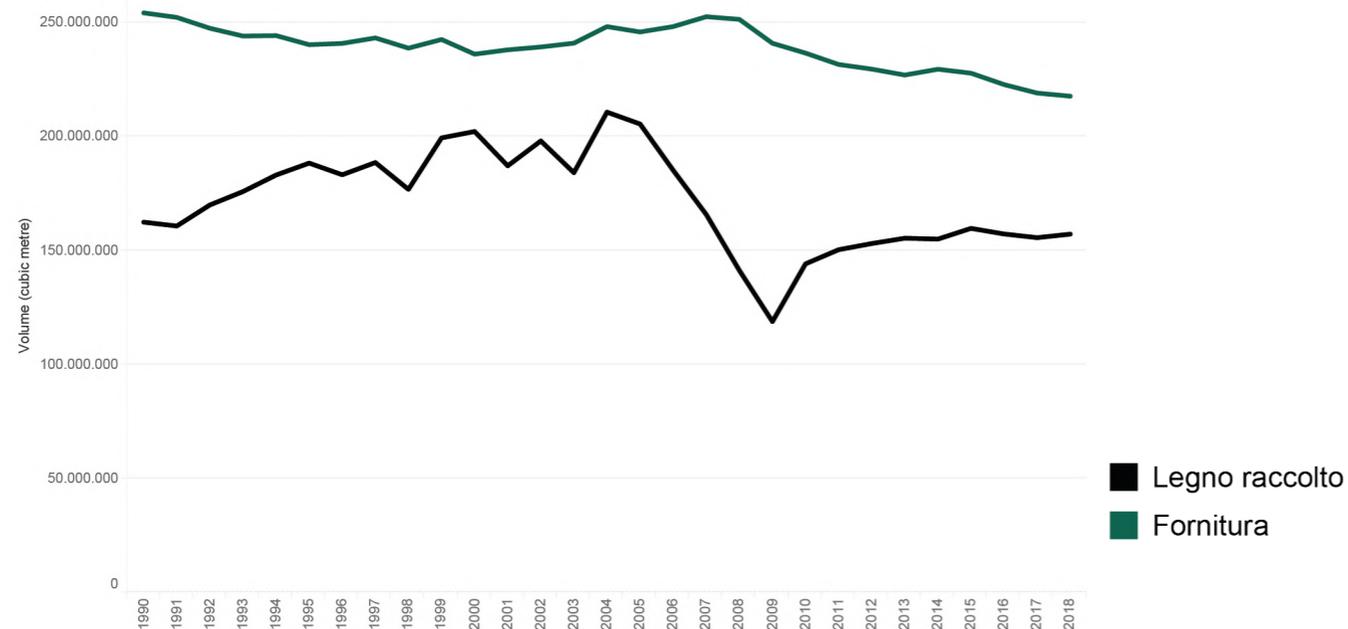
127 Milioni di m³ di legno di conifera raccolto nel 2017

P.I.L.

13% valore del mercato del legno (British Columbia)

Fonte: FCBA, Memento 2020

Raccolto annuale in funzione dell'offerta di legname



Fonte: National Forestry Database

6.1.8 Il Canada

Il 90% delle foreste Canadesi è di proprietà pubblica (i cosiddetti territori della Corona). Rispetto al resto del mondo, la gestione forestale del Paese opera secondo criteri e leggi più rigorose per quanto riguarda la sostenibilità. La **gestione forestale Canadese** dipende dalla giurisdizione delle province: i quadri normativi sono appositamente studiati in funzione delle caratteristiche sociali, economiche ed ecologiche di ogni territorio. Ogni azienda che intende sviluppare delle operazioni forestali deve seguire delle leggi che impongono lo sviluppo di un piano di gestione in cui è fondamentale il confronto con le comunità territoriali. Inoltre, in Canada sono presenti requisiti legali riguardanti il rimboschimento per garantire la continua rigenerazione delle foreste.

In tutto il Canada l'1% dell'area forestale viene sfruttata annualmente per la produzione di legname. Come afferma il "National Forestry Database", nel 2015 il Canada ha raccolto poco più di 127 milioni di m³ di Conifere, ben al di sotto del livello di offerta pari a 169 milioni di m³. Questo è dato soprattutto dalle politiche restrittive di gestione forestale Canadesi. FPIInnovation sottolinea come l'aumento della popolazione mondiale e della domanda di prodotti in legno porterà a un aumento della richiesta relativa al volume del legname raccolto. Nella carta tematica delle pagine precedenti però, si nota come la produzione di legno in rapporto alla raccolta sia già altamente efficiente: il Canada risulta essere il paese, tra quelli analizzati, che più sfrutta le proprie capacità forestali.

Il Canada è leader mondiale nella certificazione delle foreste da parte di terze parti e risulta esse-

re il paese con più foreste certificate al mondo. Il 49% delle foreste Canadesi, infatti, sono certificate e costituiscono il 37% del totale delle foreste certificate in tutto il mondo. La certificazione volontaria delle foreste consente alle aziende del settore di dimostrare, tramite la verifica da parte di terzi, che le loro pratiche soddisfino determinati standard ambientali, economici e sociali. I principali sistemi di certificazione forestale Canadesi sono: la CSA (Canadian Standards Association) e la SFI (Sustainable Forestry Initiative) approvati anche dalla PEFC (Program for the Endorsement of Forest Certification Schemes); e il FSC (Forest Stewardship Council Canada). Non a caso il Canada ha oltre la metà delle certificazioni mondiali approvate da PEFC e un terzo delle certificazioni mondiali FSC.

L'industria del legname in Canada quindi è fondamentale: per fare un esempio numerico, il legname nella sola British Columbia genera un PIL regionale del 13%.

Il Nord America ha numerosi enti di promozione per l'uso del legno, ne sono stati analizzati tre: Think Wood, FPIInnovations e Naturally:wood. L'approccio Nord-Americano si distingue rispetto a quello Europeo per quanto riguarda la diffusione delle diverse pubblicazioni e degli strumenti di supporto al progettista. Gli enti di seguito trattati forniscono, infatti, gratuitamente la gran parte dei servizi e degli E-Book informativi. La probabile strategia degli enti punta alla diffusione di massa di materiale formativo perché più i progettisti sono preparati in materia di costruzioni in legno, più il mercato viene favorito.

Inoltre sono sempre più frequenti le sponsorizzazioni di seminari formativi in ambito Europeo.

Think Wood è una campagna di comunicazione che fornisce risorse per la progettazione e la costruzione di edifici in legno. A differenza di altri enti di promozione, fornisce gratuitamente numerosi strumenti e servizi per il progettista, come ad esempio linee guida, schede EPD dei principali prodotti di legno di Conifera Nord Americano redatte dall'American Wood Council...

Naturally:wood è una risorsa informativa completa che promuove la Columbia Britannica come fornitore globale di prodotti forestali di qualità e rispettosi dell'ambiente, provenienti da foreste gestite in modo sostenibile. Lo scopo principale è quello di promuovere l'uso del legno proveniente da foreste certificate. Mette infatti a disposizione gratuitamente numerosi "tool" realizzati in collaborazione con il Canadian Wood Council.

FPInnovations è un'organizzazione privata senza fini di lucro con l'obiettivo di realizzare soluzioni a sostegno della competitività globale del settore forestale Canadese. Nonostante l'ente sia legato prettamente alla promozione della filiera produttiva del legno Canadese, ha redatto uno dei principali manuali legato alla progettazione degli edifici in X-Lam. Questo "Hand-book" può essere considerato un vero e proprio manuale "dalla A alla Z" sulle costruzioni di edifici in X-Lam.

Dai dialoghi con gli esperti è emersa la tendenza Canadese di prendere a riferimento le ricerche e

gli studi Europei in materia di legno ingegnerizzato rapportandolo e arricchendolo attraverso le proprie competenze e necessità. Questo, inoltre, non ha solo un riscontro nelle linee guida ma anche nelle varie Norme delle costruzioni.

Note a piè di pagina

¹ "Engineered Wood Market - Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2021-2026)" scaricato da www.reportlinker.com

² https://www.corriere.it/economia/aziende/21_aprile_06/i-prezzi-legno-impazzisco-no-colpa-stati-uniti-cina-aziende-italiane-soffrono-c2fe8038-8f18-11eb-a5c9-f2c86d18b040.shtml

³ *Conferenza Interministeriale pan-europea sulla protezione delle foreste in Europa*

⁴ FederlegnoArredo, 2020, *5° Rapporto Edilizi in legno 2020*, s.l.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA



Riferimenti Normativi

p.518

Bibliografia

p. 520

Sitografia

p. 535

7 Riferimenti Normativi

Legge n° 64 del 02/02/1974

UNI EN 1995-1-2, Eurocodice 5 *Progettazione delle strutture di legno*, versione italiana aggiornata al luglio 2007

D. M. LL.PP. 16/01/1996 n.11951 “*Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*”

UNI EN 460, Aprile 1996, *Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Durabilità naturale del legno massiccio. Guida ai requisiti di durabilità per legno da utilizzare nelle classi di rischio*

UNI EN 1995-1-2, Eurocodice 5 *Progettazione delle strutture di legno. Parte 1-2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio*, versione italiana aggiornata al luglio 2007

D.M. Int 09/09/2007, *Prestazione di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del corpo Nazionale dei Vigili del fuoco*

D.M., 14 gennaio 2008, *Norme Tecniche per le Costruzioni*

art. 38 del DPR 207/2010, *Regolamento di attuazione del Codice dei Contratti Pubblici 163/2006*

UNI EN 335, Aprile 2013, *Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Classi di utilizzo: definizioni, applicazione al legno massiccio e prodotti a base di legno*, versione italiana dell'Ottobre 2013

UNI EN 1998-1, Eurocodice 8 *Progettazione delle strutture per la resistenza sismica, versione italiana* aggiornata a ottobre 2013

UNI EN 1995-1-1, Eurocodice 5 *Progettazione delle strutture di legno. Parte 1-1: Regole generali – Regole comuni e regole per gli edifici*, versione italiana aggiornata a Gennaio 2015

CSA Standard O86-14, *Engineering Design in Wood*, versione ristampata Maggio 2016

UNI EN 350, Ottobre 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*, Versione italiana dell'Aprile 2017

D.M., 17 gennaio 2018, *Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”*

CNR DT 206-R1/2018, *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle strutture di legno*, aggiornata a ottobre 2018

Circolare 21 Gennaio 2019 n°7 C.S.LL.PP, “*Istruzioni per l'applicazione delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”*” di cui al Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018”

Bibliografia generale

AA.VV., 2009, *Linee Guida per l'Edilizia in Legno in Toscana*, Centro Stampa Giunta Regionale Toscana, scaricato da <https://www.regione.toscana.it/documents/10180/23550/Linee%20guida%20per%20l'edilizia%20in%20legno%20in%20Toscana/a7e7c0e6-ffeb-463e-806d-2b36139997a6>

Benedetti C., Baccigalupi V., 1987, *Legno Architettura. Il futuro della Tradizione*, Roma, Kappa

Firrone T., 2010, *Il legno. Tradizione e innovazione*, Roma, ARACNE editrice S.r.l., pp. 246-247

Follesa M., Lauriola M.P., Moschi M., 2011, *Durabilità e manutenzione delle strutture in legno*, Milano, Ticom Srl – Piacenza, p. 69

Giachino D.M., 2013, *Legno. Manuale per progettare in Italia*, Milanofiori Assago, UTET Scienze Tecniche
Giordano G., 1999, *Tecnica delle costruzioni in legno*, Hoepli, Milano

Lavisci P., 2010, *La progettazione delle strutture di legno. Eurocodice 5 e Norme Tecniche per le Costruzioni*, Milano, Il sole 24 ore

Piazza M., Tomasi R., Modena R., 2005, *Strutture in legno: materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative Europee*, Milano, Hoepli

Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, *Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola

Kaufmann H., Krötsch S., Winter S., 2018, *Manual of Multi-Storey Timber Construction*, Monaco, Detail

Bibliografia capitolo 1

AA.VV., 2012, *Prefabricated Systems*, sl, Basel Birkhäuser

Benedetti C. (a cura di), 2018, *Costruire in legno. Edifici a basso consumo energetico*, Bolzano, Bu, Press Bozen Bolzano University Press

Commissione Europea, 2019, *Comunicazione della Commissione. Il Green Deal Europeo*, scaricato da <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?qid=1596443911913&uri=CELEX:52019DC0640#document2> consultato il 03.06.2021

European Commission, 2015, *COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL The Paris Protocol – A blueprint for tackling global climate change beyond 2020*, scaricato da <https://ec.europa.eu/>

Giordano R., 2010, *I prodotti per l'edilizia sostenibile. la compatibilità ambientale dei materiali nel processo edilizio*, Napoli, Esselibri S.v.A.

Hawkins W., 2021, *Timber and carbon sequestration*, in «Structural Engineer» Gennaio 2021, scaricato da https://www.researchgate.net/publication/348448195_Timber_and_carbon_sequestration?enrichId=rgreq-0c76fd6f21e2688f7e149ddf861eb5ef-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzM0ODQ0ODE5NT-tBUzo5Nzk4MzQ5OTM5MjYxNTNAMTYxMDYyMjI3NTQ3MQ%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf, consultato il 02.06.2021

Negro A., Tulliani J., Montanaro L., 2012, *Scienza e tecnologia dei materiali*, Torino, Celid

Macqueen D., Reid H., Mayers J., 2004, *Could wood combat climate change?*, scaricato da https://www.researchgate.net/publication/239567614_Could_wood_combat_climate_change, consultato il 01.06.2021
Pagliolico S., 2020, *Materiale didattico "12_Il legno_1" e "12_Il legno_2"*, fornito dal docente

Rani H., Sen R., 2020, *Impact of Elevated CO2 and Temperature on Plant Carbon Metabolism*, scaricato da https://www.researchgate.net/publication/344426820_Impact_of_Elevated_CO2_and_Temperature_on_Plant_Carbon_Metabolism, consultato il 02.06.2021

The City of New York, 2014, *PlaNYC. Progress report 2014. A greener, greater New York. A stronger, more resilient New York*, scaricato da http://www.nyc.gov/html/planyc/downloads/pdf/140422_PlaNYCP-Report_FINAL_Web.pdf

TRADA, s.d., Module: Environmental aspects of wood. Unit: Sustainable sourcing, moisture content and durability, Low carbon and timber buildings, Environmental aspects of wood, Introduction to the Life Cycle Assessment of timber, scaricato da www.trada.co.uk

TRADA, s.d., Module: Timber as material. Unit: Wood-based materials, Introduction to decarbonisation, Wood waste and reuse, Why choose timber?, scaricato da www.trada.co.uk

Bibliografia capitolo 3

Progettazione della resistenza al sisma

Aktaş Y. D., 2017, *Seismic resistance of traditional timber-frame himiş structures in Turkey: a brief overview*, «*International Wood Products Journal 8:sup1*», pp. 21-28

Andreolli M., Materiale didattico “*Progettazione sismica di strutture in legno: le nuove NTC e la revisione dell’EC8*”, Seminario di formazione organizzato da Federlegno&Arredo e conlegno, materiale fornito dall’Ingegnere Mauro Andreolli

Asce M., Van de Lindt J.W., Pei S., Pryor S.E., Shimizu H., Isoda H., ottobre 2010, *Experimental Seismic Response of a Full-Scale Six-Story Light-Frame Wood Building*, «*Journal of Structural Engineering*», volume 136, issue 10

Astrore A., 2018, *Al di là di ciò che vedi: le strutture in legno ad incastro in Cina e Giappone e la loro resistenza ai terremoti*, Sant’Arcangelo di Romagna, Maggioli

Bombonati L., 2016/2017, *Tesi di Laurea Magistrale di Ingegneria Civile Analisi di un’unione di carpenteria*, Torino, Politecnico di Torino

Ceccotti A., Materiale didattico “*Il progetto SOFIE*”, Seminari di formazione organizzato da Promolegno, scaricato da www.promolegno.it, consultato il 16.04.2021

Ceccotti A., Follesa M., Lauriola M.P., 2007, *Le strutture in legno in zona sismica: criteri e regole per la progettazione e il restauro*, Torino, CLUT

Ceccotti A., 2013, *Comportamento sismico di edifici in x-lam: il progetto SOFIE*, CNR- INVALSA presso San Michele all’Adige, scaricato da <https://www.ingenio-web.it/2109-comportamento-sismico-di-edifici-in-x-lam-il-progetto-sofie> e consultato il 06.04.2021

Comitato Tecnico Scientifico Per il Rischio Sismico, 2021, *Orientamenti interpretativi in merito alle costruzioni in legno*, scaricato da <https://www.regione.toscana.it/-/pareri-del-comitato-tecnico-scientifico> e consultato il 31.03.2021

Doğan M., 2010, *Seismic analysis of traditional buildings: Bagdadi and himis*, «*Anadolu University Journal of Science and Technology. Applied Science and Engineering*», vol. 11, n°1», pp. 35-45

Koca J., 2018, *Seismic resistance of traditional wooden buildings in Turkey*, VI Convegno Internazionale

ReUSO Messina 11-13 Ottobre 2018

Lauriola M.P., 2018, *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni in Legno*, materiale didattico presentato il 04.06.2018 all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Prato, scaricato da https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj-u5m02NrvAhUNja-QKHfQYD88QFjAlegQICBAD&url=http%3A%2F%2Fwww.ordineingegneri.prato.it%2Ftest%2Findex.php%2Fapprofondimenti-tematici%2Fdoc_download%2F739-05-2018-06-04-marco-lauriola-legno&u-sg=AOvVaw1TBArt3ahSYXCyV85cbB5D, consultato il 31.03.2021

Luchetti M., *Strutture in legno e NTC 2018: cosa cambia?*, FederlegnoArredo, scaricato da <https://www.studiobertinotti.it/userdata/documenti/Strutture-legno-NTC2018-luchetti-2.pdf>, consultato il 08.04.2021

Rothoblaas srl, 2015, *Piastre e connettori per legno*, consultato da https://pdf.archiexpo.it/pdf/rotho-blaas/piastre-connettori-legno/60438-279118-_3.html il 07.04.2021

Suteki Wood System, *Brochure Suteki Wood System. The next stage of building efficiency*, scaricato da https://www.suteki-europe.be/fileadmin/pdf/Broch_SWS_NLFR_Belgium_2020.pdf, consultato il 02.04.2021

Progettazione della resistenza al fuoco

AA.VV., *Standard test development for fire performance characterisation of CLT glue lines*, Växjö, SMART HOUSING SMÅLAND, scaricato da https://www.ri.se/sites/default/files/2021-03/Smart%20Housing%20Sm%C3%A5land%20GLIF_Final%20%282%29.pdf, consultato il 13.04.2021

AA.VV., 2009, *Progetto delle strutture resistenti al fuoco*, Milano, Hoepli

AA.VV., 2010, *Fire safety in timber buildings. Technical guideline for Europe*, scaricato da https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/Fire_Timber_Ch_5-7.pdf, consultato il 20.04.2021

Brandon D., 2020, *RISE Rapport Parametric Study - Predictions of the influence of timber density, moisture content and wood species on the mass loss rate of timber in fire resistance tests*, © RISE Research Institutes of Sweden, scaricato da <https://www.ri.se/sites/default/files/2021-03/GLIF%20study%20parametric.pdf>, consultato il 13.04.2021

Bertacco A., 2019/2020, *Tesi di Laurea Magistrale in Architettura Costruzione e città "I castelli e la moder-*

nizzazione del paesaggio urbano in Giappone dall'era Tokugawa a oggi", Torino, Politecnico di Torino

Brandner R., 2013, *Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT)*, da Conferenza "Focus Solid Timber Solutions - European Conference on Cross Laminated Timber (CLT)" presso Graz Austria (Maggio 2013)

Brandon D., Temple A., Sjöström J., Klippel M., Schmid J., 2020, *Standard test development for fire performance characterisation of CLT glue lines*, scaricato da <https://www.ri.se/en/what-we-do/projects/glue-line-integrity-in-fire>, consultato il 20.04.2021

Clemeno N., Contini L., Lanzarini A., 2018, *Resistenza al fuoco delle strutture e compartimentazione, norme prescrittive e prestazionali a confronto*, scaricato da <https://www.ingegno-web.it/19727-resistenza-al-fuoco-delle-strutture-e-compartimentazione-norme-prescrittive-e-prestazionali-a-confronto>, consultato il 15.04.2021

Crielaard R., Van de Kuilen J.W., Terwel K., Ravenshorst G., Steenbakkens P., 2019, *Self-extinguishment of cross-laminated timber*, «Fire Safety Journal 105», pp. 244-260

Dellapiana E., Montanari G., 2015, *Una storia dell'architettura contemporanea*, Torino, UTET Università
Del Senno M., Piazza M., 2004, *Il legno e il fuoco*, da "corso di approfondimento base uso del legno nelle costruzioni" organizzato da promo legno, scaricato da www.promolegno.com, consultato il 15.04.2021

Follesa M., *Edifici XLAM e il fuoco*, ©Maurizio Follesa, da corso di approfondimento "Edifici di legno" organizzato da promo legno, scaricato www.promolegno.com, consultato il 13.04.2021

Frangi A., Fontana M., Hugi E., Jöbstl R., 2009, *Experimental analysis of cross-laminated timber panels in fire*, «Fire Safety Journal 44», pp. 1078-1087

Frattari A. (a cura di), *Soluzioni costruttive per edifici in legno*, Milano, Rockwool Italia S.p.A., scaricato da www.rockwool.it

Flumroc, *Protezione antincendio nell'edilizia in legno. Manuale per la progettazione*, Flumroc, scaricato da https://prd.crb.ch/media/24901/protezione_antincendio_nell_edilizia_in_legno.pdf, consultato il 22.04.2021

Hasemi Y., Yasui N., Itagaki N., Izumi J., Osaka T., e altri, 2014, *Full-scale fire tests of 3-Storey wooden*

school building, *World Conference on Timber Engineering*, Quebec City, scaricato da http://schd.ws/hosts/files/wcte2014/fb/ABS373_Hasemi_web.pdf, consultato il 16.04.2021

Isopp A., 2020, Drei Brandschutzexperten im Gespräch. *Holz brennt überall gleich, und doch unterscheiden sich die nationalen Herangehensweisen*, «Zuschnitt Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz März 2020 Nr. 77», pp. 14-15

Klippel M., Schmid J., Fahrni R., Frangi A., 2018, *Report of "Assessing the adhesive performance in CLT exposed to fire"* of 2018 World Conference on Timber Engineering del 20-23 Agosto 2018, Seoul, scaricato da <https://www.ri.se/sites/default/files/2021-03/Klippel%20et%20al.%20-%20WCTE%202018%20-%20Assessing%20the%20adhesive%20performance%20in%20CLT%20e...pdf>, consultato il 13.04.2021

Mazziotti L., 2006, Materiale didattico "La resistenza al fuoco degli elementi costruttivi in legno: la norma UNI 9504 e la norma Europea sperimentale ENV 1995-1-2 ("Progettazione di strutture in legno, parte 1-2")", scaricato da <http://conference.ing.unipi.it/vgr2006/archivio/Archivio/2008/Archivio/1998/Articoli/a047s4.PDF>, consultato il 16.04.2021

Medina Hevia A.R., 2014, *Tesi di Laurea in Ingegneria Civile "Fire resistance of partially protected cross-laminated timber rooms"*, Ottawa, Carleton University

Östman B., Schmid J., Klippel M., Just A., Werther N., Brandon D., 2017, *Fire design of CLT in Europe*, «Wood and fiber science: journal of the Society of Wood Science and Technology 50 (Special)» pp. 69-82
Östman B., Brandon D., Frantzich H., 2017, Fire safety engineering in timber buildings, «Fire Safety Journal 91», pp. 11-20

Schihin Y., 2020, Essay Riskantes Denken mit Holz, «Zuschnitt Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz März 2020 Nr. 77», p. 4

Schmid J., König J., Köhler J., 2010, *Fire-exposed Cross-Laminated Timber – Modelling and tests*, 2010 World Conference on Timber Engineering

Schmid J., Just A., Klippel M., Fragiaco M., 2015, *The Reduced Cross-Section Method for Evaluation of the Fire Resistance of Timber Members: Discussion and Determination of the Zero-Strength Layer*, «Fire Technol 51» pp. 1285-1309

Schmid J., Klippel M., Fahrni R., Frangi A., Tiso M., Just A., Werther N., 2018, *An impenetrable model for the*

fire design of Cross Laminated Timber in bending, 2018 World Conference on Timber Engineering Agosto 20-23 2018, Seoul

Schmid J., Klippel M., Frangi A., Lange D., Sjöström J., Brandon D., 2018, *The use of furnace test to describe real fires of timber structures*, 2018 World Conference on Timber Engineering Agosto 20-23 2018, Seoul

Schmid J., Klippel M., Alar J., Frangi A., Tiso M., 2018, *Simulation of the Fire Resistance of Cross-laminated Timber (CLT)*, «Fire Technol 54», pp. 1113-1148

Tiso M., Just A., Schmid J., Mäger K.N., Klippel M., Izzi M., Fragiaco M., 2019, *Evaluation of zero-strength layer depths for timber members of floor assemblies with heat resistant cavity insulations*, «Fire Safety Journal», volume 107, pp. 137-148

Van Der Westhuyzen S., Walls R., De Koker N., 2020, *Fire tests of South African cross-laminated timber wall panels: fire ratings, charring rates, and delamination*, «Journal of The South African Institution of Civil Engineering [online]. 2020, vol.62, n.1», pp. 43-61, scaricato da http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1021-20192020000100004, consultato il 23.04.2021

Durabilità

AA.VV., 2019, *Regolamento Tecnico Protocollo S.A.L.E. (Sistema Affidabilità Legno Edilizia)*, Assolegno e Conlegno

ARCA Casa Legno S.r.l., 2014, *Regolamento Tecnico Nuove Costruzioni Rev. 3.00. Versione breve*, Rovereto, Trentino Sviluppo S.p.A.

ARCA Casa Legno S.r.l., 2013, *Materiale didattico Approfondimento sull'umidità di risalita: il dettaglio dell'attacco a terra nelle costruzioni in legno*, fornito dall'Ingegnere Mauro Carlino, membro del Comitato Tecnico Arca

ARCA Casa Legno S.r.l., 2014, *Regolamento Tecnico Nuove Costruzioni Rev. 3.00. Versione estesa*, Rovereto, Trentino Sviluppo S.p.A., pp. 65-67, 77-80

Bugge G., Mezzanotte B., 1993, *Stavkirker: chiese lignee medievali in Norvegia*, Milano, Motta

Bibliografia capitolo 4

Canadian Wood Council, 2000, *Moisture and wood-frame buildings*, scaricato da https://cwc.ca/wp-content/uploads/publications-IBS1_Moisture_SMC_v2.pdf, consultato il 30.04.2021

Fedelegnoarredo, *Manuale d'uso e manutenzione*, guida fornita dall'Ingegnere Matteo Izzi, ufficio tecnico Assolegno

Furcolo N., 2017, *Piani di manutenzione: la guida per la corretta redazione*, BibLus-net, scaricato da https://webapi.ingenio-web.it/immagini/file/byname?name=Piani_di_Manutenzione_Wj28.pdf, consultato il 28.04.2021

Holzforchung Austria, 2009, *Außenwand - Sockelanschluss (Normausführung)*, Vienna, HFA PS, scaricato da www.dataholz.com, consultato il 29.04.2021

Holzforchung Austria, 2015, *Richtlinie Sockelanschluss im Holzhausbau. Als Leitfaden für die Planung und Ausführung*, scaricato da <https://www.ehz-neumarkt.de/files/downloads/Holz-Forschung-Austria-Richtlinie-Sockelanschluss-im-Holzhausbau.pdf>, consultato il 30.04.2021

Laner F., 1995, *Sostituzione come accezione di manutenzione*, «Adrastea: tecnologia e progetto delle costruzioni in legno e legno lamellare, n.3/'95», pp. 37-43

Laner F., 2005, *Prontuario 3 Durabilità e manutenzione delle costruzioni di legno*, Milano, promo_legno

(*Asilo di infanzia di Guastalla. La buona scuola* in «lo ARCH_61»), scaricato da www.phiporte.com/file/IOA61_30_asilo_Guastalla.pdf

Ciccarelli L., 2010, *Nido di infanzia a Guastalla, Reggio Emilia* in « L'industria delle costruzioni 450 Rivista bimestrale di architettura, luglio/agosto 2016 », scaricato da www.edilstampa.it

Bernasconi A., 2015, *4 volte 9 piani in legno in centro a Milano*, scaricato da www.prolegno.com

Bernasconi A. et all., 2013, Convegno promolegno: *wood groving city. Il contributo del legno per una crescita urbana sostenibile*, scaricato da www.promolegno.com

Bernasconi A., 2015, *Il più grande in Europa. 4 volte 9 piani in legno a Milano*, intervento durante la giornata di studio s-win il 22 maggio 2015 a Mendrisio

De Agostini L., 2010, *progetto C.A.S.E. Complessi Anti-sismici Sostenibili ed Ecocompatibili. Il futuro del legno in edilizia*, seminario del 4 febbraio 2010 a Milano “ Abruzzo-progetto CASE, stralci del bando di gara”, scaricato da www.promolegno.com

Dell'Agli M., 2015, *Seminario edilizia pubblica e privata in legno*, seminario del 15 maggio 2015, scaricato da www.promolegno.com

Galatolo E., Minuo G., Gambarotta L., Lepidi M., *Lavoro di sintesi sul Nido di Infanzia Iride. Mario Cucinella*, s.d., scaricato da www3.dicca.unige.it/mlepidi/Morfo/Nidoinfanzaiiride.pdf

Galli T. (a cura di), 2010, *L'Aquila, il progetto C.A.S.E. Complessi Antisismici Sostenibili Ed Ecocompatibili, un progetto di ricostruzione unico al mondo che ha consentito di dare un alloggio a quindicimila persone in soli nove mesi*, Pavia, IUSS Press

Giachino D.M., 2013, *Legno. Manuale per progettare in Italia*, Milano, UTET

Giordano G., 1993, *Tecnica delle costruzioni in legno*, Milano, Hoepli

Ferrario M., 2013, *Housing sociale/ il nuovo complesso di Via Cenni a Milano* in « Il nuovo cantiere, marzo 2013, numero 2», s.l

Bibliografia capitolo 5

Enti di promozione

Ferrero P., 2017, *Legno e durabilità in architettura : ricerca e progetto dei nodi costruttivi per i sistemi a telaio e cross laminated timber (CLT)* , rel. Davide Maria Giachino

Finato N., 2010, *Piano CASE, testimonianze delle ricostruzioni in Abruzzo: l'altro massiccio: la sicurezza e il comfort nella ricostruzione in XLAM*, presentazione a MADE Export del 4 febbraio 2010 “il legno protagonista delle costruzioni in Abruzzo”

(Il “nido” di Cucinella a Guastalla « in Tile Italia2/2016 »)

Lane M.E., 2010, Tesi di laurea in elettronica della Frolida State University Libraries, “Make It Right”: A Case Study Exploring an Affordable Green Housing Development in New Orleans, scaricato da <https://fsu.digital.flvc.org/islandora/object/fsu:181620/datastream/PDF/view>

Longoria R., 2010, *Making It Right? A critical look at bret it's efforts in New Orleans' lower ninth wart* in «Spring 2020. cite»

Striling R., Sturrock R.N., Vraybrooks A., 2017, *Fungal decay of western redcedar wood productse a review* in « International Biodeterioration & Biodegradation» n.125, scaricato da www.elseverre.com

Rossiprodi Associati (a cura di), 2016, *Social housing Milano, Via Cenni*, Macerata, Quodlibet studio

RUBNER holzbau, s.d., *Scuola dell'infanzia, Guastalla (RE)*, scaricato da www.holzbau.rubner.com

Rossi Prodi F., 2018, *Milano, 9 piani di legno massiccio in Via Cenni. Il progetto architettonico.*, scaricato da www.promolegno.com

Vignotti G., 2009, *Progetto C.A.S.E. il legno protagonista all'Aquila* in « Tetto e parete in legno, settembre 2009 »

Architectural Institute of British Columbia e Engineers and Geoscientists British Columbia, 2021, *Encapsulated mass timber construction up to 12 storeys*, scaricato da <https://www.naturallywood.com>

CNDB. 2009, *Maison Basse Consommation. Guide de conception et de mise en œuvre. Pour la construction de maison à ossature bois*, Parigi, Édition du CNDB

FCBA, 2009, *Guide d'entretien des ouvrages en bois*, Parigi, FCBA

FCBA, 2020, *Comprendre et maîtriser la durabilité du bois dans la construction*, scaricato da www.fcba.fr

Fedelegnoarredo, Manuale d'uso e manutenzione, guida fornita dall'Ingegnere Matteo Izzi, ufficio tecnico Assolegno

Follesa M., Lauriola M.P., Moschi M., 2011, *Durabilità e manutenzione delle strutture in legno*, Milano, Ticom Srl – Piacenza

Hislop P., 2007, *External timber cladding, Buckinghamshire*, TRADA Technology Ltd.

Holzforchung Austria, 2015, *Richtlinie Sockelanschluss im Holzhausbau. Als Leitfaden für die Planung und Ausführung*, scaricato da <https://www.ehz-neumarkt.de/files/downloads/Holz-Forschung-Austria-Richtlinie-Sockelanschluss-im-Holzhausbau.pdf>

Ingo G., 2009, *Prazis: holzfassaden, Freiburg*, Ökobuch

Karacabeyli E., Gagnon S., 2019, *Canadian CLT Handbook 2019 Ediction volume 1-volume 2*, FPInnovations, scaricato da <https://web.fpinnovations.ca/>

Kottjé J., 2007, *So entsteht ein Holzhaus, Freiburg*, DVA Pes M. R., 2012, *L'influenza dell'impiantistica nel processo della costruzione*, scaricato da www.promolegno.com,

Pitts G., Lancashire R., 2011, *Low-energy timber frame buildings. Designing for high performance*, Buckinghamshire, TRADA Technology Ltd.

Pro:Holz, *Holzforschung Austria*, 2018, Fassaden aus Holz, s.l.

Pro:Holz Austria, Marzo 2020, *Zuschnitt Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz März 2020 Nr. 77*, scaricato da www.proholz.at

Think Wood, **Wood Performance: Fire Safety**, scaricato da <https://info.thinkwood.com>

TRADA, s.d., *Module: Construction principles, specification and design Unit: Designing for durability. Parte 2: principles of design*, scaricato da www.trada.co.uk,

Ufficio Tecnico Assolegno e ANTIAL (a cura di), 2019, *Appunti per le costruzioni in legno. Concezione, Normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere*, documento fornito da Marco Pio Lauriola

Ufficio Tecnico Assolegno (a cura di), 2018, *Allegato 1: Mini-guida: Edifici a struttura di legno. Concezione e realizzazione dell'attacco a terra*, documento fornito da Matteo Izzi

Ufficio Tecnico Assolegno (a cura di), 2018, *Allegato 1: Edifici a struttura di legno, balconi e impermeabilizzazione*, documento fornito da Matteo Izzi

Ufficio Tecnico Assolegno (a cura di), 2018, *Allegato 1: Edifici a struttura di legno, nodo serramento e posa cappotto*, documento fornito da Matteo Izzi

WoodWorks and Think Wood, 2021, *Mass Timber Design Manual*, scaricato da <https://info.thinkwood.com>

Von Büren C., 2000, *Prix Lignum, Zurigo, Lignum*

Enti di certificazione

ARCA, 2013, *Manuali pratici ARCA. Camino sicuro*, scaricato da www.arcacert.com

ARCA, 2013, ARCA, CAPAROL, 2018, *Manuali pratici ARCA. Cappotto per case in legno*, scaricato da www.arcacert.com

Assolegno, Conlegno, 2019, *Regolamento Tecnico Protocollo S.A.L.E. (Sistema Affidabilità Legno Edili-*

zia), scaricato da www.certificazionesale.it

Sistemi di monitoraggio

Koch J., Simon A., Arndt R.W., 2016, *Monitoring of moisture content of produced timber bridges*, seminario WCTE 2016 World Conference on Timber Engineering Agosto 22-25 2016 Vienna, Austria, scaricato da <https://www.scantronik.de/Publikationen/Materialfeuchte%20Gigamodul%20-%20Datenlogger%20-%20Publikation%2063200.pdf>, consultato il 21.05.2021

Bibliografia capitolo 6

AA.VV. , 2018, *Rapporto sullo stato delle foreste e del settore forestale in Italia*, Arezzo, Compagnia delle Foreste S.r.l.

Camerano S., Dell'Aquila C., Recagno L., 2020, *Legno-arredo e Covid-19. Alcuni stilizzati*. scaricato da <https://www.cdp.it/resources/cms/documents/Legno-arredo%20e%20Covid-19.pdf>

“Engineered Wood Market - Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2021-2026)” scaricato da www.reportlinker.com

FCBA, 2020, *Memento 2020*, scaricato da <https://www.fcba.fr/ressources/memento-2020/>

FederlegnoArredo, 2020, *5° Rapporto Edilizi in legno 2020*, s.l.

Italian Trade Agency, 2020, *Il Canada e le nuove opportunità*, scaricato da https://www.ice.it/it/sites/default/files/inline-files/Report_Canada_0.pdf

Osservatorio delle produzioni Trentine, 2009, *Indagine sulle caratteristiche della Filiera foresta-legno in Trentino*, scaricato da https://www.ice.it/it/sites/default/files/inline-files/Report_Canada_0.pdf

UFAM, 2020, *Jahrbuch Wald und Holz 2020*, scaricato da <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wald/publikationen-studien/publikationen/jahrbuch-wald-und-holz.html>

Sitografia capito 1

<https://www.lamambiente.it/news/174-il-green-deal-europeo-per-gli-edifici.html> consultato il 14.06.2021
<https://www.climatechangenews.com/2019/12/12/eu-releases-green-deal-key-points/> consultato il 14.06.2021

<https://www.consilium.europa.eu/it/policies/green-deal/> consultato il 14.06.2021
https://ec.europa.eu/clima/sites/default/files/international/paris_protocol/docs/com_2015_81_en.pdf consultato il 14.06.2021

<https://www.fasi.biz/it/notizie/novita/21729-legge-europea-clima.html#> consultato il 14.06.2021
https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action/law_it consultato il 14.06.2021
<https://www.ingenio-web.it/25713-green-new-deal-e-costruzioni-quali-ricadute-quali-opportunita> consultato il 14.06.2021

<https://www.thetimes.co.uk/article/macron-use-more-wood-in-our-buildings-wmlrf2f3g> consultato il 14.06.2021

<https://risponde.promolegno.com/domanda/data/quali-sono-le-definizioni-di-legno-lamellare-e-legno-massiccio-incollato-fornite-dalla-en-14080/index.html>, consultato il 01.06.2021

<https://www.teknoring.com/news/ingegneria-strutturale/legno-strutturale-le-travi-bilama-e-trilama/>, consultato il 01.06.2021

<https://www.teknoring.com/wikitecnica/tecnologia/legno-lamellare/#:~:text=Prodotto%20brevettato%20nel%201906%20da,produzione%20corrente%20negli%20anni%20'60.>, consultato il 01.06.2021

<https://www.teknoring.com/wikitecnica/tecnologia/lvl/>, consultato il 01.06.2021

<https://news.wuerth.it/progettisti/legno-microlamellare-lvl/#:~:text=Gli%20elementi%20LVL%20sono%20comunemente,il%20faggio%20e%20la%20betulla.>, consultato il 01.06.2021

<https://www.weyerhaeuser.com/woodproducts/engineered-lumber/microllam-lvl/microllam-lvl-beams/>, consultato il 01.06.2021

<https://novatop-swp.cz/it/prodotto/novatop-swp/>, consultato il 01.06.2021

https://www.xlamdolomiti.it/assets/site/doc/XLAM_Dolomiti_FR.pdf, consultato il 01.06.2021

<https://www.teknoring.com/news/ingegneria-strutturale/legno-strutturale-dimensioni-e-spessore-dei-pannelli-xlam/>, consultato il 01.06.2021

<http://www.rilegno.org/prodotti-del-riciclo/pannelli-truciolari/#:~:text=I%20pannelli%20truciolari%20sono%20pannelli,e%20dei%20complementi%20d'arredo.>, consultato il 01.06.2021

<https://www.addicted2decorating.com/mdf-vs-plywood-differences-pros-and-cons-and-when-to-use-what.html>, consultato il 01.06.2021

<https://shelterwoodllc.com/i-joists-and-lvl-vs-conventional-lumber/>, consultato il 01.06.2021

<https://www.archiexpo.it/prod/unilin-panels/product-80036-1569539.html>, consultato il 01.06.2021

<https://www.openjoisttriforce.com/a-little-bit-of-joist-history/#:~:text=The%20first%20real%20engineered%20wood,fabricated%20to%20exact%20job%20dimensions.>, consultato il 01.06.2021

Sitografia capito 3

<https://www.promolegno.com/costruire-con-il-legno/sostenibilita-e-ambiente/clima-e-co2-1>, consultato il 01.06.2021

<https://www.reading.ac.uk/be-the-difference/show-your-stripes>, consultato il 02.06.2021

<https://showyourstripes.info/> consultato il 02.06.2021

<https://www.promolegno.com/costruire-con-il-legno/sostenibilita-e-ambiente/clima-e-co2-1> consultato il 02.06.2021

<https://www.proholz.at/zuschnitt/59/die-zukunft-ist-gruen> consultato il 02.06.2021

<https://www.teknoring.com/news/materiali-da-costruzione/cosa-significa-usare-il-legno-in-edilizia-per-lar-chitetto-davide-maria-giachino/> consultato il 02.06.2021

<https://www.proholz.at/wald-und-holz/co2-klima-wald/co2-speicher-wald/wald-und-holz-sind-co2-langzeit-speicher> consultato il 02.06.2021

<https://www.globenewswire.com/news-release/2021/05/03/2221409/0/en/Engineered-Wood-Market-Growth-Trends-COVID-19-Impact-and-Forecasts-2021-2026.html#> consultato il 02.06.2021

https://www.reportlinker.com/p06067812/Engineered-Wood-Market-Growth-Trends-COVID-19-Impact-and-Forecasts.html?utm_source=GNW consultato il 02.06.2021

<https://www.transparencymarketresearch.com/engineered-wood-market.html> consultato il 02.06.2021

<https://www.marketresearchfuture.com/reports/engineered-wood-market-4791> consultato il 02.06.2021

<https://www.alliedmarketresearch.com/engineered-wood-market> consultato il 02.06.2021

https://www.corriere.it/economia/aziende/21_aprile_06/i-prezzi-legno-impazziscono-colpa-stati-uniti-cina-aziende-italiane-soffrono-c2fe8038-8f18-11eb-a5c9-f2c86d18b040.shtml consultato il 02.06.2021

https://www.federlegnoarredo.it/ContentsFiles/20210514_542988012.pdf consultato il 02.06.2021

https://www.federlegnoarredo.it/contentsfiles/20210519_543585410.pdf consultato il 02.06.2021

https://www.repubblica.it/cdn.ampproject.org/c/s/www.repubblica.it/economia/rapporti/osserva-italia/mercato/2021/05/27/news/il_balzo_del_prezzo_del_legno_mette_in_difficolta_l_edilizia-302993777/amp/ consultato il 02.06.2021

<https://www.lamambiente.it/news/173-cos-%C3%A8-il-green-deal-europeo.html> consultato il 03.06.2021

<https://www.infobuildenergia.it/case-in-legno-italia-realta-europea-delledilizia-sostenibile/> consultato il 03.06.2021

<https://www.egalite.org/european-green-deal-la-nuova-strategia-in-ue/> consultato il 03.06.2021

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?qid=1596443911913&uri=CELEX:52019DC0640#document2> consultato il 03.06.2021

https://www.adnkronos.com/federlegnoarredo-nel-green-deal-ue-legno-protagonista_4gtjl5aARBem7ib-QeslKAW?refresh_ce consultato il 03.06.2021

https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it consultato il 03.06.2021

[\[finizione-importanza-e-vantaggi\]\(#\) consultato il 03.06.2021

<http://anpar.org/rifiuti-speciali-in-italia-circa-il-43-del-totale-proviene-dal-settore-costruzioni-e-demolizioni/> consultato il 03.06.2021

<http://www.ecologicacup.unisalento.it/index.php/2016-06-21-09-11-05/2016-06-21-09-20-23/19-cambiamenti-climatici?showall=&start=7> consultato il 12.06.2021

<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/it/sheet/71/politica-ambientale-principi-general-e-quadro-di-riferimento> consultato il 12.06.2021

\[https://www.are.admin.ch/are/it/home/sviluppo-sostenibile/cooperazione-internazionale/agenda2030/onu_-le-pietre-miliari-dello-sviluppo-sostenibile/1987--rapporto-brundtland.htm\]\(https://www.are.admin.ch/are/it/home/sviluppo-sostenibile/cooperazione-internazionale/agenda2030/onu_-le-pietre-miliari-dello-sviluppo-sostenibile/1987--rapporto-brundtland.htm\) consultato il 12.06.2021

<https://www.startingfinance.com/approfondimenti/la-crisi-energetica-del-1973/>

\[https://it.wikipedia.org/wiki/Convenzione_quadro_delle_Nazioni_Unite_sui_cambiamenti_climatici\]\(https://it.wikipedia.org/wiki/Convenzione_quadro_delle_Nazioni_Unite_sui_cambiamenti_climatici\)

<https://www.portlandoregon.gov/bps/index.cfm?&c=49989> consultato il 12.06.2021

<https://www.building.co.uk/news/hackney-moots-timber-first-planning-policy/5036737.article> consultato il 12.06.2021

<https://www.sidewalktoronto.ca1> consultato il 12.06.2021

<http://www.timbercity.org/> consultato il 12.06.2021

<https://www.building.co.uk/news/hackney-moots-timber-first-planning-policy/5036737.article> consultato il 12.06.2021

<https://www.adaptationclearinghouse.org/resources/planyc-2030-a-greener-greater-new-york.html> consultato il 12.06.2021

\[https://www.chicago.gov/content/dam/city/progs/env/CCAP/CCAP_5_SUMMARIES_English.pdf\]\(https://www.chicago.gov/content/dam/city/progs/env/CCAP/CCAP_5_SUMMARIES_English.pdf\) consultato il 12.06.2021

<https://www.ingenio-web.it/21217-vita-nominale-di-progetto-significato-e-utilizzo-spiegato-dalla-circolare-applicativa-delle-ntc2018>, consultato il 29/03/2021

<https://www.arcacert.com/>, consultato il 29/03/2021

<https://www.certificazioneale.it/>, consultato il 29/03/2021

<https://www.federlegnoarredo.it/>, consultato il 30/03/2021

<https://www.promolegno.com/tecnologie>, consultato il 30/03/2021

<https://biblus.acca.it/dal-1-luglio-obbligatorio-il-piano-di-manutenzione-delle-strutture/>, consultato il 30/03/2021](https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circolare-de-</p></div><div data-bbox=)

Progettazione della resistenza al sisma

<https://design-office.appspot.com/tamedia-office-building-shigeru-ban-architects.html>, consultato il 02.04.2021

<https://www.legnoarchitettura.com/blog/2018/07/16/tamedia-building/>, consultato il 02.04.2021

<https://www.archdaily.com/478633/tamedia-office-building-shigeru-ban-architects>, consultato il 02.04.2021

<https://dac.dk/en/knowledgebase/architecture/tamedia-office-building/>, consultato il 02.04.2021

<https://www.arch2o.com/tamedia-office-building-shigeru-ban-architects/>, consultato il 02.04.2021

<https://modulo.net/it/realizzazioni/edificio-per-uffici-a-zurigo-di-shigeru-ban>, consultato il 02.04.2021

<https://www.archilovers.com/projects/121563/the-new-tamedia-building.html>, consultato il 02.04.2021

<https://buildingcue.it/tamedia-office-building-a-building-that-breathes/5399/>, consultato il 02.04.2021

<https://www.teknoring.com/news/progettazione/uno-scheletro-in-legno-di-sette-piani-firmato-shigeru-ban/>, consultato il 02.04.2021

<https://www.architetturaecosostenibile.it/architettura/progetti/shigeru-ban-struttura-legno-170>, consultato il 02.04.2021

<http://www.suteki-europe.be/>, consultato il 02.04.2021

<https://www.cnr.it/it/focus/106-6/progetto-sofie>, consultato il 06.04.2021

<https://www.asce.org/magazine/20150616-report--aftershocks-pose-significant-threat-of-collapse/>, consultato il 06.04.2021

<https://www.ingenio-web.it/4547-asce-i-ricercatori-usa-quantificano-la-minaccia-crollo-da-scosse-di-assessment>, consultato il 06.04.2021

<https://risponde.promolegno.com/domanda/data/sistema-costruttivo-blockhouse-come-si-calcola-normativa-e-letteratura-di-riferimento/index.html>, consultato il 08.04.2021

<https://www.myhouselegno.it/perche-case-in-legno/case-antisismiche-i-punti-di-forza-del-sistema-legno-x-lam/>, consultato il 08.04.2021

<https://www.xlam-italia.com/x-lam/xlam-sistema-costruttivo-antisismico>, consultato il 08.04.2021

<https://risponde.promolegno.com/domanda/data/new-gentile-promolegnovorrei-sapere-per-quale-mot/index.html>, consultato il 08.04.2021

<https://www.ingenio-web.it/25532-laggiornamento-delle-appendici-nazionali-agli-eurocodici>, consultato il 09.04.2021

http://www.reluis.it/index.php?option=com_content&view=article&id=662&Itemid=203&lang=it, consultato il 09.04.2021

<https://timbertech.eu/software-calcolo-strutture-legno-xlam-platform-frame/classificazione-del-rischio-sismico-delle-costruzioni/>, consultato il 09.04.2021

https://authors.library.caltech.edu/26539/1/Tangshan/Volume4_Chapter_4.pdf, consultato il 12.04.2021

<https://www.architetturaecosostenibile.it/architettura/criteri-progettuali/pagoda-origini-architettura-legno-168>, consultato il 12.04.2021

Progettazione della resistenza al fuoco

<https://www.ri.se/en/what-we-do/projects/glue-line-integrity-in-fire>, consultato il 13.04.2021

<https://www.ri.se/en/what-we-do/projects/fire-safe-implementation-of-mass-timber-in-tall-buildings>, consultato il 13.04.2021

<https://www.ri.se/en/what-we-do/projects/tall-timber-buildings-concept-studies>, consultato il 13.04.2021

<https://www.ri.se/en/what-we-do/expertises/fire-safety-of-timber-buildings>, consultato il 13.04.2021

<https://www.ri.se/en/what-we-do/expertises/timber-engineering>, consultato il 13.04.2021

<http://www.nissaren.or.jp/1298>, consultato il 14.04.2021

https://kino-ie.net/dentoh_031.html, consultato il 14.04.2021

<https://www.infobuild.it/approfondimenti/shou-sugi-ban-o-yakisugi-lantica-tecnica-giapponese-di-bruciare-il-legno-per-proteggerlo/>, consultato il 14.04.2021

<https://www.internals.it/r-e-i-antincendio-significato-normativa/#:~:text=La%20resistenza,capacit%C3%A0%20portante%20di%20un%20edificio.>, consultato il 14.04.2021

<http://antincendio-italia.it/classificazione-al-fuoco/>, consultato il 14.04.2021

<https://www.ingenio-web.it/29427-resistenza-al-fuoco-di-pareti-in-laterizio-lapplicazione-del-metodo-tabelle-e-analitico>, consultato il 15.04.2021

<https://www.vernicifirewall.it/gli-strumenti-della-protezione-passiva-attiva/>, consultato il 15.04.2021

<https://www.waseda.jp/top/news/32407>, consultato il 16.04.2021

<https://www.waseda.jp/top/news/32507>, consultato il 16.04.2021

<https://www.waseda.jp/top/news/32523>, consultato il 16.04.2021

http://www.hasemi.arch.waseda.ac.jp/f_proj.htm, consultato il 16.04.2021

<https://www.nishigaki-lumber.co.jp/site/wp-content/uploads/2020/05/6b1a088979fe2b37b8716ce-43df627d5.pdf>, consultato il 16.04.2021

<http://www.hasemi.arch.waseda.ac.jp/projects/mokuzo.htm#dentou>, consultato il 16.04.2021

<https://www.skellyandcouch.com/projects/item/147-the-green-house-ethical-property-company>, consultato il 20.04.2021

<https://studiofornale.it/quali-sono-i-requisiti-di-resistenza-al-fuoco-per-gli-edifici-in-legno/>, consultato il 22.04.2021

https://www.lignum.ch/auf_einen_klick/news/lignum_journal_holz_news_schweiz/news_detail/brandschutzvorschriften-2015-das-bauen-mit-holz-wird-frei/, consultato il 22.04.2021

<https://www.bsvonline.ch/de/vorschriften/>, consultato il 22.04.2021

Durabilità

http://www.fujimoto-arc.com/index_a_ishibadate.html, consultato il 26.04.2021

<https://associazionetermografia.it/dcm-diagnosi-monitoraggio-condizione/blower-door-test/>, consultato il 29.04.2021

https://www.ergodomus.it/it/tech_article/tenuta-allaria-parte-2-blower-door-test/, consultato il 29.04.2021

<https://www.vvud.cz/uvodni-stranka/certifikat-kvalitni-stavba/>, consultato il 29.04.2021

<https://cwc.ca/>, consultato il 30.04.2021

<https://www.holzforchung.at/en/>, consultato il 30.04.2021

<https://www.holzforchung.at/forschung-entwicklung/projektliste/>, consultato il 30.04.2021

<https://www.dataholz.eu/>, consultato il 30.04.2021

Sitografia capito 4

<http://www.rossiprodi.it/?p=4407>, consultato il 10.02.2021

<http://www.rossiprodi.it/?p=4691>, consultato il 10.02.2021

<http://www.rossiprodi.it/?p=4934>, consultato il 10.02.2021

<https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=Fxw4BiBGjkU>, consultato il 10.02.2021

<https://www.youtube.com/watch?v=3mKy6yEc5xk>, consultato il 10.02.2021

<http://www.cennidicambiamento.it/index.php>, consultato il 10.02.2021

<http://baumad.com/2017/11/30/cenni-di-cambiamento-milano/>, consultato il 10.02.2021
<http://www.ilnuovocantiere.it/le-strutture-e-i-collegamenti-dellintervento-di-housing-sociale-di-via-cenni-milano/?pid=87>, consultato il 10.02.2021

<http://www.ilnuovocantiere.it/struttura-in-legno-massima-resistenza-al-sisma/?pid=69>, consultato il 10.02.2021

<https://risponde.promolegno.com/domanda/data/rivestimento-di-pannelli-xlam-per-balcoe/index.html>, consultato il 10.02.2021

https://news-town.it/cronaca/6695-progetto-case_-proseguono-le-indagini-sul-balcone-crollato-erano-semplifici-tavole-inchiodate.html, consultato il 10.02.2021

<https://www.ilcapoluogo.it/2020/08/17/progetto-case-cese-di-preturo-dopo-i-balconi-cedono-anche-le-scale/>, consultato il 10.02.2021

<https://news-town.it/cronaca/31817-cese-di-preturo-viaggio-fotografico-nel-progetto-case-abbandonato.html?fbclid=IwAR3H7atk2ZNRZwa66rKJacBdwXjZc1tCGAXteEWFKI7C2TcMVz29foMXvo>, consultato il 10.02.2021

https://news-town.it/cronaca/6789-case_-le-prove-di-carico-a-cese-struttura-ha-retto-ma-il-solaio-si-%C3%A8-deformato.html, consultato il 14.02.2021

<https://www.ilcapoluogo.it/2020/02/06/progetto-case-i-balconi-crollano-ma-il-reato-si-prescrive/?fbclid=IwAR0iLzLhQHPgLUskTtvhO4SML6tPudqIcPT-5uuuCVxIBoHL5EnlWdAKsM>, consultato il 14.02.2021

https://www.youtube.com/watch?fbclid=IwAR28i_3pFyhMq5yPu85Jj6UZE6YcoMY2SBzBEbP91dN5huN-FBJ99p_o9EqE&v=rkDtsOsfGKg&feature=youtu.be, consultato il 14.02.2021

<https://abruzzoweb.it/crollo-balconi-c-a-s-e-chiesto-processo-per-29-persone-costruiti-e-montati-male/>, consultato il 14.02.2021

<https://abruzzoweb.it/balconi-c-a-s-e-8-mila-da-controllare-servono-10-ingegneri-ci-vorra-tempo/>, consultato il 14.02.2021

<https://www.abruzzo24ore.tv/news/Crollo-balconi-CASE-la-GdF-Sequestra-patrimonio-per-18milioni-alla-societa-costruttrice/171180.htm>, consultato il 14.02.2021

https://news-town.it/cronaca/11449-l-aquila_-crolla-un-altro-balcone-al-progetto-case-di-cese-di-preturo.html, consultato il 15.02.2021

<https://news-town.it/cronaca/4957-forniture-fasulle-e-una-frode-dietro-il-crollo-del-balcone->, consultato il 15.02.2021

<http://www.6aprile.it/featured/2016/12/13/sisma-laquila-rimossi-altri-balconi-dal-progetto-case.html>, consultato il 15.02.2021

<https://www.raiplay.it/video/2014/10/Gazebo-del-06102014-efb2d3ce-127a-4438-aa64-33d9b4be958d.html>, consultato il 17.02.2021

<https://www.youtube.com/watch?v=R387arT0t9o>, consultato il 17.02.2021

<https://www.youtube.com/watch?v=2yxbiXSbAdA>, consultato il 17.02.2021

<https://www.google.com/maps/@42.3720279,13.2916632,3a,45.2y,206.61h,94.77t/data=!3m6!1e1!3m4!10xRtqARY-byCDNlkeFQsDA!2e0!7i16384!8i8192>, consultato il 17.02.2021

<https://www.contrastiurbani.it/la-forma-dei-luoghi-2019>, consultato il 17.02.2021

<https://abruzzoweb.it/laquila-crolla-soffitto-map-al-case-altro-balcone-pericolante/>, consultato il 17.02.2021

<https://www.ilcentro.it/l-aquila/piano-case-altri-tre-balconi-a-terra-1.2180948>, consultato il 17.02.2021

<https://www.ilcentro.it/l-aquila/pezzopane-balcone-crollato-protezione-civile-pilatesca-1.368160>, consultato il 17.02.2021

<https://www.tpi.it/news/crollo-balconi-case-terremoto-l-aquila-video-20190406286087/>, consultato il 17.02.2021

<https://www.lastampa.it/cronaca/2016/04/06/news/nella-new-town-dell-aquila-crolla-tutto-ma-restiamo-qui-1.36590440>, consultato il 17.02.2021

https://abruzzoweb.it/laquila-crolla-altro-balcone-in-progetto-c-a-s-e-di-cese-di-preturo/?__cf_chl_captchaTk=446d0bdedec9f1fe6211c5786ba8c2bbe1851279-1613206564-0-AWwc2tGwkYcvLDqmG-z9AKFy4Q-SxtJdtbQECswoS32HQEIgZSDNnCV2cinNw018VEgaHO-HbVB4iVULsqPcP8-yxo1TGL-snbxXYER3kbCcjsr4tFv745HVsaPhkw1KKc0QmcQGzNvgmCWEtpiP5Ooay2dcAo-99qz975aRjF-QA4yWhnLGLy9UhJTICAcjBeRrvA1NXn00r5fyfZptEFb-7QACO-JTw-4thnvlS0M1ET8h0AoNBHaVNQE-SqoEFUv12zus-KbFJTgJwrpGNuvlxcPBSu6GiBQ40HWF5nggeT6mqafUD1A3nx2kAHbpL1GCOT6k-VqQIEuJOSjDUCPKdsi Tat003WlvELIBcsPNgh6oxK1j2d8GAKy7n3nedQCWLrBAKniAYENzNCLp11R-m509JnrTtBN1sL8_a07Eg7Vz44TUQ6s8T_pj-6IQPQUWjvomTpx_67-TgfF9acusT0MkfNnt3QvPIRkEmh-dFTQI3uxdT3Cok4QZ7H2-rAipGF9dtWjFrzdbdyqdUr-nEzuRcBTHOTq2PQ6mSDDQc_JBhqmKcRvRb-SFVbuuSQzh2MT99r5Mvm7F2MCYfjN97yO9X982Q2-aaghJjWftSTaPTm4-8uPIN2J8sITZuxqVCOiV5U-vzWIubpV9YcCOnaOPuXY, consultato il 17.02.2021

<https://www.ilcapoluogo.it/2019/04/01/laquila-e-il-progetto-case-dieci-anni-di-storia-e-polemiche/>, consultato il 22.02.2021

<https://www.youtube.com/watch?v=IR7MXrc-LJA>, consultato il 22.02.2021

https://www.ansa.it/abruzzo/notizie/2017/05/31/progetto-case-pilastro-marcio.via-in-70_810b0e22-1a5d-40aa-b4fb-a947bc624a60.html, consultato il 22.02.2021

<https://abruzzoweb.it/laquila-pilastro-senza-guaina-marcio-evacuate-70-persone-da-c-a-s-e-coppito-2/>, consultato il 22.02.2021

<https://news-town.it/cronaca/16263-progetti-case--altri-sgomberi-a-coppito-2-e-pagliare-di-sassa-de-paulis-infiltrazioni-analoghe-alla-piastra-gi%C3%A0-evacuata.html>, consultato il 22.02.2021

<https://abruzzoweb.it/c-a-s-e-laquila-indagine-sul-marciume-la-palazzina-fatta-dalla-fallita-cosbau/>, consultato il 22.02.2021

<https://www.ingenio-web.it/16943-pilastro-in-legno-fradicio-sgomberato-edificio-progetto-case-a-laquila>, consultato il 22.02.2021

http://www.6aprile.it/ricostruzione_economia/2012/07/06/ricostruzione-a-laquila-le-termografie-bocciano-il-43-degli-edifici.html, consultato il 01.03.2021

<https://www.youtube.com/watch?v=wINeW2i4iWM>, consultato il 01.03.2021

<https://www.youtube.com/watch?v=wINeW2i4iWM>, consultato il 01.03.2021

<https://www.google.com/maps/@42.3692585,13.3335027,3a,90y,25.6h,99.99t/data=!3m6!1e1!3m4!1sBo-PfFQ6NTegUwO0W1QWg!2e0!7i13312!8i6656>, consultato il 01.03.2021

http://www.comune.laquila.it/archivio3_notizie-e-comunicati_0_5035.html, consultato il 01.03.2021

<https://www.ilcentro.it/pescara/l-aquila-lavori-fatti-male-progetto-case-a-pezzi-1.1615571>, consultato il 01.03.2021

<https://www.aqbox.tv/notizie.php?view=9948>, consultato il 01.03.2021

<https://www.ilcentro.it/l-aquila/l-aquila-pilastri-marci-al-piano-case-70-sfollati-1.1604678>, consultato il 01.03.2021

<https://www.archpaper.com/2020/10/david-adjaye-house-brad-pitt-make-it-right-foundation-to-be-torn-down/>, consultato il 01.03.2021

https://www.nola.com/entertainment_life/article_7a6e2f0e-08e9-11eb-bc5a-57d04715e5a1.html?fbclid=IwAR3RNuLL4tNVsYim0wk6wtzXxcSajpKCuvzT2hvkdrkO7142dvGsRr6CqnU&utm_content=bufferfe860&utm_medium=social&utm_source=facebook.com&utm_campaign=buffer#utm_source=email&uid=323dbdffdc3661b635b62987258bc0ee, consultato il 01.03.2021

<https://www.dezeen.com/2020/10/09/david-adjaye-house-demolished-make-it-right-foundation/>, consultato il 01.03.2021

<https://m.facebook.com/165952813475830/posts/2178648778872880/>, consultato il 01.03.2021

<https://www.architecturaldigest.com/story/brad-pitt-make-it-right-foundation-new-orleans-katrina-lawsuit>, consultato il 01.03.2021

<https://nypost.com/2019/02/04/inside-brad-pitts-katrina-charity-disaster-now-subject-of-class-action-lawsuit/>, consultato il 05.03.2021

<https://www.fox8live.com/2018/09/23/lower-th-ward-residents-file-lawsuit-against-brad-pitts-make-it-right-foundation/>, consultato il 05.03.2021

<https://www.mercurynews.com/2019/01/22/brad-pitts-new-orleans-housing-controversy-the-limits-of-celebrity-good-intentions/>, consultato il 05.03.2021

<https://www.nbcnews.com/news/us-news/brad-pitt-s-make-it-right-foundation-sues-architect-over-n911601>, consultato il 05.03.2021

<https://www.dailymail.co.uk/news/article-6146601/Brad-Pitts-charity-sued-New-Orleans-residents-say-Make-Right-sold-defective-homes.html>, consultato il 05.03.2021

https://www.prosalesmagazine.com/news/industry-trends/when-good-intentions-go-bad_o, consultato il 05.03.2021

<https://www.greenbuildingadvisor.com/article/more-troubles-for-timbersil>, consultato il 05.03.2021

<https://www.abedward.com/timbersil-southern-yellow-pine-lumber/>, consultato il 06.03.2021

https://www.nola.com/news/article_509c444f-63e4-537d-82d3-8bde47692549.html, consultato il 06.03.2021

https://www.nola.com/news/article_731a5f23-8495-5ae9-9b52-6a06378f096e.html, consultato il 06.03.2021

<https://www.dailymail.co.uk/news/article-5922515/Brad-Pitts-Hurricane-Katrina-homes-rotting-leaking-causing-in.html>, consultato il 06.03.2021

https://www.nola.com/multimedia/photos/collection_b37c83a4-0e2a-11eb-bbc1-0f0240eab46c.html#6, consultato il 06.03.2021

<https://www.nbcnews.com/news/us-news/brad-pitt-built-dozens-homes-new-orleans-after-katrina-now-n908651>, consultato il 06.03.2021

<https://www.the-sun.com/news/229674/brad-pitts-charity-houses-killing-people-woman-dies-toxic-mold/>, consultato il 06.03.2021

<https://www.google.com/maps/@29.9703138,-90.0196944,3a,88.6y,273.66h,86.38t/data=!3m6!1e1!3m4!1s3Ysw0P69Z45sSjsgjrJOrA!2e0!7i16384!8i8192?hl=en>, consultato il 06.03.2021

<https://www.foxnews.com/entertainment/brad-pitt-reportedly-drops-millions-to-fix-hurricane-katrina-broken-down-homes>, consultato il 06.03.2021

<https://www.williamsarchitects.com/make-it-right>, consultato il 06.03.2021

<https://eu.usatoday.com/story/life/people/2018/09/20/brad-pitts-foundation-sues-new-orleans-architect-over-crumbling-homes/1370814002/>, consultato il 06.03.2021

<https://www.yourlawyer.com/construction-defects/timbersil-wood/>, consultato il 08.03.2021

<http://home.nestor.minsk.by/build/news/2005/08/3102.html>, consultato il 08.03.2021

<https://www.google.it/maps/@29.9686256,-90.0198417,3a,75y,212.47h,79.71t/data=!3m6!1e1!3m4!1snjuRd7Si0Sfi17kqq-AaRg!2e0!7i16384!8i8192>, consultato il 08.03.2021

<https://www.newsweek.com/judge-rules-brad-pitt-sued-home-construction-1467837>, consultato il 08.03.2021

<https://www.news24.com/channel/Gossip/News/brad-pitt-foundation-faces-lawsuit-over-new-orleans-homes-20180831-3>, consultato il 08.03.2021

<https://diginole.lib.fsu.edu/islandora/object/fsu:181620/datastream/PDF/view>, consultato il 08.03.2021

<https://www.williamsarchitects.com/make-it-right>, consultato il 08.03.2021

<https://eu.usatoday.com/story/life/people/2018/09/20/brad-pitts-foundation-sues-new-orleans-architect-over-crumbling-homes/1370814002/>, consultato il 08.03.2021

<https://diginole.lib.fsu.edu/islandora/object/fsu:181620/datastream/PDF/view>, consultato il 09.03.2021

<https://energyvanguard.com/blog/nolas-make-it-right-homes-go-wrong/>, consultato il 09.03.2021

https://www.lsuagcenter.com/topics/family_home/home/la-house, consultato il 09.03.2021

https://www.huffpost.com/entry/make-it-right-wood-rotting-brad-pitt-katrina_n_4531804, consultato il 09.03.2021

<https://architizer.com/blog/practice/details/rebuilding-new-orleans/>, consultato il 09.03.2021

<https://architizer.com/blog/practice/details/rebuilding-new-orleans/>, consultato il 09.03.2021

<https://www.google.com/maps/@29.9703138,-90.0196944,3a,88.6y,273.66h,86.38t/data=!3m6!1e1!3m4!1s3Ysw0P69Z45sSjsgjrJOrA!2e0!7i16384!8i8192?hl=en>, consultato il 09.03.2021

<https://www.google.it/maps/@29.9686256,-90.0198417,3a,75y,212.47h,79.71t/data=!3m6!1e1!3m4!1snjuRd7Si0Sfi17kqq-AaRg!2e0!7i16384!8i8192>, consultato il 09.03.2021

<https://www.google.com/maps/@29.9704126,-90.0206265,3a,65.3y,85.68h,95.46t/data=!3m6!1e1!3m4!1sLVeWi2HoSq0ISKPFkxWtEA!2e0!7i16384!8i8192?hl=en>, consultato il 09.03.2021

https://www.google.com/maps/@29.9713011,-90.0193648,3a,75y,309.85h,88.43t/data=!3m7!1e1!3m5!1st0Z_f6sGdV11v0UgQHf9Kg!2e0!5s20190801T000000!7i16384!8i8192?hl=en, consultato il 09.03.2021

<https://www.google.com/maps/@29.9705566,-90.0205932,3a,90y,286.05h,88.42t/data=!3m7!1e1!3m5!1sDyi-VQIA1x4N0oJe7UG6nA!2e0!5s20190801T000000!7i16384!8i8192?hl=en>, consultato il 09.03.2021

<https://risponde.promolegno.com/domanda/data/le-pareti-inn-xlam-sono-rimaste-esposte-alla-pioggia-e-allumidita-per-diverse-giornate-cosa-puo/index.html>, consultato il 09.03.2021

<https://risponde.promolegno.com/domanda/data/per-problemi-organizzativi-limpresa-che-sta-montando-un-edificio-in-legno-ha-sospeso-le-lavorazioni/index.html>, consultato il 09.03.2021

<https://risponde.promolegno.com/domanda/data/il-legname-per-la-costruzione-di-un-tetto-nellarco-di-un-paio-di-settimane-e-stato-esposto-alla-pioggia/index.html>, consultato il 09.03.2021

<https://risponde.promolegno.com/domanda/data/nel-caso-di-un-cantiere-di-edificio-in-legno-la-pioggia-diretta-sugli-elementi-strutturali-e-un-rea/index.html>, consultato il 09.03.2021

<https://risponde.promolegno.com/domanda/data/in-fase-di-costruzione-di-un-tetto-in-legno-e-entrata-della-acqua-ed-ha-bagnato-le-travi-come-inter/index.html>, consultato il 09.03.2021

<https://risponde.promolegno.com/domanda/data/nella-travi-di-copertura-posizionate-per-la-formazione-di-un-tetto-sono-state-bagnate-per-molti-gior/index.html>, consultato il 09.03.2021

<https://risponde.promolegno.com/domanda/data/durante-la-costruzione-la-pioggia-puo-creare-problemi->

al-panello-in-x-lam-se-non-protetto/index.html, consultato il 09.03.2021
<https://solutions.dunnlumber.com/projects/treat-and-stain-western-red-cedar>, consultato il 09.03.2021
<https://duffieldtimber.com/blog/western-red-cedar-the-best-finishes-treatments-and-stains-and-how-to-maintain-it>, consultato il 11.03.2021
<https://www.realcedar.com/siding/care-maintenance/>, consultato il 11.03.2021
https://milano.corriere.it/notizie/cronaca/16_febbraio_12/city-life-residenze-hadid-legno-cedro-sbiadito-f03933f2-d19c-11e5-9819-2c2b53be318b.shtml, consultato il 11.03.2021
https://issuu.com/web-and-magazine/docs/fareitalia_milanocity, consultato il 11.03.2021
<https://www.synchronia.com/en/magazine/architecture/citylife-residences-milan-triple-skin-facades-zaha-hadid-aluminium-wood-and>, consultato il 11.03.2021
<https://www.arketipomagazine.it/residenze-zaha-hadid-citylife-milano-focus-facciate/>, consultato il 11.03.2021
<https://www.permasteelisagroup.com/project-detail?project=2167>, consultato il 11.03.2021
<https://www.designboom.com/architecture/zaha-hadid-citylife-milano-residential-complex/>, consultato il 11.03.2021
<https://www.inexhibit.com/it/case-studies/zaha-hadid-architects-torre-generalis-residenze-citylife-milano/>, consultato il 11.03.2021
<https://www.ordinearchitetti.mi.it/it/mappe/milanohecambia/edificio/202-residenze-hadid/11-citylife>, consultato il 11.03.2021
<https://www.internimagazine.it/progetti/city-life-milano/>, consultato il 11.03.2021
<https://www.teknoring.com/news/progettazione/opere-di-zaha-hadid-le-residente-citylife-fotografate-da-simon-garcia/>, consultato il 11.03.2021
<https://scheitlin-syfrig.ch/bauten/holzhausen/text/>, consultato il 11.03.2021
<https://www.google.it/maps/@47.1936278,8.4858394,3a,15.8y,8.33h,116.22t/data=!3m6!1e1!3m4!1sD-GnEliX0T6cJsQ5MsS9cWQ!2e0!7i13312!8i6656>, consultato il 11.03.2021
<http://www.iningenieursteckt.ch/de/das-machen-ingenieure/projekte-aus-der-schweiz/mehrfamilienhaus-holzhausen-zug.html>, consultato il 11.03.2021
<https://www.swiss-architects.com/de/architecture-news/reviews/mehrfamilienhaus>, consultato il 11.03.2021
<https://www.nextroom.at/building.php?id=32064>, consultato il 11.03.2021
<https://www.architekturbibliothek.ch/bauwerk/holzhausen/>, consultato il 11.03.2021
<https://www.renggli.swiss/de/referenzen/mehrfamilienhaus-holzhausen-steinhausen/>, consultato il 11.03.2021
<https://scheitlin-syfrig.ch/bauten/holzhausen/bilder/>, consultato il 11.03.2021

<https://docplayer.org/62245570-Sechsgeschossiges-mehrfamilienhaus-holzhausen-steinhausen.html>, consultato il 11.03.2021
https://www.kilchberg.ch/documents/Mit_dem_Baustoff_Holz_in_die_Hoehe.pdf, consultato il 11.03.2021
<https://www.mvrdv.nl/projects/170/wozoco>, consultato il 11.03.2021
<https://anderetijdenarchitectuur.com/2012/04/23/wozoco/>, consultato il 11.03.2021
https://www.google.nl/maps/@52.3641438,4.7939114,3a,89.6y,144.69h,94.77t/data=!3m7!1e1!3m5!1sqB7p_ajx9367vTvNf7_qqQ!2e0!6s%2F%2Fgeo0.ggpht.com%2Fcbk%3Fpanoid%3DqB7p_ajx9367vTvNf7_qqQ%26output%3Dthumbnail%26cb_client%3Dmaps_sv.tactile.gps%26thumb%3D2%26w%3D203%26h%3D100%26yaw%3D131.88664%26pitch%3D0%26thumbfov%3D100!7i16384!8i8192?hl=nl, consultato il 11.03.2021
<https://www.vinkbouw.nl/in-verkoop/wozoco-oklahoma>, consultato il 11.03.2021
<https://www.archdaily.com/115776/ad-classics-wozoco-mvrdv>, consultato il 11.03.2021
<https://arquitecturaviva.com/works/apartamentos-wozoco-7>, consultato il 11.03.2021
<https://www.vinkbouw.nl/in-verkoop/oklahoma>, consultato il 11.03.2021
<https://www.vinkbouw.nl/nieuws/gevelrenovatie-oklahoma-afgerond>, consultato il 11.03.2021
https://www.forum-holzbau.com/pdf/ihf06_Renggli_Max.pdf, consultato il 12.03.2021
<https://www.infobuildenergia.it/progetti/asilo-nido-a-guastalla-il-ventre-della-balena-di-cucinella/>, consultato il 12.03.2021
https://www.google.com/imgres?imgurl=https://s3.amazonaws.com/cdn-media.teknoring/wp-content/uploads/2015/10/scuola-Guastalla-cantiere-courtesy-of-Rubner-Holzbau-21.jpg&imgrefurl=https://www.teknoring.com/news/progettazione/asilo-nido-di-mario-cucinella-a-guastalla-le-strutture/&tbnid=Y_s2S2e-zIHATcM&vet=1&docid=9aawCqA2buaKfM&w=1620&h=1080&q=asilo+mca+xlam&source=sh/x/im, consultato il 12.03.2021
<https://www.teknoring.com/news/progettazione/asilo-nido-di-mario-cucinella-a-guastalla-le-strutture/>, consultato il 12.03.2021
<https://www.rubner.com/it/holzbau/referenze/referenza/nido-dinfanzia-iride-guastalla-re-ita/>, consultato il 12.03.2021
<https://www.mcarcitects.it/project/nido-d-infanzia-la-balena>, consultato il 12.03.2021
<https://www.theplan.it/magazine/2015/the-plan-087/nido-comunale-d-infanzia>, consultato il 12.03.2021
<https://www.google.com/maps/uv?pb=!1s0x478025cdb3eaba59%3A0x22bb26376cf2360a!3m1!7e115!-4shttps%3A%2F%2Fih5.googleusercontent.com%2Fp%2FAF1QipP6CozywIs7NSOk4eioQOd3z6lbZk-zilGKLmGjH%3Dw260-h175-n-k-no!5sasilo%20nido%20la%20balena%20guastalla%20-%20Cerca%20con%20Google!15sCglgAQ&imagekey=!1e2!2sUj9jXQvVAhqCjnn5zwlw&hl=it>, consultato il 12.03.2021
<https://www.teknoring.com/news/materiali-e-soluzioni/asilo-nido-di-mario-cucinella-a-guastalla-la-climatizzazione-e-climaveneta/>, consultato il 12.03.2021

<https://www.ilcarpentiere.it/asilo-nido-a-guastalla-il-ventre-della-balena-di-cucinella/>, consultato il 12.03.2021

<https://www.teknoring.com/news/progettazione/asilo-nido-di-mario-cucinella-a-guastalla-facciate-coperture-impianti/>, consultato il 12.03.2021

https://www.domusweb.it/architettura/2015/12/14/mario_cucinella_architects_asilo_nido_guastalla.html

<http://www.guastallaopereincorso.it/properties/nido-dellinfanzia-iride/>, consultato il 12.03.2021

<https://www.archdaily.com/775276/nido-dinfanzia-a-guastalla-mario-cucinella-architects>, consultato il 12.03.2021

<https://www.youtube.com/watch?v=aAqsVIVuiaQ&t=1413s>, consultato il 12.03.2021

https://www.youtube.com/watch?v=q7mlQTR17pw&feature=emb_title, consultato il 12.03.2021

<https://risponde.promolegno.com/domanda/data/quali-possono-essere-le-conseguenze-dellutilizzo-di-strutture-in-legno-allesterno/index.html>, consultato il 12.03.2021

Sitografia capitolo 5

Enti di promozione

<https://www.federlegnoarredo.it/>, consultato il 08.06.2021

<https://www.federlegnoarredo.it/it/associazioni/assolegno>, consultato il 08.06.2021

<https://assolegnorisponde.it/>, consultato il 08.06.2021

<https://www.promolegno.com/tecnologie>, consultato il 08.06.2021

<https://risponde.promolegno.com/>, consultato il 08.06.2021

<https://www.proholz.at/>, consultato il 08.06.2021

<https://www.dataholz.eu/>, consultato il 08.06.2021

<https://www.holzforchung.at/en/>, consultato il 08.06.2021

<https://cndb.org/>, consultato il 08.06.2021

<https://www.fcba.fr/en/accueil-english/>, consultato il 08.06.2021

<https://catalogue-bois-construction.fr/>, consultato il 08.06.2021

<https://www.lignum.ch/>, consultato il 08.06.2021

<https://lignumdata.ch/>, consultato il 08.06.2021

<https://www.trada.co.uk/>, consultato il 08.06.2021

<https://www.naturallywood.com/>, consultato il 08.06.2021

<https://web.fpinnovations.ca/>, consultato il 08.06.2021

<https://www.thinkwood.com/>, consultato il 08.06.2021

<https://www.awc.org/>, consultato il 08.06.2021

<https://cwc.ca/>, consultato il 08.06.2021

www.assolegnorisponde.it, consultato il 08.06.2021

www.genialerstoff.at, consultato il 08.06.2021

www.infoholz.at, consultato il 08.06.2021

www.club-oui-au-bois.com, consultato il 08.06.2021

www.panoramabois.fr, consultato il 08.06.2021

<https://catalogue-bois-construction.fr/referentiels-techniques/boisref/mur/>, consultato il 08.06.2021

<https://catalogue-bois-construction.fr/referentiels-techniques/boisref/mur/>, consultato il 08.06.2021

Enti di certificazione

<https://www.arcacert.com/>, consultato il 12.06.2021

<https://www.certificazionesale.it/>, consultato il 12.06.2021

Sistemi di monitoraggio

<https://woodcontrol.eu/>, consultato il 21.05.2021

<https://www.certificazionesale.it/monitoraggio-s-a-l-e>, consultato il 21.05.2021

<https://www.scantronik.de/Publikationen/Materialfeuchte%20Gigamodul%20-%20Datenlogger%20-%20Publikation%2063200.pdf>

Sitografia capitolo 6

https://www.corriere.it/economia/aziende/21_aprile_06/i-prezzi-legno-impazziscono-colpa-stati-uniti-cina-aziende-italiane-soffrono-c2fe8038-8f18-11eb-a5c9-f2c86d18b040.shtml, consultato il 19.06.2021

<https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/land-forstwirtschaft/gesamtrechnung-satellitenkonto/forstwirtschaft.html>, consultato il 19.06.2021

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/480996/umfrage/bruttowertschoepfung-der-branchen-holz-flecht-korb-korkwaren-in-der-schweiz/>, consultato il 19.06.2021

<https://italian-directory.it/mercato-del-legno-in-europa-dopo-la-brexite/>, consultato il 19.06.2021

<https://waughthistle.com/murray-grove/>, consultato il 19.06.2021

<https://www.woodbusinessportal.com/it/news/1/93/L-industria-canadese-del-legname-Nuove-tendenze>, consultato il 19.06.2021