

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Architettura per il Progetto Sostenibile

Tesi di Laurea Magistrale
L'ARCHITETTURA DI LEGNO:
il progetto consapevole tra limiti, conoscenza e innovazione



Relatore:

Prof. Davide Maria GIACHINO

Co-relatore:

Prof. Gustavo AMBROSINI

Candidati:

Andrea SONCIN – s250623

Ilaria SCIANDRA – s250632

Anno accademico 2019/2020

SOMMARIO

INTRODUZIONE	pag. 8
1. IL LEGNO NELLE COSTRUZIONI	pag.10
<i>D.M. Giachino</i>	
1.1. L'utilizzo del legno a protezione dell'ambiente	
1.2. I vantaggi del legno	
1.3. La prefabbricazione	
1.4. La sostenibilità economica	
2. IDENTIFICAZIONE E RINTRACCIABILITÀ DEI PRODOTTI QUALIFICATI	pag.22
<i>D.M. Giachino</i>	
2.1. La certificazione forestale FSC	
2.2. La certificazione forestale PEFC	
3. LA COSTITUZIONE E LA CLASSIFICAZIONE DEI LEGNAMI UTILIZZATI IN ARCHITETTURA	pag. 29
<i>D.M. Giachino</i>	
4. LE APPLICAZIONI DEL LEGNO	pag. 35
<i>D.M. Giachino</i>	
4.1. Le specie legnose per uso strutturale	
4.2. I prodotti a base di legno	
4.2.1. Il legno massiccio	
4.2.2. Il legno lamellare	
4.2.3. I pannelli	
4.3. Le proprietà del materiale legno	
5. LA SICUREZZA DEL LEGNO	pag. 48
<i>D.M. Giachino</i>	
5.1. La resistenza al sisma	
Il progetto C.A.S.E.	
5.2. Il Suteky Power Build System	
5.3. La resistenza al fuoco	

6. LA DURABILITA' DEL LEGNO	pag. 56
<i>D.M. Giachino</i>	
6.1. La durabilità naturale	
6.2. La durabilità effettiva	
7. LE CAUSE DI DEGRADO DEL LEGNO	pag. 60
<i>D.M. Giachino</i>	
7.1. Il degrado superficiale	
7.2. Il degrado strutturale	
7.3. L'ossidazione degli elementi metallici	
7.4. Gli attacchi di origine biologica	
7.4.1. Gli attacchi abiotici	
I fattori atmosferici del degradamento abiotico	
L'umidità	
I raggi solari ultravioletti	
7.4.2. Gli attacchi biotici	
Il degrado da batteri	
Il degrado da muffe	
Il degrado da funghi	
Il degrado da insetti xilofagi	
Il degrado da coleotteri	
Il degrado da isotteri	
Il degrado di origine chimica	
7.5. I difetti causati da dissesto e degrado strutturale	
Le fessurazioni da ritiro	
La delaminazione	
I nodi	
I rimargini o le cicatrizzazioni e le inclusioni di corteccia	
Le cipollature	
Il midollo	
Le colorazioni anomale	
Gli smussi	

La fibratura deviata
Il legno di reazione
Le deformazioni differite

8. LE TECNICHE DI INDIVIDUAZIONE DELLE PROBLEMATICHE DEL LEGNO pag. 96

D.M. Giachino

- 8.1. La classificazione visiva
- 8.2. La classificazione meccanica
- 8.3. L'analisi dei difetti e dei degradi
 - Le forature e i carotaggi
 - I misuratori elettrici di umidità o igrometri
 - Il trapano dinamometrico
 - Le prove di carico effettivo
 - Le prove di carico per la misura del modulo E statico
 - Le prove per propagazione di onde
 - Le prove basate sull'emissione di raggi

9. LA PROTEZIONE DEL LEGNO pag. 105

D.M. Giachino

- 9.1. La protezione attiva
- 9.2. La protezione passiva
 - L'elemento di sacrificio
- 9.3. I trattamenti in superficie
- 9.4. I trattamenti in profondità
- 9.5. I trattamenti preservanti o preventivi
- 9.6. I trattamenti curativi
- 9.7. I trattamenti chimici
- 9.8. I trattamenti termici
 - 9.8.1. Il termo trattamento
 - 9.8.2. La tecnica Shou Sugi Ban

10. GLI INTERVENTI DI RECUPERO pag. 119

D.M. Giachino

- 10.1. Il metodo dell'incalmo
- 10.2. Il metodo dei fettoni

10.3. La diminuzione del carico agente

11. LA TENDENZA DEGLI EDIFICI MULTIPIANO

pag. 124

G. Ambrosini

11.1. Il sistema costruttivo di tipo massiccio

11.2. Il sistema costruttivo di tipo leggero

11.3. Le realizzazioni del Centro – Nord Europa

11.4. L'impulso dell'Housing sociale

11.5. Esempi di edifici multipiano in legno

nello scenario europeo ed internazionale

Bridport House

Brock Commons Tallwood House

Complesso Limnologen

E3 Berlin

Forté Living

Murray Grove – Graphite Apartments o Stadthaus

Holz8

Mjøstårnet o Mjøsa Tower

Puukuokka Housing Block One

Strandparken Building

Banyan Wharf Apartments – The Cube Building

Torri di Rundeskogen

12. LA DURABILITA' NEGLI EDIFICI MULTIPIANO

pag. 242

D.M. Giachino

12.1. La riconoscibilità di un edificio in legno: la dicotomia

Il caso del Metropol Parasol a Siviglia in Spagna

Il caso dell'Auditorium del Parco della Musica a L'Aquila in Italia

Il caso del Muritzzeum a Waren in Germania

Il caso dell'Interims Audimax a Monaco di Baviera in Germania

12.2. Le problematiche strutturali e tecnologiche

12.3. La normativa a supporto delle figure professionali

L'evoluzione della normativa italiana

- 12.4. L'insorgere di problematiche in fase costruttiva o manutentiva dell'edificio
 - 12.4.1. I materiali a base di legno tra lo stabilimento e il cantiere
 - 12.4.2. I controlli di accettazione in cantiere
 - 12.4.3. La figura del Direttore dei Lavori
 - 12.4.4. Il controllo dell'umidità durante l'esecuzione in cantiere
 - 12.4.5. La marcatura CE

13. LA DURABILITA' TRAMITE L'ANALISI DEGLI

ERRORI IN ALCUNI CASI STUDIO

pag. 265

D.M. Giachino

14. IL PROGETTO DELLA DURABILITA'

pag. 328

D.M. Giachino

- 14.1. L'umidità come prima causa di degrado
- 14.2. Il progetto dei nodi tecnologici problematici
 - 14.2.1. Il nodo dell'attacco a terra
 - Il contatto diretto per infiltrazione
 - La risalita per capillarità
 - La condensa interstiziale
 - 14.2.2. Le coperture e le terrazze:
 - l'importanza delle impermeabilizzazioni
 - La regola delle 4D: Deflection, Drainage, Drying, Durability
 - 14.2.3. I rivestimenti esterni e i serramenti
 - 14.2.4. Gli impianti
 - 14.2.5. Le giunzioni
 - La geometria a-poliedrica nella concezione degli elementi

CONCLUSIONI

pag. 376

BIBLIOGRAFIA

pag. 381

SITOGRAFIA

pag. 384

RIFERIMENTI NORMATIVI

pag. 385

INTRODUZIONE

Il legno appartiene alla categoria dei materiali di origine vegetale e da sempre è stato impiegato nel settore dell'edilizia in particolare per le coperture e gli orizzontamenti, in alcune regioni del sud erano presenti le architetture baraccate alla "beneventana", mentre nelle fasce alpine si trovano tutt'ora edifici completamente di legno. Occorre ricordare come il legno sia stato in parte sostituito durante lo scorso secolo, a partire dagli anni '50, da materiali quali il cemento armato ed in misura minore dall'acciaio: i motivi sono molteplici, ma la legislazione antisismica e i vincoli sul numero di piani, oltre alla capacità dell'industria del cemento in Italia, fra le maggiori al mondo, sono stati determinanti per relegare la cultura del legno in una posizione marginale nel mondo delle costruzioni.

Con l'avvento del nuovo secolo, il quale ha aperto la strada ad una maggiore innovazione tecnologica con l'evoluzione del legno ingegnerizzato (cross laminated timber) e delle macchine a controllo numerico, oltre alle novità in materia di norme tecniche (NTC 2008-2018), il legno è tornato, seppur con lentezza, a imporsi e svilupparsi come materiale da costruzione.

L'applicazione del legno in edilizia, in questo momento storico, mostra da un lato un crescente interesse dei professionisti e della committenza, ma dall'altro necessita dell'esigenza di un approccio consapevole e responsabile, in grado di colmare quel vuoto di conoscenza perdurato per lungo tempo.

La tesi vuole puntare l'attenzione su entrambi questi aspetti illustrando le caratteristiche tecnologiche e strutturali del legno, senza tralasciare la valutazione dei limiti intrinseci di questo materiale di origine biologica: i duplici temi della durabilità e delle principali cause di degrado sono stati considerati nell'ottica di consapevolizzare coloro che si avvicinano alla progettazione con il legno.

Nella trattazione ci si è inoltre interrogati sulle origini dell'utilizzo del legno in edilizia ed in particolare nell'edilizia pluripiano: sono state analizzate così le prime applicazioni del legno nel centro e nel nord Europa e come queste abbiano avuto un conseguente riflesso in Italia; una ampia casistica ed analisi all'interno dello scenario europeo ed internazionale mostra lo slancio verso l'alto degli edifici.

Lo studio si propone successivamente, tramite una ricerca di una serie di casi studio di edifici multipiano con problematiche legate alla durabilità, di mettere in luce i punti critici delle costruzioni in legno, i nodi più delicati, a causa soprattutto della cattiva progettazione, della errata messa in opera, della sbagliata scelta delle specie legnose, o della qualità del materiale ligneo, tutto ciò con la costante attenzione che deve essere posta nei confronti della normativa vigente.

Uno degli obiettivi della tesi è stato anche quello di individuare le cause ed i motivi di innesco del degrado, come occasione per sviluppare delle soluzioni di intervento alternative, perseguendo la crescita nell'ambito della progettazione in legno.

Sono state attentamente indagate le motivazioni che hanno inciso profondamente sulla durata limitata, causata dal degrado, di alcuni nodi tecnologici rispetto alle potenzialità che il legno offre se viene garantita una progettazione consapevole e responsabile.

1. IL LEGNO NELLE COSTRUZIONI

“Il legno è un materiale ancora in vita. E come tale si comporta. Il rischio è la sua morte. Con essa è la morte della costruzione. Ha bisogno di sapiente esecuzione, di continua leggera manutenzione, di perfetto tempismo nella sostituzione delle parti ammalate. Solo in questo modo un edificio in legno può durare in eterno. Non teme nulla, se di continuo tenuto d’occhio. Un suo abbandono, anche per breve tempo, può essere fatale. [...] Il legno teme l’acqua e il fuoco, suoi eterni nemici. L’acqua penetra lentamente, di nascosto e ammalora gli organi vitali.”

da Case in legno – a cura di Nicola Braghieri – Federico Motta Editore - Milano, 2004



Tradizionale costruzione in legno: le origini delle case in legno – fonte: www.gliecocentrici.it

Il materiale legno, utilizzato fino dagli albori della nascita di una società civilizzata come elemento costruttivo, concentra e riunisce all'interno della sua consistenza una varietà di caratteristiche che gli conferiscono una grande versatilità: nella storia del settore edile il legno rappresenta il primo materiale da costruzione utilizzato nella progettazione delle strutture portanti con buona capacità di isolamento termico e acustico fino a giungere al campo dell'arredamento.

1.1. L'utilizzo del legno a protezione dell'ambiente

Nel corso degli ultimi anni è cresciuta considerevolmente la sensibilità dell'opinione pubblica mondiale verso i temi della salvaguardia ambientale, in molteplici settori e aspetti della quotidianità, e nel frattempo sono aumentati l'interesse e la domanda dei paesi più sviluppati verso l'acquisto di beni e di servizi che rispondessero a precisi criteri di qualità ambientale e di etica sostenibile, con una attenzione a certificati rispondenti a norme e standard nazionali e internazionali; tra questi beni, anche le produzioni legnose sono entrate a far parte dell'insieme di prodotti per i quali il mercato sempre più spesso richiede una certificazione a dimostrazione della compatibilità ambientale del processo di produzione e dell'origine legale e sostenibile della materia prima legnosa.

Sia gli addetti della filiera dalla foresta al legno, sia i consumatori hanno compatibilmente incrementato la presa di coscienza del fatto che la commercializzazione di un prodotto non rappresenta solo una semplice transazione del manufatto, ma essa comprende un insieme di valori che coinvolgono molteplici fattori, ad esempio dai criteri di produzione, agli impatti ambientali, sociali ed economici di ciascun processo produttivo specifico.

In questo scenario, la figura del produttore di legname ha perciò visto il proprio ruolo modificarsi rapidamente con le competenze e le funzioni gestionali che si sono a mano a mano notevolmente ampliate e con l'aumento della complessità di ciascuna fase produttiva; rispetto al passato, oggi il produttore di legno deve interessarsi ed essere preparato di fronte al comportamento degli altri operatori con cui interagisce lungo la filiera, oltretutto comprendendo la possibilità di interfacciarsi con la

gestione degli impatti dei processi produttivi ottenuti dagli input sfruttati nel proprio processo produttivo, anche e soprattutto nel caso in cui si tratti di collaborazioni con altre aziende con una valutazione e una attenzione rispetto al ciclo di vita del prodotto e ai processi di utilizzo e consumo annessi, adottando perciò già durante la fase di realizzazione di un prodotto misure atte a prevenire usi errati che possano causare danni al consumatore ed alla gestione degli scarti del prodotto e delle sue componenti, in termini di previsione degli impatti ambientali dei rifiuti che verranno generati al termine della vita del prodotto già in fase di realizzazione dello stesso.

Grazie alla crescita del benessere, all'esistenza e creazione o sperimentazione di tecniche o tecnologie produttive, di analisi specifiche, studi e ricerche da parte di organismi, associazioni, delle istituzioni e dei gruppi di interesse nazionali ed internazionali, anche i consumatori hanno però acquisito una posizione più attiva sul mercato. I differenti tipi di consumatori, a seconda del livello culturale, della sensibilità morale ed etica ed altre variabili, hanno iniziato e devono esigere etichette sempre più precise e dettagliate mirate ad effettuare sempre più accuratamente le proprie scelte d'acquisto non solo in relazione alla utilità specifica del prodotto, ma esaminando e valutando anche gli aspetti che coinvolgono il ciclo completo produttivo di un materiale, gli atteggiamenti e i comportamenti assunti dal produttore nell'ambito della direzione nella realizzazione del prodotto finito e delle sue strategie produttive.

A questo proposito è entrato nel gergo aziendale il termine CSR o Corporate Social Responsibility, in altre parole la responsabilità sociale d'impresa, vocabolo con il quale si intende integrare l'attenzione di natura etica e comportamentale all'interno della visione strategica d'impresa: si tratta quindi di una manifestazione della volontà delle grandi, piccole e medie imprese di gestire efficacemente le problematiche d'impatto sociale ed etico al loro interno e nelle proprie aree di attività.

Il **concetto di qualità** comincia quindi a raggiungere un ampio raggio d'azione e di applicazione comprendendo, oltre che alle caratteristiche proprie del prodotto, anche aspetti legati alla localizzazione, alla struttura e all'organizzazione dell'intera filiera produttiva e dei soggetti coinvolti in queste fasi.

In questo quadro generale si è rafforzato il **ruolo della certificazione** che sta diventando da strumento prettamente aziendale con finalità di adempimento di obblighi amministrativi ad un vero e proprio strumento di mercato e di comunicazione tra una impresa e il futuro consumatore del prodotto, diventando il simbolo di una attestazione da parte dell'azienda di comportamenti coerenti con le attese del consumatore.

Un aspetto di cui tenere conto è il tema della globalizzazione dei mercati, essa permette di avere attualmente un'offerta più ampia e differenziata per la medesima tipologia di prodotti: questi però hanno piccole o grandi differenze di provenienza con derivazione da zone e situazioni socio-economiche estremamente variabili, essi inoltre possono essere realizzati mediante tecniche e tecnologie diverse e di conseguenza hanno un livello economico e qualitativo altrettanto diversificato; questo fenomeno ha da un lato determinato sicuramente effetti positivi sulla dinamica dei prezzi, ma dall'altro lato ha comportato l'insorgere di situazioni di sfruttamento insostenibile o illegale delle risorse naturali ed umane.

A livello mondiale, solamente nell'ultima decade, sia per cause antropiche che per cause naturali la media annua di ettari di foreste andata consumata, è diminuita di circa tre milioni di ettari all'anno rispetto alla decade precedente: questo fattore dimostra come una consistente parte del legname importato in Europa provenga da fonti illegali, porzione questa che va a ricoprire circa un quinto del legname totale importato nell'Unione Europea, con provenienza prevalente da Russia, Indonesia e Cina, inoltre quasi l'80% del taglio delle foreste in Amazzonia è fuori legge o senza permessi di taglio: proprio il taglio illegale di legname è la principale causa di deforestazione e dei cambiamenti climatici, infatti il 25% delle emissioni di gas serra è dovuto alla degradazione delle foreste e alla deforestazione.

Per quanto riguarda il contesto nazionale, si evidenzia che nel 2009 l'Italia è stata il principale importatore di legname d'Europa e il quarto al mondo; questo fa riflettere anche sull'importanza di aumentare l'approvvigionamento da fonti locali, per le conseguenti ricadute economiche, come offerta di lavoro a ditte e maestranze locali

ed aumento della gestione e cura del territorio, e ambientali, come le ridotte emissioni del trasporto e il minore impatto sulle risorse primarie tropicali.



Tronchi di legname in fase di essiccazione – fotografia degli autori presso Segheria Valle Sacra Castellamonte

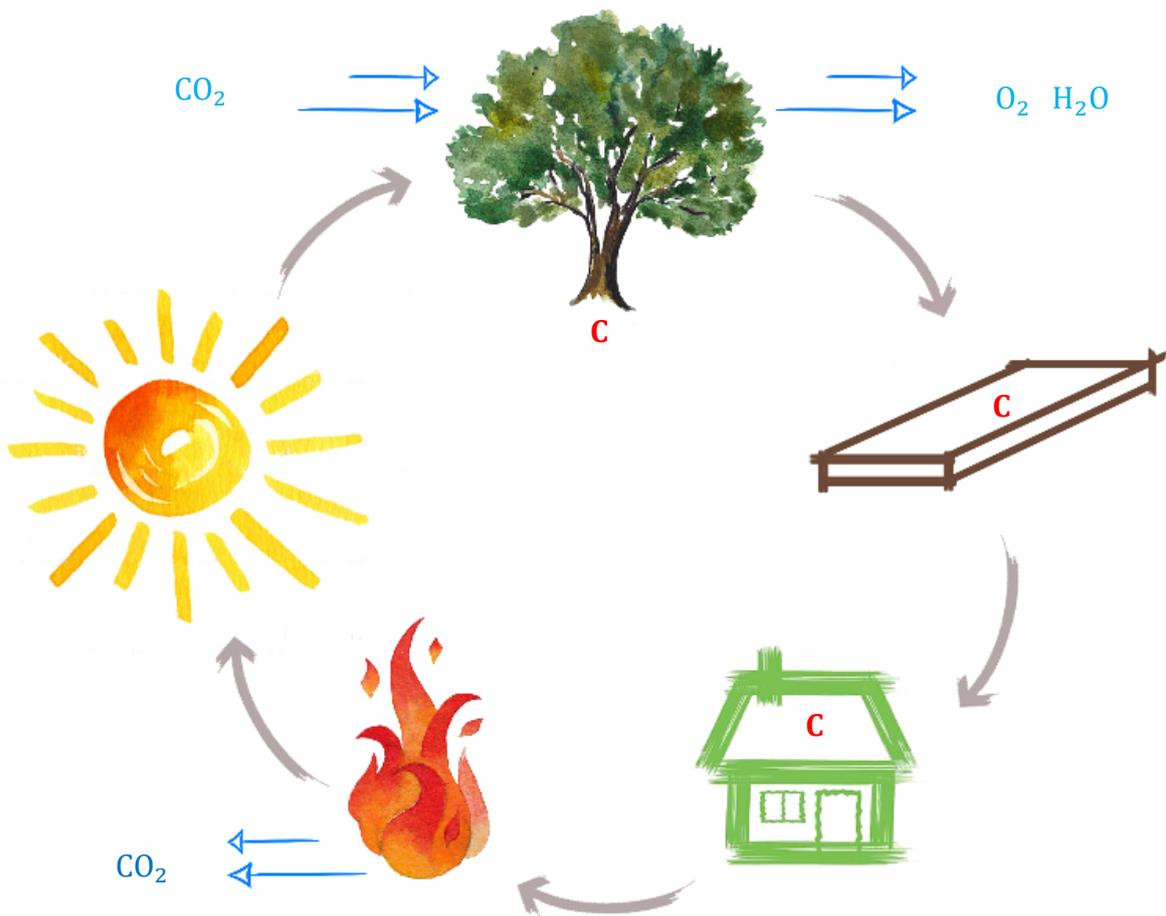
Il legno è considerabile come materia prima con **carattere ecologico** e, grazie a questa caratteristica, è **sinonimo di sostenibilità ed efficienza energetica**, oltretutto potendo combinarsi perfettamente nell'utilizzo con altri materiali di origine vegetale adatti all'isolamento come il sughero o la fibra di legno raggiungendo con facilità i parametri più elevati secondo i sistemi di attribuzione di una determinata classe energetica e conseguentemente riducendo i costi durante il ciclo di vita di un edificio.

Ogni albero è a tutti gli effetti un organismo vivente, esso è in grado di assorbire anidride carbonica dall'atmosfera, di trasformarla in carbonio e di liberare successivamente nell'ambiente il materiale di scarto, ossia l'ossigeno.

Il carbonio rimane imprigionato nel legno fino a che quest'ultimo non marcisce o viene bruciato, contribuendo così in modo essenziale alla riduzione del contenuto di anidride carbonica nell'atmosfera.

Per garantire un assorbimento duraturo di anidride carbonica, è perciò importante che il legno venga utilizzato in più fasi, prolungando quindi il più possibile il suo ciclo di utilizzo.

In questo senso, il legno rappresenta il modo più efficace per contrastare la crescente intensificazione dell'effetto serra, prima causa dell'aumento del riscaldamento globale e del cambiamento climatico: occorre rendersi quindi conto che si ha a disposizione una risorsa economica e ambientale incredibile, che però non viene sempre adeguatamente valorizzata.



Ciclo di immagazzinamento di carbonio all'interno del materiale legno durante la sua fase di vita – elaborazione degli autori

1.2. I vantaggi del legno

L'impiego del legno all'inizio del suo utilizzo nel campo edile era principalmente dovuto alle sue caratteristiche di lavorabilità e leggerezza, mentre oggi la scelta di questo materiale è determinata da proprietà differenti rispetto al passato quali l'edificazione in condizioni favorevoli all'ambiente, la reperibilità e la possibilità di lavorazione senza consumo eccessivo di energia da combustibili fossili, il buon rapporto tra peso e resistenza risultando infatti il materiale con la maggiore resistenza specifica, le proprietà meccaniche specifiche, la grande disponibilità di semilavorati in legno massiccio e di prodotti derivati a base di legno con molteplici possibilità di impiego, la stabilità statica e la resistenza al fuoco grazie alle peculiarità che si approfondiranno in seguito e la possibilità di montaggio a secco con l'eventuale riuso di alcuni elementi in fase di demolizione.

La comparsa sul mercato di **numerosi prodotti derivati dal legno** ha anche ottimizzato lo sfruttamento e il riutilizzo degli sfridi da produzione con l'ottenimento, in alcuni casi, di prodotti con un aspetto estetico caratteristico; notevoli miglioramenti hanno interessato inoltre il disegno e la funzione dei **sistemi di unione e fissaggio**, i sistemi di ristrutturazione degli edifici, le pratiche di protezione e conservazione del legno e la sua manutenzione.

Dal punto di vista dell'utenza, oltre alle caratteristiche più intrinseche al materiale stesso, il legno porta ad un benessere dell'abitare un luogo, infatti, trascorrendo una grande quantità di tempo in ambienti chiusi diventano di fondamentale importanza sia la qualità dei materiali utilizzati nell'edificio, sia il corretto studio e la realizzazione dei dettagli costruttivi; è dimostrabile come i materiali come legno, fibre di legno o sughero risultino confortevoli già a temperatura ambiente, mentre quelli come il cemento o la pietra diventano termicamente confortevoli soltanto con temperature superficiali superiori. Inoltre il legno è antibatterico, non favorisce la crescita di muffe se messo in opera nella maniera corretta, e regola il clima degli ambienti grazie alle sue buone caratteristiche igroscopiche e di inerzia termica.

Come già anticipato, il legno risponde a quei requisiti necessari al soddisfacimento di necessità legate al tema dell'ecocompatibilità: il **bilancio ecologico** di un certo materiale descrive il suo intero ciclo di vita, dall'estrazione, passando attraverso la produzione e la lavorazione, fino all'utilizzazione e allo smaltimento.

Il legno è l'unico materiale che necessita solo di acqua, aria e sole per crescere e che mantiene il suo bilancio di anidride carbonica equilibrato, assorbendo l'anidride carbonica dannosa dall'aria e restituendola all'ambiente solo nel caso di combustione o macero; c'è anche da considerare che al momento del recupero del legno si hanno comunque pochissime emissioni e la sua lavorazione è possibile eventualmente senza l'ausilio di tecniche di lavorazione complesse e quindi costose, ed, in confronto alle costruzioni in laterizio, il consumo di energia totale del legno è circa il 75% in meno a causa della necessità di una temperatura poco elevata e per tempi molto più ridotti rispetto al trattamento di altri materiali che, nella maggior parte dei casi, avviene tramite l'utilizzo di combustibili fossili a differenza del caso del legno, il quale non è mai considerabile un rifiuto siccome può essere trasformato nuovamente in materiali derivati dal legno, oppure può semplicemente essere sfruttato come combustibile naturale.

Il legno, tra le altre caratteristiche, si distingue per la sua alta protezione termica e la sua bassa conducibilità: a parità di protezione termica, lo spessore di una parete con struttura lignea, in combinazione con altri materiali termoisolanti, può essere ridotto rispetto ad altre tipologie costruttive. Inoltre la maggiore temperatura superficiale del legno contribuisce in maniera determinante ad un miglior comfort abitativo, grazie alla scarsa conducibilità termica diventano meno impegnativi i provvedimenti per limitare i ponti termici rispetto a quanto accade per una costruzione in muratura.

In questo materiale è anche importante mettere in evidenza la qualità della traspirazione e la protezione dall'umidità, infatti durante le attività quotidiane all'interno degli ambienti c'è produzione di vapore acqueo, e quando il vapore permea attraverso materiali edili porosi dalla parte calda a quella fredda si parla di diffusione: il legno, grazie alle sue proprietà igroscopiche, assume anche la funzione di regolatore dell'umidità, assorbendo quella in eccesso e restituendola all'occorrenza; tali proprietà lo rendono ideale per le costruzioni permeabili al vapore, e applicandolo combinato a materiali idonei e a strati funzionali disposti in fase progettuale e costruttiva nella maniera più corretta, la formazione di acqua di condensazione all'interno dell'elemento strutturale è sicuramente evitabile.

In riferimento alle più recenti normative sia nazionali che internazionali in materia di calcolo strutturale, il legno ha ottenuto piena stima quale materiale strutturale grazie alla sua sicurezza statica e alla protezione sismica come già esposto che può garantire supportato da recenti e

molteplici ricerche che hanno messo in evidenza l'ottima risposta delle strutture di legno sottoposte ad azione sismica, se progettate idoneamente.

Le strutture in legno assicurano una protezione dal rumore rispetto all'ambiente esterno con caratteristiche di buon isolamento acustico ottenuto principalmente con una precisa combinazione di strati di materiali termoisolanti che, unitamente ad un opportuno disaccoppiamento acustico e un accurato studio dei dettagli di connessione, consentono di rispettare i requisiti acustici richiesti con il raggiungimento della protezione dal rumore al pari delle costruzioni in muratura, in molti casi tramite spessori stratigrafici e massa inferiori.

Le costruzioni in legno assicurano poi una protezione dal fuoco, infatti il legno diventa facilmente infiammabile solo quando le sue dimensioni sono ridotte; negli elementi strutturali lo strato più esterno del materiale tende a carbonizzarsi rallentando la combustione e preservando la sezione interna che mantiene pressoché inalterate le caratteristiche di resistenza.

Un tema molto discusso e particolarmente delicato risulta essere quello relativo alla durabilità, ma come si osserva nei paesi nordeuropei ed in quelli nordamericani, il legno è un materiale amato e largamente utilizzato ed il numero di edifici di legno pubblici o privati è elevatissimo.

In linea con le normative e disposizioni tecniche, la durata delle case di legno è stata fissata a 50 anni, con l'esperienza e gli edifici esistenti che dimostrano però come una costruzione in legno possa resistere senza problemi per molto più tempo con un medesimo livello di sicurezza e stabilità, se alla base vi è una buona progettazione, anche visto e considerato il progresso continuo e le ricerche nel settore delle costruzioni del legno che stanno contribuendo all'eliminazione o riduzione del maggior pericolo per questo materiale, ossia **l'acqua, la prima causa della limitata durabilità nel tempo del legno.**

Infine mettiamo in luce come il legno può essere senza dubbio un materiale che si presta particolarmente bene alla **prefabbricazione**, nella quale il grado di prefabbricazione può essere adeguato alle esigenze individuali in base al sito di costruzione, ai tempi a disposizione e alla richiesta della committenza, a partire dalla sola struttura fino ad arrivare ad interi elementi completi di finiture e finestre.

La progettazione dettagliata di ogni elemento, unita ad un alto grado di prefabbricazione, consentono la realizzazione delle costruzioni in pochissimo tempo accorciando in questo modo

anche l'esborso economico. Le lavorazioni eseguite in stabilimento sono indipendenti dalle condizioni climatiche e ciò consente di ottenere livelli di qualità maggiori oltre ad un continuo controllo della qualità stessa. Inoltre, a differenza delle costruzioni con materiali a base minerale, quelle di legno non necessitano dei tempi per il disarmo e di asciugatura con il vantaggio che tutte le case di legno sono immediatamente abitabili.

1.3. La prefabbricazione

Grazie ai progressi nell'industria del legno, alle moderne tecnologie produttive e alle tecniche di ingegnerizzazione, come appena osservato, il legno, tra i vari e molteplici aspetti positivi, è anche un materiale fondamentale nell'edilizia prefabbricata con gli annessi numerosi vantaggi a livello di tempistiche, costi, costruzione e risparmio energetico.

La prefabbricazione è una modalità di costruzione molto diffusa in modo particolare in paesi come Austria e Germania, nella quale non vengono comunque sottovalutati i dettagli, l'estetica, le finiture e gli impianti.

Rispetto ad un edificio realizzato con sistema tradizionale, la prefabbricazione prevede che la struttura e gli elementi portanti dell'edificio siano realizzati direttamente all'interno dell'azienda di produzione, per poi essere successivamente montati in cantiere sul basamento di fondazione.



Lavorazione di elementi prefabbricati – fonte: Kager Italia

Con queste premesse si riducono sia i tempi di costruzione sia l'utilizzo della manodopera necessaria poiché tutte le varie componenti vengono realizzate prima del trasferimento in cantiere, con una conseguente riduzione dei costi, i quali comunque risultano essere certi e chiari fin dall'inizio del progetto.

Le soluzioni adottabili nella scelta progettuale della prefabbricazione sono molteplici, dalla prefabbricazione della semplice struttura della parete da montare in cantiere, alla struttura con le finiture complete, fino al modulo finito trasportato direttamente dall'azienda al cantiere con i singoli moduli abitativi che vengono realizzati in fabbrica completi di finiture, finestre e impiantistica all'interno delle pareti, pavimenti e rivestimenti e successivamente ogni modulo viene trasportato in cantiere per essere composto con altri moduli: l'obiettivo è quello di ottimizzare i tempi e i costi senza rinunciare alla qualità del prodotto finito.

Ciò è reso possibile anche grazie all'utilizzo di macchinari avanzati e all'applicazione intelligente di una **progettazione avanzata tramite l'applicazione di sistemi computerizzati e meccanizzati** per il taglio e la trasformazione di questo materiale, oltretutto con il supporto nato dall'utilizzo non convenzionale dei centri di lavoro a controllo numerico.

L'uso delle macchine a controllo numerico e degli impianti di prefabbricazione ha consentito la realizzazione di pareti prefabbricate in officina il cui montaggio in cantiere risulta più rapido con diminuzione dei tempi e con una conseguente riduzione dei costi, infatti possiamo dedurre che gli edifici in legno non costano di più rispetto a quelli costruiti con l'utilizzo delle tecniche convenzionali come il cemento o l'acciaio ma sono molto più vantaggiosi per la riduzione dei tempi di costruzione rispetto all'utilizzo di altre tecnologie con una riduzione dei costi di cantiere.

Il risultato di queste analisi relative alle caratteristiche dell'elemento legno è l'ottenimento di un prodotto leggero, di semplice lavorazione e semplice trasporto e completamente rinnovabile e riciclabile, eventualmente riutilizzabile alla fine del ciclo di vita di un edificio grazie la possibilità di assemblaggio a secco.

1.4. La sostenibilità economica

La prefabbricazione degli elementi in legno può fare aumentare il costo di progettazione iniziale ma riduce i tempi di cantiere e le lavorazioni in opera risparmiando sui costi della manodopera, del noleggio dei macchinari e delle attrezzature. In particolare, utilizzando elementi di legno prefabbricati, e quindi progettati con dimensioni standard per un dato edificio, gli scarti in cantiere risultano essere ridotti.

I costi legati alla progettazione della resistenza al fuoco del materiale ligneo sono quelli che potrebbero incidere di più sul costo totale, ma questi possono anche essere contenuti se si sfrutta la capacità di carbonizzazione del legno senza la necessità dell'inserimento di particolari rivestimenti in cartongesso.

È importante quindi il compito del progettista, quale figura in grado di scegliere la soluzione migliore da adottare in base alla funzione d'uso dell'edificio e all'aspetto che si vuole ottenere per controllare i costi della produzione dell'edificio.

2. IDENTIFICAZIONE E RINTRACCIABILITÀ DEI PRODOTTI QUALIFICATI

La **legislazione e le normative** ricoprono la funzione dei necessari presupposti al fine della buona progettazione e buona esecuzione nel campo dell'edilizia, essi hanno reso possibile una maggiore completezza al quadro generale anche del settore delle costruzioni in legno permettendone una sempre più intensa e rapida evoluzione a livello europeo e poi nazionale, seppure con ancora alcune incompiutezze.

Un chiaro riferimento normativo deve essere accompagnato da una buona preparazione dei professionisti e dei costruttori, questi sono sicuri elementi basilari per attribuire maggiore forza all'affermarsi del legno come valida alternativa costruttiva rispetto ai metodi tradizionali già consolidati, considerando le sue molteplici e indiscusse qualità esaminate precedentemente.

Una delle peggiori conseguenze scaturita fondamentalmente dalla ridotta **conoscenza** riguardo la materia è la complessa e ampia tematica legata alla durabilità delle costruzioni di legno, questione che spesso si tende ad ignorare, tralasciare e sottovalutare: **la durabilità degli edifici in legno è strettamente legata alla qualità costruttiva, all'impiego di accorgimenti tecnici adeguati e all'utilizzo di materiali idonei.**

Per contrastare l'ipotetico approccio superficiale nei confronti della durabilità del legno, un aspetto positivo e di supporto al problema risiede nella creazione di Associazioni di Categoria e di Enti di Certificazione che ricoprono il ruolo di organismi ufficiali obbligati ad esprimersi con grande capacità, ponendosi con un atteggiamento di prudenza, cautela e attenzione con l'obiettivo di perseguire una reale crescita e un miglioramento nell'ottica della diffusione del legno per un impulso di processo volto allo sviluppo di un'architettura sostenibile.

Costruire in legno significa fare una scelta cosciente e responsabile che porta a ricadute positive a livello locale e globale: i sistemi di certificazione sono i mezzi che permettono di essere a conoscenza del fatto che il materiale che si va ad utilizzare proviene da foreste gestite in maniera sostenibile, nel rispetto delle norme in vigore e senza danni per l'ambiente.

Attualmente il settore forestale europeo copre circa il 25% della produzione mondiale di prodotti forestali e circa il 30% dei pannelli a base di legno, carta e cartone con una domanda interna in continua crescita con l'Unione Europea che è diventata uno dei maggiori esportatori di prodotti forestali. Con la crescente consapevolezza degli impatti negativi di un consumo indiscriminato del patrimonio forestale terrestre, nasce però d'altro canto l'esigenza di un controllo continuo e rigido che possa distinguere e mettere in evidenza una **corretta gestione della risorsa naturale**.

In Italia, la superficie forestale nazionale ricopre un'estensione stimata di 10,5 milioni di ettari che corrispondono al 35% della superficie totale nazionale: pur disponendo di una produzione forestale annua di gran lunga maggiore rispetto a paesi come l'Austria, il legname italiano spesso permane nei boschi a degradarsi. Se si vuole assicurare un futuro per l'industria forestale nazionale, ma anche e soprattutto per la protezione attiva del clima e dell'ambiente, occorre saper gestire le foreste trattandole come veri e propri ecosistemi da preservare, salvaguardando la loro produttività e biodiversità.

La sfida per ciascun paese è proprio quella di riuscire a sfruttare le risorse forestali rispondendo alla crescente domanda senza distruggerle, ma al contrario, valorizzandole.

In questo scenario del comparto forestale si stanno diffondendo specifici **standard di certificazione e di etichettatura**, i quali garantiscono la provenienza del legno e derivati da foreste gestite in modo responsabile, sia dal punto di vista naturale che di salvaguardia delle popolazioni locali.

Secondo la definizione data dalla ISO, l'International Standard Organisation, il certificato è una dichiarazione rilasciata da un ente, una istituzione, oppure una persona qualificata, finalizzata ad attestare l'effettiva esistenza e verità di un fatto, di una situazione, di una condizione, in altre parole è un'attestazione di parte terza circa la conformità di un prodotto, processo o servizio, a standard predefiniti stabiliti per legge, oppure volontariamente accettati.

Come analizzato in parte inizialmente nella trattazione, l'allarme per la distruzione delle foreste in aree tropicali e la crescita e l'impegno in tutto il mondo per un consumo responsabile delle aree forestali, hanno fortemente stimolato la richiesta di una

certificazione forestale, che si è affermata come strumento di mercato ad adesione volontaria, garantendo ai consumatori l'acquisto di prodotti non provenienti da boschi tagliati illegalmente o in maniera irrazionale bensì da aree forestali gestite in maniera sostenibile.

La certificazione, in ambito forestale, può quindi essere definita come una procedura prestabilita e riconosciuta che deve essere verificabile per mezzo di un certificato nel quale venga confermata la qualità della gestione forestale rispetto ad una serie di criteri e indicatori predeterminati che possono essere quantitativi e qualitativi, in base ad una valutazione indipendente e accreditata.

L'iniziativa della creazione di uno strumento di certificazione forestale è nata agli inizi degli anni '90 grazie alla determinazione manifestata da alcune organizzazioni ambientaliste per la promozione di uno schema internazionale di etichettatura del legno tropicale, al fine di premiare la produzione e il commercio di legname prodotto in maniera sostenibile e solo successivamente questo strumento si è affermato come strumento di mercato ad adesione volontaria in zone dell'Europa e Nord America.

Un primo tipo di certificazione forestale consiste nella Certificazione della Gestione Forestale Sostenibile che implica il fatto che una proprietà forestale sia gestita secondo criteri di sostenibilità ambientale, sostenibilità sociale e sostenibilità economica, perciò il legname o la fibra che deriva da una determinata foresta viene marchiato e risulta commerciabile e utilizzabile come proveniente da boschi gestiti in modo sostenibile, il legname e la cellulosa proveniente da foreste o piantagioni certificate per la corretta gestione forestale, poi, deve poter rimanere rintracciabile nelle varie fasi delle successive lavorazioni, sino al prodotto finito a garanzia di un legno proveniente da foreste gestite responsabilmente: la certificazione forestale è l'unico strumento che fornisce garanzia sulla gestione sostenibile delle foreste e sulla tracciabilità dal taglio del bosco al prodotto finito.

La certificazione forestale rappresenta anche un impegno per la promozione di una gestione oculata e corretta dei boschi ed un'opportunità di ufficializzare l'impegno

imprenditoriale verso l'ambiente: se il prodotto ligneo è locale, la certificazione permette di promuovere e valorizzare anche il proprio territorio e l'economia locale.

L'uso di legno certificato per la sua origine legale e sostenibile, infine, è un segno di sensibilità e di modernità che ogni progettista e costruttore può facilmente implementare nel settore dell'edilizia e dell'architettura, rendendo effettivo il proprio impegno verso l'ambiente, con una scelta cosciente e responsabile che avrà implicazioni positive sia a livello locale che a livello globale.

Per **Certificazione della Gestione Forestale** si intende quindi una procedura di verifica riconosciuta e collaudata che conduca all'emissione di un certificato, da parte di un organismo indipendente, che attesti che le forme di gestione boschiva rispondono a determinati requisiti di sostenibilità: la Certificazione di Gestione Forestale responsabile assicura che una foresta o una piantagione forestale siano gestite nel rispetto di rigorosi standard ambientali sociali ed economici, tali standard si basano sui 10 Principi e 70 Criteri di gestione forestale responsabile. Per giungere alla certificazione devono essere valutate tutte le modalità con cui è gestita l'area forestale dalle prime fasi di pianificazione degli interventi, alle fasi operative in campo, fino all'abbattimento e all'estrazione del legname e degli altri prodotti.

Inoltre sono fondamentali, sia nella definizione degli standard che durante il processo di certificazione, la partecipazione e il consenso degli stakeholder locali e nazionali, ovvero di tutti quei soggetti portatori di vari e molteplici interessi che siano essi ambientali, sociali o economici nei confronti della corretta gestione della foresta.

La sola Certificazione di Gestione Forestale non consente di immettere sul mercato e quindi vendere al consumatore il legno o altri prodotti non legnosi del bosco o prodotti derivati come certificati, né di etichettarli con i marchi: a tale scopo è necessaria l'integrazione di una seconda tipologia di certificazione forestale consistente nella Certificazione di Catena di Custodia, la quale diventa il mezzo di garanzia della rintracciabilità dei materiali provenienti da foreste certificate dimostrando in maniera trasparente e chiara l'attivo contributo alla gestione forestale responsabile.

La Gestione Forestale Sostenibile (GFS) assicura quindi al consumatore finale che tutti i prodotti di origine forestale non provengono da interventi irresponsabili che possono portare ad un impoverimento o ad una distruzione delle risorse forestali.

La definizione corrente di Gestione Forestale Sostenibile (GFS), adottata ad Helsinki nel 1993 dalla Conferenza Ministeriale per la Protezione delle Foreste in Europa, definisce la gestione e l'uso delle foreste e dei terreni forestali nelle forme e ad un tasso di utilizzo che consentono di mantenerne la biodiversità, la produttività, la capacità di rinnovazione, vitalità e potenzialità di adempiere, attualmente e nel futuro, a rilevanti funzioni ecologiche, economiche e sociali a livello locale, nazionale e globale, senza comportare danni ad altri ecosistemi; una visione più attuale della gestione forestale sostenibile è quella che deve saper conciliare equità sociale, rispetto ambientale e sostenibilità economica.

L'applicazione del concetto di Gestione Forestale Sostenibile dal livello prettamente teorico a quello concretamente operativo sottintende diversi aspetti: definizione di obiettivi di politica forestale a diverse scale territoriali, monitoraggio dei risultati delle politiche forestali adottate, confronto tra obiettivi e risultati sia nell'ambito di un singolo territorio, che tra ambiti territoriali diversi, sviluppo di sistemi statistici finalizzati al monitoraggio di variabili strategiche nell'analisi del settore, definizione, controllo e rispetto di codici deontologici, definizione di criteri di finanziamento etico e definizione di disciplinari di produzione e di criteri di GFS a livello aziendale, anche al fine di promuovere dichiarazioni di conformità e certificazioni.

2.1. La certificazione forestale FSC

Il Forest Stewardship Council (FSC) è un'Organizzazione Non Governativa indipendente fondata nel 1993 da diverse organizzazioni ambientaliste e sociali, esponenti del commercio e dell'industria, associazioni di popolazioni indigene, comunità forestali e organismi di certificazione di prodotti forestali provenienti da 25 paesi differenti.





Legname certificato mediante etichettatura FSC – fonte: FSC Italia

FSC ha introdotto standard volontari di certificazione che riguardano la gestione forestale (FSC FM) dalla pianificazione territoriale, all'utilizzazione, all'esbosco e con il rilascio del certificato e l'uso del marchio attesta che la foresta è gestita in modo conforme a standard ambientali, sociali ed economici, oltre a riguardare la rintracciabilità dei prodotti (FSC COC) con il monitoraggio del prodotto dal luogo d'origine fino al luogo di vendita (catena di custodia), dalla concentrazione del legname, all'impasto, alla produzione di semilavorati o prodotti finiti e con il certificato ed il logo di certificazione direttamente posto sul prodotto si attesta che un certo prodotto è composto con materiale proveniente da foreste gestite in modo responsabile.

Le fasi principali dell'iter di certificazione FSC comprendono la verifica preliminare a richiesta consistente in una analisi delle lacune e una valutazione della rispondenza dell'organizzazione ai requisiti normativi, la verifica di certificazione che è la valutazione volta alla verifica della conformità del sistema rispetto alla norma di riferimento e porta all'emissione del certificato, le visite di sorveglianza per controllare il miglioramento continuo nel tempo e il rinnovo della certificazione ogni cinque anni a seguito di una verifica completa o di una valutazione continua nel tempo.

2.2. La certificazione forestale PEFC

Il Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC) rappresenta la garanzia che la materia prima legnosa per carta e prodotti in legno deriva da foreste gestite in maniera sostenibile che subiscono regolarmente controllate da ispettori: il PEFC vuole conservare la foresta come habitat per animali e piante, mantenere la funzione protettiva delle foreste nei confronti dell'acqua, del terreno e del clima, tutelare la biodiversità degli ecosistemi forestali, verificare l'origine delle materie prime legnose, prevedere il taglio delle piante rispettando il naturale ritmo di crescita della foresta e assicurare che le aree soggette al taglio vengano rimboschite o rinnovate naturalmente, tutela inoltre i diritti e la salute dei lavoratori, favorisce le filiere corte, garantisce i diritti delle popolazioni indigene e dei proprietari forestali.



Legname certificato mediante etichettatura PEFC – fonte: PEFC Italia

Il PEFC si pone come alternativa ai sistemi di certificazione esistenti, primo fra tutti il FSC, ritenuto inadeguato soprattutto nel caso di proprietà forestali di piccole dimensioni.

3. LA COSTITUZIONE E LA CLASSIFICAZIONE DEI LEGNAMI UTILIZZATI IN ARCHITETTURA

Il legno è costituito essenzialmente da circa 50% di carbonio, 44% di ossigeno e 6% di idrogeno, da un contenuto medio di ceneri pari a 0,2-0,3%, che rappresentano le sostanze minerali, e da un contenuto di azoto inferiore allo 0,1%: per comprendere le caratteristiche del legno è necessario conoscere la sua composizione e i legami esistenti tra i componenti.

La composizione esatta del legname dipende comunque dal tipo di albero ed essa può addirittura variare leggermente anche all'interno di uno stesso tronco: le differenti proprietà del legno non sono determinate dal contenuto in percentuale degli elementi chimici ma dai differenti legami chimici e fisici degli stessi.

Il legno è un materiale composito costituito dalle sostanze a struttura macro molecolare che formano il complesso delle pareti cellulari, ovvero cellulosa, emicellulosa e lignina presenti in gran quantità, e da sostanze di natura diversa a struttura micro molecolare presenti in quantità molto più ridotte.

La **cellulosa**, polisaccaride composto da unità ripetute del monomero di glucosio, è il costituente caratteristico delle pareti cellulari delle piante e ne determina fondamentale la loro struttura; essa forma nella parete cellulare una gerarchia di strutture fibrillari, parzialmente legate una all'altra per mezzo di una matrice omogenea costituita da pectina ed emicellulosa. La cellulosa conferisce alle celle elevata stabilità della forma e soprattutto elevata resistenza a taglio e a flessione.

Le **emicellulose** conferiscono alla cellulosa la caratteristica della deformabilità, in modo tale che il materiale composito possa rimanere flessibile ed elastico.

Contrariamente alla cellulosa, invece, la **lignina**, amorfa e con le sue lunghe molecole a catena, costituisce una rete tridimensionale non elastica, depositandosi durante l'ultimo processo di formazione della parete cellulare detto di lignificazione.

Le sostanze contenute nel legno appartengono alle più differenti categorie chimiche e sono, per tipo e quantità, caratteristiche delle rispettive specie legnose; sebbene rappresentino solo una piccola percentuale della massa del legno, queste sostanze hanno una grande influenza

sulle sue caratteristiche chimiche, biologiche e fisiche, ed hanno anche un diretto effetto sulle sue caratteristiche meccaniche, seppur molto piccolo o quasi nullo.

Il legno è un materiale che possiede una **struttura porosa, non omogenea e anisotropa in base alla direzione della fibratura**, composta dalle sostanze della membrana cellulare e dalle cavità cellulari.

Questo materiale è quindi costituito da milioni di cellule di diverso tipo, grandezza, forma, numero e distribuzione: le cellule della medesima tipologia si presentano raggruppate nei cosiddetti **tessuti**. In relazione alle tre funzioni principali del legno, ossia il sostegno, la conduzione e l'immagazzinamento, i tessuti si dividono in tessuto meccanico fondamentale o di sostegno, tessuto conduttore e tessuto parenchimatico o di riserva.

La struttura macroscopica e il colore, elementi determinati dalle sostanze contenute nel legno, caratterizzano l'anatomia e l'aspetto dei legnami e ne consentono la classificazione: le specie legnose maggiormente utilizzate in architettura sono le **conifere** che comprendono l'abete rosso e l'abete bianco, il pino, il larice e la douglasia, e le **latifoglie** che comprendono la quercia (farnia, rovere, cerro, roverella), il castagno e il pioppo (che però viene spesso associato alle conifere in quanto di caratteristiche fisiche e meccaniche simili quali la resistenza, la rigidità e soprattutto la massa volumica).

Il legno delle conifere, geneticamente più vecchio, presenta una struttura più semplice e regolare rispetto al legno più giovane delle latifoglie: esso è composto prevalentemente da due soli tipi di cellule dette tracheidi e parenchimatiche.



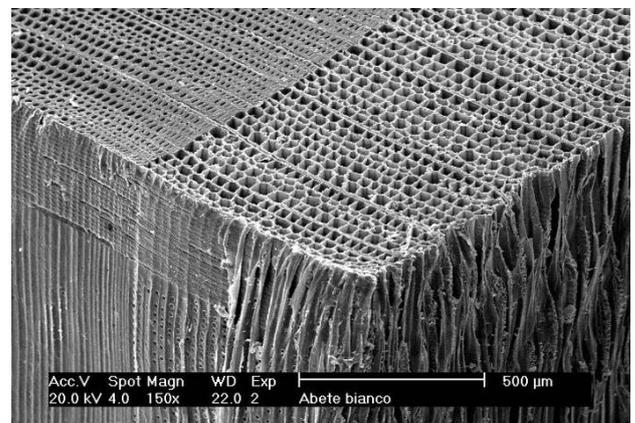
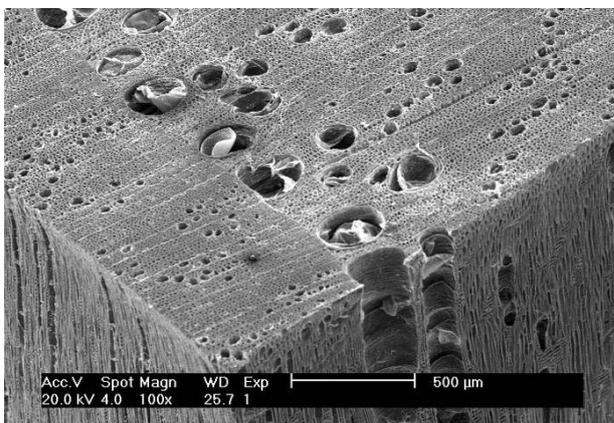
Pannello in legno di conifere



Pannello in legno di latifoglie

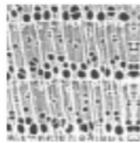
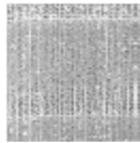
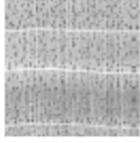
Le tracheidi longitudinali sono la forma originaria delle cellule del legno e formano il 90-95% del corpo legnoso delle conifere, esse sono orientate in direzione assiale, si tratta di cellule morte di forma a fuso e, se osservate in sezione trasversale, le tracheidi, formano righe radiali regolari con il loro diametro che, dalla zona primaverile a quella tardiva, in direzione radiale, decresce, mentre lo spessore delle pareti aumenta.

Le cellule tracheidi svolgono funzioni di conduzione dell'acqua e delle sostanze vitali tramite le cellule contigue che comunicano per mezzo dei pori, nonché di resistenza meccanica, a differenza del legno delle latifoglie, sviluppatosi più tardi con una struttura più complessa, nel quale queste funzioni sono cellule dei raggi midollari che decorrono in senso radiale nel tronco e in alcuni tipi di legno anche dai canali resinosi e dalle fibre libriformi. Come accennato in precedenza, nelle conifere si riscontra una tendenza alla diminuzione della massa volumica all'aumentare dell'ampiezza degli anelli: il motivo è da ricercare nell'aumento della quantità di legno primaverile connesso all'aumento dell'ampiezza degli anelli, mentre la quantità del legno tardivo in un anello di crescita rimane praticamente costante.



Immagini al microscopio elettronico a scansione di legno di abete bianco e castagno – fonte: CNR - IVALSÀ

Nelle latifoglie invece si fa distinzione tra legni poroso-zonati e legni poroso-diffusi: nelle specie a legno poroso-zonato (quercia, frassino, robinia) si riscontra la tendenza all'aumento della massa volumica all'aumentare dell'ampiezza degli anelli a causa della crescente quantità di legno tardivo (tessuti di sostegno), con la larghezza del legno primaverile che rimane praticamente costante, nella maggioranza delle specie a legno poroso-diffuso (faggio, betulla) invece l'influenza è, al contrario, irregolare.

	Legno primaverile	Legno tardivo	
Legno poroso-zonato			
Margine dell'anello ben distinguibile	Vasi molto ampi costituenti un cerchio poroso ad una/due o più righe	Moltissimi vasi di piccole dimensioni, più o meno senza transizione nella zona primaverile	
Legno semiporoso-zonato			
Margine dell'anello distinguibile	Maggior frequenza dei vasi rispetto alla zona tardiva, diametro di regola decrescente verso la zona tardiva	Minore frequenza e minore diametro dei vasi rispetto alla zona primaverile	
Legno poroso-diffuso			
Margine dell'anello non distinguibile	Vasi egualmente ripartiti e di diametro poco variabile		

La porosità nelle latifoglie - rielaborazione da "Anatomie des Holzes", 1999

La specie legnosa più usata in campo strutturale è senza alcun dubbio l'abete, in particolare l'abete rosso, grazie alle sue proprietà di leggerezza, resistenza, facile lavorabilità essendo un legno morbido, e la buona velocità di essiccazione.



Elementi strutturali in abete rosso



Processo di essiccazione e stagionatura naturale - fonte: Dal Lago Legnami



Processo di essiccazione e stagionatura naturale – Fotografia degli autori presso Segheria Valle Sacra Castellamonte

Una delle variabili che influisce in maniera determinante sulla qualità del legno utilizzato per un edificio è la sua stagionatura e la lavorazione a cui viene sottoposto il legname successivamente: se vengono utilizzati materiali scadenti, ricchi d'acqua, con molti nodi ed imperfezioni, facilmente attaccabili da funghi e parassiti, non sufficientemente essiccati o lavorati, si avrà un notevole risparmio in termini di costi a fronte però di uno svantaggio considerevole nel corso del tempo.

Queste considerazioni dimostrano come la corretta essiccazione, i trattamenti fitosanitari adatti e l'identificazione normativa, sono gli elementi essenziali da valutare quando si parla di costruzioni in materiale ligneo.

Il legname lavorato presenta un minor rischio di proliferazione: nel caso dei legnami lavorati come i pannelli in OSB o il compensato, il problema di funghi e parassiti quasi non si pone, in quanto si tratta di materiali che sono stati sottoposti a processi di lavorazione intensivi che li hanno resi a bassissimo rischio per l'infestazione di organismi nocivi.

Oltre all'abete, in campo edile si trovano altri tipi di legno quali il larice ed alcune latifoglie come il castagno e la quercia. Il castagno, trattandosi di una latifoglia, presenta caratteristiche meccaniche molto elevate e nettamente superiori a quelle delle conifere come l'abete e il larice; d'altro canto le latifoglie hanno però un peso notevole, una difficile lavorabilità per via della durezza sia in cantiere sia in stabilimento ed una non sempre facile reperibilità sul mercato.

La **scelta della specie legnosa** da utilizzare è comunque sempre determinata da diversi aspetti quali aspetti estetici per i quali ogni specie possiede colore, venature e nodi caratteristici, aspetti legati all'ambito di utilizzo in base all'uso interno, esterno o in ambienti particolarmente umidi o al contrario molto secchi, aspetti legati ai requisiti particolari della specie come l'elevata durabilità, le caratteristiche meccaniche specifiche o la ridotta deformabilità, infine aspetti legati alla reperibilità di una determinata specie e alle tradizioni costruttive tipiche del luogo di costruzione.

4. LE APPLICAZIONI DEL LEGNO

Il legno può essere utilizzato per **usi strutturali** preferendo principalmente specie europee come l'abete rosso e bianco, il pino, il larice e le latifoglie quali faggio, rovere e castagno, questo materiale può essere inoltre utilizzato per la produzione di **elementi di arredamento** per gli ambienti interni e esterni o come **rivestimento interno** di pavimenti come nel caso del parquet, tutte funzioni per le quali è adatto anche l'utilizzo di specie tropicali o per i serramenti. Infine il legno può essere anche utilizzato come **rivestimento esterno** dell'edificio o di parti di esso con soluzioni architettoniche che portano una miglioria sia estetica sia dal punto di vista del comfort interno di un ambiente tramite applicazioni in facciata, applicazione come rivestimento o sistemi di chiusura mobile o fissa.

La posa in opera del legno può avvenire attraverso giunzioni a incastro, elementi metallici di connessione tra gli elementi o tramite l'utilizzo di adesivi e colle che devono garantire unioni resistenti e durevoli in relazione alle condizioni ambientali e all'esposizione alle alte temperature.



Rivestimento esterno di facciata ventilata in legno – Elemento d'arredo in bamboo – Rivestimento interno in parquet di abete

Gli adesivi per usi strutturali devono produrre unioni aventi resistenza e durabilità tali che l'integrità dell'incollaggio sia conservata, nella classe di servizio assegnata, durante tutta la vita prevista della struttura.

Gli adesivi fenolici ed amminoplastici devono soddisfare le specifiche della norma UNI EN 301:2013.

Gli adesivi poliuretani e isocianatici devono soddisfare i requisiti della UNI EN 15425:2008.

Gli adesivi di natura chimica diversa devono soddisfare le specifiche della medesima norma e, in aggiunta, dimostrare un comportamento allo scorrimento viscoso non peggiore di quello di un adesivo fenolico od amminoplastico così come specificato nella norma UNI EN 301:2013, tramite idonee prove comparative.

Gli adesivi utilizzati in cantiere (per i quali non sono rispettate le prescrizioni di cui alla norma UNI EN 301:2013) devono essere sottoposti a prove in conformità ad idoneo protocollo di prova, per dimostrare che la resistenza a taglio del giunto non sia minore di quella del legno, nelle medesime condizioni previste nel protocollo di prova.

4.1. Le specie legnose per uso strutturale

Abete rosso

Caratteristiche principali	Alburno e durame con colorazione da biancastri a giallo paglierino-rossastri, con l'esposizione alla luce colorazione gialla-bruno scuro
Durabilità e lavorazione	Durame poco resistente agli attacchi fungini, alburno e durame difficilmente impregnabile, buona essiccazione, buon incollaggio, buona resistenza a acidi deboli e alcali
Impieghi principali	In edilizia come legno da costruzione, strutture di copertura, costruzioni di legno incollato e come materiale per costruzioni ausiliarie (casseri e ponteggi), per finiture di interni ed esterni (mobili, pannellature, infissi, profilati), in grandi quantità è usato come legno per la produzione industriale di cellulosa, pasta di legno e pannelli

Abete bianco

Caratteristiche principali	Alburno e durame di colore biancastro-giallognolo
Durabilità e lavorazione	Durame poco resistente agli attacchi fungini, alburno moderatamente impregnabile, durame da moderatamente a difficilmente impregnabile, buona essiccazione, buon incollaggio, buona resistenza agli acidi e agli alcali
Impieghi principali	Legno da costruzione per finiture di interni e per costruzioni, industria della carta e della cellulosa

Larice europeo

Caratteristiche principali	Durame rossastro-bruno intenso molto scuro, albarno abbastanza sottile con colorazione da giallastro a bianco-rossastro
Durabilità e lavorazione	Durame da moderatamente a poco resistente agli attacchi fungini, albarno moderatamente impregnabile, durame molto difficilmente impregnabile, buona essiccazione soprattutto se legno poco resinoso, buon incollaggio
Impieghi principali	Legno da costruzione per finiture di interni ed esterni o a contatto con il terreno, usato nell'industria mineraria, per imbarcazioni, costruzioni di ponti, serramenti, scandole, piloni e traversine, mobili e rivestimenti

Douglasia strutturale

Caratteristiche principali	Durame giallastro-bruno e rossastro-bruno che tende a scurire se esposto alla luce, albarno chiaro con colore giallastro e sottile
Durabilità e lavorazione	Durame da moderatamente a poco resistente agli attacchi fungini, albarno da moderatamente a difficilmente impregnabile, durame molto difficilmente impregnabile, di semplice essiccazione, buon incollaggio, resistenza agli acidi deboli e alcali
Impieghi principali	Legno da costruzione per finiture di interni ed esterni (balconi, portoni, finestre), per costruzioni idrauliche, di ponti, navali, di imbarcazioni, legno per piallacci sfogliati per il legno compensato

Faggio

Caratteristiche principali	Durame ed albarno con la stessa colorazione da bianco-rossastri a bruno rossastri, eventualmente in età avanzata il durame può essere bruno-rosso non chiaramente distinto
Durabilità e lavorazione	Durame non resistente agli attacchi fungini, albarno e durame chiaro ben impregnabili, falso durame dell'età avanzata invece difficilmente impregnabile, essiccazione discreta
Impieghi principali	Specie legnosa locale dalle molteplici applicazioni, da piallacci sfogliati per legno compensato e stratificato a piallacci tranciati per mobili, da mobili e finiture interni a costruzione di macchine e attrezzi, da prodotti a base di legno, soprattutto legno compensato e stratificato o pannelli truciolari e di fibre, a cellulosa e carta

Quercia: Farnia e Rovere

Caratteristiche principali	Durame bruno- rossastro fresco, bruno chiaro asciutto che tende a scurire con il tempo, albarno sottile di colore bianco-giallastro
Durabilità e lavorazione	Durame resistente agli attacchi fungini, albarno ben impregnabile, durame molto difficilmente impregnabile, discreta essiccazione, propensione alla fessurazione e tende a imbarcarsi e a cambiare colore quindi necessita di una essiccazione lenta e a bassa temperatura, incollaggio per usi strutturali problematico, reagisce agli acidi tanninici con il ferro in caso di aderenza con il legno di quercia entrato in contatto da poco con metalli a base di ferro con formazione di macchioline blu scuro
Impieghi principali	Mobili e finiture per interni, usato soprattutto come piallacci tranciati, legno adatto per costruzioni edili, sotto strutture, costruzioni idrauliche, traversine, costruzioni navali e di macchinari

Frassino

Caratteristiche principali	Albarno e durame non sono distinti con colorazione giallo chiaro con il durame che tende a scurire se esposto alla luce, eventualmente in età avanzata durame bruno scuro
Durabilità e lavorazione	Durame non resistente agli attacchi fungini, albarno e durame chiaro moderatamente impregnabili, durame scuro in età adulta difficilmente impregnabile, buona essiccazione, buon incollaggio
Impieghi principali	Mobili e finiture per interni (anche per elementi di forma curva), produzione di attrezzature sportive e utensili

Robinia

Caratteristiche principali	Durame con colore da giallo-verde a giallo-bruno e oro-bruno scuro tendente a scurire, albarno sottile con colore da giallo a bianco-verdastro
Durabilità e lavorazione	Durame molto resistente agli attacchi fungini, albarno ben impregnabile, durame molto difficilmente impregnabile, essiccazione moderatamente buona e lenta per evitare che il legno si fessuri o imbarchi, lavorabilità difficile, incollaggio moderatamente buono
Impieghi principali	Industria mineraria, costruzioni idrauliche e nel suolo, mulini, macchine agricole, costruzioni navali e ferroviarie, utilizzo in mobili e rivestimenti esterni

Castagno

Caratteristiche principali	Durame con colorazione da bruno pallido a bruno scuro, albarno stretto e con colore da quasi bianco a quasi giallastro
Durabilità e lavorazione	Durame resistente agli attacchi fungini, albarno moderatamente impregnabile, durame molto difficilmente impregnabile, essiccazione difficoltosa e lenta per la tendenza del legno al collasso cellulare e alla possibilità di imbarcare, buon incollaggio, in presenza di umidità elevata possibile corrosione dei metalli e azzurramenti del legno
Impieghi principali	Legno da costruzione per finiture interne ed esterne, costruzioni idrauliche e navali, adatto per arredamento e rivestimenti e parquet

4.2. I prodotti a base di legno

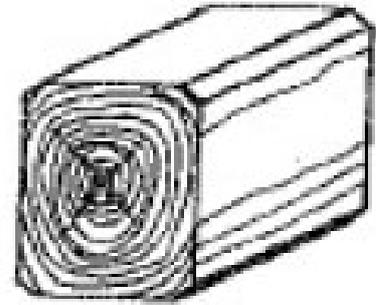
4.2.1. Il legno massiccio

Il legno massiccio è quello che presenta maggiore tradizione in edilizia ed è ampiamente utilizzato negli interventi di recupero e sostituzione di porzioni in strutture esistenti: i prodotti in legno massiccio vengono ricavati dai tronchi migliori per forma, dimensioni e caratteristiche di accrescimento, anche se da ciascuna tipologia di tronco è comunque possibile ricavare vari elementi, di dimensione e qualità differenti a seconda delle esigenze.

Il vantaggio di un elemento in legno massiccio è che la sua struttura subisce poche lavorazioni rispetto alla materia prima non lavorata, secondo le fasi di segagione e stagionatura naturale, essiccazione o condizionamento ed eventuale incollaggio.

Vengono utilizzate soprattutto specie quali abete rosso e bianco che nelle segherie vengono trasformati in travi e tavolame sfruttando al massimo la sezione dei tronchi.

Il legno massiccio può declinare nella tipologia con giunti di testa incollati a pettine tramite collanti.



Schema dell'elemento ligneo massiccio



Elemento in legno massiccio circolare

4.2.2. Il legno lamellare

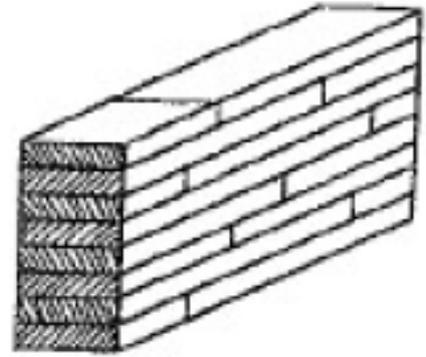
Si tratta di un sistema che compare agli inizi del XX secolo per fabbricare travi diritte di grande lunghezza tramite l'ausilio di colle; le caratteristiche e gli standard qualitativi, raggiunti soprattutto negli ultimi anni dal legno lamellare incollato rendono questo materiale

particolarmente idoneo e adatto per il suo impiego in strutture anche architettonicamente complesse dal punto di vista statico e in grado di soddisfare le esigenze del moderno approccio alla progettazione strutturale.

La tecnologia del legno lamellare incollato ha consentito di evitare le limitazioni connesse alle dimensioni dei singoli elementi di legno, permettendo in questo modo di coprire luci anche significative e introducendo vantaggi quali la realizzazione di elementi a sezione variabile e di elementi curvi, resistendo meglio alle sollecitazioni flessionali rispetto al legno massiccio.

Vengono utilizzate in particolar modo specie quali abete rosso, pino, larice e douglasia e la produzione avviene da tavole di legno essiccate, piallate e incollate le una sopra alle altre formando elementi grezzi che vengono successivamente piallati.

Utilizzando tavole di spessore ridotto è possibile controllare nella migliore maniera possibile l'umidità di ogni singola lamella adeguandosi alle condizioni ambientali di esercizio della struttura.



Schema dell'elemento ligneo massiccio



Elemento di trave in legno lamellare

4.2.3. I pannelli

I pannelli sono elementi derivati dal legno con una ampia superficie, essi vengono realizzati mediante incollaggio, giunzione e iniezione a caldo con indurimento dell'adesivo, di prodotti come sfogliati, aste, listelli, lana di legno, trucioli, fibre o altre materie prime fibrose contenenti cellulosa di legno.

La **struttura modificata dei materiali derivati dal legno** consente un miglioramento di determinate qualità proprie del legno massiccio: la frantumazione e la connessione degli

elementi portano a una riduzione delle proprietà del legno che dipendono dalla direzione, con conseguente diminuzione delle dispersioni di proprietà nei materiali derivati rispetto al legno massiccio e quindi con una isotropia estesa lungo tutto il piano del pannello, ossia si hanno eguali proprietà in tutte le direzioni del piano del pannello, consentendone un ampio campo di applicazione in edilizia; combinando componenti diversi e adottando svariati principi strutturali vengono prodotti numerosi tipi di pannelli con proprietà specifiche adatte per ciascuna esigenza progettuale.

Esiste una ampia scelta di tipologie di pannelli quali **pannelli multistrato** soprattutto in abete, pino o rovere che si suddividono in pannelli di legno compensato composti da fogli di legno incollati a fibratura incrociata tramite resine sintetiche, pannelli listellari, pannelli di particelle o truciolari nei quali i trucioli di legno sono impastati con un legante e pressati a caldo che vengono molto utilizzati nell'industria dell'arredamento, pannelli di scaglie come i pannelli OSB a scaglie orientate, pannelli di fibre di legno prodotti dallo sfibramento di scarti di legno e le cui fibre vengono successivamente impastate e pressate senza aggiunta di collanti, pannelli in legno-cemento, pannelli ingegnerizzati come il LVL (Laminated Veneer Lumber), le travi I-Joists composte da flange di Microllam e OSB (Oriented Strand Board) o il SIPS (Structural Insulated Panel).



Elemento ligneo pannellare LVL - fonte: Abiteco

Il **legno ingegnerizzato** è un materiale composto, ottenuto con il fissaggio tramite adesivi di fibre ricavate da materiali di scarto della segheria o di altri materiali della fabbricazione di legname, progettati e testati per soddisfare specifici standard nazionali o internazionali.

I materiali più comuni, alcuni dei quali già citati, sono il Glulam (Glue Laminated Timber) costituito da lamelle di legno posizionate con le fibre parallele alla lunghezza dell'elemento incollate con adesivi durevoli e può essere utilizzato in orizzontale come trave o in verticale come pilastro grazie alla sua ottima resistenza e rigidità, il LVL è invece utilizzato per travi o

pannelli ed è costituito da sfogliati di legno ricavati da piallacci incollati in maniera sfalsata con le fibre parallele, il PLS (Parallel Strand Lumber) è prodotto utilizzando singole strisce di piallaccio che vengono disposte in modo sfalsato tra loro e incollate tramite una resina fenolica e poi pressate per ottenere pilastri e travi resistenti, l' OSL (Oriented Strand Lumber) è un pannello composto da scaglie sottili di piallaccio che vengono disposte su più strati con le fibre perpendicolari tra loro e incollate con adesivi, il LSL (laminated Strand Lumber) viene realizzato incollando sotto pressione trucioli sottili e filamenti di legno con le fibre parallele alla lunghezza dell'elemento.

I **prodotti a base di legno**, essendo artificiali, possono essere ideati e strutturati per soddisfare i requisiti di prestazione specifica per le determinate e precise applicazioni, essi sono disponibili in più spessori e dimensioni con una applicazione molteplice, sono di semplice lavorazione e possono essere tagliati nella dimensione opportuna, essi quindi riducono i tempi di costruzione, sono prodotti off-site, portano alla creazione di strutture leggere, sono versatili, minimizzano la quantità di rifiuti, creano un ambiente di lavoro più sicuro in cantiere.

La maggior parte delle caratteristiche tecnologiche dei pannelli a base di legno risulta influenzata da parametri quali dimensione e disposizione degli elementi unitari e loro specie legnosa, tipo di adesivo e di eventuali additivi, qualità dell'incollaggio, massa volumica ed umidità del prodotto finito.

L'impiego dei pannelli a base di legno combinato con elementi in legno massiccio o lamellare ha consentito lo sviluppo e l'evoluzione del cosiddetto **sistema costruttivo "platform frame" o a telaio**, che rappresenta da vari decenni lo standard dell'edilizia residenziale negli Stati Uniti e in Canada e che si sta rapidamente diffondendo in molti altri paesi europei: si tratta di un sistema rapido che, oltre alla velocità di esecuzione, permette di ottenere una buona sicurezza statica.

Questo sistema a telaio, in particolare considerando la concezione americana, si basa su elementi estremamente leggeri, composti da tavole molto sottili e controventati con pannelli in cartongesso con gli impianti che passano all'interno della struttura e senza l'utilizzo di cappotto o contro parete interna per uno spessore complessivo dell'elemento di circa 20 cm.

In una visione più generalizzata dei sistemi a telaio i pannelli sono controventati con pannelli di multistrato da 15 mm da entrambi i lati e vengono posti in opera con relativa contro parete e cappotto fino a raggiungere uno spessore di oltre 30 cm.

Ma ciò che ha rivoluzionato completamente il sistema delle costruzioni in legno è il **pannello in X-LAM**, sovvertendo il modo di concepire le superfici portanti rispetto ai sistemi già consolidati di realizzazione a telaio o a traliccio tipo il “platform frame” sopracitato.

Il sistema costruttivo X-LAM è nato in Germania a metà anni '90 e la sua innovazione consiste nel passaggio dall'elemento lineare e unidirezionale (travi e pilastri o montanti e traversi) all'elemento bidirezionale strutturalmente efficace, sia come piastra nei solai che come lastra nelle pareti, sotto forma dell'elemento pannellare: un edificio realizzato con questa tecnica costruttiva è un edificio a struttura scatolare in cui le pareti e



Sistema costruttivo X-LAM - fonte: Abiteco

i solai sono diaframmi rigidi connessi meccanicamente fra loro con una distribuzione delle sollecitazioni meccaniche in maniera uniforme.

Rispetto al sistema a telaio, il sistema a pannelli portanti X-LAM ha la possibilità di sviluppare portanze maggiori a parità di sezione orizzontale, ragione per la quale questo pannello, come si vedrà in seguito, diventa la soluzione ideale e preferibile nell'edilizia dei multipiano in legno.

A questo proposito, particolarmente interessante risulta essere il **progetto SOFIE**, progetto di ricerca scientifica finanziato dalla Provincia autonoma di Trento, il quale si è posto l'obiettivo di definire le prestazioni e le potenzialità di un sistema per la costruzione di edifici multipiano i cui elementi portanti sono realizzati con pannelli di legno X-LAM di qualità certificata proveniente dal Trentino con caratteristiche di

elevate prestazioni meccaniche e basso consumo energetico, ottimi livelli di sicurezza statica e al fuoco, comfort acustico e curabilità nel tempo.

In definitiva, il sistema X-LAM si costituisce di un pannello di legno massiccio, generalmente di conifera, a strati incrociati, realizzato accoppiando strati di tavole di spessore medio di 2 cm incrociate tra loro, di spessore variabile dai 5 ai 30 cm, i pannelli vengono poi tagliati a seconda delle esigenze architettoniche completi di aperture per porte, finestre e vani scala e in seguito issati e collegati tra loro in opera con angolari metallici, chiodi a rilievi tronco-conici, viti auto foranti o elementi in legno. Il pannello in X-LAM permette, grazie all'elevata ingegnerizzazione del processo produttivo, montaggi rapidi e di grande precisione, diminuendo inoltre i tempi di costruzione grazie alla posa a secco mediante connessioni meccaniche. La sua flessibilità di impiego garantisce infine grande possibilità di modulabilità e, grazie agli spessori strutturali ridotti, un sensibile beneficio in termini di aumento di superficie netta fruibile.

Conoscere i materiali e avere una **competenza approfondita sui sistemi costruttivi** previsti nel progetto, garantisce la realizzazione di costruzioni confortevoli, durature e stabili nel tempo: i sistemi costruttivi possiedono proprietà tecniche specifiche che si prestano in maniera differente ad essere utilizzati a seconda dell'altezza dell'edificio, del terreno e delle condizioni meteorologiche per ottenere un edificio con le migliori caratteristiche per essere il più performante possibile.

Entrambi i sistemi pannellari analizzati in precedenza consentono di raggiungere prestazioni molto elevate per quanto concerne l'aspetto della sicurezza con il sistema a telaio che risulta essere più plastico tendendo ad assorbire più energia e l'X-LAM più rigido con la necessità di un fissaggio più resistente.

A proposito del comportamento a carichi verticali, come la neve o le persone, il legno è un materiale molto resistente, ed è per questo motivo che quando si parla di gestione dei carichi verticali, sia nel caso del sistema a telaio sia nel sistema X-LAM non si riscontrano problemi particolari.

Per quanto riguarda invece il comportamento a carichi orizzontali occorre distinguere tra quelle azioni che agiscono all'interno del piano della parete, come il fenomeno sismico nei confronti del quale le strutture si comportano come scatole con pareti e solai molto rigidi rispetto alle azioni nel loro piano, da quelle che agiscono fuori dal piano della parete, come il vento, nei confronti delle quali possiedono invece una minore resistenza.

In caso di evento sismico, il pannello soggetto ad un'azione tagliante nel piano può avere tre meccanismi deformativi, quali traslazione rigida, rotazione rigida e deformata a taglio del pannello: i primi due meccanismi vengono contrastati da opportune staffe metalliche progettate per resistere ad azioni taglianti o di trazione, mentre il terzo meccanismo è pressoché assente nell'X-LAM in quanto si tratta di un sistema costituito da più strati incrociati di tavole in legno incollate tra loro e quindi risulta estremamente rigido.

Nel caso delle strutture a telaio invece, è fondamentale la presenza dei pannelli di controvento inchiodati al sistema di montanti orizzontali e verticali per il contenimento delle deformazioni conferendo al sistema grande duttilità e una buona dissipazione dell'energia sviluppata dal sisma.

Valutando la resistenza al vento, il pannello X-LAM deforma circa cinque volte in più rispetto ad una parete a telaio, ma la velocità del vento di progetto per le zone climatiche più sollecitate in Italia non esaurisce minimamente le capacità della parete, anche considerando una velocità del vento in condizioni estreme di uragano tropicale, entrambe le pareti permangono integre.

Come si è in parte già osservato e come si vedrà in maniera più approfondita successivamente, il legno è un materiale che resiste in maniera ottimale all'attacco del fuoco attraverso il meccanismo di carbonizzazione del legno che gli permette di auto proteggersi riducendo la velocità di penetrazione della fiamma, anche se nelle strutture, dal momento che le strutture verticali sono quasi esclusivamente protette dalle contro pareti, la funzione di protezione al fuoco è affidata ai rivestimenti e le due tipologie di parete X-LAM e telaio risultano equivalenti. Infine nella valutazione della resistenza agli urti, la parete a telaio, in virtù del maggiore spessore strutturale, ha un comportamento più stabile che limita la trasmissione delle vibrazioni e quindi dei rumori e delle fessurazioni, in fase di esercizio della struttura.

4.3. Le proprietà del materiale legno

Nella valutazione della resistenza del materiale legno si possono identificare alcune principali caratteristiche delle quali si può e si deve tenere conto nella scelta di un legno, caratteristiche comunque fondamentali che bisogna considerare durante l'applicazione della normativa per l'utilizzo del materiale nel campo edile e non solo.

Si definiscono **valori caratteristici di resistenza** di una tipologia di legno i valori del frattile 5% della distribuzione delle resistenze, ottenuti sulla base dei risultati di prove sperimentali effettuate con una durata di trecento secondi su provini all'umidità di equilibrio del legno corrispondente alla temperatura di 20 ± 2 °C ed umidità relativa dell'aria del $65 \pm 5\%$.

Per il legno massiccio, per il legno lamellare i valori caratteristici di resistenza, sono ricavati mediante indagini sperimentali e sono riferiti a dimensioni standardizzate del campione di prova secondo le norme pertinenti.

Per il **modulo elastico** si fa riferimento sia ai valori caratteristici di modulo elastico corrispondenti al frattile 5%, sia ai valori medi, ottenuti nelle stesse condizioni di prova sopra specificate.

Si definisce **massa volumica caratteristica** il valore del frattile 5% della relativa distribuzione con massa e volume misurati in condizioni di umidità di equilibrio del legno alla temperatura di 20 ± 2 °C e umidità relativa dell'aria del $65 \pm 5\%$.

Come messo in evidenza, la normativa rimane il punto fisso da tenere sempre in considerazione, infatti, ad esempio, la produzione di elementi strutturali di legno massiccio a sezione rettangolare deve risultare conforme alla norma europea armonizzata UNI EN 14081-1 e tendenzialmente recare la **marcatura CE** trattata più dettagliatamente successivamente.

Il legno massiccio per uso strutturale è un prodotto di origine biologica, selezionato e classificato in dimensioni d'uso secondo la resistenza, elemento per elemento, sulla base delle normative applicabili.

Secondo i **criteri di classificazione** vengono attribuite all'elemento le caratteristiche legate alle prestazioni meccaniche minime in grado di sopportare statisticamente determinate, senza

necessità di ulteriori prove sperimentali e verifiche, definendone il profilo resistente, che raggruppa le proprietà fisico-meccaniche, necessarie per la progettazione strutturale.

La classificazione può avvenire assegnando all'elemento una categoria, definita in relazione alla qualità dell'elemento stesso con riferimento alla specie legnosa e alla provenienza geografica, sulla base di specifiche prescrizioni normative.

Al legno appartenente ad una determinata categoria, specie e provenienza, si assegna uno specifico profilo resistente, armonizzato con le classi di resistenza proposte dalla UNI EN 338, utilizzando metodi di classificazione previsti nelle normative applicabili.

In generale è possibile definire il profilo resistente di un elemento strutturale anche sulla base dei risultati documentati di prove sperimentali, in conformità a quanto disposto nella UNI EN 384:2016.

Per quanto riguarda i prodotti con giunti a dita, il controllo della produzione deve essere effettuato a cura del **Direttore Tecnico della Produzione**, il quale deve provvedere alla trascrizione dei risultati delle prove effettuati sugli elementi, all'interno di appositi registri di produzione, che devono essere resi disponibili, limitatamente alla fornitura di competenza, al **Direttore dei Lavori** e al **Collaudatore** della costruzione.

Gli elementi strutturali di legno lamellare incollato e legno massiccio incollato devono essere conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 14080 e recare la marcatura CE, infatti, a partire dall'08/08/2015, il legno lamellare deve essere marcato CE in accordo con la norma EN 14080:2013 che definisce sia le prescrizioni riguardanti la produzione, sia le classi di resistenza (da 4 a 7 classi) e i profili prestazionali dei materiali in particolare per quanto riguarda la resistenza a taglio (valore costante pari a 3,5 MPa per tutte le classi) e la compressione ortogonale rispetto alla fibratura.

I pannelli a base legno per uso strutturale devono essere comunque conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 13986.



Porzione di elemento ligneo che porta marcatura CE -
fonte: Sartirani Legnami

5. LA SICUREZZA DEL LEGNO

5.1. La resistenza al sisma

I frequenti terremoti degli ultimi anni hanno progressivamente accresciuto un sentimento di fiducia nei confronti delle strutture leggere, con particolare attenzione verso quelle realizzate con il legno.

A testimonianza dell'elevato livello di sicurezza di edifici interamente di legno anche di molti piani si hanno esempi di applicazione soprattutto nel caso di zone geografiche quali Nord America, Giappone e Nord Europa dove il legno viene normalmente utilizzato e spesso preferito per la realizzazione di edifici residenziali e pubblici anche di notevole altezza: il legno risulta infatti essere un materiale adatto alla realizzazione di edifici che esigono un efficiente comportamento nei confronti dei terremoti.

Un esempio della resistenza all'evento sismico da parte di un edificio multipiano in legno è presentato nuovamente dal **progetto di ricerca italiano SOFIE** citato in precedenza finanziato dalla Provincia Autonoma di Trento e coordinato e condotto dal CNR-IVALSA in collaborazione con il National Institute for Earth science and Disaster prevention (NIED) che ha condotto alla realizzazione di una serie di test su piattaforma sismica sperimentale in Giappone su edifici interamente a struttura di legno di 3 piani nel 2006 e di 7 piani nel 2007 che hanno resistito a terremoti distruttivi come il terremoto di Kobe del 1995 di magnitudo 6,9.

La resistenza alle sollecitazioni sismiche è stata garantita dalle caratteristiche di leggerezza, resistenza, flessibilità, le quali riducono le azioni sismiche, oltre alla duttilità, qualità da ricercare nella concezione del sistema strutturale e che permette di assorbire l'energia di un eventuale sisma deformandosi, infatti l'edificio in legno utilizzato per la prova, al termine di tutte le applicazioni effettuate, è ritornato nella posizione originaria senza mettere in luce alcuna deformazione permanente.

La rilevanza delle accelerazioni sismiche imposte durante il progetto SOFIE, in rapporto al limitato stato di danno rilevato, ha portato alla conclusione dell'esistenza di una elevatissima efficienza strutturale del legno in caso di evento sismico.



Prova della prestanza anti sismica di una struttura in XLAM - fonte: CNR - IVALSA

Per quanto riguarda la risposta legata al comportamento sismico delle strutture di legno e quindi alle conseguenti verifiche sulle strutture è importante tenere conto e considerare gli aspetti incentrati sulla progettazione distinguendo gli edifici progettati in accordo ad un comportamento strutturale dissipativo oppure comportamento non dissipativo definendo i valori massimi del fattore di comportamento per le differenti tipologie strutturali.

Il materiale legno viene considerato come elemento positivo nei processi di messa in sicurezza degli edifici: per le costruzioni di legno, si definiscono i termini di **duttilità statica** definibile come il rapporto tra lo spostamento ultimo e lo spostamento al limite del comportamento elastico, valutabile con prove quasi statiche in accordo alle pertinenti normative sui metodi di prova per le strutture di legno sui nodi semi rigidi quali giunzioni con deformabilità significativa oppure

sui di nodi rigidi quali giunzioni con deformabilità trascurabile ai fini del comportamento strutturale, oltre che sulle unioni con mezzi di unione a gambo cilindrico come chiodi, viti, spinotti, bulloni sollecitati perpendicolarmente al loro asse.

Per quanto riguarda la valutazione degli effetti della componente verticale causata dall'azione sismica sugli edifici, sono indicati gli elementi e le tipologie costruttive che maggiormente risentono delle accelerazioni verticali indotte dal sisma, nonché i livelli di pericolosità per i quali tale componente deve essere considerata nel progetto.

Il progettista ha la possibilità di analizzare la risposta sismica dell'edificio mediante il modello strutturale tenendo conto di tutti i contributi delle tre componenti spaziali del sisma, due orizzontali e la verticale, variamente combinate tra loro.

Il progetto C.A.S.E.

Il progetto C.A.S.E, realizzato dalla Protezione Civile all'Aquila a seguito dell'evento sismico che ha colpito l'Abruzzo nell'aprile 2009, può essere considerato come un esempio di complesso di edifici a struttura in legno edificati in tempi molto ridotti con tempi di realizzazione inferiori ai cento giorni e performanti e sicuri dal punto di vista sismico.

Il progetto C.A.S.E. si è posto l'obiettivo di fornire abitazioni dignitose in tempi rapidi mostrando le potenzialità delle strutture in legno, infatti in pochissimi mesi si sono realizzati complessi abitativi su più livelli che poggiano su una piastra rigida in cemento armato isolati alla base grazie soprattutto all'alto livello di tecnologia nel campo delle industrie della lavorazione del legno e alle potenzialità permesse dalla prefabbricazione.

I sistemi costruttivi adottati nella realizzazione degli edifici residenziali in Abruzzo spaziano dalla tecnologia costruttiva X-LAM, basata, come già trattato, su un sistema di pareti portanti costituite da pannelli multistrato composti interamente in legno massiccio, con l'applicazione della medesima soluzione costruttiva anche per la realizzazione degli orizzontamenti, fino ad arrivare a quella a telaio e traliccio.

Come già esposto in precedenza, i vantaggi dei pannelli multistrato in legno massiccio sono molteplici dagli ottimi valori raggiungibili di isolamento termico rispetto ad altri materiali da costruzione per la naturale composizione del legno, alla protezione antincendio, al buon

isolamento acustico, fino alla buona inerzia termica che minimizza l'oscillazione delle temperature garantendo così una protezione degli ambienti dal surriscaldamento estivo, alla stabilità dimensionale con rigonfiamento e ritiro trascurabili proprio per la peculiarità dell'incollaggio multistrato a fibratura incrociata, fino al montaggio a secco rapido e asciutto e alla sicurezza in caso di eventuale evento sismico.



Cantiere del Progetto C.A.S.E. de L'Aquila – fonte: Sistem Costruzioni

5.2. Il Suteki Power Build System

La tecnologia costruttiva in legno giapponese denominata Suteki Power Build System è un sistema abitativo nato dall'attività di ricerca e sviluppo della società Be-Eco: il sistema è caratterizzato da una particolare innovazione della costruzione del telaio attraverso l'utilizzo di

componenti edilizi ad alta eco-efficienza e di origine vegetale controllata con legname proveniente da foreste gestite responsabilmente e certificate FSC.

Il sistema Suteki Power Build è in grado di garantire una sicurezza strutturale, anche in zona sismica, e brevi tempi di costruzione che si traducono quindi in una semplice soluzione attraverso un veloce processo di assemblaggio tramite connettori in acciaio al carbonio che uniscono telai in legno ingegnerizzato.

Il sistema è stato testato grazie alla prova su un edificio completamente edificato con la tecnologia costruttiva Suteki superandola per le sue risposte positive di stabilità anche con il più intenso dei terremoti, essendo sottoposto ad un test di simulazione pari a 1,25 volte più intenso rispetto al grande terremoto di Hanshin di Kobe, in Giappone, di valore 7,2 sulla scala Richter.

L'efficienza del sistema consiste nell'utilizzo di pali e travi in legno lamellare ingegnerizzati che come osservato consistono in elementi più rigidi e resistenti del legno tradizionale, associati a connettori e perni molto robusti e quindi durevoli in acciaio al carbonio che si adattano ai pali e alle travi in legno lamellare pretagliato e vengono bloccati nella posizione richiesta tramite perni di deriva senza l'utilizzo di dadi e bulloni o chiodi che potrebbero subire un allentamento nel tempo: i connettori e i perni in acciaio al carbonio sono fusi in un unico pezzo usando la tecnica della cera persa, questa soluzione si traduce in un sistema di staffe in metallo duro, robusto, resistente alla trazione e agli urti e completamente resistente alla ruggine e alla corrosione.

Il risultato è la creazione di un sistema di giunzione resistente che non risente di problemi causati dal restringimento o dalla fessurazione delle tradizionali strutture in legno.

L'assemblaggio è rapido e necessita del solo ausilio di strumenti facilmente reperibili come martelli e mazze, con una squadra di costruzione ridotta senza la necessità di manodopera qualificata aggiuntiva e una connessa riduzione dei costi di costruzione.

Il legno lamellare utilizzato Glulam è un legno ingegnerizzato, già analizzato in precedenza, che combina strati di diverse specie, combinazione per la quale è garantita la capacità portante della struttura, ed esso è appositamente progettato per essere 1,5 volte più resistente rispetto al legno massiccio, senza il rischio che si deformi o si spezzi nel tempo, mantenendo la

caratteristica del legno della leggerezza. I pannelli del sistema sono composti da quattro strati laminati e le travi sono costituiti da cinque strati laminati e mostrano una ottima resistenza al fuoco infatti, in caso di incendio, la porzione dello strato più esterno carbonizza fungendo da isolante e impedendo così il surriscaldamento e rallentando il processo di combustione.



Rappresentazione in dettaglio degli elementi che costituiscono la tecnologia del metodo Suteki Power Build System

5.3. La resistenza al fuoco

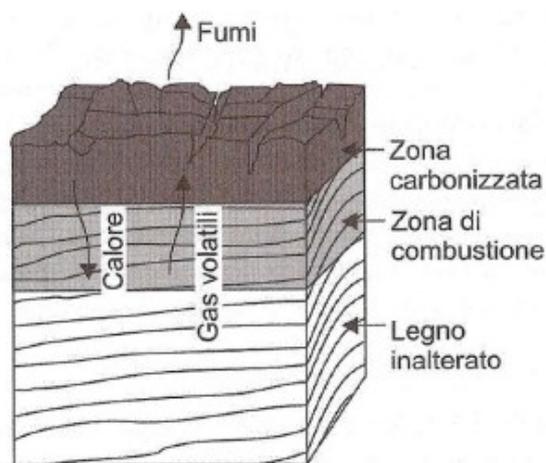
Sempre nell'ambito del progetto SOFIE sono state valutate le caratteristiche di resistenza al fuoco del legno tramite una prova di incendio reale su un edificio interamente a struttura di legno di 3 piani realizzato con pannelli di legno massiccio a strati incrociati; l'incendio, innescato da una stanza posta al primo piano dell'edificio ad un carico d'incendio pari al doppio di quello presente in una normale stanza di albergo, ha interessato marginalmente le strutture dell'edificio e il fumo ed il fuoco non si sono assolutamente propagati nelle zone superiori dell'edificio.



Prova della prestanza anti incendio di una struttura X-LAM - fonte: CNR - IVALSA

Dopo un tempo di 60 minuti, il fuoco è stato rapidamente estinto con l'uso di idranti con un risultato di danni localizzati e minimi sull'edificio.

La simulazione, condotta presso il Building Research Institute, ha dimostrato come un edificio di 3 piani, interamente realizzato con struttura di legno e completato con i materiali costruttivi usualmente utilizzati per i rivestimenti sia interni che esterni (isolamento termico e acustico, infissi e finiture), sia in grado di resistere ad un incendio reale della durata di un'ora senza subire alcun danno irreversibile alle strutture portanti e senza causare serio pericolo agli occupanti, provando una perfetta tenuta non solamente nei confronti delle fiamme, ma anche nei confronti del pericolo di passaggio di fumi e propagazione dell'incendio da un ambiente all'altro.



Schematizzazione del processo di combustione del legno

È noto il fatto che il legno sia un materiale combustibile ma questo non significa che le strutture di legno non possiedano resistenza al fuoco o che siano più vulnerabili rispetto alle strutture di acciaio o di calcestruzzo armato: il legno brucia lentamente con velocità nota pari a 0,5-0,7 mm al minuto e la carbonizzazione procede dall'esterno verso l'interno della sezione, se non carbonizza il materiale rimane efficiente dal punto di vista meccanico anche se

la sua temperatura aumenta, la rottura meccanica dell'elemento avviene quando la parte della sezione non ancora carbonizzata è talmente ridotta da non riuscire più ad assolvere alla sua funzione portante.

La perdita di efficienza di una struttura di legno avviene quindi per la riduzione della sezione e non per il decadimento delle caratteristiche meccaniche, inoltre il processo di carbonizzazione può portare alla rottura dell'elemento strutturale in un tempo compreso fra alcuni minuti e alcune ore, ciò in dipendenza della specie legnosa ma soprattutto delle dimensioni originarie della sezione.

Gli edifici in legno quindi non prendono fuoco più facilmente rispetto a strutture ideate attraverso differenti sistemi costruttivi perché il legno ha un comportamento al fuoco

prevedibile carbonizzando ad una velocità nota e poiché la superficie viene intaccata mentre la parte interna conserva le proprie caratteristiche meccaniche inalterate.

In conclusione, gli edifici con struttura di legno possono garantire livelli prestazionali antincendio paragonabili o superiori agli edifici realizzati con altre tipologie costruttive purché siano adottate scelte progettuali specifiche tramite accorgimenti per assicurare un'adeguata protezione dal fuoco come garantire l'opportuna distanza o separazione tra le possibili fonti di innesco e i materiali combustibili, interrompere la continuità di elementi combustibili con intercapedini o fasce di materiali incombustibili, trattare il materiale con vernici atte a conferire migliori classi di reazione al fuoco, dimensionare correttamente la resistenza al fuoco delle strutture compresi gli elementi giunzione.

6. LA DURABILITA' DEL LEGNO

Il concetto di durabilità di una struttura, definita come “**conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture affinché i livelli di sicurezza vengano mantenuti durante tutta la vita dell’opera**”, secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni, è un requisito essenziale per la progettazione di una costruzione al pari della resistenza meccanica e della stabilità.

Con la finalità di garanzia di durabilità adeguata ad una struttura edilizia, si devono obbligatoriamente considerare fattori quali la **classe di servizio prevista**, la **destinazione d’uso della struttura**, le **condizioni ambientali prevedibili**, la **composizione**, le **proprietà** e le prestazioni dei materiali, la forma degli elementi strutturali ed i **particolari costruttivi**, la **qualità dell’esecuzione** ed il livello di controllo della stessa, le particolari misure di protezione e la **manutenzione programmata** durante la il ciclo di vita presunto.

È necessario altresì, in fase di progetto, adottare idonei provvedimenti indirizzati alla protezione dei materiali: nelle strutture in legno, la conoscenza del materiale e la corretta progettazione e realizzazione di alcuni dettagli costruttivi fondamentali, associata alla redazione di un corretto programma di manutenzione consente di raggiungere e superare abbondantemente i livelli di vita nominale della struttura previsti dalla normativa.

È fondamentale la **conoscenza del materiale** perché ogni albero non è mai identico ad un altro: esso porta con sé tutti i segni del suo ambiente, dal terreno dove è cresciuto, all’esposizione ed orientamento, dalla crescita in piano o su pendio, all’esposizione o meno al vento.

Il legno e i materiali a base legno devono possedere un’**adeguata durabilità naturale per la classe di rischio prevista in servizio**, oppure devono essere sottoposti ad un trattamento preservante in accordo alla UNI EN 15228:2009.

La norma UNI EN 350-1 fornisce indicazioni sui metodi per la determinazione della durabilità naturale e i principi di classificazione delle specie legnose basati sui risultati di prova.

La norma UNI EN 350-2 fornisce una classificazione della durabilità del legno massiccio nei confronti di funghi, coleotteri, termiti e organismi marini.

La norma UNI EN 460 fornisce una guida alla scelta delle specie legnose in base alla loro durabilità naturale nelle classi di rischio così come definite all’interno della UNI EN 335, la

norma UNI EN 335 fornisce una guida per l'applicazione del sistema delle classi di rischio secondo le definizioni fornite nella norma stessa.

Le specifiche relative alle prestazioni dei preservanti per legno ed alla loro classificazione ed etichettatura sono indicate nelle norme UNI EN 599-1 e UNI EN 599-2.

6.1. La durabilità naturale

La durabilità naturale del legno è una **proprietà intrinseca della specie legnosa** ed è quel fattore che dipende fondamentalmente dalla sua essenza siccome indipendentemente da fattori esterni i legni duri sono più durevoli di quelli dolci, e varia anche in relazione al taglio preso in esame: solitamente la durabilità dello strato più interno detto **durame**, denso e compatto, che negli alberi maturi costituisce la maggior parte del volume del fusto, è maggiore rispetto allo strato più esterno detto **alburno**, di recente formazione e ricco di sostanze di riserva, principalmente amido, pertanto più facilmente attaccabile dagli organismi xilofagi; la maggior resistenza al biodegrado del durame è attribuita principalmente ad alcuni estrattivi che sono composti organici di tipo fenolico come i tannini, i fenoli e i polifenoli.

6.2. La durabilità effettiva

La durabilità effettiva di un manufatto dipende non solo dalla durabilità naturale dei suoi materiali, in questo caso delle specie legnose, ma anche dalla zona climatica, dalla sua classe d'uso e soprattutto dal progetto e dalla messa in opera a regola d'arte che devono essere tali da impedire fenomeni deleteri e pericolosi.

La durata di un'opera lignea dipende dalla durabilità e dalle **caratteristiche del manufatto** ligneo e delle **condizioni di servizio** in cui si trova il singolo elemento strutturale.

Espletata la differenziazione della durabilità si può comunque giungere alla conclusione che **le caratteristiche meccaniche e di durabilità di un determinato assortimento dipendono quindi in primo luogo dalla specie con cui l'opera è realizzata.**

Il legno, infatti, come si vedrà più approfonditamente in seguito, essendo un materiale di origine vegetale, è biodegradabile da batteri, funghi, insetti e organismi marini i quali possono causare modificazioni dell'aspetto, della struttura e della sua composizione chimica.

La resistenza che il legno oppone agli agenti che causano il suo biodegrado è chiamata proprio durabilità naturale e dipende principalmente dalla presenza di estrattivi, composti chimici di varia natura tra cui terpeni, fenoli e tannini, che si depositano nelle cellule della parte più interna del fusto durante il processo di duramificazione; in alcune specie legnose gli estrattivi possono anche impartire al durame una colorazione più scura rispetto all'alburno, queste specie sono definite a durame differenziato.

Generalizzando la casistica, possiamo dire che l'alburno di tutte le specie legnose è comunque sempre non duraturo nei confronti degli organismi xilofagi, mentre il durame, quando è differenziato, ha una notevole resistenza contro gli insetti e comportamento diverso da specie a specie nei riguardi degli attacchi fungini.

La **durata in servizio di una specie legnosa** dipende sia dalla sua durabilità naturale sia dalle condizioni ambientali nelle quali il legno si trova in servizio e dagli organismi xilofagi potenzialmente presenti, cioè dalle classi di utilizzo, consultabili nelle norme UNI EN 335-1 ed UNI EN 335-2.

Le cause del degradamento del legno in opera sono di origine diversa e variano dal deterioramento dovuto ad agenti abiotici quali agenti chimici, umidità, eccesso di carico al danno dovuto ad organismi, al danno più rilevante che è solitamente portato dall'azione di funghi e insetti, esseri che si nutrono delle sostanze organiche di cui il legno è costituito, sia quando ancora l'albero è in piedi e svolge le sue funzioni vegetative, che quando si trova in opera nelle strutture degli edifici: per questo sono definiti organismi xilofagi.

Classi di rischio di attacco biologico

UNI EN 335	Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno Definizione delle classi di rischio di attacco biologico
Classe di rischio 1	Ambiente riparato, protetto dagli agenti atmosferici Umidità sempre $\leq 20\%$ <hr/> Le condizioni garantiscono contro il rischio di attacco fungino, è possibile l'attacco da parte di
Classe di rischio 2	Ambiente riparato ma con elevata umidità dell'aria Umidità a volte $> 20\%$ <hr/> Può essere presente l'attacco fungino, è possibile l'attacco da parte di insetti
Classe di rischio 3	Elementi lignei anche esposti Umidità frequentemente $> 20\%$ <hr/> Esposizione all'attacco fungino, è possibile l'attacco da parte di insetti
Classe di rischio 4	Elementi lignei esposti, anche a contatto diretto con terreno o con acqua dolce Umidità sempre $> 20\%$ <hr/> Esposizione permanente all'attacco fungino, è possibile l'attacco da parte di insetti
Classe di rischio 5	Elementi permanentemente esposti all'acqua salata Umidità sempre $> 20\%$ <hr/> Attacco di organismi invertebrati marini, soprattutto in acque calde, attaccoda parte di insetti

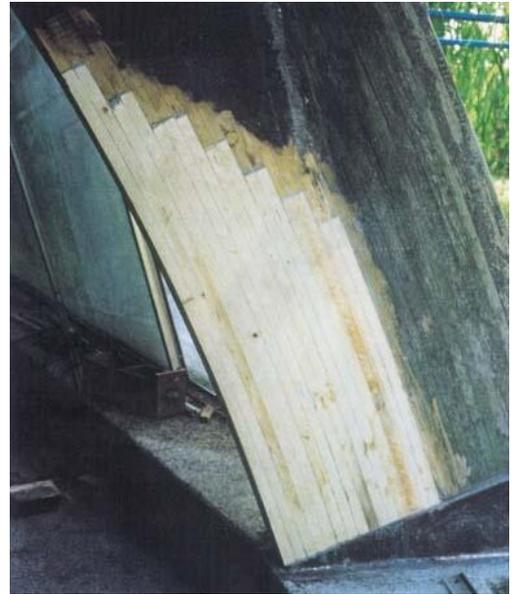
Classi di rischio di attacco biologico nella UNI EN 335 - rielaborazione degli autori

Un edificio civile ordinariamente è classificabile nelle classi di rischio 1, 2 o 3, esse definiscono edifici nei quali solo occasionalmente sono presenti condizioni di umidità ottimali per lo sviluppo di funghi. Spesso lo sviluppo di funghi è dovuto a infiltrazione di umidità nel tetto o sottotetto o nelle testate delle travi inserite nella muratura per errori nella progettazione o per eventi straordinari come rotture delle coperture o di tubi di conduzione dell'acqua.

7. LE CAUSE DI DEGRADO DEL LEGNO

7.1. Il degrado superficiale

Per degrado superficiale si intende quel degrado che interessa la sola superficie del legno; esso è dovuto a fattori atmosferici come la luce solare, composta sia da raggi ultravioletti che dalla radiazione visibile, che provoca la decomposizione della lignina e favorisce l'ossidazione di alcune sostanze con conseguente variazione di colore del legno che generalmente assume una colorazione più tendente al grigio più o meno scuro, oppure il fattore dell'azione di dilavamento della pioggia sulle sostanze estrattive idrosolubili, oltre all'umidità che favorisce lo sviluppo di funghi cromogeni i quali causano la variazione di colorazione del legno, oppure le eventuali repentine variazioni di temperatura e umidità che provocano fessurazioni superficiali con conseguente disgregazione della superficie, inoltre un fattore di degrado può essere l'erosione meccanica di particelle solide portate dal vento e l'azione chimica dell'inquinamento atmosferico. Il risultato di queste azioni che influiscono negativamente sul materiale ligneo è un tipo di degrado che viene stimato in qualche millimetro di profondità ogni secolo, pertanto generalmente ininfluenza ai fini strutturali ma importante dal punto di vista estetico.



Elemento ligneo esposto all'azione dell'acqua e del sole con conseguente annerimento superficiale – fonte: LegoArchitettura



Particolare di un infisso soggetto a decomposizione della lignina e a conseguente perdita della colorazione – fonte: LegnoArchitettura

7.2. Il degrado strutturale

Nella valutazione del degrado strutturale le zone di appoggio ai muri sono i punti particolarmente delicati perché in corrispondenza di questi nodi avvengono le concentrazioni delle tensioni del carico, oltre la probabile vicinanza dell'elemento strutturale ligneo ad altri elementi strutturali impermeabili che possono portare alla formazione di ristagni di umidità.



Nodo capriata-muro soggetto a degrado strutturale – fonte: Ingegneria e dintorni

L'umidità infatti, come si è già esposto in precedenza, risulta essere il principale motivo di degrado strutturale del legno e quindi di degrado più interno alla struttura lignea: oltre ai ristagni di acqua e conseguente marcescenza o presenza di batteri o muffe, le problematiche possono manifestarsi anche nel caso in cui si utilizzi legno massiccio umido non ben stagionato, già si è

sottolineata l'importanza della fase di essiccazione e stagionatura del legname, che quindi stagiona quando si trova già posto in opera con l'annesso ritiro legato alla perdita di umidità che provoca deformazioni e, in elementi a fibratura deviata, importanti torsioni.

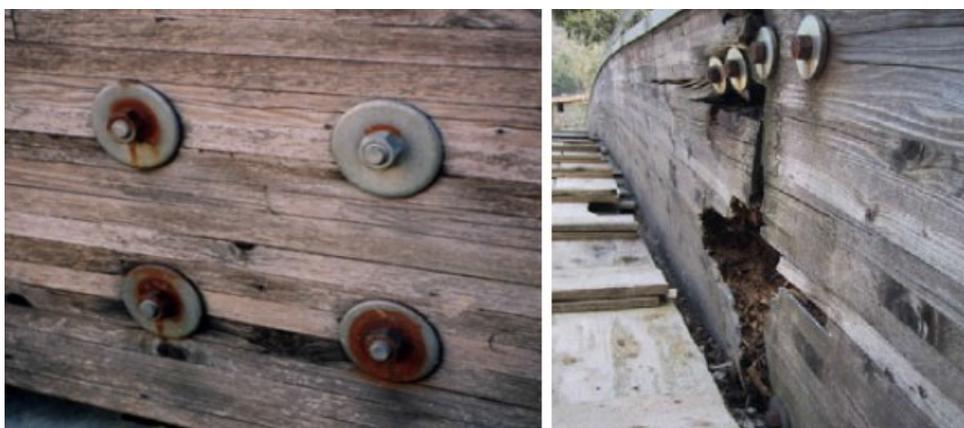
Quando non sono tollerate deformazioni della sezione, come nel caso di specie legnose come il larice, che è soggetto a importanti torsioni durante la perdita di umidità, bisogna utilizzare un materiale ad umidità prossima a quella di equilibrio igrometrico con l'ambiente assicurandosi l'utilizzo di legno molto ben stagionato.

7.3. L'ossidazione degli elementi metallici

Gli elementi metallici sono una delle porzioni della struttura di un edificio che possono essere soggette al rischio dell'ossidazione: il fenomeno dell'ossidazione consiste nel processo di deterioramento dei materiali metallici a contatto con l'ambiente con possibile conseguente formazione di ruggine, un composto costituito da ossidi di ferro che origina un fenomeno di corrosione dei materiali ferrosi laddove l'ossidazione del metallo sia favorita dalla presenza di ossigeno.



Particolare del bicchiere metallico che regge l'elemento strutturale soggetto al fenomeno di ossidazione – fonte: Doc Player



Ossidazione di bulloni metallici su struttura lignea – fonte: Doc Player

Questo fenomeno risulta essere particolarmente pericoloso nel caso di elementi di ridotto spessore che possono perdere completamente la loro resistenza nel giro di pochi anni, mentre invece elementi di grosso spessore possono avere durata maggiore pur non evitando di subire l'inevitabile evento dell'ossidazione.

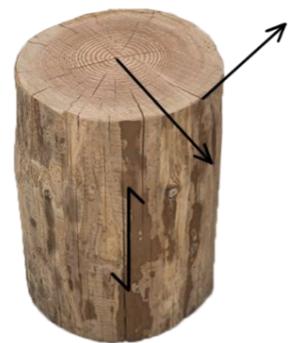
L'ossidazione delle parti metalliche a contatto con il legno occorre specificare che non è dovuta direttamente a questo contatto diretto tra legno e metallo, ma a causa dell'acqua di condensa o acqua meteorica che bagna la carpenteria metallica; solo in rarissimi casi alcune specie legnose ricche di sostanze estrattive quali i tannini sono la causa effettiva del degrado favorendo l'ossidazione della carpenteria metallica.

7.4. Gli attacchi di origine biologica

Il legno è un materiale di origine biologica e come tale è **soggetto a decadimento in maniera naturale**: se non adeguatamente protetto, in **presenza di difetti o di agenti di degrado sia abiotici che biotici**, perde le proprie caratteristiche e deperisce fino a diventare inutilizzabile dal punto di vista strutturale.

In un tronco di legno possono individuarsi tre **direzioni anatomiche**, quella longitudinale è quella dell'asse del tronco, la direzione radiale e quella tangenziale sono invece riferite agli anelli annuali di accrescimento.

Come è noto, il legno è un **materiale anisotropo** infatti a seconda delle direzioni (longitudinali L, radiali R, tangenziali T) varia la sua resistenza presentando proprietà meccaniche differenti in funzione dell'orientamento delle fibre con una resistenza in direzione perpendicolare alle fibre minore rispetto a quella in direzione parallela alle fibre.



Direzioni anatomiche del legno

Come accennato in precedenza, il tronco è formato da una parte centrale detto **durame** che, durante la vita dell'albero, conserva la sola funzione portante per la pianta: in esso vengono depositate le sostanze estrattive quali i tannini e i fenoli che generalmente conferiscono al legno una colorazione più scura e lo rendono anche più resistente agli attacchi biologici. Gli anelli più periferici formano l'**alburno** che nella pianta è legno che conduce la linfa: generalmente è di colore più chiaro rispetto al durame e, dopo l'abbattimento, a differenza del durame, conserva alcune sostanze quali gli amidi e gli zuccheri. Le caratteristiche meccaniche dell'alburno e del durame sono simili tra loro, mentre quelle di durabilità sono spesso nettamente diverse.

7.4.1. Gli attacchi abiotici

Per degradamento abiotico si intende il degradamento dovuto a cause quali gli agenti atmosferici, i fattori chimici, i fattori fisici e a cause di natura statica del legno utilizzato nella costruzione di edifici, in altre parole, un degradamento strutturale.

I fattori atmosferici che determinano il degradamento abiotico sono responsabili principalmente di modificazioni superficiali del legno e del colore che rivestono importanza sia dal punto di vista estetico, sia come fenomeni precursori del degradamento biotico.

I fattori atmosferici del degradamento abiotico

Quando il legno è esposto all'esterno, non a contatto con il terreno, si osserva un degradamento dovuto a una complessa combinazione di fattori di tipo chimico, fisico e meccanico che è definito in inglese **weathering**.

I fattori che causano questo tipo di alterazione sono in ordine d'importanza l'**umidità**, la **luce solare**, variazioni di **temperatura**, aggressioni da parte di sostanze chimiche, dovute essenzialmente all'**inquinamento atmosferico**, abrasione da particolato trasportato dal vento e l'azione concomitante di agenti biologici quali muffe e funghi cromogeni: nel caso di fenomeno del weathering gli agenti causa di degrado non determinano una diminuzione delle

caratteristiche meccaniche del legno ma che determinano delle modificazioni superficiali di colorazione del legno.

Oltre all'effetto weathering, i rapidi cambi di umidità che si hanno sulla superficie del legno esposto all'esterno a causa di pioggia, rugiada o assorbimento di vapore acqueo determinano continui ritiri e rigonfiamenti in funzione del gradiente di umidità tra esterno e interno del legno con conseguente possibile formazione di deformazioni e rotture superficiali del legname.

La luce solare invece tendenzialmente determina un rapido foto invecchiamento della superficie esposta con una variazione del colore che può, a seconda delle specie legnose, tendere ad un ingiallimento o un imbrunimento e successivamente all'ingrigimento.

Queste variazioni di colore sono dovute ad una decomposizione della lignina delle cellule legnose più superficiali (ad una profondità compresa tra 0,05 e 0,5 mm) innescata dalla radiazione ultravioletta e ad un'ossidazione degli estrattivi: la radiazione ultravioletta ha un'energia sufficiente per degradare la lignina e i carboidrati, componenti strutturali della cellula legnosa, mentre per l'ossidazione e decomposizione degli estrattivi è sufficiente l'energia della radiazione del visibile. Inoltre l'acqua meteorica determina il dilavamento degli estrattivi idrosolubili dalla superficie del legno.

I due fattori di degradamento della luce solare e dell'umidità agiscono a differenti momenti e spesso il fenomeno di degradamento è dovuto alla somma dei due fattori dove l'uno può incrementare l'effetto dell'altro: il legno è irradiato dalla luce solare dopo essere stato esposto alla pioggia o all'umidità della notte.

Il processo di degradamento inizia immediatamente quando il legno è esposto all'esterno ma è un processo molto lento, infatti si ha una erosione superficiale di 5/6 mm di spessore in una durata temporale di circa cento anni di esposizione all'intemperie. Nonostante la lentezza di questo processo è importante conoscerne i fattori che lo determinano e adottare misure preventive poiché le variazioni chimico fisiche che produce potrebbero facilitare e favorire lo sviluppo del degradamento biotico a tutta la struttura del legno e diminuire la durata in servizio del legno in modo considerevole.

Un altro fattore che può influenzare questo fenomeno è la temperatura: alte temperature possono aumentare la velocità di reazione delle reazioni di decomposizione della lignina, invece

le basse temperature possono con la trasformazione dell'acqua assorbita dal legno in ghiaccio, incrementare la formazione delle fratturazioni superficiali.

Altri fattori come l'erosione e l'abrasione superficiale dovuta a vento e sabbia o particolato possono incrementare la rimozione degli strati superficiali del legno.

L'umidità

Oltre ad essere un materiale anisotropo, il legno è anche un **materiale igroscopico**, ossia assorbe e cede umidità rispetto all'ambiente.

Essendo un materiale formato da cellule vuote e allungate, queste possono contenere acqua in diverse forme: acqua di saturazione che bagna le pareti cellulari si riscontra per umidità del legno, in percentuale sul peso di legno secco, compresa fra lo 0% ed il 30% circa, oppure può trattarsi di acqua libera che è quella contenuta nel lume cellulare nel caso di umidità superiore al 30% ed infine può essere acqua di costituzione che è quella facente parte della parete cellulare stessa, ma in questo contesto non riveste importanza tecnologica in quanto viene persa solo per distruzione della cellula stessa.

L'acqua in tutti i suoi possibili stati, liquida, gassosa, solida, umidità di risalita, di condensa, è la causa prima del degrado del legno: laddove si trovi una goccia d'acqua, in quei punti possono vivere, alimentarsi e riprodursi microrganismi come batteri, muffe e funghi.

Lo scambio di umidità con l'ambiente circostante o con eventuale acqua che lambisce le superfici del legno è piuttosto lento, tuttavia **è più rapido il processo di assorbimento di umidità che quello di cessione.**

A seguito della perdita di umidità il legno subisce diminuzione delle dimensioni con conseguente ritiro, il fenomeno è reversibile e pertanto all'aumento di umidità il legno aumenta le proprie dimensioni con annesso rigonfiamento del materiale ligneo.

Per comprendere al meglio il funzionamento dell'umidità all'interno del materiale ligneo possiamo valutare un ambiente con temperatura intorno ai 20 °C ed umidità dell'aria del 60% ed esso stabilizzerà il legno su umidità inferiori al 15% e quindi in condizioni inadatte allo sviluppo degli attacchi fungini; se invece mettiamo il caso di un ambiente che risulti più secco, allora il

legno viene stabilizzato su umidità inferiori al 12%, mentre in ambienti più umidi con l'80-90% di umidità l'acqua presente nel legno è intorno al 18% fino al raggiungimento di valori superiori al 20% con inevitabile presenza di degrado biotico.



Degrado causato dall'umidità su un elemento di schermatura esterna con un degrado che si estende anche agli elementi dell'edificio a contatto con la zona direttamente attaccata dal degrado stesso, seppur si tratti di un materiale da costruzione differente – fonte: Progetto Biocasa

L'umidità è dunque il tema principale che condiziona la durabilità del legno; è quindi ovvio che più si fa in modo di tenere lontana l'acqua, meno la struttura sarà vulnerabile.

I raggi solari ultravioletti

I raggi ultravioletti UV causano un'ossidazione fotochimica dello strato superficiale del legno la quale provoca un iniziale ingiallimento o imbrunimento dei legni di colore chiaro o uno sbiancamento dei legni di colore scuro; successivamente il colore tende al bruno pallido per poi ingrigire; in assenza di ossigeno o in presenza di filtri di protezione dai raggi ultravioletti le variazioni di colore invece sono quasi inesistenti.

Il legno, anche se esposto ai raggi solari per lungo periodo, giungendo così alla fase di colorazione ingrigita, non riduce le proprie proprietà meccaniche e, mediante un'incisione, si può trovare a pochi decimi di millimetro sotto il primo strato un legno di colore naturale senza i segni di un degrado estetico da parte dei raggi solari.

7.4.2. Gli attacchi biotici

Il legno è sensibile agli attacchi di numerosi organismi viventi che possono trovare in questo materiale l'allocazione ideale per vivere e riprodursi: **la biodegradabilità del legno è causata da insetti, organismi marini, muffa e funghi e le condizioni di vita ideali per questi organismi nasce dalla presenza di umidità; il legno viene classificato secondo le condizioni ambientali in cui un elemento viene messo in opera secondo le classi di rischio biologico.**

Il legno è un materiale vivo che richiede delle accortezze specifiche creando un ambiente sfavorevole per il proliferarsi di organismi indesiderati.

Il degrado da batteri

I batteri, organismi microscopici uni o pluricellulari, mediante enzimi distruggono le aperture alveolari delle conifere provocando alterazioni cromatiche, ma non strutturali.

Il degrado da muffe

Le muffe sono miceli fungini presenti negli stati superficiali del legno, esse non recano danno strutturale non riducendo le caratteristiche meccaniche del materiale e si sviluppano in condizioni di grande umidità dell'ambiente; è sufficiente intervenire sulle muffe agendo sulla rimozione tramite spazzolatura ed eventualmente con un successivo trattamento antimuffa.



Attacco da muffa su superficie di copertura – fonte: Infobuild

Tendenzialmente le muffe non costituiscono alcun pericolo per la consistenza del legname, esse colonizzano vari tipi di materiali organici che presentano un'umidità di superficie sufficientemente elevato, la comparsa di muffa è pertanto anche un segnale di condizioni di umidità elevata.

Come misure contrastanti del degrado da muffe si possono ritrovare semplicemente una adeguata essiccazione del legname e una sua rapida lavorazione, nonché evitare una umidità dell'aria troppo elevata per la creazione di un ambiente inadeguato allo sviluppo della muffa.

Il degrado da funghi

I **funghi della carie** sono quei funghi che demoliscono la cellulosa mediante i propri enzimi selettivi dando origine alla carie del legno: si diffondono nell'aria attraverso le spore, le spore una volta che si trovano sul legno germinano nell'eventualità di un materiale ligneo con una umidità superiore al 20%, questi funghi possono sopportare temperature estreme che variano tra i -150°C e +100°C senza perdere la loro facoltà germinativa. Una volta che si trovano all'interno del legno, i funghi si diffondono all'interno della massa legnosa attraverso le ife e non necessariamente danno origine al corpo fruttifero visibile: queste ife degradano chimicamente il legno con la distruzione della lignina o della cellulosa o di entrambe, determinando una forte diminuzione di resistenza del materiale anche nei primi stadi dell'attacco quando questo non è ancora visibile e non ha ancora dato luogo al fenomeno più macroscopico della marcescenza.

L'attacco fungino avanza fino a che permangono condizioni di umidità favorevoli, ma nel momento in cui l'umidità del legno ritorna a valori inferiori al 20% il fungo cessa la sua attività, tuttavia il danno causato rimane e se l'umidità del legno ritorna ad essere elevata il fungo riprende la sua attività.

L'aumento di umidità del legno generalmente deriva da percolazioni, infiltrazioni, condense, ristagni di umidità ed in generale dal contatto con acqua liquida in ambienti non necessariamente umidi; in tali casi spesso l'attacco fungino avviene all'interno degli elementi lignei senza manifestazioni all'esterno degli elementi stessi in quanto la superficie del legno generalmente ha la possibilità di asciugarsi rimanendo sana.

Anche in ambienti in cui l'umidità dell'aria è controllata e viene mantenuta al di sotto dell'85%, valore limite accettabile perché il rischio di attacco fungino non possa esistere, in corrispondenza dei ponti termici si può avere condensa che percola sul legno provocando dapprima semplici variazioni cromatiche in superficie e poi un pericoloso attacco fungino.

Negli edifici, le zone maggiormente soggette ad attacco fungino sono ad esempio le parti conglobate nelle murature o nei cordoli poiché, in queste zone, l'ambiente dove è posto il legno non è ventilato e l'eccesso di umidità del legno non riesce ad essere smaltito a causa della muratura che favorisce la permanenza di condizioni umide, così l'umidità propria del legno condensa in corrispondenza del muro esterno freddo facendo bagnare l'elemento ligneo che funge da assorbitore di umidità dell'aria degli ambienti interni e della condensa presente.

Sia l'alburno che il durame sono soggetti ad attacco fungino, tuttavia esistono delle eccezioni per quelle specie legnose a durame differenziato come il castagno o la quercia.

Il degrado può anche essere causato da **funghi cromogeni** se si tratta di organismi che vivono a spese del contenuto del lume cellulare senza attaccare chimicamente le pareti cellulari: essi sono responsabili di un cambio cromatico e una colorazione anomala del legno con effetti ridotti o nulli sulle capacità meccaniche del materiale, questa tipologia di funghi si sviluppa facilmente in un ambiente con umidità maggiore del 30%, quindi in zone esposte ad agenti atmosferici, oppure la causa può essere la presenza di **funghi del marcimento** che producono effetti di deterioramento delle fibre e perdita di resistenza meccanica come esposto precedentemente con



Tronco compromesso a causa di attacco da carie bruna – fonte: Infobuild



Tronco compromesso a causa di attacco da carie bianca – fonte: Infobuild

l'insorgenza di problematica dovuta a carie bruna, carie bianca oppure carie soffice.

Le strutture attaccate dai funghi sono difficilmente sanabili e gli attacchi più diffusi sono ad opera dei **basidiomiceti** che si suddividono in **carie bruna** che degradano maggiormente la cellulosa e in **carie bianca** che attaccano sia la cellulosa che la lignina sbriciolando il legno e rendendolo fibroso; più di rado ci si può trovare di fronte ad attacchi da parte degli **ascomiceti** a causa dei quali si ha la formazione della **carie soffice** caratteristica del legno immerso in acqua che rende il legno soffice al tatto.

La distinzione tra la carie bruna e la carie bianca è basata sull'apparenza del legno che viene attaccato ed è connessa a variazioni nella composizione chimica della parete cellulare dipendente dall'azione degli enzimi.

Gli enzimi nella carie bruna sono in grado di degradare maggiormente la cellulosa, le emicellulose ed in caso di attacco molto avanzato della parete cellulare resta solo la lignina e piccole quantità di idrati di carbonio, il legno diviene di colore più scuro e presenta fessurazioni trasversali e longitudinali che formano dei parallelepipedi e ricordano l'aspetto del legno carbonizzato, si parla in questo caso di carie cubica; il legno a questo punto molto alterato diviene friabile dando una polvere bruna sottile, le carie rendono il legno di una consistenza burrosa al tatto.

Nella carie bianca le ife diffondono enzimi che degradano sia la lignina che la cellulosa e le emicellulose, la lignina nei primi stadi di attacco e la cellulosa successivamente, oppure tutte e due simultaneamente. Il legno conserva la sua struttura fibrosa e il suo aspetto generale è modificato da un cambiamento del colore originario in un bianco-giallastro, la sua consistenza diviene molle e il legno si rompe facilmente senza però essere friabile.

Riassumendo gli aspetti fin qua esposti, a seconda del modo in cui si realizza e della natura dei costituenti degradati avviene una classificazione dei funghi, ma i funghi responsabili dei maggiori danni al legno in opera appartengono prevalentemente al gruppo dei basidiomiceti, il cui ciclo biologico può essere schematizzato con le spore, diffuse attraverso l'aria, che venendo a contatto con un legname avente un contenuto di umidità superiore al 20%, germinano dando origine alle ife che costituiscono i filamenti che danno luogo al micelio fungino; queste ife invadono dapprima le cellule parenchimatiche dei raggi, quindi le cellule legnose.

In alcune specie come la *Serpula lacrymans* il micelio può organizzarsi in cordoni detti rizomorfe che hanno varie funzioni: dalla conduzione dell'acqua, alla diffusione dell'attacco in zone molto estese e il mantenimento delle ife in vita latente quando le condizioni ambientali non sono più compatibili con la crescita del micelio, a questa fase di sviluppo prettamente vegetativo succede la formazione del corpo fruttifero che dà luogo alle spore.

Le proprietà meccaniche del legno sono notevolmente modificate dall'attacco fungino, specie la resistenza in caso di urto che è una delle prime caratteristiche del legno che subisce una notevole riduzione, oltre alla diminuzione della resistenza a flessione: ad esempio un attacco iniziale da funghi da carie bruna su legno di conifere si mostra tramite lievi modificazioni di colore e di aspetto del legno, comportando una perdita di resistenza all'urto e a flessione del 60%.

L'umidità iniziale del legno, con un valore superiore al 20%, è uno dei fattori più importanti perché un attacco da funghi si possa instaurare e sviluppare con successo nel legname, come già sostenuto in più e più passaggi del testo; con l'affermazione dell'attacco fungino è direttamente il fungo stesso grazie al suo metabolismo che contribuisce al mantenimento di un quantitativo di acqua nel substrato del legno necessaria e sufficiente al suo sviluppo all'interno dell'elemento ligneo.

Per lo sviluppo dell'attacco, e quindi per la sopravvivenza del fungo, dal punto di vista fisiologico il carattere fondamentale dei funghi è dato dal fatto che la loro nutrizione dipende essenzialmente dalla loro capacità di digerire sostanze organiche complesse: gli enzimi secreti dalle ife trasformano composti insolubili e molto complessi, come la cellulosa, in prodotti solubili e meno complessi che le cellule del fungo possono assorbire attraverso le loro pareti.

La luce non è indispensabile alla crescita e allo sviluppo del fungo se si fa eccezione al momento della formazione del corpo fruttifero: infatti in luoghi privi di luce, come cantine, miniere, sotterranei, i funghi presentano spesso forme anomale. Proprio in ambienti come questi è facile lo sviluppo di funghi, frequente è il danno dovuto a funghi da carie riscontrabile solitamente in travi di sottotetti dove infiltrazioni di acqua hanno portato il legno ad un'umidità ottimale, più raramente in manufatti immagazzinati in ambienti umidi, nei sottotetti tipicamente l'attacco si

sviluppa alle testate delle travi se queste sono inserite nella muratura e dove generalmente si ritrovano infiltrazioni di acqua dall'esterno.

La temperatura di accrescimento del micelio varia entro limiti abbastanza ampi, in generale tra 10 e 40 °C con un intervallo ottimale tra 20 e 30 °C.

Se in un ambiente le condizioni di temperatura e soprattutto le condizioni di umidità del legno rimangono ottimali per l'attacco fungino, esso può proseguire senza interruzioni e si possono avere danni notevoli in poco tempo: solitamente quando la temperatura dell'ambiente diminuisce a temperature inferiori ai 10°C l'attacco si arresta, nonostante le ife rimangano vive, queste sono pronte a riprendere le loro attività non appena le condizioni ambientali siano tornate favorevoli.

Il fungo di maggior interesse economico in Europa è la già riportata specie della *Serpula lacrymans* per le sue possibilità di adattamento molto particolari e per l'intensità e l'estensione degli attacchi che provoca: questo fungo si sviluppa su legno con un'umidità del 20%, a temperature variabili tra 3 e 26°C con range ottimale tra 21 e 23°C, ciò significa quindi che esso può continuare a crescere anche nel periodo invernale.

Altri funghi della carie che si riscontrano nelle strutture lignee degli edifici possono essere principalmente carie bruna come *Coniophora puteana*, *Antrodia spp*, *Gloeophyllum spp*, *Poria spp* su legno di latifoglie e molto spesso su legno di conifere, ma anche carie bianche come *Bjerkandera*, *Collybia*, *Paxillus*, *Pleurotus*, *Trametes*, *Phellinus* sul legno di latifoglie.

Altri esempi di attacchi fungini su legno strutturale possono essere dovuti a carie soffice in condizioni di umidità relative molto elevate ma la presenza di una scarsa ossigenazione, condizioni tali da impedire lo sviluppo dei funghi basidiomiceti, e piuttosto lo sviluppo appunto degli ascomiceti; ulteriori fattori quali le alte temperature, elevata concentrazione di preservanti contro i basidiomiceti possono favorire talvolta lo sviluppo di questi funghi appartenenti a deuteromiceti ed ascomiceti.

In ambienti molto umidi, dove vi possano essere fenomeni di condensa, viene spesso notata la presenza sui manufatti di muffe, cioè di funghi appartenenti ai **deuteromiceti** come la specie dei *Penicillium* e *Aspergillus*, funghi che non causano gravi danni al legno, ma possono alterare vernici e colori.

Il progredire del degradamento da parte di questi funghi appartenenti ai deuteromiceti ed ascomiceti è molto lento rispetto ai basidiomiceti ed avviene principalmente sulla cellulosa della parete secondaria delle cellule legnose: l'attacco determina un aspetto del legno molto scuro, una consistenza del legno molto soffice quando è bagnato e una volta secco si evidenziano varie crettature longitudinali e trasversali presenti solo su un sottile strato superficiale, infatti nella maggior parte dei casi, immediatamente sotto tale strato, il legno risulta essere sano.

Per quanto invece riguarda un approfondimento riguardo i funghi detti cromogeni, o funghi dell'azzurramento, essi caratterizzano il legno conferendogli una particolare colorazione grigia-azzurrastra più o meno intensa che il legno assume in seguito all'attacco fungino.

Il fenomeno dell'azzurramento risulta essere molto comune nelle conifere, ma si osserva anche nelle latifoglie, specie di origine tropicale: il cromatismo emerge limitatamente alla zona dell'alburno in quanto questi funghi vivono a spese di contenuti cellulari delle cellule parenchimatiche ricche di sostanze di riserva facilmente degradabili: proprio per questo motivo il principale danno causato al legno dall'azzurramento è di ordine estetico, mentre le proprietà meccaniche non vengono alterate in modo particolare.

Lo sviluppo dei **funghi dell'azzurramento**, numericamente molto numerosi, è condizionato da un'umidità del legno superiore al 30%, valore che corrisponde al punto di saturazione delle fibre, e dalla presenza di ossigeno; la temperatura ottimale per lo sviluppo di questi funghi è indicata con valori compresi tra i 22 e i 25 °C, ma questi funghi resistono molto bene anche al freddo.

L'infestazione da parte dei funghi cromogeni avviene principalmente sui tronchi appena abbattuti o sui segati non stagionati, in secondo luogo su manufatti che in determinate situazioni abbiano immagazzinato un'elevata quantità di umidità al loro interno. In ogni caso la caratteristica colorazione che il legno assume non è dovuta ad alcuna sostanza colorante diffusa dalle ife del fungo, ma ad un fenomeno di diffrazione della luce sulle ife scure attraverso le pareti traslucide delle cellule del legno.

Il degrado da insetti xilofagi

Gli insetti recano danno all'interno del legno scavando delle gallerie lasciando rosime, ossia polvere di legno ed escrementi.

Gli insetti distruttori del legno appartengono tutti al ceppo degli **artropodi**, avviene poi all'interno di questa categoria una distinzione tra insetti che attaccano il legno fresco, come alberi o legname appena abbattuto, e insetti che attaccano il legno secco, tra i quali i più importanti sono il capricorno delle case, vari anobidi o ptinidi o lictidi.



Sezione di trave ammalorata e conseguente perdita di prestanza strutturale localizzata a causa di attacco da insetti xilofagi – fonte: Disinfestazionetarli

Il ciclo di vita di un insetto, ad eccezione delle termiti, ha inizio dalla deposizione delle uova da parte di un insetto adulto, il quale prende il nome di farfalla, che vengono deposte in piccole cavità o fessure del legno, quando l'uovo poi si schiude viene data vita alla larva che penetra nella massa legnosa nutrendosi del legno e quindi scavando gallerie. La larva può vivere e lavorare all'interno del legno anche alcuni anni fino al momento in cui non si trasforma in un insetto perfetto con le ali ed abbandona il legno forandone la superficie, la farfalla così si accoppia e depone nuovamente le uova dando origine ad un nuovo ciclo vitale.

Generalmente **gli insetti si nutrono della sola parte periferica del tronco, l'alburno, essendo questo più ricco di sostanze a loro gradite come gli amidi e gli zuccheri**; il durame, se differenziato come in alberi come la quercia e il castagno, è molto resistente all'attacco xilofago perché ricco di sostanze estrattive come i tannini che lo rendono sgradevole e poco appetibile. Fanno eccezione a questa casistica le specie a durame non differenziato come l'abete che ha il durame povero di estrattivi e pertanto queste specie vengono attaccate non solo nell'alburno ma anche nel durame, con attacchi in alcuni casi anche molto profondi diventando pericolosi per la stabilità strutturale degli elementi lignei.

Gli amidi e gli zuccheri contenuti nel legno, i recettori che attirano gli insetti e la causa che scaturisce l'attacco al legno, col tempo tendono a trasformarsi rendendo il materiale non più gradito agli insetti e, superati tempi tra gli ottanta e i cento anni dall'abbattimento, il legno diventa praticamente immune all'attacco da parte della maggior parte delle famiglie di insetti xilofagi che attaccano il legno in opera, pertanto generalmente le strutture antiche non hanno attacchi di insetti in corso ma eventualmente pregressi e non hanno bisogno di trattamenti preservanti.

Si è quindi compreso come il rischio di attacco da insetti sia decisamente subordinato alla possibilità dell'insetto adulto di deporre le uova nelle fessure o cavità del legno ancora giovane: i trattamenti superficiali consistenti in impregnanti, vernici e sostanze preservanti ed i rivestimenti come ad esempio le pareti di legno rivestite con isolanti, intonaci o cartongessi, impediscono all'insetto adulto di deporre le uova sul legno e pertanto il rischio da attacco da insetti è generalmente molto più remoto.

Una ulteriore interessante osservazione può essere che il legno lamellare ha comunque molte meno fessure per sua propria morfologia rispetto al legno massiccio e sicuramente di ampiezza molto minore, per questo motivo l'insetto adulto ha difficoltà a deporre in esso le uova e quindi **gli attacchi da insetti nelle travi di legno lamellare sono generalmente piuttosto sporadici e limitati.**

Ai fini dell'eventualità della necessità di un intervento di risanamento risulta importante esaminare come i fori che si riscontrano sulla superficie non siano fori di ingresso dell'insetto ma bensì di uscita, ovvero fori di sfarfallamento dell'insetto, e pertanto la loro quantità non fornisce indicazioni sulla reale entità dell'attacco in corso.

Il danno da attacco xilofago è comunque maggiormente estetico in quanto un lieve attacco in genere non compromette la stabilità strutturale.

Negli edifici il rischio di attacco da insetti avviene principalmente a causa di coleotteri, molto presenti in Europa, e isotteri come le termiti che rappresentano una grande minaccia in alcune zone dell'Europa meridionale: questo rischio può essere sempre presente se non si adottano adeguate misure di prevenzione poiché la scarsa durabilità naturale di una specie legnosa non comporta necessariamente l'impossibilità d'impiego ma indica l'esigenza di accortezze, a

partire da una semplice impregnazione con sostanze preservanti che conferisce al legno un alto grado di durabilità a condizione che il legno sia dotato di buone caratteristiche di impregnabilità.

La norma ricopre sempre grande importanza come supporto alla progettazione: la **UNI EN 350-2** riporta le caratteristiche di durabilità naturale delle principali specie legnose utilizzate in edilizia, mentre la classificazione dell'impregnabilità del legno è contenuta nella **UNI EN 350-1**.

Appurato che gli insetti si insediano in prevalenza nell'alburno del legno, si può analizzare una differenziazione delle specie xilofaghe che attaccano soprattutto il legno: mentre alcune specie come *Anobium punctatum* e *Stromatium fulvum* possono vivere su un grande numero di legni, sia legni di latifoglie che di conifere, altre sono limitate ad un ristretto numero di specie legnose come *Hylotrupes bajulus* per esempio si trova solo sui legni di conifera come il pino, l'abete, la douglasia e il larice, oppure *Trichoferus holosericeus* si può trovare solo su quelli di latifoglia. Altri insetti attaccano esclusivamente legno che abbia subito un precedente attacco fungino come *Xestobium rufovillosum*, altri ancora, come i *Lyctus spp*, attaccano solamente latifoglie a vasi grandi e con un elevato contenuto di amido.

È fondamentale conoscere le potenzialità, le caratteristiche e i punti deboli di ciascuna specie legnosa per sapere i rischi a cui si può incorrere utilizzandola, ma anche l'età del legno del manufatto come analizzato ha una notevole importanza: non occorre dimenticare che alcune sostanze come vitamine e proteine presenti nel legno con il tempo possono degradarsi, così che le larve non trovano più un nutrimento adeguato a compiere il loro normale ciclo biologico.

I danni causati dagli insetti possono essere molto gravi, perché le larve sono in grado di vivere e permanere nel legno per lungo tempo, dai due ai sei anni e anche oltre a seconda della specie, scavando all'interno del legno gallerie tortuose che si intersecano fra loro piene di rosime, a formare un fitto intreccio di vuoti fino ad eliminare ogni funzionalità e ogni resistenza meccanica agli elementi in legno.

Purtroppo, visto la maniera di sviluppo e lavoro degli insetti xilofagi, molto spesso accade che ci si accorga della presenza dell'insetto soltanto quando l'attacco è già piuttosto avanzato; infatti, nulla appare all'esterno fino al momento in cui le larve si trasformano in insetto perfetto,

poiché esse scavano le gallerie nell'interno del legno lasciando intatto un leggero strato superficiale.

I primi sintomi dell'attacco xilofago si hanno dunque soltanto dopo il primo sfarfallamento degli adulti, quando compaiono i caratteristici fori sulla superficie del legno. Tuttavia, anche allora non si può dare una valutazione esatta dell'entità del danno se non si asporta lo strato superficiale del legno, mettendo così in evidenza il fitto intreccio di gallerie negli strati sottostanti rendendo successivamente più difficoltoso un intervento di recupero dell'elemento.

Il degrado da coleotteri

I coleotteri sono una specie che comprendono i sottogruppi dei cerambicidi, anobidi e lictidi: essi degradano, a seconda della specie, il legno degli alberi quando sono ancora in piedi o l'elemento di legno lavorato ed i prodotti derivati dal legno durante il loro stato di larva, la quale poi cresce fino a diventare un vero e proprio insetto che poi visto tende poi ad allontanarsi dal legno verso l'esterno attraverso il foro detto di sfarfallamento: nella specie dei coleotteri quindi l'insetto adulto, è il responsabile minore nei confronti dei danni causati al legno.

Le larve, scavando all'interno del legno, creano gallerie più o meno lunghe il cui diametro varia in rapporto alle dimensioni della larva, le quali demoliscono il legno con una ricaduta negativa sia dal punto di vista estetico che della resistenza meccanica.

Anche per i coleotteri la base essenziale per il loro nutrimento è costituita dalle sostanze di riserva degli amidi e degli zuccheri, oltre dalla cellulosa e dalle sostanze azotate.

Lo sfarfallamento dei coleotteri normalmente avviene nel periodo della primavera-estate e le femmine, dopo la fecondazione, iniziano a deporre le uova nelle fessurazioni che può presentare il legno o in vecchi fori di sfarfallamento già esistenti: il buono stato di conservazione della superficie lignea con eventuali finiture, la chiusura dei fori di sfarfallamento di attacchi pregressi con appositi stucchi limita la deposizione delle uova da parte delle femmine delle nuove generazioni e quindi il progredire dell'attacco.

È sempre da tenere ben presente che il numero dei fori di sfarfallamento non è sempre in relazione alla gravità del degrado, in particolare quando l'insetto ha un lungo ciclo biologico ad un solo foro possono corrispondere gallerie di grande lunghezza.

Nei legni utilizzati nelle strutture edilizie i danni maggiori sono causati dai **cerambicidi**, insetti che hanno dimensioni tra 1 e 2,5 centimetri, caratterizzati da lunghe antenne che possono talvolta superare anche la lunghezza dell'insetto stesso.

Tali insetti risultano essere i più pericolosi per le strutture lignee in opera poiché scavano gallerie che possono raggiungere anche un centimetro di diametro ed in direzione variabile rispetto alle fibre del legno. Tra gli insetti appartenenti alla famiglia dei cerambicidi *Hylotrupes bajulus*, anche detto il **capricorno delle case**, è il più diffuso: si tratta di una delle maggiori minacce per le strutture lignee in particolare in legno di conifera, il suo ambiente ideale è costituito dalle travi in legno dei sottotetti con la temperatura dell'ambiente migliore per il suo sviluppo durante lo stato di larva compreso tra 28°C e 30°C.



Capricorno delle Case

Questo coleottero attacca prevalentemente travi di carpenteria non più vecchie di novanta anni poiché è attratto principalmente da sostanze azotate che non sono più presenti nelle travi in opera dopo questo periodo di tempo, questo siccome non dispone di sostanze per auto sopravvivere all'interno del legno ma per il suo sviluppo dipende completamente dal contenuto di azoto nel legno che diminuisce con il passare del tempo.

Meno diffusi ma ugualmente molto rilevanti sono i danni dovuti a *Trichoferus holosericeus*, che infesta esclusivamente legni di latifolia quali quercia, pioppo e castagno: l'insetto adulto ha dimensioni comprese tra 1 e 2,5 centimetri, colore bruno uniformemente ricoperto da una peluria grigia, un ciclo biologico di due o tre anni in dipendenza della temperatura e dell'umidità.

Meno comune dei precedenti è lo *Stromatium fulvum* che attacca indistintamente sia il legno di latifolia sia quello di conifera: l'insetto adulto ha dimensioni tra 1,8 e 2,5 centimetri, è interamente di colore rosso ed è ricoperto di una corta ed abbondante peluria, tale insetto vive nel legno molto secco e può causare ingenti danni in quanto il ciclo biologico dura diversi anni e possono susseguirsi sulla stessa struttura diverse generazioni.

Danni decisamente minori per quanto riguarda le strutture lignee, ma molto sensibili per i manufatti alloggiati nelle abitazioni, nei musei o nelle chiese sono dovuti alla presenza di

anobidi; gli anobidi sono insetti molto piccoli con una dimensione compresa tra i 2 e i 9 millimetri, hanno una colorazione che va dal rossastro al rosso-bruno, attaccano sia il legno di latifolia che di conifera, che, se posto in opera, sia tale preferibilmente da un cospicuo numero di anni, anche vista la disposizione delle larve dei simbionti che consentono all'insetto di attaccare anche i legnami molto vecchi; il ciclo biologico degli anobidi varia da due a sei anni, a seconda della specie, delle condizioni climatiche e del tipo di legno.

Tra gli anobidi, *Anobium punctatum* è molto diffuso nei manufatti perché attacca indifferentemente latifoglie e conifere, si sviluppa a temperature ottimali di 22-23 °C ed in ambienti con umidità relativa del 50-60%, condizioni ambientali facilmente riscontrabili in ambienti come i musei e le chiese. Non si discosta molto da quello dell'*Anobium punctatum*, il comportamento del *Nicobium hirtum* e dell'*Oligomerus ptilinoides*, anche se questi ultimi sembrano potere sopportare temperature superiori, per cui si possono trovare nelle travi dei sottotetti e attaccano soprattutto le latifoglie.

Occasionalmente, in manufatti che siano rimasti per lungo tempo in ambienti umidi o esposti all'aperto, si riscontrano danni sempre molto rilevanti dovuti a *Xestobium rufovillosum*, che usualmente infestano le travature dove infiltrazioni di acqua hanno provocato un degradamento fungino.

Infine analizziamo gli attacchi causati da **lictidi** che sono insetti di piccole dimensioni compresi tra i 3 e i 7 millimetri di lunghezza, di colore da bruno-rossastro a nero, e che non si riscontrano mai negli oggetti di legno antico in quanto le larve non possiedono enzimi adatti all'assimilazione della cellulosa e quindi questi insetti dipendono totalmente dalle sostanze di riserva del legno come amidi e zuccheri, che si degradano con il trascorrere del tempo.

Questi insetti attaccano soprattutto le essenze tropicali quali ad esempio obece, limba, meranti, mentre le latifoglie quali ad esempio quercia, noce, frassino, olmo e pioppo vengono attaccate molto raramente.

Appena si insinua, il lictide si accoppia e depone le uova nelle microscopiche fessure del legno, dopo pochi giorni dalle uova fuoriescono le larve che perforeranno il legno, in particolare l'alburno, fino alla primavera dell'anno seguente, a formare gallerie ricche di rosime che

corrono perlopiù parallele alla fibra del legno fino alla fuoriuscita dell'insetto posto nei pressi della superficie tramite l'ampliamento di una estremità della galleria creata.

Il danno causato dal lictide comune bruno è simile a quello del tarlo, ma distrugge il legno più rapidamente e più a fondo, una volta che l'insetto si è attivato a lavorare, molto spesso è troppo tardi per adottare misure contrastanti.

Il degrado da isotteri

Gli isotteri presenti in Italia sono la termite sotterranea e la termite del legno secco: si tratta di insetti con un'organizzazione complessa e distinta in caste ognuna delle quali con una specifica funzione.

Le **termiti** sono insetti sociali che vivono in colonie molto numerose costituite da tre caste: operaie, soldati e riproduttori.

Le termiti operaie sono sterili, possiedono un colore biancastro e si occupano di tutte le attività relative al funzionamento della colonia, i soldati sono simili alle operaie, ma hanno il capo e le mandibole più sviluppati e sono fortemente sclerotizzati dovendo difendere la colonia dai predatori, infine i riproduttori sono di dimensioni maggiori con una colorazione da giallo-bruno a nero e hanno due paia di ali trasparenti di uguale lunghezza. Il loro ciclo biologico comprende tre stadi: uovo, ninfa e adulto.



Termite

In Italia sono presenti due specie di termiti, *Reticulitermes lucifugus* della famiglia *Rhinotermitidae*, che provoca i maggiori danni al legno in opera, e *Kalotermes flavicollis* della famiglia *Kalotermitidae*.

Le termiti *Reticulitermes lucifugus*, anche dette **termiti sotterranee**, necessitano di un'elevata umidità e di una temperatura moderata e costante per la sopravvivenza e costruiscono il loro nido nel terreno.

La termite sotterranea è la più diffusa ma solo in alcune zone d'Italia, ossia nelle isole, al sud e al centro Italia, come si comprende dal nome predilige le zone sotterranee e prive di luce, attacca il legno raggiungibile direttamente dal terreno tendenzialmente evitando elementi come solai e coperture.

Questa specie scava nel suo ambiente ideale che consiste nel sottosuolo numerose gallerie per raggiungere la superficie e la struttura lignea: se nel percorso tra il nido e la fonte di nutrimento ossia gli elementi lignei deve superare superfici esposte, costruisce con terra e frammenti di legno, gallerie che fungono da camminamenti che mantengono il contatto con il terreno umido e proteggono le termiti dalla luce e dall'aria.

Giunti agli elementi lignei, questi insetti distruggono il legno facendo delle gallerie caratteristiche, parallele alla direzione delle fibre e scavate nella zona primaverile dell'anello annuale dei tronchi, prive di rosime ma ricoperte da escrementi, detriti legnosi e terra compattata.

La superficie del legno su cui lavorano le termiti sotterranee rimane perfettamente integra, per cui è difficile riconoscere un attacco, degrado che può essere individuato solo con l'asportazione dello strato superficiale del legno o con l'osservazione delle eventuali gallerie superficiali presenti nelle zone vicine al legno infestato.

Per quanto riguarda la **termite del legno secco** è meno diffusa e meno dannosa rispetto a quella sotterranea e risulta più facilmente identificabile grazie alle periodiche espulsioni mediante i fori che crea sulla superficie gli escrementi e gli individui morti.

Le *Kaloterмес flavicollis*, dette anche termiti del legno secco, sono raggruppate in colonie di modeste dimensioni e possono creare il proprio nido anche all'interno degli elementi di legno, dove poi si ramificano i percorsi delle gallerie che scavano all'interno delle quali tendenzialmente non si osserva presenza di rosime.

L'attacco da isoteri è di difficile identificazione proprio in quanto non sono presenti fori di sfarfallamento sul legname e ci si accorge dell'attacco spesso quando ormai l'elemento ligneo risulta molto degradato, inoltre le colonie di termiti sono composte da centinaia di migliaia di individui perciò il degrado risulta svilupparsi in maniera molto rapida e quindi risulta poco controllabile.

Le analisi condotte denotano come lo strato **dell'alburno di tutte le specie legnose risulti essere tendenzialmente poco durabile sia nei confronti dei funghi che degli insetti**; i tronchi con strato di alburno sottile, come nel caso del castagno di alcune provenienze, che mostra uno spessore di alburno inferiore al centimetro, una volta squadrati perdono pressoché totalmente l'alburno; il larice, il pino e le querce hanno, al contrario, uno spesso strato di alburno di alcuni centimetri pertanto, una volta squadrati, continuano a conservarne importanti quantità almeno sugli spigoli dell'elemento con la forma quadrata.

Con riferimento al solo durame le specie legnose maggiormente durabili sia nei confronti dei funghi che degli insetti sono le querce, la robinia, il castagno, il larice, mentre le specie moderatamente durabili sono la douglasia e il pino silvestre, infine le specie poco durabili sono l'abete sia rosso che bianco e il pioppo.

È fondamentale che **le possibilità di degrado delle componenti di legno vengano prese in considerazione già in fase di progettazione e perciò la durabilità va progettata ed è parte integrante del progetto, dalla scelta della specie legnosa in funzione dell'ambiente in cui l'elemento verrà messo in opera, all'eventuale trattamento preservante, ai dettagli costruttivi, e alla protezione dall'umidità.**

Classi di rischio di attacco biologico

UNI EN 335 Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno
Definizione delle classi di rischio di attacco biologico

Classe di rischio	Umidità	Distribuzione degli agenti biotici					
		Funghi xilofagi		Funghi da colorazione e muffe	Insetti		Organismi marini
		Basiomiceti	Carie soffice		Coleotteri	Termiti	
1	Umidità sempre ≤ 20%	assente	assente	assente	universalmente presente in Europa	localmente presente	assente
2	Umidità a volte > 20%	universalmente presente in Europa	assente	universalmente presente in Europa	universalmente presente in Europa	localmente presente	assente
3	Umidità frequentemente > 20%	universalmente presente in Europa	assente	universalmente presente in Europa	universalmente presente in Europa	localmente presente	assente
4	Umidità sempre > 20%	universalmente presente in Europa	universalmente presente in Europa	universalmente presente in Europa	universalmente presente in Europa	localmente presente	assente
5	Umidità sempre > 20%	universalmente presente in Europa	universalmente presente in Europa	universalmente presente in Europa	universalmente presente in Europa	localmente presente	universalmente presente in Europa

Classi di rischio di attacco biologico nella UNI EN 335 - rielaborazione degli autori

Il degrado di origine chimica

I difetti e gli attacchi di origine chimica trovano la causa nella presenza di agenti chimici legati ad atmosfere in cui vi sia una presenza massiccia di alcali: i fattori di sviluppo necessari all'innescò di un attacco di origine chimica sono tre elementi che consistono nell'azoto, il pH di un ambiente e l'ossigeno.

La componente dell'azoto merita sicuramente particolare attenzione vista la presenza di questo elemento in quantitativo abbondante nel legno, rappresentando la sostanza necessaria allo sviluppo di funghi, essi si nutrono di azoto per sopravvivere all'interno del legname come sopra esposto lungamente.

Il pH indica la grandezza che misura l'acidità o la basicità di una soluzione in cui si può trovare a contatto l'elemento ligneo, nel tema che si sta trattando: i funghi lignivori trovano condizioni più favorevoli negli ambienti minimamente acidi, piuttosto che in quelli basici come può essere l'acqua salata ad esempio.

Un elemento fondamentale nello sviluppo di un degrado sul legno risulta essere infine l'**ossigeno**, in mancanza del quale la maggior parte dei funghi del legno non potrebbe svilupparsi.

In seguito a tutte queste considerazioni si può giungere alla conclusione che questi agenti chimici, se combinati tra loro, possono portare a risultati molto differenti, e, fermi restando sul concetto che i funghi si possono sviluppare secondo tutte le condizioni e dinamiche già ampiamente analizzate, l'effetto di eliminazione dell'attacco fungino si può attuare secondo la direzione opposta perseguita fino ad ora, ossia tramite un quantitativo di umidità particolarmente abbondante a contatto con un elemento ligneo come potrebbe essere per dei pali lignei immersi completamente in acqua che possono resistere per lungo tempo bagnati grazie alla sola motivazione della completa assenza di ossigeno nell'ambiente acquatico e per i quali infatti il punto critico paradossalmente è rappresentato dalla zona della testa dei pali che si trovano spesso in condizioni di bagnasciuga per le quali non è garantita l'anossia con possibili conseguenti fenomeni di marcescenza. Sicuramente la presenza di ossigeno accelera gli attacchi degli organismi colpevoli di degradare il legno, ma probabilmente l'assenza di ossigeno non rende completamente inattaccabile dal degrado il legno ma il fenomeno può essere ritardato poiché comunque è impossibile eliminare totalmente qualsiasi organismo e batterio

presente nell'acqua in grado di sopravvivere senza ossigeno ma il materiale organico presente in acqua può andare a colmare gli eventuali vuoti che si possono creare a causa degli organismi anaerobi sopperendo alla problematica e garantendo una stabilità e resistenza strutturale al legno per lungo tempo.

7.5. I difetti causati da dissesto e degrado strutturale

Con la definizione di dissesto e degrado strutturale si vogliono comprendere e cercare di analizzare i casi di funzionamento errato o addirittura rottura della struttura non causati da degrado biologico o chimico ma da un carico eccessivo o mal ripartito, da rotture causate dal ritiro e rigonfiamento del legname, errori di progettazione compiuti nelle zone critiche dei giunti oppure tutte quelle possibili carenze presenti in un elemento per lievi o grandi difformità delle caratteristiche del legname che viene utilizzato rispetto alla conformazione attesa, i cosiddetti difetti.



Rottura dell'elemento di trave con funzione strutturale – fonte: Ingegneri e dintorni

Il legno per impiego strutturale viene considerato un materiale a comportamento fragile, in quanto condizionato per l'appunto dalla presenza di difetti, punto in cui si innesca la frattura iniziale che porta al successivo cedimento e al collasso: graficamente si considera un andamento elastico-lineare fino alla rottura del provino di legno strutturale, a differenza di un provino di legno netto e quindi privo di difetti dove invece si evidenzia un comportamento di tipo duttile.

Le fessurazioni da ritiro

Il termine fessura in edilizia indica una condizione dello stato di non completa efficienza di un elemento ed è un segnale di possibili presagi negativi per quanto riguarda la resistenza strutturale, ma nel caso del legno tale fenomeno è da ritenersi del tutto fisiologico in seguito

alla perdita di acqua durante la fase di stagionatura, in particolare in seguito al rilascio di umidità da parte del legno massiccio, tuttavia in alcuni casi di elementi lignei queste fessurazioni ricoprono un problema in quanto divengono strutturalmente intollerabili, ad esempio quando la trave è affetta da fessure su due facce e queste si incontrano dividendo in due la sezione oppure quando queste passano lo spigolo determinando una vera e propria rottura dell'elemento di legno.

Generalmente quindi la formazione di crepe nel legno massiccio non è un fenomeno che mette a rischio la struttura lignea, ovvero la capacità portante dell'elemento non si riduce fino a giungere al punto da rendere pericolante o addirittura inagibile la struttura; ciò resta valido fino al momento in cui si ha a che fare solo con crepe da ritiro, ossia quelle crepe non causate dal raggiungimento della portata limite, riconoscibili per il loro posizionamento comunque sempre sulla stessa faccia dell'elemento lungo il loro sviluppo longitudinale.

Le fessurazioni nel legno sono originate dal ritiro dimensionale del materiale, ritiro che tendenzialmente risulta essere maggiore nella direzione tangenziale rispetto a quella radiale dei tronchi.

La presenza di fessurazioni è indice del fatto che il legno abbia subito almeno una parziale stagionatura, infatti la manifestazione delle fessurazioni da ritiro del legno avviene quando l'umidità dell'elemento ligneo diminuisce sotto il valore del 30% che rappresenta il punto di saturazione delle fibre.

Durante la fase della stagionatura del legname si sviluppano alcune tensioni all'interno del legno che portano all'apertura di fessurazioni valutabili attraverso la direzione radiale e longitudinale: le fessurazioni osservabili in



Trave soggetta a fessurazione dovuta al ritiro – fonte: Ingegneri.info

direzione radiale partono dal midollo e sono tanto maggiori quanto più ci si discosta da esso con sezione a V ampia verso la corteccia e chiusa verso il midollo, mentre l'andamento longitudinale delle fessurazioni da ritiro fornisce un'indicazione precisa dell'inclinazione della fibratura poiché le fessure da ritiro seguono la fibratura, definita come l'orientazione generale delle cellule, che pertanto ne denunciano l'inclinazione rispetto all'asse della trave.

Essendo il ritiro in direzione tangenziale maggiore rispetto a quello in direzione radiale del tronco, alla perdita di umidità corrisponde una distorsione della sezione ed una diminuzione del diametro del tronco, si formano così le fessure da ritiro, in particolare una fessura principale ampia che si estende lungo tutta la lunghezza del tronco che va dal centro del tronco, ossia dal midollo, fino a giungere alla corteccia ed eventualmente altre fessure secondarie di ampiezza limitata: maggiore è la deviazione della fibratura e quindi della fessura da ritiro minore sarà la resistenza meccanica dell'elemento.

Le travi che possono essere utilizzate negli edifici si differenziano in travi con il cuore del tronco con un più alto rischio di creazione di fessurazioni come analizzato precedentemente tramite la possibile formazione di spaccature causate da ritiro, oppure travi a cuore spaccato se vengono ricavate dalla metà di un tronco, ed infine travi senza cuore o travi fuori cuore in totale assenza del midollo del tronco: le ultime due tipologie permettono un più rapido allontanamento dell'acqua di costituzione e una minore formazione di spaccature causate dal ritiro del legno per l'eventuale presenza residua di umidità, ovviamente a spese della resistenza infatti soprattutto le travi fuori cuore hanno una minore resistenza a causa dell'interruzione delle fibre con la creazione di una discontinuità che fa in modo che anche solo inclinazioni della fibratura del 10% siano sufficienti per innescare la rottura, a differenza delle travi con cuore senza discontinuità delle fibre che possono raggiungere inclinazioni del 20% prima di giungere a rottura; solo le sezioni ricavate senza includere il centro del tronco, ossia le travi fuori cuore, non portano quindi ai presupposti per la formazione di fessurazioni principali da ritiro, eventualmente possono subire solo una distorsione ed eventualmente fessure secondarie.

Nonostante il legname venga commercializzato, e quindi messo in opera, quasi sempre fresco e non ancora stagionato a causa dei minori costi che porta all'azienda, la scelta ideale per evitare problematiche inerenti la presenza di fessurazioni sarebbe quella di acquistare e mettere in opera legno già ben stagionato che mostri già le fessure ben evidenti, cosicché non possano

emergere problemi causati dalla diminuzione di sezione del legno, dalla distorsione e dalla fessurazione in opera che potrebbero portare ad una grave instabilità strutturale.

Nelle regole di classificazione generalmente comunque vengono fissati dei limiti di profondità delle fessure per le varie classi di appartenenza del legname.

La delaminazione

La delaminazione del legno è una problematica insita soprattutto negli elementi di legno lamellare incollato siccome la causa di questo difetto è da ricercarsi in particolare negli ambienti alternativamente umidi e secchi e nelle variazioni di umidità che provocano ritiri e rigonfiamenti nella sezione del materiale ligneo spesso non uniformi, essi avvengono principalmente in direzione ortogonale alla fibratura, mentre sono praticamente trascurabili in direzione parallela.



Effetto di delaminazione in un elemento di trave – fonte: Doc Player

A causa dei gradienti di umidità la zona più periferica della sezione lignea subisce tensioni con ritiri e problemi legati alla trazione ortogonale delle fibre del legno con lo sfociare delle problematiche in spaccature della sezione nelle zone dei giunti incollati, oltre a possibili fessurazioni passanti.

I nodi

La resistenza meccanica del legno, oltre che per le due cause principalmente collegate ad una variazione di umidità della fessurazione da ritiro e della delaminazione, può subire una considerevole riduzione in occasione della presenza dei nodi.



Struttura lignea di copertura con nodi ben in vista – Doc Player

I nodi del legno rappresentano la parte del ramo che si raccorda al fusto e che vi rimane all'interno durante la crescita dell'albero: si tratta di un difetto inevitabile che costituisce una delle principali cause di discontinuità del materiale.

La presenza di nodi all'interno di un elemento strutturale è quindi fisiologica ed i nodi hanno una duplice valenza poiché solo alcuni tipi di nodi o raggruppamenti di nodi sono effettivamente pericolosi per la stabilità dell'elemento: dal punto di vista strutturale la loro presenza può aumentare la resistenza del legno nel caso si trovino in zona compressa, oppure diminuirla quando si trovano invece in zona tesa con una forte inclinazione della fibratura.

Oltre alla loro posizione e alle modalità di applicazione delle sollecitazioni, ulteriori distinzioni dei nodi del legno vanno condotte in base soprattutto al tipo, alla numerosità, e alle dimensioni anche in rapporto alla sezione dell'elemento di legno: gli elementi lignei provenienti da conifere sono ricchi di nodi di piccolo diametro, a differenza delle latifoglie dove sono presenti meno nodi ma di elevato diametro.

Le norme tecniche prevedono metodi di misurazione e classificazione dei nodi in base al diametro, al numero e alla loro posizione per valutarne la riduzione di resistenza dell'elemento: nel caso di legno strutturale i nodi con diametro inferiore ai 5 millimetri vengono ritenuti ininfluenti sulla resistenza meccanica.

I nodi, inoltre, possono influenzare anche la lavorabilità, l'essiccazione e le possibilità di incollaggio del legno: le caratteristiche dei nodi costituiscono quindi un importante criterio di riferimento per la classificazione dei segati, sia in funzione della loro resistenza che del loro impiego nel settore della falegnameria.

I nodi si possono classificare secondo nodi sani ed aderenti che corrispondono ai rami vivi al momento di abbattimento della pianta, essi sono completamente aderenti al legno del tronco, presentano una colorazione più scura e con l'essiccazione il legno del nodo subisce un maggior ritiro e tende a formare fessure a zampa di gallina, oppure esistono i nodi cadenti che corrispondono ai monconi di rami rotti che vengono inglobati dall'accrescimento del tronco, in questo tipo di nodi i tessuti dei rami sono separati da quelli del tronco della corteccia morta, essi vengono detti cadenti in quanto, per effetto del ritiro, il nodo diminuisce di volume e non essendo solidale con il tessuto del tronco tende a sfilarsi e a cadere, infine ci sono i nodi morti o nodi neri consistenti in quei nodi formati in seguito alla caduta naturale di un ramo che, privo della protezione della corteccia, si presta facilmente all'attacco di funghi e batteri cromatogeni che ne alterano il colore rendendo il nodo scuro.

Risulta fondamentale mettere in evidenza che la presenza di nodi di notevole dimensione rispetto alla sezione del prodotto ligneo o l'esistenza di gruppi di nodi particolarmente fitti e localizzati in un punto specifico possono portare a riduzioni di resistenza significative con un comportamento a rottura del legno di tipo fragile.

I rimargini o le cicatrizzazioni e le inclusioni di corteccia

L'albero in generale reagisce ad una lesione formando una massa di cellule denominate callo cicatriziale grazie al quale, gradualmente ed in base alla sua estensione, il taglio viene rimarginato e ricostituito.

Una lesione su un tronco causata sulla superficie esterna può anche determinare la produzione di sacche e canali traumatici che possono essere resiniferi nel legno di conifere, oppure gommiferi nel legno di latifoglie.

I rimargini e le cicatrizzazioni avvengono durante il processo di sutura del taglio, fase in cui anche alcune porzioni di corteccia possono essere inglobate nel legno determinando le inclusioni di corteccia, fenomeno che si può avere anche in corrispondenza di una biforcazione dell'asse principale e di un concrescimento di due o più rami o fusti.

Tali zone sono spesso considerate come difetti del legno in quanto presentano una struttura del legno meccanicamente più debole e possono dare origine alla successiva formazione di cipollature.

Le cipollature

La cipollatura del legno indica una separazione o un distacco che segue l'andamento di uno o più anelli di accrescimento tra i tessuti legnosi: questo difetto segue la fibratura di due anelli annuali di accrescimento e spesso è già presente sugli alberi in piedi, ma può progredire ulteriormente dopo l'abbattimento e la stagionatura in seguito allo sviluppo di tensioni interne al tronco date da ritiri e rigonfiamenti del legname.

Le cipollature si possono verificare all'interno di anelli particolarmente ampi o in coincidenza di un'improvvisa variazione di ampiezza tra due anelli contigui, esse sono classificate secondo cipollature complete o parziali, singole o multiple.

Per quanto riguarda le specie utilizzate normalmente in edilizia questo difetto si riscontra soprattutto in alcune specie legnose come nel legno di castagno, ed in misura minore nell'abete bianco, nel larice e in alcune specie di eucalipto.

Questa discontinuità tangenziale del tessuto legnoso per un tratto più o meno lungo del fusto si può verificare con più frequenza sotto forma di cipollatura parziale a mezza luna oppure completa ad anello.



Cipollatura in un tronco – fonte: Cicpnd

Spesso il difetto si manifesta solo dopo la stagionatura, e ha come conseguenze una forte riduzione delle caratteristiche meccaniche in funzione del diametro e dell'eccentricità della cipollatura e una perdita di lavorabilità del pezzo.

La normativa che un tempo non ammetteva questo difetto, oggi prevede severi limiti di ammissibilità.

Il midollo

Il midollo corrisponde al segno che lascia la gemma apicale dell'albero all'interno del tronco: esso costituisce un difetto nel momento in cui l'elemento ligneo deve essere impiegato trasformato in semilavorato perché può portare ad una riduzione della resistenza meccanica dell'elemento a causa della diversità cellulare e della composizione chimica del tessuto midollare, spesso luogo di concentrazione di nodi, rispetto al legname che lo circonda, anche se come analizzato prima la segazione di un tronco può includere od escludere la presenza del midollo.

Le colorazioni anomale

Le colorazioni anomale del legno possono avere varia origine, esse possono essere dovute ad attacchi parassitari, a ferite, o essere associate a legno di reazione, ma non ricoprono un interesse particolare per quanto concerne la riduzione della resistenza meccanica.

Alcuni esempi sono di colorazioni anomale possono riguardare le inclusioni di alborno nel durame del legno di larice, abete rosso, douglasia, rovere ed eucalipto, molto frequenti sono il cuore rosso del faggio, il cuore bruno del frassino, il cuore verde dei pioppi, la vena verde del ciliegio e la vena nera del noce.

Gli smussi

Gli smussi sono costituiti da superfici arrotondate che fungono da raccordo di due facce di un elemento ligneo e quindi rappresentano una riduzione della sezione in un segato ricavato nella parte periferica del tronco.

In alcuni assortimenti per uso strutturale, gli smussi vengono tollerati e spesso ne costituiscono una particolarità estetica, essi necessitano di particolari accorgimenti solo nel caso di unione con altri elementi strutturali.

La fibratura deviata

Si definisce inclinazione della fibratura l'orientamento longitudinale delle cellule dei tessuti legnosi rispetto all'asse principale del fusto, l'inclinazione della fibratura risulta deviata se avviene una deviazione della direzione delle fibre rispetto all'asse longitudinale del tronco o della trave: l'angolo di inclinazione non è comunque quasi mai fisso, al contrario può essere molto variabile, da pochi gradi fino ai 90° in alcuni casi eccezionali. In alcuni casi i valori sono così elevati da diventare una fibratura elicoidale, un tipo di difetto che non può essere in nessun caso accettato in cantiere.

La fibratura inclinata è un difetto che in molte specie legnose può presentare anche a deviazioni localizzate, molto riscontrabile sia del legno di conifere che di latifoglie.

Il dato di ampiezza media degli anelli di accrescimento indica un valore qualitativo del tipo di accrescimento che ha avuto la pianta: anelli fitti corrispondono a condizioni climatiche particolarmente rigide e ad un accrescimento lento che produce un tronco generalmente molto robusto, con caratteristiche meccaniche molto buone, mentre anelli radi corrispondono a condizioni di vita più favorevoli con accrescimenti maggiori e caratteristiche meccaniche meno prestazionali.

La fibratura inclinata può avere conseguenze anche rilevanti sulle possibilità d'impiego del legno: la resistenza meccanica può subire una considerevole riduzione in funzione del valore dell'angolo di inclinazione e del tipo di sollecitazione che incide sull'elemento oggetto di fibratura deviata, oltretutto questo difetto porta ad una capacità inferiore dell'elemento ligneo di assorbire gli urti: c'è una proporzionalità diretta tra deviazione e riduzione delle capacità meccaniche, quindi tanto maggiore è la deviazione dall'asse principale, tanto maggiore è il decadimento delle prestazioni.

Il legno di reazione

Questo difetto può formarsi sia nel legno di conifera, comunemente come legno di compressione che si configura nella parte inferiore di un fusto inclinato che viene compressa, che in quello di latifolia come legno di tensione nella parte superiore di un fusto inclinato che viene teso: il legno di reazione viene quindi a formarsi come fenomeno di annullamento degli effetti di una forza esterna che agisce sollecitando il fusto.

Le deformazioni differite

Le deformazioni sono variazioni della forma geometrica di un elemento rispetto a quella di una sagoma prismatica e si rivelano durante la fase di stagionatura del legname, in conseguenza di fibratura deviata oppure per la presenza di legno di reazione, grave problematica nel caso in cui si abbia una eccessiva deformazione degli elementi; esistono comunque deformazioni del legno che, entro i limiti normati, vengono considerati conseguenze al normale comportamento del legno, ma dei quali bisogna sempre tenere conto.

Possibili deformazioni sono l'**imbarcamento** che consiste nella curvatura della tavola attorno al suo asse longitudinale dovuta alla anisotropia dei ritiri trasversali del legno oppure nel caso ci sia una faccia dell'elemento più umida dell'altra, l'**arcatura** è la curvatura della tavola attorno ad un suo asse trasversale dovuta alla presenza di legno di reazione su una faccia, a tensioni interne per l'accrescimento di anelli non omogenei oppure ad uno stagionamento in cataste non eseguite correttamente. Altre deformazioni sono la **falcatura** che consiste nella rotazione lungo l'asse trasversale ed è dovuta a tensioni interne di accrescimento, alla presenza di legno di reazione sul bordo oppure perché il segato proviene da un tronco curvo, e infine lo **svergolamento** che rappresenta un movimento di torsione lungo l'asse principale e trova tra le sue cause principali le tensioni interne di accrescimento, la provenienza da un tronco curvo oppure con fibratura elicoidale.

Queste deformazioni sono ritenute fisiologiche nel legname ma devono comunque essere prese sempre in considerazione durante la fase di classificazione a vista dei segati, possono essere eseguite misurazioni a seconda delle entità delle deformazioni, per classificare ogni singolo elemento diversamente nella maniera più opportuna.

Tali deformazioni, per carichi di breve durata, sono reversibili, mentre per carichi di maggiore durata le deformazioni possono divenire permanenti soprattutto nel caso di forti sollecitazioni o con dimensionamenti degli elementi inadeguati.

8. LE TECNICHE DI INDIVIDUAZIONE DELLE PROBLEMATICHE DEL LEGNO

Una buona diagnosi è indispensabile per la conseguente azione terapeutica; è fondamentale intervenire sul manufatto ligneo conoscendo le cause e le modalità che hanno portato o che stanno portando la struttura fuori prima di poter predisporre l'azione terapeutica adeguata a ciascun manufatto edilizio.

Per una corretta diagnosi su ciascun prodotto ligneo risulta importante che questo sia accessibile e ben visibile per essere analizzato al meglio in ogni sua parte: spesso alcune parti dell'elemento ligneo potrebbero non risultare accessibili o facilmente ispezionabili, come ad esempio le facce superiori delle travi di un solaio oppure casi di intere strutture lignee celate da tramezzi o controsoffitti.

Prima di ogni intervento di analisi per una individuazione delle problematiche del legno è anche indispensabile un'accurata pulizia delle superfici lignee eseguita solitamente mediante l'utilizzo di semplici spazzole e nei casi peggiori vengono spesso impiegate sabbiatrici.

8.1. La classificazione visiva

Un accurato esame visivo della struttura è indispensabile e molto spesso sufficiente ai fini diagnostici ancora prima della sua pulizia per rilevare eventuali tracce di rousse, attacchi fungini e punti di condensa o ristagno di acqua.

La classificazione visiva risulta essere il principale e primissimo metodo di indagine da impiegare che si basa sull'osservazione diretta e ravvicinata dell'elemento ligneo allo scopo di rilevare tutti quei segni corrispondenti a difetti, anomalie e degrado biologico con l'impiego di strumenti semplici come un martello, un cacciavite, un succhiello e un metro.

Durante l'analisi di una struttura lignea, ai fini di valutarne le reali problematiche, è importante esaminare ogni zona dell'elemento ligneo perché ad esempio una trave che a prima vista potrebbe sembrare sana, può invece nascondere all'estradosso oppure alle sue estremità nelle travi incastrate nel muro una parte degradata, quindi particolare attenzione nell'analisi va posta

nei punti analizzati durante la trattazione che risultano essere maggiormente deboli e critici come i punti di mancato ricircolo dell'aria o di possibile accumulo di umidità.

Oltre ad un'accurata indagine visiva risulta molto importante ascoltare la risposta del legno alla percussione: una semplice percussione con un martello può dare un indice della consistenza del legno preso in esame, il rimbalzo del martello accompagnato da un suono chiaro indica un'elevata consistenza del legno, viceversa un suono sordo è indice di scarsa consistenza.

I vantaggi della classificazione visiva risiedono nelle prescrizioni e nelle regole di classificazione semplici e facili da mettere in pratica, la loro applicazione può avvenire senza l'ausilio di apparecchiature specifiche, e in caso di esecuzione precisa e coscienziosa, in relazione all'impiego delle risorse necessarie, si possono ottenere già decisamente buoni risultati arrivando a sufficienti garanzie di affidabilità ed efficienza dell'analisi.

Gli svantaggi della classificazione visiva sono d'altro canto che la classificazione è soltanto parzialmente riproducibile in quanto spesso il giudizio soggettivo del personale preposto alle analisi gioca il ruolo decisivo nella valutazione del degrado con un risultato finale che può essere influenzato anche dalle condizioni di lavoro e dalla concentrazione del personale, spesso numericamente elevato, preposto alla classificazione, le regole di classificazione piuttosto semplici non permettono di tener conto di tutti gli effetti e di tutti i parametri di classificazione e il criterio di giudizio della classificazione con esito peggiore determina la classificazione del legno preso come elemento di analisi.

8.2. La classificazione meccanica

La classificazione meccanica permette di considerare anche criteri non analizzabili in modo visivo, quali, ad esempio, la densità del materiale o il valore del modulo di elasticità E, forse il criterio meccanico classificabile più importante siccome ha la correlazione più marcata con la valutazione della resistenza. In questo caso, i criteri di classificazione vengono infatti riconosciuti e analizzati da un'apparecchiatura automatizzata, senza ovviamente danneggiare in alcun modo il materiale.

I vantaggi della classificazione meccanica sono che, a causa della suddivisione più efficiente e precisa e soprattutto secondo una metodologia documentata e ripetibile del materiale nelle classi di resistenza, si ottiene come risultato un coefficiente con una varianza di margine di errore inferiore rispetto ad una classificazione visiva.

Gli svantaggi della classificazione meccanica sono i costi più elevati necessari per compiere le analisi con l'acquisto, la messa in esercizio, l'omologazione e i controlli di un impianto di classificazione meccanica.

I sistemi di classificazione meccanica usati più frequentemente in Europa sono la misura del modulo di elasticità, ossia la misura tramite flessione o modulo E statico, la misura di parametri relativi alla propagazione di onde o vibrazioni e i metodi basati sui raggi X secondo il principio delle radiografie.

8.3. L'analisi dei difetti e dei degradi

Per l'analisi dei difetti del legno, al fine di un esame accurato ed adeguato del legname, sono in genere sufficienti una buona analisi visiva come analizzato con il supporto di pochi strumenti anche di facile reperibilità e non molto ingombranti, accompagnati però da una grande esperienza nel settore e una buona capacità di valutazione critica da parte dell'operatore che esegue la diagnosi, eventualmente poi supportati da supporti meccanici.

L'identificazione della specie legnosa dalla quale dipendono tutte le caratteristiche del legno viene effettuata mediante la duplice osservazione a livello macroscopico e microscopico dell'elemento: per condurre l'analisi microscopica del legno è sufficiente un provino di un cm di lato o anche meno, purché non sia degradato biologicamente.

Soprattutto per il legno di conifere il riconoscimento della specie è più immediato e può avvenire tramite l'osservazione dei nodi che sono ben visibili ad occhio nudo valutando ai fini della resistenza la loro grandezza di diametro e la loro posizione vicino al bordo o a metà spessore dell'elemento, l'inclinazione delle fibre, la profondità e la direzione delle fessurazioni da ritiro che possono essere esaminate con l'ausilio di una lamina d'acciaio o con la punta piatta di un cacciavite nel caso di fessure più ampie e, al variare dell'inclinazione che la lamina percorre

rispetto alla superficie, si possono distinguere sia le fessure radiali che puntano al midollo con direzione perpendicolare alla superficie, sia le cipollature assai più gravi con direzione tangente alla superficie, è valutabile poi l'ampiezza degli anelli di accrescimento e gli smussi: il principio della classificazione visiva si basa sul fatto che esiste una correlazione, più o meno buona, tra i singoli criteri riconoscibili visivamente, per esempio la grandezza dei nodi e le caratteristiche meccaniche del materiale.

Abbiamo presentato lungamente come il problema di una durabilità limitata sia opera principalmente di funghi, per i quali è fin da subito analizzare le zone più esposte all'umidità, ed insetti, e la cui valutazione del degrado può essere condotta tramite una semplice punta metallica che fornirà una indicazione circa la compattezza valutando l'eventuale rottura del legno in seguito alla sollecitazione esercitata.

La rivelazione della presenza di insetti può inoltre essere eseguita cercando tracce di larve e insetti vivi, attraverso l'osservazione dei fori di sfarfallamento e l'ascolto dei rumori caratteristici provenienti dall'interno dell'elemento ligneo: la dimensione, la forma e il numero dei fori, la presenza e il tipo di rosime, sono gli aspetti dei quali tenere conto per identificare il tipo di insetto che ha infestato il legno in esame al fine di una valutazione dell'integrità generale del legno tra le gallerie degli insetti e comprendere se si è di fronte eventualmente ad un elemento di legno moderatamente attaccato considerabile ancora collaborante ai fini strutturali.

Le forature e i carotaggi

Per l'analisi degli strati sottostanti la superficie e quindi non direttamente analizzabili, vengono praticati dei fori con trapani elettrici che dapprima forniscono un indice della consistenza del legno in base alla difficoltà di perforazione del legno: solitamente i diametri dei fori utilizzati per le ispezioni più in profondità del legname hanno dimensioni variabili dai cinque millimetri nel caso di punte sottili fino ai venti o trenta millimetri nel caso dei cosiddetti carotaggi.

Occorre prestare molta attenzione durante queste fasi di intervento poiché un numero esageratamente elevato di fori o la posizione inopportuna del foro possono danneggiare

l'elemento più degli eventuali attacchi o alterazioni da mettere in evidenza pertanto è necessario ridurre al minimo questi fori e ne caso in cui si voglia analizzare il legno alle varie profondità si procede con un carotaggio in genere con foro a 90° rispetto alla fibratura del legno, eseguibile a mano con punte carotatrici applicate a trapani elettrici o tramite la trivella di Pressler.



Sistema di microcarotaggio: prelievo di piccole carote da elementi strutturali in legno – fonte: StrumentiForestali



Trivella di Pressler – fonte: StrumentiForestali

I campioni che vengono prelevati sono poi in seguito analizzati per la determinazione della specie legnosa ed individuare l'eventuale presenza di attacchi biotici e, se sufficientemente grandi e esenti da degrado, le carote estratte vengono anche sfruttate al fine della determinazione della massa volumica e la resistenza meccanica.

I misuratori elettrici di umidità o igrometri

Si è sicuramente compresa l'importanza dell'identificazione della specie legnosa e della misurazione della percentuale di umidità, fattore che gioca il fondamentale ruolo nella determinazione dello stato di conservazione del legno e la predisposizione ad attacchi degradanti o la presenza di potenziali processi già in atto.

Gli igrometri da legno o misuratori elettrici a resistenza sono quegli strumenti utili alla misurazione per l'appunto dell'umidità il cui funzionamento si basa sulla correlazione che lega

l'umidità del legno alla sua resistenza al passaggio della corrente elettrica, siccome il legno allo stato anidro è un pessimo conduttore viene misurata la resistenza elettrica che aumenta al diminuire dell'umidità, essi sono composti da una centralina elettronica con un display e di due punte che penetrano il legno in profondità in modo da poter misurare l'umidità interna o esterna all'elemento ligneo: le due punte di varia dimensione consistono in un polo negativo e uno positivo che a contatto con l'umidità ne misurano la resistività elettrica quantificata dalla centralina elettronica che fornisce il risultato in valori percentuali sul display.



Strumento igrometro in azione – fonte: StrumentiForestali

In base alla quantità d'acqua rilevata tramite queste misurazioni è possibile stabilire quali siano le condizioni idrometriche del legno esaminato e se l'ambiente possa essere eventualmente favorevole alla formazione di muffe e funghi con sviluppo di organismi portatori di limitata durabilità.

Come già trattato, un legno in opera in buono stato di conservazione ricordiamo che idealmente dovrebbe contenere una quantità d'acqua attorno al 12%, fino a valori che rimangono inferiori al 20%.

Il trapano dinamometrico

Il trapano dinamometrico è uno strumento il cui funzionamento si basa sulla misurazione della resistenza opposta dal legno alla perforazione di un trapano con punta di diametro fino a tre millimetri tramite il rilevamento della potenza assorbita dal motore per mantenere costanti i regimi di rotazione e la velocità di avanzamento con una restituzione grafica finale di un profilo indicante la resistenza e la profondità di penetrazione del trapano, dato che permette di localizzare e rilevare in termini dimensionali con esattezza un eventuale danno, cavità o difetto riscontrato all'interno dell'elemento.

Il vantaggio di questa tecnica risiede nella possibilità di andare a sondare zone nascoste dove potrebbero esserci danni, non creandone di particolari ulteriori con l'intervento grazie allo spessore ridotto del diametro della punta del trapano dinamometrico.

Il trapano dinamometrico è uno degli strumenti più utilizzati nella diagnosi delle grandi strutture lignee proprio perché consente, con qualche accorgimento, di lavorare anche su elementi in opera in condizioni di completa sicurezza.

Le altre tipologie di analisi che possono essere effettuate sono molteplici, dalle prove di carico, alle prove soniche e ultrasoniche, alle vibrazioni libere e forzate, fino alle radiografie, il cui impiego è però da considerarsi al di fuori di un'ordinaria ispezione e diagnosi, si considerano più come ulteriori prove a corredo delle tecniche descritte in precedenza.

Le prove di carico effettivo

Attraverso le prove di carico effettivo gli elementi di legno segato vengono sottoposti ad una sollecitazione definita detta carico effettivo: in caso dell'assenza di rottura dell'elemento sotto l'azione di questo carico, l'elemento ligneo viene catalogato ed esso viene assegnato ad una determinata classe di resistenza e può essere utilizzato come elemento strutturale.

Le prove di carico per la misura del modulo E statico

La prova di carico per il calcolo del modulo elastico consiste nella misurazione della deformazione elastica che l'elemento ligneo subisce in seguito all'applicazione di un carico noto assegnato, al fine di ricavare il modulo di elasticità E dell'elemento preso in esame.

La prova si svolge con il passaggio del materiale ligneo da classificare attraverso una serie di rulli che ne costringono la flessione e le forze e gli spostamenti da valutare vengono determinati a mezzo di sensori appositi con l'obiettivo finale di determinare in modo numerico il modulo di elasticità E: la prova presenta un limite nel momento in cui la trave o l'elemento da analizzare non si può sempre svincolare rispetto alle strutture circostanti.

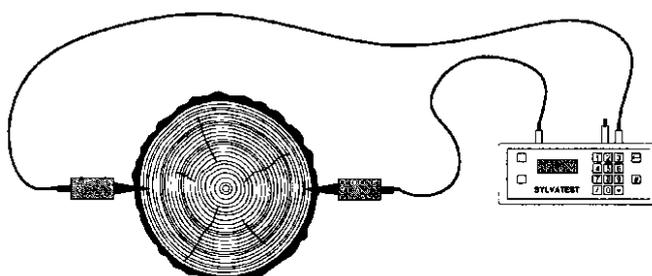
L'assegnazione dell'elemento ad una classe di resistenza avviene sulla base del valore del modulo elastico E più piccolo misurato, e il metodo è impiegato essenzialmente per la classificazione di tavole e di lamelle per la produzione di legno lamellare incollato.

Le prove per propagazione di onde

Le prove per propagazione di onde si basano su sistemi che mirano alla determinazione del modulo di elasticità dinamico determinabile mediante la misura della velocità di propagazione di un'onda sonora ad ultrasuoni a bassa frequenza nel legno grazie all'applicazione ad una estremità della trave di un emettitore di ultrasuoni e all'altra estremità un ricevitore, oppure mediante la determinazione della frequenza propria di vibrazione dell'elemento di legno segato provocata da un impulso meccanico.



Apparecchio Sylvatest appartenente alla ditta Cableries & Trefileries



Schema del funzionamento di un sistema a propagazione di onde e strumentazione in funzione su un tronco appena tagliato

I vantaggi di questo sistema risiedono principalmente nei costi relativamente ridotti dell'apparecchiatura e nella semplicità della sua applicazione possibile su una vasta gamma di prodotti di dimensioni diverse, dalle tavole al legno segato di grandi sezioni agli alberi non ancora abbattuti.

Le prescrizioni che regolano la classificazione meccanica del legno strutturale secondo la resistenza pretendono la definizione di una sezione più debole nella valutazione quindi un sistema basato unicamente su questo metodo non potrebbe ottenere l'omologazione, motivo per cui tutte le applicazioni pratiche di questo metodo si basano sulla sua combinazione con la misura di altri parametri come ad esempio una fotocamera.

Le prove basate sull'emissione di raggi

Le prove basate sull'emissione di raggi si utilizzano nel caso della determinazione della densità del legname, i cui provini vengono attraversati da raggi gamma a bassa energia e la misurazione avviene grazie alla presenza di una sorgente emettente e di un ricevitore: durante il percorso i raggi sono sottoposti ad un indebolimento della loro potenza proporzionalmente alla massa dell'elemento.



Prova basata su emissione di raggi per misurare la densità di provini di legname – fonte: Wtp.hoechsmann

Questo metodo di analisi viene utilizzato particolarmente nel caso della classificazione meccanica per il riconoscimento dei nodi del legno che presenteranno una densità maggiore, oppure variazioni nella crescita del tronco come nel caso del legno di reazione.

9. LA PROTEZIONE DEL LEGNO

Per assicurare la durabilità del legno i fattori principali da controllare sono la condizione di temperatura e di umidità del legno e i possibili effetti di agenti esterni quali acqua, luce solare e agenti chimici, rispetto ai quali il legno deve essere protetto e ben areato: la soluzione per una durabilità prolungata è solo in parte dipendente dalla tecnologia, infatti parte del tema legato alla durabilità del legno è subordinato alla progettazione, all'architettura dell'edificio e al totale controllo della costruzione.

Oltre alle cause derivanti da attacchi biologici o chimici, le cause di degrado sono da ricercare negli **errori di progettazione** intesi non solo come errori strutturali, ma anche come errori di progettazione dei dettagli e degli elementi di architettura tecnica e nella **mancata conoscenza del comportamento del materiale** da parte del progettista.

La pioggia, il sole e il vento sono solo in parte i fenomeni ambientali che possono provocare problematiche al legno come deformazione, rigonfiamento e variazioni visive superficiali negli elementi lignei nelle zone più esposte a questi fenomeni poiché si è visto come il legno sia un materiale di origine biologica e vivo che dilata per effetto dell'umidità e ritira per la conseguente essiccazione che provoca vere e proprie spaccature, risultando lampante l'importanza della protezione della struttura da qualsiasi possibile infiltrazione d'acqua: una delle principali misure di protezione infatti è il **controllo dell'umidità**, che in un elemento ligneo va mantenuta costantemente ad un valore inferiore al 20% perché non si possa avere la formazione di funghi.

Una delle prime forme di protezione dell'edificio è quindi la considerazione di tutte le possibilità di apporto di umidità al legno, con un alto controllo del legname durante tutte le fasi di lavorazione, dallo stato di stagionatura al momento della messa in opera, alla prevenzione da infiltrazioni di acqua piovana, fino ad una progettazione ed esecuzione di dettagli costruttivi in modo da evitare l'ingresso e il ristagno di acqua evitando che si possa formare il fenomeno della condensa con accortezze riguardanti materiali traspiranti, abolendo così il rischio di proliferazione di agenti patogeni quali funghi e muffe.

La differente durabilità e resistenza del legno varia in dipendenza all'essenza legnosa con una possibilità di attacco da parte di insetti più ridotta nel caso di larice, quercia e pino, oltre che

da alcuni accorgimenti costruttivi di protezione, ma anche, spesso, da agenti con i quali il legno viene imbibito o ricoperto ai fini di preservarlo trattandolo con oli o cere naturali che facciano in modo che l'eventuale umidità con cui è venuto a contatto il legno possa essere nuovamente ceduta all'ambiente, anche se in alcuni casi non assolvono completamente alla funzione di impedimento dell'assorbimento di acqua da parte del legno, oppure otturando pori e fessure con appositi stucchi: questi prodotti hanno funzioni differenti e, a seconda della tipologia, possono ridurre la velocità di assorbimento di acqua, hanno funzione di insetticidi o fungicidi, possono evitare l'ingrigimento o lo scurimento del legno spesso necessitando di una minima manutenzione nel tempo.

Trattamenti e protettivi del legno

Trattamenti	Descrizione
Preservazione	Trattamento con antisettici, preventivo o curativo, atto a proteggere il legno da danni di origine biologica
Impregnazione	Trattamento che prevede l'introduzione nel legno di sostanze atte a raggiungere il fine voluto
Impregnazione in superficie	Trattamento che interessa gli strati più esterni del legno
Impregnazione in profondità	Trattamento che interessa anche gli strati profondi del legni
Impregnazione ad assorbimento forzato	Trattamento nel quale l'assorbimento avviene a seguito di modifiche delle condizioni ambientali (pressione, temperatura)
Ignifugazione	Trattamento atto a migliorare la reazione al fuoco del legno
Trattamento idrorepellente	Trattamento atto a ridurre l'assorbimento di umidità da parte del legno
Vaporizzazione	Trattamento con vapore acqueo atto a conseguire determinati effetti (variazioni di colore, lavorabilità, comportamneto plastico, asportazione di sostanze)
Essiccazione	Trattamento naturale o artificiale atto a ridurre l'umidità del legno

Elaborazione degli autori di uno schema riepilogativo dei principali trattamenti e soluzioni a protezione del legno

Queste soluzioni di protezione, alcune delle quali verranno approfondite e altre verranno aggiunte nel corso della trattazione, possono essere un supporto alla durabilità, e in alcuni casi la soluzione al problema, ma la protezione del legno da costruzione avviene anche in gran parte da alcuni accorgimenti costruttivi: innanzitutto bisognerebbe fare in modo che il legno non venga a contatto con il terreno o superfici umide e che non sia esposto alla pioggia, o che comunque sia abbastanza ventilato in maniera tale da garantirgli una rapida ed efficiente asciugatura, il legno andrebbe sottoposto ad una buona essiccazione e stagionatura prima che venga messo in opera ed andrebbe esposto agli agenti atmosferici dal lato con meno

fessurazioni con una posa che metta l'elemento ligneo nelle condizioni di avere una minima inclinazione per impedire il ristagno dell'acqua. Gli elementi in legno possono essere riparati grazie ad altre parti della costruzione, come gli sporti del tetto o tramite elementi appositi, anche previsti e concepiti con questo scopo come gli elementi di sacrificio, oppure gocciolatoi, scossaline e guaine.

Un edificio in legno può garantire comfort abitativo, sicurezza, protezione e benessere agli occupanti a condizione che la struttura sia progettata con un pensiero rivolto alla durabilità dell'edificio tramite una buona realizzazione del manufatto e nel rispetto della normativa.

9.1. La protezione attiva

La protezione attiva del legno è ottenuta per mezzo di sostanze quali impregnanti, oli, cere o fungicidi capaci di proteggere il legno o in grado di disintegrare ed eliminare eventuali spore di funghi o batteri presenti sulla superficie o più in profondità.

9.2. La protezione passiva

La protezione passiva rientra nelle responsabilità del progettista, essa è ottenuta mediante un sistema di accorgimenti tecnici e soluzioni architettoniche mirate ad impedire un principio e un innesco di degrado; un buon progettista deve fare in modo tramite il progetto che all'acqua venga proibito di entrate in contatto diretto con il legno penetrando negli elementi e quindi deve contrastare l'agente dell'acqua meteorica diretta o indiretta assicurandone eventualmente il drenaggio, l'acqua proveniente dal terreno o la possibile formazione dell'acqua di condensa sia superficiale che interstiziale tramite una buona ventilazione e permettendo l'asciugatura degli elementi esposti alla problematica.

L'elemento di sacrificio

L'anisotropia del legno, come osservato in molteplici punti della trattazione, ha effetti anche sull'assorbimento e sull'espulsione dell'umidità dal materiale: è facile comprendere come l'assorbimento o l'espulsione dell'umidità sia più agevolata attraverso i pori delle fibre, particolarmente esposti alle intemperie in elementi come le teste delle travi, piuttosto che attraverso le pareti delle fibre stesse.

Il termine elemento di sacrificio in carpenteria lignea sta ad indicare un elemento che possiede la caratteristica di essere situato in una posizione particolarmente critica per la durabilità rispetto agli altri elementi a protezione di altri elementi magari strutturali esposti.

Vista la sua mansione protettiva, l'elemento di sacrificio ligneo, viene generalmente realizzato con una specie legnosa classificata come durevole, come il larice che veniva già usato in passato per deviare l'acqua dai punti più critici degli edifici, e viene progettato e montato in opera per essere facilmente sostituibile senza mandare fuori servizio la struttura principale.

La soluzione dell'inserimento di questo elemento consiste in una progettazione accurata del pezzo da utilizzare, della sua posizione e degli interventi di sostituzione futuri.



Elementi di sacrificio in larice a protezione dell'elemento ligneo

9.3. I trattamenti in superficie

I trattamenti in superficie sono quei trattamenti che si svolgono non in profondità del materiale ma sulla superficie e comprendono generalmente quei trattamenti contro gli insetti tendenzialmente a base di sostanze quali la permotrina o i sali di boro che penetrano solo di qualche millimetro riuscendo ad uccidere la larva non appena nasce dall'uovo deposto in prossimità della superficie dell'elemento in legno.

I trattamenti superficiali contro i funghi della carie hanno il solo effetto di ritardare l'attacco fungino ma non rendono il legno immune dal degrado soprattutto in ambienti molto umidi o a contatto col terreno.

Nel caso in cui il trattamento venga condotto sul legno fresco e quindi non ancora o minimamente fessurato, le fessure da ritiro che si apriranno dopo il trattamento risulteranno non protette: per questo motivo il trattamento è consigliabile venga quindi ripetuto nel tempo circa ogni dieci anni, soprattutto con l'apertura di ulteriori fessure sulla superficie dell'elemento di legno proprio in corrispondenza di queste.

Attualmente una soluzione superficiale interessante e innovativa consiste nella **cellulosa nanofibrillata** che può essere utilizzata come componente nei rivestimenti superficiali per legno esterno al fine di aumentare significativamente la durabilità rispetto ai rivestimenti convenzionali: tramite questo metodo si prevede in particolare di migliorare la protezione da raggi ultravioletti, l'impermeabilizzazione, la resistenza all'usura e la prevenzione di crepe e infestazioni di microrganismi.

9.4. I trattamenti in profondità

La protezione profonda del legno può avvenire tramite differenti tecniche per immettere all'interno del materiale ligneo soluzioni in grado di proteggere gli elementi da cause di degrado: generalmente la protezione può essere eseguita su legnami di qualsiasi specie con l'iniezione in profondità del liquido preservante mediante passaggio in autoclave il cui ciclo comprende l'alternarsi di fasi di vuoto e fasi di pressione forzata dopo che il legname viene stivato su carrelli ed inserito in grandi vasche cilindriche chiuse ermeticamente; il risultato dell'applicazione è l'ottenimento di materiale ben impregnato con una protezione profonda efficace sia contro i funghi che contro gli insetti, in seguito al processo di asciugatura del legname possibilmente all'aria naturale oppure mediante essiccazione forzata controllata.

Alcuni esempi di elementi che subiscono l'impregnazione in autoclave sono i pali per linee aeree o degli arredi da giardino, spesso realizzati con pino impregnato in autoclave, che resistono bene

per alcune decine di anni a contatto col terreno, cioè classificati secondo la classe di rischio elevata.

9.5. I trattamenti preservanti o preventivi

I trattamenti preservanti assolvono alla funzione di prevenire un ipotetico attacco futuro e quindi servono a proteggere il legno da un possibile attacco, essi si eseguono generalmente in stabilimento mediante impregnazione per le specie impregnabili come il pino, o superficiali a pennello per le specie legnose non impregnabili come l'abete.

I preservanti possono essere composti chimici semplici o miscele di diversi formulati generalmente accumulati dal contenuto di veleni sotto forma di principi attivi biocidi: quelli che si trovano attualmente in commercio sono sostanzialmente di tre specie e si suddividono in base alla loro composizione in prodotti oleosi naturali, sostanze idrosolubili costituite da sali minerali organici solubili in acqua e sostanze sintetiche in solventi organici a base di solventi e concentrati di emulsioni.

9.6. I trattamenti curativi

I trattamenti curativi sono volti a bloccare e limitare la presenza di un attacco in corso con l'eliminazione di tutti gli organismi infestanti presenti nell'elemento in legno tramite l'ausilio di gas velenosi, biocidi, gel e trattamenti a pennello, assicurandosi di eliminare da causa dello sviluppo del degrado, che molte volte è l'umidità, che altrimenti continuerebbe incessantemente il suo decorso nel legno.

In seguito alla sicurezza di avere interrotto il fenomeno di degrado intraprendendo il sistema di intervento più adatto alle condizioni richieste e averne rimosso le cause si può valutare la possibilità di agire con azioni di consolidamento della struttura se necessarie: le analisi dei trattamenti hanno messo in luce l'importanza della protezione degli elementi in legno dagli agenti patogeni che per potersi sviluppare hanno bisogno della coesistenza necessaria dei fattori di acqua, ossigeno e nutrimento, consistente negli zuccheri presenti all'interno del legno.

L'**ossigeno** è indispensabile per lo sviluppo di microrganismi responsabili del degrado e si rimanda alle considerazioni già portate avanti nell'esempio dei pali lignei completamente immersi in acqua durante la trattazione del degrado di origine chimica del legno; l'**acqua** è sicuramente pericolosa soprattutto nel caso in cui sia stagnante, come si è già approfondito l'umidità proveniente da molteplici fonti, dalle fondazioni con la risalita per capillarità e la condensa interstiziale che possono compromettere alla base la durabilità dell'edificio, alla copertura che ha bisogno di continua traspirazione verso l'esterno, fino alle pareti e ai passaggi impiantistici, è la prima causa di degrado del legno; ultimo, ma non per importanza è il **nutrimento di funghi e insetti** costituito dalle sostanze organiche che vengono degradate consistenti in residui di sostanze zuccherine e amidose che si trovano all'interno del legno.

I trattamenti per apportare un miglioramento in termini di durabilità del legno si suddividono essenzialmente in due tipologie che sono i trattamenti chimici e i trattamenti termici che verranno approfonditi con l'esempio del **termo-trattamento in autoclave** per eliminare le sostanze appetibili per funghi e insetti dagli elementi di legno tramite cottura del legno ad alte temperature e in condizione di ipossia e di una applicazione molto antica che sfrutta il calore che è il **metodo giapponese del Shou Shi Ban** il quale prevede di bruciare la superficie delle tavole ed arrestare bruscamente la combustione con un getto d'acqua con il risultato di una superficie invecchiata esteticamente ma molto durevole.

9.7. I trattamenti chimici

È possibile procedere con la protezione chimica del legno con la finalità dell'eliminazione di una probabilità di creazione di problemi di proliferazione di organismi causa di degrado del legno, accompagnata da adeguate misure costruttive preventive, le quali molto spesso, se sono appropriate, sopperiscono addirittura all'utilizzo di protezioni chimiche: i trattamenti chimici c'è da ammettere che infatti hanno rischi legati all'aspetto ecologico per l'evaporazione delle sostanze attive e dei solventi con la manifestazione di possibili reazioni chimiche tra le sostanze

utilizzate per la protezione o la cura del legno ed altri componenti presenti in atmosfera con cui il legno viene a contatto o i componenti dei leganti presenti in alcuni prodotti a base di legno. La protezione chimica non può e non deve correggere da sola errori e difetti costruttivi, essa deve essere utilizzata solo in casi eccezionali oppure come misura aggiuntiva.

I prodotti chimici protettivi utilizzati maggiormente appartengono a diverse grandi classi: esistono **prodotti oleosi naturali** che derivano dalla distillazione del catrame di carbone, i **sali minerali solubili in acqua** come il FACC (ammonio, rame, cromo), il CZC (cloro, zinco, rame) ed il CCF (rame, cloro, fluoro) ma l'umidità può provocare una instabilità dimensionale del materiale, ed infine le **sostanze sintetiche in solventi organici** i quali sono preservanti costituiti da un composto attivo insetticida o fungicida disciolto in un solvente organico con una buona persistenza del preservante anche in profondità del materiale legno dopo l'evaporazione del solvente che può essere un prodotto della distillazione del petrolio o acqua regia minerale o i fenoli clorurati o i composti organici dello stagno e del rame.

I trattamenti chimici si possono suddividere in molteplici tipologie tra cui le **impregnazioni** tramite l'applicazione di biocidi per ottenere una superficie idrorepellente e traspirante protetta dagli insetti, dai microrganismi e dai raggi ultravioletti se si utilizza un impregnante colorato, le **verniciature** che formano una superficie idrorepellente, meno traspirante del caso delle impregnazioni e resistente all'attrito, le verniciature si distinguono in verniciature incolori e trasparenti con formazione di una pellicola lucida poco penetrante nelle porosità del materiale legnoso, verniciature coprenti con formazione di una pellicola appena penetrante nel legno e una buona protezione anche dai raggi ultravioletti. I trattamenti intermedi tra l'impregnazione e la verniciatura sono le **velature** ottenendo una pellicola superficiale molto sottile protettiva dai raggi ultravioletti, le **vernici disperdenti** nelle quali vengono utilizzate pigmenti solute in acqua che formano un rivestimento più o meno coprente a seconda della pigmentazione, le **coloriture** sono colorazioni del legno senza alcuna funzione protettiva particolare mediante applicazione di pigmenti o coloranti oppure mediante processi chimici che prendono il nome di coloriture chimiche, le **cere** che colmano le porosità del legno ma non impediscono la diffusione del vapore perciò è preferibile eseguire una impregnazione ante applicazione della cera, ed infine gli **oli** i

quali hanno una scarsa resistenza alle sollecitazioni meccaniche, ma rispetto alle cere offrono una migliore protezione dall'umidità e dalla sporcizia. Per quanto concerne in particolare gli elementi in legno destinate ad una esposizione diretta ai raggi solari, è consigliabile l'utilizzo di **vernici con forte azione coprente** in modo tale da minimizzare le tensioni superficiali dei rigonfiamenti e dei ritiri provocate dagli effetti termici e risultano più indicati gli utilizzi di legnami di latifoglie che contengono meno resina rispetto ai legnami delle conifere.

Istruzioni per il trattamento protettivo-preventivo del legno

Classe	Gruppo di prodotti	Raccomandazioni	Tipo di prodotto
0	Elementi strutturali in locali costantemente asciutti (perline, pavimenti, mobili) Umidità del legno circa 10%	Prodotti per il trattamento della superficie senza principi attivi per la protezione del legno	Mani di fondo, velature, vernici, mordenti
1.1	Legname da costruzione a vista senza contatto con il terreno, asciutto (legno del tetto, in cantina ecc.) Umidità del legno dal 10 al 18%	Nessun trattamento. Eventualmente prodotti per il trattamento della superficie senza principi attivi per la protezione del legno	Mani di fondo, velature, vernici, mordenti
1.2	Legname da costruzione difficilmente controllabile, senza contatto con il terreno, asciutto Umidità del legno dal 10 al 18%	Prodotti per la protezione preventiva contro l'infestazione di insetti	Emulsioni, mani di fondo contrastanti e preventive
2.1	Legno in ambienti bagnati con ventilazione minima, in particolare strutture nascoste (stanze da bagno, cucine, piscine) Umidità del legno dal 10 al 18%	Prodotti per la protezione preventiva contro funghi da colorazione ed eventualmente xilofagi. Trattamento raccomandato contro l'umidificazione capillare e gli sbalzi di umidità	Impregnature, mani di fondo, sali
2.2	Legno all'aperto sotto un tetto, senza contatto con il terreno, sezione inferiore a 25 mm (perline per facciate riparate, intradossi del tetto) Umidità occasionale del legno >20%	Prodotti per la protezione temporanea o permanente contro funghi dell'azzurramento e muffe, nonché prodotti per il trattamento della superficie senza principi attivi per la protezione del legno	Emulsioni, impregnature, mani di fondo; in aggiunta velature, vernici, colori

2.3	Legno all'aperto sotto un tetto, senza contatto con il terreno, sezioni da medie a grandi (elementi di balconi sotto una tettoia, legname da costruzione in capannoni aperti, finestre riparate, strutture di pareti e soffitti ben ventilati) Umidità occasionale del legno >20%	Prodotti per la protezione temporanea o permanente contro funghi dell'azzurramento e muffe, nonché insetti. In aggiunta prodotti per il trattamento della superficie senza principi attivi per la protezione del legno	Emulsioni, impregnature, mani di fondo; in aggiunta velature, vernici, colori
2.4	Legno in cantine non ventilate, senza contatto con il terreno (strutture portanti, soffitti, pavimenti) Umidità occasionale del legno >20%	Prodotti per la protezione preventiva contro funghi e insetti xilofagi del legno. In aggiunta prodotti per il trattamento della superficie senza principi attivi per la protezione del legno	Emulsioni, mani di fondo; in aggiunta velature, vernici, colori
3.1	Legno all'aperto, senza contatto con il terreno, sezione inferiore a 25 mm (perline per facciate non riparate, elementi sottili di balconi, steccati) Umidità frequente del legno >20%	Prodotti per la protezione temporanea o permanente contro funghi dell'azzurramento e muffe, nonché insetti. In aggiunta prodotti per il trattamento della superficie senza principi attivi per la protezione del legno	Impregnature, mani di fondo, velature; in aggiunta velature, vernici, colori
3.2	Legno all'aperto, senza contatto con il terreno, sezione superiore a 25 mm	Prodotti per la protezione preventiva	Prodotti per la protezione preventiva
3.2.a	Necessità di stabilità dimensionale ridotta (pergole, pareti per la protezione acustica e visiva)	contro funghi xilofagi e da colorazione	Emulsioni, mani di fondo, velature
3.2.b	Necessità di stabilità dimensionale elevata (finestre, persiane)	contro funghi xilofagi e da colorazione	Mani di fondo, velature, vernici
3.2.c	Strutture di edifici (balconi, travi di ponti, strutture in legno lamellare) Umidità frequente del legno >20%	contro funghi e insetti xilofagi e da colorazione. All'occorrenza con aggiunta di prodotti per il trattamento della superficie senza principi attivi per la protezione del legno	Impregnature a pressione o sottovuoto, velature, vernici
4	Legno a contatto con il terreno o acqua dolce (palizzate, piloni, soglie, pali, giochi, pergole, fondazioni non ventilate, torri di raffreddamento, pontili) Umidità costante del legno >20%	Prodotti con protezione preventiva contro funghi, inclusa carie soffice, e insetti xilofagi. All'occorrenza con aggiunta di prodotti per il trattamento della superficie senza principi attivi per la protezione del legno	Impregnature a pressione o sottovuoto; in aggiunta vernici, colori

Elaborazione degli autori di uno schema riepilogativo dei principali trattamenti chimici protettivi a prevenzione della durabilità del legno

9.8. I trattamenti termici

9.8.1. Il termo trattamento

Un'alternativa interessante alla soluzione dei trattamenti chimici può essere il termo-trattamento, un procedimento più ecologico che non utilizza sostanze nocive o biocidi eliminando considerevolmente il fattore di nutrimento per i parassiti grazie al raggiungimento delle alte temperature che bruciano gli zuccheri presenti non rendendoli più disponibili per gli organismi che se ne alimentano.

Il termo-trattamento prevede l'applicazione sul legno di un ciclo di essiccazione a temperature comprese tra i 165° e i 220° C, anche fino ai 250 ° C all'interno di una atmosfera controllata e povera di ossigeno: grazie a questo sistema vengono modificate le proprietà fisiche, chimiche e meccaniche del legno comportando effetti migliorativi a livello di stabilità dimensionale con minore ritiro e rigonfiamento a causa della diminuzione del volume del materiale per il deterioramento delle emicellulose appetibili ad insetti e funghi, quindi di conseguenza a livello di durabilità per la riduzione della quantità di emicellulosa; la resistenza meccanica risente invece della modifica della struttura cristallina della cellulosa con l'ottenimento di un elemento ligneo rigido che può comportare maggiore possibilità di spaccature durante la lavorazione risultando più fragile, inoltre il legno assume una colorazione più scura soprattutto nelle latifoglie che si traduce in specie come il faggio e il frassino in una maggiore qualità estetica.

Il termo-trattamento non ricopre un elemento di novità nel settore edile in quanto i primi lavori legati al trattamento termico risalgono alla metà del novecento negli Stati Uniti, ma rimane uno strumento interessante e di alto valore che assicura un allungamento della vita in efficienza ad un edificio in legno sostanzialmente per la sola eliminazione degli zuccheri presenti al suo interno favorendo la diminuzione del proliferare di muffe, funghi e insetti che comprometterebbero gli elementi lignei.

Con il raggiungimento di temperature di circa 100° C ed elevate umidità, procedimento che muta il nome del processo in vaporizzazione, si modificano principalmente le sfumature di colore, senza per questo cambiare le altre caratteristiche del legno.

9.8.2. La tecnica Shou Sugi Ban

Shou Sugi Ban è una tecnica atossica molto antica di trattamento del legno, in parte sostituita nel tempo dai trattamenti chimici e dall'utilizzo di resine, e significa letteralmente tavola di legno bruciata, essa consiste nel bruciare la superficie delle tavole di legno con la finalità di renderle più durevoli per l'esposizione esterna.

In Giappone viene utilizzato esclusivamente il legno della pianta autoctona del cedro, ma negli Stati Uniti ed in Europa si esegue la tecnica anche su altre specie arboree con i risultati migliori ottenuti in seguito alla bruciatura di legni resinosi come il larice, l'abete e il cipresso, mentre con le latifoglie è più difficile ottenere una bruciatura uniforme e profonda.

Questa tecnica negli ultimi anni ha ripreso piede soprattutto in virtù del fatto che si tratta di una tecnica completamente naturale che, tramite il suo processo di carbonizzazione, altera la superficie delle tavole mutando l'aspetto estetico e aumentandone considerevolmente le caratteristiche di durabilità senza modificare la struttura interna: il trattamento del Shou Sugi Ban rende il legno resistente al fuoco e all'acqua poiché con la carbonizzazione i pori vengono occlusi con lo strato esterno scuro e bruciato che dona carattere di impermeabilità al legname impedendo un effetto negativo anche da parte degli agenti atmosferici con cui entra in contatto.

La bruciatura delle facce esposte delle assi di legno, attraverso l'utilizzo un cannello a gas, inoltre distrugge ed elimina gli zuccheri rendendo gli elementi trattati non interessati da funghi e insetti alla ricerca del polisaccaride della cellulosa che viene eliminato attraverso il trattamento.

Al termine della prima fase di bruciatura del legno, le assi vengono fatte raffreddare con un getto d'acqua e successivamente vengono spazzolate mediante l'ausilio di una spazzola a fibra dura per rimuovere i residui di carbonizzazione, prima di subire l'ultimo risciacquo per poi passare alla fase finale di installazione delle tavole di legno carbonizzate; si può anche terminare l'operazione con una mano di olio naturale per esaltarne le venature.

Con questo trattamento si riescono ad ottenere risultati di durabilità notevoli, infatti, a seconda della specie utilizzata, si ottengono durate dai cinquanta agli ottanta anni senza fasi di ulteriore manutenzione, l'olio invece dovrà essere ripreso ogni quindicina di anni.



Tecnica di trattamento del legno Shou Sugi Ban

10. GLI INTERVENTI DI RECUPERO

Il recupero di un elemento ligneo degradato ricopre una notevole importanza nelle fasi più delicate tra quelle di intervento su un legno danneggiato: prima che il legno affetto da degrado biologico possa essere consolidato deve essere eliminato l'agente patogeno con apposite sostanze biocide e rimosse le condizioni che ne hanno favorito la diffusione.

Devono essere condotte sull'elemento ligneo residuo una serie di analisi valutando innanzitutto la **resistenza residua dell'elemento danneggiato** poiché l'elemento non necessiterà di alcun intervento di consolidamento se le sue prestazioni residue sono sufficienti, altrimenti in caso contrario si dovrà procedere ad esempio secondo le fasi meno invasive di impregnazione delle parti degradate con resine consolidanti mediante fleboclisi, a pennello o a spruzzo, oppure qualora le prestazioni risultino particolarmente carenti si dovrà procedere all'inserimento di elementi in grado di integrare le resistenze residuali della porzione degradata o di surrogarne in qualche modo le funzioni.

L'alternativa a questo approccio di recupero secondo il principio della conservazione dei materiali originari, si ritrova nella direzione opposta con la totale eliminazione delle parti di legno degradato e successiva sostituzione con protesi che possono essere in legno massiccio, in legno lamellare o in betoncino con resina epossidica connesse al legno sano con elementi in legno, metallo o vetroresina.

Nella storia delle costruzioni, gli errori commessi che hanno determinato un insuccesso costruttivo portando ad una situazione rischiosa dimostrano una correlazione di più fattori che possono condurre ad un danno rilevante come sintomo in alcuni casi del successivo collasso dell'edificio. Alcune di queste cause si possono riscontrare in errori progettuali grossolani, nel non corretto dimensionamento degli elementi strutturali che avviene tramite codici di calcolo per giungere alla valutazione dell'affidabilità della struttura in base alla struttura stessa e ai carichi su di essa gravanti, nella inadeguata realizzazione dei collegamenti o più in generale in errori commessi in fase di produzione in stabilimento e nella realizzazione della messa in opera, nella scorretta scelta dei pacchetti tecnologici con caratteristiche insufficienti dei materiali utilizzati e una errata impermeabilizzazione degli elementi costituenti l'opera edilizia, nella

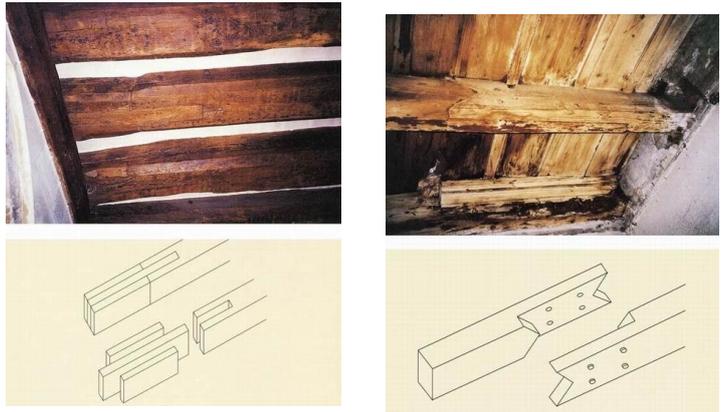
cattiva progettazione dei particolari costruttivi influenti sulla durabilità dell'opera, nella inadeguata gestione del cantiere e nella possibile creazione di condizioni impreviste per le quali possono non essere stati presi in considerazione accorgimenti progettuali ausiliari: con l'obiettivo di ridurre il rischio che venga a crearsi una situazione di instabilità e insicurezza dell'edificio risulta fin dal principio necessaria una buona **formazione dei professionisti e delle imprese e controlli più severi sia nella fase di produzione che in quella di cantierizzazione dell'opera edilizia.**

Scongiorando il crearsi di situazioni quali quelle sopra indicate, si può procedere all'analisi di alcuni metodi di intervento di consolidamento dell'elemento strutturale che con più frequenza può subire un danneggiamento, ossia il consolidamento di teste di travi in legno, reso necessario in seguito ad un problema strutturale o ad attacchi biologici, può avvenire tramite la soluzione dell'inserimento di lamiera di acciaio inox ondulate e forate o di lamine metalliche piane saldate con i passanti disposti ai due lati della testa della trave, oppure tramite la soluzione dell'eliminazione delle parti degradate della trave a mano con lo scalpello e la successiva regolarizzazione della cavità con la rimozione dei frammenti di legno seguita dallo riempimento con mattoncini di legno legati tramite resine epossidiche e l'eventuale inserimento di lamine metalliche con bulloni trasversali; il consolidamento di travi lignee danneggiate per attacchi fungini, combustione localizzata o per rottura può avvenire per mezzo dell'inserimento di lamine metalliche ed una eventuale sostruzione con mattoncini di legno; in caso di fessure, dovute ad irregolarità di fibratura o presenza di nodi, la trave può essere consolidata invece con l'inserimento di viti ortogonali alla frattura e di staffe di cerchiatura.

Nel ricorrente consolidamento dei nodi catena-puntone di capriate invece può essere risolutivo l'inserimento di una protesi in legno con armatura in metallo in cui il legno che avvolge gli elementi in acciaio può essere quello originario consolidato in laboratorio, inoltre può essere risolutivo il ricorso all'applicazione del metodo dell'incalmo o del metodo dei fettoni o all'inserimento di staffe o bandelle metalliche.

10.1. Il metodo dell'incalmo

L'azione dell'incalmare indica l'operazione di praticare una connessione di legnami sostituendo una parte deteriorata di una trave congiungendo la porzione nuova a quella preesistente che ha subito un parziale degrado.



Applicazione e schematizzazione del metodo dell'incalmo – fonte: Infobuild

Il nodo della capriata viene ricostruito mediante il metodo dell'incalmo con l'inserimento di protesi lignee giuntate tramite collante epossidico e spinotti di connessione anch'essi in legno, al fine di mantenere il proprio originario grado di vincolo senza portare a significative variazioni nella distribuzione delle sollecitazioni nell'elemento della capriata.

10.2. Il metodo dei fettoni

La fettonatura è l'operazione tramite la quale si rinforza con l'inserimento di due settori laterali, detti fettoni, la testa delle travi o delle capriate ammalorate, soprattutto in quei casi in cui gli elementi non siano a vista.

I fettoni possono essere resi solidali alla trave con bulloni, chiodi o colle, mentre nel caso della capriata alla catena vengono affiancati i fettoni consistenti in due spesse tavole di legno ad essa connesse con spinotti in legno, bulloni o staffe metalliche.



Applicazione del metodo dei fettoni – fonte: Infobuild

Gli incalzi e i fettoni si possono eseguire anche con l'acciaio, aumentando però il rischio di condense e marcimenti precludendo la parziale possibilità di circolazione dell'aria.

Se l'intervento è svolto tramite elementi lignei, il legno da impiegarsi è preferibile essere della medesima specie di quello già posto in opera, ma in particolare esso deve dipendere dal tenore di umidità in relazione all'ambiente perché non avvenga una perdita d'acqua in opera del legno non stagionato e conseguenti ritiri, torsioni, fessurazioni e distacchi tra le parti incalmate o fettonate.

10.3. La diminuzione del carico agente

La riduzione del carico agente su un elemento strutturale a volte si rende necessaria in seguito allo sviluppo di sofferenze da parte della struttura esageratamente sollecitata, essa può essere ottenuta senza intervento di consolidamento semplicemente variando e riducendo i pesi propri non strutturali, oppure affiancando agli elementi in opera altri elementi che assumono su di essi parte dei carichi agenti sulla struttura esistente.

La riduzione delle azioni agenti sulla struttura avviene tramite provvedimenti costruttivi, quali una adeguata concezione della costruzione, o con l'aggiunta di appositi elementi aventi esclusiva funzione di maggiore protezione e durabilità del legno: il raggiungimento della diminuzione del carico agente su un elemento o una struttura si può ottenere anche con la riduzione della luce delle travi strutturali o con l'aumento del grado di vincolo, ad esempio con l'inserimento di una trave rompi-tratta o con l'aggiunta di una trave dormiente in legno o in profilato metallico o con un dormiente in legno inserito sotto le teste delle travi ed eventualmente delle mensole scostando parzialmente l'appoggio degli elementi verso una zona non inclusa nella muratura e quindi anche meno soggetta a possibili degni di funghi.

La diminuzione del carico agente si rende quindi opportuna anche nel caso in cui la struttura sia stata progettata correttamente considerando in maniera esatta i carichi ma con l'insorgenza di attacchi biologici la resistenza può essere compromessa con la necessità di un minore peso agente sulla struttura deficitaria meccanicamente e quindi con performance di resistenza

ridotte: l'aumento della resistenza al degrado può avvenire, come analizzato in numerosi passaggi, tramite la scelta e l'utilizzazione di specie legnose più resistenti sfruttandone al massimo la resistenza naturale o tramite il trattamento del legno di superficie o per impregnazione che, pur favorendo la durabilità nel tempo, necessita di adeguata manutenzione e quindi non sempre è in grado di sostituire i provvedimenti costruttivi in alcuni casi molto più efficienti e duraturi.

11. LA TENDENZA DEGLI EDIFICI MULTIPIANO

La storia delle costruzioni in legno ha origini molto distanti, non è certo negli ultimi anni che è nato l'interesse verso il legno applicato all'edilizia, infatti le prime applicazioni del legno nel settore hanno avuto inizio nel periodo del paleolitico con la nascita di rifugi temporanei costruiti con utensili grezzi, costruzioni seppur molto differenti da quelle che stanno prendendo piede attualmente, hanno continuato il loro sviluppo durante il periodo del mesolitico con rifugi permanenti fino ad arrivare al periodo del neolitico con alcune abitazioni in legno costituite da una originaria ma riconoscibile maglia strutturale lignea ed una gerarchia di elementi strutturali portanti.

Con l'avvento dell'età del metallo e ancora di più nell'età del ferro gli strumenti adatti per la lavorazione del legno hanno subito migliorie con una affinazione delle tecniche di lavorazione e assemblaggio degli elementi lignei per arrivare alle prime tipologie costruttive più definite come la longhouse tipica del nord Europa e la cosiddetta capanna retica nell'area alpina.

Da questo momento storico al medioevo i sistemi costruttivi in legno hanno subito un rallentamento, pur rimanendo il materiale ideale per pavimenti, impalcature, balconi e passerelle, privilegiando l'utilizzo della pietra in edilizia; in Giappone questo periodo di blocco in Europa invece ha portato il legno a divenire il materiale per la sperimentazione dei templi e delle pagode di molteplici piani.

Questo periodo ricopre un momento cruciale in quanto si ha l'elaborazione delle classificazioni del legname secondo le tecniche di costruzione in base al proprio comportamento strutturale distinguendo i metodi costruttivi in sistemi a setti tipici del blockbau e in sistemi a gabbia.

Un successivo ulteriore passo avanti nello sviluppo tecnologico ha sicuramente inizio con la rivoluzione industriale che può permettere una produzione in serie di elementi di dimensioni e forme standardizzate con l'inserimento nel settore edilizio di nuove versioni di telai spaziali come il balloon frame ed il platform frame.

Il periodo seguente è caratterizzato da un aggiuntivo arresto in Europa dello sviluppo delle costruzioni lignee, seppur esso continui nel settore residenziale in particolare negli Stati Uniti e in Canada, con la prevalenza delle costruzioni in acciaio e calcestruzzo; il progredire nella ricerca

di Stati Uniti e Canada si concentra principalmente sul legno lamellare e nello studio del materiale in risposta all'applicazione su coperture di grandi dimensioni.

Nel tardo ventesimo secolo molteplici fattori portano ad ulteriori sviluppi e ricerche nel campo degli edifici in legno tra cui la consapevolezza e l'attenzione maggiore legate alle questioni ambientali, nuove tecnologie permettono una più complessa e rapida lavorazione del materiale legno come le macchine a controllo numerico, la necessità di prefabbricazione e l'ottimizzazione dei processi di costruzione tradizionale vengono migliorati con la nascita di nuovi prodotti e materiali così come nuovi sistemi costruttivi.

L'aspetto fondamentale al momento attuale è comprendere la direzione che l'edificazione in legno, tema destinato a caratterizzare il mercato delle costruzioni, sta prendendo, verso gli edifici multipiano con destinazione d'uso differente e senza alcun limite, se non nel senso della normativa e delle regole del buon progettare e costruire, con un occhio sempre volto al concetto di sostenibilità e alla recente sensibilità verso il vivere ecosostenibile che supporta l'utilizzo del legno come materia prima vegetale e rinnovabile.

Il legno, come si è visto, è da sempre utilizzato come materiale da costruzione, inizialmente in contesti montani, ma negli ultimi decenni, grazie alle nuove tecnologie e alla normativa nascente e man mano più chiara, si è sviluppato anche in contesti extraurbani ed urbani, soprattutto in previsione della densità insediativa crescente: lo sviluppo degli edifici multipiano in legno è influenzato da una duplice motivazione, esso dipende sia da fattori antropici che da fattori ambientali, infatti, il progressivo aumento della popolazione mondiale e la tendenza all'urbanizzazione nei centri abitati richiedono nuovi ambienti insediativi con lo sviluppo compatto e in verticale della città e quindi lo sviluppo verso l'alto dell'edificio, connesso ad una riduzione di utilizzo di terreno.

Questi cambiamenti sfociano in una crescita della ricerca tecnologica delle strutture, dei materiali utilizzati, dei piani di manutenzione e di sicurezza oltre a questioni legate all'efficienza energetica: la costruzione di edifici di grande altezza è resa possibile quindi soprattutto grazie al **progresso tecnologico**, con lo studio e la creazione del **legno ingegnerizzato** con le sue ottime proprietà e le sue grandi prestazioni, oltre alle moderne **macchine a controllo numerico** che,

come già trattato, permettono il taglio di profili preciso consentendo l'applicazione della **prefabbricazione nel campo dell'edilizia del legno** con tutti quegli aspetti positivi osservati.

La breve analisi temporale dello sviluppo del materiale legno applicato agli edifici ha permesso di dimostrare come il nord America soprattutto si è concentrato primo fra altri nella sperimentazione e ricerca di nuove sfide per le strutture e gli elementi lignei, infatti fino al secondo dopoguerra gli edifici alti erano situati principalmente in queste zone degli Stati Uniti e poi successivamente, a partire dagli anni ottanta iniziarono ad essere costruiti in Asia e dal nuovo secolo anche in Medio Oriente.

Oltre a non temere più particolarmente i limiti in altezza, con il trascorrere del tempo non è solamente aumentato lo sviluppo sul territorio di questi edifici, ma non ci si è fatti scrupoli a cambiare la rotta diversificando la destinazione d'uso di questi edifici, infatti inizialmente essi nascevano in relazione ai centri direzionali delle grandi città, mentre attualmente, come già detto, sorgono anche per sopperire alla richiesta crescente abitativa, oppure come edifici commerciali con lo sfruttamento dell'altezza per creare, in alcuni casi, punti di osservazione panoramici: negli ultimi anni la tendenza è quindi quella di creare edifici ad uso misto in grado di unire nella stessa struttura il settore direzionale o produttivo con quello residenziale.

Come anticipato, fondamentali sono risultate le prospettive di crescita della cultura tecnologica a base del materiale ligneo, infatti prodotti come il legno lamellare, il Parallam, il LVL (Laminated Veneer Lumber), l'OSB (Oriented Strand Board), l'X-LAM (Cross Laminated Timber) sono stati scoperti grazie alle moderne tecnologie produttive di ingegnerizzazione del legno, con una ripresa di importanza del legno nel settore delle costruzioni che con il tempo era stata altalenante, a fronte delle alternative di applicazione della pietra, dell'acciaio e del calcestruzzo, affiancandosi così allo stesso livello di altri materiali da costruzione con uno sviluppo in tutta Europa compreso in Italia e la registrazione di un significativo aumento nell'uso del **legno come materiale strutturale**: in particolare l'X-LAM o compensato di tavole, a partire dalla fine degli anni novanta, ha trovato grandi applicazioni nella realizzazione degli edifici multipiano con lo sviluppo in altezza come un aspetto valutabile positivamente, alla condizione

che esistano continuamente una conoscenza del materiale e della tecnica approfondita e una qualità progettuale e costruttiva.

La rilevazione di una crescita dell'utilizzo del legno strutturale in Europa ed in particolare in Italia è stata causata anche in parte dall'abolizione nel 2011 dei limiti di altezza per le costruzioni in legno: in questa maniera, gli sviluppi tecnologici soprattutto degli ultimi decenni, le evidenti numerose e straordinarie proprietà della materia prima lignea, la possibilità della prefabbricazione edilizia applicabile al legno e le potenzialità dei materiali raggiungibili con la trasformazione del legno segato in prodotti derivati sempre più performanti ed idonei all'impiego in notevoli opere d'ingegneria strutturale, il legno è diventato e continua ad essere uno degli essenziali e fondamentali materiali da costruzione oltre ad acciaio e calcestruzzo, a condizione però ovviamente di una buona progettazione e una buona esecuzione nell'edificazione.

Il legno, particolarmente il lamellare, ha dato anche buone risposte e vantaggi nella realizzazione di strutture a grandi luci che solitamente spettava a materiali come l'acciaio e il cemento armato e di strutture di copertura sia in legno massiccio che in legno lamellare come dimostra l'edificazione di palazzetti dello sport, piscine, strutture sportive, strutture religiose, edifici scolastici o di edifici a carattere industriale o commerciale.

Un interesse sempre maggiore si è quindi rivolto verso il legno sia con destinazioni d'uso private che pubbliche, sia con un'altezza più ridotta che con uno sviluppo altimetrico maggiore superando il pregiudizio riguardo l'impiego del legno in elevazione, valorizzato da tempi di costruzione estremamente rapidi e dal raggiungimento di buone prestazioni statiche, in risposta al fuoco, all'isolamento termico e acustico e alla sostenibilità ambientale ed economica sul lungo termine.

Importanti realizzazioni di edifici con un'altezza elevata nel nord Europa hanno dimostrato che **l'altezza è la nuova frontiera delle costruzioni di legno**, e anche in Italia gli edifici multipiano sono la nuova imminente sfida per i progettisti ed i costruttori di edifici in legno.

Se le strutture a pannelli X-LAM sono tra le tipologie costruttive più gettonate e adottate nella realizzazione di edifici di legno per le proprie peculiarità, in realtà molti sono i sistemi costruttivi disponibili e differenti sono i campi di applicazione: tra i diversi metodi di classificazione dei vari

tipi di costruzioni di legno, un criterio ritenuto piuttosto logico è quello di distinguere tra costruzioni di tipo massiccio e costruzioni di tipo leggero.

11.1. Il sistema costruttivo di tipo massiccio

I sistemi costruttivi di tipo massiccio comprendono due principali metodi che consistono nel **sistema a pannelli X-LAM**, costituito da lastre e piastre piane portanti ottenute dall'assemblaggio incrociato di tavole ed ampiamente descritto precedentemente ed il **sistema blockbau**, un sistema realizzato mediante elementi portanti posti in maniera orizzontale e sovrapposti tendenzialmente secondo una altezza contenuta e connessi tra loro.

Il sistema blockbau ha radici piuttosto lontane nel tempo rappresentando la soluzione utilizzata già per la realizzazione di numerose baite alpine dove tronchi opportunamente sagomanti e lavorati venivano sovrapposti ed incrociati agli angoli.

Una problematica legata al sistema costruttivo Blockbau è relativa però alle ingenti deformazioni cicliche che il legno subisce con l'alternarsi delle stagioni, così la tecnologia moderna ha cercato di sopperire a questo limite con l'introduzione sul mercato di nuovi prodotti per sistema blockbau a ritiro impedito come nel caso del prodotto derivato dal legno Primolam che si compone di elementi in legno laminati uniti per formare una triplice stratigrafia con gli strati esterni orizzontali e il centrale invece disposto verticalmente con una giunzione tra pannelli che avviene mediante tipologia di incastro maschio - femmina.

La presenza dell'elemento centrale posto verticalmente permette di vincolare gli strati esterni ed impedisce il ritiro radiale di questi ultimi: grazie a questa soluzione è possibile procedere alla finitura della struttura mediante installazione di contro pareti e cappotti come nel caso di altre tecnologie perché non avverrà un ritiro del materiale.



Pannello in tecnologia Primolam - fonte: Bellotto Legnami

11.2. Il sistema costruttivo di tipo leggero

I sistemi costruttivi di tipo leggero comprendono invece i metodi del **sistema ad ossatura portante**, costituito da pilastri e travi disposti a grande interasse, controventati o irrigiditi da connessioni per realizzare veri e propri telai ed il **sistema platform frame o a telaio**, costituito da pareti e solai ottenuti dall'unione di intelaiature leggere, solitamente basato su un sistema di pannello pieno con anima interna formata da morali in legno ed interposto isolante completati da pannellature di controvento in multistrato o OSB così da avere allo stesso tempo tenuta all'aria e regolazione del passaggio del vapore e un vano ricavato per la posa degli impianti.

In realtà i sistemi costruttivi possono essere misti e non c'è una così netta suddivisione di applicazione dei sistemi di tipo massiccio e leggero, ossia spesso si tende a combinare nello stesso edificio ampie intelaiature costituite da travi e pilastri, con pareti a traliccio aventi funzione di tamponamento ed irrigidimento, oppure utilizzare pareti in X-LAM con rinforzi e solai in legno lamellare: il settore edilizio vedrà comunque sempre meno egemonie di un solo prodotto o di una sola tipologia costruttiva, ma al contrario dovrà abituarsi sempre più spesso all'utilizzo di diversi materiali impiegati secondo il criterio di valorizzare al meglio le specifiche caratteristiche di ogni singolo componente.

11.3. Le realizzazioni nel Centro-Nord Europa

Il panorama edilizio del centro e nord Europa offre particolari e numerosi ottimi esempi di edifici multipiano in legno che hanno fatto da stimolo al medesimo settore nazionale.

Importanti realizzazioni di edifici di considerevole altezza nel nord Europa hanno dimostrato prima che in Italia la possibilità di costruire in altezza con il legno, particolarmente note sono le realizzazioni a Londra dell'edificio del Murray Groove, una torre costituita da una struttura massiccia a pannelli di compensato di tavole X-LAM di nove piani, e Bridport House, che

rappresenta il primo edificio multipiano completamente in legno realizzato in Gran Bretagna per un'altezza complessiva di otto piani fuori terra.

Edifici di notevole altezza e dimensione sono stati realizzati anche in Germania ed in Svizzera dove particolarmente diffusi sono i sistemi ibridi legno-cemento come il Condominio e3 a Berlino costituito da sette piani tramite una struttura portante in legno lamellare di montanti e correnti e solai compositi legno-calcestruzzo, mentre in Svizzera il primo esempio di edificio in interamente in legno realizzato addirittura privo di un corpo scala in calcestruzzo armato è Casa Montarina a Lugano con una altezza che supera i diciotto metri.

Se le prime importanti realizzazioni di edifici alti di legno sono avvenute nel centro e nel nord dell'Europa, attualmente anche l'Italia è partecipante attivo in questo settore e, oltre alle ormai molto numerose costruzioni di due o tre livelli fuori terra si stanno realizzando i primi edifici maggiormente elevati in altezza con struttura in legno, dagli edifici residenziali Rubner Holzbau Multipiano di Trieste e il Wellness Resort Marina Verde a Caorle, entrambi di sei piani fuori terra con un nucleo in cemento armato resistente alle azioni orizzontali, alla Crosslam Tower di Jesolo, al progetti a Milano del Social Main Street con un sistema costruttivo per pareti e solai in X-LAM e del complesso di Via Cenni: negli edifici multipiano di Trieste e Caorle, la cui costruzione ha seguito il metodo di pilastro non continuo ma interrotto ad ogni cambio piano a garanzia di una maggiore gestione del cantiere, le strutture verticali ed i solai sono progettati facendo riferimento al sistema costruttivo ad ossatura portante a telaio in legno lamellare irrigidito dai corpi scale in calcestruzzo, mentre il progetto di Via Cenni ha optato per uno spazio pubblico centrale costituito da un corpo continuo di due piani fuori terra e da quattro torri residenziali di otto piani interamente realizzate con pannelli in X-LAM compresi i vani scala e ascensori.

11.4. L'impulso dell'Housing Sociale

Il complesso di Via Cenni a Milano dimostra come ultimamente, anche in Italia, si stia affermando la soluzione del social housing per **allentare la pressione abitativa nei grandi centri**

urbani, una delle finalità delle costruzioni multipiano: il social housing nasce con l'obiettivo di essere uno specifico programma di sviluppo urbanistico al fine della realizzazione di opere che risultino essere sostenibili, energeticamente performanti e di rapida costruzione, vantaggio permesso dal legno grazie al suo alto grado di prefabbricazione e ai ridotti tempi di cantierizzazione.

I pannelli di legno a strati incrociati X-LAM e il legno lamellare o cosiddetto Glulam sono, come materiali strutturali, i protagonisti principali di questa recente rivoluzione nel mondo delle costruzioni.

Il sistema costruttivo a pannelli di compensato di tavole X-LAM, o CLT, è un modello a comportamento scatolare costituito da elementi massicci piani portanti costituiti da strati incollati di tavole o lamelle incrociate le cui dimensioni lungo entrambi gli assi principali sono di molto maggiori rispetto allo spessore del pannello.

Questi elementi portanti di compensato di tavole assumono, in base alle condizioni di carico, funzione di lastre per le pareti grazie al buon comportamento nei confronti delle azioni assiali e di taglio e di piastre per i solai, seppur con una peggiore risposta del materiale nei confronti del comportamento a flessione.

L'altro sistema costruttivo frequentemente utilizzato negli edifici di modesta altezza in legno è quello a telaio pesante di Glulam: il modello è ad ossatura portante, costituito da colonne e da travi massicce disposte a grande interasse con i telai che devono essere controventati o resi stabili da connessioni rigide ai nodi, per questo motivo è frequente trovare il sistema a telaio pendolare controventato da un elemento rigido in cemento armato costituito normalmente dal corpo scale-ascensori: il vantaggio principale del telaio pesante risiede nella possibilità di consentire larghe maglie dei pilastri e grandi aperture nelle pareti, anche se i sistemi costruttivi possono essere misti, ad esempio combinando nello stesso edificio grosse intelaiature costituite da travi e pilastri in lamellare con pareti leggere a traliccio aventi funzione di tamponamento o di irrigidimento, oppure utilizzando pareti di X-LAM con rinforzi e solai in lamellare ricorrendo a vari sistemi di controventatura per portare in fondazione le azioni orizzontali.

Tale eterogeneità di metodologie sostenuta da una ampia conoscenza tecnica delle differenze tra i vari sistemi confermano che le soluzioni per perseguire un obiettivo progettuale sono molteplici, ma il fine ultimo è il raggiungimento di elevati standard prestazionali e una qualità costruttiva alta per garantire durabilità all'edificio: in conclusione, le costruzioni multipiano in legno, considerate le caratteristiche intrinseche del materiale in termini di sostenibilità, leggerezza, resistenza, isolamento e sicurezza, costituiranno sempre più una soluzione vincente per le esigenze dell'edilizia residenziale e non solo con il costante supporto di settori nazionali della ricerca, della normativa, del settore produttivo e della cantieristica, visto e considerato il crescente interesse e utilizzo del legno strutturale anche in Italia.

11.5. Esempi di edifici multipiano in legno nello scenario europeo ed internazionale

Il legno risulta essere impiegato significativamente dal punto di vista strutturale e non solo, come dimostrato dall'applicazione in edifici in Europa, ed in Italia, fino all'Australia ed al Canada. La destinazione d'uso degli edifici in legno, sia che questo venga utilizzato come materiale strutturale o anche come rivestimento eventualmente trattato, è varia e differenziata con una proposta architettonica e progettuale che spazia dagli **edifici scolastici** come il nido d'infanzia a Guastalla (2015), ad **edifici commerciali ed adibiti ad uffici** come il LifeCycle Tower One a Dornbirn in Austria (2012) o il Tamedia Office Building di Zurigo (2013), o il Wood Innovation Design Centre a Prince George in Canada (2014), dalle **strutture ricettive**, alcune delle quali già citate, oltre a casi come l'Hotel Nautilus a Pesaro (2016) o veri e propri grattacieli multipiano, fino a **stazioni della metropolitana** come il Metropol Parasol di Siviglia (2011), analizzato successivamente per il trattamento superficiale del legno e la particolare conformazione estetica, o a **strutture sportive**, come il Westhills Stadium a Langford in Canada (2019) o l'Eco Park Stadium di Nailsworth in Gran Bretagna (2017), e a **strutture ricreative e musei** come l'Auditorium Parco della Musica di L'Aquila (2012) o il Centre Pompidou di Metz in Francia (2010).



LifeCycle Tower One (2012)



Westhills Stadium (2019)



Tamedia Office Building (2013)



Eco Park Stadium (2017)

Le proposte in cui il legno ricopre un ruolo dominante all'interno dello scenario contemporaneo, sono comunque numerose per quanto concerne la **destinazione d'uso residenziale**, le quali spesso si inseriscono in un **contesto culturale che non rinnega le proprie tipologie edilizie ma le rielabora recuperando i virtuosismi della tecnica costruttiva lignea**.

Gli edifici residenziali sono stati oggetto di una più approfondita analisi progettuale, tecnologica, strutturale, estetica e formale, distributiva e funzionale secondo una suddivisione planimetrica in base all'identificazione delle principali funzioni sottostanti, indicate per ciascuno dei dodici edifici scelti per lo studio:

-  Aree di accesso

-  Elementi di distribuzione: distribuzione verticale principale

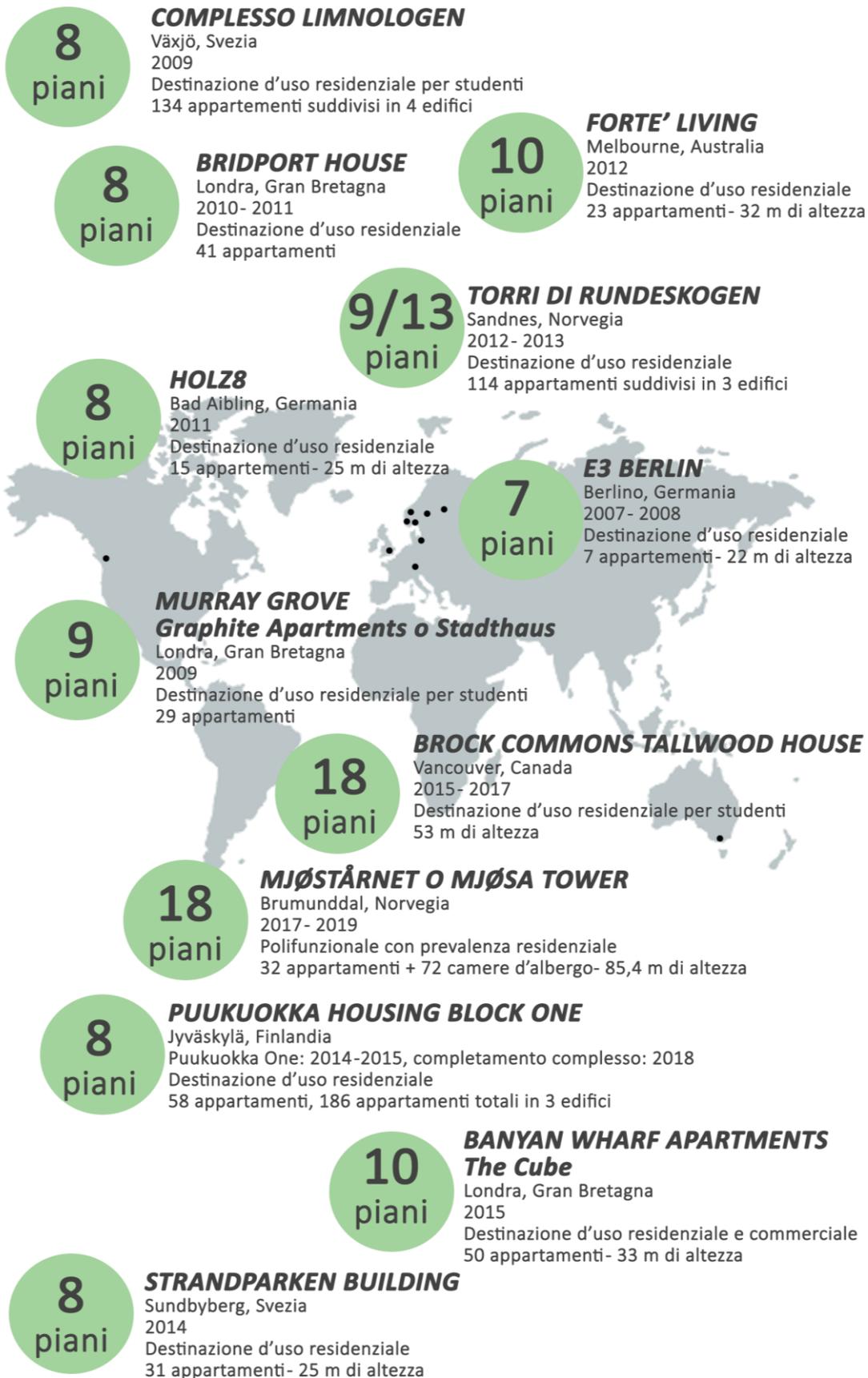
-  Elementi di distribuzione: distribuzione di piano

-  Unità abitative: tipologia di appartamento non specificata o con quattro posti letto

-  Unità abitative: appartamento con camera da letto doppia

-  Unità abitative: monocale o camera con un posto letto
oppure appartamento con tre o sei posti letto

-  Altre funzioni: uffici, attività commerciali e di ristorazione, servizi e aree comuni,
balconi e terrazzi, aree di deposito



Bridport House

DICOTOMIA
PREFABBRICAZIONE
SOSTENIBILITA'

Sintesi del progetto

Bridport House, simbolo di una nascente architettura urbana sostenibile, sorge nel quartiere di Hackney in seguito alla demolizione di uno stabile residenziale risalente al 1950 costituito da 20 unità immobiliari lasciando spazio al nuovo edificio che conta 41 appartamenti, per il quale, per la prima volta nel Regno Unito, si è utilizzato il legno lamellare a strati incrociati X-LAM per la totalità della struttura multipiano.

La Bridport House si compone di unità immobiliari di tipologie diversificate che vanno dalla singola alle quattro camere da letto, con accesso privato e annesso giardino per gli alloggi più grandi posti al piano terreno oppure con accesso condominiale e balcone per quelli situati ai piani superiori.

Dati

Autore	Lo studio Karakusevic Carson Architects di Londra ha progettato l'edificio, con le imprese EURBAN ltd e Stora Enso che si sono occupate della fornitura e dell'assemblaggio degli elementi lignei, oltre alla collaborazione ingegneristica strutturale dello studio Peter Brett Associates
Anno di edificazione	2010 – 2011
Luogo	Londra, Gran Bretagna
Destinazione d'uso	Residenziale
Superficie complessiva	2.535 mq
n° di appartamenti	41
Altezza	5 e 8 piani

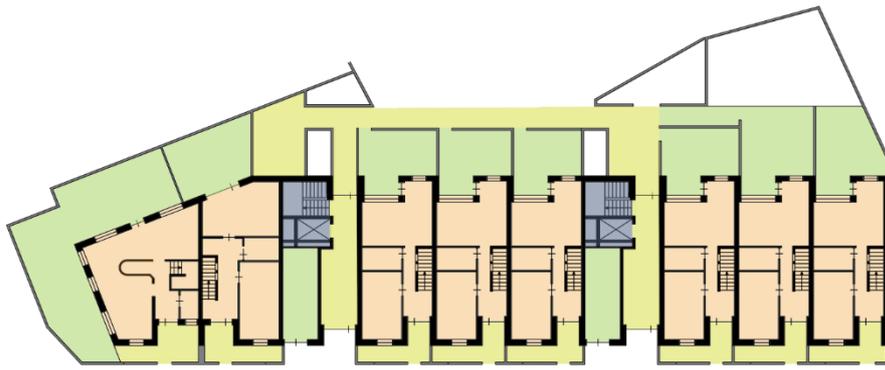
Elaborati grafici



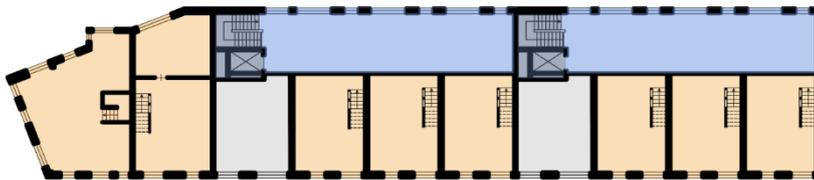
Modello volumetrico tridimensionale dell'edificio



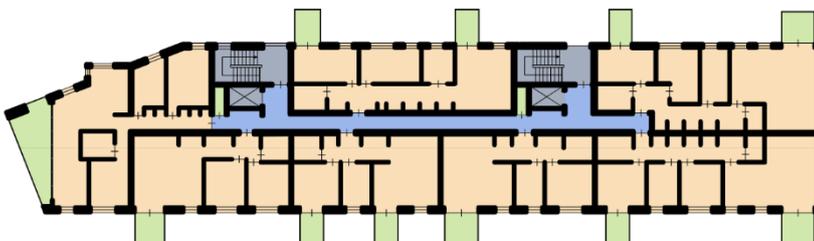
Prospetto dell'edificio e dettagli dei rivestimenti in facciata



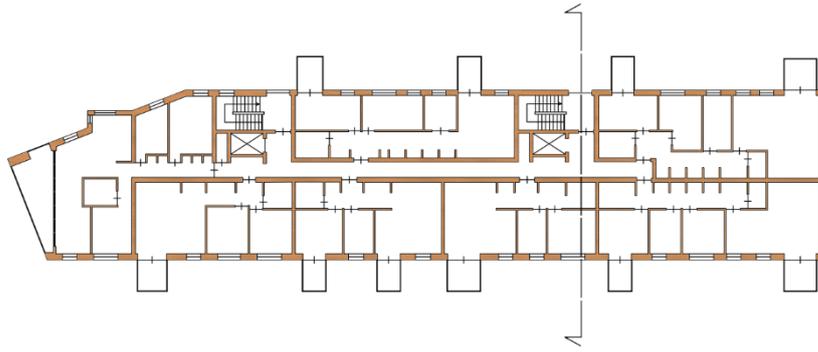
Pianta funzionale distributiva piano terreno – scala 1:500 – elaborazione degli autori



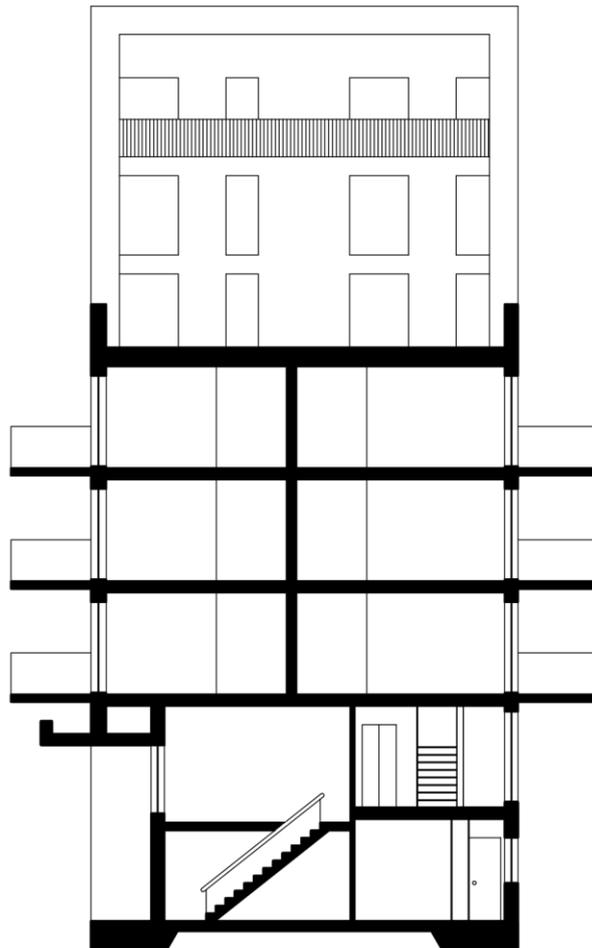
Pianta funzionale distributiva piano primo – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Pianta funzionale distributiva piano tipo (piani superiori al primo) – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Pianta strutturale dell'edificio – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Sezione dell'edificio – scala 1:200 – elaborazione degli autori

Descrizione principi architettonici

In Bridport House si osserva come la **struttura lignea venga combinata con altri materiali da costruzione**, nei rivestimenti sovrastrutturali il legno viene associato con i mattoni, ma sono anche molteplici i dettagli architettonici in alluminio e in rame. La fase progettuale è stata accompagnata da un accurato processo di coinvolgimento degli abitanti della zona per valutare le soluzioni architettoniche favorite dai residenti, identificando nel mattone il materiale percettivamente più resistente e durabile nel tempo: **la struttura lignea in X-LAM è quindi rivestita esternamente di mattoni**, rivestimento ritenuto adeguato vista anche la continua esposizione solare diurna, essendo l'edificio posto ad est-ovest, della quale giovano gli ampi balconi, fissati alle pareti esterne dell'edificio mediante telai metallici.

Selezione di fotografie e di dettaglio



Esterno dell'edificio



Fase di cantiere in cui si apprezza la struttura in legno, successivamente rivestita, non evidente in facciata



Interno dell'edificio in fase di cantiere e ad edificio terminato, nel quale anche internamente non si coglie la struttura lignea



Zona esterna privata di un appartamento posto al piano terreno dell'edificio

Descrizione elementi tecnologici e costruttivi

Il sistema costruttivo della Bridport House è **totalmente in pannelli di legno lamellare a strati incrociati**, infatti, al di fuori della fondazione in calcestruzzo, tutti i piani in elevazione, incluso il piano terreno che spesso è in cemento, sono costituiti da pannelli in X-LAM con spessore decrescente dal basso verso l'alto dell'edificio per ridurre i carichi da trasferire al suolo: la soluzione in lamellare è ideale poiché permette di ottenere una struttura ad 8 piani molto più leggera rispetto alla precedente in calcestruzzo di soli 5 piani, oltretutto la caratteristica della

leggerezza è fondamentale a causa del passaggio di un condotto fognario vittoriano nella zona sottostante al luogo di intervento. Oltre alla leggerezza, la struttura in X-LAM consente di raggiungere una **stabilità dimensionale tale da utilizzare il legno anche per il nucleo centrale di distribuzione verticale**, anziché optare per il più frequente impiego di acciaio o cemento per questo elemento, inoltre assicura la sola eventuale carbonizzazione delle zone più esterne del pannello e il mantenimento di una efficienza strutturale senza alcun collasso improvviso e repentino in caso di incendio, infine ammette una velocità di assemblaggio, grazie alla prefabbricazione degli elementi lignei, che per la Bridport House ha richiesto un periodo pari a 12 settimane tramite la connessione delle giunzioni tra le pareti e i solai realizzate ad incastro lungo i bordi degli elementi per rendere maggiormente solidi i nodi.

Il nuovo complesso residenziale rappresenta uno delle prime costruzioni ambientalmente sostenibili grazie all'applicazione del sistema ligneo in X-LAM che, oltre ai molteplici vantaggi che l'hanno reso il metodo costruttivo migliore per l'edificio, è in grado di immagazzinare una grande quantità di carbonio, equivalente a 1.182 tonnellate di anidride carbonica in base ai 1.500 m³ di legname che costituisce Bridport House.

Considerazioni riassuntive sul rapporto tra forma architettonica, principi costruttivi ed espressività del legno nel progetto

Bridport House dimostra come sia possibile la costruzione di edifici alti completamente in legno mediante una conoscenza del materiale e una **scelta ponderata del sistema costruttivo secondo le condizioni caratteristiche e molto variabili di ciascun luogo di edificazione**: il progetto di Bridport House prova l'importanza della corretta valutazione in fase progettuale dei criteri ambientali di esposizione e climatici, morfologici del territorio, di assemblaggio dell'opera, architettonici, di sicurezza statica e antincendio, e storici, fattori che si traspongono in questo caso nella flessibile soluzione costruttiva strutturale in X-LAM rivestita in mattoni per questioni estetiche e di durabilità, senza sminuire il vantaggio ambientale connesso all'utilizzo del legname come principale materiale da costruzione.

Sitografia: www.architecture.com - www.eurban.co.uk - woodforgood.com - www.clt.info – karakusevic-carson.com

Brock Commons Tallwood House

DICOTOMIA

PREFABBRICAZIONE

RESISTENZA AL FUOCO

Sintesi del progetto

Il Brock Commons Tallwood House è un edificio certificato LEED Gold con funzione di residenza studentesca nato per aumentare la disponibilità di alloggi per 404 studenti della University of British Columbia: esso comprende un mix di unità abitative che vanno dal monolocale ai quattro posti letto comprendenti cucina e servizi, mentre le zone comuni destinate alla didattica e allo svago si trovano al piano terra con la sala studio al diciottesimo piano.

Dati

Autore	Lo studio Acton Ostry Architects Inc. di Vancouver ha progettato l'edificio in collaborazione con lo studio di ingegneria Fast + Epp, i fornitori di legname Architekten Hermann Kaufmann dell'Austria e Structurlam di Penticton che ha fornito i componenti prefabbricati in legno, con la gestione del progetto da parte di UBC Properties Trust
Anno di edificazione	Novembre 2015 – Agosto 2017
Luogo	Vancouver, Canada
Destinazione d'uso	Residenziale per studenti
Superficie complessiva	15.115 mq
n° di appartamenti	306
Altezza	18 piani - 53 metri di altezza

Elaborati grafici



Prospetto sud dell'edificio



Prospetto ovest dell'edificio



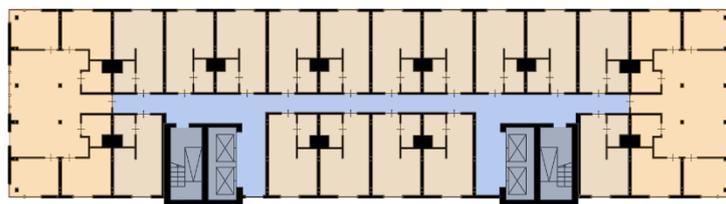
Prospetto nord dell'edificio



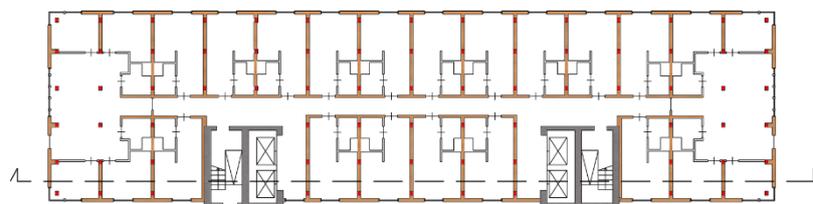
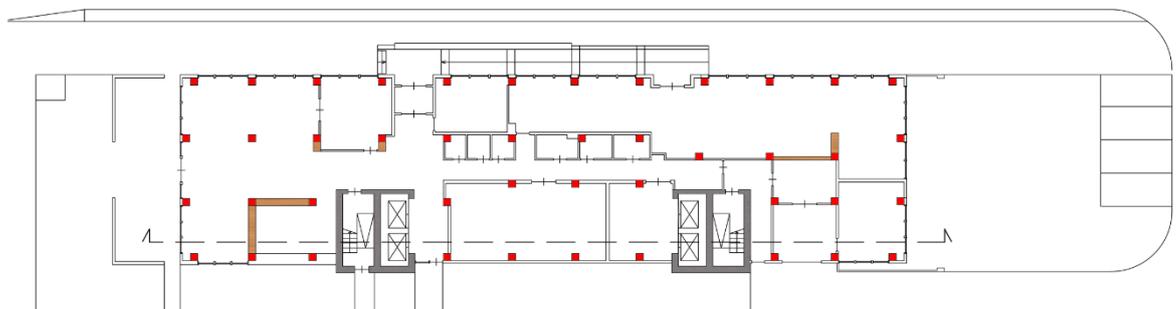
Prospetto est dell'edificio



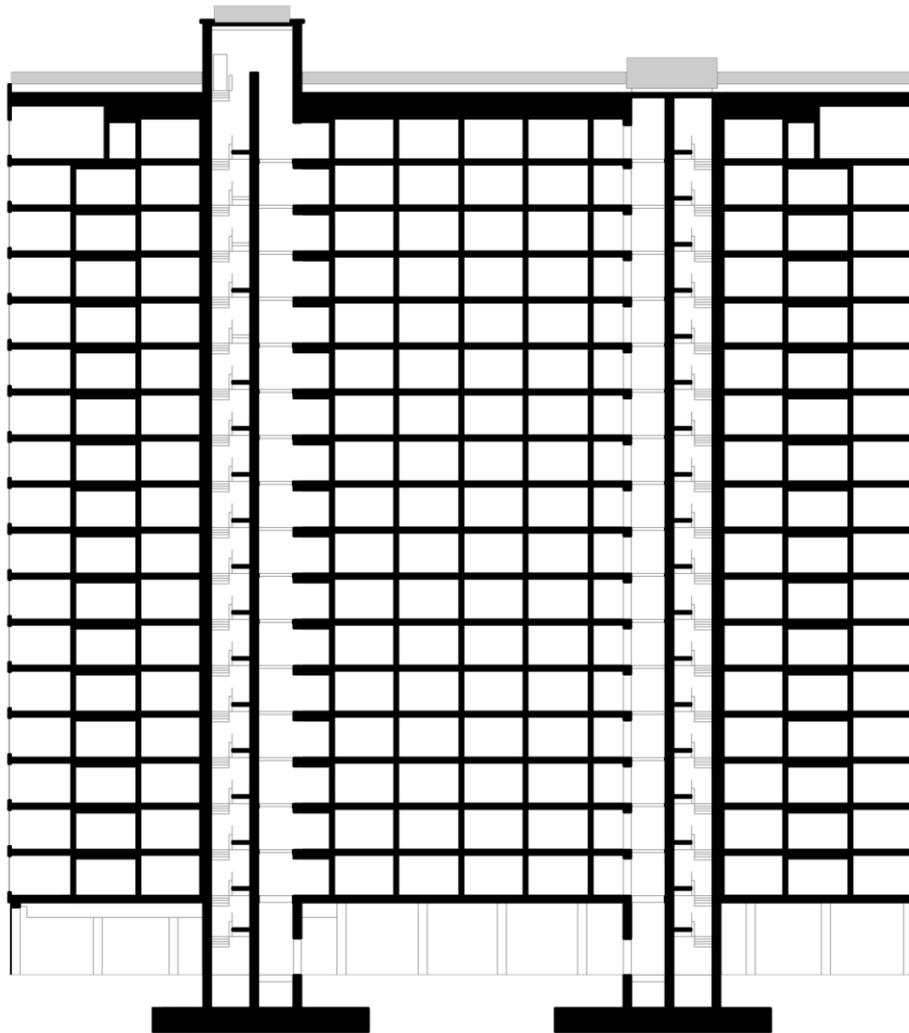
Pianta funzionale distributiva piano terreno – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Pianta funzionale distributiva piano tipo – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Piante strutturali dell'edificio – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Sezione dell'edificio – scala 1:500 – elaborazione degli autori

Descrizione principi architettonici

L'edificio ha una altezza di 53 metri e si presenta tramite una facciata prefabbricata composta da moduli prefabbricati realizzati al 70% da fibra di legno con telai metallici, caratterizzata da un rivestimento che mostra una scansione secondo uno schema di fasce verticali, la cui superficie risulta interrotta dalla presenza delle numerose aperture anch'esse disposte schematicamente, ed una cornice metallica che inquadra l'intero edificio.

L'approccio progettuale architettonico, principalmente motivato da questioni legate alla stabilità strutturale e alla resistenza al fuoco, oltre che da una semplice approvazione dell'intervento, è quindi quello di una apparenza dell'edificio ordinaria nella quale non emerge il legno come materiale utilizzato in prevalenza, attraverso un **incapsulamento della struttura in legno e quindi uno riempimento dello spazio tra gli elementi lignei**, sia esternamente con il sistema di involucro di pannelli prefabbricati rivestiti con laminato ad alta pressione in fibra di legno, che internamente con l'utilizzo di strati multipli di cartongesso per la resistenza al fuoco.

Selezione di fotografie e di dettaglio



Esterno dell'edificio e fase di cantiere che mostra la struttura lignea e i nuclei in calcestruzzo



Dettaglio delle pannellature di rivestimento della facciata dell'edificio e fase di montaggio degli elementi prefabbricati



Fase di cantiere che mostra la struttura in legno, successivamente colmata dalla pannellatura visibile esternamente



Interno dell'edificio in fase di cantiere, durante il quale si osserva la struttura lignea

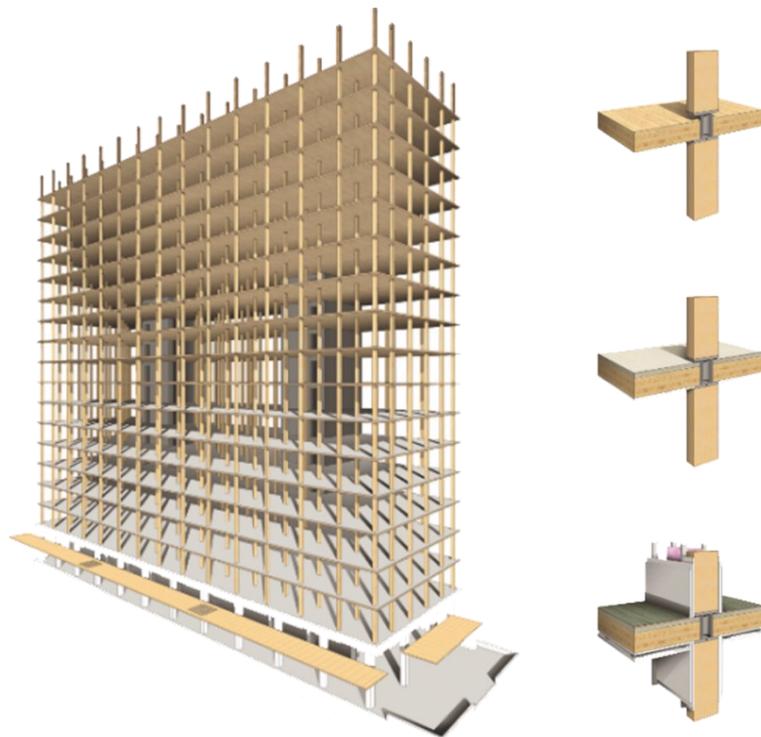
Descrizione elementi tecnologici e costruttivi

La struttura del Brock Commons consiste in un ibrido tra materiali quali legno, acciaio e cemento: lo sviluppo dell'edificio comprendente 17 piani di pavimento in **legno lamellare a 5 strati incrociati X-LAM**, supportati da colonne in **legno lamellare Glulam** secondo una griglia strutturale a telaio di dimensione 2,85 metri X 4 metri che si snodano lungo i **due nuclei delle scale e degli ascensori in cemento** poggiando su una base di fondazione, e quindi la struttura del piano terreno anch'essa in cemento, integrata grazie all'inserimento di vetrate per facciate continue e pannelli in vetro.

Il diaframma strutturale trasmette le forze tramite **connessioni in acciaio** montate sulle colonne in Glulam al fine di trasferire il carico sulla griglia sottostante di pannelli in legno a strati incrociati, entrambi prodotti derivati dal legno prefabbricati e testati sia dal punto di vista della stabilità che dei tempi di montaggio precedentemente alla costruzione, fattori che hanno permesso una **ottimizzazione del processo di cantierizzazione** dell'opera: l'innovativo **sistema strutturale ibrido** applicato al Brock Commons ha consentito una edificazione rapida con un equipaggio di nove persone, completata in circa 70 giorni dall'arrivo delle componenti prefabbricate da assemblare in cantiere.



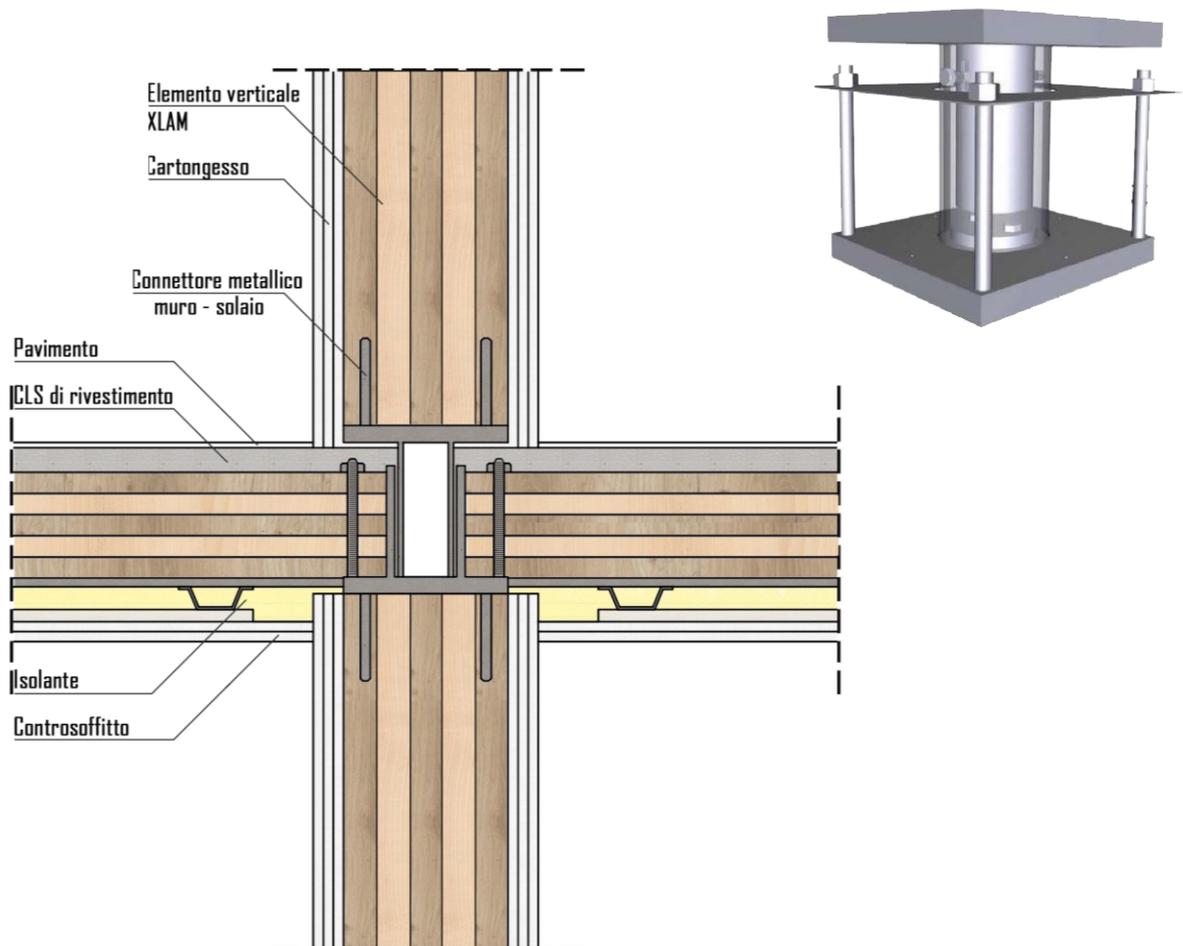
Modello tridimensionale dell'edificio



Modello strutturale tridimensionale dell'edificio e particolari delle connessioni in acciaio tra gli elementi verticali ed orizzontali lignei che compongono la struttura



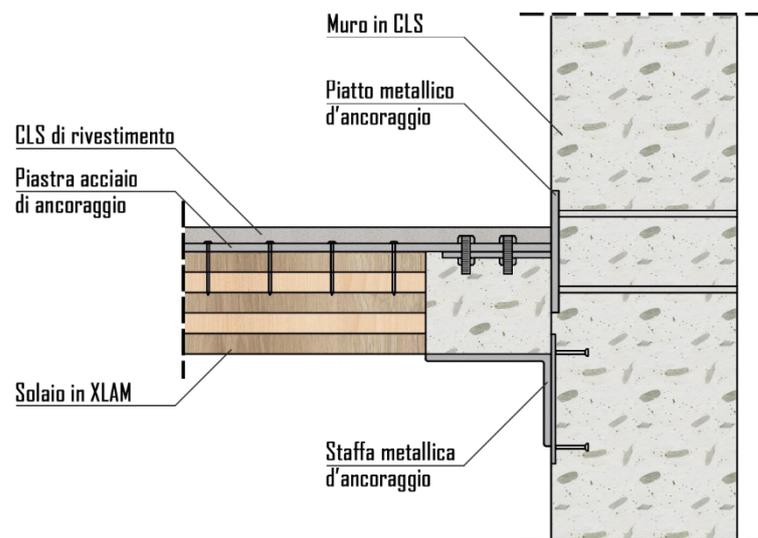
Fase di cantierizzazione della struttura ibrida dell'edificio ed elementi verticali prefabbricati in Glulam nello stabilimento di produzione, già provvisti di connettori di ancoraggio ai piani orizzontali e pronti all'installazione in cantiere tramite montaggio a secco



Dettaglio del nodo di connessione tra elementi verticali ed orizzontali in legno in tecnologia X-LAM, dei quali si osserva la composizione stratigrafica, tramite connettore metallico – scala 1:20 – elaborazione degli autori



Connessione tra elemento ligneo orizzontale in X-LAM e nucleo centrale in calcestruzzo della struttura dell'edificio mediante sostegno metallico



Dettaglio del nodo di connessione tra l'elemento orizzontale in legno e il nucleo in calcestruzzo del blocco distributivo verticale dell'edificio tramite una staffa metallica che funge da ancoraggio tra legno e cemento – scala 1:20 – elaborazione degli autori

Considerazioni riassuntive sul rapporto tra forma architettonica, principi costruttivi ed espressività del legno nel progetto

La costruzione del Brock Commons Tallwood House con il suo innovativo sistema strutturale ibrido, nel quale si è optato per la **combinazione del legno con le anime in cemento e le connessioni in acciaio** tra i pilastri e i solai, dimostra come gli sviluppi tecnologici con le macchine a controllo numerico e i modellatori strutturali, unitamente ad una buona pianificazione di cantiere e ad una efficace integrazione dei processi di costruzione e di progettazione, possano consentire l'applicazione di processi e materiali da costruzione performanti ed efficienti che garantiscono stabilità dimensionale, resistenza e sicurezza permettendo di costruire raggiungendo anche elevate altezze con il legno, materiale che si pone come una valida opzione che può contribuire al raggiungimento di alte performance costruttive, alla semplificazione della progettazione e della costruzione degli edifici.

Sitografia: www.archdaily.com - www.naturallywood.com - www.naturallywood.com - www.green.it - www.actonostry.ca

Complesso Limnologen

PREFABBRICAZIONE

PROTEZIONE DEL CANTIERE

Sintesi del progetto

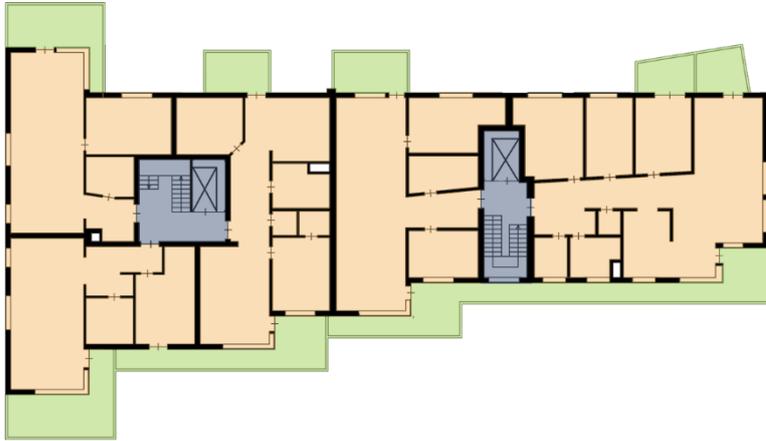
La realizzazione del complesso Limnologen, che occupa una suggestiva posizione di fronte al lago Trummen, ha inizio in seguito ad un concorso indetto per incentivare l'utilizzo di legno locale per le costruzioni nel distretto di Limnologen rafforzando il profilo della città come promotrice di opere edilizie in legno.

Il complesso residenziale, costituito da **4 edifici per un totale di 134 appartamenti con dimensioni dai 37 ai 114 mq**, dei quali una delle 5 tipologie è su doppio livello, è sorto dopo l'effettuazione di varie sperimentazioni, sia in fase di progetto che di cantiere, sul contenimento delle vibrazioni dei solai, sulla riduzione dei ponti acustici tra appartamenti e sulla riduzione delle deformazioni verticali dovute al ritiro dimensionale del legno.

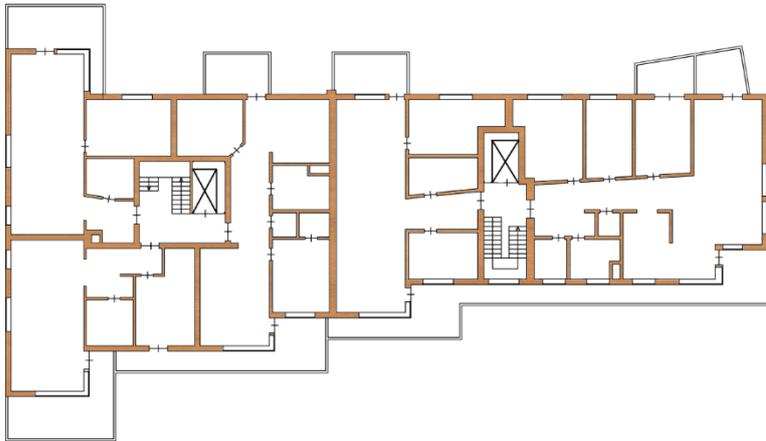
Dati

Autore	Lo studio ArkitektBolaget ha progettato l'edificio, in collaborazione con lo studio di ingegneria Martinsons byggsystem
Anno di edificazione	2008 – 2009: i primi due dei quattro edifici a Limnologen sono stati terminati durante la primavera e l'inizio dell'estate 2008, mentre la seconda fase ha portato a termine i restanti due nell'estate 2009
Luogo	Växjö, Svezia
Destinazione d'uso	Residenziale
Superficie complessiva	10.700 mq
n° di appartamenti	134
Altezza	8 piani – 4 edifici

Elaborati grafici



Pianta funzionale distributiva piano tipo – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Pianta strutturale dell'edificio – scala 1:500 – elaborazione degli autori

Descrizione principi architettonici

Gli edifici del complesso Limnologen sono costruiti interamente in legno, dalla struttura al rivestimento listellare in facciata, interrotto solo da alcune minime porzioni intonacate, con un risultato di intervento edilizio a grande scala: architettonicamente ciascun edificio si presenta come un blocco dal rivestimento ligneo sviluppato maggiormente in lunghezza piuttosto che in larghezza, che funge da attrattore visivo per il lago, con il quale entra in contatto per un paio di metri mediante il molo ligneo esterno a sbalzo sullo specchio d'acqua a proseguimento della sala posta al piano terreno. Ciascun edificio del complesso, oltre a creare un cono visivo, funge anche da punto di osservazione del lago tramite le finestre a bovindo e i balconi posti lungo il fronte più esposto a sud, riducendo così su questo lato la superficie di rivestimento ligneo con le terrazze che proteggono il legno esterno dagli agenti atmosferici e dal vento.

La vicinanza del complesso Limnologen al lago è inoltre rafforzata dalle pareti esterne delle unità abitative che affacciano su di esso, le quali risultano posizionate obliquamente nella disposizione degli appartamenti: lo studio delle planimetrie interne ha richiesto un articolato lavoro di collaborazione tra il team progettuale e strutturale per il contemporaneo soddisfacimento della richiesta di una pianta aperta da ponderare rispetto alla funzione portante di alcune pareti interne.

Selezione di fotografie e di dettaglio



Esterno dell'edificio



Esterno dell'edificio



Esterno dell'edificio



Fase di cantierizzazione durante la quale si osserva l'importanza del processo di controllo dell'umidità del manufatto ligneo tramite un sistema di protezione dagli agenti atmosferici mediante materiali impermeabili a copertura della struttura dell'edificio



Fase di costituzione del complesso di edifici con l'avvenuta edificazione di tre edifici su un totale di quattro totali

Descrizione elementi tecnologici e costruttivi

Il progetto del complesso Limnologen elabora la una tecnologia costruttiva basata su **setti strutturalmente portanti verticali e orizzontali in compensato di tavole incollate X-LAM**, integrati e rinforzati in alcune zone da **travi e pilastri** per ridurre le deformazioni della struttura, con l'adozione di una soluzione che consente di limitare sensibilmente gli ancoraggi di tipo tradizionale tramite l'inserimento di **48 tiranti in acciaio**, i quali richiedono una rimessa in tensione e un re-incurvamento dell'acciaio periodici, posizionati nelle pareti interne per trasferire all'elemento di fondazione, realizzata su pali, e contrastare le azioni dovute al vento ed eventualmente al sisma; quest'ultima soluzione motiva la scelta di eseguire anche il piano terreno di ciascun edificio in calcestruzzo al fine di aumentare il peso della parte inferiore della struttura semplificando e rendendo più sicuro l'ancoraggio dei piani superiori. Ad esclusione del piano terreno, le pareti perimetrali e divisorie di ciascuna struttura, incluso il vano ascensore, e i solai, che fungono da piastre rigide, sono totalmente in legno, con l'applicazione di un sigillante in poliuretano tra gli elementi per ridurre la trasmissione sonora tra le unità: le pareti sono composte da un triplice strato in X-LAM, ed eventualmente rifinite internamente da tavole di gesso, mentre gli orizzontamenti sono in compensato di tavole X-LAM a tre strati rinforzati da travi di legno lamellare Glulam a forma di T con interasse 60 cm.

I pannelli a base di legno utilizzati nell'edificazione del complesso Limnologen sono elementi prefabbricati in stabilimento, essi, precedentemente all'arrivo in cantiere, sono stati pretagliati con le opportune eventuali scanalature longitudinali per accogliere i tubi del riscaldamento a pavimento e parzialmente pre-assemblati con l'inserimento di alcuni componenti di isolamento, impianti, rivestimenti e serramenti.

Durante ogni fase di produzione, trasporto e montaggio e costruzione degli elementi lignei del complesso Limnologen, ha rivestito una particolare importanza il **processo di controllo dell'umidità**: in seguito alla produzione in stabilimento, per la fase di trasporto, gli elementi delle pareti sono stati avvolti in pellicola e plastica, coperti da teli e trasportati in posizione verticale in mezzi aperti, a differenza degli elementi dei solai che sono stati ricoperti da teloni, impilati orizzontalmente e trasportati con mezzi chiusi. Successivamente, lo scarico in cantiere è avvenuto tramite carrelli elevatori in attesa dello spostamento nella zona di sollevamento per l'assemblaggio, fase durante la quale si è messo in pratica un piano di montaggio con una

attenzione verso la **protezione dagli agenti atmosferici** degli elementi, avvenuta mediante la copertura della struttura per tutta la durata del cantiere.



Stratigrafie delle chiusure verticali opache verso l'esterno, delle pareti di separazione tra le unità abitative dell'edificio e delle partizioni interne a ciascun appartamento – elaborazione degli autori



Stratigrafie degli elementi di solaio di partizione orizzontale della struttura dell'edificio e sistema di riscaldamento a pavimento – elaborazione degli autori

Considerazioni riassuntive sul rapporto tra forma architettonica, principi costruttivi ed espressività del legno nel progetto

Il complesso Limnologen racchiude in quattro edifici multipiano una concentrazione tale di elementi lignei da dimostrare come un piano di montaggio e di protezione dai fattori climatici e l'adattabilità in cantiere sono alcune delle indispensabili condizioni richieste dal materiale ligneo, particolarmente idoneo alla prefabbricazione.

Il progetto, nel quale il legno è presente dalla struttura alla facciata, presenta geometrie relativamente complesse rispetto alle usuali soluzioni tecnologiche e formali che si adattano solitamente alla prefabbricazione del legno, unitamente ad una ambiziosa sfida nella gestione del sistema di stabilizzazione strutturale degli edifici, tematiche risolte secondo un approccio lineare che mira alla semplificazione delle eventuali problematiche, come l'acustica e l'esposizione della facciate a sud, e ad una attenta pianificazione progettuale ante cantierizzazione.

Sitografia: www.europeanwood.org.cn - www.arketipomagazine.it

E3 Berlin

DICOTOMIA

PREFABBRICAZIONE

RESISTENZA AL FUOCO

Sintesi del progetto

L'edificio E3 è il simbolo dell'origine delle costruzioni alte in legno in Germania ed è il primo edificio ligneo con uno sviluppo su sette piani di altezza in Europa che si inserisce in un contesto urbano ben strutturato e definito da alti edifici stilisticamente tradizionali in cemento, nel quale E3 Berlin si pone dialogando perfettamente con l'esistente, ma con un aspetto innovativo e aperto verso la città: il progetto rappresenta un modello europeo per l'applicazione della norma della legislazione urbanistica tedesca in materia di limiti d'altezza che ammetteva solo un massimo di cinque piani di altezza, infatti l'edificazione di E3 è stata approvata eccezionalmente in seguito alla presa in considerazione e alla valutazione del rispetto dei requisiti di sicurezza dell'edificio residenziale con la richiesta della stesura di un progetto antincendio.

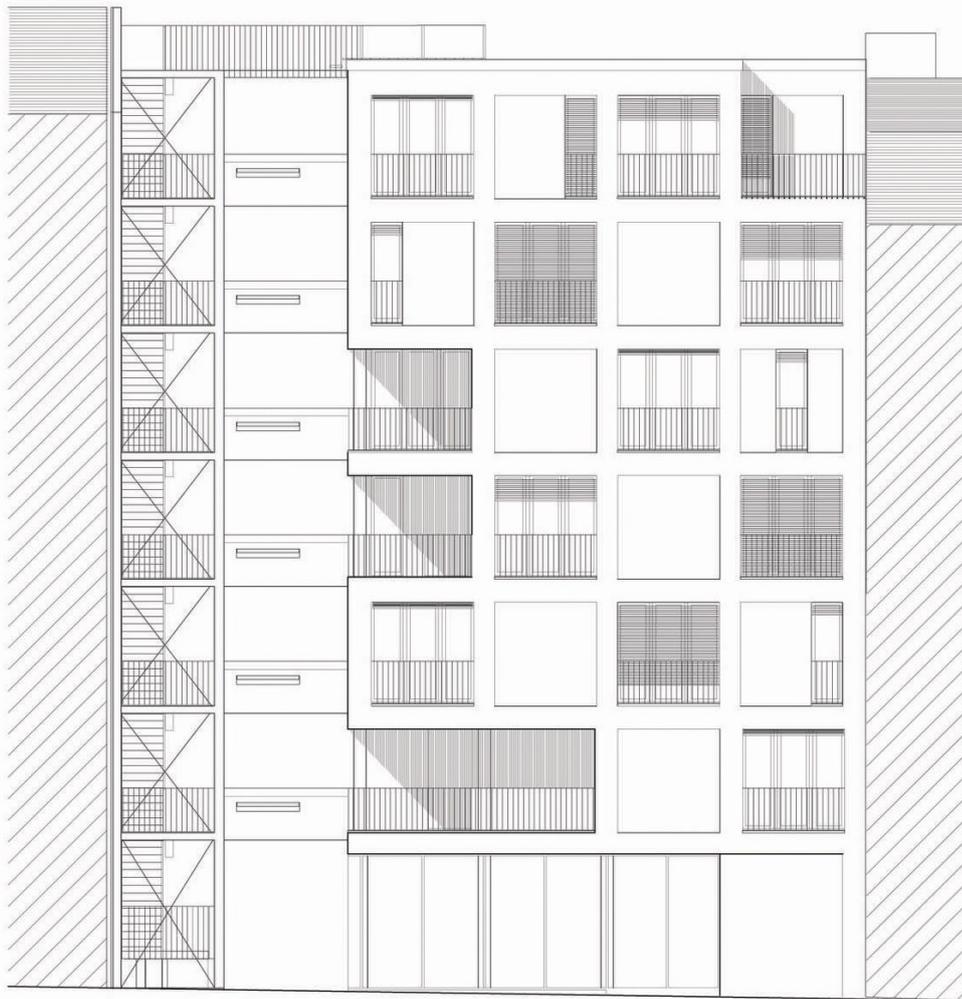
Il complesso residenziale E3 si compone di sette appartamenti di dimensioni che vanno da 120 mq ai 160 mq accessoriati di balconi e terrazze, alcune delle quali comuni e accessibili direttamente dal vano scala, posti sia verso il fronte stradale che verso quello del giardino retrostante.

Dati

Autore	Lo studio Kaden Klingbeil Architekten di Monaco ha progettato l'edificio, in collaborazione con lo studio di ingegneria Julius Natterer e l'impresa costruttrice Projekt Holzbau Merkle
Anno di edificazione	Agosto 2007 – Maggio 2008
Luogo	Berlino, Germania
Destinazione d'uso	Residenziale
Superficie complessiva	990 mq

n° di appartamenti	6
Altezza	7 piani - 22 metri di altezza – altezza interpiano dal pavimento al soffitto 2,78 metri

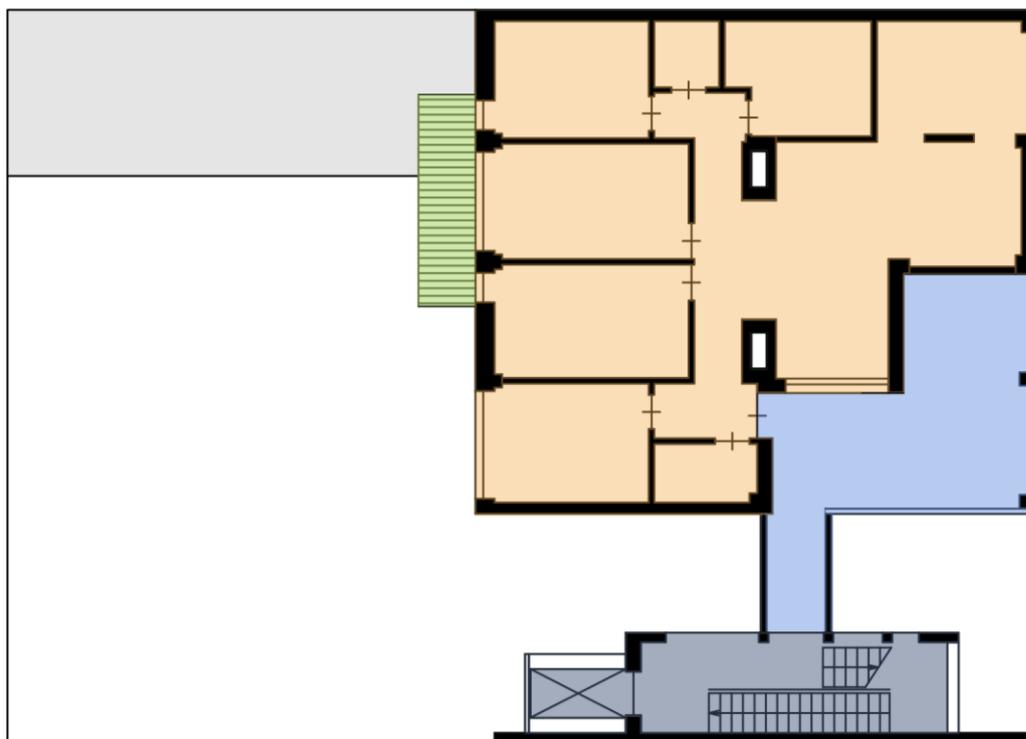
Elaborati grafici



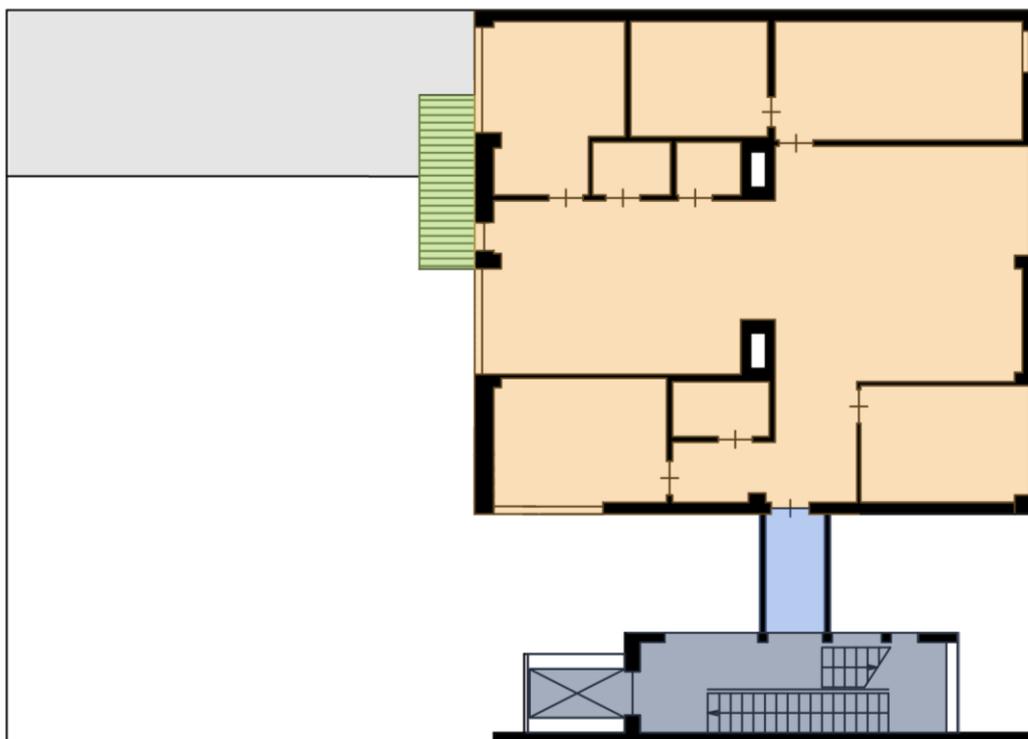
Prospetto fronte strada dell'edificio



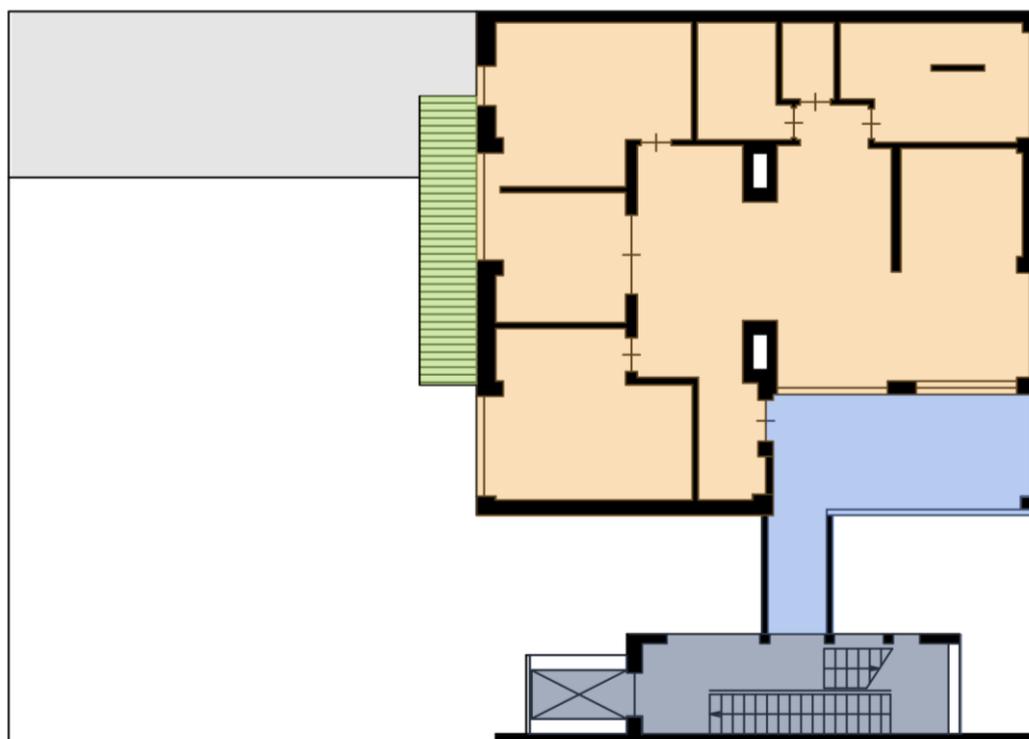
Pianta funzionale distributiva piano terreno – scala 1:200 – elaborazione degli autori



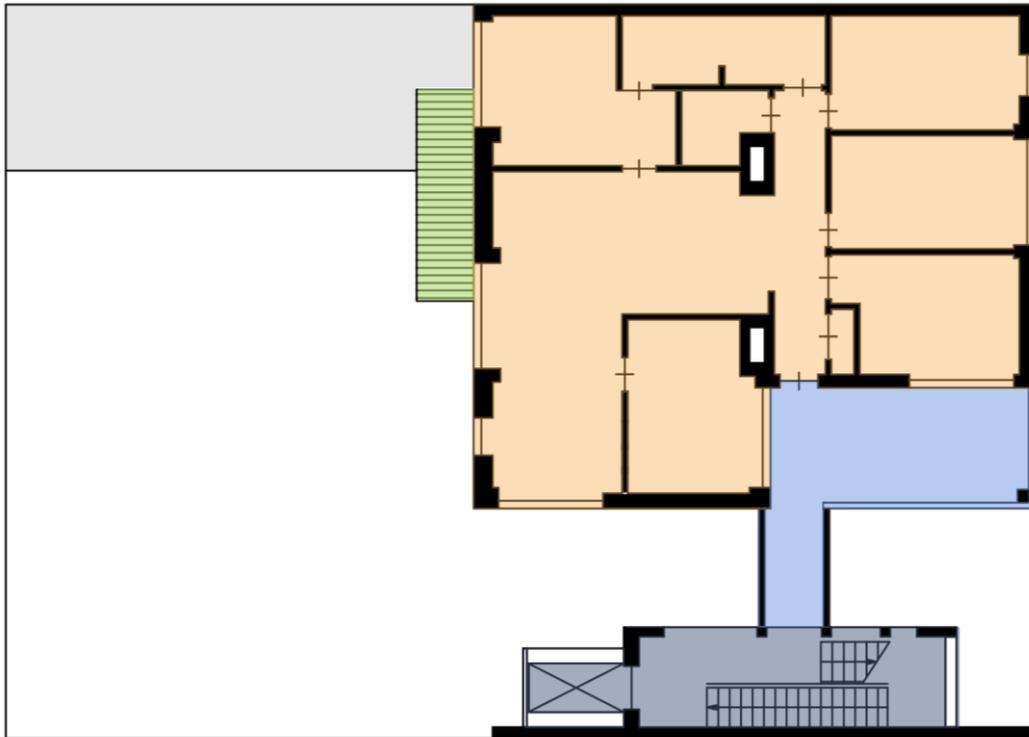
Pianta funzionale distributiva piano primo – scala 1:200 – elaborazione degli autori



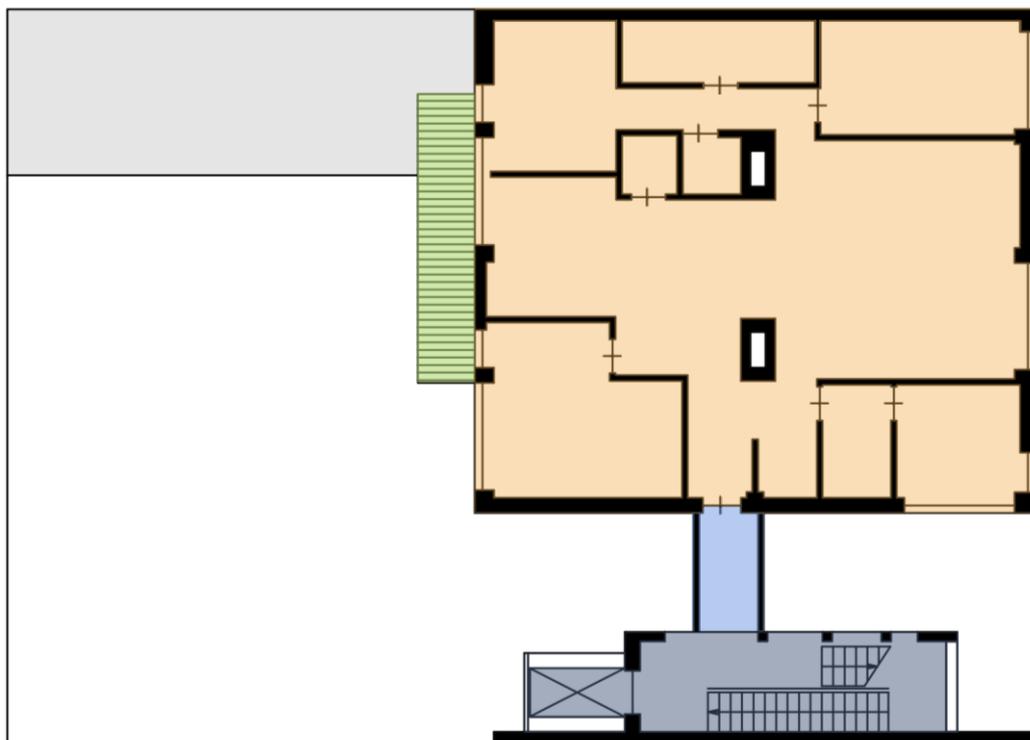
Pianta funzionale distributiva piano secondo – scala 1:200 – elaborazione degli autori



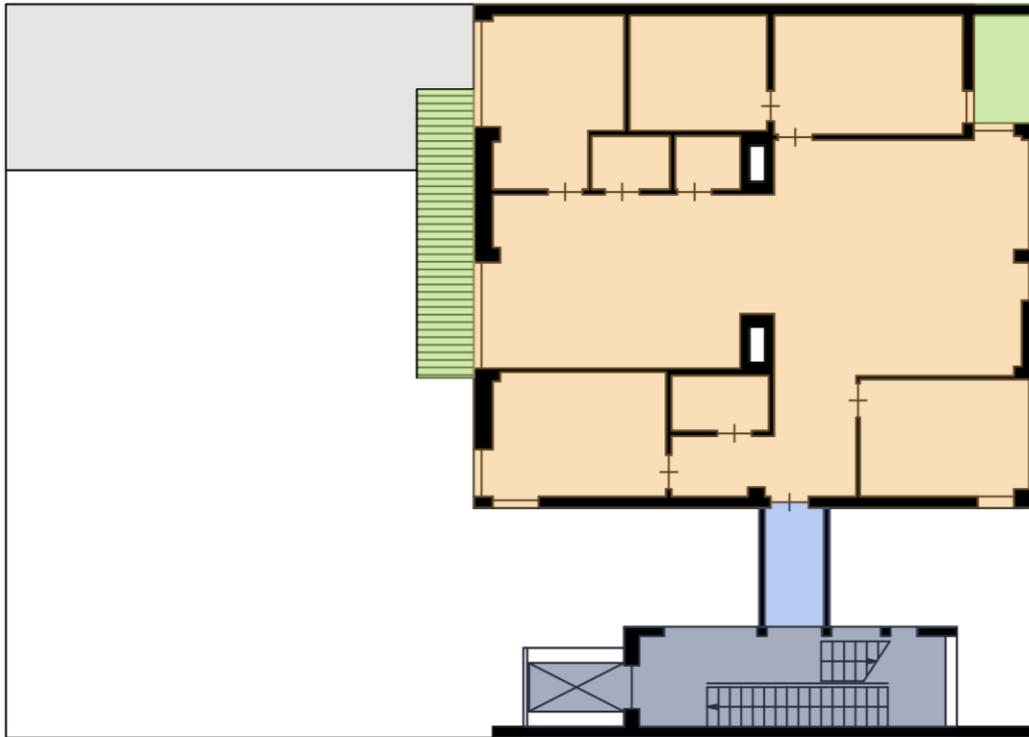
Pianta funzionale distributiva piano terzo – scala 1:200 – elaborazione degli autori



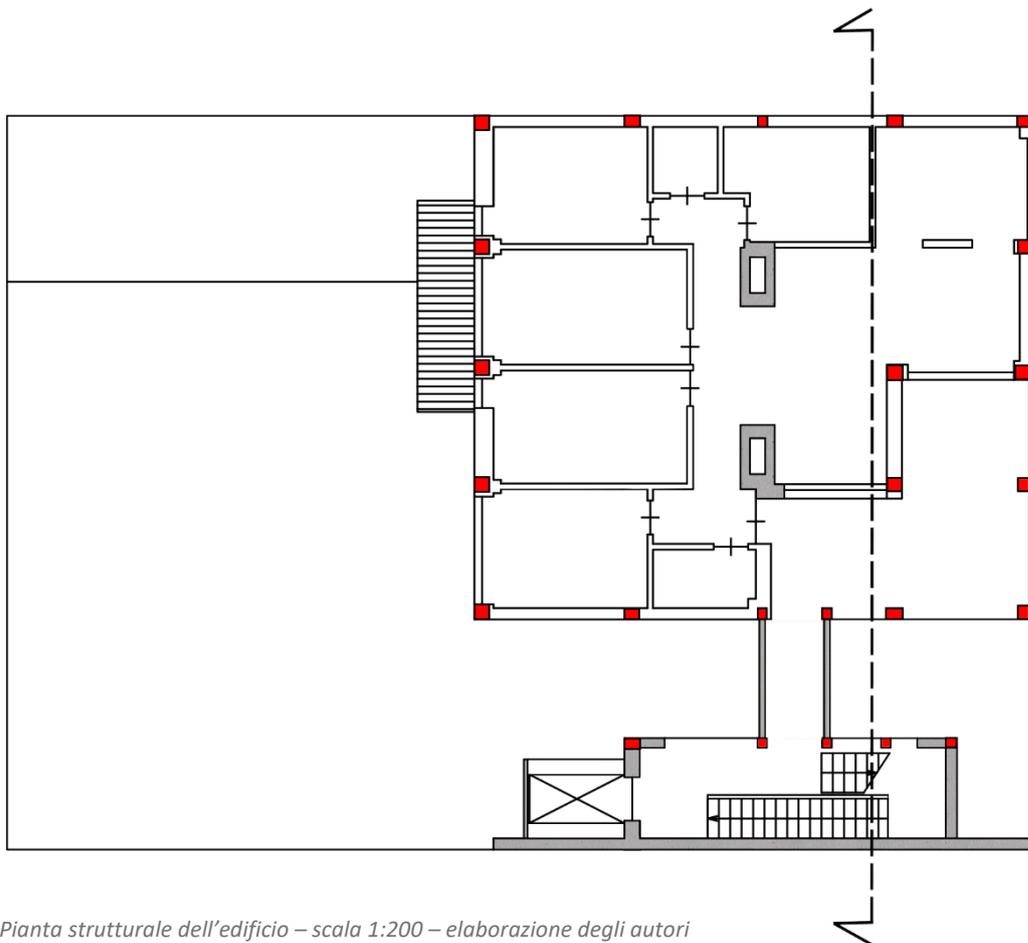
Pianta funzionale distributiva piano quarto – scala 1:200 – elaborazione degli autori



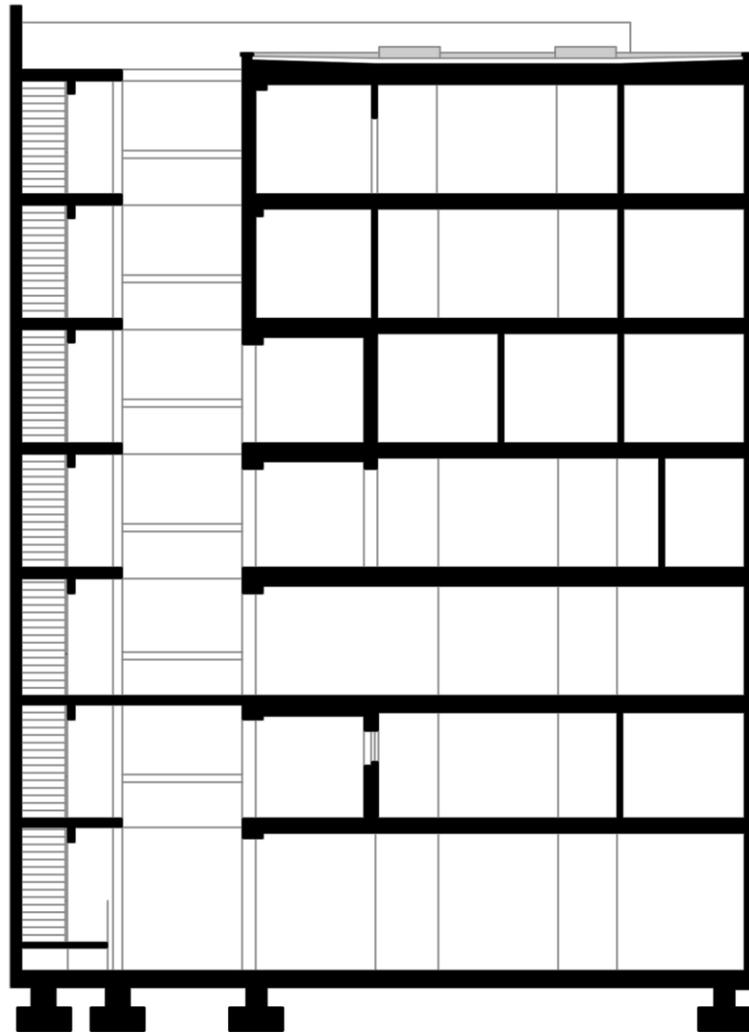
Pianta funzionale distributiva piano quinto – scala 1:200 – elaborazione degli autori



Pianta funzionale distributiva piano sesto – scala 1:200 – elaborazione degli autori



Pianta strutturale dell'edificio – scala 1:200 – elaborazione degli autori



Sezione dell'edificio – scala 1:200 – elaborazione degli autori

Descrizione principi architettonici

L'E3 Berlin deve in parte la propria architettura al rispetto della legislazione urbanistica della città e alle norme antincendio, condizioni che hanno avuto un riscontro nel **posizionamento del corpo scale esternamente all'edificio** per evitare l'eventuale sviluppo di fumo all'interno delle vie di fuga, considerata anche l'altezza dell'edificio: il complesso quindi emerge, pur inserendosi in continuità rispetto alla conformazione urbana esistente, per il sistema di collegamento verticale tramite il corpo di distribuzione in calcestruzzo, che conduce ai vari piani agli ingressi degli appartamenti attraverso la creazione di passerelle e terrazze.

La facciata esterna dell'edificio è intonacata e non mostra la struttura in legno, scelta dettata sempre da una questione urbanistica visto il contesto edilizio urbano di inserimento del progetto, unitamente alla preferenza dei progettisti di proteggere il legno che altrimenti sarebbe stato esposto direttamente agli agenti atmosferici: **l'invisibilità del legno** in facciata, seppur la **texture di alternanza delle zone vetrate e opache abbia una relazione con il sistema strutturale a telaio** sottostante, dimostra l'utilizzo del legno nel progetto come materiale da costruzione e da isolamento per il raggiungimento di elevate prestazioni di resistenza e stabilità ed energetiche dell'edificio.

Selezione di fotografie e di dettaglio



Esterno dell'edificio verso fronte strada con la particolare texture in facciata ricavata grazie al sistema a telaio



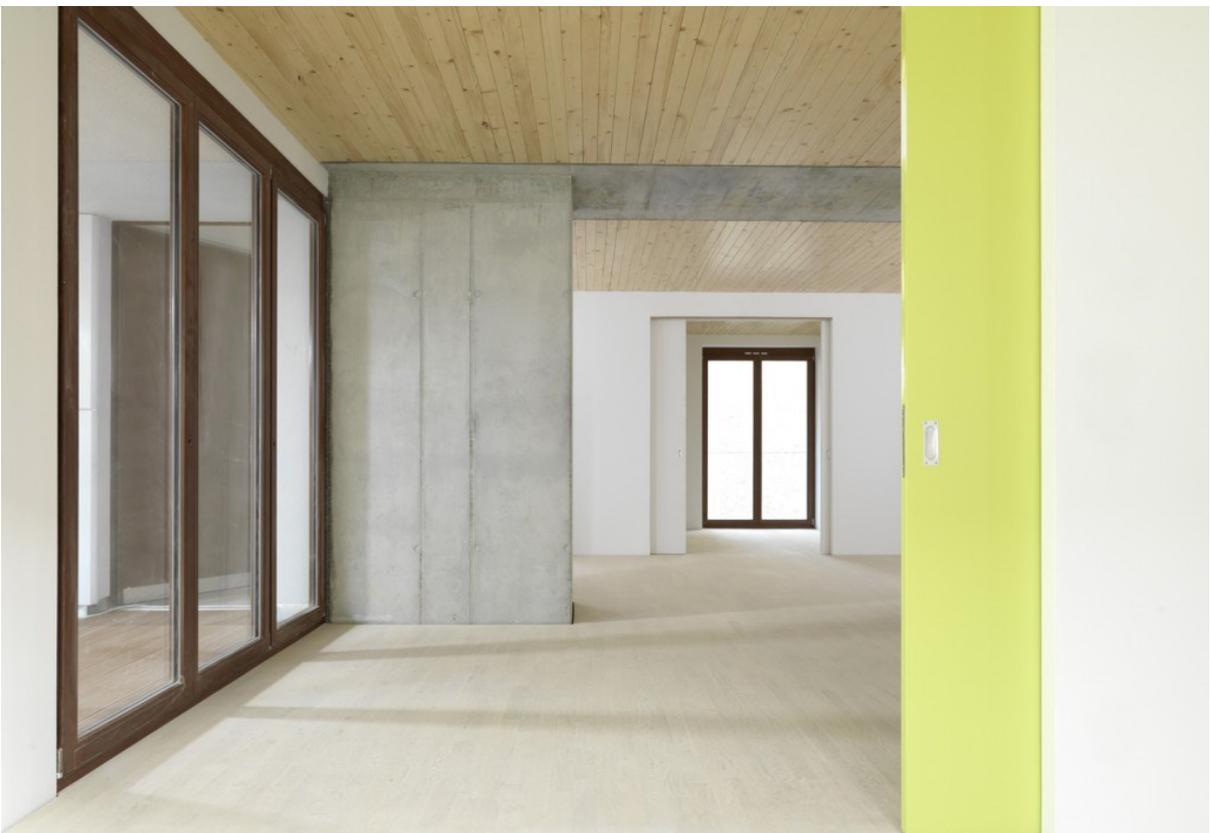
Esterno dell'edificio verso fronte cortile interno e fase di cantierizzazione dell'edificio



Fase di cantierizzazione dell'edificio durante la quale si osserva la struttura a telaio in legno e il sistema di connessione tra gli elementi mediante connettori metallici



Corpo scale di distribuzione verticale in calcestruzzo posto all'esterno dell'edificio



Interno dell'edificio con le ampie vetrate ricavate dalla struttura dell'edificio, che rendono molto luminoso l'ambiente

Descrizione elementi tecnologici e costruttivi

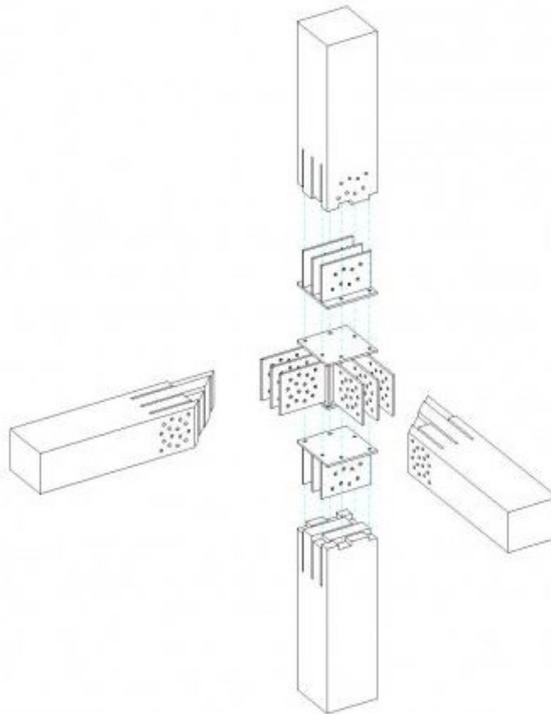
L'E3 Berlin basa la propria struttura portante su un **sistema a telaio** composta da **componenti in legno lamellare di abete combinati con lastre composite in legno-cemento**: lo scheletro portante è costituito da travi e pilastri in legno con la presenza di alcuni nuclei fissi in calcestruzzo che consistono nell'elemento di organizzazione verticale del vano scala e ascensore con annessi corridoi a sbalzo per raggiungere gli appartamenti e nei duplici cavedi per gli impianti, permettendo un miglioramento della statica dell'edificio, oltre all'inserimento delle lastre di cemento nei solai lignei che consentono una elevata flessibilità planimetrica interna alle unità attraverso l'assenza di pareti portanti di carico interno.

La struttura a telaio in legno dell'edificio è integrata perimetralmente dai pannelli in legno d'abete delle pareti, rivestiti internamente da due pannelli in fibra di gesso di spessore di 18 mm ed esternamente da un pannello di 12,5 mm, l'isolante in lana di roccia e l'intonaco naturale esterno: l'incapsulamento o il riempimento del vano perimetrale con l'**assenza di cavità tra gli elementi strutturali lignei** massimizza l'effetto di resistenza al fuoco assicurando la protezione antincendio.

L'esecuzione di un tale sistema costruttivo è supportata dallo sviluppo di soluzioni di dettaglio innovative anche per quanto concerne i collegamenti in acciaio tra i pilastri e le travi e i supporti per i solai costituiti dalle lastre in legno-cemento. Il risultato di un edificio altamente performante sia energeticamente che qualitativamente è ottenuto anche mediante un elevato grado di prefabbricazione industriale in condizioni monitorate delle pareti e delle lastre dei solai con il raggiungimento di una rapida tempistica di edificazione, sostenuta dalla **cooperazione durante ciascuna fase del processo di pianificazione, trasporto e assemblaggio dell'edificio**.



Fase di cantierizzazione dell'edificio durante la quale si osserva la struttura lignea successivamente rivestita ed intonacata ed il posizionamento e l'assemblaggio degli elementi con inserimento di connessioni metalliche



Modello tridimensionale che mostra il sistema di connessione tra travi e pilastri costituenti lo scheletro portante strutturale

Considerazioni riassuntive sul rapporto tra forma architettonica, principi costruttivi ed espressività del legno nel progetto

L'E3 Berlin rappresenta un approccio innovativo rispetto alla progettazione urbana e alle tecniche costruttive riuscendo a conciliare in un unico edificio la gestione di un aumento della densità abitativa urbana in una realtà costruita caratterizzata da una cortina storica tipica, un interesse architettonico verso un edificio aperto allo spazio che lo circonda, una attenzione alle direttive urbanistiche sull'impiego del legno in ambito urbano con il rispetto delle adeguate accortezze verso la protezione antincendio in un edificio residenziale con l'utilizzo del materiale ligneo accostato al calcestruzzo per esaltarne ciascuna sua peculiarità.

Il complesso residenziale, caratterizzato da una suddivisione in due macro blocchi adibiti a residenziale e connettivo o distributivo, riesce a dimostrare come, con una combinazione di misure costruttive, estetiche e tecniche, si possono raggiungere elevati livelli di sicurezza statica, di resistenza contro il fuoco, di durabilità nel tempo e di efficienza energetica in un edificio pluripiano di una modesta altezza con struttura lignea.

Sitografia: miesarch.com - www.divisare.com - www.kadenundlager.de - www.bigee.net

Forté Living

DICOTOMIA

PREFABBRICAZIONE

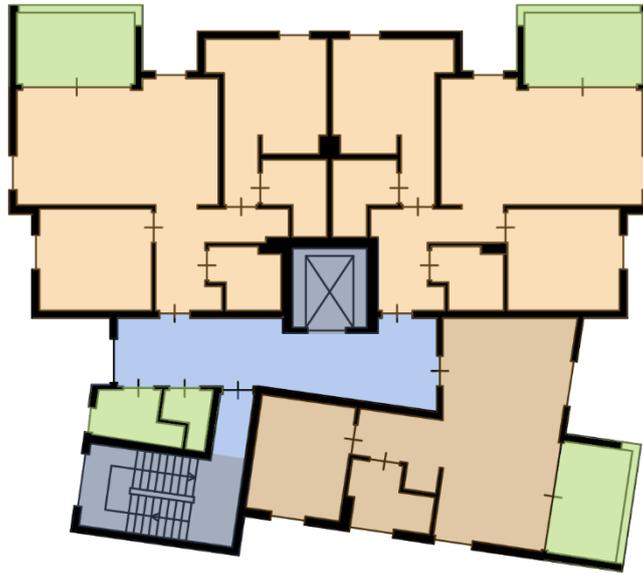
Sintesi del progetto

Il Forté Living è un edificio residenziale situato nel quartiere di Victoria Harbour che, al momento della sua realizzazione ha rappresentato contemporaneamente il primo edificio multipiano in legno d'Australia e il più alto edificio ligneo al mondo, contribuendo al progetto di riqualificazione e riorganizzazione urbana dell'area.

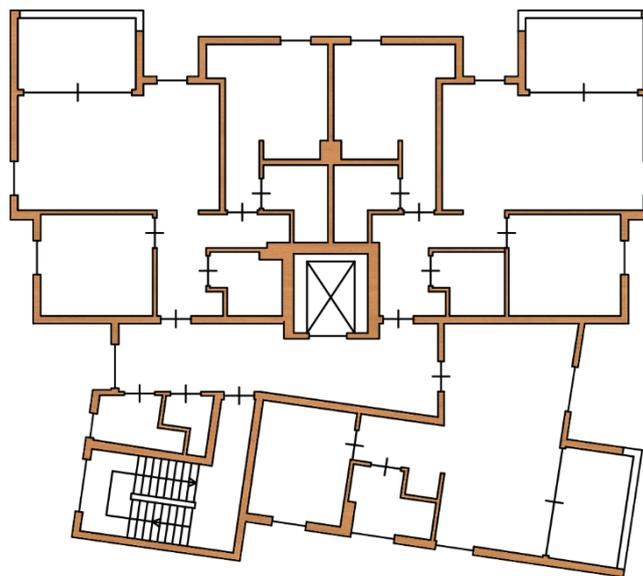
Dati

Autore	La società Lend Lease si è occupata della progettazione e della costruzione dell'edificio, con la consulenza per le strutture in legno di KLH UK Ltd. di Londra
Anno di edificazione	Maggio 2012 – Agosto 2012
Luogo	Melbourne, Australia
Destinazione d'uso	Residenziale
Superficie complessiva	1.250 mq
n° di appartamenti	23
Altezza	10 piani - 32 metri di altezza

Elaborati grafici



Pianta funzionale distributiva piano tipo – scala 1:200 – elaborazione degli autori



Pianta strutturale dell'edificio – scala 1:200 – elaborazione degli autori

Descrizione principi architettonici

Il Forté Living è un edificio nel quale il legno non viene dichiarato in facciata, infatti la struttura lignea non è visibile esternamente, come è assente anche un eventuale rivestimento in cui sia presente il legno, per il quale invece si è preferita una soluzione di **rivestimento in pannelli a protezione della struttura** sottostante; il rivestimento esterno di colore chiaro ricopre per la quasi totalità la sagoma pressoché parallelepipedica dell'edificio creando un blocco imponente e squadrato, la cui superficie viene interrotta solamente dalle aperture incassate, dai balconi sporgenti rispetto al filo della facciata e da una **scansione verticale** data da alcuni avancorpi o rientranze e dettagli metallici che identificano i settori di distribuzione interna.

Le unità immobiliari del complesso residenziale sono composte da una o due camere da letto, hanno dimensione variabile dai 59 ai 102 mq e a ciascun alloggio è annessa una zona esterna.

Selezione di fotografie e di dettaglio



Esterno dell'edificio e dettagli del rivestimento a pannelli della struttura lignea in facciata



Fase di cantiere in cui si apprezza la struttura in legno, successivamente rivestita, non evidente in facciata

Descrizione elementi tecnologici e costruttivi

L'altezza dei 32 metri del Fortè Living viene raggiunta in sicurezza con l'applicazione del **sistema costruttivo in X-LAM** che permette l'ottenimento di prestazioni elevate con una costruzione rapida e una attenzione alla componente ecologica e sostenibile consentendo un risparmio di oltre 1.400 tonnellate di anidride carbonica rispetto ad una costruzione di dimensioni simili in cemento o acciaio; la resistenza strutturale nell'edificio è quindi raggiunta tramite gli elementi in legno massiccio incollati ottenuti dalla sovrapposizione di lamine incrociate e la realizzazione del piano terreno in calcestruzzo.

La struttura lignea del Fortè Living impiega 760 pannelli in X-LAM, prodotti in Austria e trasportati via mare, utilizzati per gli elementi prefabbricati di pareti, solai e coperture: grazie alla semplificata realizzazione dei pannelli in ambito industriale, con l'arrivo in cantiere dei prodotti lignei, si è potuto procedere direttamente al loro montaggio risparmiando sui tempi di realizzazione dell'opera, senza rinunciare però alle ottime prestazioni termiche e ad un

considerevole risparmio di energia per il riscaldamento e il raffrescamento dell'edificio grazie alle elevate performance dell'involucro.

Considerazioni riassuntive sul rapporto tra forma architettonica, principi costruttivi ed espressività del legno nel progetto

Il sistema costruttivo in X-LAM si adatta perfettamente all'architettura del complesso residenziale Forté Living caratterizzata da una regolarità tipica della forma parallelepipedica, la quale riesce comunque a creare una sorta di disegno ritmato in facciata mediante la bucatatura di questa sagoma apparentemente semplice: tramite l'avanzamento e l'arretramento di aree della superficie di facciata, che talvolta assumono una colorazione differente, si vengono a plasmare ombre, zone fruibili esterne e luce interna agli ambienti con **l'architettura che assume il ruolo di mezzo di comunicazione e di dialogo tra l'interno e l'esterno** e viceversa.

Sitografia: www.architectureanddesign.com.au - www.klh.at - www.lendlease.com

Murray Grove – Graphite Apartments o Stadthaus

DICOTOMIA

PREFABBRICAZIONE

RAPPORTO CON L'INTORNO

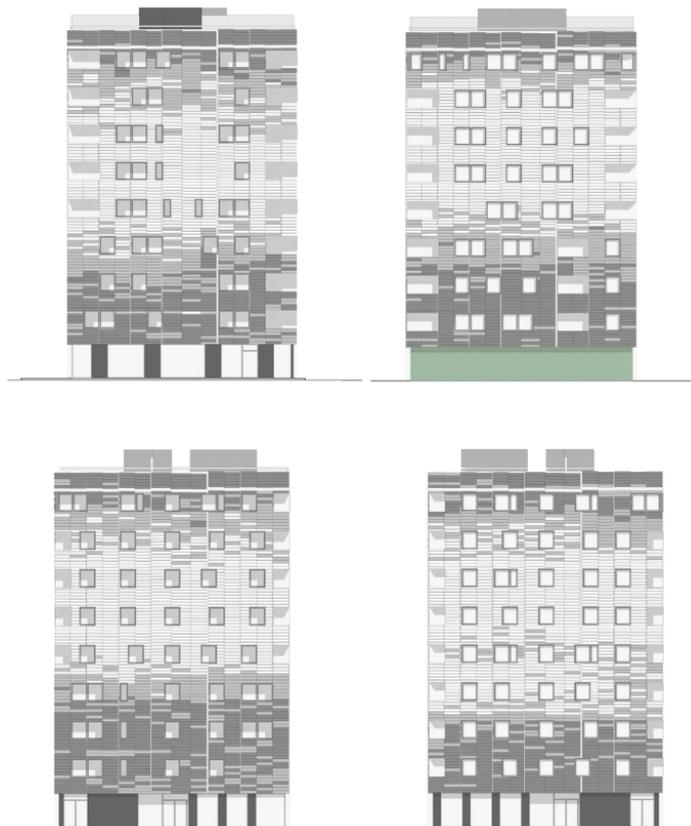
Sintesi del progetto

L'edificio Murray Grove sorge nel quartiere di Hackney a Londra e segna l'inizio di una nuova epoca nell'ambito dell'architettura in legno, essendo il primo progetto di edilizia residenziale urbana costruito in legno che ospita 29 appartamenti da una a quattro camere da letto, differenziati in edilizia residenziale agevolata e unità immobiliari private, oltre ad un ufficio di quartiere situato al piano terreno.

Dati

Autore	Lo studio Waugh Thistleton Architects di Londra ha progettato l'edificio, in collaborazione con l'azienda austriaca KLH per la produzione del legname
Anno di edificazione	2009
Luogo	Londra, Gran Bretagna
Destinazione d'uso	Residenziale
Superficie complessiva	1.812
n° di appartamenti	29
Altezza	9 piani

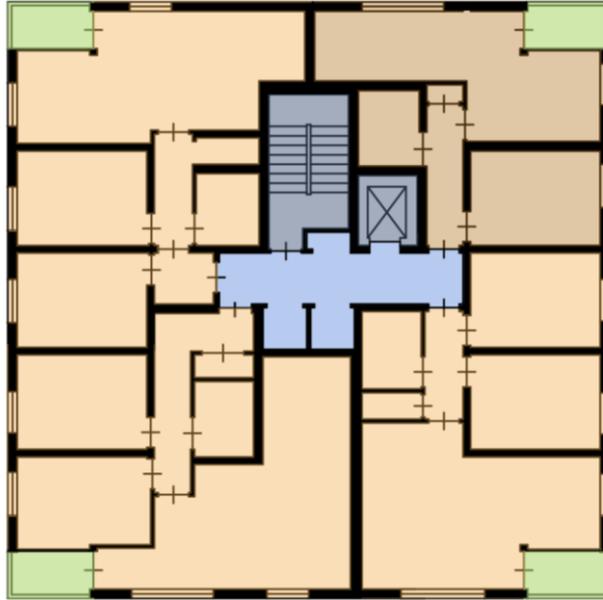
Elaborati grafici



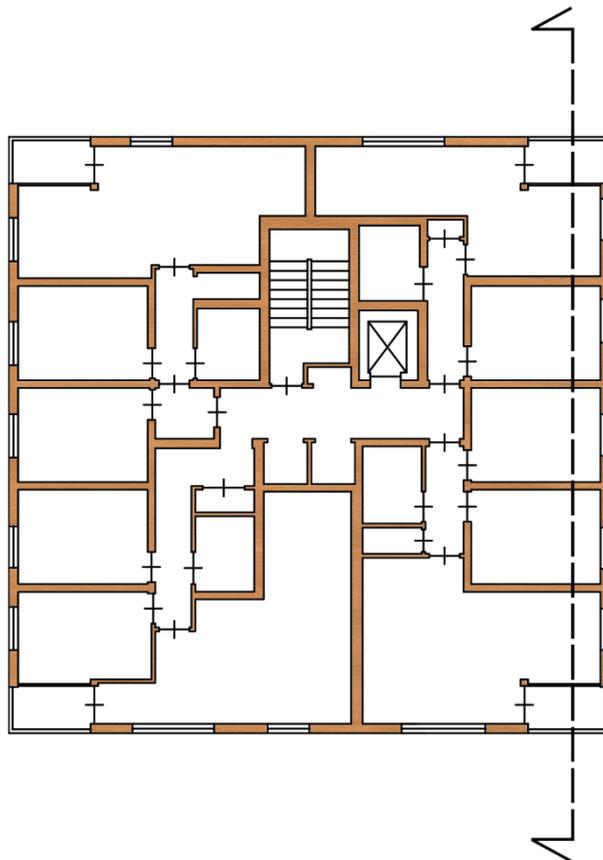
Prospetti dell'edificio



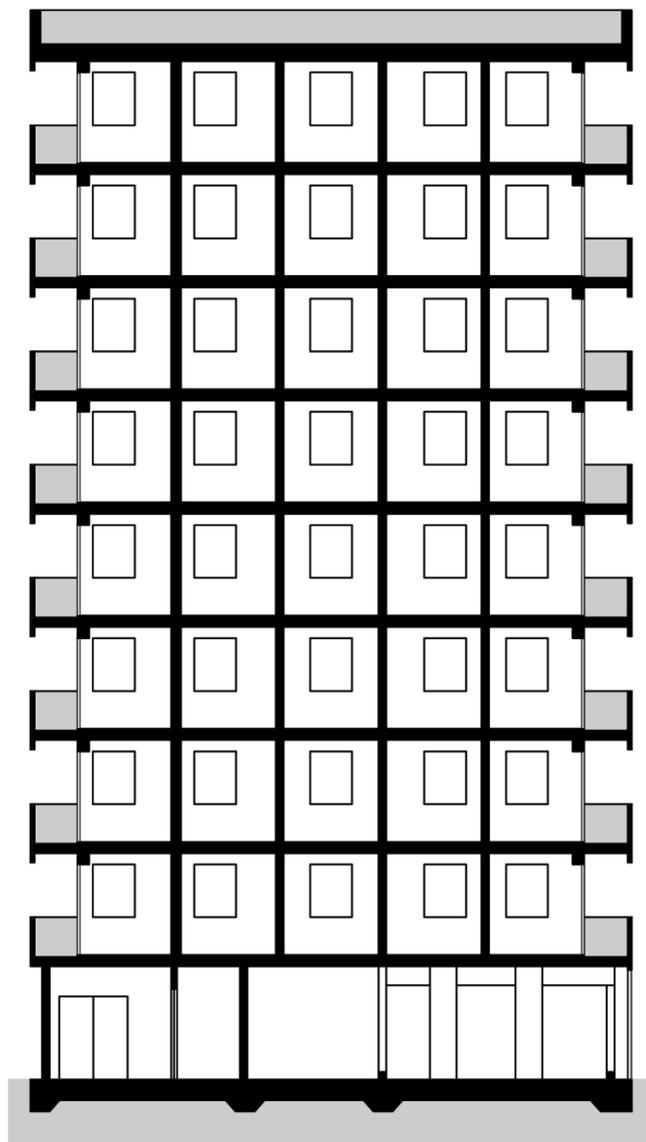
Pianta funzionale distributiva piano tipo residenza agevolata (da piano primo a terzo) – scala 1:200 – elaborazione degli autori



Pianta funzionale distributiva piano tipo residenza privata (da piano quarto a nono) – scala 1:200 – elaborazione degli autori



Pianta strutturale dell'edificio – scala 1:200 – elaborazione degli autori



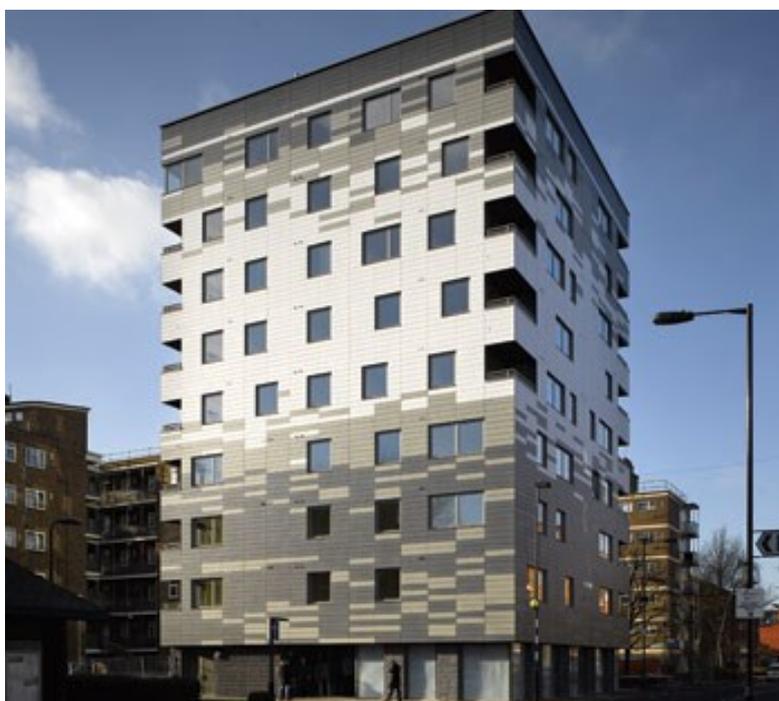
Sezione dell'edificio – scala 1:200 – elaborazione degli autori

Descrizione principi architettonici

Il Murray Grove emerge, allo stesso tempo adattandosi al contesto dell'area di edificazione, per la **caratteristica facciata a pixel**, composta da 2.500 pannelli prodotti in un materiale di finta ardesia che utilizza una pasta di legno ottenuta per il 70% da legname di scarto: la disposizione dei pannelli con dimensione 120 x 15 cm, che basano le loro tonalità sulle tre principali colorazioni del bianco, grigio e nero, nasce per catturare il modo in cui la luce e le ombre mutevoli prodotte da alberi e edifici circostanti si riflettono sull'edificio, ispirandosi al concetto di lavoro dell'artista di Gerhard Richter.

Il **rivestimento esterno della struttura lignea**, la cui **componente principale è la pasta di legno**, riproduce quindi l'immagine pixellata e sfocata dell'intorno, la quale viene come avvolta attorno all'edificio e sulla quale si nota una netta mutazione del disegno e della colorazione della facciata tra il terzo e il quarto piano che rimanda al cambio di tipologia degli appartamenti interni con quelli privati posti superiormente. Ciascuno dei 29 appartamenti è fornito di balconi che, insieme alle finestre, appaiono come porzioni mancanti rispetto alla superficie della facciata, rendendola armonicamente ritmata.

Selezione di fotografie e di dettaglio



Esterno dell'edificio

Descrizione elementi tecnologici e costruttivi

La torre multipiano del Murray Grove è costruita secondo un **fitto nido d'ape di pannelli strutturali in X-LAM con un'anima in legno** costituita dai blocchi di distribuzione strutturalmente indipendenti, separati dal terreno dalla base in calcestruzzo della fondazione e del piano terreno per assicurarne una durabilità nel tempo senza che il legno possa venire a contatto con l'umidità.

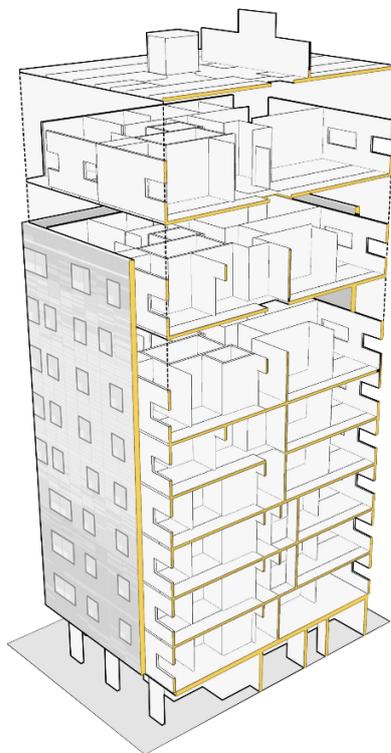
La predominanza dell'utilizzo di pannelli X-LAM a triplo strato è evidente nelle strutture delle pareti portanti e delle balaustre strutturali dei balconi, dei solai e dei nuclei ascensori nei quali è presente uno strato isolante di 40 mm tra i pannelli lamellari per ridurre le trasmissioni sonore dovute alle vibrazioni. Le pareti perimetrali dell'edificio internamente sono intonacate, mentre esternamente possiedono un isolamento di 10 cm, un'intercapedine d'aria e il **rivestimento schermante, insonorizzante e protettivo** della struttura dall'acqua. I solai sono invece composti da una pavimentazione in legno di 15 mm, un massetto da 55 mm, uno strato di isolante di 10 mm, un pannello strutturale in X-LAM di 146 mm, un vuoto tecnico di 75 mm, un secondo strato isolante compresso di 50 mm ed un pannello di cartongesso che funge da soffitto per il piano sottostante.

L'edificio utilizza una **configurazione a piattaforma** nella quale ogni piano poggia sui muri del livello sottostante fornendo una autoprotezione in caso di incendio e procedendo alla costruzione tramite il sollevamento e l'impilamento degli elementi prefabbricati, con lunghezze fino ai 9 metri, connessi da viti e piastre angolari.

Il sistema del Murray Grove di travi orizzontali e pannelli verticali in abete si riflette nella creazione di una **planimetria a matrice ad angolo retto in cui le pareti strutturali differiscono nel posizionamento su ciascuno dei nove piani**: gli appartamenti più ampi si trovano ai piani inferiori e quelli più piccoli ai piani superiori, consentendo di posizionare le pareti strutturali con l'obiettivo di ridurre al minimo il carico su ogni trave di legno che quindi non necessita di controventature incrociate.

Il cantiere, completato in 49 settimane con l'ausilio di una gru e attrezzature poco ingombranti come cacciaviti e trapani elettrici, ha portato alla realizzazione di unità abitative completamente insonorizzate e isolate grazie ai pavimenti galleggianti e alle controsoffittature, energeticamente e termicamente performanti, secondo un approccio sostenibile evidente nella

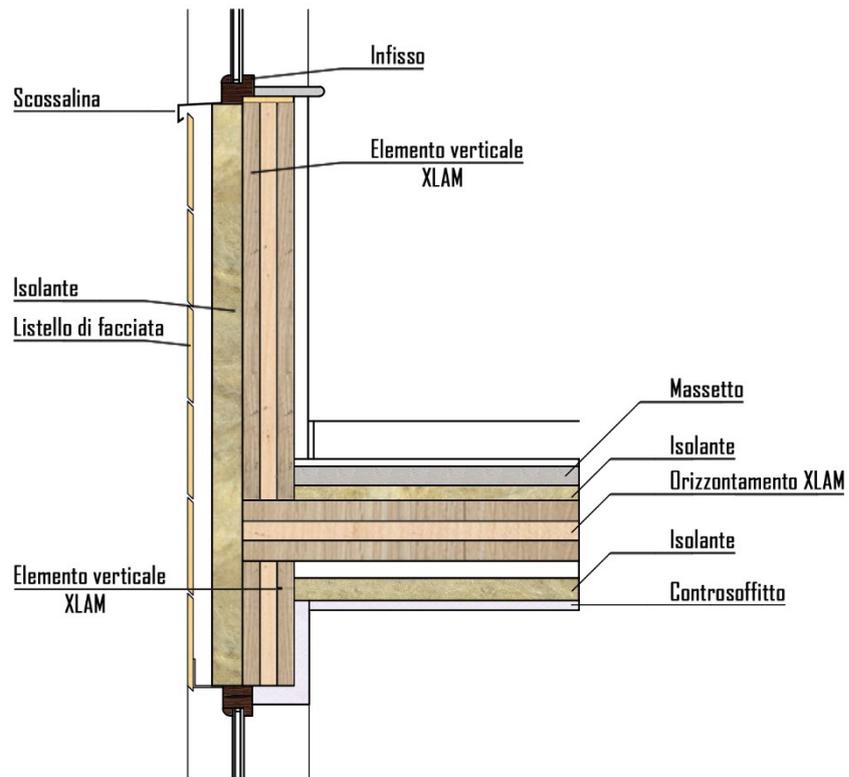
gestione del processo costruttivo, nelle scelte tecnologiche e nella struttura dell'edificio che immagazzina 186 tonnellate di carbonio.



Modelli tridimensionali che mostrano il sistema strutturale dell'edificio configurato a piattaforma con la trasmissione dei carichi dei pannelli lignei al terreno sul quale poggia



Fase di cantiere che mostra la struttura interna in legno e il metodo di connessione tra gli elementi



Dettaglio del nodo di intersezione tra l'elemento verticale della parete con l'attacco degli infissi e l'elemento orizzontale del solaio – scala 1:20 – elaborazione degli autori

Considerazioni riassuntive sul rapporto tra forma architettonica, principi costruttivi ed espressività del legno nel progetto

L'edificio del Murray Grove è considerabile come un **solido intreccio strutturale con un nucleo ulteriormente rigido, sul quale è possibile agire tramite l'inserimento di stratigrafie più complesse, eventualmente indipendenti o di separazione**, definendo elementi scatolari rapidamente assemblabili ma resistenti anche in caso di incendio o di sisma.

La dettagliata ricerca e analisi progettuale ante fase di costruzione ha permesso una semplice gestione del cantiere, dimostrando la possibilità della messa in opera di edifici alti in legno, i quali possono **non rivelare esteriormente la presenza del materiale ligneo per motivi meramente estetici o legati alla durabilità**, entrambe giustificazioni che motivano la facciata del Murray Grove, ricavata da una interessante trasformazione dello studio degli ombreggiamenti dell'ambiente circostante all'edificio con una **valutazione del progetto secondo il paesaggio e le preesistenze in cui esso va ad inserirsi**.

Sitografia: waughthistleton.com - www.architectmagazine.com - www.proholz.at/zuschnitt/33/images/London.pdf - www.dezeen.com

Holz8

PREFABBRICAZIONE

Sintesi del progetto

L'edificio Holz8, nato dall'acquisto di un fornitore di servizi immobiliari di una superficie di una ex caserma dell'esercito americano, è uno dei primi edifici di modesta altezza in legno in Germania che, con funzione prevalentemente residenziale si configura con planimetrie interne estremamente flessibili che permettono lo sviluppo di unità immobiliari in configurazione monolocale/doppia o tripla o quadrupla in base al numero di camere, ad esclusione del piano terreno e piano primo con funzione commerciale e di uffici; questa versatilità è resa possibile riducendo la struttura portante ad un numero ridotto di pareti consentendo di soddisfare ciascuna esigenza dell'utenza.

L'approvvigionamento di acqua calda all'interno dell'edificio e il controllo della temperatura avvengono mediante un impianto di riscaldamento solare e un sistema di ventilazione con recupero di calore, limitando così enormemente i consumi.

Dati

Autore	Lo studio SCHANKULA Architekten di Monaco ha progettato l'edificio, con l'impresa costruttrice Huber & Sohn GmbH & Co. KG che ha fornito l'approvvigionamento di elementi lignei prefabbricati, in collaborazione con lo studio di ingegneria Bauart Konstruktions GmbH & Co. KG.
Anno di edificazione	Aprile 2011 – Giugno 2011
Luogo	Bad Aibling, Germania
Destinazione d'uso	Residenziale e uffici
Superficie complessiva	1.740 mq
n° di appartamenti	15
Altezza	8 piani - 25 metri di altezza

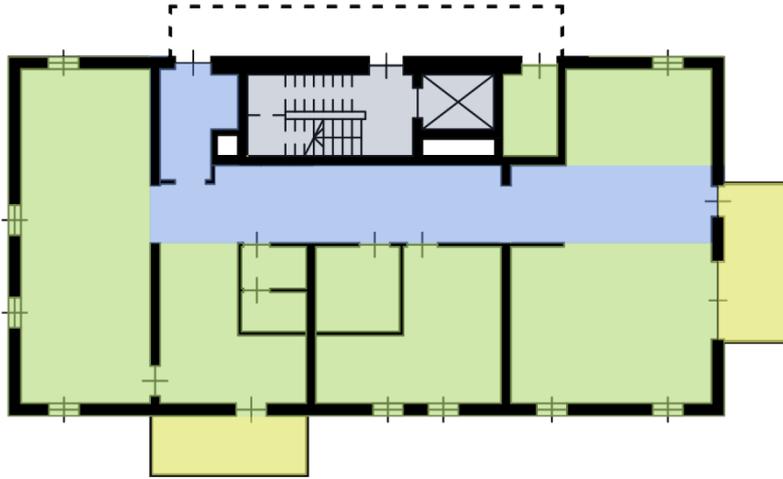
Elaborati grafici



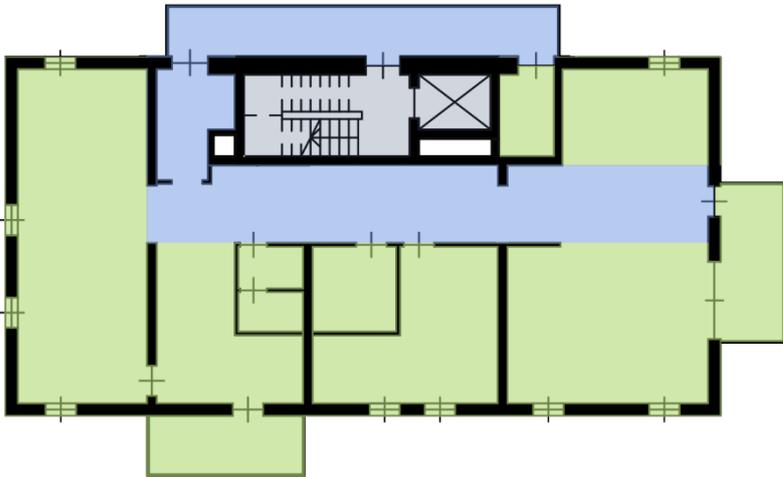
Modello tridimensionale dell'edificio



Prospetti dell'edificio



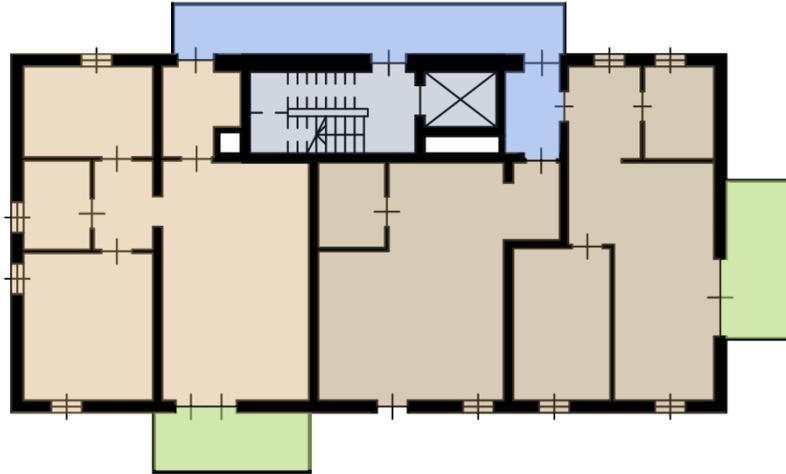
Pianta funzionale distributiva piano terreno – scala 1:200 – elaborazione degli autori



Pianta funzionale distributiva piano primo – scala 1:200 – elaborazione degli autori



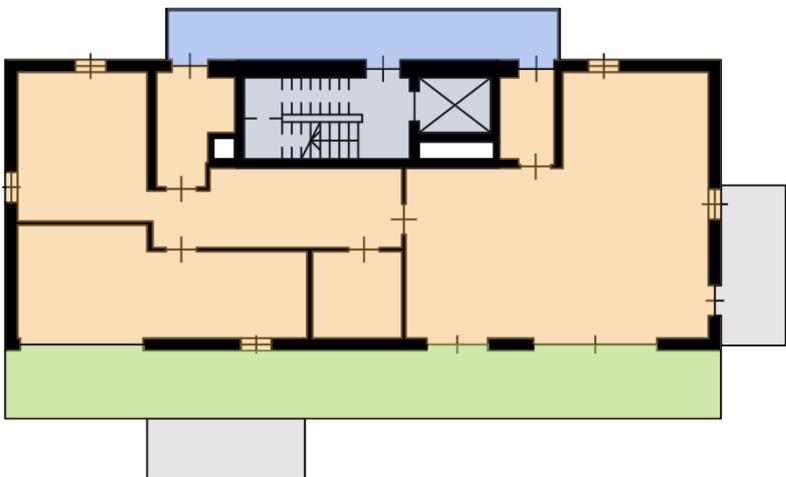
Pianta funzionale distributiva piano secondo e terzo – scala 1:200 – elaborazione degli autori



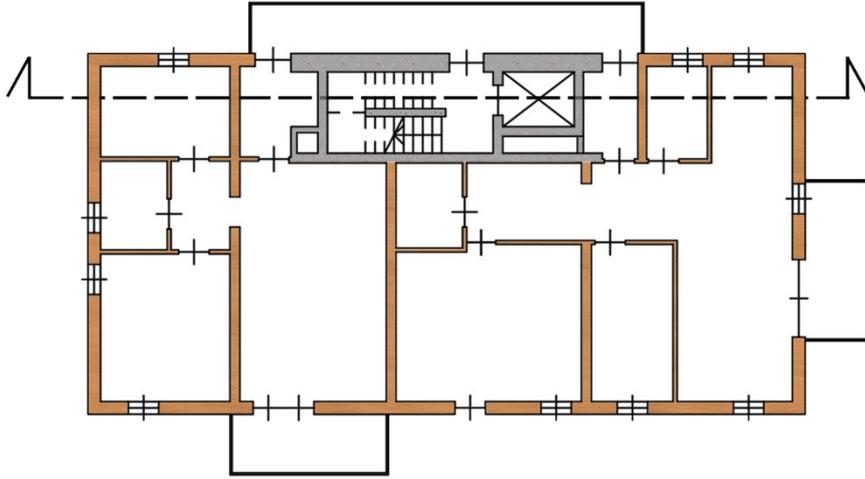
Pianta funzionale distributiva piano quarto e quinto – scala 1:200 – elaborazione degli autori



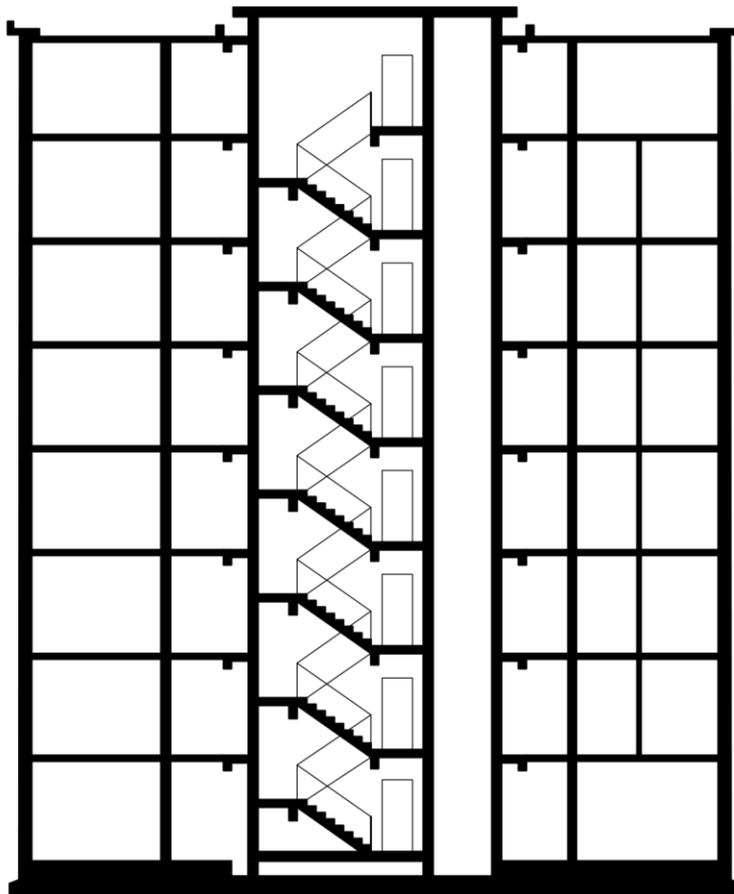
Pianta funzionale distributiva piano sesto – scala 1:200 – elaborazione degli autori



Pianta funzionale distributiva piano settimo (attico) – scala 1:200 – elaborazione degli autori



Pianta strutturale dell'edificio – scala 1:200 – elaborazione degli autori



Sezione dell'edificio – scala 1:200 – elaborazione degli autori

Descrizione principi architettonici

L'edificio ha una altezza di 25 metri e basa la propria struttura sull'applicazione del legno massiccio prefabbricato, compresi gli elementi utilizzati come isolamento e i serramenti esterni per i quali si sono creati componenti completi della parete con la superficie finita e le finestre incorporate, sottolineando il ruolo fondamentale che deve assumere il legno, imponendosi così quale materiale da costruzione tecnologico, performante, sicuro, resistente e sostenibile come dimostra l'utilizzo di circa 570 m³ di legno di abete per la costruzione dell'opera, la maggior parte dei quali proveniente dalla Baviera: l'Holz8 in facciata quindi **denuncia l'utilizzo del legno come materiale principale dell'edificio** tramite la prefabbricazione di facciate-tende completate da superfici in gesso.

Selezione di fotografie e di dettaglio



Esterno dell'edificio



Esterno dell'edificio



Dettaglio del rivestimento della facciata dell'edificio in elementi prefabbricati



Balcone dell'edificio, interno dell'edificio dal quale si scorge parzialmente il materiale ligneo e fase di cantiere con l'installazione della facciata prefabbricata

Descrizione elementi tecnologici e costruttivi con schemi strutturali e sezioni di dettagli

L'edificio Holz8 si compone di un nucleo centrale che consiste nel corpo scala e ascensore in cemento, mentre il resto della struttura, compresa la copertura, è realizzata principalmente secondo tecnologia in X-LAM: dal piano terreno e al piano sesto dell'edificio, le pareti portanti e non portanti sono realizzate in legno massello incapsulato con pannelli di fibra di gesso, mentre i soffitti sono realizzati in pannelli di X-LAM incapsulati con pannelli di fibra di gesso, nel rispetto delle condizioni ammesse dalla sicurezza antincendio, per l'ultimo piano invece le pareti esterne sono realizzate in X-LAM, mentre quelle interne portanti sono in legno massello. Gli elementi messi in opera nell'edificio sono prefabbricati, permettendo di ridurre i tempi di costruzione con il completamento del montaggio di ciascun piano della struttura dell'edificio in circa due giorni con una media di cinque lavoratori in cantiere.

Considerazioni riassuntive sul rapporto tra forma architettonica, principi costruttivi ed espressività del legno nel progetto

L'Holz8 dimostra come il legno può essere utilizzato come materiale da costruzione di base in edifici alti multipiano, essendo in grado di sostituirsi a materiali da costruzione ritenuti convenzionali come il cemento, l'acciaio e i mattoni: l'intera struttura di supporto dell'edificio è costituita dal legno, ad eccezione del cuore centrale principalmente per questioni di sicurezza antincendio.

Il legno nell'edificio è utilizzato anche in facciata diventando un mezzo di denuncia dell'utilizzo del materiale, assumendo una funzione attiva nella protezione della struttura sottostante e fungendo anche da elemento di schermatura con una ricaduta positiva sugli apporti energetici e solari interni all'edificio.

I sistemi costruttivi e stilistici in legno applicati all'edificio hanno permesso lo sfruttamento di un elevato grado di prefabbricazione consentendo una rapida costruzione senza la necessità di particolari attrezzature ausiliarie al montaggio degli elementi.

Sitografia: www.binderholz.com - www.europeanwood.org - www.schankula.com

Mjøstårnet o Mjøsa Tower

PREFABBRICAZIONE

RESISTENZA AL FUOCO

SOSTENIBILITA'

ELEVATA ALTEZZA

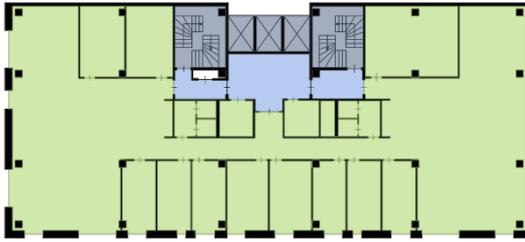
Sintesi del progetto

Il grattacielo, che non dista molto dalla città di Oslo, è situato nei pressi del suggestivo lago Mjøsa, il maggiore della Norvegia e luogo particolarmente noto per la silvicoltura e l'industria Moelven specializzata nella lavorazione del legno: l'edificio ligneo si distingue nel paesaggio per la sua altezza di oltre 85 metri diventando promotore di sostenibilità per la elevata quantità di legno utilizzato, prodotto praticamente a Km0, che stocca al suo interno una grande dose di anidride carbonica.

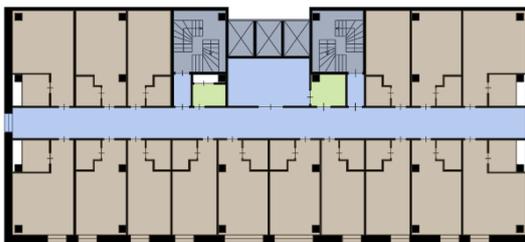
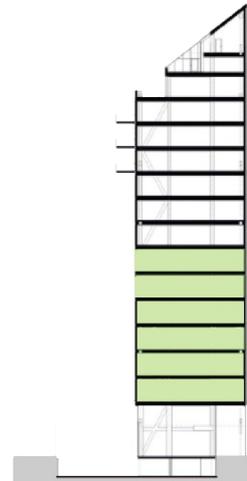
Dati

Autore	Lo studio Voll Arkitekter ha progettato l'edificio, con la società di ingegneria Sweco Norway Lillehammer e l'impresa Moelven Limtre per gli elementi in legno
Anno di edificazione	Settembre 2017 – Marzo 2019
Luogo	Brumunddal, Norvegia
Destinazione d'uso	Polifunzionale con prevalenza residenziale
Superficie complessiva	11.300 mq
n° di appartamenti	32 appartamenti + 72 camere d'albergo
Altezza	18 piani – 85,4 metri di altezza

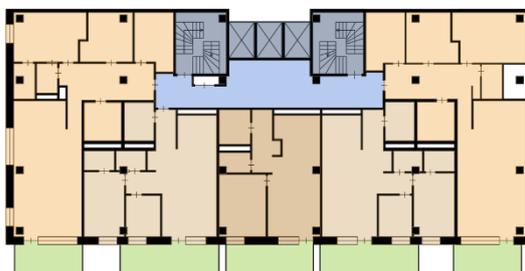
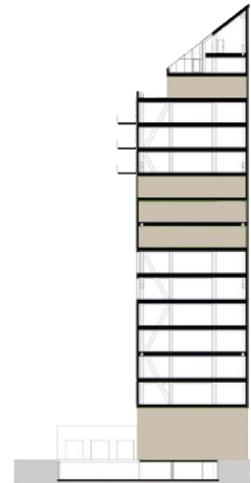
Elaborati grafici



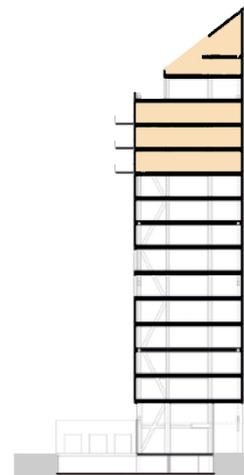
*Pianta funzionale distributiva piano tipo destinazione d'uso uffici –
scala 1:500 – elaborazione degli autori*

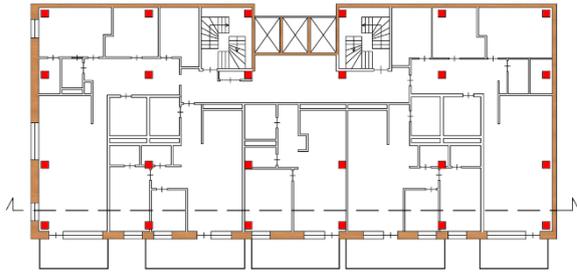


*Pianta funzionale distributiva piano tipo destinazione d'uso camere d'albergo –
scala 1:500 – elaborazione degli autori*

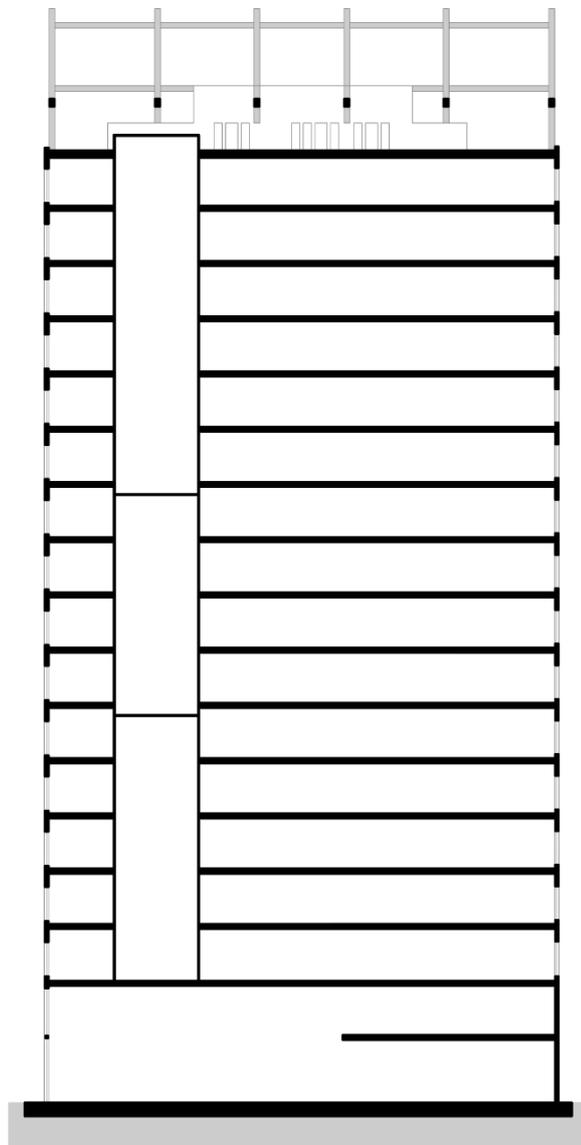


*Pianta funzionale distributiva piano tipo destinazione d'uso appartamenti –
scala 1:500 – elaborazione degli autori*





Pianta strutturale dell'edificio – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Sezione dell'edificio – scala 1:500 – elaborazione degli autori

Descrizione principi architettonici

L'edificio Mjøsa Tower ha un ingombro in pianta di 37,5 di lunghezza x 17 metri di larghezza con una altezza, secondo il progetto iniziale, di 81 metri, che poi in fase di realizzazione ha subito un aumento di 4,4 metri raggiungendo l'altezza complessiva di 85,4 metri con **l'aggiunta al progetto architettonico originario di un pergolato** per permettere al grattacielo di superare il record di edificio in legno più alto.

La facciata è interamente composta da grandi elementi prefabbricati, completi di isolamento in lana di roccia e di rivestimenti, fissati all'esterno delle strutture in legno, a formare l'involucro dell'edificio.

Le destinazioni d'uso ospitate all'interno dell'edificio, con una superficie di circa 640 mq per piano, sono numerose e differenti: nella disposizione dei numerosi piani del grattacielo si alternano uffici, un hotel con la hall posta al piano terreno e 4 piani di camere d'albergo per un totale di 72 stanze, oltre ad un ristorante ed ad una caffetteria, una piscina coperta di 4.700 mq, 5 piani sono invece destinati ai 32 appartamenti dai 50 a 180 mq, mentre al quindicesimo piano trova posto una suite d'hotel, e al diciassettesimo una sala eventi, oltre ad una terrazza e ad un attico all'ultimo piano.

Selezione di fotografie e di dettaglio



Esterno dell'edificio



Elementi prefabbricati della facciata nello stabilimento di produzione completi di isolante e rivestimento esterno



Fase di cantierizzazione dell'edificio durante la quale si osserva la struttura a telaio e le connessioni metalliche

Descrizione elementi tecnologici e costruttivi

La struttura principale, dalla base dell'edificio fino alla sommità della pergola, è **a telaio con una alternanza di travi e pilastri in legno lamellare e Glulam, colmata nei vuoti delle campate, che hanno ampiezza massima di 7,5 metri, dai pannelli di facciata isolati e tenuti in posizione da staffe in acciaio, nel rispetto dei requisiti acustici e antincendio.**

La sfida progettuale legata al raggiungimento di una maggiore altezza rispetto al progetto originario, consolidata tramite l'inserimento della pergola alla sommità dell'edificio, ha trovato soluzione nell'**arrotondamento degli angoli e dei bordi delle travi della pergola per ridurre gli effetti del vento.**

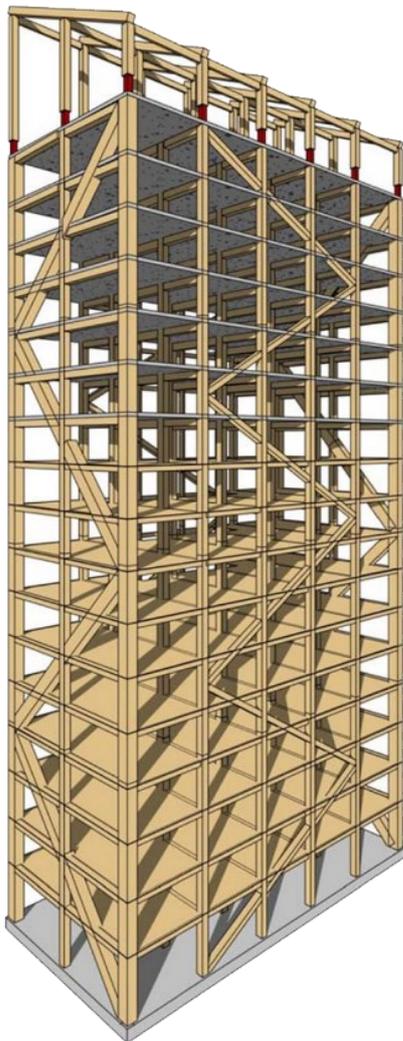
I solai si differenziano in **solai in legno prefabbricati basati sul sistema di costruzione nato dalla combinazione di legno lamellare e LVL** dal secondo all'undicesimo piano, e in **solai in calcestruzzo** da 30 cm per gli ultimi 7 piani, in considerazione dell'altezza e del sistema a telaio che rendono l'edificio snello e leggero e quindi suscettibile ai carichi orizzontali del vento: l'inserimento dei solai in cemento, composti da una parte inferiore prefabbricata che funge da cassaforma per la parte superiore del getto, viene garantita una massa maggiore ed un peso tale da stabilizzare la struttura, essi agiscono quindi come diaframmi rigidi che permettono anche di ottenere prestazioni acustiche migliorate.

Le maggiori forze assiali della struttura hanno luogo sulle quattro colonne angolari dell'edificio, che hanno una sezione trasversale di 148,5 x 62,5 cm, mentre la sezione dei pilastri interni misura 72,5 x 81 cm e 62,5 x 63 cm; le travi in legno lamellare che sostengono i solai in legno misurano 39,5 x 58,5 cm e 39,5 x 67,5 cm, mentre le travi in Glulam supportano i solai in calcestruzzo di 62,5 x 58,5 cm e 62,5 x 72 cm. Tutti gli elementi in legno lamellare sono collegati mediante l'applicazione di **connessioni metalliche ad alta capacità** tramite piastre e tasselli in acciaio scanalato inglobate all'interno delle strutture in legno per una sicurezza in caso di incendio.

La sicurezza in caso di incendio ha sviluppato una particolare considerazione in fase progettuale tramite lo svolgimento di prove sugli elementi in legno lamellare, sui quali la combustione avviene lentamente carbonizzando solo esternamente l'elemento, dimostrando come le sezioni e gli spessori del legno utilizzato siano tali da mantenere l'efficienza strutturale dell'edificio che non può pervenire al collasso, mentre **i balconi e le pareti del vano**

scale ed ascensore, realizzati in pannelli in X-LAM prodotti con tavole in abete rosso, sono trattati nelle porzioni di legno a vista con una pittura ignifuga.

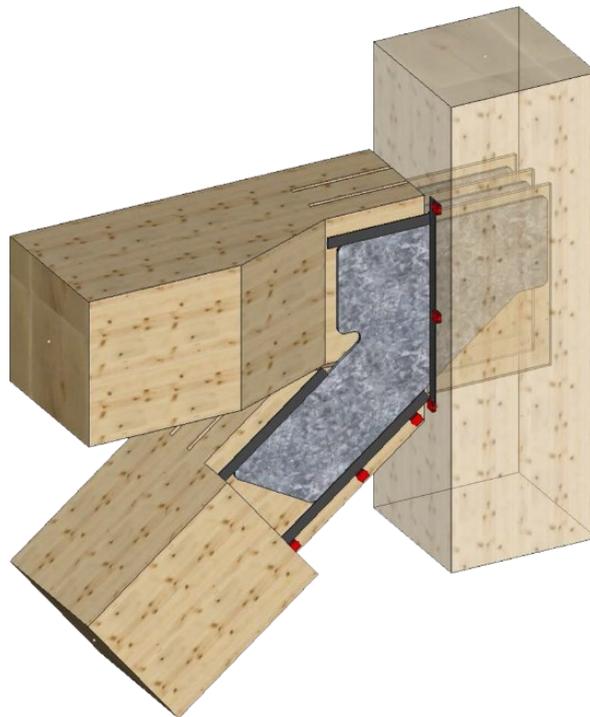
Il montaggio in fase di cantierizzazione è avvenuto molto rapidamente con l'assemblaggio di 4 piani contemporaneamente, integrati successivamente con gli elementi dei solai ed infine delle pareti interne, incapaci di fornire rigidità globale all'edificio. Durante questa fase di costruzione, le strutture in legno hanno subito l'esposizione alle intemperie con la sola protezione provvisoria di teli in plastica o piastre di legno, motivo per cui, in seguito alla loro installazione, si è provveduto ad una **asciugatura controllata tramite aria calda della struttura per evitare la possibilità dell'insorgere di problematiche legate ad una durabilità compromessa a causa dell'umidità.**



Modello tridimensionale strutturale con la differenziazione dei solai in legno fino all'undicesimo piano e i solai in calcestruzzo per i piani superiori e fase di cantierizzazione della struttura dell'edificio con l'installazione della facciata prefabbricata



Connessione metallica ad alta capacità in acciaio scanalato che assicura una sicurezza strutturale in caso di incendio



Modello tridimensionale della connessione metallica ad alta capacità inglobata all'interno degli elementi di legno strutturali

Considerazioni riassuntive sul rapporto tra forma architettonica, principi costruttivi ed espressività del legno nel progetto

La struttura del Mjøsa Tower è ideata come uno scheletro stabile e resistente costituito da una **soluzione tecnologica ibrida legno-cemento**, nel quale non si cela un nucleo in cemento, poiché anche il vano di distribuzione verticale è in legno, ma che si basa su **elementi lignei resi più solidi da rinforzi in calcestruzzo, a loro volta sostenuti da prodotti derivati dal legno**.

Il sistema strutturale a telaio costituito dall'incrocio di travi e pilastri si traduce in una costruzione di grandi dimensioni, molto alta, leggera, ma rigida e ben salda per l'ingegnosa applicazione dei materiali e delle tecniche costruttive, come è osservabile anche nell'ideazione del pergolato inserito in corso d'opera.

Sitografia: ecologico.altervista.org - www.architetturaecosostenibile.it

Puukuokka Housing Block One

PREFABBRICAZIONE

RAPPORTO CON L'AMBIENTE CIRCOSTANTE

Sintesi del progetto

Il complesso di appartamenti Puukuokka, il primo nucleo residenziale in Finlandia con una altezza elevata in legno, situato nel sobborgo di Jyväskylä di Kuokkala, nasce con la finalità di soddisfare le contemporanee esigenze di un edificio in un materiale di origine vegetale e sostenibile quale il legno ed efficiente dal punto di vista energetico: esso vuole essere un **collegamento tra la città e il paesaggio collinare con una composizione di tre edifici ecologici e performanti dai sei agli otto piani di altezza** per i quali è stata necessaria una revisione del piano urbanistico della città.

L'intervento è stato particolarmente ben accolto dai residenti per la **creazione di un ambiente interno privato confortevole**, che nel caso del Puukuokka Housing Block One si compone di 58 appartamenti dai 54 ai 76 mq, **ed una zona esterna semi-pubblica condivisa come luogo di aggregazione sociale**.

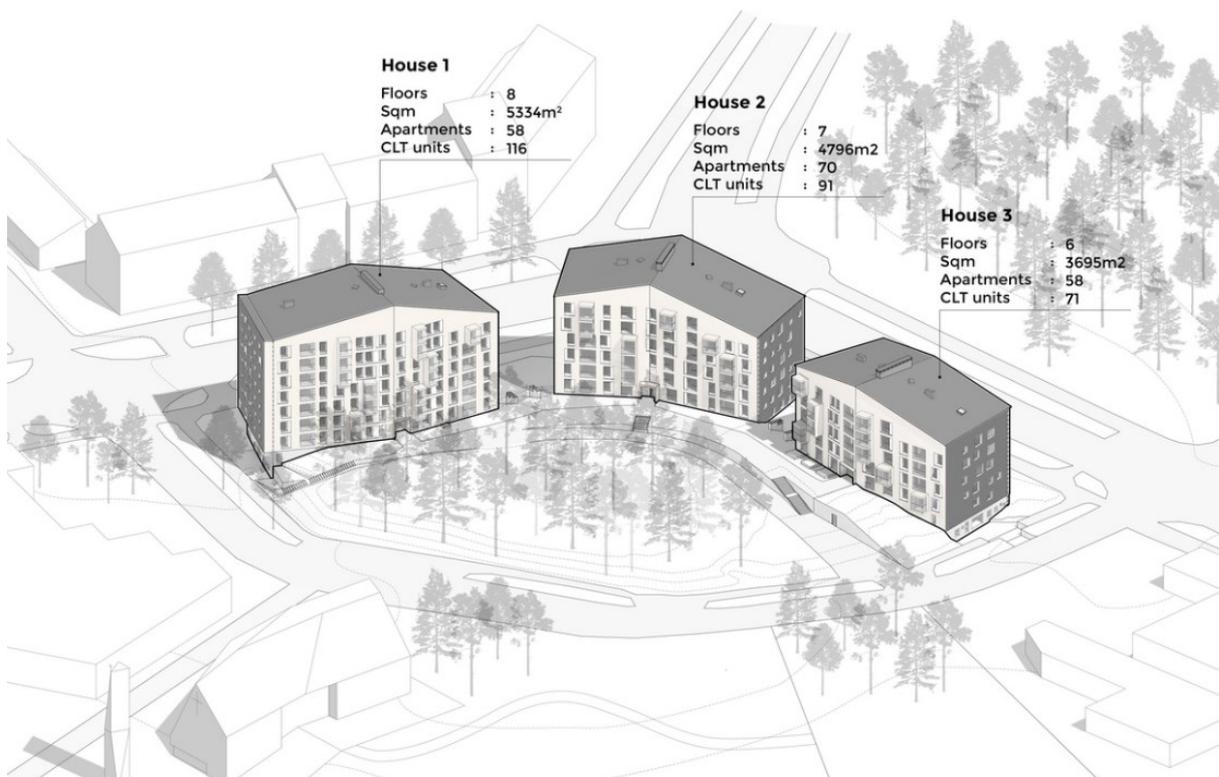
Dati

Autore	Lo studio OOPEAA Office for Peripheral Architecture si è occupato della progettazione dell'edificio, in particolare l'architetto Anssi Lassila, con la consulenza per le strutture in legno di SWECO e la collaborazione con Lakea e Stora Enso
Anno di edificazione	Puukuokka One: 2014 – 2015; Pukkuokka Two: 2015 – 2017; Puukuokka Three e completamento del complesso: 2017 – 2018
Luogo	Jyväskylä, Finlandia
Destinazione d'uso	Residenziale
Superficie complessiva	18.650 mq – appartamenti 14.000 mq + servizi comuni
n° di appartamenti	186 - Puukuokka One: 58 appartamenti

Altezza

6 - 8 piani - Puukuokka One: 8 piani

Elaborati grafici



<

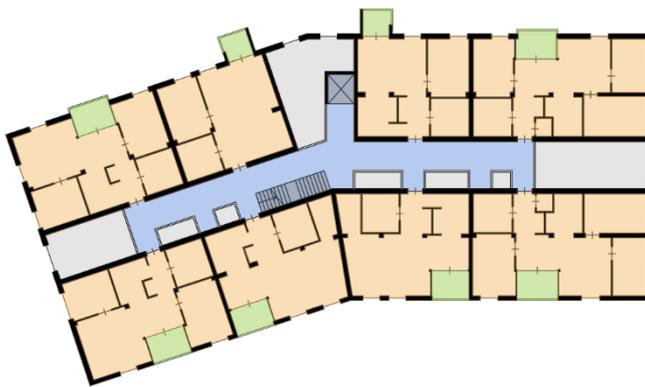
Modello tridimensionale volumetrico del complesso di edifici



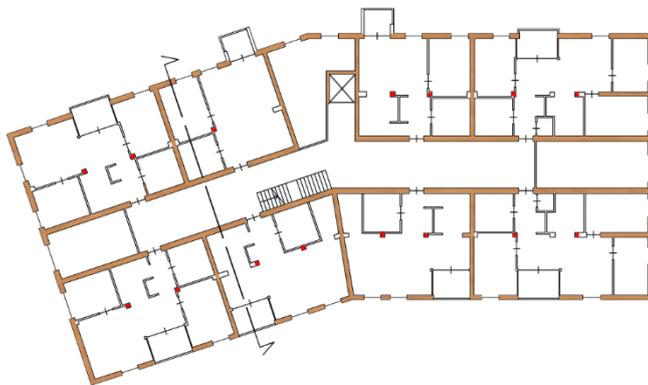
Prospetti degli edifici del complesso residenziale



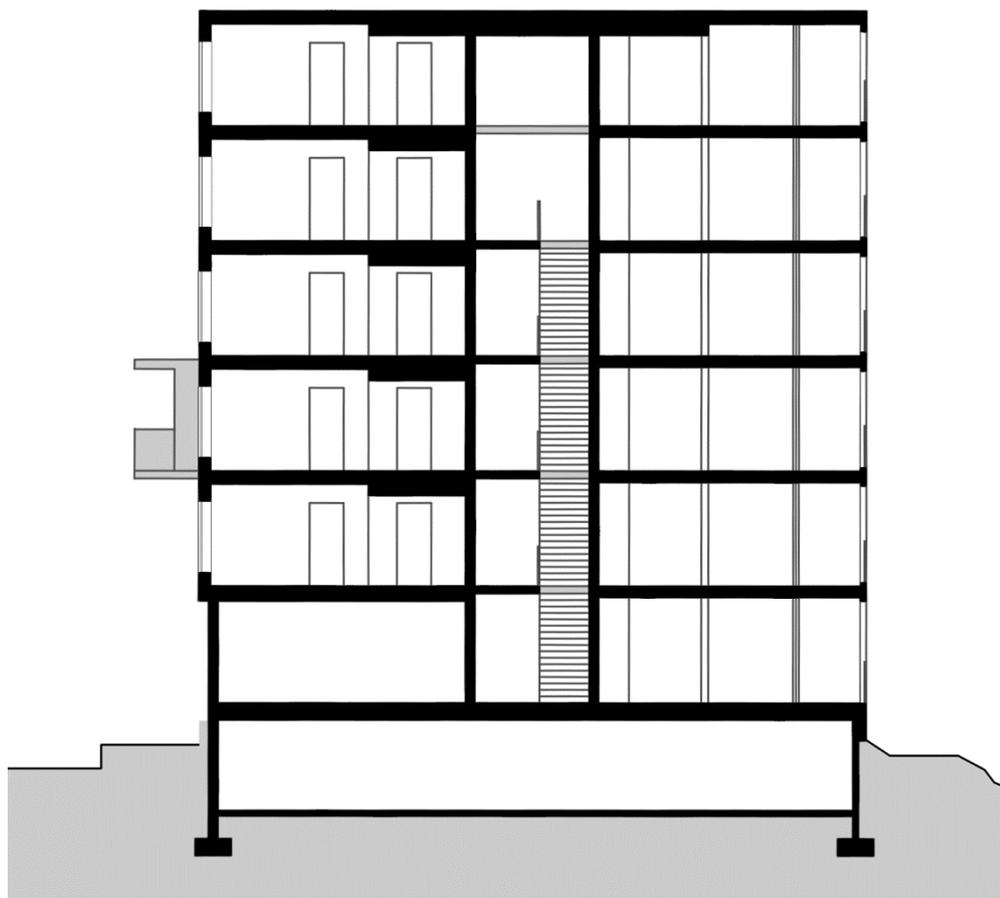
Pianta funzionale distributiva piano di accesso all'edificio – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Pianta funzionale distributiva piano tipo – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Pianta strutturale dell'edificio – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Sezione dell'edificio – scala 1:200 – elaborazione degli autori

Descrizione principi architettonici

La facciata del complesso residenziale Puukuokka consiste in un **rivestimento esterno in elementi prefabbricati in legno** giunti in cantiere pretagliati con le aperture e dotati dello strato isolante: il lato rivolto verso la strada è rivestito con **legno di abete rosso trattato con una mano di vernice scura**, trattamento che è assente sul **legno di larice** presente sul fronte del lato del cortile interno, che risulta invece animato da balconi aggettanti, a differenza degli altri prospetti nei quali i balconi sono incassati e dotati di porte scorrevoli in vetro che occupano tutta la lunghezza e l'altezza della parete interna aprendo la vista sul paesaggio circostante. La **sensazione di dialogo verso l'esterno e di luminosità** è trasmessa anche nell'atrio semi-riscaldato posto al piano terreno e nei corridoi comuni di distribuzione molto spaziosi dai quali si gode di una serie di **vedute che si aprono ritmicamente sul paesaggio di boschi e colline circostante**, permesse dall'applicazione del sistema a telaio in X-LAM utilizzato per la struttura dell'edificio: **il complesso risulta ben radicato nell'ambito locale integrandosi perfettamente nel contesto più ampio in cui è inserito**, mediante la tradizione costruttiva locale in legno che incontra un atteggiamento progettuale aperto verso l'innovazione architettonica e tecnologica.

Selezione di fotografie e di dettaglio



Complesso residenziale composto dai tre edifici in legno



Esterni dell'edificio in rivestimento in legno di abete e legno di larice



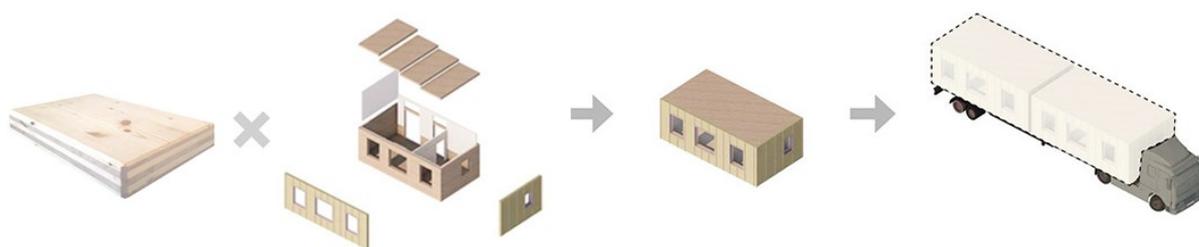
Interno dell'edificio molto luminoso grazie alla vetrata di un appartamento che si apre sul balcone creando un dialogo con l'esterno

Descrizione elementi tecnologici e costruttivi

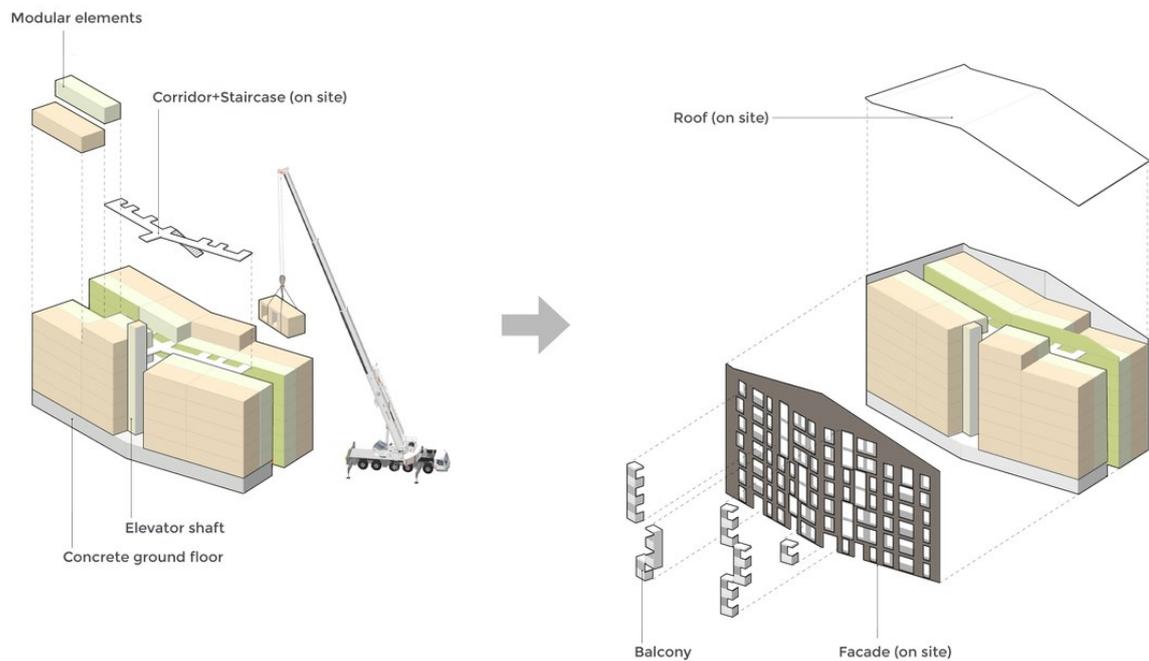
La struttura degli edifici del Puukuokka è a telaio in legno massiccio, costituita da **moduli cubici prefabbricati in pannelli lamellari a strati incrociati X-LAM di legno di abete rosso**, con una configurazione che permette una integrazione delle tubazioni per il riscaldamento, l'acqua, l'elettricità e la ventilazione nelle pareti del corridoio per essere facilmente accessibili in caso di manutenzione. Le soluzioni strutturali ed impiantistiche consentono **un'organizzazione efficiente di ciascun piano massimizzando lo spazio a disposizione per le unità abitative**, ciascuna composta da due moduli, uno che ospita il soggiorno, il balcone e la camera da letto, e l'altro che ospita il bagno, la cucina e l'ingresso. All'interno degli appartamenti, il legno è visibile nei soffitti, nei rivestimenti a parquet dei pavimenti e nelle scale dei corridoi, mentre le pareti sono state coperte con pannelli in gesso per soddisfare le norme imposte dalla legge per la sicurezza antincendio, infine la pavimentazione delle superfici destinate a corridoio è costituita da elementi in X-LAM simili a passerelle con un effetto di leggerezza e ariosità.

L'insieme delle componenti lignee poggia sul piano interrato del parcheggio, ricavato seguendo il naturale andamento terreno, e sul basamento di fondazione in cemento.

L'utilizzo di elementi prefabbricati industrialmente in uno stabilimento vicino al sito di costruzione, disposti secondo un **sistema a telaio di elementi modulari**, con funzione portante e di irrigidimento e di barriera al vapore ed isolante termico, ha permesso di ridurre i tempi di installazione in cantiere e l'esposizione del legname alle condizioni meteorologiche, consentendo di ottenere un risultato qualitativamente superiore grazie alla buona **definizione del piano di montaggio** dei prodotti lignei tramite connessioni metalliche.



Ciclo di produzione degli elementi lignei di suddivisione interna delle unità abitative secondo il criterio della prefabbricazione con l'ottenimento di moduli cubici prefabbricati pronti al montaggio e all'assemblamento rapido in seguito al trasporto in cantiere



Metodo di costruzione ed unione degli elementi giunti in cantiere per edificare ciascun edificio del complesso residenziale

Considerazioni riassuntive sul rapporto tra forma architettonica, principi costruttivi ed espressività del legno nel progetto

Il complesso Puukuokka è in grado di dimostrare il potenziale della costruzione modulare prefabbricata in X-LAM sfruttando le opportunità offerte dalle qualità tecniche ed architettoniche del legno per giungere ad un intervento su larga scala con una **espressività nata dalla fusione tra il carattere urbano e rurale**.

Il progetto mostra un interesse al comportamento dei materiali di origine vegetale, senza escludere la **possibilità di sperimentare nuove tecniche e soluzioni innovative** con la **combinazione tra un profondo rispetto per la tradizione e un apprezzamento dello stile e della tecnologia contemporanee**.

Sitografia: www.archdaily.com - www.oopeaa.com - www.miesarch.com - www.theplan.it - www.urbannext.net - www.domusweb.it - www.woodarchitecture.fi

Strandparken Building

PREFABBRICAZIONE

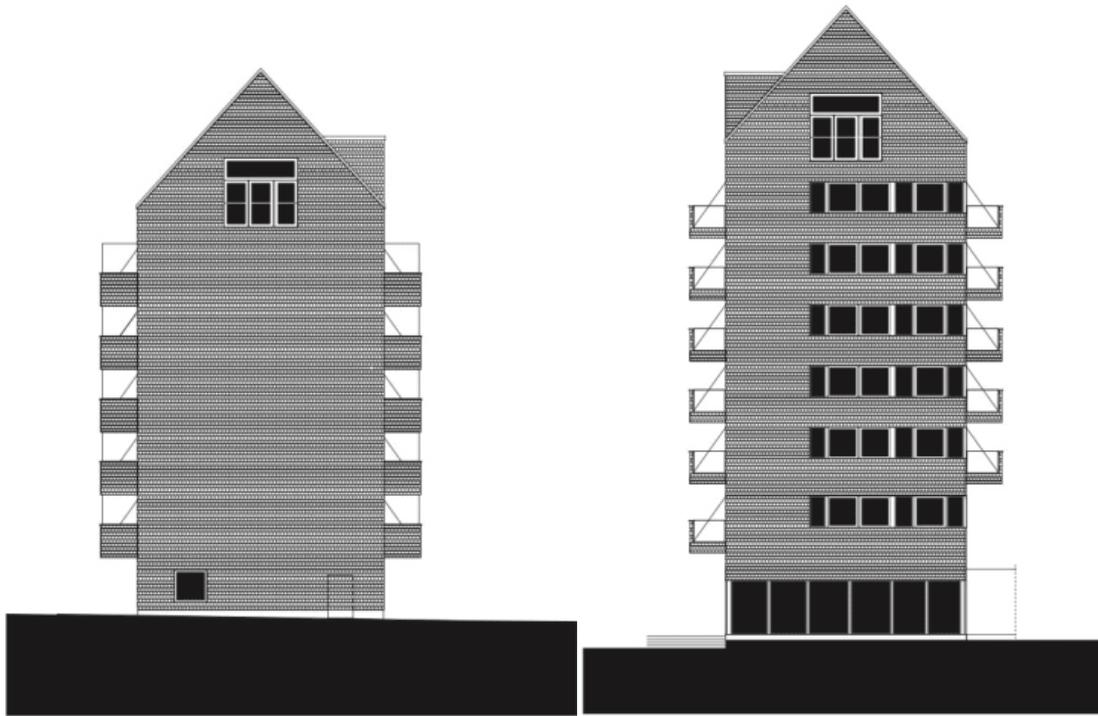
Sintesi del progetto

Il condominio Strandparken, il primo di quattro edifici progettati per l'area situata nelle vicinanze di un'insenatura dell'arcipelago al nord della città di Sundbyberg, è nato con l'intento di sondare il potenziale delle abitazioni sostenibili valutabile tramite l'utilizzo del legno come materiale da costruzione e il raggiungimento di un ridotto consumo di energia richiesta dall'edificio.

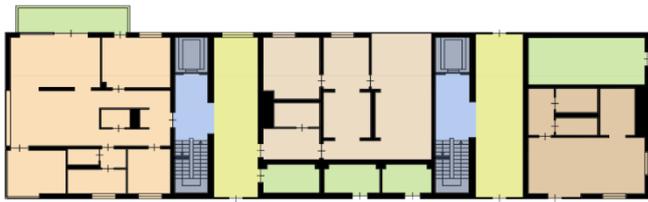
Dati

Autore	Lo studio Wingardhs Arkitekter si è occupato della progettazione dell'edificio, con la consulenza per le strutture in legno e le opere ingegneristiche di Martinsson
Anno di edificazione	2014
Luogo	Sundbyberg, Svezia
Destinazione d'uso	Residenziale
Superficie complessiva	2.740 mq
n° di appartamenti	31
Altezza	8 piani – 25 metri di altezza

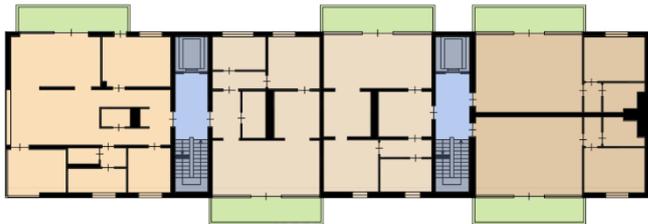
Elaborati grafici



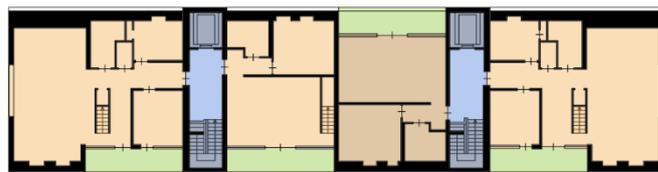
Prospetti dell'edificio



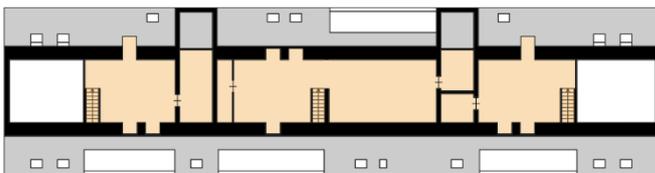
Pianta funzionale distributiva piano terreno – scala 1:500 – elaborazione degli autori



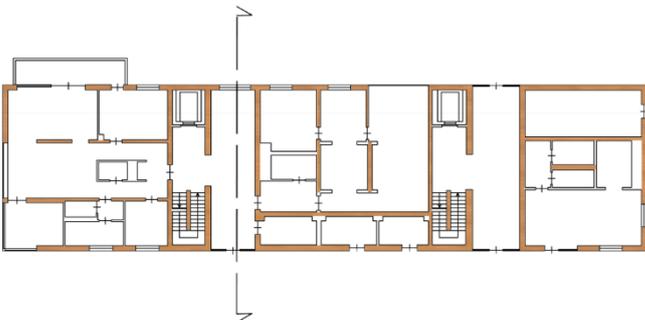
Pianta funzionale distributiva piano tipo – scala 1:500 – elaborazione degli autori



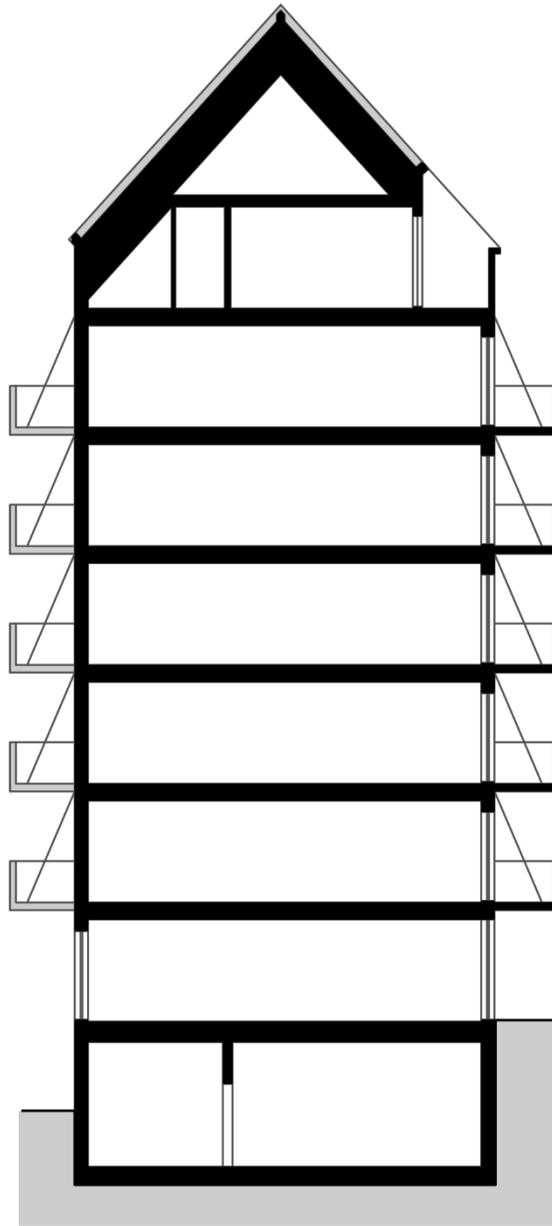
Pianta funzionale distributiva piano ultimo – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Pianta funzionale distributiva piano sottotetto – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Pianta strutturale dell'edificio – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Sezione dell'edificio – scala 1:200 – elaborazione degli autori

Descrizione principi architettonici

La conformazione esterna dello Strandparken Building prende spunto dall'aspetto dell'archetipo di casa in legno, con il tetto spiovente a doppia falda e le estremità a timpano, concepita da secoli nella tradizione costruttiva svedese, ma influenzata dalle possibilità offerte dalle industrie specializzate nella prefabbricazione e arricchita da ampie finestre che danno luce agli ambienti interni.

L'architettura mira all'esaltazione del legno sia esternamente con l'aspetto del tipico edificio ligneo mediante l'**involucro esterno in scandole di cedro trattate**, che con il tempo raggiungono una colorazione grigia-argento, sia internamente con dettagli e rivestimenti.

L'edificio Strandparken accoglie al suo interno 31 alloggi di tipologia diversificata attrezzati da una a quattro camere da letto, ciascuno dotato di un balcone al quale si accede attraverso porte scorrevoli vetrate che affacciano sul bacino d'acqua del limitrofo arcipelago, oltre ad un parcheggio ubicato al piano seminterrato connesso mediante ascensore ai corridoi dei piani superiori.

Selezione di fotografie e di dettaglio



Esterno dell'edificio che affaccia sul bacino dell'arcipelago



Dettaglio del rivestimento della facciata dell'edificio in scandole di cedro trattate, il materiale ligneo si ritrova anche internamente all'edificio



Spetto dell'archetipo della casa in legno con il tetto spiovente e balcone dell'edificio in cui si scorge il materiale ligneo

Descrizione elementi tecnologici e costruttivi

Il metodo di costruzione del complesso Strandparken si fonda su **moduli di legno lamellare prefabbricati in stabilimento inseriti in una struttura a telaio con funzione portante in legno massello**, ancorata alla fondazione mediante aste di metallo di spessore 23 mm che percorrono tutta l'altezza dell'edificio fino al livello del sottotetto, scelta effettuata considerando la **leggerezza della struttura pannellare in X-LAM** che rende la costruzione pesante 1/3 rispetto ad una struttura simile in acciaio o calcestruzzo.

Considerazioni riassuntive sul rapporto tra forma architettonica, principi costruttivi ed espressività del legno nel progetto

Il legno nel progetto del Strandparken Building assume sicuramente il ruolo rilevante che si era posto come obiettivo raggiungendo la **creazione di un edificio legato alla tradizione scandinava con una giusta misura di innovazione architettonica e tecnologica dimostrando le opportunità che può offrire l'edilizia in legno**. Nel progetto è inoltre responsabile il criterio di gestione della caratteristica della leggerezza, valutata come un vantaggio del materiale ligneo, che deve essere però ponderata rispetto alla resistenza e alla stabilità necessarie all'opera al fine di una rigidità strutturale che garantisca la sicurezza del legno nel campo edile.

Sitografia: www.dezeen.com - www.wingardhs.se - www.divisare.com

Banyan Wharf Apartments - The Cube Building

PREFABBRICAZIONE

Sintesi del progetto

Il complesso Banyan Wharf o The Cube Building è situato nel quartiere londinese di Hackney e rappresenta una architettura in legno che è in grado di tradursi in una struttura con conformazione ambiziosa, senza alcun limite e sostenibile, ma che riesce a fondersi con il paesaggio urbano esistente grazie all'applicazione di una soluzione ibrida di legno ed acciaio che avvolge un nucleo in cemento.

Dati

Autore	Lo studio Hawkins\Brown ha progettato l'edificio, in collaborazione con lo studio di ingegneria Pringuer James Consulting Engineers, mentre la fornitura e la produzione di pannelli prefabbricati è stata gestita all'azienda Binderholz in Austria
Anno di edificazione	2015
Luogo	Londra, Gran Bretagna
Destinazione d'uso	Residenziale e commerciale
Superficie complessiva	6.750 mq
n° di appartamenti	50
Altezza	10 piani – 33 metri di altezza

Elaborati grafici



Prospetto est dell'edificio



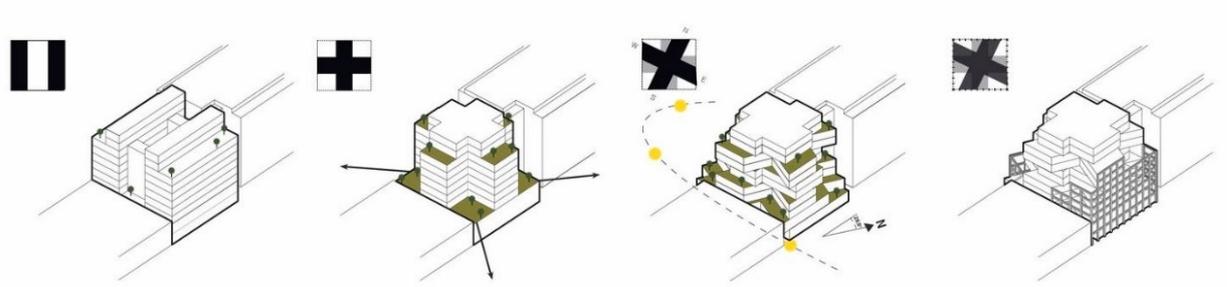
Prospetto nord dell'edificio



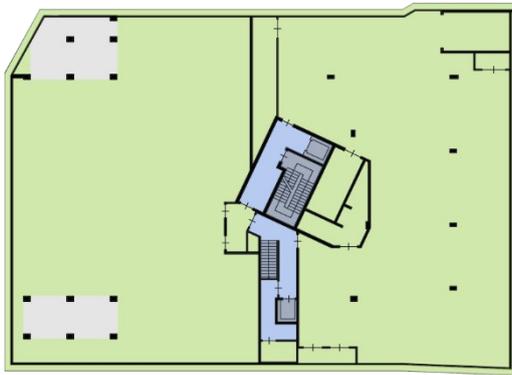
Prospetto sud dell'edificio



Prospetto ovest dell'edificio



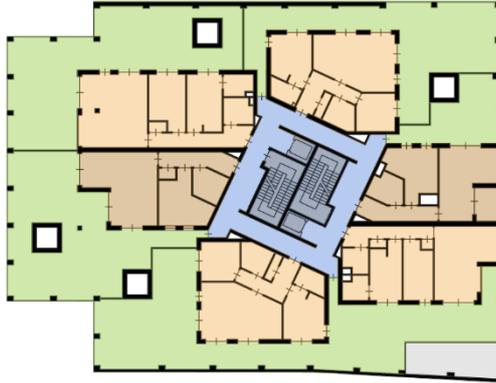
Concept progettuale dell'edificio con base planimetrica a forma cruciforme



Pianta funzionale distributiva piano interrato – scala 1:500 – elaborazione degli autori



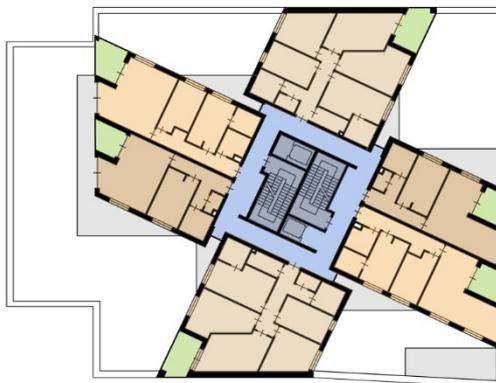
Pianta funzionale distributiva piano terreno – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Pianta funzionale distributiva piano primo – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Pianta funzionale distributiva piano secondo – scala 1:500 – elaborazione degli autori



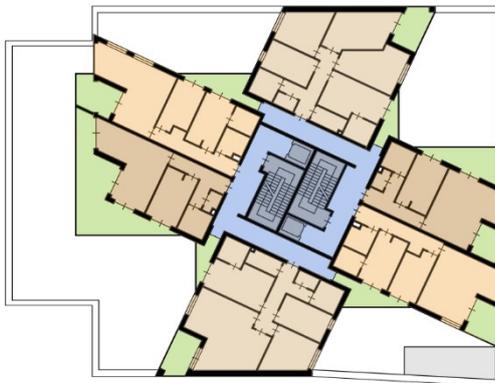
Pianta funzionale distributiva piano terzo – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Pianta funzionale distributiva piano quarto – scala 1:500 – elaborazione degli autori



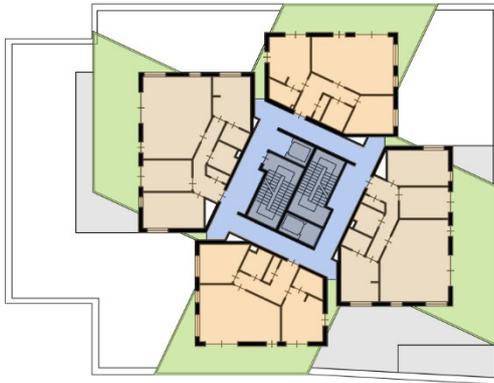
Pianta funzionale distributiva piano quinto – scala 1:500 – elaborazione degli autori



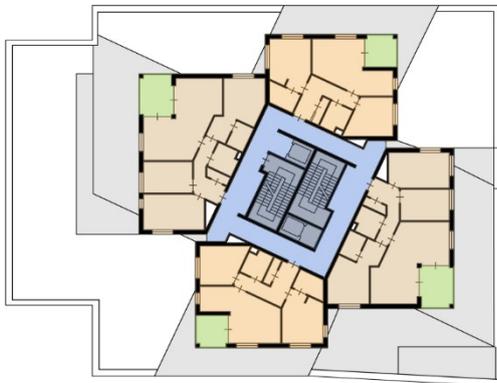
Pianta funzionale distributiva piano sesto – scala 1:500 – elaborazione degli autori



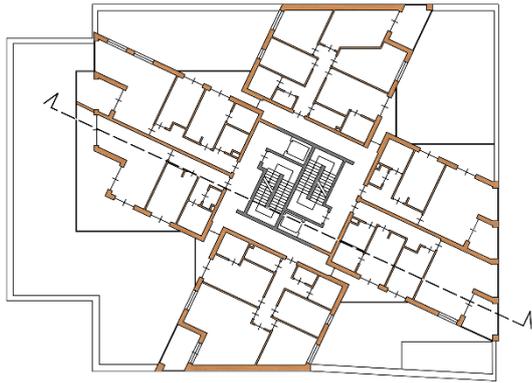
Pianta funzionale distributiva piano settimo – scala 1:500 – elaborazione degli autori



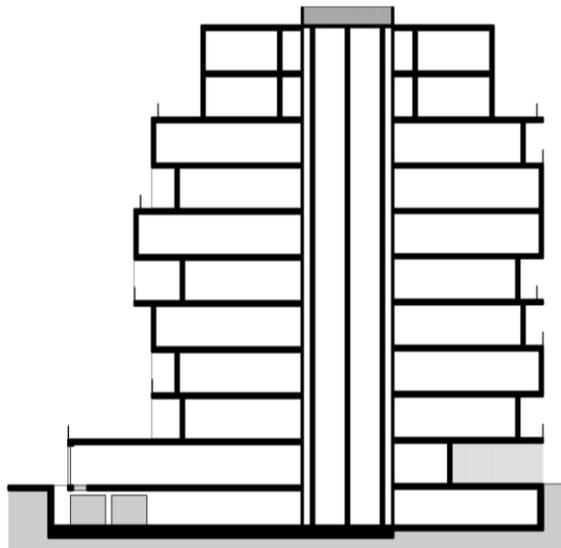
Pianta funzionale distributiva piano ottavo – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Pianta funzionale distributiva piano nono – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Pianta strutturale dell'edificio – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Sezione dell'edificio – scala 1:500 – elaborazione degli autori

Descrizione principi architettonici

Il Banyan Wharf rielabora la forma del convenzionale e regolare blocco urbano con struttura in X-LAM traducendolo in un innovativo ed **insolito elemento di base cruciforme con una disposizione attorcigliata** e contorta: ruotando la metà dei piani dell'edificio con la pianta di forma cruciforme si garantisce la creazione di ampie terrazze ben esposte con un maggior apporto solare e luminosità per ciascun appartamento, e di quattro corti esterne affacciate sulla città.

La struttura a telaio in acciaio e pannelli in X-LAM dell'edificio si presenta rivestita con **doghe lignee di cedro rosso** certificato FSC che hanno subito una **impregnazione** per una resistenza alle intemperie vista l'esposizione diretta agli agenti esterni; su una porzione dell'edificio risulta inoltre essere applicato uno **schermo aperto con conformazione di griglia in mattoni neri** che avvolge completamente l'architettura.

Selezione di fotografie e di dettaglio



Esterno dell'edificio



Esterno dell'edificio in cui si osserva la conformazione attorcigliata dell'architettura



Fase di cantiere in cui si apprezza la struttura in legno dell'edificio



Dettagli del rivestimento della facciata dell'edificio in doghe di cedro rosso preventivamente impregnate

Descrizione elementi tecnologici e costruttivi

La complessa geometria planimetrica del progetto motiva la scelta di una **soluzione strutturale ibrida** per la costruzione dei Banyan Wharf Apartment, seppur sia presente in quantitativo maggiore rispetto agli alti materiali, in questo edificio il solo legno non si prestava completamente a soddisfare le potenzialità raggiunte con il suo abbinamento nell'utilizzo ad una intelaiatura in acciaio e alcuni elementi in cemento armato, utilizzato per il piano seminterrato e terreno, oltre che per il nucleo di distribuzione verticale centrale che fornisce la stabilità necessaria all'edificio. A partire dal primo piano fino all'ultimo, **una struttura a telaio di travi e pilastri a griglia scatolare in acciaio accoglie i pannelli in X-LAM** con spessore fino a 200 mm, utilizzati per le pareti e i solai, che permettono di rinforzare la struttura e diventano parte integrante della stessa: i pilastri in acciaio sono sottili con dimensione di 200 mm x 200 mm, mentre gli travi e pilastri perimetrali hanno dimensione 400 mm x 200 mm per trasferire i carichi agenti in facciata.

La prefabbricazione delle componenti della struttura assume un ruolo fondamentale per l'edificazione del Banyan Wharf, inserito in una area ridotta definita dalla realtà urbana preesistente del luogo, e l'arrivo in cantiere dei pannelli, in alcuni casi con lunghezze oltre i dieci metri, con le aperture pretagliate industrialmente, grazie al supporto di macchine a controllo numerico e programmi di modellazione tridimensionale, permette un rapido e diretto posizionamento degli elementi secondo le indicazioni progettuali.

Considerazioni riassuntive sul rapporto tra forma architettonica, principi costruttivi ed espressività del legno nel progetto

I Banyan Wharf Apartments rappresentano una vera e propria sfida progettuale, nella quale si è voluta **interrompere la tendenza e l'ideale essenza delle strutture lignee in X-LAM associate ad un comportamento scatolare** affrontando il progetto con la scelta di applicare una complessa struttura ibrida, nonostante il legno sia rimasto il componente strutturale principale, per ottenere una architettura articolata massimizzandone l'abitabilità soprattutto con le ampie terrazze, l'efficienza e la sostenibilità.

La struttura ibrida permette di sfruttare le migliori proprietà di ciascun materiale utilizzato nel progetto reinterpretando l'edificio in un prodotto architettonicamente unico in cui il legno è presente anche esternamente diventando il protagonista indiscusso della forma creata e nella quale si fa difficoltà a trovare allineamenti verticali, nonostante **la percezione dell'edificio rimanga quella di una anomala regolarità**, che è valsa al progetto il nome di The Cube.

Sitografia: www.hawkinsbrown.com - woodforgood.com - www.archdaily.com

Torri di Rundeskogen

DICOTOMIA

PROGRAMMAZIONE PRE CANTIERIZZAZIONE

Sintesi del progetto

Le tre Torri di Rundeskogen, una collina boscosa dominata da case unifamiliari ed edifici residenziali su piccola scala, sono situate in uno snodo tra tre principali centri cittadini della regione sulla costa occidentale della Norvegia, inserendosi in un **contesto che accentua l'altezza e il volume del progetto**: le tre torri ospitano 114 unità abitative di differenti tipologie, con superficie variabile dai 60 ai 140 mq, con la torre più alta che raggiunge i 13 piani.

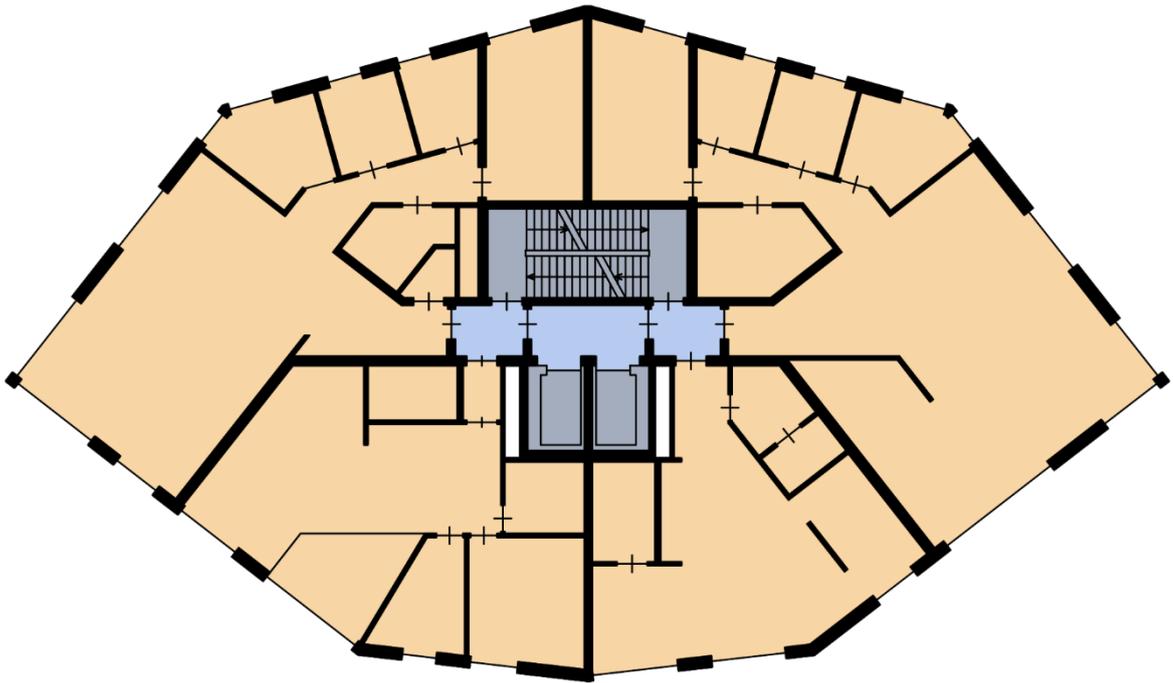
La sfida progettuale delle Torri di Rundeskogen consiste nel **bilanciamento della tipologia di edificio con elevata altezza per sopperire alla densità insediativa con ampi spazi verdi** aperti nelle aree circostanti l'edificio.

Nel progetto non manca un interesse verso l'aspetto energetico riscontrabile nell'installazione di collettori solari sulla copertura e di pompe di calore geotermiche, oltre che nel sistema di recupero delle acque.

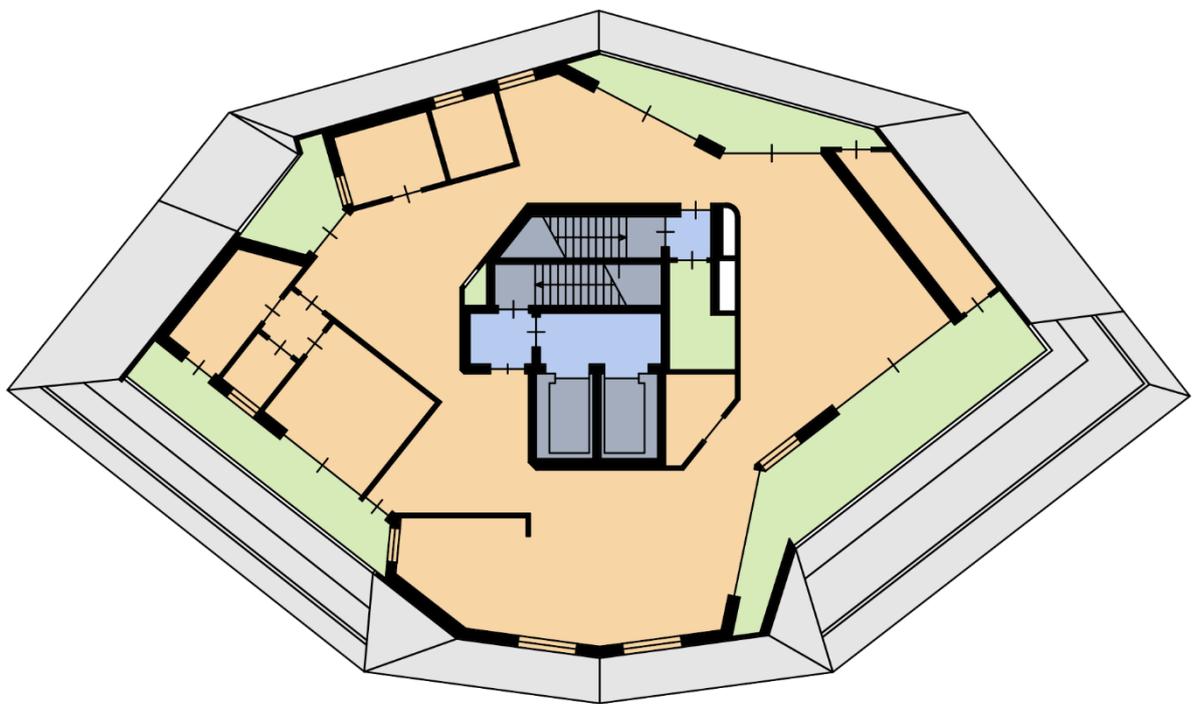
Dati

Autore	Lo studio Helen&Hard Architects , insieme allo studio DRMM di Londra hanno progettato l'edificio, in collaborazione con lo studio di ingegneria Dimensione
Anno di edificazione	2012 - 2013
Luogo	Sandnes, Norvegia
Destinazione d'uso	Residenziale
Superficie complessiva	11.315 mq
n° di appartamenti	114
Altezza	2 torri: 9 piani – 1 torre: 13 piani

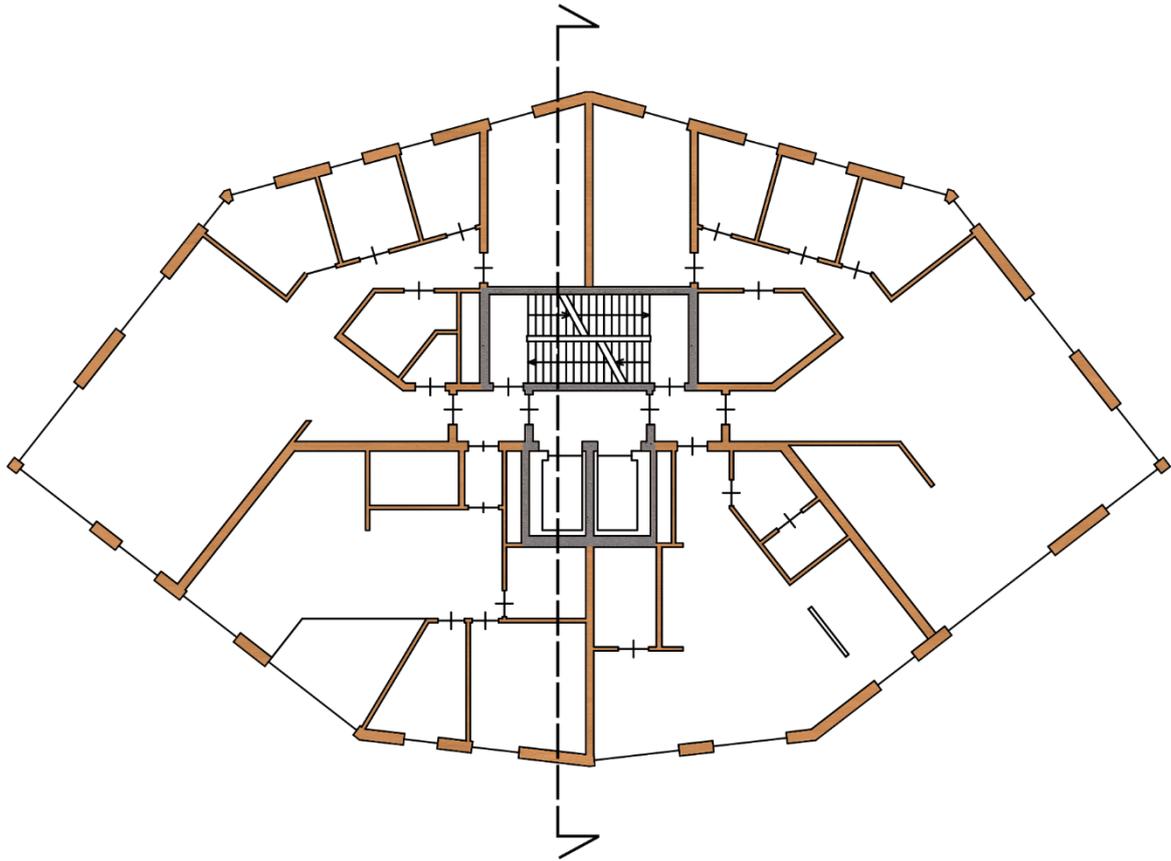
Elaborati grafici



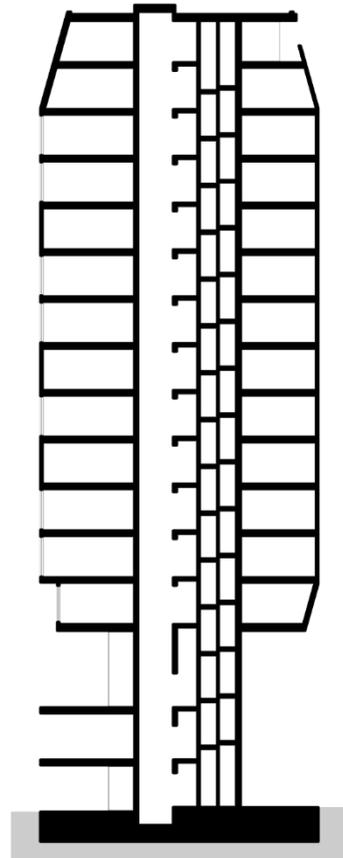
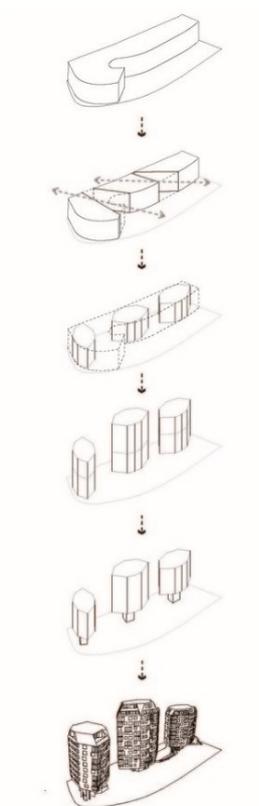
Pianta funzionale distributiva piano tipo tipologia piano undicesimo – scala 1:200 – elaborazione degli autori



Pianta funzionale distributiva piano tipo tipologia piano sedicesimo – scala 1:200 – elaborazione degli autori



Pianta strutturale dell'edificio – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Concept volumetrico e sezione dell'edificio – scala 1:500 – elaborazione degli autori

Descrizione principi architettonici

Il progetto delle Torri di Rundeskogen basa il proprio sviluppo a partire da una **sagoma planimetrica ottagonale** a forma di diamante con una modellazione dei volumi che permette **l'ottimizzazione dell'orientamento delle torri** valutandone l'esposizione, massimizzando l'illuminazione naturale all'interno degli ambienti, e le visuali da ciascun appartamento, apprezzabili anche mediante la possibilità di usufruire dei balconi e dei giardini invernali vetrati integrati ad ogni unità abitativa, accessibili tramite porte a soffietto, con la **creazione di spazi abitativi flessibili**, qualitativamente alti, ed di una buona ventilazione interna. L'obiettivo nella progettazione delle tre torri mira alla riduzione dell'impatto visivo dell'edificio, o meglio, in altre parole, punta alla **percezione di una continuità visiva** da parte dell'utenza di tutti gli edifici della zona oggetto di intervento, raggiungibile tramite il **sollevamento rispetto al piano del terreno** del nucleo degli appartamenti: la struttura si ispira alle forme della natura e ciascuna torre rimanda alla conformazione di un albero, nella quale il nucleo a forma di stella che parte da terra rappresenta il tronco, i suoi elementi di rinforzo strutturale che arrivano al terreno si diramano e si diffondono nello spazio circostante all'edificio come radici che annettendo alle torri, al livello del suolo, spazi coperti esterni di incontro e di raccolta sociale e ricreativi immersi nel verde caratteristico della collina.

Le particolari qualità volumetriche degli edifici di Rundeskogen si prestano alla creazione di giochi di luce sulle facciate, effetti che vengono enfatizzati da una **frammentazione del suo rivestimento superficiale mediante pannelli con forma triangolare che riflettono diversamente la luce** assumendo molteplici tonalità di colorazioni cangianti.

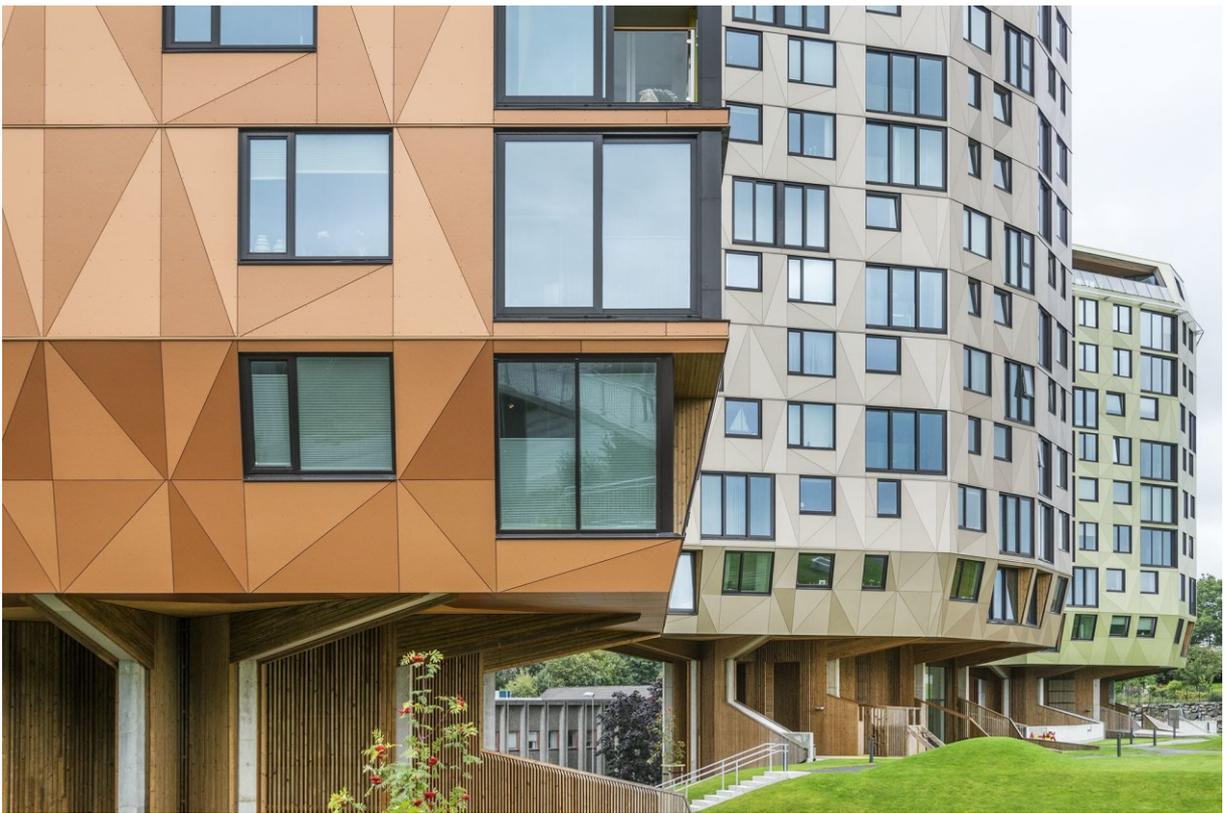
Selezione di fotografie e di dettaglio



Complesso residenziale composto dai tre edifici in legno



Rivestimento esterno che riflette la luce assumendo colorazioni cangianti differenti

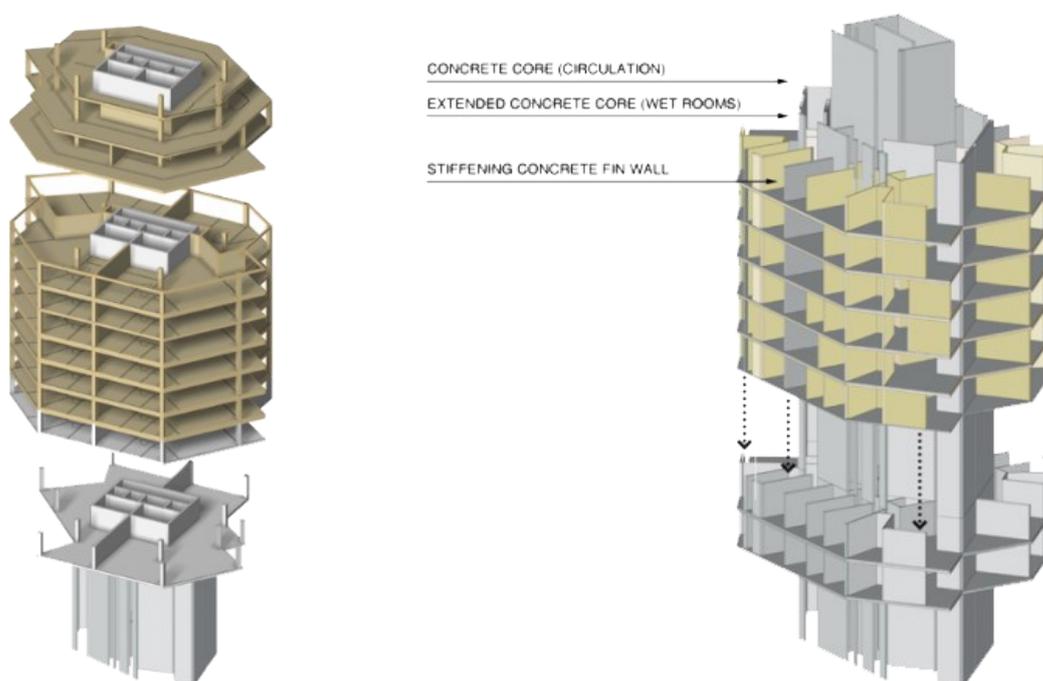


Dettagli dei rivestimenti delle facciate degli edifici che ricoprono la struttura in legno per ottenere un effetto visivo tridimensionale grazie all'applicazione dei pannelli metallici con uno studio delle luci e degli effetti in stabilimento

Descrizione elementi tecnologici e costruttivi

Le Torri di Rundeskogen si configurano come tre edifici architettonicamente compatti rialzati rispetto al terreno con **struttura ibrida in legno e cemento** che si traduce in un'anima centrale della struttura a sbalzo a forma di stella in cemento, consistente nell'elemento organizzativo e distributivo dell'intero progetto, e nelle strutture delle pareti in X-LAM, nonostante l'idea originaria di progetto ipotizzasse un edificio completamente in legno, optando successivamente per una definitiva soluzione ibrida ritenuta più tradizionale dal cliente.

Il **rivestimento sovrastrutturale** degli edifici completa il progetto con l'ottenimento di uno straordinario effetto visivo tridimensionale, creato grazie all'**applicazione di pannelli metallici** Meteon della Trespa: l'azienda, con il team di progettazione, ha assemblato un modello di 16 mq ante fase di cantierizzazione per poter studiare un effetto esteticamente ricercato, ruotando le forme geometriche metalliche dei pannelli e giungendo alla soluzione di decori differenziati secondo le tre tonalità complementari 'Copper Yellow', 'Amber' e 'Mustard Yellow' per ciascuna torre, disponendo gli elementi della facciata disegnati singolarmente secondo uno schema complesso ma estremamente preciso in modo tale da ridurre al minimo gli scarti provenienti dalla lavorazione delle lastre metalliche, proseguendo successivamente all'installazione eseguita in più fasi a partire dall'alto dell'edificio verso il basso.



Modello tridimensionale strutturale che identifica chiaramente la struttura ibrida in cemento dell'anima centrale a sbalzo e gli elementi in legno

Considerazioni riassuntive sul rapporto tra forma architettonica, principi costruttivi ed espressività del legno nel progetto

Le Torri di Rundeskogen sono tre grattacieli residenziali, situati in un'area dominata da piccoli edifici, che sicuramente si distinguono per il proprio volume e la propria altezza, ma fanno in modo di **combinare una struttura ibrida architettonicamente ed espressivamente concentrata con forme e materiali innovativi**. La forma prismatica ottagonale in planimetria permette di ottimizzare l'illuminazione e la ventilazione naturale all'interno degli ambienti, e di valorizzare la visuale sul paesaggio circostante, unitamente alla concezione della volumetria con il nucleo dell'edificio a sbalzo, per creare un risultato giocoso in facciata ed una libertà abitativa grazie ai giardini d'inverno e alla zona coperta comune al piano terreno.

Sitografia: www.archdaily.com - www.helenhard.no - www.architecturenorway.no - www.trespa.com - drmm.co.uk - www.theplan.it

12. LA DURABILITA' NEGLI EDIFICI MULTIPIANO

Grazie in particolare ai casi che ci vengono proposti dallo scenario mondiale è dimostrabile come non sia certo una soluzione inutilizzata quella della realizzazione di edifici in cui il legno viene utilizzato come materiale strutturale per la costruzione di edifici anche di elevate altezze: risulta comunque fondamentale ricordare come il legno sia stato per secoli il materiale da costruzione preferenziale per numerosi progetti nel mondo a partire dall'esempio che ci viene offerto dalla più alta struttura in legno mai realizzata che fu l'antenna con una altezza totale di 190 metri Muhlacker Radio Transmission Tower in Germania demolita nel 1945.

I fattori da considerare nella progettazione come si è cercato di fare emergere sono molteplici: dalla conoscenza del materiale, al calcolo strutturale, alla concezione dei dettagli costruttivi, agli aspetti ecologici, ai requisiti energetici ed acustici, alle prescrizioni di uso e manutenzione, al comportamento statico e di risposta al fuoco, fino al controllo dalle fasi di taglio del legno, di lavorazione e produzione e di cantierizzazione.

Per questa numerosità di aspetti dei quali tenere conto, la progettazione di un edificio di legno richiede il coordinamento di un gruppo di professionisti specializzati in diverse discipline: è necessario un progettista architettonico, uno strutturale, uno energetico, un termotecnico, uno impiantistico, insieme a figure quale un geologo e un tecnologo dei materiali, tutte figure che, nel limite delle proprie capacità e competenze, devono collaborare in maniera sinergica fin dalle prime fasi del progetto per poter perseguire l'obiettivo della buona riuscita della costruzione. Questo è il criterio di logica organizzativa del progetto in generale è applicabile su tutti gli edifici e su tutti i materiali da costruzione per mantenere in esercizio una struttura il più a lungo possibile senza insorgenza di problematiche, ma lo è, se possibile, ancora di più per il legno, materiale di origine vegetale, biodegradabile e particolarmente soggetto a degrado viste le sue caratteristiche.

L'obiettivo ultimo e fondamentale è quello di garantire alla struttura adeguata durabilità considerando i fattori correlati al tipo di materiale come la classe di servizio prevista, la destinazione d'uso della struttura, le condizioni ambientali prevedibili, la composizione, le proprietà e le prestazioni dei materiali, la forma degli elementi strutturali ed i particolari

costruttivi, la qualità dell'esecuzione e il livello di controllo della stessa, le particolari misure di protezione e la manutenzione programmata durante la vita presunta con l'adozione, in fase di progetto, di idonei provvedimenti volti alla protezione dei materiali.

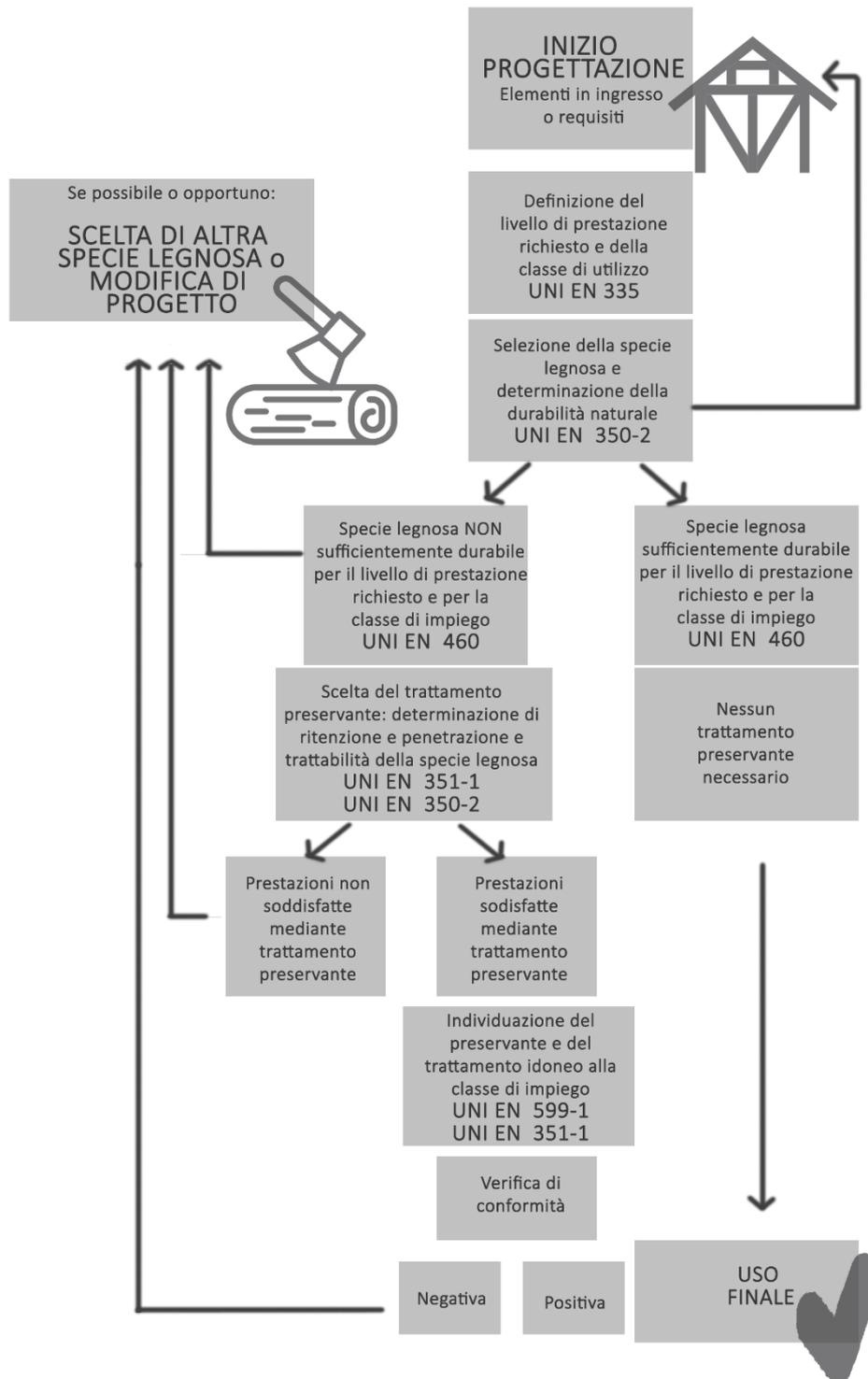


Diagramma del processo di selezione e verifica dell'adeguato livello di durabilità rispetto alla classe di utilizzo prevista nel progetto con prodotti a base di legno dei quali è nota la durabilità naturale – fonte: rielaborazione degli autori di Riferimenti Normativi di Roberto Zanuttini in *Legno. Manuale per Progettare in Italia*, Davide Maria Giachino

Anche dalla riproposizione dello schema sopra riportato si evince l'importanza della scelta della specie legnosa in funzione della durabilità: scegliere il legno adatto per un determinato specifico contesto operativo, consiste nella prima e fondamentale fase per una buona progettazione con il materiale legno.

In base alla scelta di questa fase dipendono successivamente tutte le scelte future ricordando, come affrontato in molteplici passaggi, che la normativa può e deve rappresentare un'utile e principale guida per svolgere una scelta consapevole.

Ciascun progettista deve quindi seguire un cosiddetto **processo decisionale** che il professionista deve affrontare nella costruzione di una struttura in legno.

Riassumendo lo schema riportato, è necessaria l'individuazione della classe di rischio biologica, secondo la posizione dell'elemento strutturale secondo la UNI EN 335, la selezione della specie legnosa in base ai requisiti di durabilità richiesti secondo la UNI EN 350 ed infine la verifica della corrispondenza tra la durabilità del legno scelto e la classe di utilizzo secondo la UNI EN 460.

Se l'esito della verifica è positivo, il legno può essere utilizzato così com'è, altrimenti va trattato in base alla verifica dei requisiti di ritenzione e penetrazione del trattamento preservante secondo la EN 351-1 e alla verifica dell'efficacia dei preservanti del legno con le specifiche indicazioni secondo le classi di utilizzo seguendo la EN 599-1.

12.1. La riconoscibilità di un edificio in legno: la dicotomia

La dicotomia è un tema direttamente connesso a quello della classe di utilizzo prevista di un elemento in legno in un progetto: il termine dicotomia indica una divisione, una suddivisione netta tra elementi, ma questa scissione non è necessariamente sintomo di esclusione reciproca di una parte rispetto all'altra, ma in molti casi, al contrario, essi possono essere complementari. Nel campo edile e delle costruzioni, ed in generale in questo contesto, la dicotomia possiamo valutarla come scissione tra struttura e forma architettonica, questi elementi che comunque devono andarsi a completare e sapere stare a contatto fondamentalmente per non intaccare e ridurre, ma eventualmente aumentare, la durabilità del sistema edificio.

Pensare alle case in legno fa spesso venire con molta probabilità in mente gli chalet di montagna ma, nonostante questi siano un elemento irrinunciabile dei paesaggi montani, il legno risponde con flessibilità e innovazione alle numerose e diversificate esigenze funzionali ed estetiche della committenza, infatti esistono diverse tipologie di case in legno, differenti tra loro per dimensioni, forme, tradizioni ed utilizzi.

Per analizzare la dicotomia si vuole proprio partire da un distacco rispetto alle sopra illustrata tipologia di edificio presente nell'ideale comune come associabile all'edilizia lignea poiché è sempre maggiore l'inclinazione del settore verso edifici in legno che non appaiono in legno, infatti molto spesso il legno lo si ritrova per l'appunto solo nella struttura che poi viene rivestita tramite la sovrapposizione di altri materiali: anche in Italia le costruzioni in legno possono possedere l'aspetto classico dell'architettura regionale italiana o proporre soluzioni architettoniche moderne e futuribili, senza apparire all'osservatore in legno; nel nostro paese esiste poi la necessità di inserire i nuovi edifici in contesti urbani fragili e altamente vincolati, che impongono il rispetto delle tipologie locali e prescrivono sovente una normativa ancora nascente ma comunque da rispettare.

Le potenzialità di impiego degli edifici in legno dimostrano in ogni caso una buona capacità di rispondere all'architettura urbana esistente con soluzioni tecniche versatili, in cui il legno delle strutture può convivere con i materiali più tradizionali delle nostre città: per quanto concerne l'aspetto esteriore, gli edifici in legno finiti esternamente ad esempio con un isolamento a cappotto intonacato, la pietra, i mattoni o elementi di pareti ventilate o rivestimenti innovativi, ad un primo sguardo risultano indistinguibili rispetto agli edifici circostanti per i quali non è stato utilizzato un materiale ligneo nell'edificazione, ponendosi quindi in continuità rispetto all'esistente.

Tramite questa coesistenza di materiali, le costruzioni in legno sono estremamente versatili ed oltretutto in grado di adattarsi perfettamente ai diversi climi del nostro paese con il tema della casa che in Italia è fortemente legato ad aspetti storici e culturali e basato sull'utilizzo di materiali locali e di metodologie costruttive sviluppatesi soprattutto in risposta alle caratteristiche bioclimatiche locali di temperatura e umidità delle varie aree geografiche del territorio: dal punto di vista architettonico il legno non implica praticamente alcun modello

formale predeterminato, ponendosi come una alternativa alle costruzioni in muratura e ai sistemi tradizionalmente utilizzati in edilizia.

In genere un edificio dovrebbe dimostrare il modo in cui è stato fatto, come manifestazione della sua volontà di essere: il dibattito sul rapporto forma e struttura e tra architettura e tecnica è diventato particolarmente rilevante e addirittura provocatorio con la rivoluzione industriale che ha determinato un vero e proprio salto tecnologico con l'introduzione di nuovi materiali e nuove tecniche costruttive.

Nella **sintesi tra forma e tecnica**, intesa come l'insieme degli atti progettuali e costruttivi, comprendenti idee, materia, forma e funzione, elementi tutti che precedono la realizzazione di un'opera di architettura, il loro rapporto risulta oggettivamente equilibrato nel raggiungimento di determinati obiettivi: il concetto di tecnologia dell'architettura come disciplina che tratta della trasformazione delle materie prime in prodotti di impiego e di consumo è stato in parte superato, per essere sostituito dal concetto di tecnologia come settore di ricerca che evidenzia sempre più la necessità di un confronto interdisciplinare volto all'elaborazione di progetti e di strategie per l'abitare consapevole e sostenibile e quindi durevole nel tempo.

In definitiva, per quanto concerne il tema della dicotomia, comprendere il motivo di questa differenziazione tra forma e struttura, è fondamentale **valutare le classi di rischio del legno secondo la norma UNI EN 335** che tratta la durabilità del legno e dei prodotti a base di legno fornendo la definizione delle **classi di rischio di attacco biologico**: il legno lamellare e l'X-LAM sono generalmente prodotti per le classi di utilizzo 1 e 2, quindi in ambienti asciutti riscaldati o non riscaldati, ma comunque protetti dall'acqua, alcune aziende producono su richiesta anche elementi in classe 3, quindi in ambienti anche esposti, ma sono utilizzati solo in casi eccezionali. Di conseguenza si può sostenere che tutti gli elementi strutturali in legno devono essere protetti in modo adeguato, motivo principale dell'esistenza della dicotomia negli edifici con struttura lignea.

Non si può però certo sostenere che in tutti gli edifici in legno si possa ritrovare un distacco tra tecnica o struttura e forma, in questi casi di continuità tra tecnica e forma, ossia in casi in cui il legno viene mostrato e quindi risulta essere a diretto contatto con l'ambiente circostante, il

legno deve sicuramente subire dei trattamenti poiché non venga ridotta la durabilità di una architettura.

Analizziamo a questo proposito alcuni edifici dello scenario nazionale ed internazionale nei quali il legno viene mostrato direttamente all'osservatore e quindi è direttamente posto a contatto con l'ambiente circostante.

Il caso del Metropol Parasol a Siviglia in Spagna

Il Metropol Parasol è situato a Siviglia ed è una stazione della metropolitana della città con un grande impatto architettonico reso attraverso l'utilizzo del legno, la struttura ha una dimensione di circa 150 metri in un senso e di 70 metri nell'altro senso: la struttura è caratterizzata da un perimetro curvo con il raggiungimento di altezze fino ai trenta metri.

Esternamente l'architettura si mostra con il legno completamente esposto sotto forma di un rivestimento forato ideato da Mayer e la cui struttura è stata studiata dal gruppo londinese Arup: essa è costituita da molteplici superfici reticolate che si traducono nell'assemblamento di un prodotto in legno micro-laminato che permette di realizzare superfici pretenziose a formare lastre continue della forma e dimensione necessaria denominato Kerto-Q, realizzato incollando lamine di **legno di betulla, essenza scelta per le qualità di resistenza**, dello spessore di tre millimetri.

Le lastre in legno micro-laminato con la conformazione prescelta adatta al montaggio in opera sono trattate con una verniciatura e rifinite con una **resina poliuretanica impermeabile, traspirante e flessibile di spessore compreso tra i due e i tre millimetri di spessore**: l'eccezionale capacità di assorbire il preservante del legno nel processo di impregnazione, consente l'installazione degli elementi direttamente a contatto con l'ambiente esterno anche in caso di prolungata esposizione a condizioni anche prolungate di umidità o irraggiamento.

Mentre tutta la struttura più esposta e paradossalmente quella con funzione di protezione proprio dagli agenti atmosferici è in legno, per la zona inferiore a contatto con il terreno è stato usato in prevalenza il cemento armato, come per i nuclei degli ascensori a forma cilindrica.

Le unioni tra gli elementi di legno, il cui montaggio molto rapido è stato realizzato con un complesso sistema di ponteggi spaziali conformato alla geometria del Parasol, sono in acciaio fissato al legno con barre filettate fermate da resina epossidica oggetto di un successivo trattamento termico in camera secca per garantirne la completa funzionalità fino a temperature molto elevate.



Metropol Parasol di Siviglia

Il caso dell'Auditorium del Parco della Musica a L'Aquila in Italia

L'Auditorium del Parco della Musica è situato in Italia a L'Aquila, esso costituisce il nucleo di un progetto che si compone di tre volumi principali di legno disposti accostati in maniera quasi casuale con una forma cubica.

La **finitura esterna è in doghe di larice** proveniente dalla Val di Fiemme ed è a diretto contatto con i fattori atmosferici costituendo una vera e propria **pelle distanziata dalla struttura sottostante da un'intercapedine ventilata**: in caso di pioggia **l'acqua può defluire liberamente con le doghe lignee areate su entrambi i lati** poste anche in copertura, regolarmente distanziate

tra loro di dieci millimetri, disegnando su tutte le superfici una trama costituita dal ritmo orizzontale.

Le doghe in legno di larice sono state messe in opera dopo essere state sottoposte ad alcuni specifici **trattamenti protettivi e cromatici**: un termo-trattamento stabilizzante ad alta temperatura eseguito in appositi forni, una spazzolatura delle superfici, una successiva impregnazione delle superfici eseguita con soluzione alcalina composta di acqua, soda caustica, cemento e calce, additivata con pigmenti naturali, è stata poi eseguita una ulteriore impregnazione con olio a base naturale per applicazioni su legno da esterno. La colorazione delle doghe con ventuno colori differenziati è stata realizzata mediante pigmenti minerali stabili e resistenti agli agenti atmosferici da additivare alla soluzione alcalina e all'olio.



Auditorium del Parco della Musica di L'aquila

Il caso del Müritzeum a Waren in Germania

Il Müritzeum, detto la Casa dei 1000 laghi, è stato progettato nel 2007 a Waren, in seguito alla vincita del progetto ad un concorso indetto per ampliare l'esistente museo con la specifica esigenza di una nuova struttura che favorisse il rapporto fra i visitatori, i laghi del Mecklemburgo e l'autoctono ambiente naturale ricco di flora e fauna tipico del luogo.

Il progetto si basa sulla combinazione di due materiali principali, ossia le **doghe in legno di larice bruciato per la facciata**, rimandando alla tradizione locale della preparazione del carbone, e il cemento a vista, al fine di creare una struttura compatta e funzionale capace di inserirsi armonicamente nel contesto del parco.

L'edificio si costituisce di due piani in alzato e un seminterrato con una conformazione della architettura circolare, spezzata da una coppia di sezioni taglienti: i segmenti di cono, i quali uno all'interno dell'altro tracciano in planimetria la forma di un cerchio, e la struttura del pavimento sono in legno e non risultano a diretto contatto con il suolo. Una delle due sezioni recide la curva interrompendola per creare in alzato la facciata principale dell'ingresso alla struttura con l'inserimento di una ampia vetrata, mentre un altro taglio interrompe la geometria del cerchio per assumere la conformazione di un vano scala centrale che conduce alla copertura.



Muritzzeum a Waren

In alzato il disegno architettonico si percepisce come una spirale avvitata su sé stessa con le sommità verso il basso che si restringono e verso l'alto si allargano: le pareti sono costituite da

legno di tipologia Leno con uno spessore di 120 millimetri, mentre le superfici esterne sono in legno carbonizzato con spessore di 30 millimetri finiti esternamente mediante una **finitura marrone nerastra** che non necessita di particolare manutenzione e permette all'edificio di mantenere esternamente il legno a vista grazie al **procedimento di carbonizzazione dei pannelli di legno** prima dell'installazione in modo da rendere completamente impermeabile la superficie lignea e resistente agli agenti atmosferici. La base della struttura è realizzata in cemento armato poiché in parte la struttura è posta sotto il livello dell'acqua.

Il caso dell'Interims Audimax a Monaco di Baviera in Germania

L'Interims Audimax è situata all'interno del complesso dell'Università Tecnica di Monaco di Baviera in Germania, è stata inaugurata nel 2011 ed è uno dei nuovi edifici universitari adibito ad auditorium del complesso: l'edificio ha una conformazione quasi quadrata e ospita al suo interno due aule separate da un corridoio con un atrio per un totale complessivo di quasi ottocento posti a sedere e 288 posti.

Un budget molto limitato ed un periodo di tempo per la pianificazione e la costruzione dell'edificio molto breve hanno incentivato la decisione di utilizzare una struttura con scheletro primario su una griglia di base di 62,5 centimetri di legno in abete rosso grezzo riempito con pareti con telaio in legno.

La facciata che racchiude l'edificio produce un effetto ondulato che, con la variazione dell'incidenza della luce, fa apparire un motivo a scacchiera, e reso per mezzo di assi di legno segato orizzontale mantenuto grezzo di abete verniciato nero satinato per contrastare il processo di invecchiamento del legno, mentre la sottostruttura in facciata è composta da pannelli sfalsati di compensato impiallacciato con taglio ondulato.





Interims Audimax a Monaco di Baviera

12.2. Le problematiche strutturali e tecnologiche

Le strategie progettuali nella creazione di un edificio in legno sono molteplici e differenti e conducono a risultati differenti tra loro: i professionisti che si trovano a lavorare ed ideare un edificio possono agire determinando un sistema strutturale e adattando il disegno dell'edificio al sistema prescelto, oppure possono determinare in primo luogo una strategia architettonica per poi applicarvi una scelta strutturale adattandola alla scelta estetica progettuale, oppure si può agire portando avanti le scelte architettoniche e stilistiche insieme a quelle relative alla struttura, mirando al raggiungimento di un risultato ottimale.

La progettazione di un edificio alto in legno richiede una strategia di questo genere, ossia una strategia ibrida nella quale si possa avere una visione molto più ampia di un mero approccio strutturale, piuttosto che architettonico, con la necessità di una considerazione della **integrazione tra tutti i sistemi e gli aspetti legati all'edificio, dalla architettura, alla struttura, ai sistemi funzionali, alle prestazioni, fino all'involucro.**

Solo tramite la considerazione di tutti questi aspetti congiuntamente fin dalle prime fasi della progettazione, si possono prevenire problematiche relative alla durabilità di ciascuno dei precedentemente esposti aspetti.

12.3. La normativa a supporto delle figure professionali

L'introduzione nel settore delle costruzioni di nuovi materiali come il legno e simili da esso derivati, l'evoluzione tecnologica delle macchine con una ricaduta sui prodotti, le nuove metodologie di lavorazione e messa in opera degli elementi lignei, l'utilizzo dei software di calcolo per la sicurezza strutturale, hanno richiesto necessariamente un **adeguamento delle normative** in molti paesi con un cambiamento della tipologia di approccio alla normativa con un passaggio da un carattere prescrittivo ad un approccio più prestazionale legato quindi all'indicazione della prestazione da raggiungere con il compito del progettista che risulta essere quello di scegliere il metodo migliore relativamente a ciascun caso al fine di soddisfare le prestazioni richieste dalla norma.

L'evoluzione della normativa italiana

Il quadro normativo italiano relativo alle costruzioni in legno nel passato è risultato spesso frammentario, poco chiaro per certi aspetti e lento nella trattazione di altri, con un conseguente riflesso negativo riguardo l'edificazione in legno, ma la prima azione più decisiva di svolta nel settore risale al 2009 con l'entrata in vigore del **Decreto Ministeriale 14/01/2008 Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni dette NTC08** con una accezione di tipo prestazionale. Le NTC08 forniscono informazioni sui calcoli strutturali in campo statico e sismico, danno indicazioni riguardo la marcatura CE ed indicano i riferimenti degli Eurocodici come documenti tecnici molto validi, delle norme UNI EN e delle linee guida a completezza e a supporto della norma stessa: gli Eurocodici, in particolare per l'edilizia nel campo del legno si fa riferimento all'**Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture in legno** e all'**Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica**, sono norme europee che fungono da ausilio alla

progettazione con manuali e software di calcolo per la progettazione strutturale che si traducono nelle Appendici contenenti i parametri nazionali da rispettare con lo scopo di armonizzare i servizi di mercato nel settore delle costruzioni e fornire un quadro comune come base per la sicurezza, la ricerca e lo sviluppo nel campo edile uniformando i vari paesi europei. Un passo ulteriore è stato compiuto il 6 dicembre 2011 con l'entrata in vigore del Decreto Legislativo 201/2011 o Decreto Salva Italia che ha permesso di cominciare a rendere più fluide e snelle le procedure necessarie all'avvio dei cantieri dove venisse utilizzato materiale ligneo, in particolare nelle molto numerose zone sismiche sul territorio nazionale.

Una ulteriore definizione del quadro normativo si ha in tempi più recenti con il **Decreto Ministeriale 17/01/2018 - Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni** e la successiva **Circolare Esplicativa 21 gennaio 2019 n°7 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni** nei quali, in particolare, nella nuova versione della Circolare Esplicativa vengono introdotti nuovi concetti legati ai controlli di accettazione in cantiere con una maggiore chiarezza sulle modalità con cui eseguire prove di carattere distruttivo sugli elementi di collegamento, oltre alla definizione della figura del costruttore definito come responsabile della qualità, che sarà comunque successivamente controllata dal Direttore Lavori, degli elementi strutturali posti in opera: la produzione, la lavorazione, la fornitura e l'applicazione dei prodotti di legno e dei prodotti a base legno per uso strutturale dovranno avvenire seguendo un sistema di assicurazione della qualità e di un sistema di rintracciabilità con ciascuna fornitura presente in cantiere che deve essere accompagnata da un manuale contenente le specifiche tecniche per la posa in opera.

In definitiva, per le costruzioni di legno, le rinnovate Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018, comprensive della integrazione della Circolare Esplicativa del 2019 rappresentano un importante e necessario miglioramento ed un progresso nella direzione di una sempre maggiore integrazione rispetto alla normativa europea già a disposizione riguardante il settore dell'edilizia in legno.

12.4. L'insorgere di problematiche in fase costruttiva o manutentiva dell'edificio

Secondo le indicazioni in campo normativo il costruttore, nell'ambito delle proprie responsabilità, precedentemente all'inizio della costruzione dell'opera, deve acquisire idonea documentazione relativa ai vari componenti della costruzione e per ciascun elemento strutturale in legno da utilizzare al fine di ottenere le **prestazioni indicate dal progetto**: tale documentazione dovrà essere comprensiva sia della **fase di produzione** che di quella proveniente dal successivo eventuale passaggio in **centro di lavorazione** con la dichiarazione del **Direttore Tecnico della produzione** inerente la descrizione delle lavorazioni eseguite e, ai fini della tracciabilità del prodotto, il costruttore deve assicurare la conservazione della medesima documentazione, unitamente a marcatura o etichette di riconoscimento fino al completamento delle operazioni di collaudo statico di un'opera. In questo senso la Circolare Esplicativa sopra indicata specifica come **il costruttore resta responsabile della qualità degli elementi strutturali in legno posti in opera**, qualità che comunque sarà controllata dal Direttore dei Lavori secondo le procedure necessarie.

12.4.1. I materiali a base di legno tra lo stabilimento e il cantiere

Le fasi di trasporto e posa in opera delle strutture lignee quindi emerge come siano momenti fondamentali durante i quali deve essere garantita la protezione degli elementi in legno soprattutto dagli agenti atmosferici o comunque da qualsiasi possibile fonte di umidità: nel caso in cui il materiale venga a contatto con l'acqua è necessario che essa evapori e gli elementi di legno si asciughino completamente ristabilendo il corretto contenuto di umidità all'interno di ciascun elemento, al fine di evitare che l'acqua venga poi rilasciata quando l'edificio è completato e anche eventualmente rivestito con delle importanti ricadute sulla durabilità dell'edificio.

12.4.2. I controlli di accettazione in cantiere

La prima regola per evitare errori è quindi di **accettare in cantiere solo materiale conforme** alle specifiche indicazioni tecniche di riferimento e con i requisiti prestazionali definiti in progetto. In base ai chiarimenti della norma in seguito alla implementazione del nuovo testo normativo, ossia alla luce dei nuovi adempimenti definiti nel testo della revisione delle Norme Tecniche per le Costruzioni nel 2018 e alla Circolare Esplicativa del 2019, indirizzate alle distinte fasi di progettazione, posa ed installazione, collaudo e manutenzione delle opere anche in concomitanza ad eventi eccezionali, si è posti nelle condizioni di valutare i principali criteri per l'accettazione in cantiere dei materiali.

Le nuove norme dispongono che tutte le forniture di legno strutturale devono essere accompagnate da una copia della documentazione di **marcatura CE**, secondo il sistema di valutazione e verifica delle prestazioni di prodotto, oppure dalla copia dell'attestato di qualificazione o del certificato di valutazione tecnica rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale, oltre alla dichiarazione di prestazione oppure alla dichiarazione resa dal Legale Rappresentante dello stabilimento in cui vengono riportate le informazioni riguardanti le caratteristiche essenziali del prodotto ed in particolare: **la classe di resistenza del materiale, l'Euroclasse di reazione al fuoco e il codice identificativo dell'anno di produzione** e sulla stessa dichiarazione deve essere riportato il riferimento al documento di trasporto.

Le nuove indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni riportano la descrizione dei controlli di accettazione necessari in cantiere, riprendendo quanto indicato dalla UNI TR 11499/2013 "Legno strutturale - Linee guida Linee guida per i controlli di accettazione in cantiere" che cita come per gli elementi di legno massiccio, su ogni fornitura, dovrà essere eseguita obbligatoriamente una classificazione visuale in cantiere su almeno il cinque per cento degli elementi costituenti il lotto di fornitura, da confrontare con la classificazione effettuata nello stabilimento: queste verifiche valgono per gli elementi di legno massiccio per il quale si può avere un utile riferimento nei criteri di accettazione riportati nella norma UNI EN 384:2016, per gli elementi di legno lamellare e altri elementi giuntati dovrà essere acquisita la documentazione relativa alla classificazione delle tavole e alle prove meccaniche distruttive svolte obbligatoriamente nello stabilimento di produzione tramite analisi sul giunto a pettine e

prove di taglio o delaminazione sui piani di incollaggio, inoltre su almeno il 5% del materiale pervenuto in cantiere deve essere eseguito il controllo della disposizione delle lamelle nella sezione trasversale e la verifica della distanza minima tra giunto e nodo secondo le disposizioni della norma UNI EN 14080. Qualora i risultati dei controlli di accettazione non risultassero soddisfacenti, il Direttore dei Lavori deve assolutamente rifiutare la fornitura pervenuta in cantiere.

Come accennato precedentemente **le norme relative alla classificazione indicano quali sono le caratteristiche ed i difetti ammissibili nelle diverse classi di resistenza, per una data specie legnosa oppure un gruppo di specie e per una certa provenienza geografica.**

I metodi di misurazione per la corretta classificazione in base alle varie caratteristiche sono generalmente quelli prescritti dalla norma EN 1310, ed in particolare le caratteristiche o i difetti che devono essere valutati sono: l'ampiezza media degli anelli di accrescimento, o eventualmente la massa volumica del legno, la tipologia, la posizione, la frequenza e la dimensione dei difetti quali nodi, misurati tramite il rapporto tra il diametro e la sezione di riferimento o deviazione della fibratura o legno di reazione o attacchi di insetti o agenti di carie del legno o deformazioni o smussi o fessurazioni da ritiro o lesioni meccaniche o cipollature.

I controlli di accettazione in cantiere sono obbligatori per tutte le tipologie di materiali e prodotti a base di legno e sono demandati al Direttore dei Lavori il quale, prima della messa in opera, è tenuto ad accertare e a verificare quanto sopra indicato ed è obbligato a rifiutare le eventuali forniture non conformi.

Un laboratorio incaricato è costantemente comunque in grado di effettuare eventuali ulteriori prove sui materiali arrivati in cantiere e, in caso di anomalie riscontrate sui campioni oppure di mancanza totale o parziale degli strumenti idonei per la identificazione degli stessi, deve sospendere l'esecuzione delle prove e darne comunicazione al Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con la conservazione dei campioni sottoposti a prova per almeno trenta giorni dopo l'emissione dei certificati di prova in modo da consentirne l'identificabilità e la rintracciabilità.

Un ulteriore aspetto da considerare è quello che impone al progettista di fornire indicazioni mediante le modalità di realizzazione e di messa in opera dei **sistemi di connessione tra gli elementi** lignei o tra elementi lignei ed eventualmente strutture già esistenti in muratura, con una imposizione di verifica degli stessi nelle reali condizioni di impiego in opera al direttore dei lavori secondo le indicazioni del DM 17/01/2018 a garanzia di una completa efficienza dell'opera edilizia.

Probabilmente non è possibile evitare completamente l'errore umano, ma allo stesso tempo è possibile incidere sulla sua frequenza agendo sulla formazione, sui controlli in accettazione in cantiere, sulla supervisione durante il montaggio e sul monitoraggio durante la vita della costruzione.

In tutto questo, è di primaria importanza che la formazione tenda a sensibilizzare i professionisti non solo sui temi legati all'ingegneria del legno, ma a quelli inerenti anche all'organizzazione del processo di edificazione dell'opera in tutte le sue fasi senza escludere ovviamente gli aspetti legati alle fasi antecedenti la cantierizzazione dell'opera stessa.

12.4.3. La figura del Direttore dei Lavori

Il Direttore dei Lavori si è osservato quindi che responsabilità abbia e come sia obbligato a rifiutare le eventuali forniture non conformi alle indicazioni riferite ad un dato prodotto: il progettista è tenuto ad indicare nel progetto le caratteristiche di ciascun materiale che va utilizzato nel progetto e tali caratteristiche devono essere garantite dai produttori, dai centri di lavorazione e dai fornitori intermedi anche tramite la presenza della marcatura CE applicata a ciascuna fornitura e secondo le disposizioni necessarie.

Il Direttore dei Lavori è la figura che ha l'impegno di eseguire i controlli di accettazione in cantiere previsti ed eventualmente ha la possibilità di far eseguire ulteriori prove di accettazione sul materiale pervenuto in luogo di cantiere sui materiali e sui collegamenti che compongono la struttura, secondo le metodologie di prova indicate nella norma: per gli elementi strutturali e non e meccanici di collegamento, in fase di accettazione in cantiere, il

Direttore dei Lavori deve verificare la documentazione di qualificazione prevista, la corrispondenza dimensionale, quella geometrica e prestazionale a quanto previsto in progetto, ed prendere visione dei risultati delle prove meccaniche previste nelle procedure di controllo di produzione in fabbrica ed eventualmente dare indicazione di effettuare ulteriori prove meccaniche in ragione soprattutto delle possibili criticità, nel caso in cui non siano soddisfatti i controlli di accettazione, oppure sorgano dubbi sulla qualità e rispondenza dei materiali o dei prodotti rispetto a quanto dichiarato, procedendo ad una valutazione delle caratteristiche prestazionali degli elementi attraverso una serie di **prove distruttive e non distruttive**.

Le prove fungono da garanzia della qualità del prodotto finale, ossia dell'edificio, tramite regole di esecuzione che si raggiungono grazie ad una cooperazione funzionale unitamente ad una sufficiente completezza progettuale ed al controllo continuo durante ciascuna fase grazie all'esistenza di alcune indicazioni: descrizione del progetto inclusi tutti i dati di rilievo, piano di controllo dell'umidità per assicurare la sicurezza rispetto all'umidità durante i lavori, piano di montaggio, tolleranze di montaggio con la descrizione delle classi e dei valori di tolleranza per le opere edilizie, il metodo di misurazione e lo schema di controllo.

Queste azioni corrispondono alla **norma di esecuzione** la quale deve pianificare e descrivere tutto il lavoro di esecuzione progettuale e le relative misure per il **controllo della qualità**, dalla fine della fase di progettazione fino allo stadio dell'edificio ultimato con il fine ultimo di una qualità raggiungibile attuando le regole di progettazione indicate negli Eurocodici in riferimento alle tolleranze di montaggio e alla protezione dall'umidità e dagli agenti atmosferici, oppure applicando regole di esecuzione atte a produrre un adeguato livello di proprietà e caratteristiche riscontrabili nell'operato finale.

I requisiti da raggiungere per un risultato qualitativamente elevato, che rappresentano le condizioni che devono essere soddisfatte affinché il progetto stesso possa essere applicato, riguardano numerosi elementi quali connessioni, trasporto, assemblaggio e messa in opera, sicurezza, chiarezza nei compiti e nelle responsabilità delle figure interessate, livello di difficoltà dell'esecuzione secondo il livello di controllo necessario, il piano di montaggio e le tolleranze di montaggio ammesse dipendenti dalla classe di esecuzione e dalla classe di conseguenza dell'edificio e quelle per le membrature per gli elementi compressi che definiscono la loro

rettilinearità, la sicurezza antincendio in cantiere, il piano di controllo dell'umidità, i metodi utilizzati per la protezione dagli agenti atmosferici e le condizioni di stoccaggio dei materiali.

12.4.4. Il controllo dell'umidità durante l'esecuzione in cantiere

Il progetto viene eseguito per una specifica classe di servizio, come trattato affrontando il tema della dicotomia degli edifici in legno, ed è importante che questa condizione venga rispettata durante l'esecuzione: ciò può richiedere **mezzi speciali di protezione dagli agenti atmosferici durante l'esecuzione** poiché in alcuni casi ci si può ritrovare ad eseguire i lavori in condizioni di umidità più elevata per poi procedere all'asciugatura prima che l'esecuzione sia ultimata o prima che le strutture siano isolate e chiuse, ma un buon progettista dovrebbe indicare i mezzi di protezione da impiegare già nel corso dei lavori siccome **il controllo dell'umidità durante l'esecuzione riveste importanza vitale nella costruzione in legno.**

Un **piano di controllo dell'umidità** è il mezzo per evitare una diminuzione della durabilità di un edificio di per sé solido e durabile nel tempo con un livello minimo di influenza indesiderata da parte dell'umidità: principalmente occorre definire un livello di protezione dagli agenti atmosferici nel processo di stagionatura, successivamente si devono seguire i controlli durante tutte le fasi dalla fabbricazione al trasporto, alla consegna, allo stoccaggio, al montaggio e all'utilizzo, quindi il piano di controllo dell'umidità deve coprire l'intera catena della produzione e del processo di costruzione della struttura di legno e si dovrà assicurare che il costruttore rispetti il piano.

Il contenuto del piano di controllo dell'umidità comprende informazioni di base sul progetto edilizio, elenco dei materiali e prodotti lignei da utilizzare in cantiere, valore di umidità per gli elementi in legno nelle diverse fasi della produzione, al momento della consegna in cantiere, durante il montaggio e ad ultimazione dell'opera, indicazioni riguardanti ispezioni in cantiere e responsabili, possibili fonti di umidità in cantiere come pioggia, neve o acqua di falda e metodi di asciugatura applicabili al legno nel caso in cui il cui tenore di umidità aumenti, il livello di protezione individuato per la fase di costruzione e una stima dei tempi di protezione necessari

con indicazione dei tempi di asciugatura delle strutture fino a conformità con le condizioni di servizio dell'edificio tramite analisi e prevenzione dei rischi causati dall'umidità nel caso in cui gli elementi entrino in contatto con acqua valutando gli effetti sulla programmazione dei tempi in cantiere nel caso di piani di emergenza, valutando un piano di misurazione dell'umidità e il tenore di umidità di progetto.

In ambienti interni riscaldati le strutture di legno sono destinate alla classe di servizio 1 con il valore medio di umidità del legno inferiore al 12%, mentre in ambienti riparati non riscaldati le strutture di legno sono invece destinate alla classe di servizio 2 con il valore di umidità non superiore al 20%, in ambienti riparati non riscaldati il contenuto di umidità del legno può variare comunque durante l'anno tra il 12% e il 18%.

Il valore di umidità dei prodotti lignei alla consegna varia notevolmente a seconda del prodotto con il legno segato che è normalmente consegnato asciugato ad aria al 15%-25%, anche se per scongiurare il rischio di formazione di muffe, il valore dovrebbe essere inferiore al 20%, il legno lamellare incollato è normalmente consegnato con un contenuto di umidità pari al 10%-12%, il legno compensato e il LVL sono consegnati con un contenuto di umidità pari all'8%-10%, se la consegna proviene dal magazzino, fino ad un tenore di umidità massimo del legno lamellare incollato, del legno compensato e del LVL che può raggiungere il 20%: per ciascun prodotto si deve verificare l'effettivo valore di umidità tramite uno strumento di misurazione idoneo.

L'utilizzo dei pannelli in X-LAM è comunque ammesso per le classi 1 e 2, ossia in condizioni climatiche tali per cui il tasso di umidità contenuto nel legno non superi la soglia limite del 20%, il loro uso è quindi limitato a situazioni che non ne compromettano la durabilità, mentre la sua durabilità sarebbe seriamente compromessa nel caso di impiego in classe 3: in ogni caso i pannelli in X-LAM devono sempre essere protetti dall'acqua e dall'umidità diretta ed è fondamentale l'impermeabilizzazione dei pannelli a contatto con la fondazione.

Come analizzato, l'attenzione all'esposizione alle intemperie degli elementi non deve essere trascurata nemmeno in fase di trasporto, nelle sistemazioni temporanee e in fase di cantierizzazione: oltre alla consegna in cantiere, occorre valutare come normalmente durante le fasi di stoccaggio e di montaggio il valore di umidità del legno aumenta, ad eccezione del

legno segato che è solitamente consegnato già con un più elevato contenuto di umidità e prosegue la propria asciugatura in fase di cantiere, fasi durante le quali l'aumento di umidità del materiale deve essere controllato tramite la protezione dagli agenti atmosferici e nel caso di entrata in contatto con umidità del materiale, l'asciugatura del legno deve essere eseguita con sufficiente lentezza, in modo che non si sviluppino fessurazioni da ritiro con condizioni di asciugatura che devono far sì che la differenza tra il valore di umidità misurato e il valore di umidità di equilibrio non superi il 6%. Se l'asciugatura di elementi lignei necessita un livello superiore, deve essere organizzata per fasi.

Il piano di controllo dell'umidità e il piano di montaggio stabiliscono il livello di protezione dagli agenti atmosferici: nella scelta del livello di protezione dagli agenti atmosferici si dovranno tenere in considerazione le condizioni meteorologiche eccezionali e l'umidità aggiuntiva causata dalle attività di costruzione.

I **livelli di protezione dagli agenti atmosferici** e i rispettivi valori di umidità previsti sono: livello di protezione PL0 raccomandato solo durante i climi invernali e per brevi periodi poiché non vi è nessuna protezione del legno con il valore di umidità che dipende dal clima e quindi non è ammesso il contatto con il suolo, livello di protezione PL1 se avviene una copertura con elementi di plastica o un telo impermeabile con umidità inferiore al 20% e assicurazione di una ventilazione sufficiente, livello di protezione PL2 se si tratta di un ambiente completamente riparato con umidità ovviamente inferiore al 20% ed infine livello di protezione PL3 se si è nella casistica di un ambiente interno riscaldato con un valore di umidità inferiore al 15%.

Normalmente è richiesto ed è consigliabile anche lo sviluppo di un **piano di montaggio**, nel quale i requisiti posti nel piano di controllo dell'umidità devono essere tenuti in considerazione, esso deve inoltre essere in grado di definire le responsabilità delle figure interessate durante la cantierizzazione dell'opera e le soluzioni per il montaggio strutturale durante ciascuna fase della messa in opera, la sicurezza antincendio in cantiere, i metodi di protezione, lo stoccaggio e le relative possibilità di ispezioni degli elementi.

La finalità complessiva di una **norma di esecuzione** è definire il **livello di qualità per i lavori di cantiere** che può risultare differente per diverse classi di esecuzione o di conseguenze tramite la messa in evidenza delle buone prassi edilizie, con una chiara indicazione dell'applicazione di ciascun aspetto da parte dei produttori di materiali, delle imprese di costruzioni e delle autorità:

a questo proposito è stata pubblicata il 10 luglio 2019 la prassi di riferimento UNI/PdR 13:2019 “Sostenibilità ambientale nelle costruzioni - Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità”, la quale traduce in prassi il protocollo ITACA permettendo di formulare un giudizio sintetico sulla performance globale di un edificio, assegnando un punteggio indicativo del livello di sostenibilità ambientale. La nuova UNI/PdR 13:2019 è strutturata in tre sezioni che forniscono l’inquadramento generale e i principi metodologici alla base del sistema di analisi per la valutazione della sostenibilità ambientale degli edifici, ai fini della loro classificazione avviene l’attribuzione di un punteggio di prestazione, essa specifica poi i criteri sui quali si fonda il sistema di analisi multicriteria per la valutazione della sostenibilità ambientale sia degli edifici residenziali che quelli non residenziali.

Si può analizzare il quadro normativo a seconda delle diverse tipologie di prodotti e materiali a base legno, ma un principale aspetto sicuramente di cui tenere in considerazione è la marcatura CE dei prodotti, marcatura concepita con l’obiettivo di regolamentare la vigilanza sui prodotti presenti sul mercato, oltre alla nomina degli organismi di terza parte con la determinazione delle sanzioni a carico dei vari operatori in caso di mancato rispetto delle prescrizioni del Regolamento Europeo.

12.4.5. La marcatura CE

Attualmente sul mercato si trovano prodotti marcati CE da alcuni produttori e altri correttamente non marcati con il mercato che purtroppo spesso pare più orientato ad accettare prodotti con marcatura CE non a norma, piuttosto che prodotti conformi alle disposizioni di legge privi di marcatura CE, infatti non è obbligatorio utilizzare soltanto prodotti marcati CE, ma secondo le prescrizioni del Regolamento Europeo è prevista la marcatura solo in presenza di una norma armonizzata di una Valutazione Tecnica per i prodotti qualificati secondo le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni: per i prodotti marcati CE i controlli in produzione sono quelli definiti nelle norme europee armonizzate con la produzione dell’attestato di qualificazione, della dichiarazione di prestazione (DOP) oltre a documenti come

relazioni di calcolo, istruzioni per la movimentazione e il trasporto del materiale e il manuale di manutenzione.

Secondo le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, rispetto alle NTC08, vi sono alcuni importanti cambiamenti della normativa effettuati per tenere in considerazione le trasformazioni che, dal 2008, sono intervenute a livello Europeo sulla regolamentazione del materiale legno ad uso strutturale: per questa ragione sono stati rivisti i coefficienti di sicurezza dei materiali a base legno introducendo valori molto più aderenti a quelli proposti nell'Eurocodice 5, con coefficienti di variazioni contenuti entro il 15%, sono state inoltre aggiornate tutte le indicazioni riguardanti le procedure di identificazione, qualificazione e accettazione in cantiere dei materiali, i requisiti che si richiedono ai produttori e ai centri di lavorazione e, quindi, i conseguenti obblighi di denuncia di attività e della documentazione di accompagnamento dei prodotti siccome ciascun prodotto qualificato deve costantemente essere riconoscibile per quanto concerne le caratteristiche qualitative e riconducibile allo stabilimento di produzione tramite marchiatura indelebile depositata presso il Servizio Tecnico Centrale, conforme alla relativa norma armonizzata.

13. LA DURABILITÀ TRAMITE L'ANALISI DEGLI ERRORI IN ALCUNI CASI STUDIO

A questo punto della trattazione, in seguito alle ricerche e alle considerazioni a carattere più teorico, la nostra attenzione si è concentrata sulla osservazione diretta e sulla analisi il più approfondita possibile riguardo alcuni casi studio.

Questo complesso lavoro di ricerca si è sviluppato partendo dall'osservazione diretta o tramite fotografie di casi di edifici realizzati in legno nei quali, in seguito ad un **lasso di tempo più o meno prolungato dal termine dell'opera edilizia** sono emerse alcune **problematiche connesse alla durabilità del manufatto ligneo**.

Per ciascun caso trattato abbiamo preso contatti con la proprietà dell'opera e/o con i professionisti che si sono occupati di intervenire sull'edificio ligneo con la problematica legata alla durabilità.

Si tratta di manufatti edilizi con destinazione d'uso differente e con problematiche differenti che si analizzeranno singolarmente, in alcune situazioni riscontrate in **fase costruttiva** dell'edificio e quindi in **fase di cantierizzazione** ed in altre in **fase di manutenzione** dell'edificio e quindi ad opera edilizia terminata, causate da **errori di progettazione o di esecuzione** a seconda della casistica.

L'analisi caso per caso della rassegna dei casi raccolti include uno schema codificativo per inquadrare l'edificio, i dati principali legati alla durabilità compromessa e la localizzazione del degrado, le relative fotografie scattate direttamente in loco durante i sopralluoghi o comunque prodotte dai progettisti che sono stati chiamati ad intervenire per colmare le problematiche legate alla durabilità dell'opera, e infine una descrizione di analisi più specifica e dettagliata del caso studio.



DURABILITA'
COMPROMESSA IN
FASE DI CANTIERE



DURABILITA'
LIMITATA A CAUSA
DELL'UMIDITA'



ERRORE DI
ESECUZIONE



DURABILITA'
COMPROMESSA AD
EDIFICIO TERMINATO



DURABILITA'
LIMITATA A CAUSA
DELLA RADIAZIONE
SOLARE



ERRORE DI
PROGETTAZIONE

01

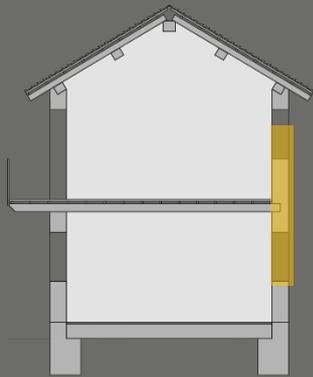


Durata anni manufatto
ante rilevazione
criticità: **3 ANNI**

Destinazione d'uso:
RICETTIVA

Piani fuori terra: **DUE**

Tipologia costruttiva:
**SISTEMA A TELAIO IN
LEGNO DI ABETE**



Particolari della facciata in cui il legno del rivestimento in doghe, in parte posate scorrettamente, ha la superficie degradata - Dettagli delle connessioni strutturali lignei che, a causa del ponte termico dovuto alla vicinanza del nodo alla chiusura trasparente, ha una colorazione anomala e l'attacco dell'elemento verticale al pavimento risulta essere non progettato ed eseguito con precisione visto il sistema improvvisato in fase di cantierizzazione – Fotografie degli autori



Particolari dell'attacco a terra dell'edificio che si osserva essere completamente distaccato dal terreno: è stato creato un'intercapedine di circa cinquanta centimetri nel quale passano le tubazioni ma che permette alla base dell'edificio di essere sollevato dal terreno.

La soluzione intrapresa è quella di una soluzione palafittata in modo tale che l'umidità del terreno non possa intaccare la durabilità del legno.

Le fotografie mostrano una piastra di CLS ad un'altezza tale che l'umidità non possa venire a contatto con l'edificio su cui poggia il manufatto ligneo stesso.

Fotografie degli autori

Il primo caso di edificio in legno che andiamo ad analizzare è stato concluso ed inaugurato nel marzo 2017, ha una destinazione d'uso ricettiva con funzione di bar e ristorante ed accoglienza di un campeggio, ha un'altezza di due piani fuori terra con l'assenza del piano interrato a causa della localizzazione in zona esondabile.

Si tratta di una **costruzione tradizionale in legno di abete**, soluzione tecnologica con il migliore rapporto tra qualità e costo, rispetto ad esempio ad una soluzione in X-LAM che sarebbe risultata molto più costosa ma che probabilmente avrebbe portato ad una maggiore velocità di costruzione. Seppur si sia optato per una costruzione con tecnologia costruttiva tradizionale, c'è stato un **approccio alla prefabbricazione**, con la costruzione dell'ossatura portante in circa due settimane grazie ad una squadra tra le sei e gli otto operai con le connessioni tra gli elementi lignei che sono ad incastro con bullonatura di sicurezza.

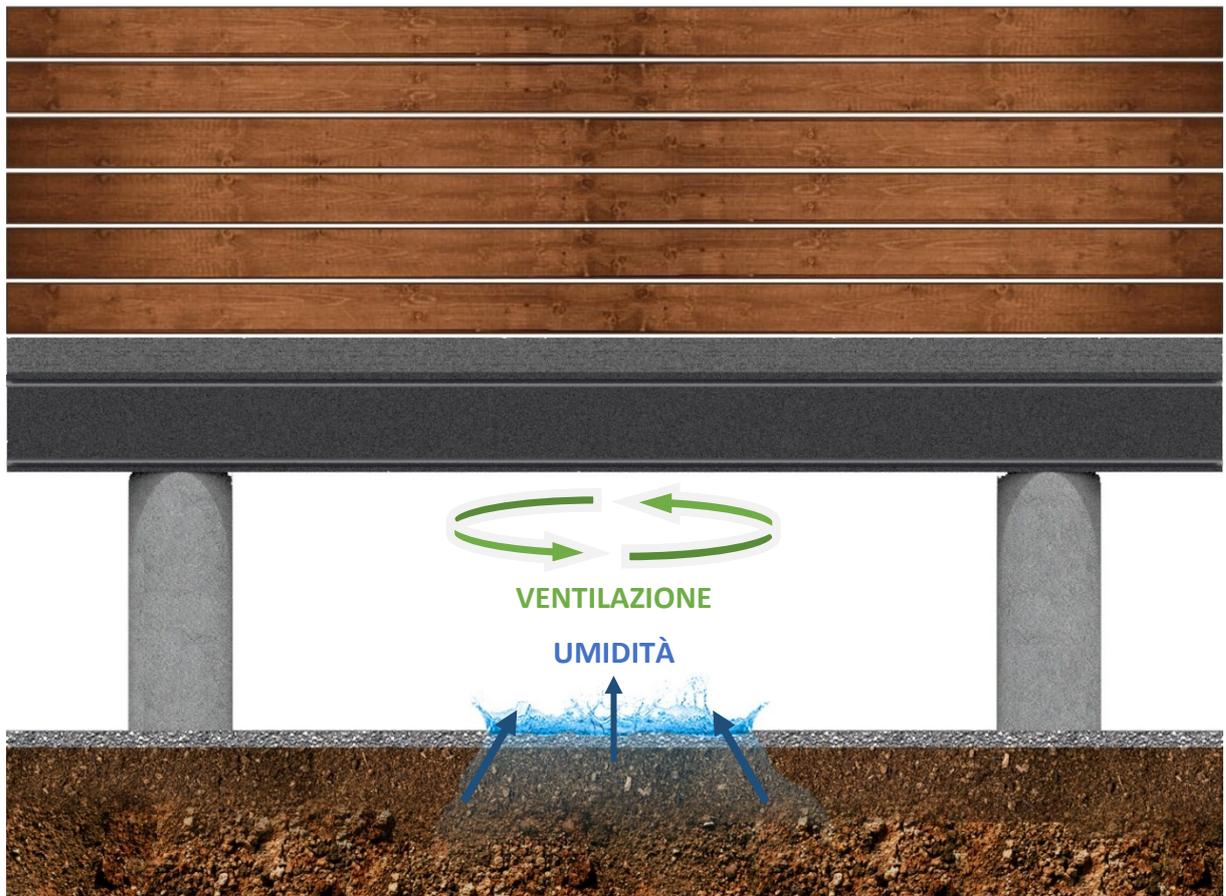
L'edificio ha la particolarità della copertura a compluvio che però non ha condotto a particolari problematiche e funge da sistema di raccolta dell'acqua.

Di particolare interesse in questo caso di analisi è **l'attacco a terra con la sua soluzione palafittata** per una questione di maggiore durabilità tramite la resistenza all'acqua: l'edificio infatti risulta completamente sollevato dal terreno con il manufatto edilizio che si trova a poggiare su una palificata in calcestruzzo ad una altezza di cinquanta centimetri dal terreno con la risoluzione del problema dell'attacco a terra, infatti la trave portante dell'ossatura del pavimento e i pilastri poggiano sulla piastra in calcestruzzo con in mezzo plastica per l'eventuale umidità che si potrebbe formare.

Il problema legato alla durabilità è invece più evidente sulla superficie della facciata esterna, infatti il trattamento preservante superficiale esterno dell'edificio con vernice ad acqua non è l'ideale per l'edificio, che a distanza di pochi anni dal termine dell'opera, risulta colpito da un **degrado superficiale** causato dagli agenti atmosferici, in particolare acqua piovana e raggi ultravioletti, soprattutto per quanto riguarda la facciata esposta a sud.

Inoltre non sono stati perfettamente risolti i **ponti termici** come mostrano le problematiche visibili dall'interno della struttura, anche considerando la presenza di numerose porzioni della facciata vetrate.

Per quanto concerne gli aspetti positivi dell'edificio, oltre alla risoluzione dell'attacco a terra, è fondamentale evidenziare il principio di sostenibilità con cui è stato ideato l'edificio con la tecnologia costruttiva a secco che conduce al tema della riciclabilità e al completo smontaggio degli elementi a fine vita dell'edificio.



Elaborazione digitale di un modello che mostra l'attacco a terra dell'edificio: grazie ai pilotis in calcestruzzo armato, l'umidità proveniente dal terreno è in grado di asciugare senza alcuna ricaduta sulla durabilità del manufatto ligneo

02

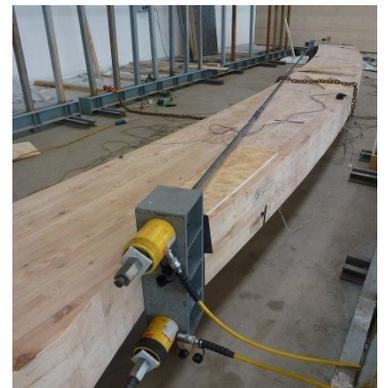
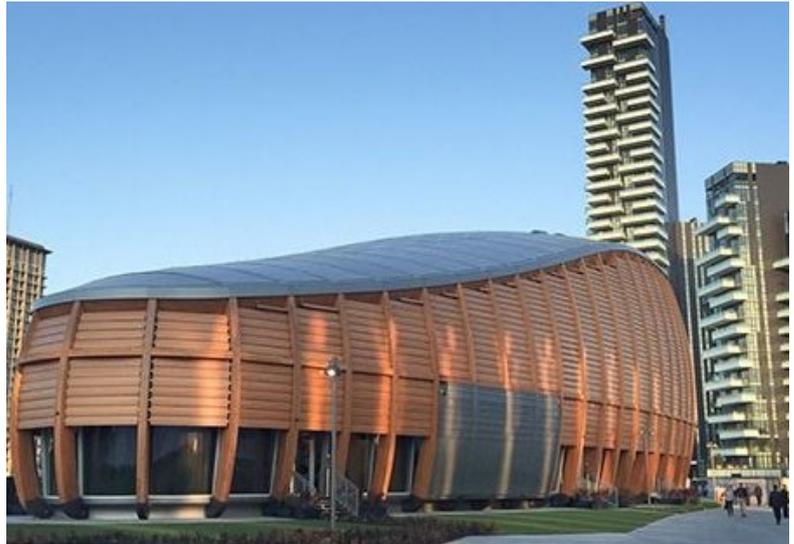
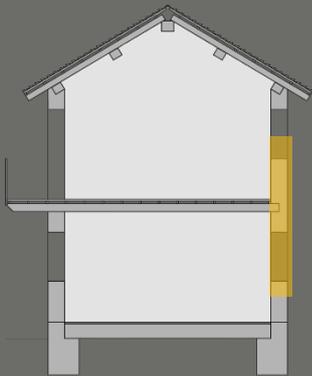


Durata anni manufatto
ante rilevazione
criticità: **4 ANNI**

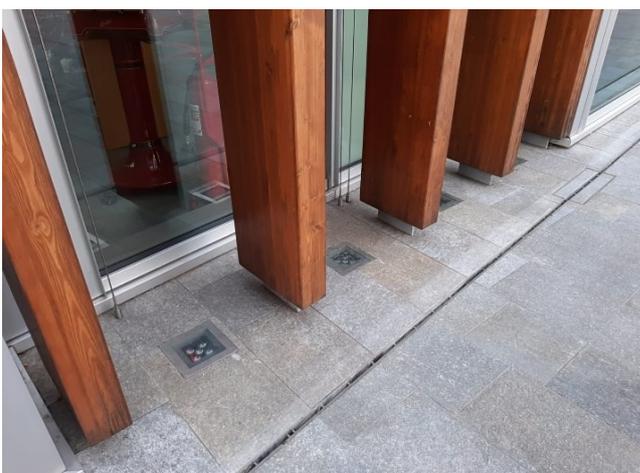
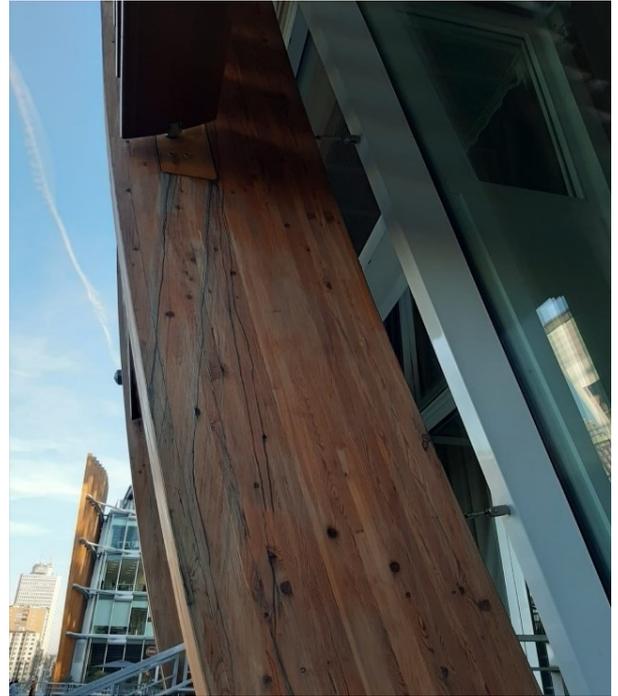
Destinazione d'uso:
COMMERCIALE

Piani fuori terra: **DUE**

Tipologia costruttiva:
**SISTEMA A TELAIO IN
LEGNO LAMELLARE DI
LARICE**



Unicredit Pavilion al momento dell'inaugurazione e immagini che mostrano la fase di preparazione degli elementi lignei prefabbricati pronti per il trasporto e fase di cantierizzazione e montaggio della struttura – fonte delle fotografie: www.unicreditpavilion.it



Elementi della struttura portante costituita da colonne, travi e pilastri in legno lamellare di larice levigato per una durabilità più elevata ma che comunque è stata intaccata a causa dell'esposizione agli agenti esterni – fotografie fornite dal professore Davide Maria Giachino

L'Unicredit Pavilion è un edificio situato a Milano ideato da Michele De Lucchi, che ha sviluppato insieme al suo studio un progetto originale di un edificio luminoso, mutevole a seconda delle esigenze, aperto sul parco e sulla città, la cui forma rimanda ad un seme impostando la sua conformazione su tre livelli senza prevedere alcun pilastro e contemplando l'integrazione tra la struttura e gli impianti: l'edificio è concepito come uno spazio di incontro polifunzionale con al piano terreno una sala adibita ad auditorium, al primo piano si colloca un asilo nido d'infanzia e una passerella dell'arte per le esposizioni, mentre, in copertura, si trova una sala lounge per eventi.

L'UniCredit Pavilion nasce per coniugare una profonda sensibilità verso la natura con l'utilizzo di tecnologie moderne e nuove che si traduce in una leggera struttura in larice realizzata da Woodbeton, una grande luminosità permessa dalle ampie superfici vetrate, con la flessibilità dei pannelli metallici in zintek, al fine di rispondere perfettamente alla normativa internazionale in materia di sostenibilità ambientale con l'ottenimento della certificazione di eccellenza Leed Gold per l'edificio.

La particolare geometria dell'edificio ha consentito di realizzare la struttura portante esterna con colonne, travi e pilastri in legno lamellare di larice che, in questo caso, è stato levigato per ragioni di estetica e di durabilità dell'involucro; per il sistema di copertura sono stati invece utilizzati pannelli di legno multistrato posizionati sopra l'estradosso delle travi curve.

Come anticipato, gli elementi strutturali sono stati rivestiti con pannelli di laminato suddivisi secondo moduli da 90 centimetri di larghezza in zinco e titanio zintek, una particolare lega prodotta dalla ditta Zintek di Porto Maghera, con la successiva integrazione di lucernari, pannelli fotovoltaici e griglie di ventilazione, scelta per la realizzazione delle coperture e del rivestimento esterno dei due portelloni dell'edificio lungo i lati lunghi del fabbricato, alti circa cinque metri e larghi dodici, che aprono lo spazio principale dell'auditorium al piano terra verso il parco e verso la Piazza Gae Aulenti, ribadendo così il principio di connessione dell'edificio con l'ambiente urbano circostante.

La realizzazione della struttura in legno lamellare dell'involucro esterno e della copertura è stata affidata alla ditta Wood Beton Spa: il progetto strutturale nel dettaglio si compone di

montanti verticali incernierati al piede di sezione 32×80-90 centimetri e una lunghezza di 10-20 metri con l'elemento della cerniera al piede che è un dettaglio molto importante del progetto sia in fase di progetto che in fase di produzione, mentre nei montanti verticali è stata inoltre predisposta una scanalatura per consentire l'inserimento di un sistema di frangisole automatizzati.

Prima di portare gli elementi in cantiere, in stabilimento sono state effettuate prove di carico realizzando un campione con lo stesso materiale e gli stessi dettagli di aggancio previsti per l'opera da realizzare e sono state eseguite due prove di collaudo su una trave curva costituita da due elementi in legno lamellare di abete GL28h connessi da un elemento metallico: durante le prove di carico, oltre al nodo al piede, è stato testato il nodo tra il montante e la trave, fondamentale per garantire il comportamento a telaio della struttura.

Per quanto riguarda il trasporto e la consegna in cantiere, data la lunghezza delle travi di copertura che arrivano ad un massimo di 32 metri, sono stati necessari trasporti eccezionali e consegne nelle ore notturne: per la realizzazione della struttura è stato poi necessario un **accurato piano di montaggio** che per ogni fase indicasse le tempistiche, il coordinamento con l'arrivo dei camion, i mezzi di sollevamento necessari, i mezzi e le attrezzature per eventuali lavori in quota.

Per quanto concerne la durabilità dell'opera si osserva una durabilità intaccata degli elementi di colonne, travi e pilastri esterni della struttura portante esposta direttamente agli agenti atmosferici con gli elementi lignei in lamellare di larice che tendono ad uno scollamento ed ad una delaminazione con fessurazioni longitudinali frequenti e diffuse sulla superficie che possono portare anche ad una riduzione considerevole della resistenza meccanica dell'elemento: l'origine del degrado risiede nell'inadeguatezza del trattamento superficiale degli elementi lignei esposti all'esterno a contatto con i fattori ambientali.

03

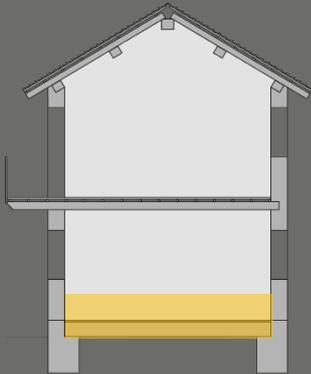


Durata anni manufatto
ante rilevazione
criticità: X ANNI

Destinazione d'uso:
RESIDENZIALE

Piani fuori terra: **DUE**

Tipologia costruttiva:
**SISTEMA A TELAIO IN
X-LAM**



Porzioni di partizione verticale esterna cappottata che ricopre la struttura dell'edificio in legno con tecnologia X-LAM attraverso le quali si osserva che eliminando la stratigrafia più esterna della parete dell'edificio che consiste nel cappotto dell'edificio, la struttura sottostante in legno risulta colpita da una marcescenza diffusa nel nodo dell'attacco a terra – fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'ingegner Franco Piva di Ergodomus



Struttura in legno colpita da marcescenza diffusa nel nodo dell'attacco a terra, degrado causato dall'umidità, che si è poi esteso in altezza lungo le pareti dell'edificio compromettendo la stabilità del manufatto – fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'ingegner Franco Piva di Ergodomus



La marcescenza delle strutture deve essere misurata e valutata approfonditamente per comprendere al meglio la strategia e la soluzione di intervento sulla struttura degradata: in questo caso la guaina bituminosa alla base della parete non ha permesso alla parete di respirare sufficientemente con lo sviluppo del fenomeno della marcescenza.

Fasi dell'analisi del degrado presente sul legname e parziale liberazione del materiale ligneo dalla cappottatura esterna per il successivo intervento consolidativo strutturale – fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'ingegner Franco Piva di Ergodomus



Alcune fasi di intervento consolidativo sulla struttura degradata con l'eliminazione della porzione di legno colpita da marcescenza e sostituzione della porzione ammalorata con inserimento di elementi di sostegno alla struttura esistente – fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'ingegner Franco Piva di Ergodomus



Il progetto errato del passaggio degli impianti peggiora la durabilità già compromessa della struttura, inoltre l'umidità causa l'ossidazione degli elementi metallici che subiscono una inefficienza funzionale – fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'ingegner Franco Piva di Ergodomus

Gli edifici che andremo ad analizzare, a differenza di quelli precedenti, hanno una destinazione d'uso residenziale e si trovano in complessi di più unità abitative che si compongono di due piani fuori terra ciascuna con una tipologia costruttiva in X-LAM.

La problematica alla base di questa analisi si basa sulla **errata progettazione del sistema di attacco della parete alla fondazione**.

Anche l'**attacco impiantistico** come elemento di collegamento tra interno ed esterno non è stato esaustivamente tenuto in considerazione durante la **fase di progetto**.

Le problematiche che si osservano risultano inoltre essere causate per **infiltrazione dell'acqua** con il raggiungimento da parte dell'umidità alla base della parete in legno, oltre che per **risalita capillare dell'acqua dal terreno** poiché la **guaina adesiva** non lascia libero il legno di essere areato soffocando il materiale: la guaina risvoltata ad U crea un vero e proprio **effetto bicchiere** alla base della parete: al suo interno l'acqua è destinata a **ristagnare per lungo tempo** poiché non ha la possibilità di evaporare.

Le giunzioni, risolte tramite l'inserimento di accessori metallici, con la presenza d'acqua rilevata in precedenza che bagna la carpenteria, sono soggette al fenomeno dell'**ossidazione degli elementi metallici** con la conseguente formazione di ruggine che con il tempo possono perdere completamente la loro capacità meccanica.

Il degrado, consistente in una marcescenza diffusa sulla struttura lignea partita dalla base dell'edificio lungo l'attacco tra fondazione e parete a causa dell'umidità, è stato ampiamente valutato e si è deciso di intervenire tramite l'eliminazione della porzione di struttura ammalorata, in seguito alla rimozione dello stato più esterno del cappotto, sostituendola e consolidando la struttura lignea ancora efficiente dal punto di vista strutturale e quindi ancora in grado di svolgere la propria funzione.

04

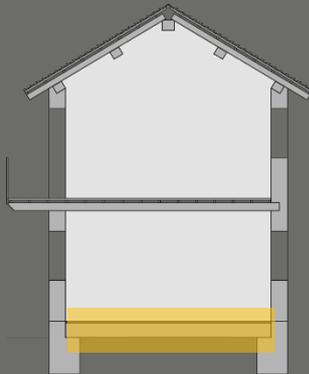


Durata anni manufatto
ante rilevazione
criticità: **6 ANNI**

Destinazione d'uso:
RESIDENZIALE

Piani fuori terra: **DUE**

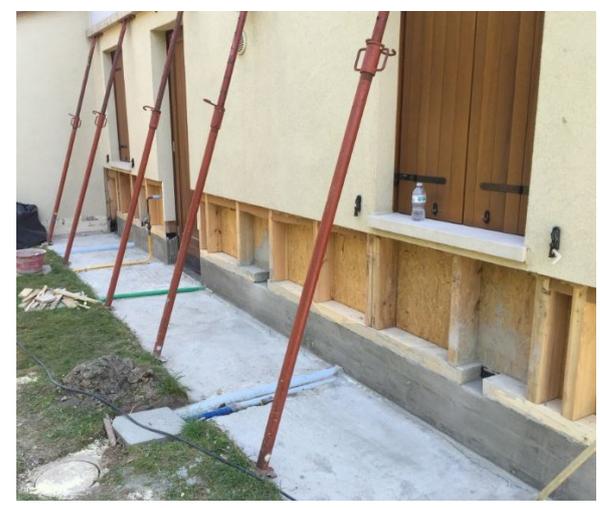
Tipologia costruttiva:
**SISTEMA A TELAIO IN
X-LAM**



Edificio residenziale con struttura in X-LAM colpita da degrado a causa dell'umidità proveniente da acqua piovana e di risalita dal terreno – fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'ingegner Alessandro Zerbetto di Legno Smart srl



Il legno della struttura portante in legno a causa dell'umidità subisce uno sgretolamento e diminuzione della consistenza con ricadute sulla cappottatura esterna posta al di sopra degli elementi lignei – fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'ingegner Alessandro Zerbetto di Legno Smart srl



Intervento di risanamento e consolidamento della base dell'edificio ligneo tramite l'eliminazione della porzione ammalorata e sostituzione con inserimento di cordolino in calcestruzzo – fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'ingegner Alessandro Zerbetto di Legno Smart srl

L'esempio mostra il risanamento di un edificio con destinazione d'uso residenziale in struttura lignea a telaio portata a termine nel 2009 e sul quale c'è stata la necessità di intervento nel 2015.

Come si osserva dalle immagini la struttura lignea delle pareti perimetrali esterne mostra un'inefficienza strutturale che sta dando origine ad un collasso a causa della disgregazione del materiale ligneo e sgretolamento delle travi in legno portanti, con segni evidenti anche sul rivestimento a cappotto esterno in procinto di subire il distacco rispetto alla struttura lignea sottostante e rigonfio in alcune zone.

La problematica principale in questo caso è stato l'affossamento della parete strutturalmente portante in legno sotto il livello del marciapiede in calcestruzzo, senza adottare alcuna protezione tramite teli o guaine bituminose nei confronti del materiale ligneo: il risultato è stato una copiosa **infiltrazione da parte dell'umidità di risalita dal terreno**, oltre quella proveniente dai marciapiedi in calcestruzzo.

Questa soluzione progettuale ha portato ad una compromissione del legno delle pareti da parte dell'umidità partendo dalla base dove si trova l'attacco a terra della parete fino ad una altezza rispetto al marciapiede di circa 30-50 centimetri con una conseguente **marcescenza e inefficienza strutturale**, addirittura avendo difficoltà nella apertura e chiusura degli infissi verso l'esterno.

Per la risoluzione del problema, si è optato per il taglio di tutta la superficie in legno esterna degradata, la sostituzione del legno ammalorato e dell'isolante, con la successiva realizzazione di un **cordolo in betoncino antiritiro ancorato alla platea di fondazione per portare il legno delle strutture ad altezze non raggiungibili da acqua piovana ed umidità di risalita**: il cordolo è stato protetto ed isolato con guaine sia liquide sia fiammate per impermeabilizzarlo ed impedire all'umidità e all'acqua di penetrare all'interno dell'abitazione e creare successivi ulteriori danni. Infine sono stati rifiniti completamente i cappotti e le rasature esterne, sistemati i serramenti e impermeabilizzati i davanzali che lasciavano entrare l'acqua piovana che si accumulava agli angoli, sistemate le soglie e rifatti completamente i marciapiedi esterni per una rimessa in efficienza della struttura portante lignea e per puntare ad una durabilità dell'edificio assai più elevata rispetto alla soluzione progettuale precedente.

05

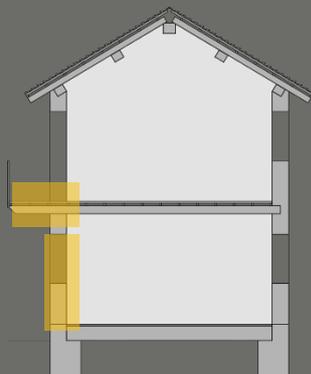


Durata anni manufatto
ante rilevazione
criticità: **5 ANNI**

Destinazione d'uso:
RESIDENZIALE

Piani fuori terra: **DUE**

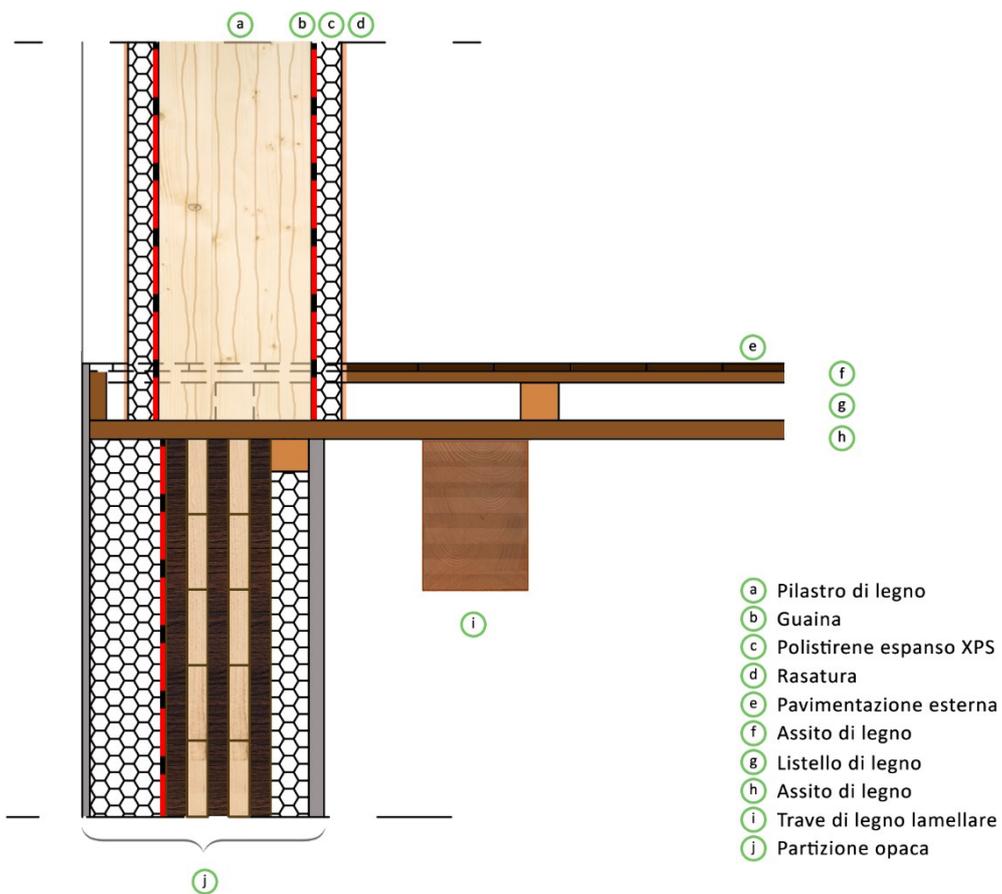
Tipologia costruttiva:
**SISTEMA A TELAIO IN
X-LAM**



Edificio con una struttura completamente degradata in seguito all'eliminazione del rivestimento a cappotto dell'edificio che nascondeva una situazione di durabilità compromessa già ad uno stato piuttosto avanzato – fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'architetto Giampiero Cavallo



Particolare del pilastro appoggiato direttamente con la base al piano orizzontale del terrazzo, situazione ante intervento che ha scaturito l'insorgenza di problematiche legate alla durabilità – fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'architetto Giampiero Cavallo ed elaborazione degli autori



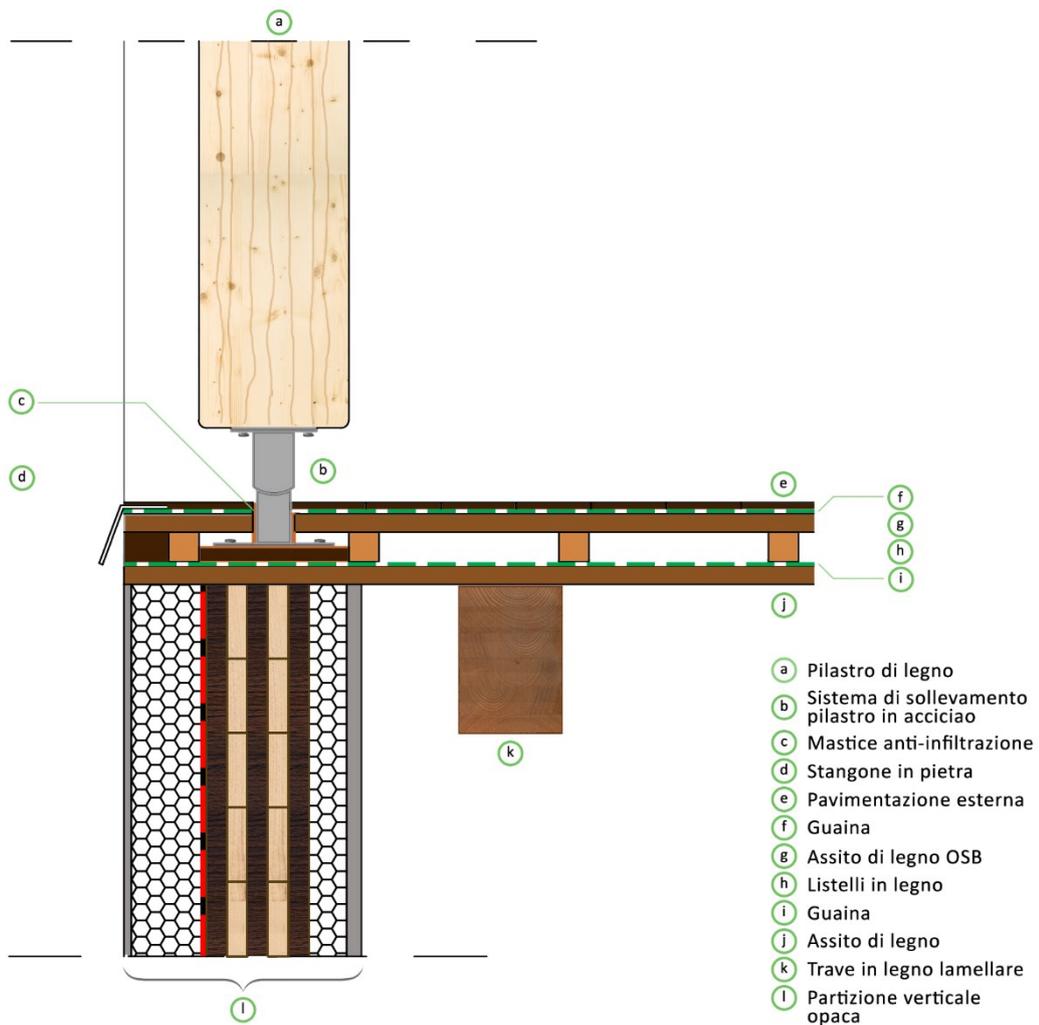
Dettaglio stratigrafico del nodo problematico di attacco tra il piano del terrazzo, la parete sottostante e il pilastro ligneo che ha compromesso la durabilità del manufatto edilizio comportando un'estensione del degrado e della marcescenza su una ampia zona dell'edificio – elaborazione degli autori



Particolari che mostrano le fasi di intervento alla base dell'elemento di pilastro colpito da degrado: la zona colpita da umidità e marcescenza è stata eliminata con la sostituzione della porzione di legno ammalorata mediante inserimento di un pistone metallico che non mette a contatto diretto il legno con il piano del terrazzo, in modo tale che eventuali ristagni e accumuli di acqua rigenerino fenomeni di marcescenza del legno – fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'architetto Giampiero Cavallo



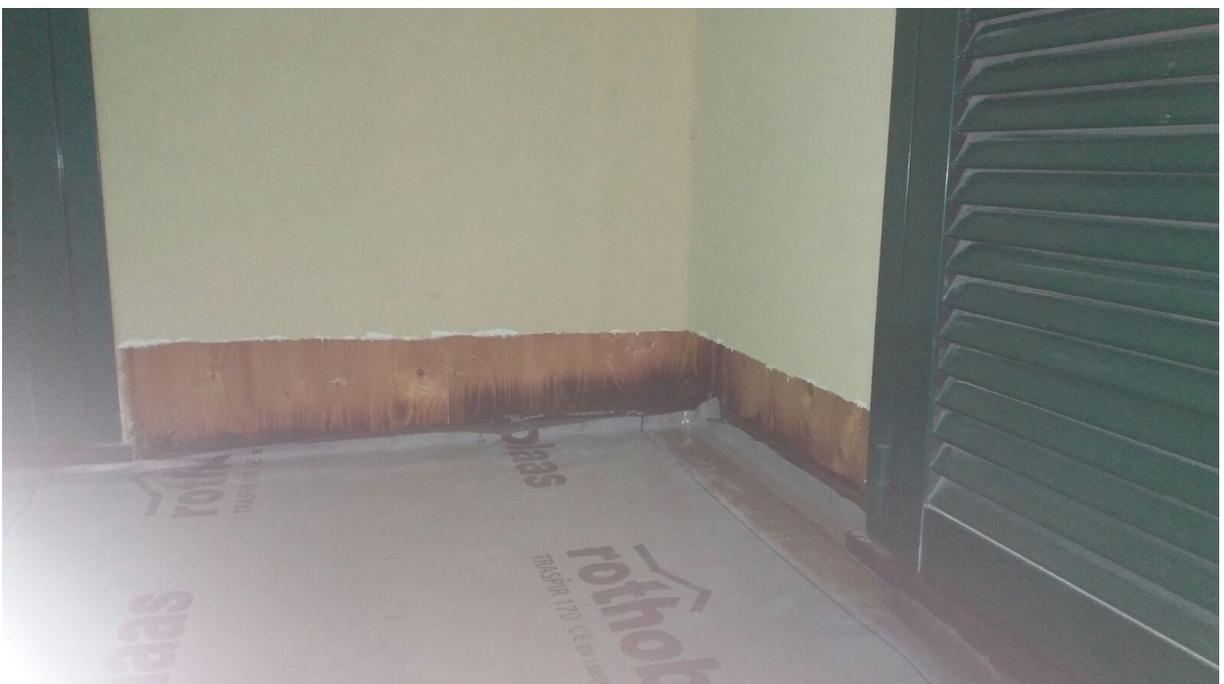
Particolari che mostrano la risoluzione del problema del pilastro poggiante sul piano del terrazzo tramite inserimento di pistone metallico – fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'architetto Giampiero Cavallo



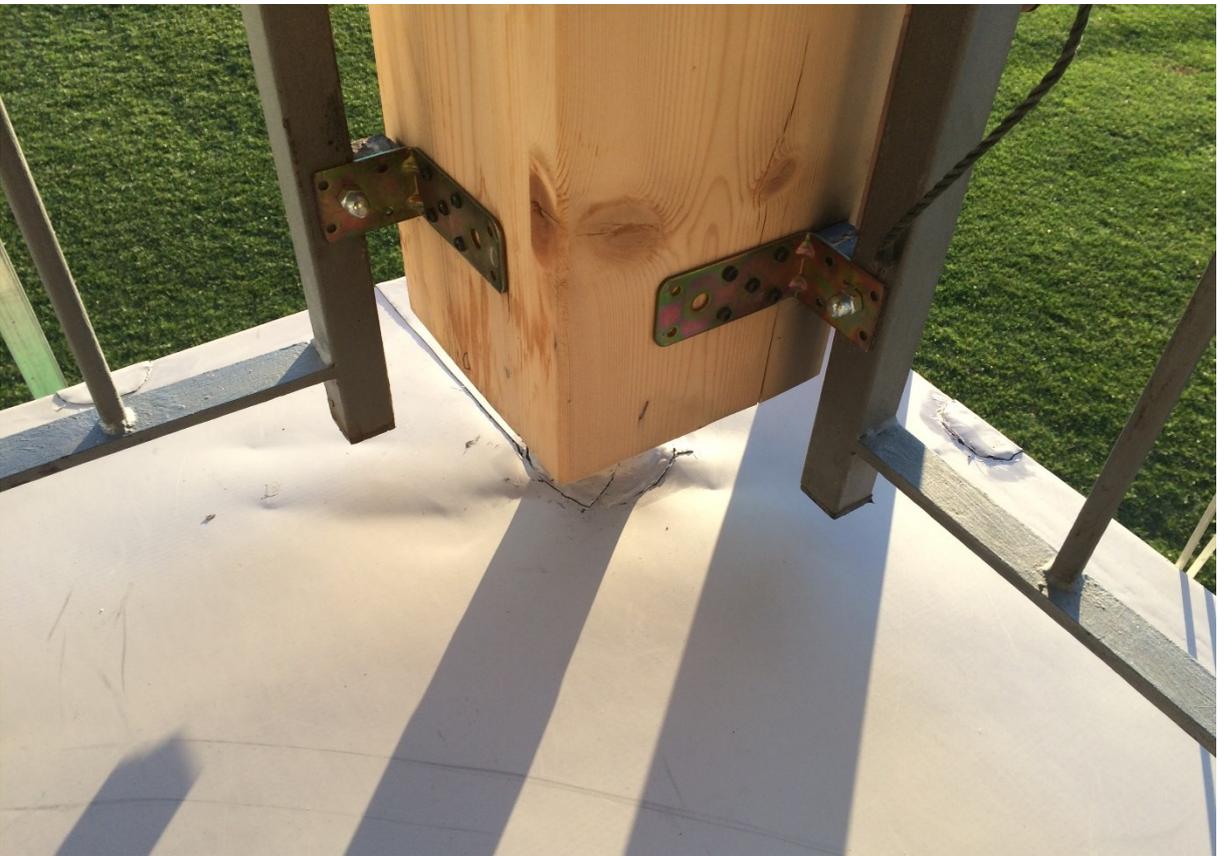
Dettaglio stratigrafico della risoluzione del nodo di attacco tra il piano del terrazzo, la parete sottostante e il pilastro ligneo con l'inserimento di pistone metallico per mantenere sollevata la base del pilastro dal piano del terrazzo – elaborazione degli autori

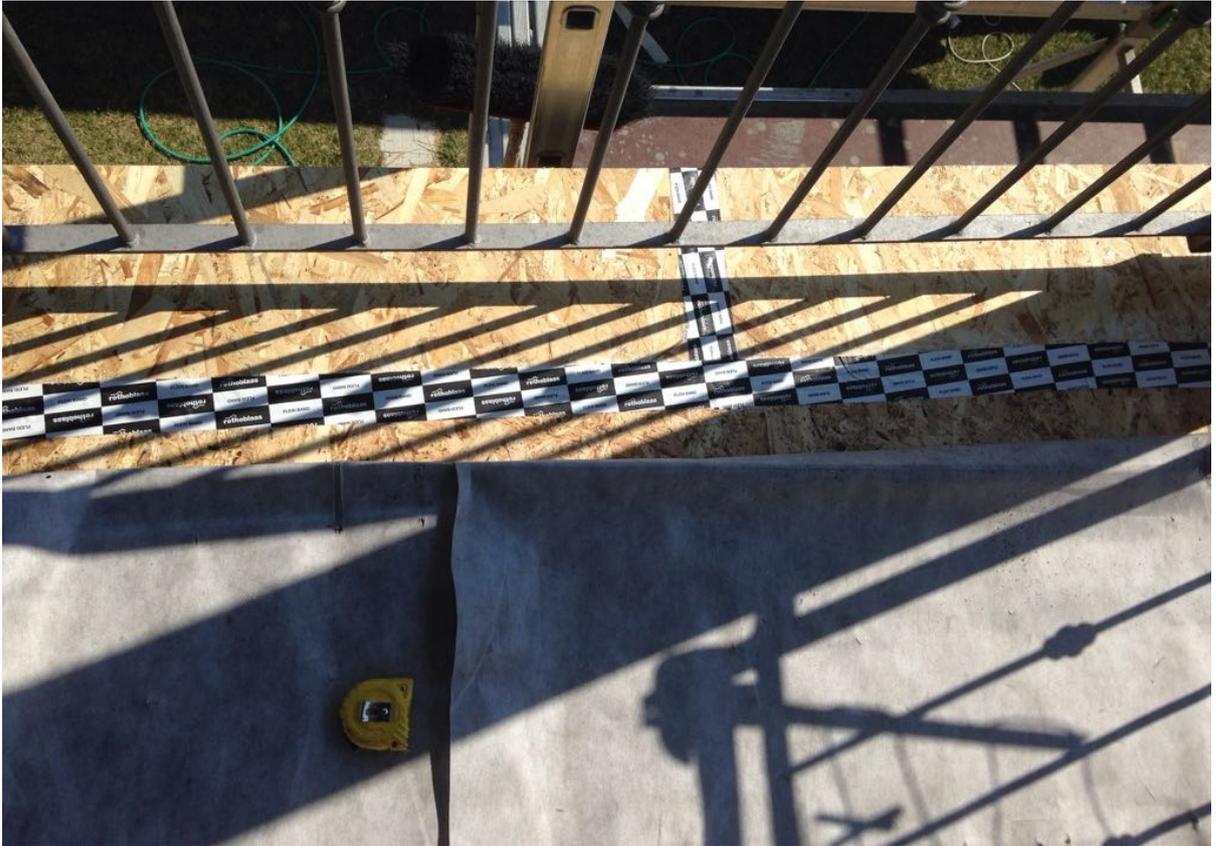


Particolari delle fasi di intervento sul nodo della base del pilastro con la risoluzione del problema dell'attacco tra il pilastro e il piano del terrazzo tramite l'inserimento di una connessione metallica protetta dall'umidità che potrebbe crearsi alla base del pilastro di legno – fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'architetto Giampiero Cavallo



Attacco delle pareti verso l'esterno visibili dal terrazzo dell'edificio che mostrano un fenomeno di umidità diffusa con conseguente colorazione anomala del legno e successiva inefficienza strutturale per possibile sviluppo di marcescenza e attacco da parte di funghi e insetti a causa delle condizioni favorevoli per il loro proliferarsi a causa della presenza di umidità - fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'architetto Giampiero Cavallo

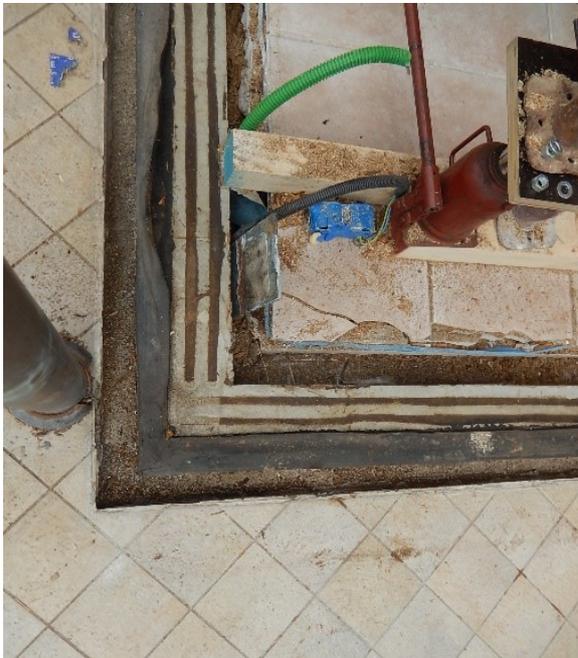




Particolari delle fasi di intervento conseguente allo sviluppo del degrado con eliminazione del rivestimento a cappotto esterno dalle pareti dell'edificio e rifacimento del terrazzo posto al primo piano dell'edificio sul quale poggia il pilastro oggetto di consolidamento alla base - fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'architetto Giampiero Cavallo



Particolari delle fasi di intervento conseguente allo sviluppo del degrado con eliminazione del rivestimento a cappotto esterno e rifacimento del terrazzo posto al primo piano con attenzione posta alla congiunzione tra la zona oggetto di risanamento e la porzione di edificio che non necessitava di intervento - fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'architetto Giampiero Cavallo



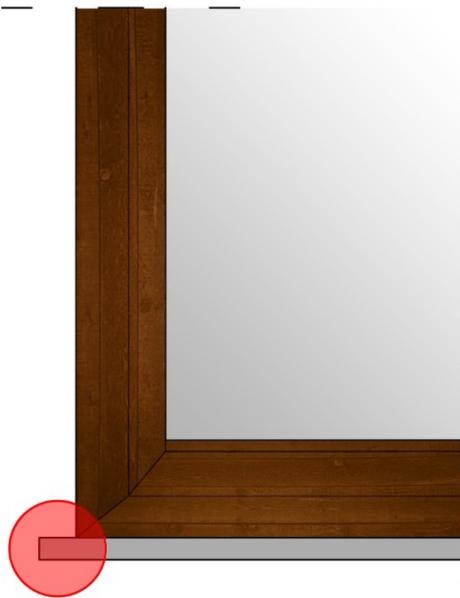
Particolari che mostrano l'effetto della marcescenza dovuto all'umidità sulla parete verticale del piano terreno dell'edificio: la marcescenza ha portato allo sviluppo di insetti i quali anno trovato il loro habitat ideale nel legno umido. Durante l'intervento di consolidamento della struttura lignea si è intervenuti anche per il rifacimento della guaina bituminosa tra il cordolino in CLS e la parete in X-LAM - fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'architetto Giampiero Cavallo



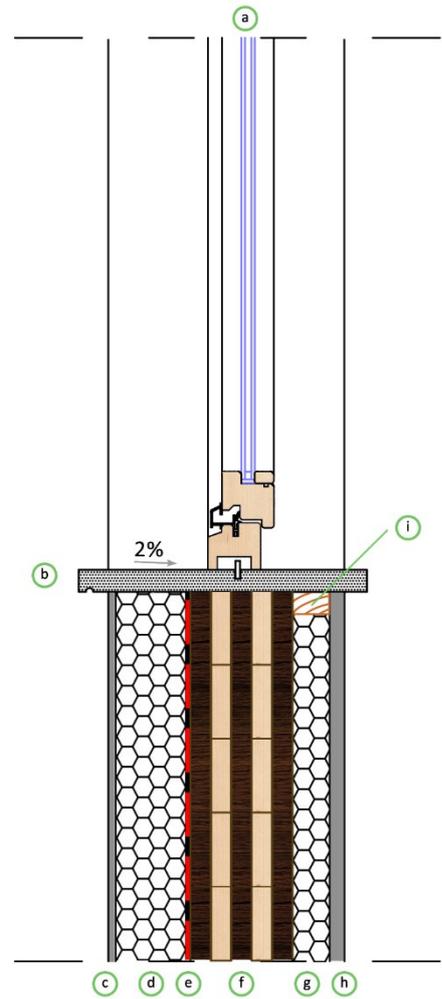
Posizionamento, in seguito alla sostituzione della parete la cui durabilità era stata intaccata, del serramento messo in opera correttamente: si osserva alla base della parete la guaina risvoltata e nella zona superiore l'impermeabilizzazione del terrazzo al primo piano - fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'architetto Giampiero Cavallo



Particolari dei serramenti posti in opera correttamente, a differenza del serramento posizionato originariamente -- fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'architetto Giampiero Cavallo



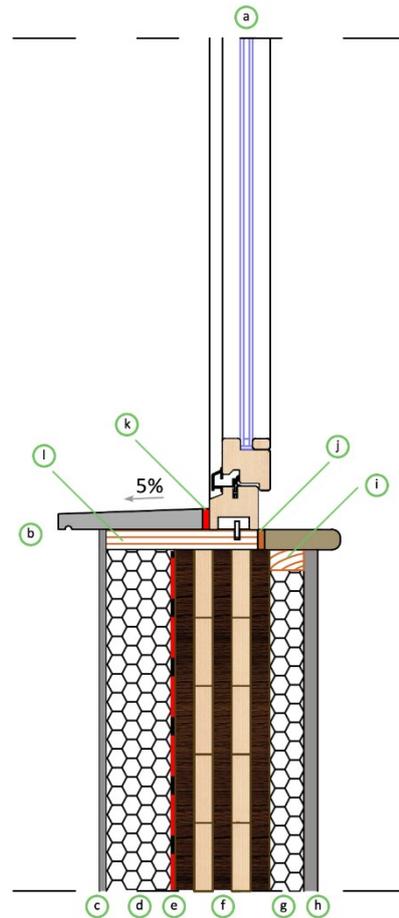
- (a) Infisso di legno
- (b) Davanzale in pietra passante
- (c) Intonaco esterno
- (d) Isolante termico
- (e) Barriera al vapore
- (f) Struttura verticale in XLAM
- (g) Isolante termico
- (h) Cartongesso
- (i) Listello di legno



Dettaglio del serramento esterno in legno nella fase di ante intervento di consolidamento in cui si osserva l'errata posa in opera del davanzale in pietra passante e con inclinazione del davanzale stesso verso l'interno con maggiore probabilità di un accumulo di acqua – elaborazione degli autori



- a Infitto di legno
- b Davanzale in pietra con rompigoocia
- c Intonaco esterno
- d Isolante termico
- e Barriera al vapore
- f Struttura verticale in XLAM
- g Isolante termico
- h Cartongesso
- i Listello di legno
- j Feltro alta densità
- k Guaina impermeabilizzante
- l Dormiente in legno



Dettaglio del serramento esterno in legno nella fase di post intervento di consolidamento con la corretta posa in opera del davanzale in pietra non passante e provvisto di rompi goccia con una inclinazione del davanzale verso l'esterno al fine di favorire il defluire dell'acqua, indicazione del posizionamento dell'elemento impermeabilizzante – elaborazione degli autori.

Osserviamo un altro esempio di edificio residenziale a due piani di altezza fuori terra, costruito nel 2008 e che è stato oggetto di intervento nel 2013: anche in questo caso si tratta di un edificio pluripiano con la struttura in X-LAM (pannello composto da 5 strati) e rivestimento a cappotto di uno spessore di dieci centimetri.

Passeremo ad analizzare le problematiche al momento della necessità dell'intervento e ad osservare come sono state risolte dal progettista che ha illustrato l'intervento in maniera dettagliata.

Le problematiche rilevate sono molteplici e dislocate in più punti dell'edificio:

- **Pilastro del balcone**

La base del pilastro del balcone del primo piano risulta essere degradato a causa **dell'errata progettazione e posa dell'elemento** in appoggio con una conseguente **marcescenza e attacco xilofago**. La soluzione è stata l'inserimento di un elemento a pistone metallico in seguito all'eliminazione della porzione di pilastro degradato.

- **Pacchetto della parete con tecnologia in X-LAM**

Le condizioni del pilastro hanno condotto ad un degrado delle pareti del piano sottostante con una **marcescenza diffusa e conseguente sviluppo di un attacco xilofago**, a causa della **presenza di umidità** condotta dal pilastro del piano primo alla struttura del piano sottostante.

Il rivestimento a cappotto risultava messo in opera correttamente ma il problema è stato causato dalla struttura sottostante in X-LAM che ha risentito dell'umidità proveniente dal piano superiore esposto e del **ristagno di acqua a causa della scorretta progettazione del nodo della base del pilastro**: la struttura in X-LAM composta da cinque strati in molte zone risultava essere composta solamente più da due strati che componevano il pannello.

L'umidità ha causato poi la completa inefficienza degli elementi di aggancio e delle graffe a sostegno del cappotto.

La soluzione è stata la sostituzione delle pareti con l'inserimento di nuove pareti in X-LAM con nastratura interna per la tenuta all'aria e l'inserimento di una contro-parete per gli impianti protetti da nastro butilico.

L'intervento è stato possibile previo inserimento di un puntellamento per il sostegno della copertura (balcone piano primo), mettendo in evidenza l'importanza della **programmazione del cantiere**.

- **Davanzale**

Il degrado delle pareti è stato causato inoltre dalla **errata progettazione e posa del davanzale**, il quale è stato inserito all'interno del pacchetto tecnologico della parete senza alcuna guaina o senza elementi a protezione del legno, ma mettendo a diretto contatto il davanzale sagomando direttamente il pannello

della parete in X-LAM. Oltre questo errore, era stata data una pendenza all'elemento di davanzale verso l'interno con conseguente possibilità di raccolta e accumulo e ristagno di acqua.

- **Balcone**

L'intervento sul balcone ha optato per la scelta di applicazione di un telo risvoltato saldato tramite una barra metallica sopra un feltro per regolarizzare il piano di appoggio del telo.

La stratigrafia quindi risulta essere, dal basso verso l'alto, costituita da pannello in OSB, un telo impermeabilizzante, il feltro e il telo risvoltato.

- **Gronda autorimessa inclinata verso il cappotto**

Un altro elemento causa di degrado della parete in X-LAM è stato l'elemento di gronda dell'autorimessa annessa all'edificio principale che punta inclinata verso la parete oggetto di recupero, peggiorando la situazione già piuttosto compromessa della struttura.

- **Attacco a terra**

È stato necessario il rifacimento della barriera guainata del cordolo, seppur non fosse la zona maggiormente degradata, siccome l'innescò del degrado ha originato dal balcone del piano superiore e non dall'umidità proveniente dal terreno.

- **Intervento su nodo di attacco tra balcone e primo piano dell'edificio**

Mediante uso di guaine impermeabili, si è creata una protezione da eventuali infiltrazioni d'acqua dalla pavimentazione esterna del terrazzo e, grazie a listelli di pendenza, si è favorito il suo deflusso verso l'esterno con una particolare attenzione posta al punto di collegamento tra la zona con necessità di consolidamento e quella ritenuta ancora strutturalmente funzionale.

In questo caso di edificio la causa di degrado è da ricercare principalmente negli errori progettuali e di posa commessi durante l'esecuzione, probabilmente ancora non pienamente a conoscenza della reazione del legno rispetto ad una determinata applicazione da parte delle figure preposte alla progettazione, posa e controllo, azione che si è condotta dietro una serie di problematiche concatenate al problema di base della errata concezione della struttura lignea.

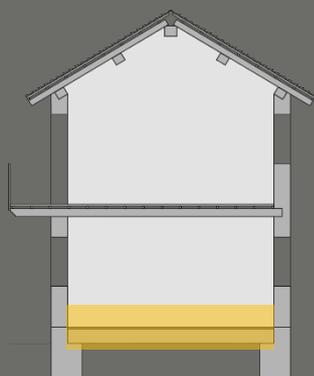
06

Durata anni manufatto
ante rilevazione
criticità: **X ANNI**

Destinazione d'uso:
RESIDENZIALE

Piani fuori terra: **XXX**

Tipologia costruttiva:
**SISTEMA A TELAIO IN
X-LAM**



Particolari dell'attacco a terra della parete che mostrano l'umidità causa di degrado della parete in X-LAM: eliminando lo stato più esterno del rivestimento della parete e la guaina bituminosa impermeabile il legno della parete risulta completamente marcio con la necessità di un risanamento della parete attraverso l'eliminazione della zona colpita da marcescenza - fotografie fornite dalla ditta Soltech incaricata dei lavori



Particolari dell'attacco a terra in seguito all'eliminazione della porzione di parete degradata per il successivo inserimento del cordolo ventilato metallico alla base della parete in X-LAM tra il cordolo in CLS e il legno - fotografie fornite dalla ditta Soltech incaricata dei lavori

Come illustrato in più punti della trattazione, è ormai noto come il legno sia sensibile all'umidità e come tenda a raggiungere l'equilibrio igrometrico rispetto all'ambiente in cui è collocato; ciò implica che, in caso di contatto con l'umidità, causata da pioggia, condensa o umidità di risalita dal terreno, il legno si ritrovi ad assorbire l'acqua.

Considerate e analizzate le problematiche di deterioramento e durabilità delle strutture in legno, ed in particolare dei sistemi di collegamento alla fondazione, **la soluzione del problema dell'umidità diventa fondamentale da risolvere**, essa è stata proposta dalla ditta Soltech srl e dal progettista professor Franco Laner.

Il caso preso in esame considera proprio una **problematica legata all'umidità** con conseguente **marcescenza della parete in legno a partire dall'attacco a terra**.

L'intervento ha concentrato l'attenzione proprio sull'attacco della parete lignea a terra, con la scelta della **eliminazione della porzione di legno della parete ammalorata** con **l'inserimento di un elemento metallico**: in generale la ferramenta per il legno negli ultimi anni, grazie alla possibilità di montaggio a secco, ha registrato un forte incremento della domanda grazie alla maggiore consapevolezza circa l'importanza del concetto di eco-sostenibilità, oltre alle caratteristiche di ridotta degradabilità del materiale.

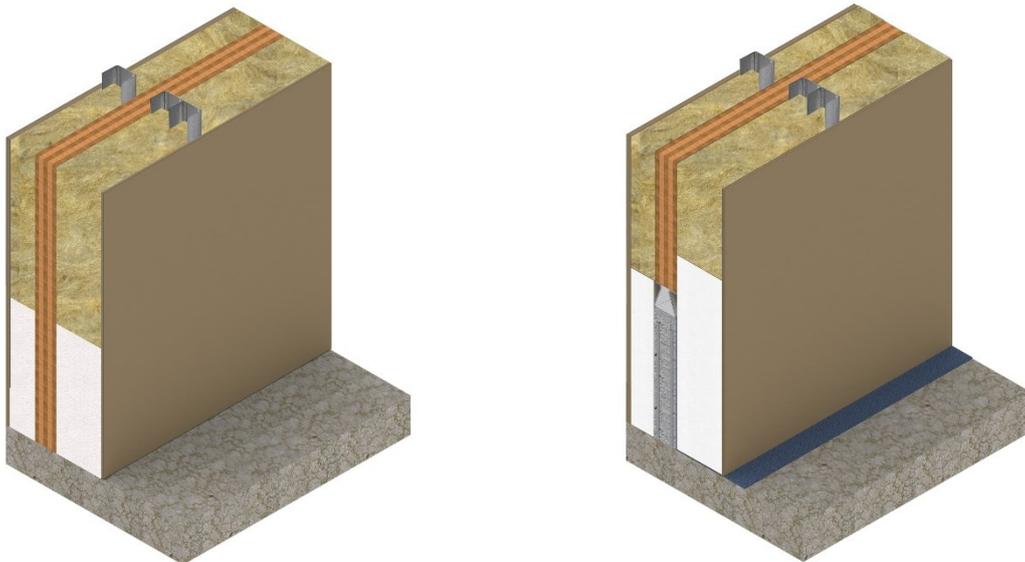
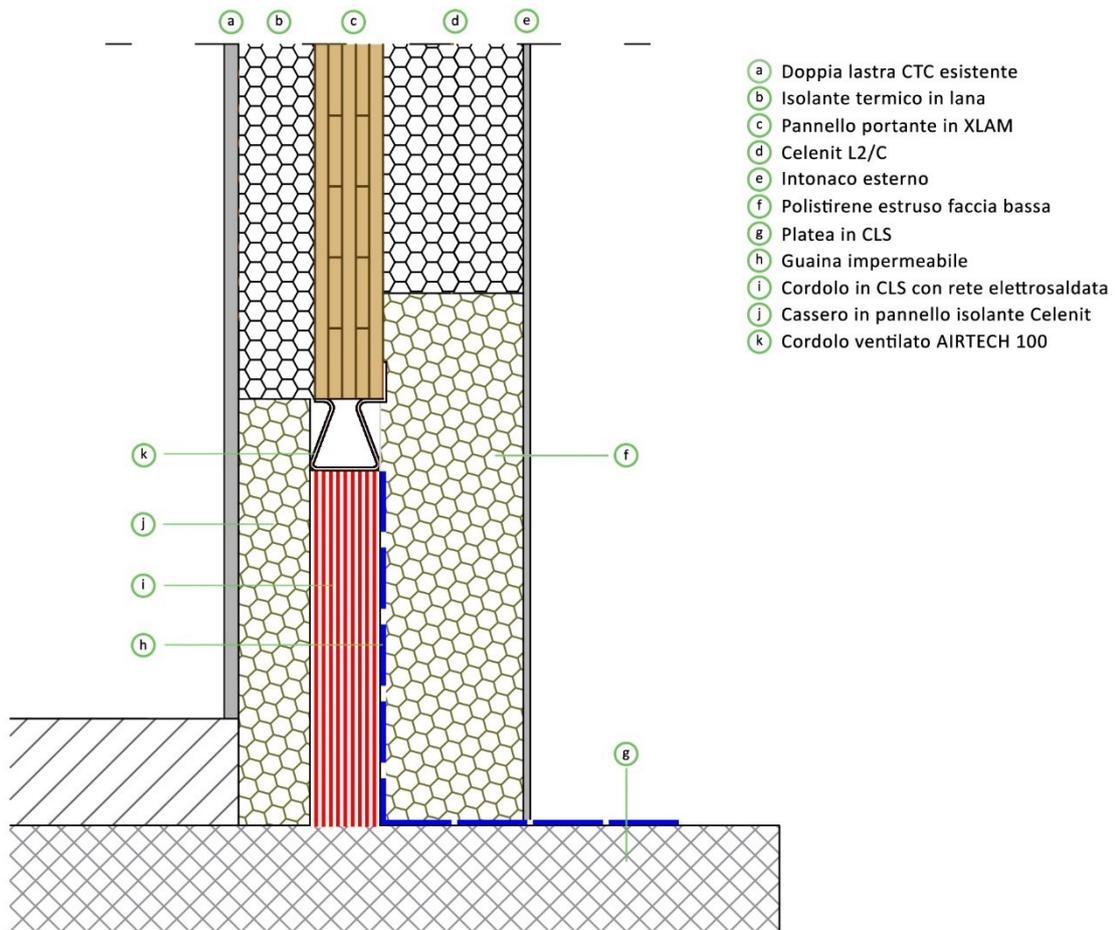
La proposta della ditta Soltech srl per l'intervento preso in considerazione è un **sistema di cordolo ventilato**, infatti lo sviluppo di un sistema di ventilazione alla base delle pareti di legno consente il mantenimento di condizioni ambientali asciutte per evitare l'insorgere di fenomeni di marcescenza, problematica che ha portato ad intervenire tempestivamente sulla struttura.

Il sistema del cordolo ventilato, una volta che termina il fenomeno di contatto diretto tra l'acqua e l'elemento ligneo, permette il **defluire dell'acqua** permettendo alla base della parete di asciugare **evitando il fenomeno del ristagno o dell'assorbimento dell'acqua da parte del legno**. Si tratta quindi di un elemento di collegamento alla fondazione per pareti in legno con ottime capacità statiche tramite un montaggio rapido e di semplice applicazione nella messa in opera, in un materiale difficilmente degradabile infatti l'acciaio Cor-Ten (CORrosion resistance and TENsile strenght) è in grado di garantire le caratteristiche di durata e resistenza in maniera eccellente, con la successiva esecuzione di un trattamento di zincatura elettrolitica.

Analizzando meglio la soluzione di intervento messo in pratica dalla Soltech è per l'appunto un **cordolo ventilato continuo sul quale ancorare le pareti in legno della struttura per collegarla alla fondazione** grazie ad un sistema di fissaggio rapido e tramite un l'elemento metallico pensato per prevenire lo sviluppo dei funghi e il deterioramento della struttura in legno e favorendo la corretta conservazione del legno: l'elemento metallico del cordolo ventilato si ancora alla platea mediante la presenza di un foro posto alla base dell'elemento metallico, mentre la zona soprastante la base che si ancora alla platea è costituita da un'intercapedine per il passaggio dell'aria. L'ulteriore presenza di alette permette l'appoggio e la sospensione della parete in legno e il fissaggio della parete lateralmente con funzione di angolare inferiore al fine di contrastare le forze di taglio. Infine si può optare anche per l'integrazione rispetto al sistema in sé di angolari con funzione di hold-down costituiti da piastre per il collegamento della parete alla fondazione di diverse altezze a seconda della caratteristica di resistenza a trazione che si desidera raggiungere per fornire un'adeguata resistenza a trazione.

L'esempio preso in esame mostra come il legno abbia **necessità di respirare tramite una continua ventilazione**: uno sbaglio negli edifici in legno abbiamo notato come possa risultare nell'applicazione errata della guaina sotto la quale si può nascondere una marcescenza evidente dell'elemento ligneo perché l'umidità eventualmente presente non è in grado di essere smaltita. Le guaine utilizzate nei sistemi di costruzione tradizionali proteggono la parete da acqua e umidità che salgono dalle fondamenta o provengono dall'esterno, ma non possono impedire le infiltrazioni dalla parte superiore, ciò comporta che l'acqua ed in generale l'umidità che si potrebbe infiltrare da soglie e finestre, incontra le guaine che non ne permettono il corretto smaltimento con il ristagno dell'acqua con un conseguente aumento della concentrazione di umidità che provoca la marcescenza degli elementi lignei.

Le conseguenze dello sviluppo del citato fenomeno sono un accumulo di acqua all'interno delle pareti, la successiva marcescenza e perdita di resistenza strutturale delle pareti, il degrado della trave radice se presente, la mancata durabilità e stabilità della struttura, il danneggiamento degli elementi metallici di collegamento come angolari, viti e chiodi, la insalubrità degli ambienti, e elevati costi e disagi di intervento di restauro dell'elemento ligneo in particolare.



Soluzione dell'attacco a terra in un intervento di consolidamento di parete in X-LAM: il nodo tecnologico mostra un intervento di cuci-scuci con l'eliminazione della porzione di parete con struttura lignea ammalorata e inserimento di un cordolo in CLS con rete elettrosaldata su cui è stato posto un connettore metallico con la guaina che isola il cordolo in CLS non permettendo la risalita di umidità - elaborazione degli autori

Come si comprende dall'illustrazione del sistema della ditta Soltech, la particolare forma geometrica dell'elemento consente alle pareti in legno di rimanere distaccate dalla fondazione e allo stesso tempo di creare una camera di ventilazione: la camera di ventilazione garantisce al legno un contatto diretto e continuo con l'aria, consentendo alla parete di smaltire acqua o umidità assorbita in caso di infiltrazioni, lo scopo dell'installazione della soluzione Soltech è infatti quello di impedire il ristagno dell'acqua e favorire la ventilazione in modo da garantire la durata e la resistenza della parete, evitando la formazione di marcescenze.

Questo sistema consente anche di monitorare costantemente e le aree più sensibili della struttura permettendo infatti di ispezionare in profondità la camera di ventilazione grazie a dei punti di accesso speciali che sono costituiti dalle bocchette di ispezione poste lungo il cordolo ventilato: la dotazione di bocchette di ispezione permette l'inserimento di telecamere per il controllo remoto, sonde igroscopiche, collegamento di ventilatori o pompe di aspirazione per intervenire in caso di infiltrazioni, presenza di umidità o depositi di acqua, permettendo così un intervento immediato sul principio di degrado, infatti **vedere il danno dall'esterno presuppone un deterioramento interno piuttosto importante quando spesso potrebbe essere già troppo tardi per intervenire con metodi non invasivi sulla struttura.**

Nel caso in esame, il degrado della marcescenza è causato a causa del posizionamento della guaina, la quale impedisce al legno di smaltire acqua o umidità, creando una vera e propria sacca impermeabile che contiene l'acqua a contatto con il legno; eventuali infiltrazioni incontrando la guaina taglia-muro e non sono riuscite ad essere smaltite e si osserva come la parete in legno abbia assorbito l'acqua nonostante la presenza della guaina anti-risalita, al fine di mantenere le proprie caratteristiche, il legno richiede quindi il **contatto diretto non con l'acqua ma con l'aria** che gli permette una maggiore durabilità.

Le caratteristiche di ventilazione del legno della parete sono garantite dalla forma del sistema stesso: come illustrato, l'acqua o l'umidità che proviene dalle fondazioni trova un interspazio in modo tale da non essere mai in contatto con il legno, e qualsiasi infiltrazione di acqua o particelle di umidità provenienti dalla parte superiore o inferiore del muro può essere drenata grazie alla particolare forma del cordolo aperto e grazie al contatto del legno con l'aria.

07

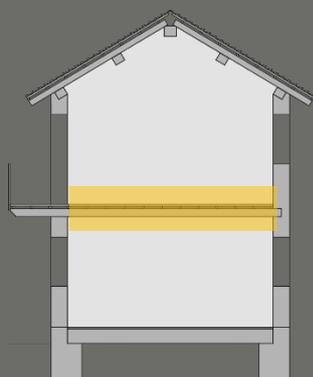


Durata anni manufatto
ante rilevazione
criticità: -

Destinazione d'uso:
RESIDENZIALE

Piani fuori terra: **SEI**

Tipologia costruttiva:
**SISTEMA A TELAIO IN
X-LAM CON PIANO
TERRA IN MATTONI**



Edificio residenziale con struttura in X-LAM e piano terreno in mattoni: fasi di cantiere nelle quali si osserva l'assemblaggio degli elementi lignei e l'organizzazione del cantiere - fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'ingegnere Tania Pesando della ditta Proklima

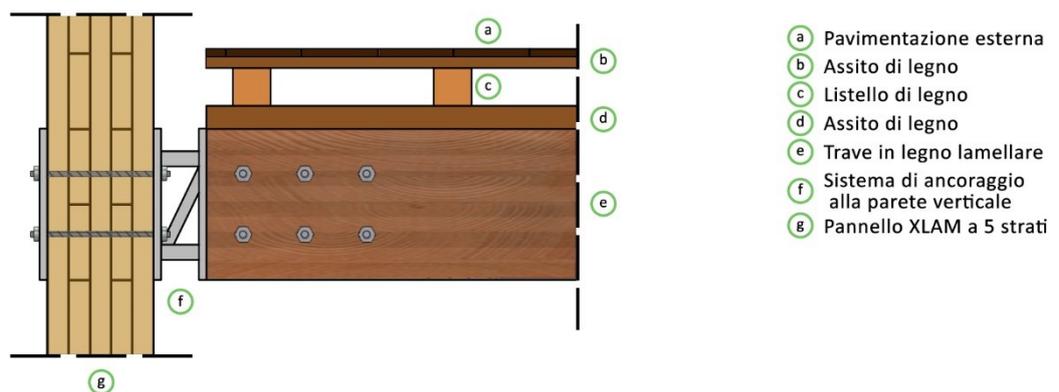


Fase di cantierizzazione nelle quali si osserva l'assemblaggio degli elementi lignei e l'organizzazione del cantiere - fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'ingegnere Tania Pesando della ditta Proklima





Soluzione di attacco del balcone connesso alla parete in X-LAM tramite la connessione del falso puntone – fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'ingegnere Tania Pesando della ditta Proklima



Soluzione di attacco e stratigrafia del balcone: il nodo tecnologico mostra l'elemento del balcone connesso alla parete in X-LAM tramite la connessione del falso puntone. Non è rappresentato la stratigrafia del coating interno ed esterno costituito da guaina impermeabile ed isolante per mettere in evidenza l'elemento del falso puntone metallico che sostiene l'elemento del terrazzo esterno. Questa soluzione è una tipologia di connessione funzionale e durevole che crea da una parte una discontinuità dell'elemento strutturale ligneo orizzontale, ma dall'altra è una vera e propria connessione che permette di creare e mantenere quindi una continuità dell'elemento ligneo verticale e perciò anche del materiale isolante – elaborazione degli autori



Fase di cantiere durante la quale avrebbero potuto esserci potenziali problemi legati alla durabilità, se non ci si fosse accorti della errata messa in opera degli elementi - fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'ingegnere Tania Pesando della ditta Proklima





Fase di cantiere durante la quale umidità causata da abbondanti piogge sono entrate all'interno della struttura in fase di costruzione, successivamente per limitare i danni sono stati utilizzati teli per la protezione del cantiere - fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'ingegnere Tania Pesando della ditta Proklima

L'edificio che si andrà ad analizzare è una struttura multipiano con destinazione d'uso residenziale che si compone di sei piani di altezza fuori terra con sistema costruttivo a telaio in X-LAM.

Le problematiche che emergono in questo edificio residenziale multipiano sono nate dagli **errori commessi in fase di messa in opera e di cantierizzazione dell'edificio**.

La ditta incaricata della fase di costruzione, durante gli interventi edili, come si osserva, ha **inguainato la base del pilastro in legno** oltre la superficie superiore del solaio del balcone, che poi successivamente, in fase di cantiere, è stata fatta rimuovere altrimenti il legname della base del pilastro sarebbe già stato compromesso fin dalle prime fasi della costruzione dell'edificio multipiano preso in considerazione. La soluzione definitiva ha optato successivamente e in via definitiva per il rivestimento del pilastro tramite lastre per uso esterno tenute staccate dal legno da montanti in alluminio in modo tale da lasciare libero di respirare il legno, senza soffocarlo con materiale sintetico non traspirante, con la creazione di una camera d'aria ventilata grazie agli elementi metallici.

A differenza di punti in cui la guaina bituminosa impermeabile risulta ricoprire eccessivamente il materiale ligneo come nel punto di appoggio dei pilastri, altre porzioni della struttura erano completamente sguarnite della guaina per la protezione del legno, infatti in alcuni punti la guaina sul cordolo in calcestruzzo era assente a causa della **negligenza durante la messa in opera**, anche in questo caso, su successiva indicazione in fase di cantiere è stata aggiunta e ripresa la continuità della guaina lungo tutto il perimetro esterno del cordolo in calcestruzzo, mentre sul lato interno si è scelto di non posizionare la guaina per permettere al legno di asciugare.

Un ulteriore ostacolo da superare durante la fase di cantierizzazione dell'edificio è consistito nelle condizioni metereologiche che sono state avverse, infatti abbondanti piogge hanno bagnato la struttura, si osserva però come il telo protettivo del solaio abbia funzionato anche durante la gestione del cantiere, nonostante le condizioni di alta umidità e ristagno di acqua sui pavimenti, ma grazie al telo impermeabile il solaio in legno sottostante è rimasto asciutto: le pozze formatesi si sono comunque asciugate prima che le pareti assorbissero troppa umidità,

seppur queste mostrino parzialmente i segni causati dal carattere distintivo di igroscopia del legno. Visto l'incessante maltempo, le aperture sono poi state chiuse tramite teli in nylon in modo tale da non permettere l'accumulo di ulteriore quantità di acqua a contatto diretto con il legno.

Questo caso preso in esame dimostra come sia fondamentale il **tema della protezione del cantiere con una programmazione della protezione dell'edificio anche durante la fase di messa in opera** degli elementi lignei: tramite una **buona programmazione della fase di cantiere** non si rischia di cadere nella errata progettazione in fase di cantiere, soprattutto nell'eventualità di imprevisti come in questo caso.

08



Durata anni manufatto
ante rilevazione
criticità: -

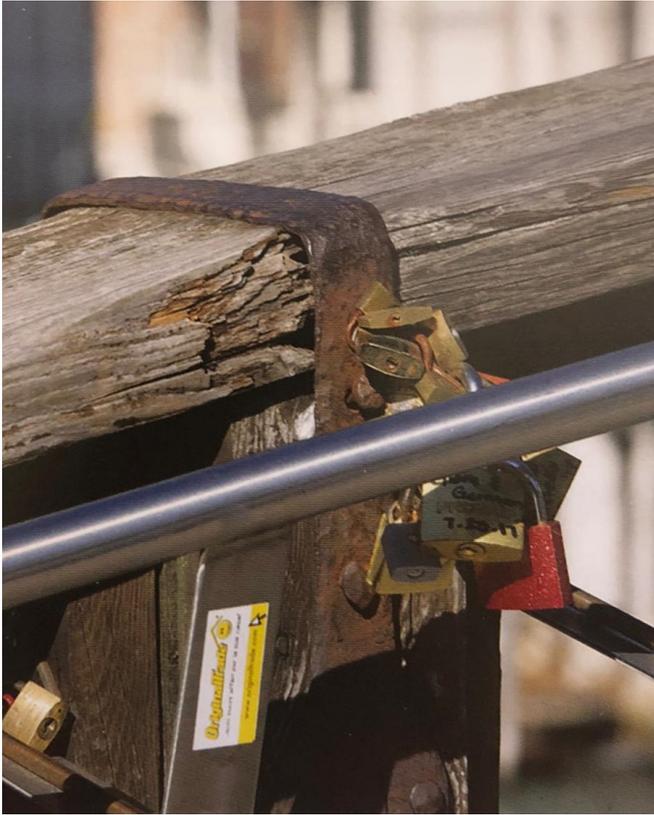
Destinazione d'uso:
PONTE PUBBLICO

Piani fuori terra:
**SOPRAELEVAZIONE
PER PASSAGGIO
PEDONALE**

Tipologia costruttiva: -



Particolari del degrado del Ponte dell'Accademia a Venezia al momento dell'intervento di restauro del 2017 in cui si osserva il degrado e la durabilità compromessa del legno e della struttura secondaria del ponte e lo stato di fatto delle rampe di percorrenza del ponte, tutti elementi sui quali sono stati svolti gli interventi di restauro e di consolidamento – fonte: Il Ponte dell'Accademia permanenza del provvisorio, Franco Laner, 2018



Situazione del Ponte dell'Accademia nel 2011 e nel 2012: il degrado del legno è ormai insostenibile con la completa assenza di una manutenzione del materiale ligneo che risulta a contatto con il materiale metallico ossidato e oggetto di applicazioni di elementi da parte di agenti antropici che non supportano la durabilità del legno - fonte: Il Ponte dell'Accademia permanenza del provvisorio, Franco Laner, 2018



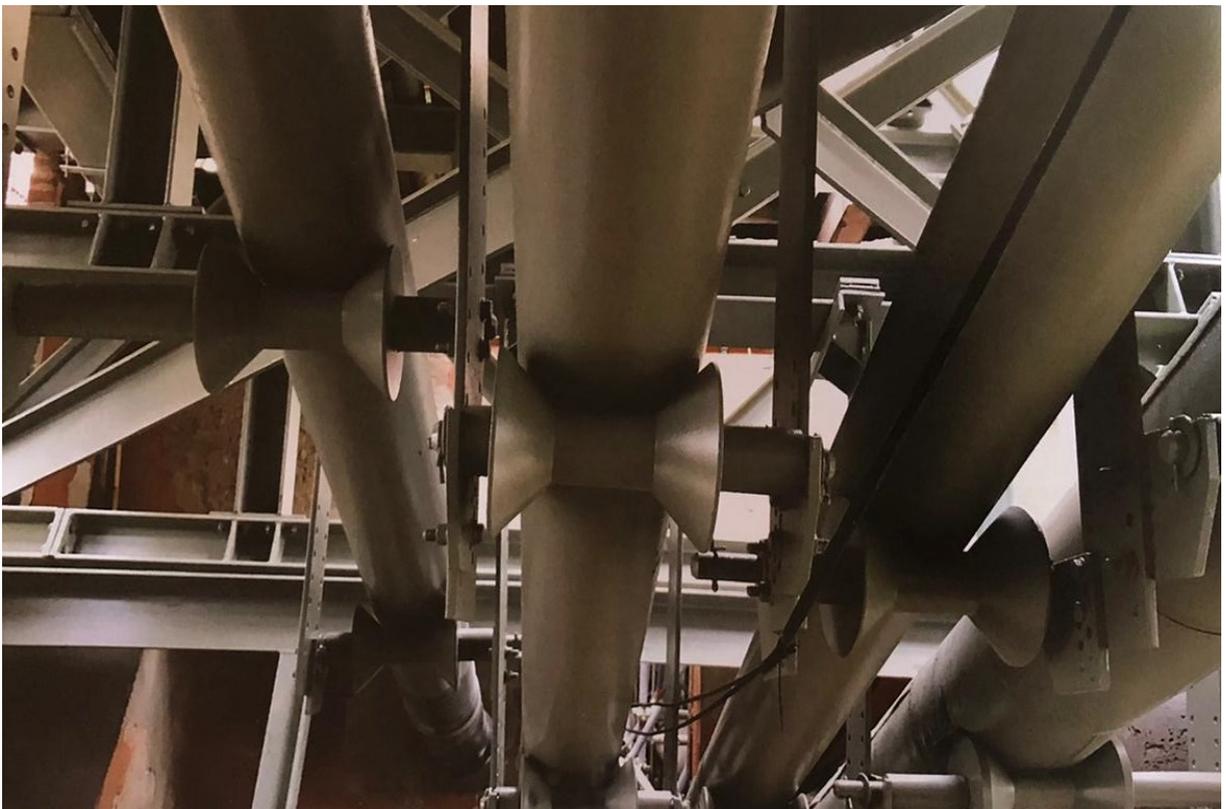
*Situazione del Ponte dell'Accademia nel 2015: si osserva come si sia intervenuti con operazioni di restauro e consolidamento poco integrati e privi di qualsiasi progettazione precisa con l'inserimento di rappezi in alluminio e tacconi metallici. Questa situazione è causata dalla mancanza di una **cultura della manutenzione** che risiede, in particolare nel caso del materiale di legno, nella sostituzione di parti degradate tramite ad esempio la soluzione del metodo dell'incalmo e nella progettazione mirata alla semplice sostituzione degli elementi con l'obiettivo di una durabilità del manufatto praticamente illimitata nel tempo - fonte: Il Ponte dell'Accademia permanenza del provvisorio, Franco Laner, 2018*



Degrado e ossidazione degli elementi metallici della struttura del Ponte dell'Accademia del secondo ordine - fonte: Il Ponte dell'Accademia permanenza del provvisorio, Franco Laner, 2018



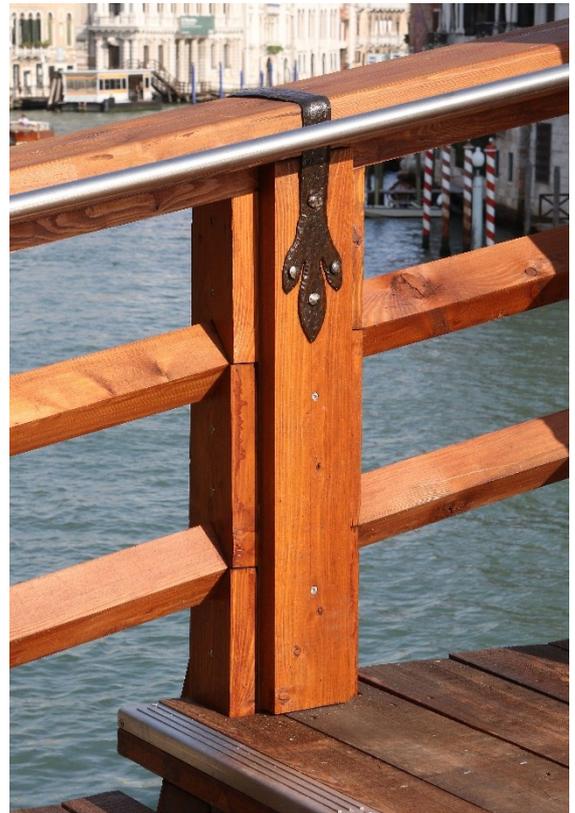
Le principali cause di degrado del Ponte dell'Accademia risiedono nella marcescenza degli elementi lignei e nell'ossidazione degli elementi metallici - fonte: Il Ponte dell'Accademia permanenza del provvisorio, Franco Laner, 2018



Il Ponte dell'Accademia a Venezia in seguito al restauro del 2017 - fonte: Il Ponte dell'Accademia permanenza del provvisorio, Franco Laner, 2018



Giunto impermeabile tra gli elementi del parapetto del ponte fonte: Il Ponte dell'Accademia permanenza del provvisorio, Franco Laner, 2018



Il Ponte dell'Accademia a Venezia in seguito al restauro del 2017 - fonte: Il Ponte dell'Accademia permanenza del provvisorio, Franco Laner, 2018

Il Ponte dell'Accademia è situato a Venezia ed è nato dal progetto del 1854 del ponte di metallo di Alfredo Enrico Neville demolito nel 1932 a causa della corrosione degli elementi da parte dell'ambiente marino e per la trascuratezza manutentiva, successivamente è stato ricostruito il ponte provvisorio di Eugenio Miozzi tra il 1932 e il 1933 che ha richiesto alcuni interventi di adeguamento e rinforzo strutturale nel tempo considerabili come azioni manutentive per tenere in efficienza la struttura, furono infatti necessarie opere quali la sostituzione della pavimentazione e trattamenti preservanti del legno a dimostrazione del fatto che è necessario per la manutenzione dell'opera programmare fin da subito le visite di ispezione e rimediando al degrado non appena il legno mostri qualche debolezza.

Il Ponte dell'Accademia è stato infine oggetto di un recente intervento di restauro nel 2017 in seguito ad un approfondimento della conoscenza del degrado, della scelta delle metodologie di intervento più adatte e dello studio di dettagli tecnici per migliorare la circolazione dell'aria e la durabilità dell'opera. Una innovazione dell'ultimo cantiere è stata quella di aver consentito che i lavori si svolgessero senza mai interrompere il passaggio dei pedoni, delle merci, il transito dei mezzi d'acqua sotto il ponte: ciò è reso possibile grazie ad un sistema di impalcature pensato per garantire la fruibilità tramite un sistema di impalcature che ha permesso l'esecuzione dei lavori in sicurezza.

Si tratta di un ponte pedonale con una struttura principale e secondaria in carpenteria metallica, impalcato e parapetti lignei, più nel dettaglio, il Ponte dell'Accademia si compone di molteplici elementi in legno: l'impalcato consiste in un piano di calpestio in tavoloni di larice poggianti su sottostruttura composta da longheroni e cunei in legno di rovere ancorati alla struttura portante in acciaio, i quattro pali delle lanterne in larice lamellare posati esternamente al parapetto ed ancorati allo stesso mediante bulloni, ed infine il rivestimento dei fianchi, costituito da reticolari in legno di larice lamellare curvo inseriti tra i piatti superiore ed inferiore dei quattro archi in acciaio che costituiscono la struttura portante del ponte nella zona interposta tra l'arcata superiore ed inferiore in acciaio e tra l'impalcato e l'arcata superiore solo nelle parti del ponte in vicinanza delle rive, oltre al parapetto in legno di larice massiccio composto da colonne ancorate ai longheroni, ai puntoni esterni ancorati alla struttura in acciaio

e ad una doppia fila di correnti, con relative tavole di trattenuta, e al corrimano in legno di larice bilama.

Il progetto di restauro si è basato su alcuni criteri fondamentali, ossia la **sostituzione degli elementi degradati irrecuperabili sia in legno che in metallo**, la **manutenzione degli elementi recuperabili in metallo**, il **ripristino strutturale degli elementi metallici principali**, l'inserimento di distanziatori in polietilene tra le parti di contatto diretto per facilitare la circolazione dell'aria e lo smaltimento delle acque meteoriche.

Precedentemente al restauro, i degradi più macroscopici avevano coinvolto i **rivestimenti lignei esterni**, gli appoggi e le **connessioni tra legno e ferro per il ristagno dell'acqua**, che non asciugando innescavano il processo di **ossidazione del metallo e di marcescenza del legno**.

L'intervento ha quindi reso indipendenti tutti i nuovi elementi separandoli tra loro tramite distanziatori in materiale plastico per favorire il naturale scorrimento dell'acqua piovana e la evaporazione, inoltre è stata realizzata una scossalina in piombo a protezione del rivestimento in legno sporgente rispetto all'ala della trave.

L'intervento di restauro strutturale è consistito in interventi di rinforzo strutturale dei collegamenti della struttura principale in acciaio, nella sostituzione completa della struttura secondaria in carpenteria metallica, nella sostituzione dell'intero impalcato ligneo e di tutti i parapetti lignei.

Fondamentale in seguito al restauro è stato l'allegato del **piano di manutenzione delle strutture** che 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, al fine di mantenerne nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità l'efficienza ed il valore economico di un'opera edilizia, come analizzato durante la trattazione: in seguito all'intervento sono state quindi precisate le principali operazioni di manutenzione onde mantenerne nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità, l'efficienza e soprattutto la durabilità del ponte.

Sono state date indicazioni per quanto concerne l'impalcato per pulire le fessure tra tavola e tavola intasate dalla sporcizia permettendo il deflusso dell'acqua e la corretta asciugatura del legno, per l'avvitamento delle viti sporgenti dall'estradosso delle tavole e del paraspigolo in

acciaio, per la pulizia dell'appoggio delle colonne e dei puntoni esterni alla struttura in acciaio del parapetto, per l'accumulo di sporcizia tra cavallotti in ferro battuto e corrimano in legno per permettere il deflusso dell'acqua piovana e la corretta asciugatura del legno, per la pulizia dei pali delle lanterne, oltre che per l'esecuzione della pulizia del rivestimento dei fianchi ed in generale di tutte le strutture particolarmente focalizzandosi sulle zone di congiunzione legno-legno e legno-acciaio e avvitando i bulloni e le viterie di collegamento legno-acciaio e legno-legno.

Al fine della durabilità, durante il restauro, si è fatta una **scelta delle specie legnose naturalmente durabili**, ad esempio, si è prescritta la specie legnosa del larice, fra le specie di questo genere la più durabile è il *Larix sibirica*, impiegato sulle superfici calpestabili orizzontali, dove è più facile il ristagno d'acqua, mentre per i corrimani e parapetto è stato tenuto il *Larix decidua* o larice nostrano, per gli elementi di sostegno di impalcato la scelta è invece ricaduta sulla specie del *Quercus petraea* o rovere, maggiormente durabile fra le quercine.

I particolari costruttivi sono stati progettati ed eseguiti con l'obiettivo che l'acqua non debba mai ristagnare: il corrimano è superiormente leggermente stondato per far defluire l'acqua piovana che non potrà quindi arrivare a scorrere nell'intradosso perché fermata da un gocciolatoio che corre a destra e a sinistra per tutta la lunghezza del corrimano, ogni tavola è stata posta in opera con il cuore verso l'esterno in modo che le inevitabili fessure a V che si potranno manifestare si apriranno verso l'interno, al contrario, l'acqua entrerebbe nelle fessure e ristagnando inizierebbe il marcimento.

Sempre al fine della durabilità, il programma di manutenzione è concentrato nei primi anni di vita, mentre nei programmi tradizionali i primi monitoraggi al contrario sono molto dilazionati, invece, considerato che il legno evidenzia subito la sofferenza agli attacchi biotici, fessurazioni, anomalie varie, è necessario infittire all'inizio le visite ispettive.

Un'altra strategia è stato il **progetto di facile sostituzione**: se un elemento va fuori servizio, deve essere facilmente sostituito con il minimo il ricorso a pratiche di incalimi, tasselli e rappezzi.

Per le strutture in carpenteria metallica, ante intervento di restauro, le anomalie erano riscontrabili nell'erosione superficiale per abrasione, bolle o screpolature dello strato protettivo con pericolo di corrosione degli elementi, dissesti dovuti a cedimenti di natura e cause diverse come poteva essere lo scostamento delle piastre di un collegamento bullonato, le soluzioni per

questi problemi sono state l'applicazione di prodotti antiruggine e ripristino dello strato protettivo o ripristino strutturale.

La **frequenza degli interventi di manutenzione** ordinaria dipende da molti fattori, fra cui la collocazione geografica della struttura, la classe di corrosività ambientale, il livello delle emissioni inquinanti nell'aria, la presenza di eventi con notevole intensità, la possibilità di pulviscoli trasportati dal vento, le vernici che compongono il sistema protettivo necessitano di regolare manutenzione e pulizia per assicurare la continuità delle proprietà protettive della superficie.

14. IL PROGETTO DELLA DURABILITA'

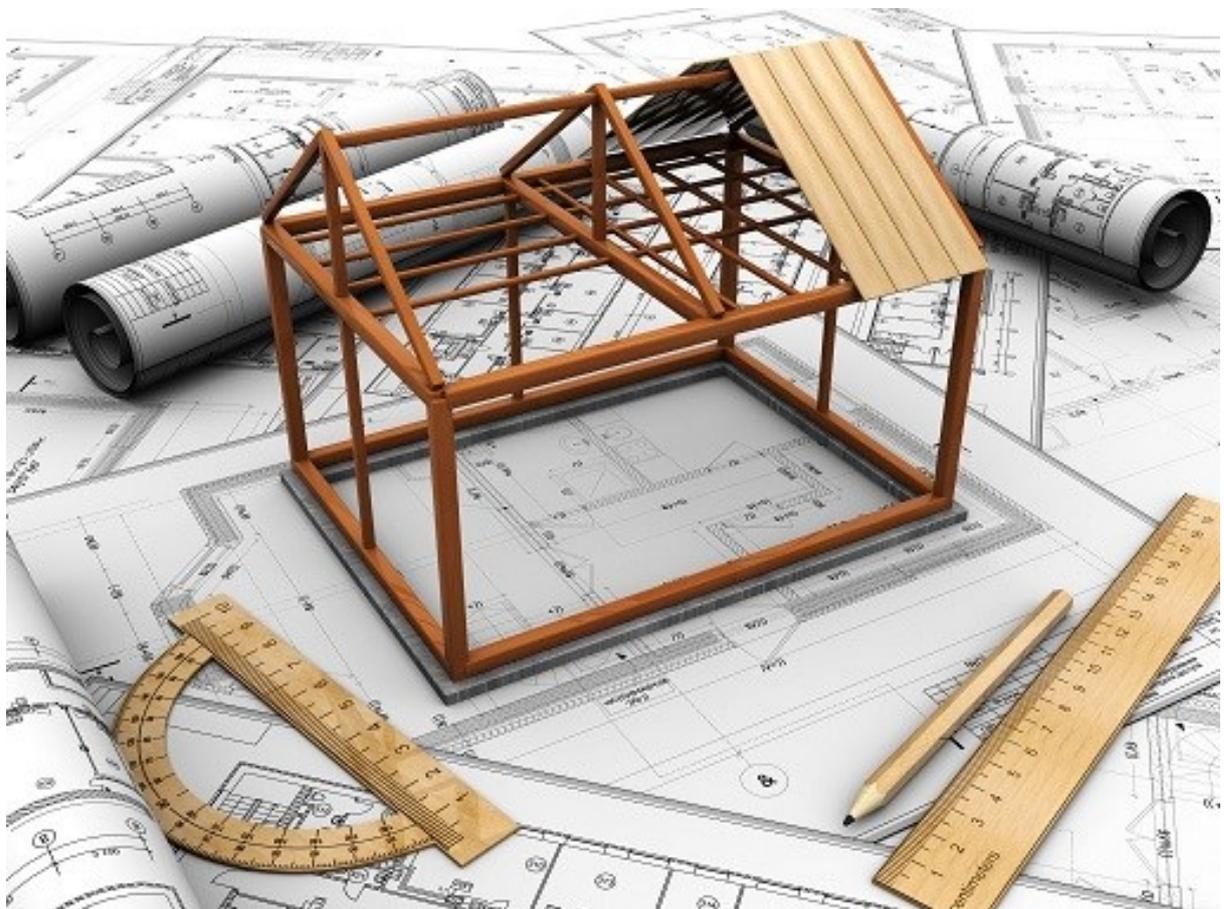
La recente introduzione di nuove tecnologie e di nuove e più chiare norme tecniche hanno rilanciato in questi anni l'uso del legno strutturale: l'introduzione in Italia prima del D.M. 14 gennaio 2008 e poi del D.M. 17 gennaio 2018 e della Circolare 21 gennaio 2019, e in Europa dell'Eurocodice 5 ha permesso un utilizzo consapevole e normato da parte dei tecnici del settore edilizio permettendo una rapida diffusione di sistemi costruttivi a base di legno sostenuta da un sempre maggiore interesse da parte dei privati per queste tecnologie costruttive per la loro sostenibilità e velocità di costruzione.

La rapida evoluzione avvenuta in questi anni ha però evidenziato, come si è visto, alcune criticità legate alla durabilità di un materiale di origine biologica e quindi per suo essere intrinseco marcescibile, supportate dalla mancanza di conoscenza rispetto ad alcuni contenuti necessari legati all'**uso consapevole della materia**: il rapido sviluppo nel campo dell'edilizia della progettazione mediante l'utilizzo del legno, ha avuto come risvolto negativo, come abbiamo cercato di mostrar anche tramite alcuni recenti esempi di ammaloramento delle strutture, quello che i progettisti, e non solo, non hanno avuto troppo spesso l'occasione e l'opportunità necessarie per studiare e conoscere il prodotto ligneo completamente, con il risultato, in alcuni casi, di problematiche sulla struttura anche dopo poco tempo dall'edificazione della stessa a dimostrazione di una completa o parziale **assenza di conoscenza della tecnica e della cultura del costruire in legno**.

La maggior parte dei problemi di durabilità degli edifici in legno sono il riflesso quindi di una incapacità progettuale delle figure preposte all'ideazione, progettazione e realizzazione degli edifici: **la durabilità di un edificio va quindi progettata** ed è compito del progettista, dello strutturista, dell'impresa costruttrice e del direttore lavori predisporre un insieme di azioni e scelte progettuali atte a garantire il corretto funzionamento dell'edificio in legno per una durata minima di cinquanta anni come prescritto dalla vigente normativa italiana per limitare il più possibile la possibilità di incorrere negli errori più frequentemente commessi nelle costruzioni in legno, ciò è reso possibile grazie alla conoscenza delle buone prassi da tenere in considerazione in cantiere, oltre, come analizzato nella trattazione in più punti, alla ottima

consapevolezza delle caratteristiche proprie e peculiarità tecnologiche e ingegneristiche del materiale ligneo.

Gli errori, in base all'analisi di numerosi e svariati casi, possono essere raggruppabili secondo gli errori dovuti alla mancanza di conoscenza per la mancanza di preparazione dei soggetti della filiera dell'edificio, a livello di progettazione, di produzione, di cantiere, del direttore lavori e di collaudo, evitabili implementando la formazione, inoltre si potrebbe trattare di errori dovuti a scarsa attenzione e negligenza, perciò è fondamentale che durante tutto il processo di edificazione vi siano soggetti addetti al controllo di ciascuna fase e di ciascun prodotto con la rispondenza delle caratteristiche al progetto, infine potrebbe trattarsi di errori considerabili intenzionali e che quindi sono attuati in modo consapevole con il fine di avere una maggiore redditività dalle opere messe in cantiere.



Un aspetto fondamentale da risolvere nelle strutture lignee per mantenere in esercizio l'edificio consiste nella **corretta concezione dei particolari costruttivi** relativamente agli aspetti tecnologici dell'opera: la progettazione di strutture in legno è un **processo multidisciplinare**, considerando soprattutto la naturale tendenza del legno al degrado biologico se esposto a determinati condizioni di umidità: ai fini di massimizzare lo sfruttamento del legno per la produzione di opere durature nel tempo, il degrado biologico deve essere quindi impedito o comunque ritardato almeno per la durata di vita richiesta al prodotto in questione, investendo anche quindi il tema degli edifici in legno.

I particolari costruttivi errati, nella concezione progettuale e nell'esecuzione, sono, insieme alla successiva mancanza di manutenzione, una grandissima causa di degrado del legno, senza dimenticare come anche l'errata scelta della specie legnosa, in particolare per manufatti posti in ambiente igroscopicamente impegnativo possa agevolare il degrado, siccome ricordiamo sempre essere l'umidità la prima causa di innesco di durabilità limitata nel tempo, essendo l'origine per lo sviluppo di batteri del marcimento e di funghi agevolando così gli attacchi xilofagi, quindi un obiettivo della progettazione consapevole è sicuramente la creazione di un ambiente estremamente sfavorevole per la proliferazione di questi organismi.

14.1. L'umidità come prima causa di degrado del legno

Tramite queste premesse, operativamente il progettista dovrebbe quindi preoccuparsi di proteggere il legno ogni volta che possa sussistere la possibilità che qualche elemento entri in contatto con l'acqua: nella progettazione della durabilità del manufatto edilizio quindi iniziamo da una analisi delle zone più delicate dell'edificio, ossia quei nodi dove può avvenire proprio questo potenziale passaggio di aria o acqua, ossia le zone a contatto diretto con il terreno, le fughe e le fessurazioni aperte, gli elementi costruttivi poco ventilati, i punti di collegamento e di contatto tra gli elementi costruttivi soprattutto se realizzati in materiali differenti, i montanti delle aperture, le estremità di travi murate nel caso di pareti senza sufficienti protezioni contro

l'acqua o l'umidità, le unioni tra materiali differenti come punti di giunzione e unione tra legno e materiale metallico e i pilastri annegati nel calcestruzzo.

Gli obiettivi della progettazione, consci anche dei casi di analisi che abbiamo avuto l'opportunità di analizzare, devono essere mirati alla durabilità e perciò devono sostanzialmente evitare l'aumento e ritardare l'assorbimento dell'umidità da parte degli elementi lignei, permettere una buona e continua ventilazione, incentivare l'inserimento di barriere correttamente ideate per evitare il fenomeno di condensa, ridurre le variazioni di volume dovute a rigonfiamenti e ritiri del materiale con una buona stagionatura e essiccazione del legname calcolando in maniera approssimativa e durante l'uso le variazioni dimensionali del legno previste, adottare misure protettive contro i parassiti del legno. È fondamentale inoltre scegliere le essenze e gli additivi e i trattamenti idonei al legno prendendo in considerazione le caratteristiche di ciascun materiale dipendenti dall'anatomia della pianta di provenienza, dalla valutazione del suo comportamento meccanico, alle caratteristiche di risposta agli agenti aggressivi.

Le misure di prevenzione del legno, sia che si tratti di prevenzione progettuale che di trattamenti, devono essere considerate tenendo conto del rischio di esposizione degli elementi fin dalle prime fasi progettuali: per elementi costruttivi soggetti alle sollecitazioni è preferibile utilizzare essenze con elevate caratteristiche meccaniche e buona rigidità eventualmente preferendo essenze con resistenza accresciuta grazie all'elemento del durame, è importante inoltre conformare gli elementi costruttivi in base all'anisotropia del materiale, impiegando il legno con il contenuto di umidità corrispondente al clima ambientale in cui si va ad inserire e considerando le diverse capacità di assorbire umidità delle varie tipologie di legno.

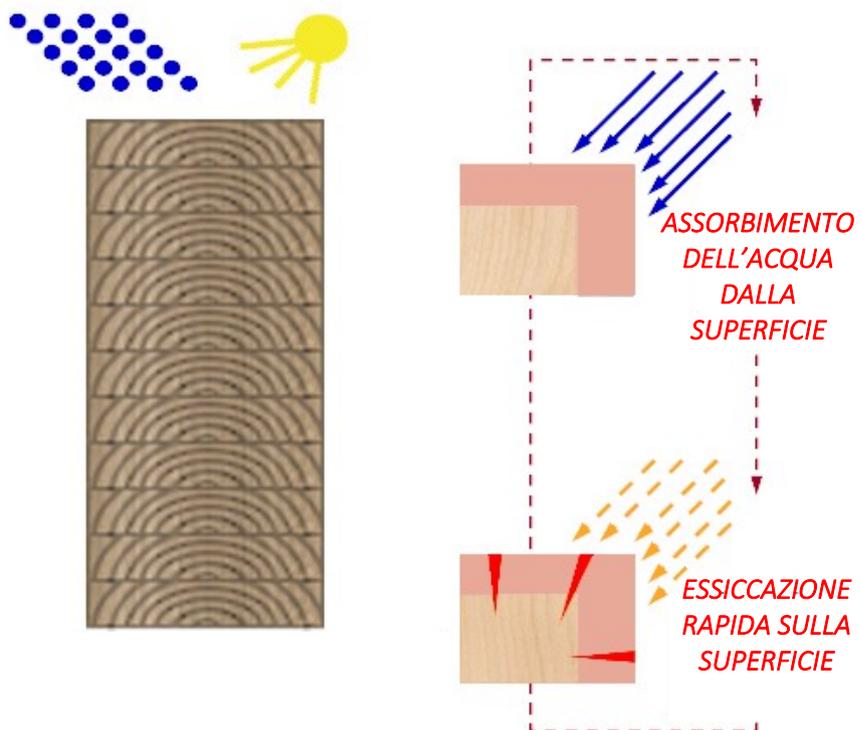
Nel posizionamento degli elementi di legno si possono applicare alcune accortezze per prolungarne la durabilità come evitare superfici frontali orizzontali a rischio d'acqua, adottare misure protettive per superfici in legno tagliato trasversalmente, proteggere le estremità delle capriate, o cavità e trapanature per evitare un assorbimento dell'umidità particolarmente veloce e intenso rivestendo la superficie o dando più mani di vernice per riempire pori, evitare aumenti di umidità durante la fase di costruzione sia nello stoccaggio che nel trasporto che nell'installazione immagazzinando eventualmente il legno su basi di appoggio e sotto una pensilina, promuovere la buona stagionatura e il condizionamento del legno in base all'umidità dell'aria evitando imballaggi in plastiche impermeabili per molto tempo e fino a quando il legno

non è completamente essiccato: durante il progetto e la costruzione occorre attuare misure costruttive per impedire che nel legno prodotto in modo scorretto si instaurino condizioni di umidità elevata che consentano lo sviluppo di parassiti del legno, e garantire l'essiccamento rapido degli elementi costruttivi eventualmente umidi.

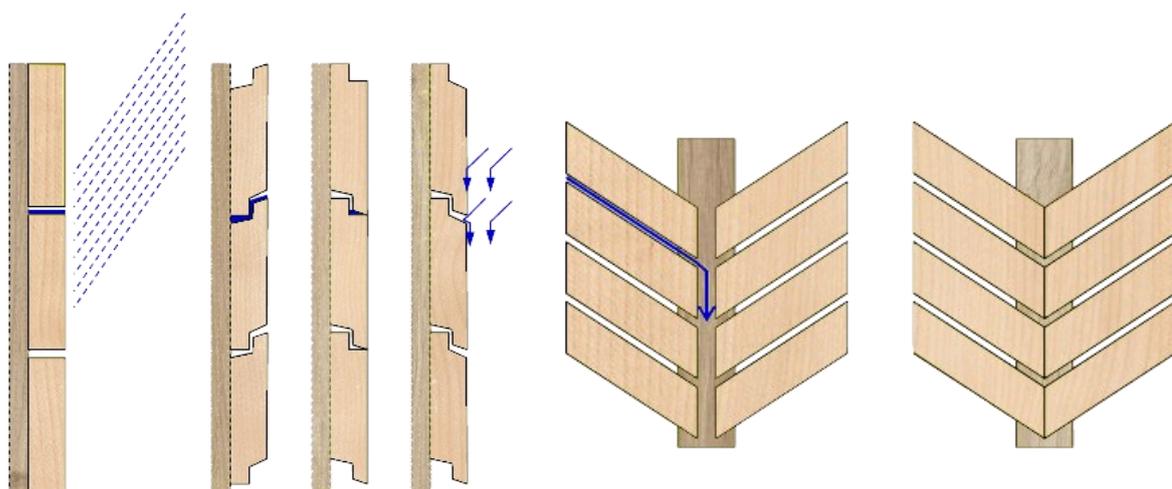
Per quanto riguarda le azioni legate direttamente alla protezione dall'acqua, il progetto, in base al differente grado di esposizione di ciascun elemento, deve evitare il ristagno dell'acqua a contatto del legno e comunque permettere sempre e in qualsiasi punto una buona ventilazione in modo da mantenere condizioni di umidità del legno sotto il 20%, limite oltre il quale inizia a manifestarsi l'attacco fungino.

Oltre all'esposizione del legno all'acqua come può essere nel caso di pioggia battente, la capacità del legno di assorbire umidità secondo i fenomeni di capillarità viene favorita nel caso di contatto diretto con altri materiali igroscopici o comunque contenenti acqua, come nel caso di elementi poggianti direttamente sulle fondazioni in cemento armato, oppure nell'eventualità di contatto diretto con il terreno e la vegetazione; anche l'accumulo di neve in prossimità degli elementi della struttura induce molteplici effetti negativi con l'impedimento della ventilazione delle superfici di legno da essa coperte che nel momento in cui si trasforma in acqua con l'aumento della temperatura avrà ripercussioni per le possibili infiltrazioni di acqua in alcune zone della costruzione in particolare dalla copertura.

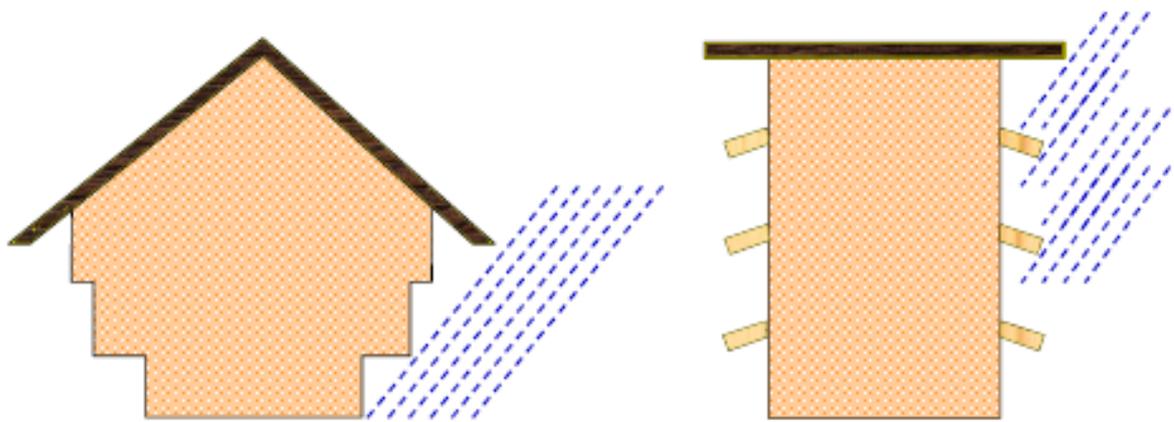
Per quanto riguarda le conseguenze in seguito al contatto del legno con sostanze diverse dall'acqua, anche se il legno è generalmente poco sensibile ad un buon numero di sostanze chimiche che invece per altri materiali possono rappresentare un rischio importante, non si deve sottovalutare l'effetto di queste condizioni di esposizione soprattutto sulle connessioni metalliche: la presenza di acqua come di altre sostanze a contatto con il legno e quindi con questi elementi, in quantità sufficiente, favorisce la corrosione dei metalli e di conseguenza facilita il degrado del legno. Anche in questo caso, i fenomeni di durabilità compromessa possono essere facilmente evitati con l'impedimento dell'instaurarsi di condizioni di umidità elevata o di presenza massiccia di altre sostanze e disponendo gli elementi sia lignei che metallici in posizione protetta o permettendo un defluire rapido delle sostanze indesiderate.



*Schematizzazione dell'effetto causato dall'esposizione diretta alle intemperie –
rielaborazione degli autori da promo_legno*

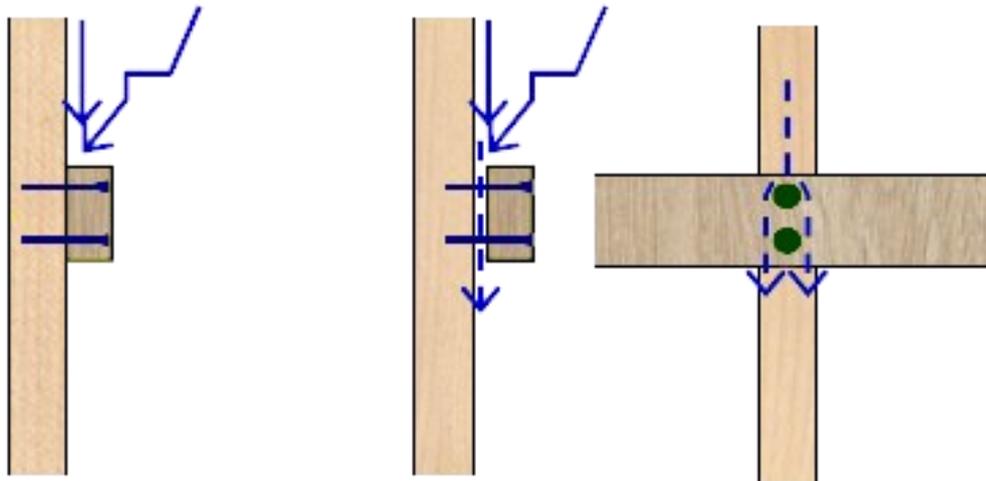
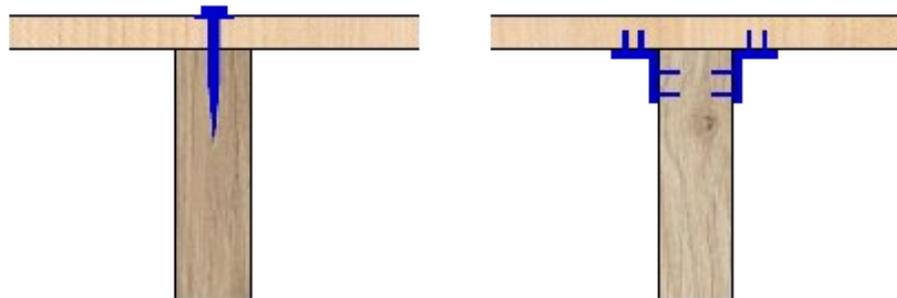
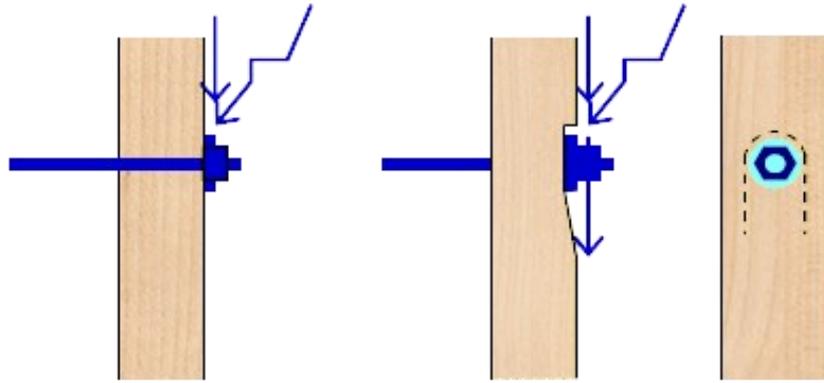


*Schematizzazione dell'effetto di accumulo e di deflusso dell'acqua negli elementi lignei in facciata –
rielaborazione degli autori da promo_legno*

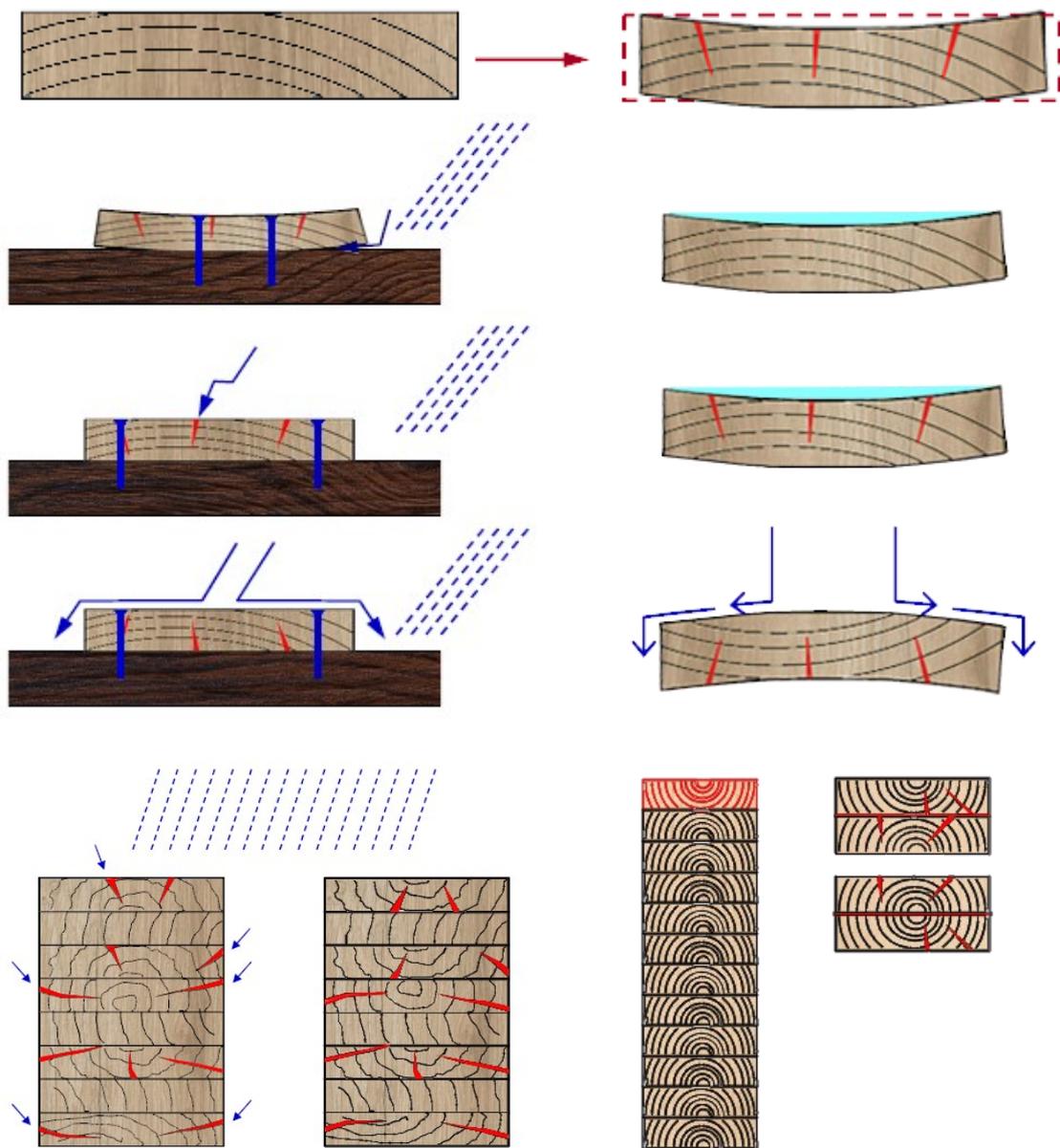


Schema delle soluzioni di orientamento ed elementi di copertura che assicurano la completa protezione delle pareti dall'acqua con la soluzione migliore risulta essere la minore superficie esposta – rielaborazione degli autori da promo_legno

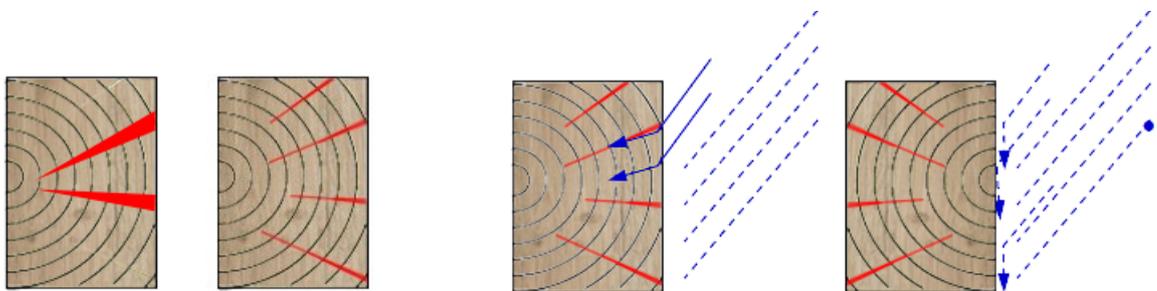
Alcune scappatoie per evitare il degrado del legno sono quello di **attuare misure idonee di protezione**, prima fra tutte evitare il contatto con le precipitazioni atmosferiche prevedendo tetti sporgenti oppure un arretramento ai piani della facciata, è possibile deviare rapidamente le precipitazioni mediante idonei profili, protezioni o gocciolatoi, l'importante è impedire che l'acqua penetri nei giunti di ostruzione attraverso il rivestimento degli angoli, delle scanalature e dei giunti in cui l'acqua potrebbe andare a depositarsi, oltre ovviamente proteggere anche dal basso l'edificio dall'umidità di risalita proveniente dal terreno o dal calcestruzzo impermeabilizzando la platea di fondazione dalla parete esterna applicando strati isolanti, evitando però la formazione di condensa nella sezione trasversale dell'elemento costruttivo con una idonea sequenza degli strati nella sezione trasversale dell'elemento eventualmente prevedendo rimedi mediante smorzatori di vapore verso il lato interno, inoltre utilizzare verniciature o rivestimenti idrorepellenti quando non è garantita l'asciugatura tempestiva dell'acqua sulla superficie lignea o dai raggi ultravioletti e dalle sollecitazioni termiche, attuare una ventilazione posteriore delle pannellature in facciata, evitare le parti metalliche passanti ad esempio nel caso di collegamenti di spazi interni con l'esterno ed eventualmente occludere le estremità di aste e perni con tasselli in legno apposti dall'esterno.



Schema dei giunti che favoriscono lo scorrimento dell'acqua tramite un deflusso ininterrotto con una superficie di contatto minima e introduzione di distanziatori – rielaborazione degli autori da promo_legno

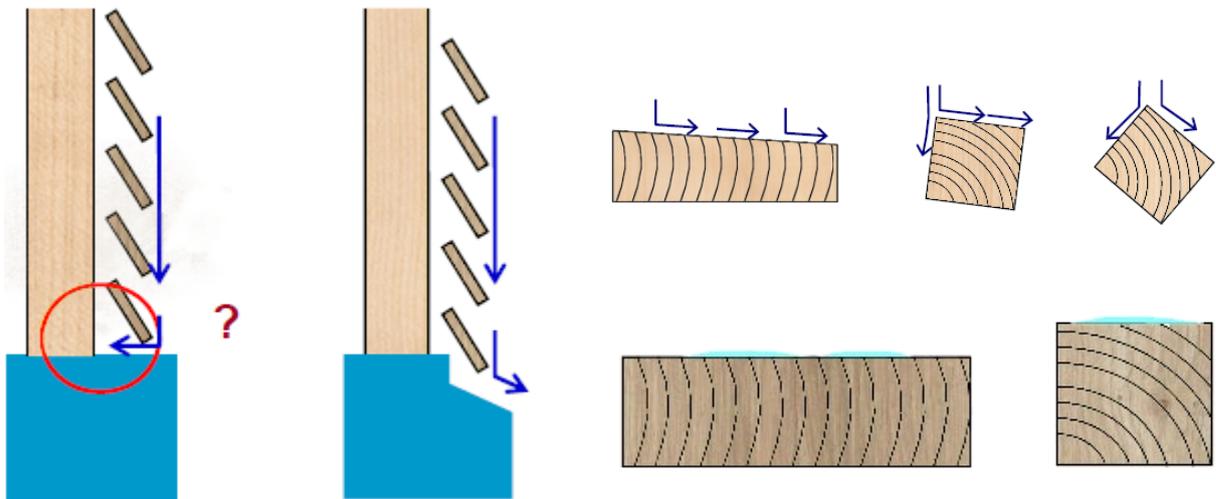


Schemi nei quali la soluzione migliore risulta essere il posizionamento dell'elemento ligneo a deformazione della sezione favorevole e fessure non esposte – rielaborazione degli autori da promo_legno



Schema elemento ligneo con fessure ampie a causa di un'essiccazione poco curata e a fessure sottili che riducono l'effetto di contatto dell'acqua – rielaborazione degli autori da promo_legno

Schema elemento ligneo con fessure aperte che favoriscono l'assorbimento dell'acqua e lato esposto senza fessure che facilita il deflusso dell'acqua – rielaborazione degli autori da promo_legno



Schema in cui la soluzione migliore risulta essere il posizionamento della superficie esposta alle intemperie con una minima pendenza per il deflusso dell'acqua – rielaborazione degli autori da promo_legno

Avendo analizzato quali sono le principali problematiche legate alla durabilità del materiale legno, possiamo quindi andare ad identificare quali sono i principali elementi sui quali possono insorgere le problematiche descritte.

Gli edifici In legno, dal punto di vista della durabilità, presentano cinque punti critici: l'attacco a terra, la copertura, le impermeabilizzazioni e le terrazze, i rivestimenti esterni e i serramenti e gli impianti.

14.2. Il progetto dei nodi tecnologici problematici

In un edificio in legno, in base alle ricerche e al percorso condotti e ai casi studio analizzati, abbiamo individuato alcuni nodi tecnologici particolarmente problematici, ma allo stesso tempo interessanti, che meritano di essere studiati in maniera più approfondita e attenta in fase di progettazione perché si possa evitare l'incorrere in problemi legati alla durabilità: una attenzione maggiore nei confronti di queste zone permette di garantire ed assicurare all'edificio una durata prolungata nel tempo degli elementi di involucro e della struttura in legno.

È ormai compreso come la legge italiana preveda che tutti gli edifici vengano progettati per garantire una vita utile pari ad almeno cinquanta anni ed è quindi necessario utilizzare i

materiali corretti ed attuare le azioni più consone per garantire tale durabilità nel tempo, soprattutto per le parti maggiormente soggette a problemi legati ad un possibile degrado anticipato.

14.2.1. Il nodo dell'attacco a terra

Il maggior numero di problemi che investono le costruzioni di legno deriva dall'errata progettazione dei sistemi di attacco della parete di legno alle fondazioni, uno dei particolari più importanti al fine di garantire una corretta durabilità dell'edificio.

Soffermandosi sul dettaglio di raccordo tra platea e parete di legno, l'attacco a terra è il nodo che permette di collegare le strutture lignee in elevazione alla fondazione, la quale può essere a platea oppure a trave rovescia, sempre in cemento armato poiché è il materiale in grado di permanere sotto il piano di campagna per molti anni senza presentare gravi segni di degrado, a differenza del legno, preferibilmente impermeabilizzato o comunque protetto il più possibile dall'azione diretta dell'acqua mediante guaine poste correttamente.

Nel caso della fondazione a platea viene creato un corpo monolitico in cemento dello spessore tra i trenta e i quaranta centimetri la cui funzione principale è quella di trasmettere il peso dell'edificio intero sul terreno sottostante e di separarlo dall'umidità del terreno stesso, nel caso invece della fondazione a trave rovescia si procede con la creazione di un reticolo, che poi viene successivamente riempito con un vespaio in ghiaia o con l'inserimento di igloo e terminato con una soletta di ripartizione che funge da base per il pavimento, costituito da travi disposte lungo le linee dei muri in elevazione, di sezione rettangolare con la base dai quaranta agli ottanta centimetri ed una altezza dai quaranta ai cinquanta centimetri: in entrambi i casi è possibile aggiungere una camera di ventilazione tra la fondazione e la pavimentazione dell'abitazione soprattutto nel caso di terreni molto umidi o per l'eventuale smaltimento del gas radon proveniente dal terreno.

Il punto di attacco a terra, ovvero la zona dove il legno incontra il cemento armato, rappresenta un punto particolarmente delicato e richiede molta attenzione non solo in fase progettuale ma anche nelle fasi di realizzazione in cantiere: la funzione principale di questo nodo è quella di

trasmettere le forze agenti sulla struttura in legno alla fondazione e quindi al terreno sottostante anche con l'ausilio da parte di **appoggi metallici studiati** minuziosamente ed installati con precisione che spesso hanno un'influenza sulla stabilità e sulla durata del manufatto in maniera determinante.

Un'altra caratteristica imprescindibile di questo dettaglio è la **tenuta all'acqua** siccome è uno dei punti critici per le infiltrazioni che portano alla marcescenza poiché molto spesso la parete di legno termina sotto il livello del terreno con l'estradosso della platea sotto il livello del terreno esterno, quasi sempre per soddisfare le norme inerenti l'abbattimento delle barriere architettoniche con la parete in legno che in questo caso si trova appoggiata ad una quota inferiore a quella del piano di campagna mentre dovrebbe trovarsi ben al di sopra.

Occorre alzare quindi la quota di imposta della parete di legno staccando completamente la struttura in elevazione della struttura dalle fondazioni al fine della risoluzione della sicura **problematica di marcescenza** nell'attacco a terra che insorgerebbe in caso di condizioni di umidità più o meno prolungate, oppure occorre intervenire tramite una soluzione che prevede l'inserimento di un distanziatore che può essere metallico come analizzato che allontani il legno dalla zona umida, già osservabile in alcuni casi degli interventi di consolidamento delle strutture lignee.

Oltre ai distanziatori metallici, le tipologie di distanziatori sono comunque molteplici e di vari materiali: il cordolo in legno è da escludere in quanto soggetto a marcescenza in caso di infiltrazione d'acqua, il cordolo in alluminio o il cordolo di acciaio corredati da un getto di completamento sono invece ottime soluzioni in quanto permettono di livellare perfettamente la base di appoggio, come visto il cordolo in acciaio può essere ispezionabile e permette il drenaggio di eventuali piccole quantità d'acqua, il cordolo in EPS rappresenta un nuovo sistema di semplice posa e movimentazione che non necessita di getti di completamento, infine c'è la ben nota soluzione del cordolo in cemento con buona durabilità e la buona resistenza meccanica.

Questo dettaglio tecnologico deve quindi soddisfare contemporaneamente le condizioni di capacità portante e stabilità nei confronti delle azioni sia verticali che orizzontali della struttura, durabilità del manufatto nel tempo, oltre alla complicazione comportata dal rispetto dei vincoli

architettonici ed estetici ed all'effetto di riduzione del ponte termico che viene a crearsi facilmente in una zona come questa.

Quando si progetta e si realizza qualsiasi struttura in legno che si appoggia a terra è fondamentale tenere a mente la regola che l'elemento non deve essere posto direttamente a contatto con il terreno, ma al contrario deve essere sempre sollevato da terra, permettendo così al legno di rimanere all'asciutto senza ristagni o assorbimenti di acqua, eventi che porterebbero a tutte le condizioni distruttive del legno analizzate fino ad ora: nel caso in cui la parete in legno si trovi al di sotto del piano di campagna ci si può trovare in una situazione difficile e rischiosa per molteplici cause che portano alla certa diminuzione della durabilità del manufatto ligneo, quindi avere una corretta considerazione dei fenomeni di degrado sia di tipo biologico che abiotico è un parametro necessario di cui tenere conto in ogni fase di approccio ad un progetto.

Possono sostanzialmente essere riconoscibili alcune sorgenti di umidità che il progettista deve prendere in considerazione sia in fase di cantiere che durante la vita di esercizio del fabbricato, cercando poi di applicare le strategie necessarie a mantenere la struttura con un tasso di umidità inferiore al 20%: la sorgente di umidità che può essere **interna all'edificio** derivante dalla presenza ed attività di individui all'interno dell'edificio, oppure la sorgente di umidità **esterna all'edificio** causata da precipitazioni, dal possibile carico di umidità derivante dal vapore d'acqua ambientale, dai sistemi di irrigazione e dall'acqua dal sottosuolo, oppure la cosiddetta **umidità di cantiere** contenuta all'interno di elementi edilizi, principalmente ma non solo nel calcestruzzo, che durante il loro processo di maturazione liberano acqua all'interno dell'ambiente e negli elementi a contatto con essi.

Il trasferimento di umidità all'interno dell'edificio solitamente avviene attraverso quattro meccanismi: **acqua liquida** per l'esistenza della differenza di pressione tra ambienti o del fenomeno della gravità, per **capillarità** che consiste nel movimento dell'acqua liquida per l'esistenza delle tensioni superficiali all'interno di materiali porosi, per movimento d'aria riferito al movimento del vapore d'acqua, per differenza di pressione tra ambienti confinanti.

Generalmente si possono attuare due strategie per il controllo in particolare dell'acqua piovana a difesa dell'opera in legno, ossia, tramite il progetto **minimizzare la quantità d'acqua** generalmente piovana, ma ciò vale per qualsiasi fonte di umidità, a contatto con la superficie dell'edificio, oppure essere in grado di **gestire l'acqua che si viene depositare sulla superficie o all'interno dei pacchetti costruttivi**: ai fini del controllo della penetrazione d'acqua, il progettista deve prendere gli **adeguati provvedimenti architettonici, ma anche tecnologici**, al fine di ridurre il numero e la dimensione di aperture presenti sull'edificio assicurando il defluire dell'acqua nelle vicinanze di tali zone e di provvedere ad una corretta impermeabilizzazione delle opere.

Sia i processi di infiltrazione di acqua piovana, e quindi riconducibili ad acqua liquida, sia i processi di infiltrazione dal sottosuolo assimilabili ai fenomeni di capillarità, devono essere oggetto di attenzione sia in fase di progettazione comprendendo quella architettonica e quella strutturale, che nelle successive fasi di costruzione nelle quali sia il responsabile della edificazione dell'intera opera, che il Direttore Lavori devono far sì che il fabbricato possa garantire una durata di vita adeguato.

Il contatto diretto per infiltrazione

Il contatto per infiltrazione avviene nel momento in cui una **quantità di acqua in forma liquida penetra attraverso il terreno o il sottofondo del marciapiede esterno e raggiunge la base della parete in legno**, per questo la soluzione è quella di definire la quota di imposta della parete in legno almeno una decina di centimetri sopra il livello del terreno esterno, a differenza della più convenzionale scelta di molte aziende che preferiscono posare il legno direttamente sulla platea per poi foderarlo con varie guaine, utili solo se applicate a completamento sul cordolino in calcestruzzo e risvoltate correttamente, come si analizzerà in maniera più chiara nella valutazione della problematica della risalita per capillarità.

Anche se il modo di intervento utilizzato più frequentemente e che risulta essere preferibile è la realizzazione di un cordolo in calcestruzzo armato che vada a raggiungere l'altezza desiderata, come osservato, per mantenere il legno sollevato rispetto al piano del terreno, esiste anche l'alternativa di nuovi prodotti appositamente nati per questo scopo che sfruttano

il principio del distanziale in metallo, generalmente in alluminio, per evitare l'insorgere del problema come l'applicazione del cordolo ventilato osservato in un caso studio in materiale di acciaio Corten della ditta Soltech con lo scopo di alzare la quota di posa della parete permettendo un minimo di areazione alla sua base.

I modi per rialzare la parete sopra la quota del terreno sono comunque numerosi e differenti come precedentemente visto, alcuni più efficaci, mentre altri meno ricordando che sicuramente la soluzione dell'attacco a terra mediante morali principalmente in larice risulta essere molto rischiosa e tendenzialmente da scartare non potendo offrire una garanzia di durabilità nel tempo in quanto una porzione di legno permarrrebbe comunque sotto il livello del terreno in una posizione facilmente attaccabile da marcescenza.

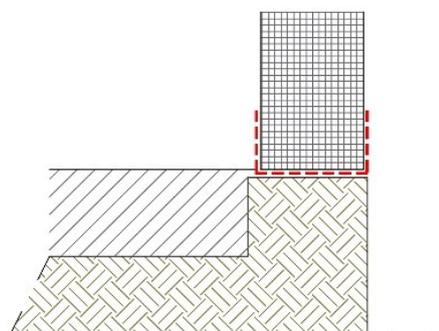
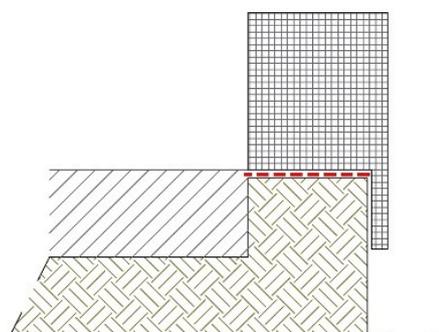
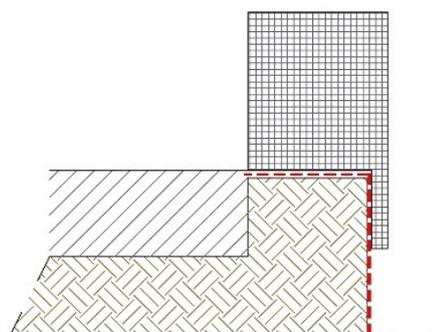
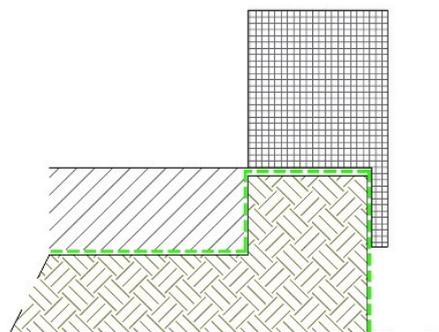


Sistema di ancoraggio ventilato realizzato in acciaio e fissato mediante bullonatura alla base dell'elemento ligneo – fonte: Soltech srl

La risalita per capillarità

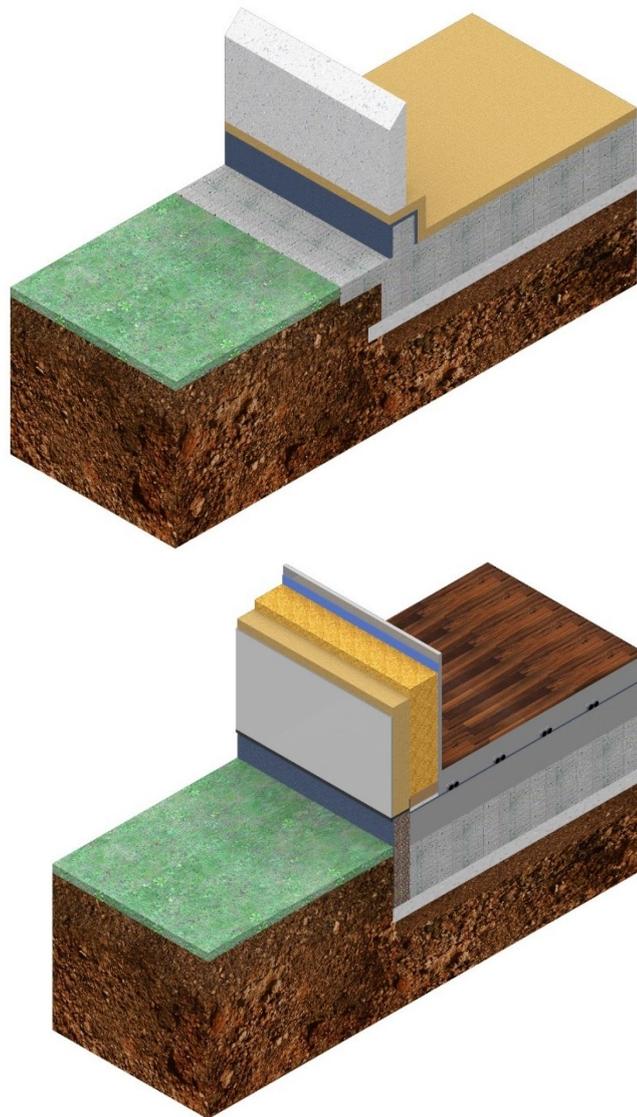
La risalita per capillarità è quel fenomeno strettamente connesso alle scelte condotte per evitare il contatto diretto tra l'acqua e l'elemento ligneo, ossia strettamente connesso al progetto del cordolo in calcestruzzo: come analizzato l'acqua presente nel terreno tende a risalire contro gravità all'interno della platea e quindi eventualmente anche all'interno del calcestruzzo del cordolo che si troverà a costituire il nodo dell'attacco a terra correttamente eseguito, il fenomeno è reso possibile sfruttando la **porosità del calcestruzzo per effetto capillare** siccome il cemento armato è poroso e funge da elemento assorbente che è in grado di prelevare l'acqua dal terreno e di farla confluire verso l'alto e quindi verso l'elemento verticale ligneo della parete, anche nonostante l'adeguato inserimento del cordolo in calcestruzzo sopra la fondazione.

Seppur si consideri la corretta presenza del cordolo in calcestruzzo, soluzione necessaria per evitare un contatto più ravvicinato della parete con la fondazione e quindi con il terreno, se si facesse anche in questo caso la scelta di appoggiare direttamente la parete sul cemento, a lungo andare **l'umidità presente nel cemento migrerebbe alla base della parete in legno la quale innescherebbe il processo di marcescenza.**

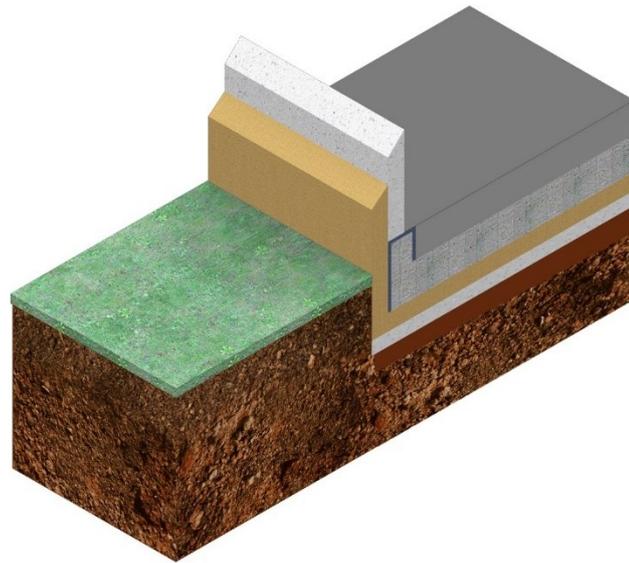
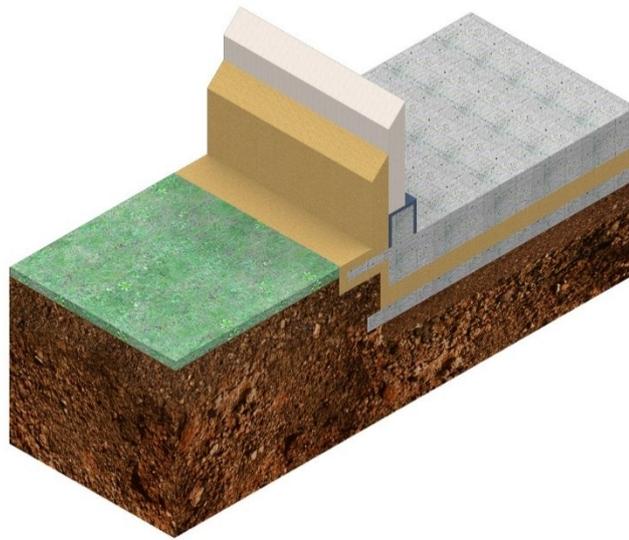


Posizionamento corretto della guaina impermeabile sul cordolo in CLS – elaborazione degli autori

La soluzione alla possibilità di insorgenza di questo problema è quella di interporre una **barriera alla risalita tra fondazione e cordolo in calcestruzzo e il legno**: è buona norma interporre una guaina bituminosa tra cemento e legno lasciando libero il legno di respirare, quindi senza soffocarlo con guaine eccessive se inutili, le guaine a cuffia incollate al legno e le guaine adesive di collegamento tra legno e cemento che non permettono al legno di traspirare correttamente vanno evitate, esse devono essere risolte correttamente, non essere troppo abbondanti e fare anche in modo che non siano motivo di accumulo di acqua dalla parte alta proveniente quindi dalla parete.



Schematizzazione della soluzione di attacco a terra di una parete in legno: nodo tecnologico che mostra il posizionamento corretto della guaina bituminosa posta sul cordolo in CLS – rielaborazione degli autori da Danni e difetti delle costruzioni in legno di Alex Merotto



Schematizzazione della soluzione di attacco a terra di una parete in legno: nodo tecnologico che mostra il posizionamento corretto della guaina bituminosa posta sul cordolo in CLS nel caso di platea calda e platea fredda – rielaborazione degli autori da Danni e difetti delle costruzioni in legno, Alex Merotto

La condensa interstiziale

L'ultimo problema legato alla presenza di umidità nel legno che terremo in considerazione consiste nel fenomeno della condensa interstiziale, per il quale c'è la necessità di **evitare il raggiungimento della temperatura di rugiada all'interno del nodo**: il vapore dell'aria interna che traspira verso l'esterno è un evento che può avere luogo anche nel nodo di attacco a terra dal momento che risulta essere una zona fredda dell'edificio con il rischio di formazione della condensa.

Le azioni legate ai fenomeni di condensazione possono quindi principalmente presentarsi all'interno di elementi dei pacchetti costruttivi concepiti erroneamente con una mancanza di efficacia nella diffusione del vapore, sulla superficie di elementi costruttivi in caso di condizioni climatiche particolari che favoriscono la condensazione del vapore contenuto nell'aria, oppure superficialmente con la formazione di uno strato di ghiaccio nel caso di temperature molto basse e successivo scioglimento.

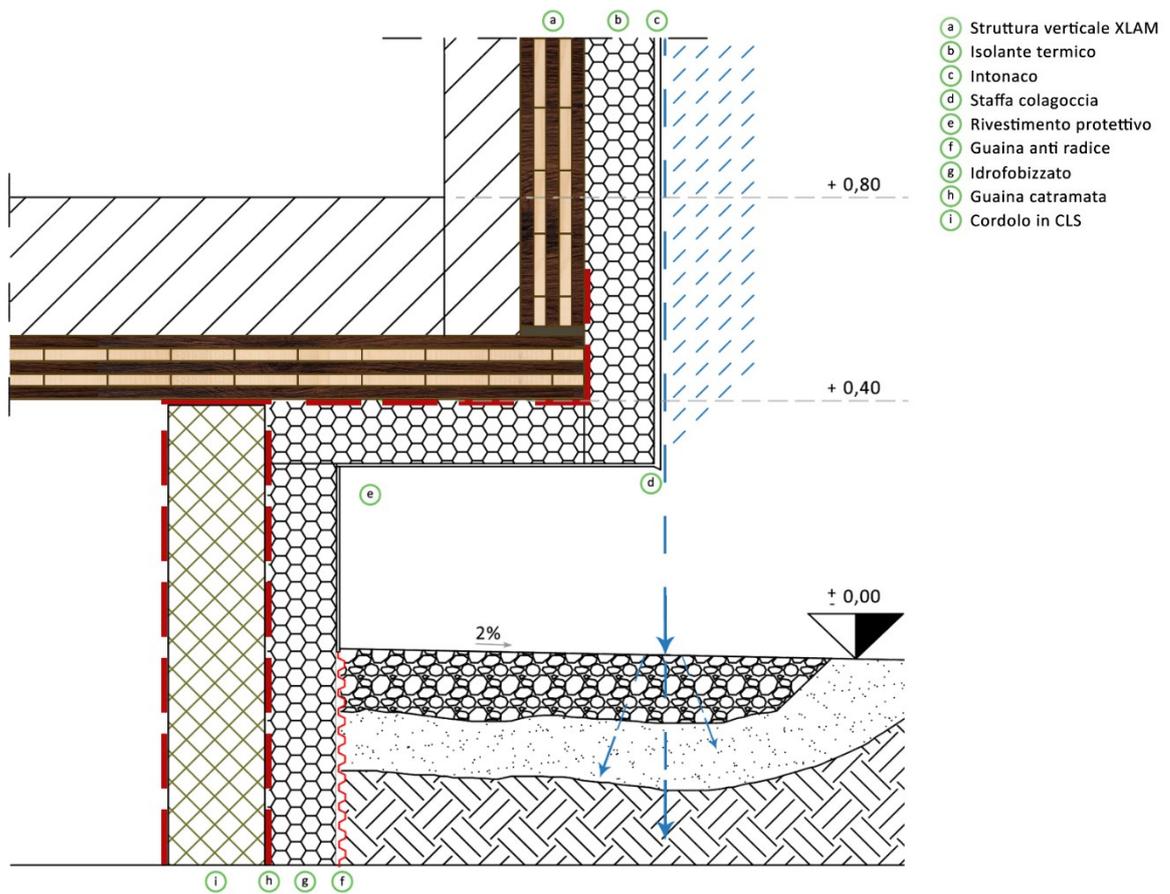
La risoluzione al problema in questo caso è **assicurare un isolamento corretto del nodo** tramite una analisi termica degli elementi che compongono il particolare tecnologico scongiurando la creazione di un ponte termico tra il legno della parete e cemento sottostante, azione possibile con l'inserimento di un isolante tra i due elementi oppure inserendo un isolante tra la platea ed il terreno.

I problemi relativi all'umidità si possono verificare quindi nel caso in cui sia stata fatta una cattiva progettazione e installazione dei teli traspiranti o delle barriere vapore, oppure nel caso di errata progettazione del nodo di attacco tra la fondazione e la parete in legno.

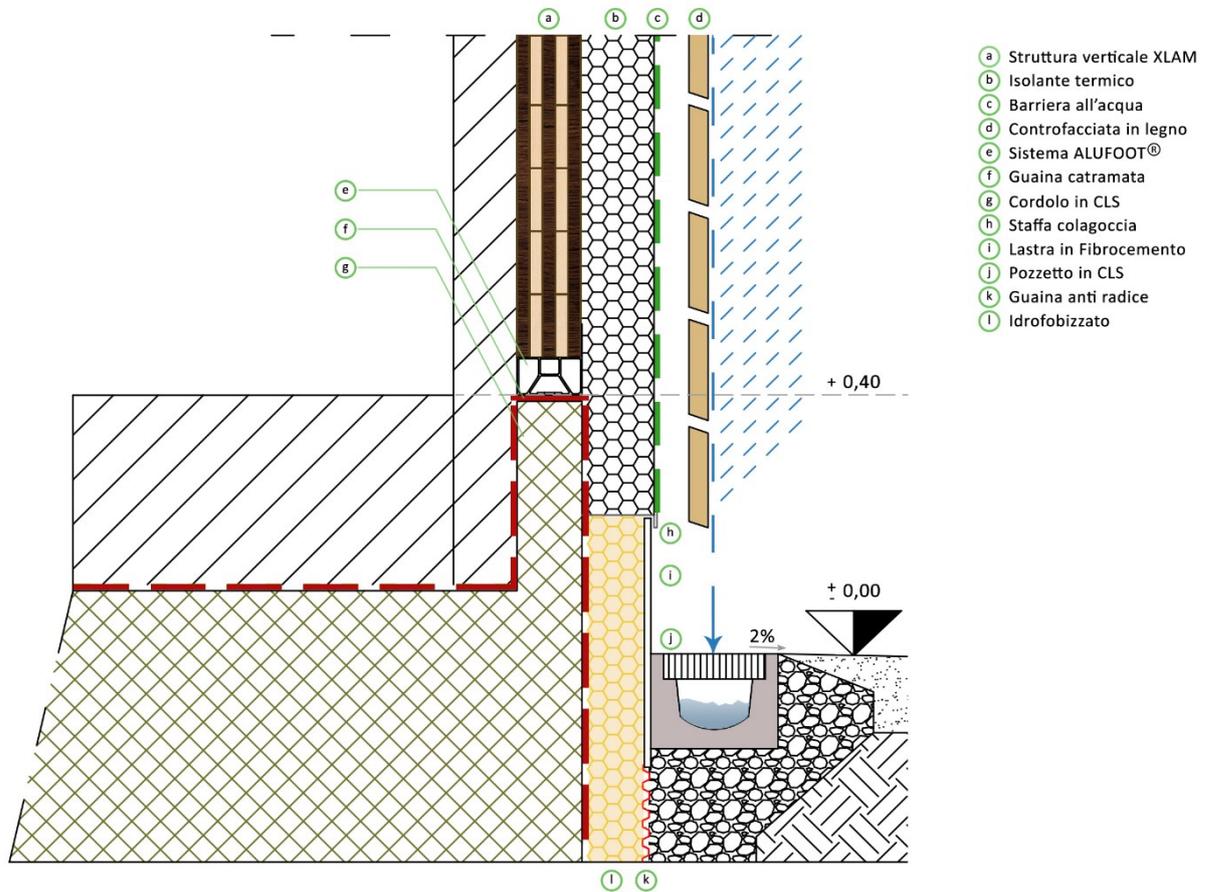
Compreso che il problema alla base della marcescenza e del degrado del legno nell'attacco del nodo a terra è il contatto tra legno e terreno o calcestruzzo, la soluzione sostanzialmente risiede nella separazione tra legno e elemento che conduce umidità, per questo motivo può essere risolutiva anche la **realizzazione di edifici staccati da terra** ossia edifici in cui il primo solaio sia ad almeno quaranta o cinquanta centimetri dal piano del terreno, applicazione già ritenuta vantaggiosa in un caso di analisi studiato precedentemente più nel dettaglio; questa tipologia di edificio ha il solo difetto che potrebbe scontrarsi con le precise condizioni in riferimento alle

barriere architettoniche presenti nella normativa italiana, eventualmente risolvibile tramite inserimento di apposite rampe ben studiate.

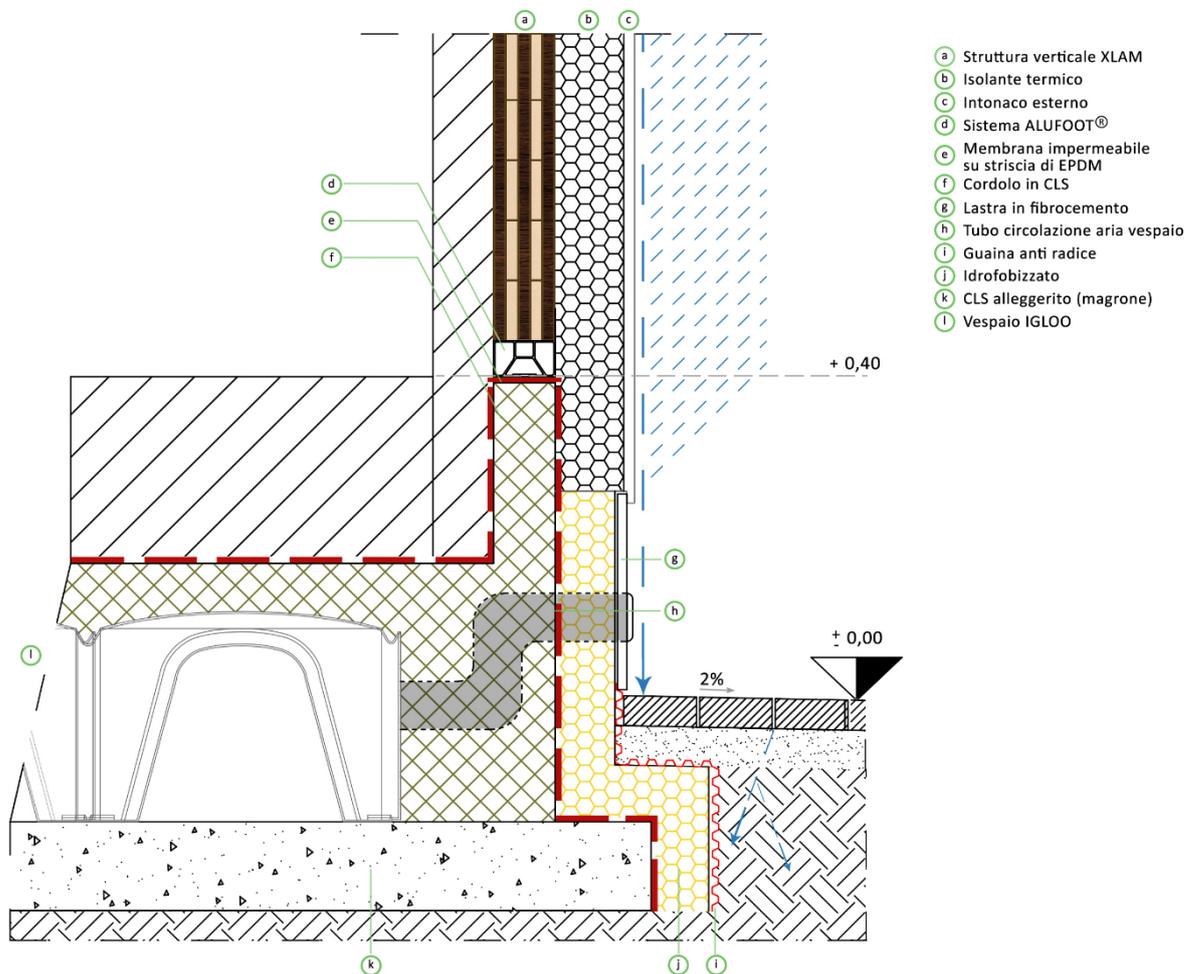
Al termine dell'analisi del primo e principale nodo tecnologico ritenuto critico per la maggiore possibilità di essere attaccato da degrado, innescato con alta probabilità da una fonte di umidità, visti anche i casi problematici osservati durante la ricerca di edifici e le offerte del mercato sotto questo punto di vista, andiamo a proporre alcune soluzioni tecnologiche per una applicazione corretta del materiale ligneo nel punto dell'attacco a terra: la proposta di soluzioni vuole essere una raccolta di indicazioni riflettendo l'aspetto teorico sull'aspetto pratico progettuale con la finalità di evitare che si possano riproporre situazioni di durabilità compromessa e limitata.



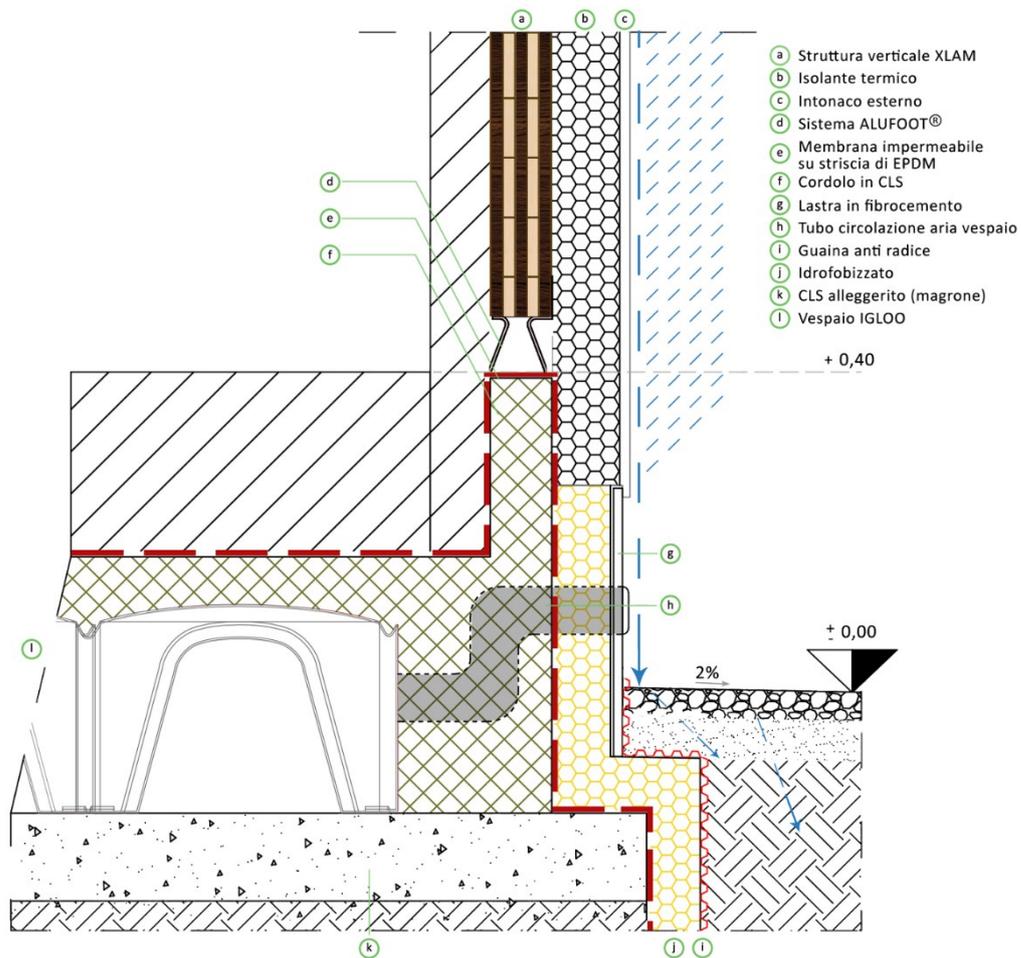
Soluzione di attacco a terra di una parete in X-LAM: nodo tecnologico che mostra la soluzione con cordolo a rialzo in cui la parete non poggia direttamente su un elemento a contatto con il terreno, ma si tratta invece di una parete rialzata aggettante. Il cordolo in CLS risulta coperto dalla guaina che risvolta nella maniera corretta rispetto alla parete in legno e le permette di respirare evitando il verificarsi di eventuali fenomeni di ristagno di umidità con possibile sviluppo di marcescenza dell'elemento ligneo. La staffa cola goccia permette il deflusso dell'acqua proveniente dall'esterno con la raccolta che avviene esternamente nella ghiaia, anche grazie alla pendenza del terreno - elaborazione degli autori



Soluzione di attacco a terra di una parete in X-LAM: nodo tecnologico che mostra la soluzione con cordolo in CLS inguainato con la parete che poggia su cordolo ventilato metallico, caso in cui la parete non poggia a contatto con il cordolo direttamente ma il rialzo metallico permette una continua ventilazione. La soluzione in facciata è una soluzione di facciata ventilata con retrostante barriera all'acqua con un punto di raccolta dell'acqua in pozzetto a terra esterno e presenza di staffa cola goccia. Il cordolo in CLS risulta coperto dalla guaina che risolve nella maniera corretta - elaborazione degli autori



Soluzione di attacco a terra di una parete in X-LAM: nodo tecnologico che mostra l'attacco a terra della parete con vespaio a igloo e pavimentazione esterna in autobloccante con pendenza necessaria per l'allontanamento dell'acqua. La soluzione ha il cordolo in CLS inguainato correttamente con la parete che poggia su cordolo ventilato metallico, caso in cui la parete non poggia a contatto con il cordolo direttamente ma il rialzo metallico permette una continua ventilazione – elaborazione degli autori



Soluzione di attacco a terra di una parete in X-LAM: nodo tecnologico che mostra l'attacco a terra della parete con vespajo a igloo e pavimentazione esterna in ghiaia con pendenza necessaria per l'allontanamento dell'acqua. La soluzione ha il cordolo in CLS inguainato correttamente con la parete che poggia su cordolo ventilato metallico, caso in cui la parete non poggia a contatto con il cordolo direttamente ma il rialzo metallico permette una continua ventilazione - elaborazione degli autori

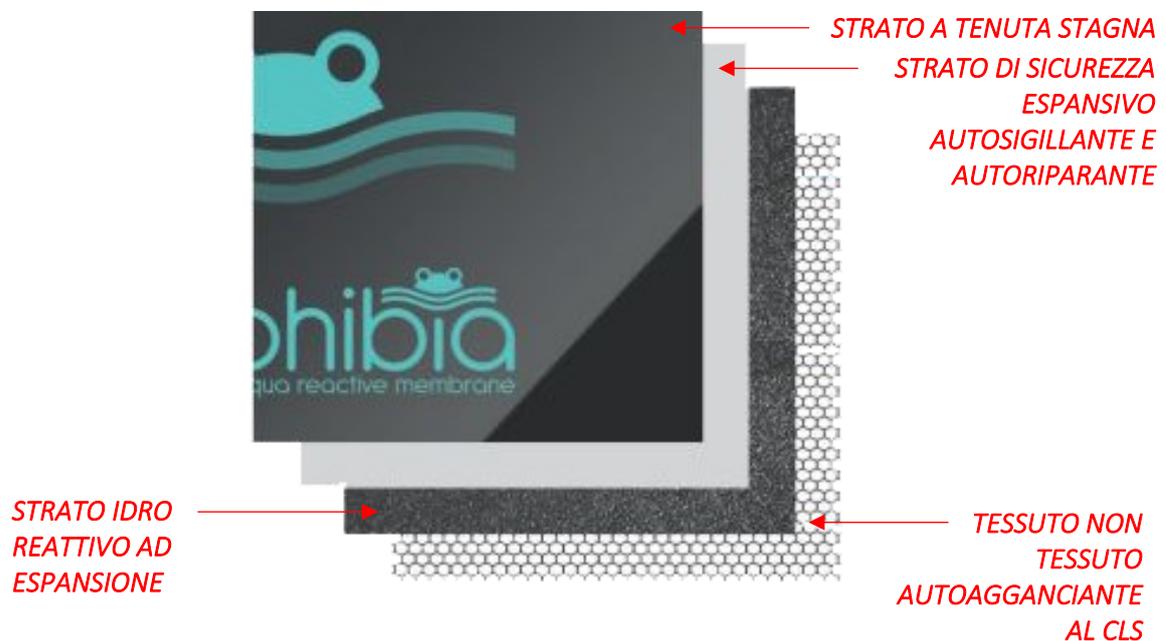
Per quanto riguarda l'attacco tra fondazione e parete lignea il fenomeno ostile principale è l'umidità alla quale si può fronteggiare solamente tramite una buona e studiata **impermeabilizzazione**, per questo è stata una grande opportunità il confronto con un tecnico della ditta Volteco che è una azienda leader che lavora in questo settore: insieme si è cercato di comprendere se prodotti solitamente applicati per il trattamento di materiali differenti, in particolare strutture in calcestruzzo, potessero essere utilizzabili su strutture lignee e come queste soluzioni impermeabilizzanti potessero coniugare la risoluzione di un nodo generalmente problematico per la durabilità e tutti quei criteri considerati fino a questo momento nell'analisi.

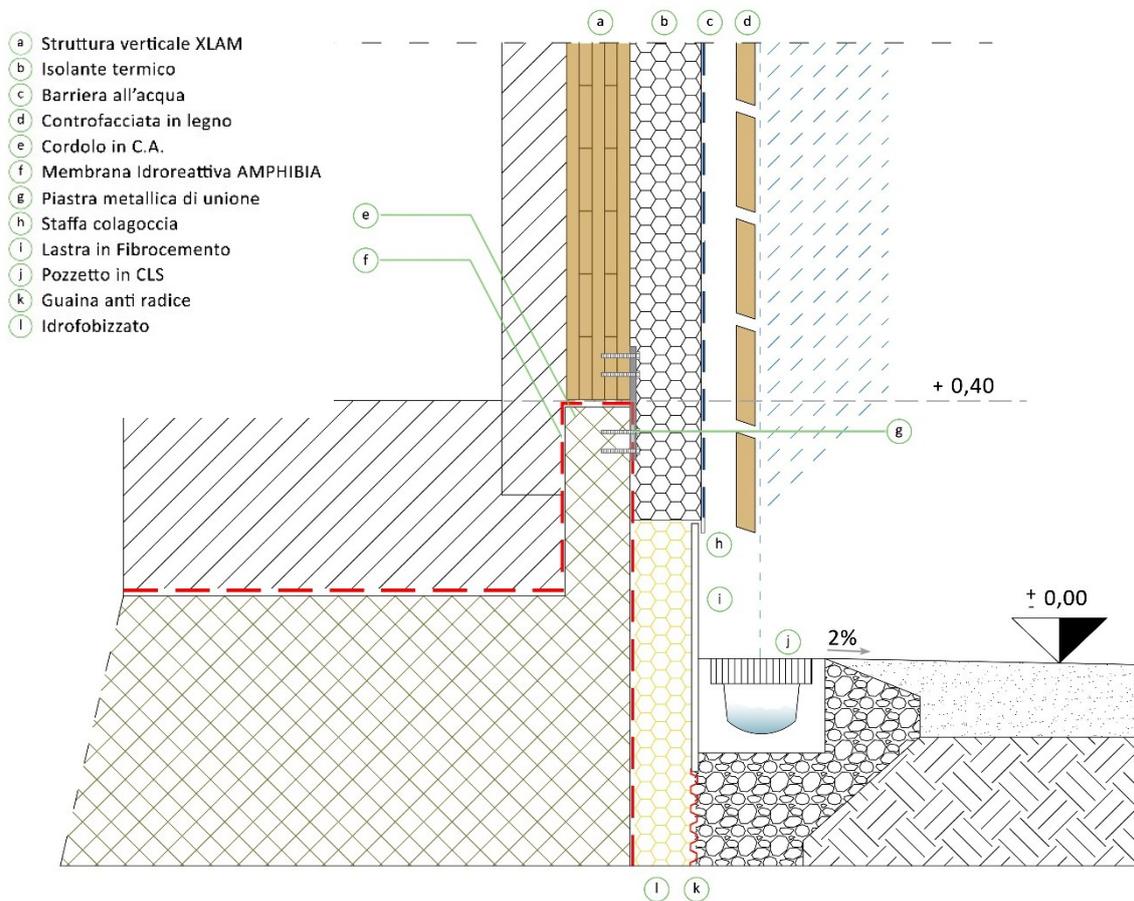
Il punto di incontro è stato trovato con lo studio di un particolare tecnologico con l'applicazione della membrana impermeabile Amphibia 3000 in grado di reagire in caso di contatto con l'acqua con **proprietà di idro reattività** ed capace di auto-ripararsi e auto-sigillarsi in caso di foratura: si tratta di un materiale polimerico multistrato applicabile come manto continuo a contatto con il calcestruzzo della fondazione grazie al tessuto auto-agganciante, esso è costituito da uno strato di barriera a tenuta stagna, un cuore che forma lo strato di sicurezza espansivo auto sigillante e auto riparante in caso di foratura e una barriera idro reattiva ad espansione controllata. La membrana nel caso in cui entri a contatto con l'acqua è in grado di rigonfiare ed espandersi assicurando una efficace impermeabilizzazione della struttura lignea, che in questo caso viene poggiata direttamente su questa membrana grazie proprio alle peculiarità del prodotto Amphibia, evitando l'inserimento di elementi metallici per un sistema ventilato con un sicuro abbattimento dei costi e dei tempi di posa o l'inserimento, già sconsigliato, di una radice.

Nella soluzione proposta la membrana impermeabile della Volteco viene applicata con finalità di **protezione ed impermeabilizzazione del cordolo in calcestruzzo** nel nodo dell'attacco a terra della parete lignea, punto in cui è richiesto un **continuo contatto tra struttura e impermeabilizzante** in modo tale che il materiale ligneo non possa mai entrare in contatto con l'umidità.

Nella ipotetica soluzione proposta l'impermeabilizzazione con Amphibia si trova ad avere continuità con il prodotto Amphibia grip, una membrana impermeabile in EPDM reattiva al

contatto con l'acqua anche essa auto-riparante, auto-sigillante e soprattutto auto-aggiungente al calcestruzzo mediante uno speciale tessuto non tessuto che consente l'adesione meccanica della membrana alla struttura, applicato nella fase di pre-getto, ossia contro cassero nella parte verticale; inoltre i fori che bucano l'impermeabilizzazione come fissaggio delle piastre, come si osserva nella rappresentazione del particolare, devono essere sigillati con mastice idoneo come Akti-Vo BS composto da bentonite di sodio e gomma butilica.





Soluzione di attacco a terra di una parete in X-LAM: nodo tecnologico che mostra la soluzione con cordolo a rialzo in cui la parete non poggia direttamente su un elemento a contatto con il terreno grazie a cordolo in CLS rivestito mediante sistema Amphibia 3000 - elaborazione degli autori

14.2.2. Le coperture e le terrazze: l'importanza delle impermeabilizzazioni

La proposta progettuale della struttura di copertura è piuttosto diversificata all'interno del panorama delle aziende che operano nel settore dell'edilizia in legno con soluzioni tecnologiche in cui compaiono svariati materiali, dalla lana di roccia alla fibra di legno fino alla fibra di vetro, arrivando per soluzioni con EPS o XPS abbinati a freni al vapore e guaine che molto spesso possono provocare danni legati alla durabilità.

All'origine delle applicazioni delle strutture lignee, si può ben comprendere come la principale preoccupazione dei progettisti fosse quella di non permettere l'ingresso di acqua esterna dalla copertura, quell'elemento molto esposto e il primo a venire in contatto con l'acqua in caso di agenti atmosferici avversi: in particolare l'apprensione riguardava la presenza di acqua in quegli ambienti posti subito inferiormente alla copertura non riscaldati e privi di qualsiasi isolamento con la alta possibilità di sviluppo di infiltrazioni che non avrebbero avuto modo di asciugare con facilità creando fattori ostili alla durabilità dell'opera edilizia.

Con il passare del tempo e un po' di esperienza in più, oltre ad una conoscenza man mano più approfondita in materia, gli edifici progettati attualmente, spesso ad alte prestazioni energetiche, applicano nell'elemento della copertura la duplice funzione di **protezione dall'acqua degli ambienti interni e buona gestione del vapore interno**: essa deve non solo proteggere l'ambiente interno, ma anche essere traspirante favorendo la fuoriuscita di vapore acqueo dagli ambienti interni verso l'esterno in modo tale da garantire un adeguato tasso di umidità interno per creazione di un ambiente salubre.

In una stratigrafia di una copertura non possono mancare elementi quali il freno al vapore, strato necessario per regolare la cosiddetta permeabilità al vapore, ossia la quantità di vapore all'interno del pacchetto tecnologico permettendo all'isolante di non saturarsi fino alla creazione di una condensa sotto forma di acqua deteriorando l'isolante stesso, l'isolante infatti è un altro elemento imprescindibile nella stratigrafia ed esso deve avere una struttura fibrosa e porosa, oltre il telo traspirante che serve per la protezione dall'acqua essendo completamente impermeabile e per la protezione dell'isolante da eventuali specie animali come insetti o roditori: questi sono gli elementi stratigrafici fondamentali in un pacchetto

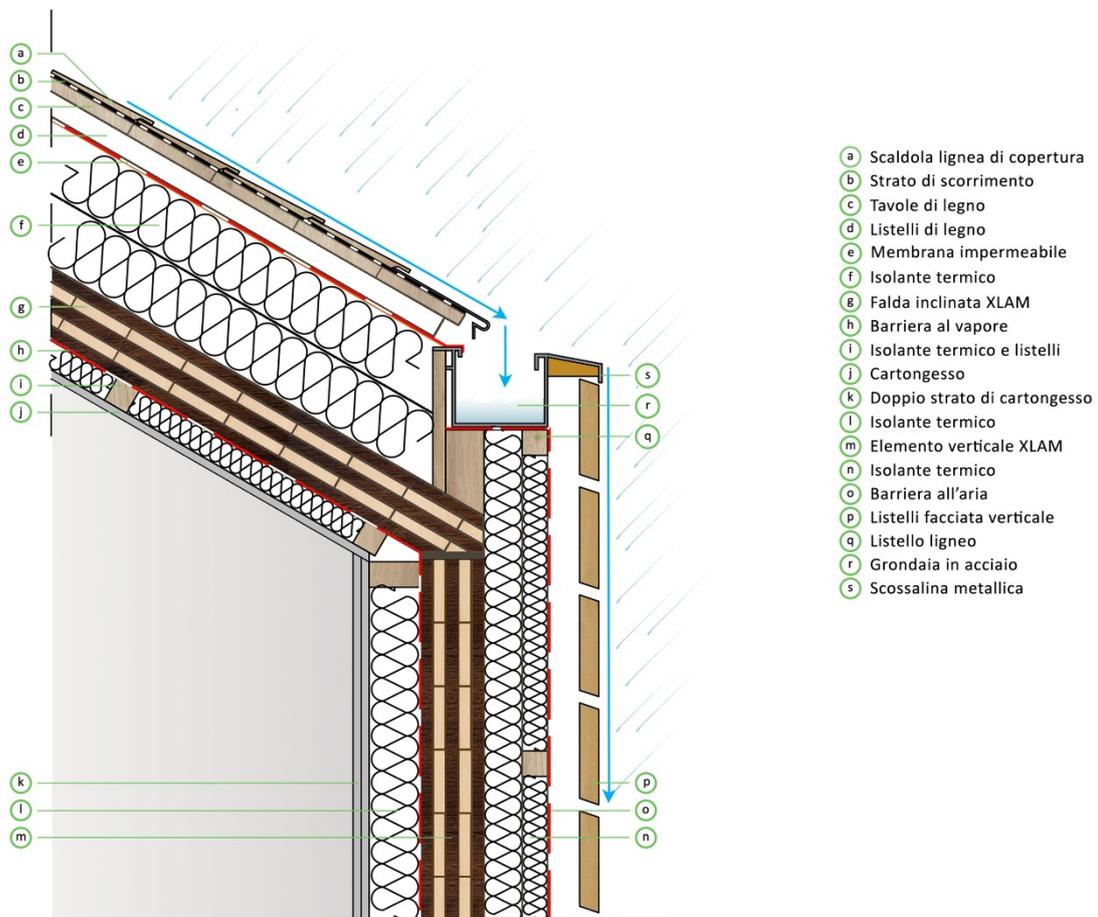
tecnologico di copertura concepito correttamente, corredati da una micro aerazione e dal manto di copertura vero e proprio.

Una tipologia di copertura molto diffusa è quella delle coperture piane, tipologia edilizia che appartiene principalmente a climi poco piovosi poiché è molto difficile trovare tetti piani senza problemi di infiltrazioni, causate fondamentalmente dalla progettazione e dalla posa errata delle guaine bituminose di impermeabilizzazione.

Il tema delle impermeabilizzazioni è ugualmente delicato per quanto concerne l'elemento dei terrazzi nei quali una stratigrafia scorretta e teli impermeabili risvoltati non nella maniera adeguata possono portare gravi problemi di ristagno e accumulo di acqua, problematiche molto simili a quelle riferite alle coperture con le soluzioni adottate che, come nel caso degli elementi precedenti, risultano essere insoddisfacenti in molte applicazioni.

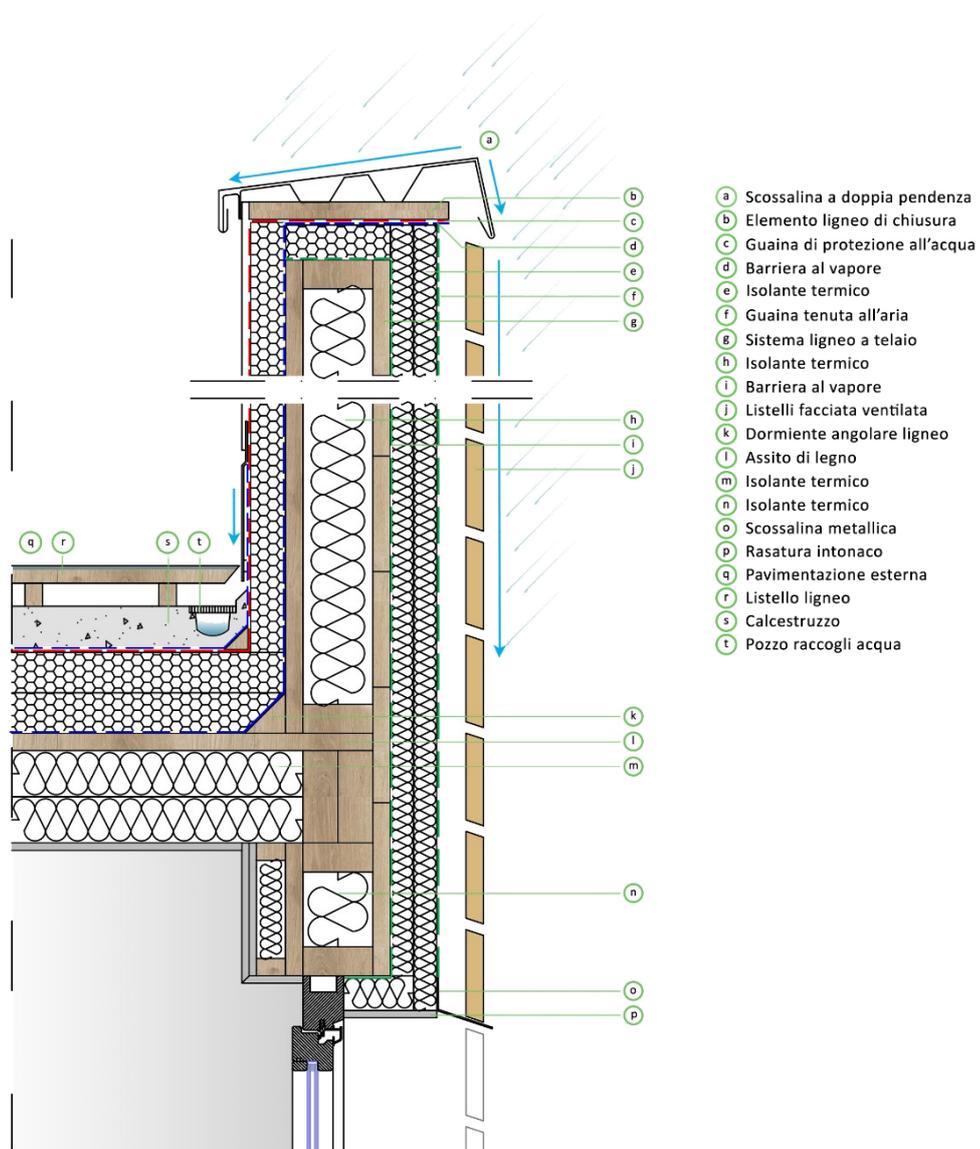
Quando si tratta di superfici orizzontali esposte è necessario operare con grande consapevolezza sia durante la fase di progettazione, al fine dell'individuazione delle possibili problematiche che potrebbero scaturire da una errata scelta tecnologica, tenendo sempre conto della durata prevista del manufatto, sia durante la fase esecutiva in cui la presenza di un direttore lavori esperto diventa fondamentale per il controllo della corretta posa di tutti gli elementi.

Anche al termine della generale analisi della possibile problematica connessa alla durabilità dell'edificio ligneo dipendente dalle impermeabilizzazioni, in particolare applicabili sugli elementi di copertura e sulle terrazze, sempre tenendo conto dei casi presi in esame durante la ricerca, vengono proposte un paio di soluzioni tecnologiche per ogni elemento ritenute corrette nell'applicazione a scongiurare la riproposizione di situazioni di durabilità compromessa nel tempo.

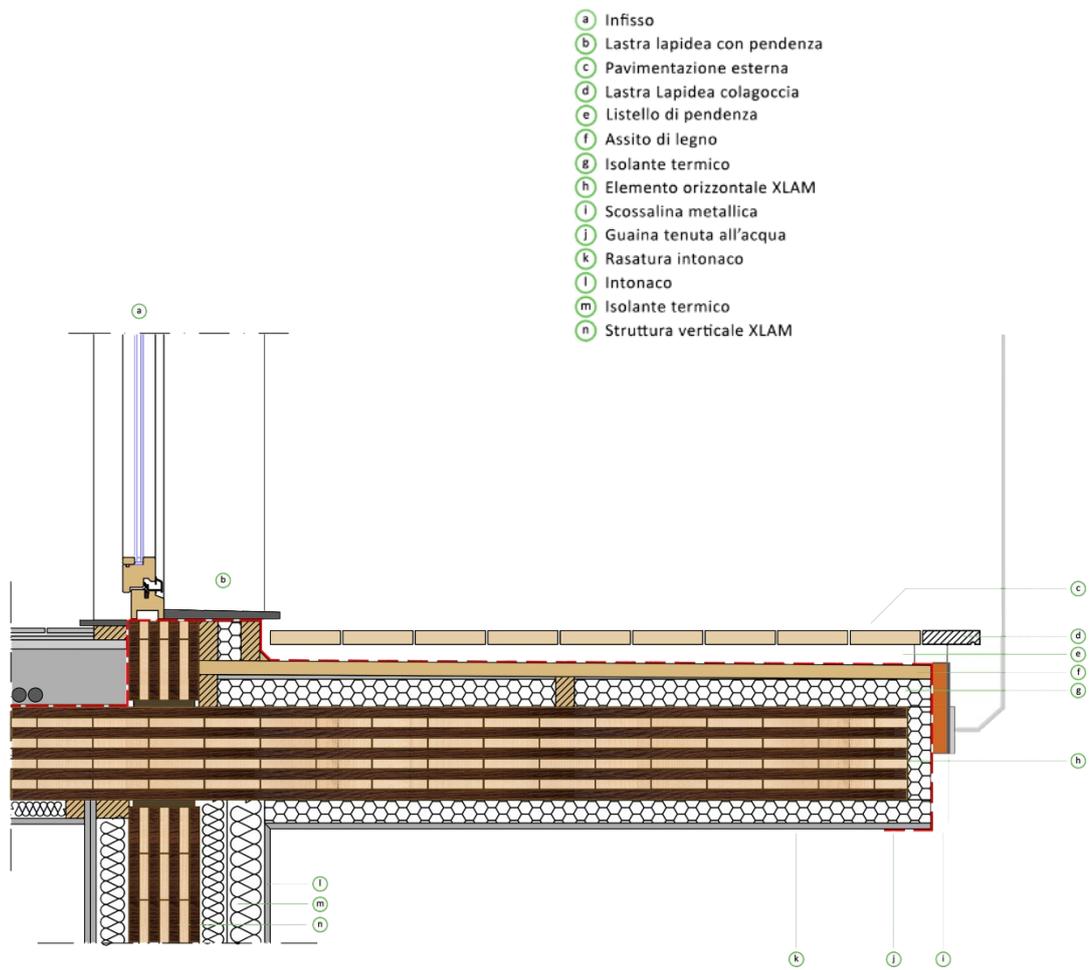


- a Scaldola lignea di copertura
- b Strato di scorrimento
- c Tavole di legno
- d Listelli di legno
- e Membrana impermeabile
- f Isolante termico
- g Falda inclinata XLAM
- h Barriera al vapore
- i Isolante termico e listelli
- j Cartongesso
- k Doppio strato di cartongesso
- l Isolante termico
- m Elemento verticale XLAM
- n Isolante termico
- o Barriera all'aria
- p Listelli facciata verticale
- q Listello ligneo
- r Grondaia in acciaio
- s Scossalina metallica

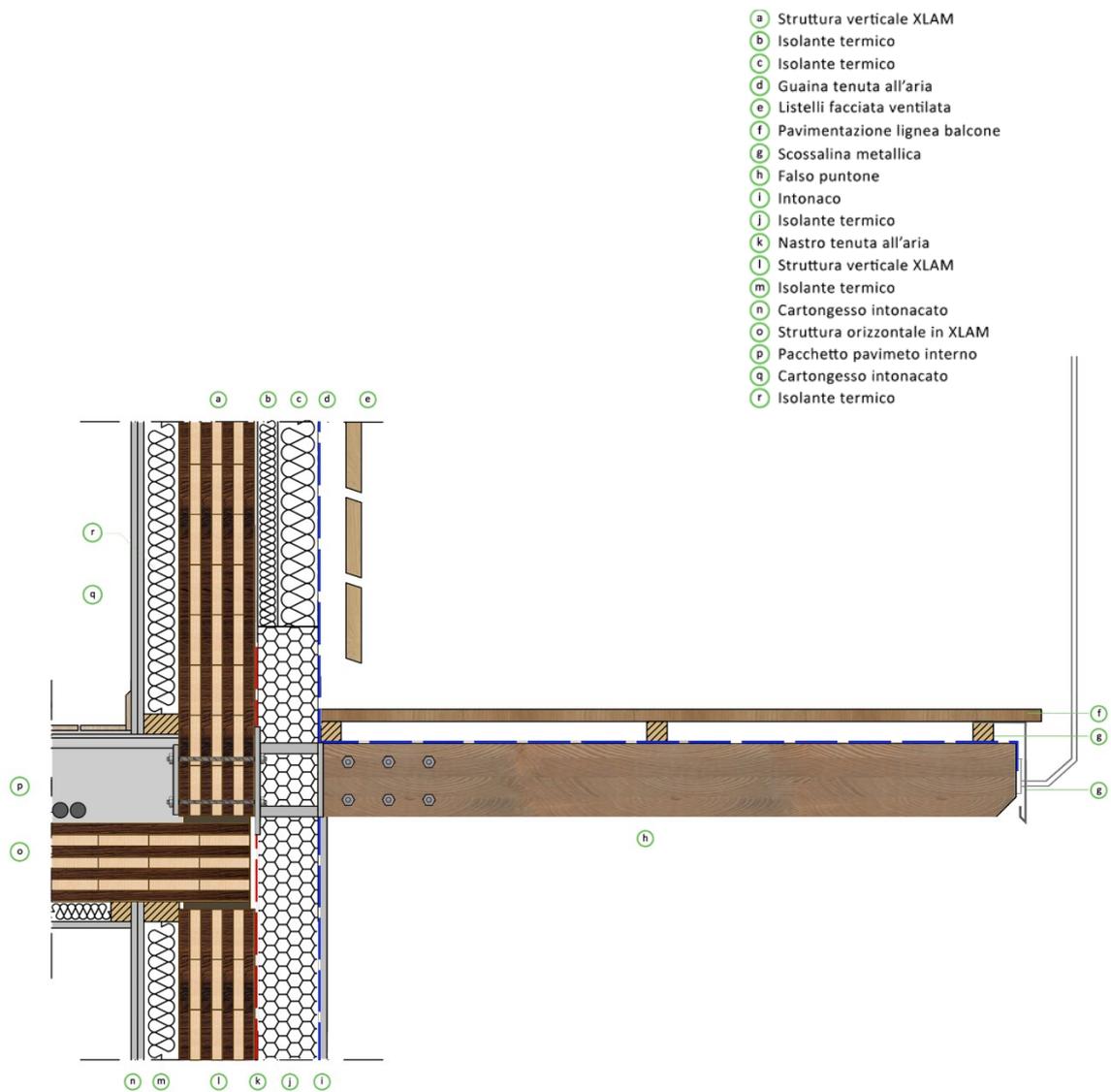
Soluzione di attacco tra parete in X-LAM mascherata da listellatura lignea in facciata e copertura inclinata: nodo tecnologico che mostra la stratigrafia della copertura con il corretto posizionamento degli strati impermeabili e di strato di barriera al vapore e dell'isolamento e come viene gestita l'acqua insistente eventualmente su di essa – elaborazione degli autori



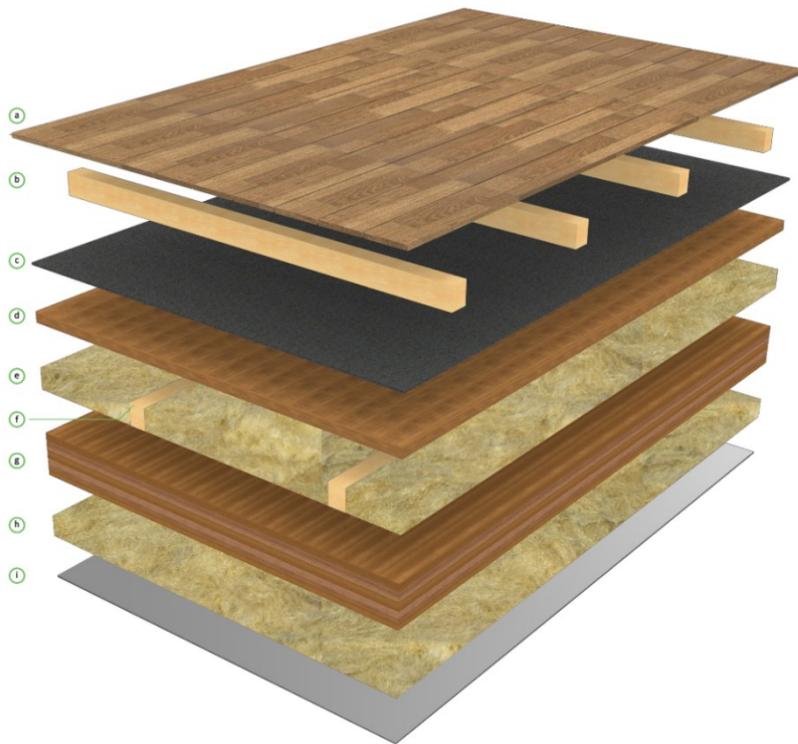
Soluzione di risoluzione del nodo della copertura piana che mostra la stratigrafia della copertura con il corretto posizionamento delle guaine impermeabili e dell'isolamento e come l'acqua incidente e accumulata su di essa può essere raccolta e smaltita - elaborazione degli autori



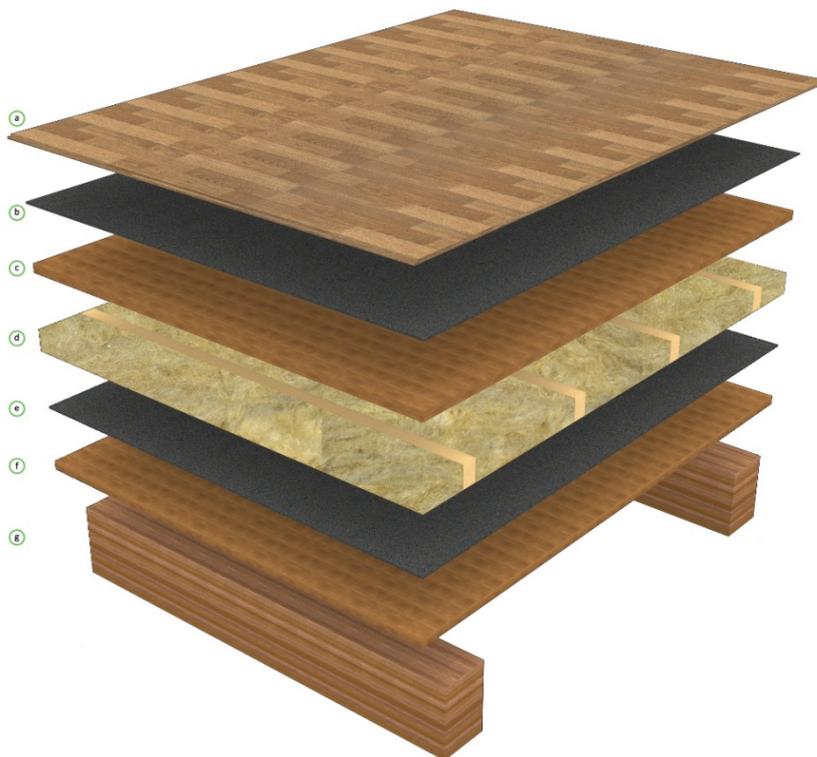
Soluzione di risoluzione del nodo del balcone con elemento in XLAM continuo nella quale, onde evitare il ponte termico, l'isolante ricopre e risvolta lungo tutto l'elemento ligneo – elaborazione degli autori



*Soluzione di risoluzione del nodo del balcone con elemento lamellare distinto rispetto alla struttura in X-LAM della struttura
- elaborazione degli autori*



- a Pavimentazione esterna
- b Listelli di rialzo della pavimentazione
- c Membrana impermeabilizzante
- d pannello di pendenza in OSB
- e Isolante termico
- f Listelli di legno di pendenza
- g Pannello di XLAM a 5 strati
- h Isolante termico
- i Intonaco esterno



- a Pavimentazione esterna
- b Membrana
- c Membrana impermeabilizzante
- d pannello di pendenza in OSB
- e Isolante termico
- f Listelli di legno di pendenza
- g Pannello di XLAM a 5 strati
- h Isolante termico
- i Intonaco esterno

Schematizzazione delle soluzioni di stratigrafia di terrazzo esterno – elaborazione degli autori

La regola delle 4D: Deflection, Drainage, Drying, Durability

Nella cultura anglosassone, per la valutazione della durabilità delle strutture in legno e al fine del raggiungimento di una corretta gestione dell'umidità, è applicata la regola delle 4D: Deflection (deviazione o pendenza), Drainage (drenaggio), Drying (asciugatura) e Durability (durabilità).

La **pendenza** indica la conformazione di un elemento per far subire all'acqua una **deviazione** atta a garantire la raccolta degli accumuli d'acqua: spesso nel caso dei tetti piani o terrazze la pendenza viene creata solitamente nell'ultimo tratto verso l'esterno, mentre sarebbe buona norma mantenere pendenza compresa tra il 5% e l'8% lungo tutta la struttura.

Il **drenaggio** è la possibilità che deve avere un elemento in legno di poter allontanare e smaltire completamente l'acqua che eventualmente si potrebbe accumulare nel suo intorno o che viene raccolta in seguito alla propria deviazione.

Per l'**asciugatura** è un prerequisito che ci sia una ventilazione sufficiente adatta per fare in modo che un elemento in legno una volta bagnato possa ritornare alle condizioni iniziali di umidità in breve tempo rilasciando l'acqua accumulata attraverso la ventilazione e la diffusione del vapore acqueo: si è già affrontato il tema della traspirazione del pacchetto tecnologico della copertura in particolare, che quindi non deve essere sigillato e privato del contatto con l'aria per asciugare e per far sì che non si inneschi un principio di degrado da marcescenza del legno.

Infine valutiamo la durabilità intesa come **durabilità naturale** del legno soprattutto nei punti più critici, quindi nei casi in cui siano previste applicazioni di elementi strutturali in legno in ambienti in cui non sia possibile garantire totale controllo dell'acqua, come ad esempio gli ambienti esterni ed esposti, è consigliabile l'utilizzo di legni pretrattati o provenienti da specie arboree particolarmente durabili.

14.2.3. I rivestimenti esterni e i serramenti

Un altro tema importante è quello legato ai rivestimenti, la storia degli edifici in legno ha dimostrato come la loro nascita sia stata guidata da una concezione di costruzione con il legno a contatto con l'ambiente completamente privi di un rivestimento con il legno a vista,

successivamente è stato ampiamente utilizzato il sistema della parete ventilata, metodo valido perché permette comunque la traspirabilità e la ventilazione del legname sottostante, pur proteggendolo dagli agenti esterni, negli ultimi anni sono infine arrivati i rivestimenti a cappotto, nati per edifici in muratura e adattati nell'applicazione su quelli in legno.

Il rivestimento esterno accostato alla struttura lignea può essere in molteplici materiali, dalla fibra di legno che ha ottime caratteristiche estive, invernali e acustiche ma facilmente attaccabile da marcescenza a contatto con l'acqua, la lana di roccia che ha buone caratteristiche invernali, discrete estive e pessime dal punto di vista acustico, ma a differenza del primo è idrofobo e per questo se si bagna non marcisce ma al contrario tende ad allontanare l'acqua nella direzione più comoda, ossia quella del legno, con il risultato che se si bagna non marcisce l'isolante ma la struttura: questo dimostra come anche i rivestimenti esterni possano portare ad una durabilità limitata, soprattutto a causa di errori commessi nella fase di posa del cappotto, e come potrebbe essere preferibile l'utilizzo di isolanti di origine vegetale come il sughero piuttosto che sintetici, scelta già applicata da molte aziende.

Nel caso di situazioni problematiche sul cappotto, che tendenzialmente avrà assorbito umidità come reso evidente in molteplici casi studiati precedentemente, il risanamento avviene generalmente rimuovendo il cappotto esistente e lasciando asciugare le pareti strutturali, se sane, procedendo poi in seguito con la posa di una nuova cappottatura con il suo strato superficiale di rivestimento della rasatura, che idealmente dovrebbe essere traspirante e avere buona tenuta all'acqua, ma nella realtà ciò non accade a causa dell'esecuzione errata poiché spesso la rasatura si trova a presentare cavillature per ritiro causate da ridotto spessore nella posa dello strato, con il conseguente passaggio di aria e acqua e possibile formazione di muffe, oppure non vengono eseguiti correttamente i giunti con battiscopa e soglie o tra davanzale e parete.

Il nodo di attacco tra serramento, davanzale e parete, eventualmente cappottata, quindi è uno dei nodi che potenzialmente può dare molti problemi e l'utilizzo di materiali non idonei non fa altro che complicare ulteriormente il delicato dettaglio: definendo come prerogativa necessaria che il davanzale deve essere diviso in due parti tra esterno ed interno, nodo già affrontato in

un caso di analisi precedente, per non generare un ponte termico, e che il serramento deve essere posizionato più esternamente possibile, le problematiche principali sono legate al fatto che i davanzali devono avere una pendenza verso l'esterno e non verso l'interno per evitare l'accumulo dell'acqua con il serramento che può rappresentare la via d'accesso per l'acqua. Un ulteriore punto critico può essere considerato nella giunzione laterale con la rasatura del cappotto, come accennato prima, infatti, appena in seguito all'applicazione della rasatura in punti di discontinuità, questi ultimi sembrano sigillati e a prova di infiltrazione, ma spesso dopo qualche tempo si verifica una fessurazione con passaggio di aria e acqua portando a tutti i problemi ad esso connessi: per ovviare a queste possibili infiltrazioni è bene proteggere il punto di contatto tra il davanzale e il legno con dei materiali a tenuta all'acqua come guaine liquide applicate a pennello o teli traspiranti, soluzioni supportate comunque da una buona progettazione dei particolari architettonici.

14.2.4. Gli impianti

Gli attacchi impiantistici rappresentano un problema per gli edifici in legno nel momento in cui non vengono considerati in fase progettuale, si è visto poc'anzi come la tenuta all'acqua e all'aria ricoprono un ruolo fondamentale, siccome le parti più delicate sono rappresentate da tutti quei passaggi tra l'interno e l'esterno che, se non vengono opportunamente sigillati possono costituire la causa di gravi problemi dell'edificio, infatti è fondamentale risvoltare e trattare correttamente ciascun telo impermeabile presente con le interruzioni e i passaggi impiantistici che vanno meticolosamente nastrati in seguito ad un buon studio del progetto per una corretta generale gestione degli impianti presenti in un edificio.

01

ANALISI DI UN CASO
DI EDIFICIO CON
PROBLEMATICHE
CONNESSE ALLA
DURABILITA' A CAUSA
DEI PASSAGGI
IMPIANTISTICI

Destinazione d'uso:
RESIDENZIALE

Tipologia costruttiva:
**SISTEMA A TELAIO IN
X-LAM**



Struttura lignea di pavimento fortemente compromessa a causa di una marcescenza diffusa a causa degli attacchi impiantistici che hanno causato presenza di umidità assorbita successivamente dal legno: fase di misurazione del livello di umidità presente – fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'ingegner Franco Piva di Ergodomus



Struttura lignea di pavimento e parete verticale fortemente compromessa a causa di una marcescenza diffusa a causa degli attacchi impiantistici che hanno causato presenza di umidità assorbita successivamente dal legno – fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'ingegner Franco Piva di Ergodomus



Struttura lignea di pavimento e parete verticale fortemente compromessa a causa di una marcescenza diffusa a causa degli attacchi impiantistici che hanno causato presenza di umidità assorbita successivamente dal legno: i segni evidenti sulla struttura mostrano un attacco da parte di organismi lignivori con perdita di efficienza da parte del legno – fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'ingegner Franco Piva di Ergodomus



Fasi di taglio e misurazione del livello di umidità presente all'interno del legno che ha subito una riduzione della sua durabilità a causa di infiltrazioni d'acqua per le soluzioni impiantistiche errate adottate – fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'ingegner Franco Piva di Ergodomus

In questo caso di analisi ci si concentra sulla durabilità del manufatto compromessa a causa degli impianti, in particolare a causa di una perdita accidentale per la rottura della piletta di scarico del piatto doccia della quale non ci si è resi conto per lungo tempo, che poi ha mostrato i danni direttamente sul legno della struttura con un abbassamento del pavimento dopo alcuni mesi con una distanza tra il pavimento e il battiscopa rimasto stabilmente fisso alla parete.

Le immagini mostrano il momento del taglio nel pavimento con la motosega per eseguire un prelievo di un campione di legno X-LAM da testare manualmente per verificare ed analizzare la profondità della zona colpita da marcescenza e valutare le condizioni della porzione ancora sana: l'intervento ha richiesto un certo impegno per la complessità poiché si è precedentemente dovuto far asciugare il legno per uno spessore di diversi centimetri tramite sistemi di deumidificazione e un ventilatore per movimentare l'aria continuamente posizionati all'interno della stanza dentro la stanza.

La problematica della messa in fuori servizio della piletta di scarico del piatto doccia in realtà è un tema che ci si trova a dover risolvere piuttosto frequentemente ed è spesso causata in fase di realizzazione dalla errata posa e connessione con l'impianto di scarico: essa porta ad una infiltrazione di acqua in zone nascoste sotto il piano del pavimento, fenomeno del quale ci si accorge anche molto tempo successivamente rispetto all'origine della infiltrazione con un cedimento del piano di pavimento anche per uno scorretto uso di materiali facilmente comprimibili presenti nel sottofondo.

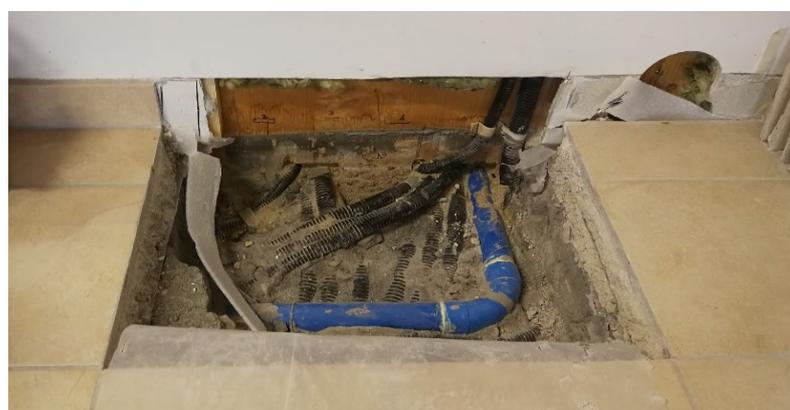
Un successivo caso mostra una durabilità compromessa del manufatto sempre a causa della perdita impiantistica che, come mostrato nelle immagini a seguire, ha portato al marcimento del legno della parete in X-LAM posta sotto il livello del terreno, punto in cui è avvenuta una copiosa perdita interna dagli impianti con accumulo di acqua nel vespaio areato.

02

ANALISI DI UN CASO
DI EDIFICIO CON
PROBLEMATICHE
CONNESSE ALLA
DURABILITA' A CAUSA
DEI PASSAGGI
IMPIANTISTICI

Destinazione d'uso:
RESIDENZIALE

Tipologia costruttiva:
**SISTEMA A TELAIO IN
X-LAM**



Struttura lignea della parete verticale in X-LAM colpita da marcescenza a causa della perdita degli impianti sotto il livello del pavimento: fase di misurazione del livello di umidità presente – fotografie fornite dal professionista incaricato dei lavori, l'ingegner Franco Piva di Ergodomus

14.2.5. Le giunzioni

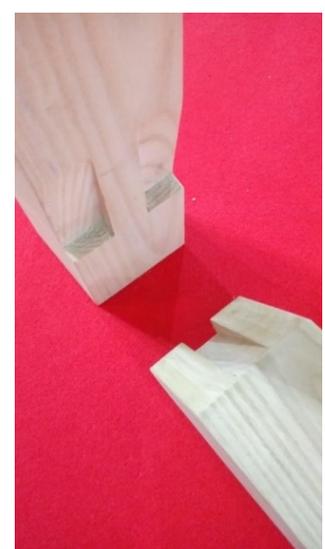
Un aspetto che è emerso essere oggetto di attenzione durante la progettazione è la problematica dei giunti che si riscontra con l'esposizione delle superfici di contatto fra diversi elementi nelle strutture, risolvibili tramite l'inserimento di accessori e elementi per lo più metallici, oppure la soluzione innovativa degli incastri.

Con l'obiettivo di risolvere le complesse tematiche della durabilità limitata del legno occorre andare alla radice dell'utilizzo del materiale ligneo nel costruire e quindi analizzare con attenzione anche la maniera nella quale si connettono i pezzi di legno: ricordando che il legno ha una struttura fibrosa e anisotropa, si può sfruttare questo potenziale producendo asportazioni nei punti di connessione al fine di ottenere vincoli da compenetrazione con una massimizzazione della solidità strutturale garantita tramite l'aumento delle sezioni del materiale. Un altro modo utilizzato da sempre per cercare di sfruttare le potenzialità del legno abbiamo visto essere i tradizionali accessori metallici con l'assenza del rischio di stratagliamento possibile nell'applicazione precedente, pur restando una via giuntativa più spiccia e, a volte, di carattere integrativo con l'insorgere di problemi differenti quali possibile minore resistenza al fuoco in caso di incendio, micro condensa se si tratta di piastre, o sviluppo di ruggine e innesco del fenomeno della corrosione.

La geometria a-poliedrica nella concezione degli elementi

Nel corso di un progetto sperimentale in occasione di Roma Expo Edilizia 2012, il professor Ragazzo Felice, il quale si occupa di design sperimentando tecniche lignee innovative, grazie alla collaborazione con il centro Legnomeccanica, ha studiato una soluzione nella quale il contatto tra gli elementi lignei stessi risulta essere esso stesso il componente di separazione e giunzione privo di spigoli o vertici, tra un pezzo concavo ed uno convesso di legno, per "mettere il materiale dove serve e risparmiarlo dove non serve": in questo sistema di incastri **natura e tecnologia si conciliano spontaneamente nel legno** infatti le novità in campo produttivo sono potenzialmente infinite grazie ai centri di lavoro, alla tecnologia BIM e alla stampa 3D.

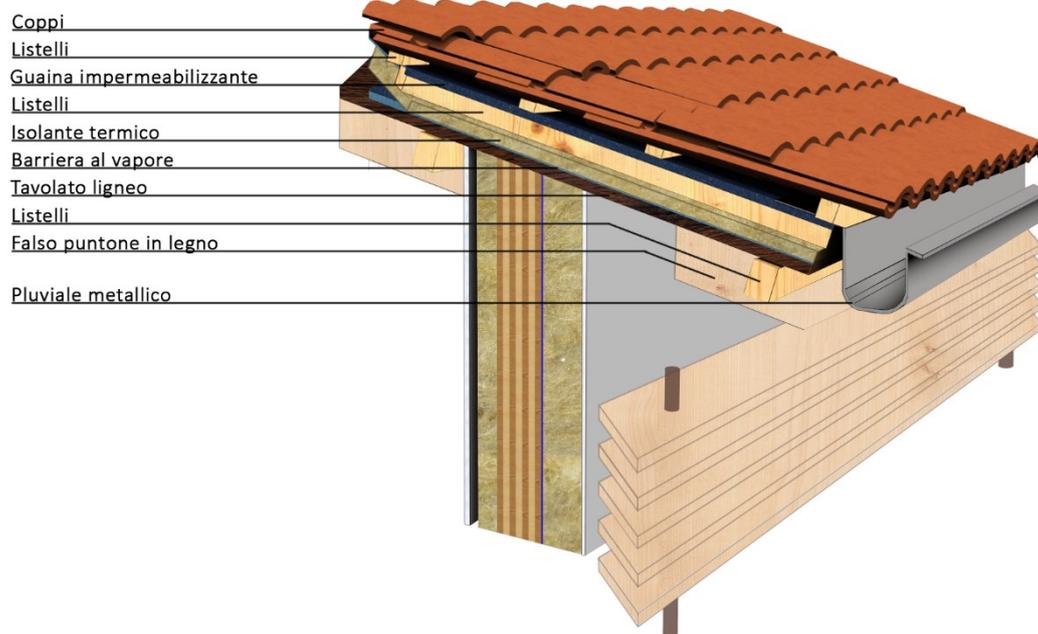
Secondo il professor Ragazzo, docente alla Sapienza di Roma, la geometria poliedrica rigida e razionale, dura e spigolosa, è un limite che preclude ogni possibile espressione apoliedrica possibile grazie alla tecnologia computerizzata: con le attuali lavorazioni a controllo numerico, unitamente ai nuovi montaggi robotizzati, si può avere un forte salto di qualità nell'applicazione del legno in senso costruttivo con pezzi lavorati su CNC sempre più accurati e molto lisci che potranno permettere probabilmente di rivoluzionare la concezione tradizionale delle giunzioni tra elementi.

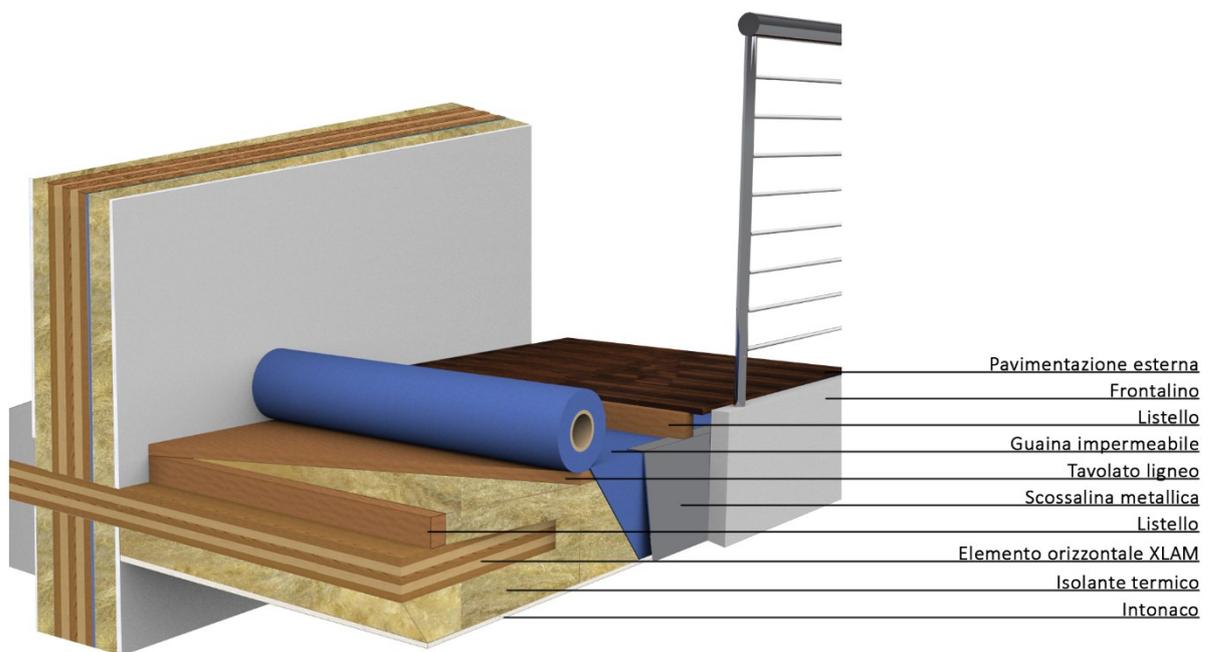
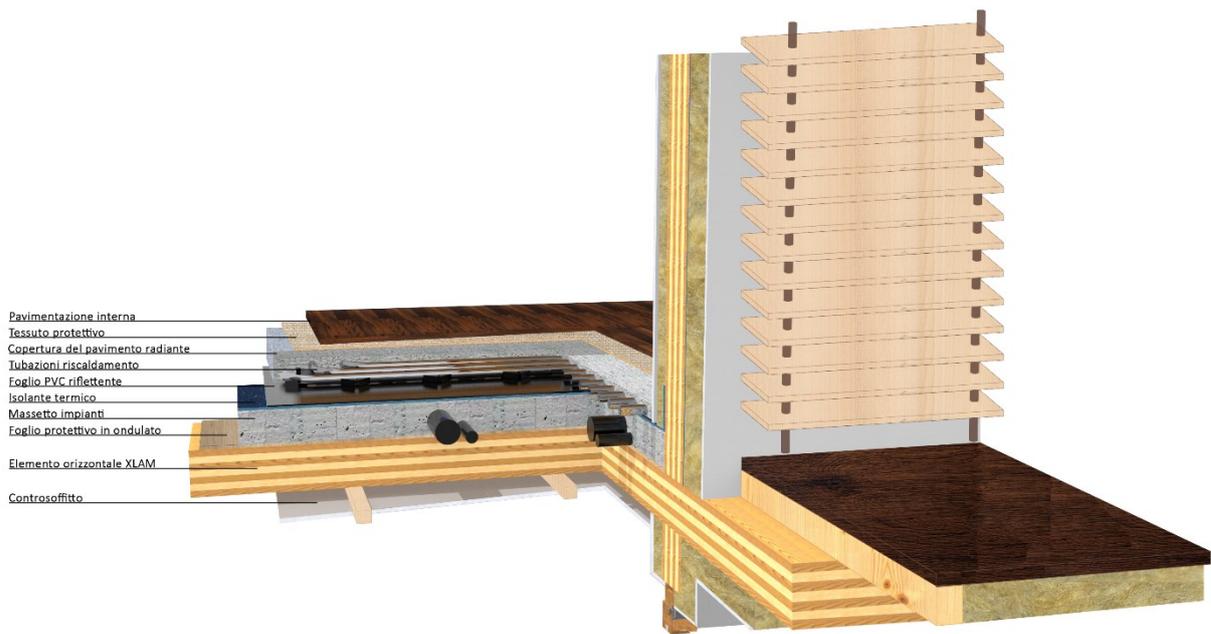


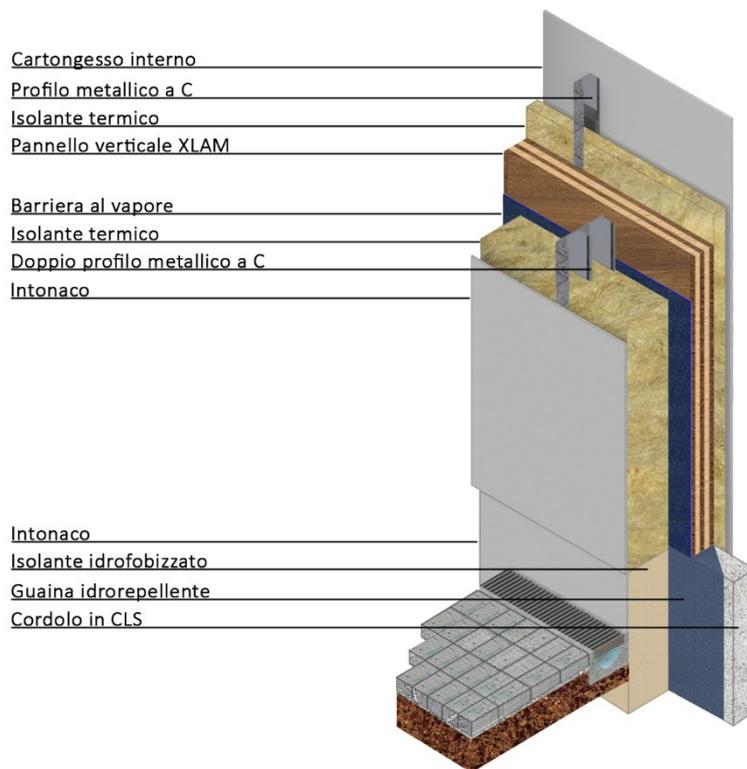
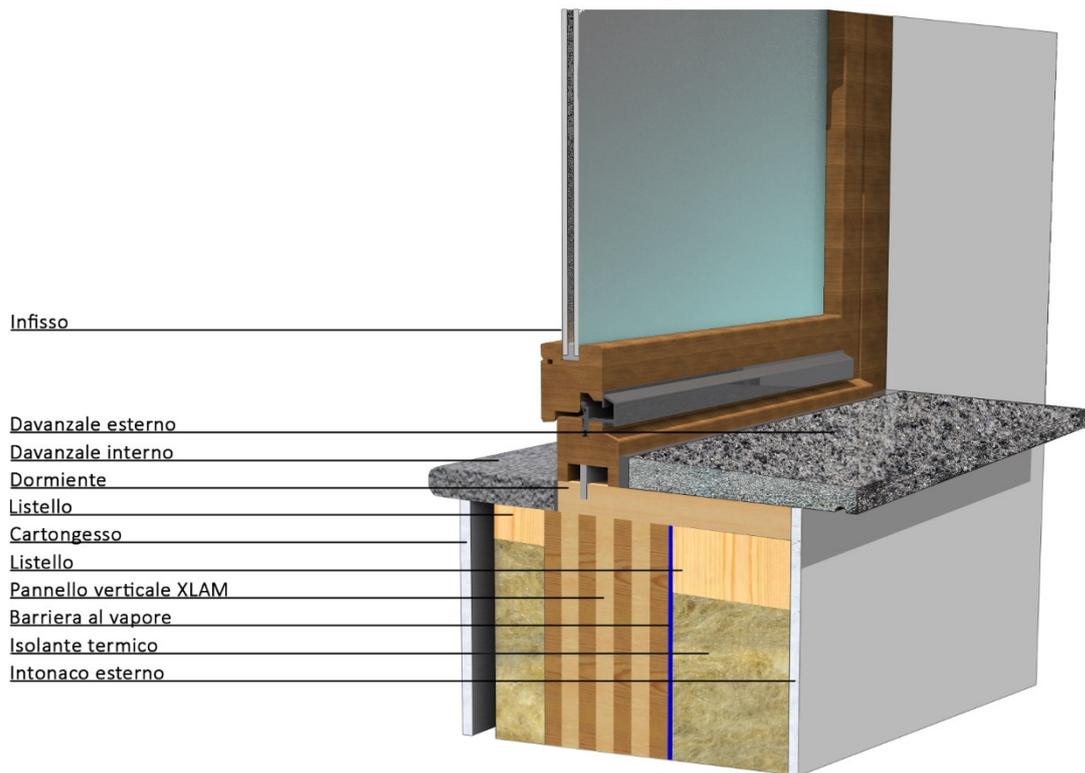
Fotografie degli autori scattate in occasione dell'evento Restructura 2019 a Torino grazie all'esposizione e al lavoro del Gruppo Qualità Legno

Ripercorrendo il percorso condotto durante la ricerca di tesi si può sintetizzare in alcuni passaggi principali, abbiamo cercato di analizzare il comportamento del materiale legno e i suoi vantaggi e svantaggi, per poi passare all'argomento centrale della durabilità partendo da aspetti più teorici per essere successivamente in grado di analizzare nella maniera migliore possibile i casi presi in esame con occhio critico e valutando correttamente gli errori commessi e infine ci si è concentrati sui nodi ritenuti più problematici con una proposta di alcune risoluzioni di questi punti più soggetti a degrado in una struttura lignea: tutto il percorso è stato ricco di incontri ed esperienze dirette nell'ambito della produzione, della cantierizzazione e della fase post costruzione dell'opera con il supporto di figure disponibili e competenti.

A conclusione del lavoro proponiamo ancora alcuni dettagli di un edificio ipotetico modellato tridimensionalmente nei quali ci si è prefissati di applicare nella maniera più dettagliata possibile la conoscenza che il percorso ci ha permesso di accumulare.







CONCLUSIONI

Nella progettazione è fondamentale valutare la durabilità del materiale legno: ogni materiale degradabile o addirittura biodegradabile come il legno in qualità di elemento di origine vegetale, deve essere inserito in un'ampia visione di durabilità della costruzione.

Occorre ridurre gli effetti o impedire l'innesco e lo sviluppo dei degradi che limitano la durabilità di un'opera con una protezione del legno secondo i principi e i metodi necessari per i quali può essere un buon supporto la normativa e le norme legate alla durabilità del legno, oltre che alle regole costruttive di progetto.

La verifica di un progetto implica la verifica della durabilità con quest'ultima che diviene a pieno titolo un criterio di progetto e un aspetto da valutare fin dalle prime fasi progettuali.

In considerazione della zona geografica e quindi del clima di un certo luogo di costruzione o di intervento, il grado di esposizione di un manufatto edilizio agli agenti atmosferici, il rischio di attacchi biologici e chimici, è necessaria una certa **attitudine progettuale e di protezione nei confronti di un edificio in legno** con l'individuazione del livello di durabilità e del livello di protezione che pretende un certo edificio.

Gli effetti rilevanti in fase di progetto da valutare sono la scelta della specie legnosa adatta che risulta essere la prima misura di protezione del manufatto, l'assorbimento dell'acqua, l'effetto di essiccazione, l'effetto della quantità di acqua e l'effetto in base alla specie legnosa utilizzata, oltre l'effetto della manutenzione (pulizia, intervento tempestivo in caso di danni, trattamenti), delle condizioni in servizio, imprevisti causati dalla naturale biodegradabilità del materiale, la progettazione corretta tramite dettagli costruttivi il più possibile favorevoli, la manutenzione e il risanamento in caso di eventi o elementi problematici.

Elemento fondamentale per il lavoro di tesi svolto è consistito nella partecipazione ad interventi inerenti al tema dell'edilizia connessa al materiale legno.

Durante il percorso di tesi è stato possibile partecipare al seminario proposto dalla Proklima a Biella che ha affrontato i temi connessi alle strategie e tecnologie connesse alla progettazione con il legno con una valutazione anche dell'aspetto normativo, dell'integrazione tra forma e struttura con la messa in luce del peso che deve essere dato al corretto dimensionamento

strutturale degli elementi, dell'aspetto energetico e sostenibile legato alla costruzione in legno e alla presentazione di casi studio di edifici multipiano in legno; particolarmente interessante è poi risultata la partecipazione alla visita della Segheria Valle Sacra a Castellamonte in provincia di Torino che è sede del Centro Espositivo dei prodotti in legno del Canavese puntando alla continua promozione del territorio locale e della filiera corta del legno con la lavorazione e l'utilizzo nel settore edile della specie locale del castagno come una opportunità con una indicazione delle ricadute e dei risvolti in ambito costruttivo ed economico al fine di una valorizzazione globale del territorio sottolineando l'importanza delle certificazioni del legname come una scelta responsabile e sostenibile.

Un focus più approfondito sull'innovazione del serramento di legno è stato poi possibile grazie al seminario Fenestram presso il Politecnico di Torino durante il quale è stato illustrato come anche elementi come i serramenti in legno possano essere una scelta sostenibile che mira alla qualità ambientale e che vede il settore edilizio come ambito strategico relativamente alle tematiche della sostenibilità ambientale anche grazie alla caratteristica del legno della possibilità di assemblaggio completamente a secco.

Infine, vista l'importanza del tema relativo al costruire locale e alla regionalità dei prodotti lignei che si vanno ad utilizzare con la ricaduta sulla sostenibilità ambientale, già comunque insita nel materiale di origine vegetale ligneo, è stato stimolante poter prendere parte all'evento organizzato dal Gruppo Qualità Legno con la collaborazione del professor Felice Ragazzo dove si sono affrontati i temi della costruzione attuale in legno, della potenzialità dell'industria di oggi grazie ai progressi con l'ingegnerizzazione dei prodotti a base legno e del processo produttivo, dell'analisi degli impatti durante tutto il ciclo di vita del materiale legno in considerazione del suo basso impatto ambientale, evento al quale è intervenuto anche l'ingegnere Franco Piva di Ergodomus Timber Engineering grazie al quale abbiamo potuto approfondire il lavoro per quanto riguarda casi legati alla durabilità del materiale ligneo.

A completamento di questo ciclo di conferenze ed interventi, abbiamo visitato l'azienda VASS Technologies specializzata in case e strutture in legno che ha perfezionato la propria esperienza nel campo della prefabbricazione.

La partecipazione a questi interventi è stata la base per un successivo e parallelo approfondimento dei casi studio legati alla durabilità illustrati nella trattazione: figure esperte

del settore sono state la guida per uno studio dei casi analizzati, a partire dall'architetto Giampiero Cavallo e dal professor Franco Laner, oltre il team della Proklima, delle aziende Soltech, Legno Smart e Volteco, con la disponibilità dei proprietari dei vari edifici presi in considerazione durante le analisi necessarie.

I casi studio con l'osservazione degli errori legati alla durabilità, oltre l'analisi di tutti quegli agenti e fattori che riducono e limitano la durabilità di un edificio, sono stati la base e il punto di partenza per la proposta di soluzioni di restauro e intervento o consolidamento di strutture lignee con problematiche: in alcuni casi partendo dalle soluzioni proposte dai progettisti o aziende chiamati ad intervenire sugli elementi degradati e in altri casi approfondendo la soluzione di nodi risultati problematici proprio osservando gli edifici considerati durante la nostra ricerca.

La proposta di soluzioni vuole essere una raccolta di indicazioni per una corretta progettazione con la finalità di evitare che si possano riproporre situazioni di durabilità compromessa e limitata a causa di uno sviluppo di degrado sulle componenti e sugli elementi in legno che compongono un edificio.

È importante osservare le soluzioni del passato come possibilità per la proposta del nuovo grazie al supporto dello sviluppo di tecnologie e sistemi innovativi nati e messi a punto nel tempo, che sono sicuramente l'ausilio e il supporto per un miglioramento rispetto al passato.

Al termine del lavoro svolto, e confrontando gli scopi prefissati ed i risultati ottenuti, occorre ammettere che la ricerca dei casi studio di analisi non è stato semplice ed immediato e la quantità di edifici multipiano con delle problematiche relative alla durabilità è certamente molto ampia, nonostante spesso questo aspetto si tenda a nascondere, difficoltà che si è riflessa nel numero di casi esaminati, considerabili riduttivi rispetto alla casistica complessiva ma sufficienti per una analisi dei nodi tecnologici più a rischio di una durabilità limitata nel tempo.

Una valutazione critica rispetto ai risultati ottenuti potrebbe essere quella di cercare sempre più a fondo il reale motivo dell'innescò di un degrado, seppur non si tratti di un tema semplice

quello di ammettere dei limiti nelle costruzioni a causa degli errori illustrati in tutta trattazione, comprendendo poi successivamente come eventualmente sono stati risolti i nodi tecnologici ed i particolari problematici.

Un possibile ulteriore sviluppo della ricerca quindi potrebbe essere la perseveranza nella ricerca di casi per una analisi e una raccolta il più possibile ampia di edifici con problemi legati alla durabilità con l'obiettivo di puntare ad una risoluzione definitiva tramite soluzioni nate dalla conoscenza, principale e primo elemento fondamentale nella progettazione e requisito fondamentale per ogni professionista e progettista che si accinge a lavorare un materiale naturalmente biodegradabile ma ricco di vantaggi come il legno.

BIBLIOGRAFIA

Agli insetti piacciono le opere d'arte. Degrado, difesa e conservazione, Giovanni Liotta, Edimed, 2007

Anatomie des Holzes, Rudi Wagenfuhr, Fachbuchverlag Leipzig DWR, 1999

Appunti per le costruzioni in legno: normativa, progettazione e buone pratiche di cantiere, a cura dell'Ufficio Tecnico Assolegno, 2017

Atlante del legno. Guida ai legnami del mondo, Aidan Walker, Hoepli, 2019

Case in legno, a cura di Nicola Braghieri, Federico Motta Editore Milano, 2004

Danni e difetti delle costruzioni in legno, Alex Merotto, Maggioli, 2017

Davide Maria Giachino, Legno. Manuale per progettare in Italia, Utet Torino, 2013

Durabilità del legno, Sabrina Palanti, Dario Flaccovio Editore, 2013

Durabilità e manutenzione delle strutture in legno, a cura di Studiodeda, edizioni Ticom Srl Piacenza, 2011

Edifici multipiano in legno a pannelli portanti X-LAM, Agostino Presutti, Dario Flaccovio Editore, 2014

Idee costruttive per solai e tetti in legno, Franco Laner, Flap Edizioni Verona, 2008

Il legno. Materiale e tecnologia per progettare e costruire, Franco Laner, Utet, 2012

Il Ponte dell'Accademia permanenza del provvisorio, Franco Laner, Libreria Cluva Editrice, 2018

Il restauro delle strutture di legno, Franco Laner, Grafill Palermo, 2011

Legno. Calcolo degli elementi strutturali, Antonio Cirillo, 2019

Manuale del legno strutturale, Laura Bardella, Ario Ceccotti, Luca Uzielli, Mancosu Editore, 2008

Progettare sistemi di drenaggio del terreno, Francesco Martinelli

Sempre più in alto!, a cura di Giorgio Bignotti

Strutture in legno. Materiale, calcolo e progetto, Roberto Modena, Maurizio Piazza, Roberto Tomasi, Hoepli Milano, 2005

Tecnica delle costruzioni in legno, Guglielmo Giordano, Hoepli Milano, 2003

Tecnica delle costruzioni in legno, Guglielmo Giordano, Hoepli Milano, 1999

Tecnologia del legno - Vol.1, La materia prima, Guglielmo Giordano, Utet Torino, 1981

Tecnologia del legno - Vol.3, La materia prima, Guglielmo Giordano, Utet Torino, 1981

Thomas Herzog, Julius Natterer, Michael Volz, Grande atlante di architettura, Atlante del legno, Utet Torino, 1999

Wood – Legno, Gribaudo Savigliano, 2005

SITOGRAFIA

Michele Brunetti, Consiglio nazionale delle ricerche IVALSÀ, Caratteristiche fisiche del legno: specie legnose e durabilità

www.archdaily.com

www.archiportale.com

www.architetturaecosostenibile.it

www.arketipomagazine.it

www.bosshard-farben.ch

www.empa.ch

www.ergodomus.it

www.eurolegnoclima.com

www.federlegnoarredo.it

www.feliceragazzo.it

www.fsc-italia.it

www.giordano.it

www.gliocentrici.it

www.gruppoqualitalegno.org

www.idsingegneria.it – *Durabilità degli edifici a struttura portante in legno, Agostino Presutti*

www.infobuild.it

www.legnoarchitettura.com

www.legnosmart.it

www.pefc.it

www.powerbuildusa.com

www.progettosofie.it

www.promolegno.com - *Promo_legno: Corso base: l'uso del legno nelle costruzioni – Protezione del legno, Andrea Bernasconi*

www.promolegno.com - *Promo_legno: Corso base: l'uso del legno nelle costruzioni – Il materiale legno, Andrea Bernasconi, Gerhard Schickhofer, Katja Fruhwald, Gianluigi Traetta*

www.promolegno.com - *Promo_legno: Corso base: l'uso del legno nelle costruzioni – Il legno e il fuoco. Intervento di Massimo Del Senno, Maurizio Piazza*

www.promolegno.com - *Promo_legno: Corso di approfondimento: edifici di legno – Edifici XLAM e il fuoco. Intervento di Maurizio Follesa*

www.promolegno.com - *Promo_legno: Costruire in sicurezza in zona sismica. Il contributo del legno. Intervento di Alessandro Lacedelli*

www.promolegno.com - *Promo_legno: Il progetto SOFIE. Intervento di Ario Ceccotti*

www.promolegno.com - *Promo_legno: Progetto C.A.S.E. – Complessi Antisismici Sostenibili ed Ecocompatibili – Il futuro del legno in edilizia. Intervento di Lorena De Agostini*

www.proteksrl.it

www.stile21.it – Manuale tecnico Stile21

www.unicreditpavilion.it

www.waldwissen.net

www.webandmagazine.com

www.woodbeton.it

www.woodlab.info

RIFERIMENTI NORMATIVI

Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni». (dette NTC 2018) (GU n.42 del 20-2-2018 - Suppl. Ordinario n. 8), capitolo 7.7 e capitolo 11.7

CNR-DT 206 R1/2018, "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno"

Regolamento (UE) n. 995/2010 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 20 ottobre 2010

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Architettura per il Progetto Sostenibile

Tesi di Laurea Magistrale
L'ARCHITETTURA DI LEGNO:
il progetto consapevole tra limiti, conoscenza e innovazione



Relatore:

Prof. Davide Maria GIACHINO

Co-relatore:

Prof. Gustavo AMBROSINI

Candidato:

Andrea SONCIN – s250623

Anno accademico 2019/2020

SOMMARIO

INTRODUZIONE

LA TENDENZA DEGLI EDIFICI MULTIPIANO

Le realizzazioni del Centro – Nord Europa

L'impulso dell'Housing sociale

**Esempi di edifici multipiano in legno
nello scenario europeo ed internazionale**

Bridport House

Brock Commons Tallwood House

Complesso Limnologen

E3 Berlin

Forté Living

Murray Grove – Graphite Apartments o Stadthaus

Holz8

Mjøstårnet o Mjøsa Tower

Puukuokka Housing Block One

Strandparken Building

Banyan Wharf Apartments – The Cube Building

Torri di Rundeskogen

LA DURABILITA' NEGLI EDIFICI MULTIPIANO

La riconoscibilità di un edificio in legno: la dicotomia

Il caso del Metropol Parasol a Siviglia in Spagna

Il caso dell'Auditorium del Parco della Musica a L'Aquila in Italia

Il caso del Muritzzeum a Waren in Germania

Il caso dell'Interims Audimax a Monaco di Baviera in Germania

INTRODUZIONE

Costruire di legno: un gioco da ragazzi ma non da tutti.

Il panorama Europeo dell'architettura offre diversi esempi pratici di come i professionisti hanno saputo accettare la sfida e realizzare edifici residenziali in legno e non solo.

In questa tesi sono stati analizzati i punti cardine dell'architettura di legno, partendo dalle regole della buona progettazione. Seppur datata la regola delle 4D è molto attuale, ma non è sempre di semplice attuazione. Infatti l'abolizione di un oggetto come quello di una copertura, espone l'edificio ad un possibile rischio di degrado.

I materiali di rivestimento e le strutture portanti sottostanti potrebbero subire danni ingenti andando a compromettere la vita dell'edificio, o nella migliore delle ipotesi, richiedere degli interventi di manutenzione straordinaria.

Il progettista dovrà quindi adottare tutte le precauzioni per evitare l'insorgenza del degrado che, nel caso delle strutture lignee, potrebbe essere molto rilevante.

La progettazione della morfologia dell'edificio è sicuramente determinante per garantire la durabilità all'edificio, ma anche un buon piano di montaggio, una protezione dell'involucro e una costante manutenzione, una corretta messa in opera degli elementi, tenendo sempre in considerazione la classe di servizio dell'edificio (UNI EN 335).

La durabilità è senz'altro legata alla qualità costruttiva, all'impiego di accorgimenti tecnici adeguati e all'applicazione intelligente dell'innovazione tecnologica, che offre soluzioni potenzialmente utili al progettista, a condizione che vi sia sempre una contestualizzazione attenta e approfondita. L'uso del legno richiederà, più di altri materiali, una conoscenza approfondita che dovrà guidare tutto il processo.

Negli ultimi anni si sono fatti passi da gigante nella tecnologia connessa all'industria delle costruzioni, con l'introduzione di soluzioni innovative, come ad esempio i nuovi sistemi di appoggio a terra mediante cordoli metallici ventilati, in sostituzione dei morali o radici di legno. L'obiettivo, comunque è sempre lo stesso: garantire il rispetto della vita nominale dell'edificio fissato dalle norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018), riducendo al minimo l'impatto delle manutenzioni nel corso del tempo.

Gli edifici contemporanei di legno si differenziano, rispetto al passato, per le modalità di impiego dei rivestimenti esterni, che possono risultare di natura completamente diversa, come ad esempio di metallo o di vetro, generando una sorta di dicotomia tra struttura e involucro, tra ciò che è portante e ciò che appare all'esterno.

La progettazione di un involucro di legno, non dovrà mai prescindere da ragionamenti legati alla progettazione della durabilità. Sarà il progettista a dover scegliere la soluzione più adeguata al caso specifico, ponderando le caratteristiche del luogo, le condizioni ambientali, la specie legnosa, i trattamenti superficiali, la presenza di sporti o volumi di protezione (morfologia), optando per una scissione o meno della pelle di facciata rispetto al sistema costruttivo.

Le realizzazioni nel Centro-Nord Europa

Il panorama edilizio del centro e nord Europa offre particolari e numerosi ottimi esempi di edifici multipiano in legno che hanno fatto da stimolo al medesimo settore nazionale.

Importanti realizzazioni di edifici di considerevole altezza nel nord Europa hanno dimostrato prima che in Italia la possibilità di costruire in altezza con il legno, particolarmente note sono le realizzazioni a Londra dell'edificio del Murray Grove, una torre costituita da una struttura massiccia a pannelli di compensato di tavole X-LAM di nove piani, e Bridport House, che rappresenta il primo edificio multipiano completamente in legno realizzato in Gran Bretagna per un'altezza complessiva di otto piani fuori terra.

Edifici di notevole altezza e dimensione sono stati realizzati anche in Germania ed in Svizzera dove particolarmente diffusi sono i sistemi ibridi legno-cemento come il Condominio e3 a Berlino costituito da sette piani tramite una struttura portante in legno lamellare di montanti e correnti e solai compositi legno-calcestruzzo, mentre in Svizzera il primo esempio di edificio in interamente in legno realizzato addirittura privo di un corpo scala in calcestruzzo armato è Casa Montarina a Lugano con una altezza che supera i diciotto metri.

Se le prime importanti realizzazioni di edifici alti di legno sono avvenute nel centro e nel nord dell'Europa, attualmente anche l'Italia è partecipante attivo in questo settore e, oltre alle ormai molto numerose costruzioni di due o tre livelli fuori terra si stanno realizzando i primi edifici maggiormente elevati in altezza con struttura in legno, dagli edifici residenziali Rubner Holzbau Multipiano di Trieste e il Wellness Resort Marina Verde a Caorle, entrambi di sei piani fuori terra con un nucleo in cemento armato resistente alle azioni orizzontali, alla Crosslam Tower di Jesolo, ai progetti a Milano del Social Main Street con un sistema costruttivo per pareti e solai in X-LAM e del complesso di Via Cenni: negli edifici multipiano di Trieste e Caorle, la cui costruzione ha seguito il metodo di pilastro non continuo ma interrotto ad ogni cambio piano a garanzia di una maggiore gestione del cantiere, le strutture verticali ed i solai sono progettati facendo riferimento al sistema costruttivo ad ossatura portante a telaio in legno lamellare irrigidito dai corpi scale in calcestruzzo, mentre il progetto di Via Cenni ha optato per uno spazio pubblico centrale costituito da un corpo continuo di due piani fuori terra e da quattro torri

residenziali di otto piani interamente realizzate con pannelli in X-LAM compresi i vani scala e ascensori.

L'impulso dell'Housing Sociale

Il complesso di Via Cenni a Milano dimostra come ultimamente, anche in Italia, si stia affermando la soluzione del social housing per **allentare la pressione abitativa nei grandi centri urbani**, una delle finalità delle costruzioni multipiano: il social housing nasce con l'obiettivo di essere uno specifico programma di sviluppo urbanistico al fine della realizzazione di opere che risultino essere sostenibili, energeticamente performanti e di rapida costruzione, vantaggio permesso dal legno grazie al suo alto grado di prefabbricazione e ai ridotti tempi di cantierizzazione.

I pannelli di legno a strati incrociati X-LAM e il legno lamellare o cosiddetto Glulam sono, come materiali strutturali, i protagonisti principali di questa recente rivoluzione nel mondo delle costruzioni.

Il sistema costruttivo a pannelli di compensato di tavole X-LAM, o CLT, è un modello a comportamento scatolare costituito da elementi massicci piani portanti costituiti da strati incollati di tavole o lamelle incrociate le cui dimensioni lungo entrambi gli assi principali sono di molto maggiori rispetto allo spessore del pannello.

Questi elementi portanti di compensato di tavole assumono, in base alle condizioni di carico, funzione di lastre per le pareti grazie al buon comportamento nei confronti delle azioni assiali e di taglio e di piastre per i solai, seppur con una peggiore risposta del materiale nei confronti del comportamento a flessione.

L'altro sistema costruttivo frequentemente utilizzato negli edifici di modesta altezza in legno è quello a telaio pesante di Glulam: il modello è ad ossatura portante, costituito da colonne e da travi massicce disposte a grande interasse con i telai che devono essere controventati o resi stabili da connessioni rigide ai nodi, per questo motivo è frequente trovare il sistema a telaio pendolare controventato da un elemento rigido in cemento armato costituito normalmente dal

corpo scale-ascensori: il vantaggio principale del telaio pesante risiede nella possibilità di consentire larghe maglie dei pilastri e grandi aperture nelle pareti, anche se i sistemi costruttivi possono essere misti, ad esempio combinando nello stesso edificio grosse intelaiature costituite da travi e pilastri in lamellare con pareti leggere a traliccio aventi funzione di tamponamento o di irrigidimento, oppure utilizzando pareti di X-LAM con rinforzi e solai in lamellare ricorrendo a vari sistemi di controventatura per portare in fondazione le azioni orizzontali.

Tale eterogeneità di metodologie sostenuta da una ampia conoscenza tecnica delle differenze tra i vari sistemi confermano che le soluzioni per perseguire un obiettivo progettuale sono molteplici, ma il fine ultimo è il raggiungimento di elevati standard prestazionali e una qualità costruttiva alta per garantire durabilità all'edificio: in conclusione, le costruzioni multipiano in legno, considerate le caratteristiche intrinseche del materiale in termini di sostenibilità, leggerezza, resistenza, isolamento e sicurezza, costituiranno sempre più una soluzione vincente per le esigenze dell'edilizia residenziale e non solo con il costante supporto di settori nazionali della ricerca, della normativa, del settore produttivo e della cantieristica, visto e considerato il crescente interesse e utilizzo del legno strutturale anche in Italia.

Esempi di edifici multipiano in legno nello scenario europeo ed internazionale

Il legno risulta essere impiegato significativamente dal punto di vista strutturale e non solo, come dimostrato dall'applicazione in edifici in Europa, ed in Italia, fino all'Australia ed al Canada. La destinazione d'uso degli edifici in legno, sia che questo venga utilizzato come materiale strutturale o anche come rivestimento eventualmente trattato, è varia e differenziata con una proposta architettonica e progettuale che spazia dagli **edifici scolastici** come il nido d'infanzia a Guastalla (2015), ad **edifici commerciali ed adibiti ad uffici** come il LifeCycle Tower One a Dornbirn in Austria (2012) o il Tamedia Office Building di Zurigo (2013), o il Wood Innovation Design Centre a Prince George in Canada (2014), dalle **strutture ricettive**, alcune delle quali già citate, oltre a casi come l'Hotel Nautilus a Pesaro (2016) o veri e propri grattacieli multipiano, fino a **stazioni della metropolitana** come il Metropol Parasol di Siviglia (2011), analizzato successivamente per il trattamento superficiale del legno e la particolare conformazione estetica, o a **strutture sportive**, come il Westhills Stadium a Langford in Canada (2019) o l'Eco Park Stadium di Nailsworth in Gran Bretagna (2017), e a **strutture ricreative e musei** come l'Auditorium Parco della Musica di L'Aquila (2012) o il Centre Pompidou di Metz in Francia (2010).



LifeCycle Tower One (2012)



Westhills Stadium (2019)



Tamedia Office Building (2013)



Eco Park Stadium (2017)

Le proposte in cui il legno ricopre un ruolo dominante all'interno dello scenario contemporaneo, sono comunque numerose per quanto concerne la **destinazione d'uso residenziale**, le quali spesso si inseriscono in un **contesto culturale che non rinnega le proprie tipologie edilizie ma le rielabora recuperando i virtuosismi della tecnica costruttiva lignea**.

Gli edifici residenziali sono stati oggetto di una più approfondita analisi progettuale, tecnologica, strutturale, estetica e formale, distributiva e funzionale secondo una suddivisione planimetrica in base all'identificazione delle principali funzioni sottostanti, indicate per ciascuno dei dodici edifici scelti per lo studio:

-  Aree di accesso

-  Elementi di distribuzione: distribuzione verticale principale

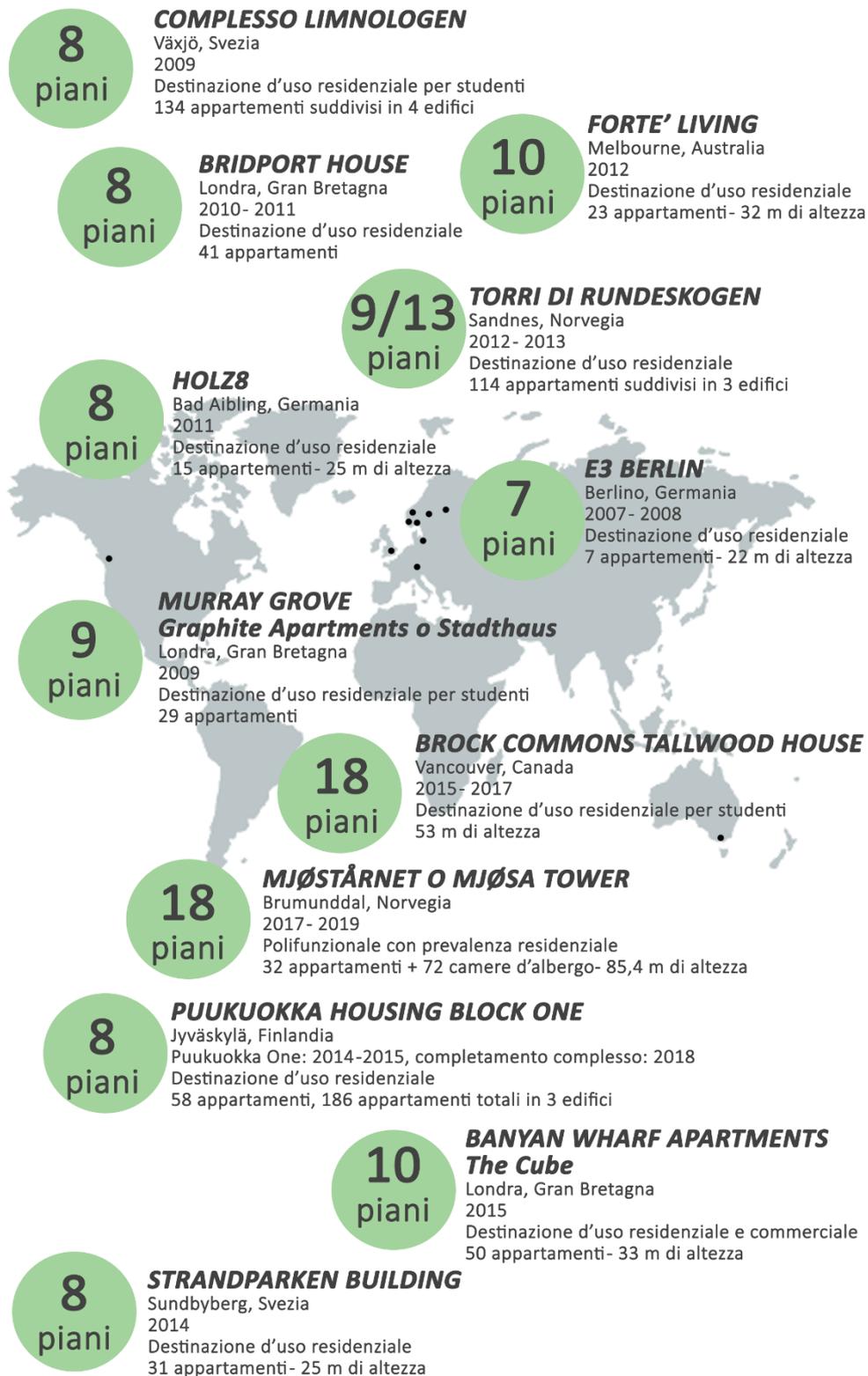
-  Elementi di distribuzione: distribuzione di piano

-  Unità abitative: tipologia di appartamento non specificata o con quattro posti letto

-  Unità abitative: appartamento con camera da letto doppia

-  Unità abitative: monocale o camera con un posto letto
oppure appartamento con tre o sei posti letto

-  Altre funzioni: uffici, attività commerciali e di ristorazione, servizi e aree comuni,
balconi e terrazzi, aree di deposito



Bridport House

DICOTOMIA
PREFABBRICAZIONE
SOSTENIBILITA'

Sintesi del progetto

Bridport House, simbolo di una nascente architettura urbana sostenibile, sorge nel quartiere di Hackney in seguito alla demolizione di uno stabile residenziale risalente al 1950 costituito da 20 unità immobiliari lasciando spazio al nuovo edificio che conta 41 appartamenti, per il quale, per la prima volta nel Regno Unito, si è utilizzato il legno lamellare a strati incrociati X-LAM per la totalità della struttura multipiano.

La Bridport House si compone di unità immobiliari di tipologie diversificate che vanno dalla singola alle quattro camere da letto, con accesso privato e annesso giardino per gli alloggi più grandi posti al piano terreno oppure con accesso condominiale e balcone per quelli situati ai piani superiori.

Dati

Autore	Lo studio Karakusevic Carson Architects di Londra ha progettato l'edificio, con le imprese EURBAN ltd e Stora Enso che si sono occupate della fornitura e dell'assemblaggio degli elementi lignei, oltre alla collaborazione ingegneristica strutturale dello studio Peter Brett Associates
Anno di edificazione	2010 – 2011
Luogo	Londra, Gran Bretagna
Destinazione d'uso	Residenziale
Superficie complessiva	1.100 mq
n° di appartamenti	41
Altezza	5 e 8 piani

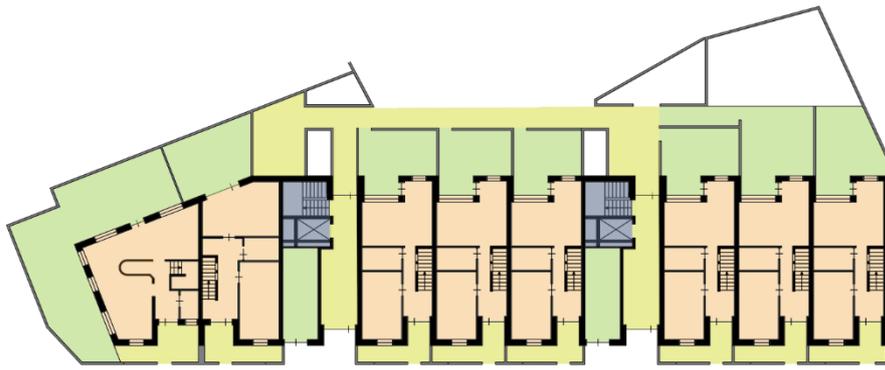
Elaborati grafici



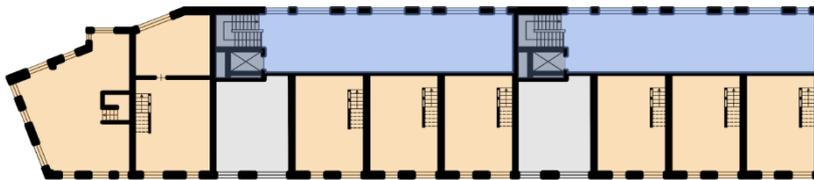
Modello volumetrico tridimensionale dell'edificio



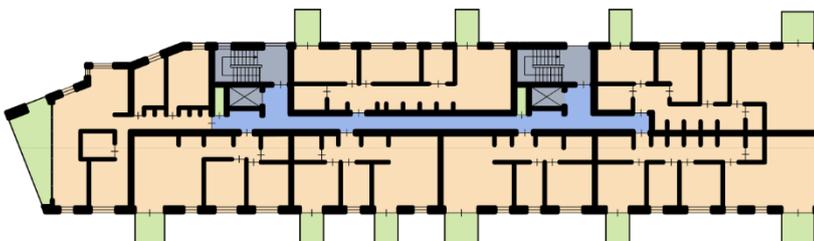
Prospetto dell'edificio e dettagli dei rivestimenti in facciata



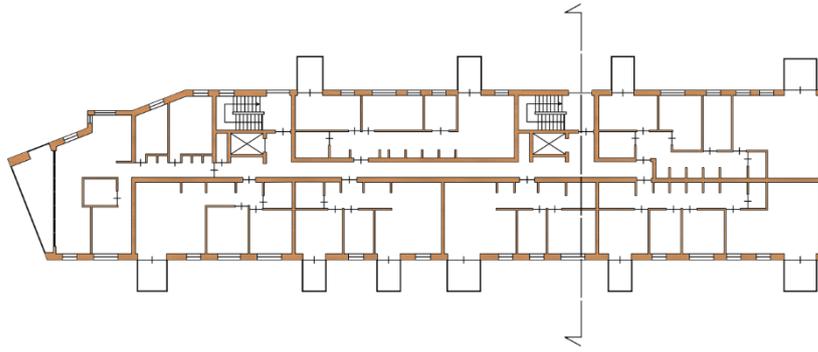
Pianta funzionale distributiva piano terreno – scala 1:500 – elaborazione degli autori



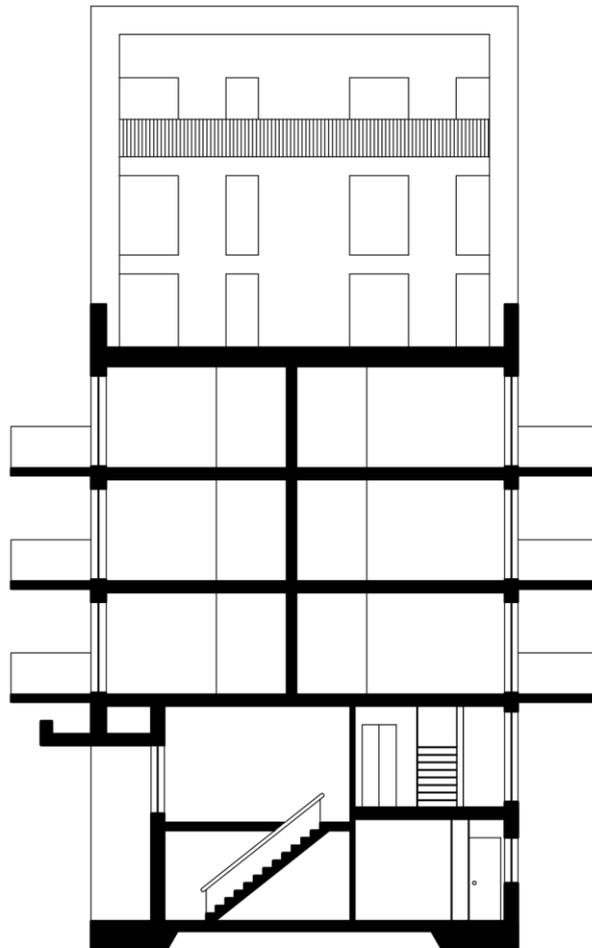
Pianta funzionale distributiva piano primo – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Pianta funzionale distributiva piano tipo (piani superiori al primo) – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Pianta strutturale dell'edificio – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Sezione dell'edificio – scala 1:200 – elaborazione degli autori

Descrizione principi architettonici

In Bridport House si osserva come la **struttura lignea venga combinata con altri materiali da costruzione**, nei rivestimenti sovrastrutturali il legno viene associato con i mattoni, ma sono anche molteplici i dettagli architettonici in alluminio e in rame. La fase progettuale è stata accompagnata da un accurato processo di coinvolgimento degli abitanti della zona per valutare le soluzioni architettoniche favorite dai residenti, identificando nel mattone il materiale percettivamente più resistente e durabile nel tempo: **la struttura lignea in X-LAM è quindi rivestita esternamente di mattoni**, rivestimento ritenuto adeguato vista anche la continua esposizione solare diurna, essendo l'edificio posto ad est-ovest, della quale giovano gli ampi balconi, fissati alle pareti esterne dell'edificio mediante telai metallici.

Selezione di fotografie e di dettaglio



Esterno dell'edificio



Fase di cantiere in cui si apprezza la struttura in legno, successivamente rivestita, non evidente in facciata



Interno dell'edificio in fase di cantiere e ad edificio terminato, nel quale anche internamente non si coglie la struttura lignea



Zona esterna privata di un appartamento posto al piano terreno dell'edificio

Descrizione elementi tecnologici e costruttivi

Il sistema costruttivo della Bridport House è **totalmente in pannelli di legno lamellare a strati incrociati**, infatti, al di fuori della fondazione in calcestruzzo, tutti i piani in elevazione, incluso il piano terreno che spesso è in cemento, sono costituiti da pannelli in X-LAM con spessore decrescente dal basso verso l'alto dell'edificio per ridurre i carichi da trasferire al suolo: la soluzione in lamellare è ideale poiché permette di ottenere una struttura ad 8 piani molto più leggera rispetto alla precedente in calcestruzzo di soli 5 piani, oltretutto la caratteristica della

leggerezza è fondamentale a causa del passaggio di un condotto fognario vittoriano nella zona sottostante al luogo di intervento. Oltre alla leggerezza, la struttura in X-LAM consente di raggiungere una **stabilità dimensionale tale da utilizzare il legno anche per il nucleo centrale di distribuzione verticale**, anziché optare per il più frequente impiego di acciaio o cemento per questo elemento, inoltre assicura la sola eventuale carbonizzazione delle zone più esterne del pannello e il mantenimento di una efficienza strutturale senza alcun collasso improvviso e repentino in caso di incendio, infine ammette una velocità di assemblaggio, grazie alla prefabbricazione degli elementi lignei, che per la Bridport House ha richiesto un periodo pari a 12 settimane tramite la connessione delle giunzioni tra le pareti e i solai realizzate ad incastro lungo i bordi degli elementi per rendere maggiormente solidi i nodi.

Il nuovo complesso residenziale rappresenta uno delle prime costruzioni ambientalmente sostenibili grazie all'applicazione del sistema ligneo in X-LAM che, oltre ai molteplici vantaggi che l'hanno reso il metodo costruttivo migliore per l'edificio, è in grado di immagazzinare una grande quantità di carbonio, equivalente a 1.182 tonnellate di anidride carbonica in base ai 1.500 m³ di legname che costituisce Bridport House.

Considerazioni riassuntive sul rapporto tra forma architettonica, principi costruttivi ed espressività del legno nel progetto

Bridport House dimostra come sia possibile la costruzione di edifici alti completamente in legno mediante una conoscenza del materiale e una **scelta ponderata del sistema costruttivo secondo le condizioni caratteristiche e molto variabili di ciascun luogo di edificazione**: il progetto di Bridport House prova l'importanza della corretta valutazione in fase progettuale dei criteri ambientali di esposizione e climatici, morfologici del territorio, di assemblaggio dell'opera, architettonici, di sicurezza statica e antincendio, e storici, fattori che si traspongono in questo caso nella flessibile soluzione costruttiva strutturale in X-LAM rivestita in mattoni per questioni estetiche e di durabilità, senza sminuire il vantaggio ambientale connesso all'utilizzo del legname come principale materiale da costruzione.

Brock Commons Tallwood House

DICOTOMIA

PREFABBRICAZIONE

RESISTENZA AL FUOCO

Sintesi del progetto

Il Brock Commons Tallwood House è un edificio certificato LEED Gold con funzione di residenza studentesca nato per aumentare la disponibilità di alloggi per 404 studenti della University of British Columbia: esso comprende un mix di unità abitative che vanno dal monolocale ai quattro posti letto comprendenti cucina e servizi, mentre le zone comuni destinate alla didattica e allo svago si trovano al piano terra con la sala studio al diciottesimo piano.

Dati

Autore	Lo studio Acton Ostry Architects Inc. di Vancouver ha progettato l'edificio in collaborazione con lo studio di ingegneria Fast + Epp, i fornitori di legname Architekten Hermann Kaufmann dell'Austria e Structurlam di Penticton che ha fornito i componenti prefabbricati in legno, con la gestione del progetto da parte di UBC Properties Trust
Anno di edificazione	Novembre 2015 – Agosto 2017
Luogo	Vancouver, Canada
Destinazione d'uso	Residenziale per studenti
Superficie complessiva	15.115 mq
n° di appartamenti	306
Altezza	18 piani - 53 metri di altezza

Elaborati grafici



Prospetto sud dell'edificio



Prospetto ovest dell'edificio



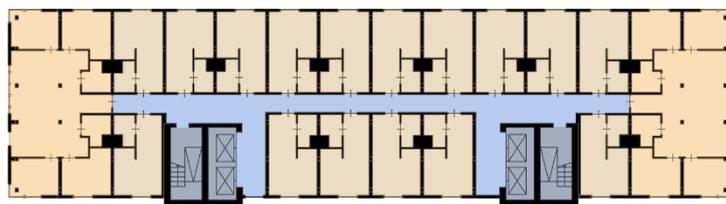
Prospetto nord dell'edificio



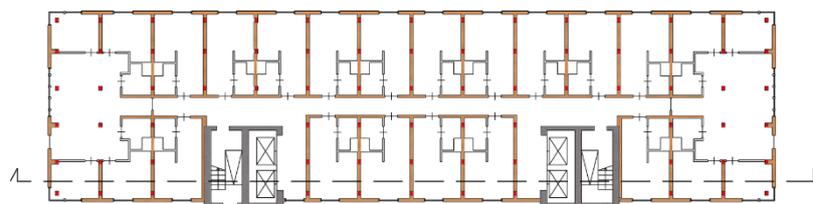
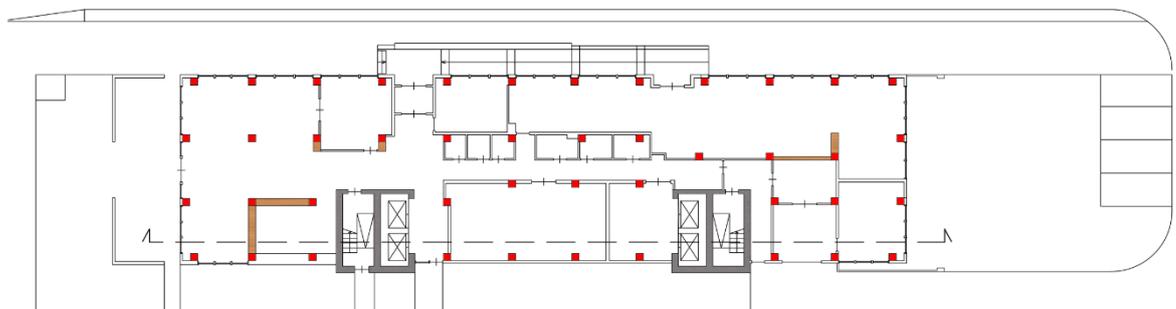
Prospetto est dell'edificio



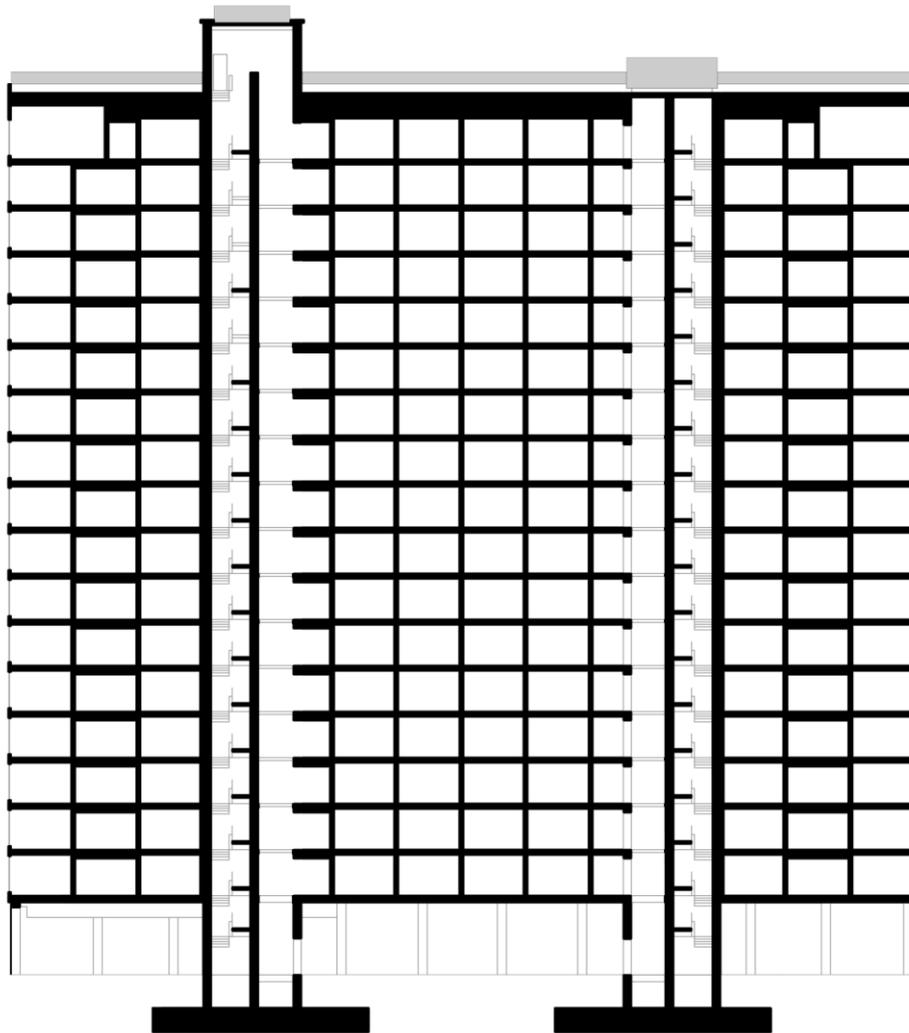
Pianta funzionale distributiva piano terreno – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Pianta funzionale distributiva piano tipo – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Piante strutturali dell'edificio – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Sezione dell'edificio – scala 1:500 – elaborazione degli autori

Descrizione principi architettonici

L'edificio ha una altezza di 53 metri e si presenta tramite una facciata prefabbricata composta da moduli prefabbricati realizzati al 70% da fibra di legno con telai metallici, caratterizzata da un rivestimento che mostra una scansione secondo uno schema di fasce verticali, la cui superficie risulta interrotta dalla presenza delle numerose aperture anch'esse disposte schematicamente, ed una cornice metallica che inquadra l'intero edificio.

L'approccio progettuale architettonico, principalmente motivato da questioni legate alla stabilità strutturale e alla resistenza al fuoco, oltre che da una semplice approvazione dell'intervento, è quindi quello di una apparenza dell'edificio ordinaria nella quale non emerge il legno come materiale utilizzato in prevalenza, attraverso un **incapsulamento della struttura in legno e quindi uno riempimento dello spazio tra gli elementi lignei**, sia esternamente con il sistema di involucro di pannelli prefabbricati rivestiti con laminato ad alta pressione in fibra di legno, che internamente con l'utilizzo di strati multipli di cartongesso per la resistenza al fuoco.

Selezione di fotografie e di dettaglio



Esterno dell'edificio e fase di cantiere che mostra la struttura lignea e i nuclei in calcestruzzo



Dettaglio delle pannellature di rivestimento della facciata dell'edificio e fase di montaggio degli elementi prefabbricati



Fase di cantiere che mostra la struttura in legno, successivamente colmata dalla pannellatura visibile esternamente



Interno dell'edificio in fase di cantiere, durante il quale si osserva la struttura lignea

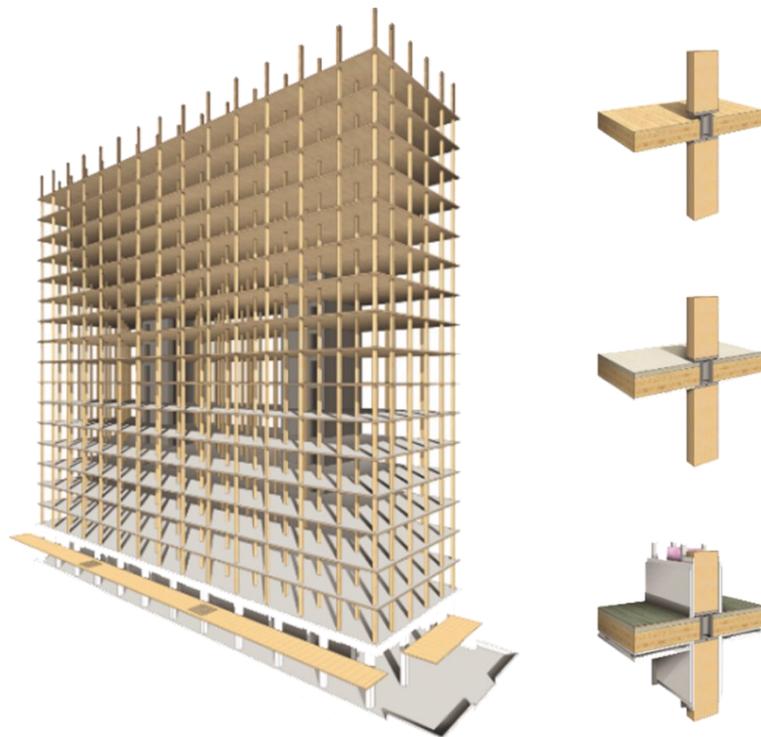
Descrizione elementi tecnologici e costruttivi

La struttura del Brock Commons consiste in un ibrido tra materiali quali legno, acciaio e cemento: lo sviluppo dell'edificio comprendente 17 piani di pavimento in **legno lamellare a 5 strati incrociati X-LAM**, supportati da colonne in **legno lamellare Glulam** secondo una griglia strutturale a telaio di dimensione 2,85 metri X 4 metri che si snodano lungo i **due nuclei delle scale e degli ascensori in cemento** poggiando su una base di fondazione, e quindi la struttura del piano terreno anch'essa in cemento, integrata grazie all'inserimento di vetrate per facciate continue e pannelli in vetro.

Il diaframma strutturale trasmette le forze tramite **connessioni in acciaio** montate sulle colonne in Glulam al fine di trasferire il carico sulla griglia sottostante di pannelli in legno a strati incrociati, entrambi prodotti derivati dal legno prefabbricati e testati sia dal punto di vista della stabilità che dei tempi di montaggio precedentemente alla costruzione, fattori che hanno permesso una **ottimizzazione del processo di cantierizzazione** dell'opera: l'innovativo **sistema strutturale ibrido** applicato al Brock Commons ha consentito una edificazione rapida con un equipaggio di nove persone, completata in circa 70 giorni dall'arrivo delle componenti prefabbricate da assemblare in cantiere.



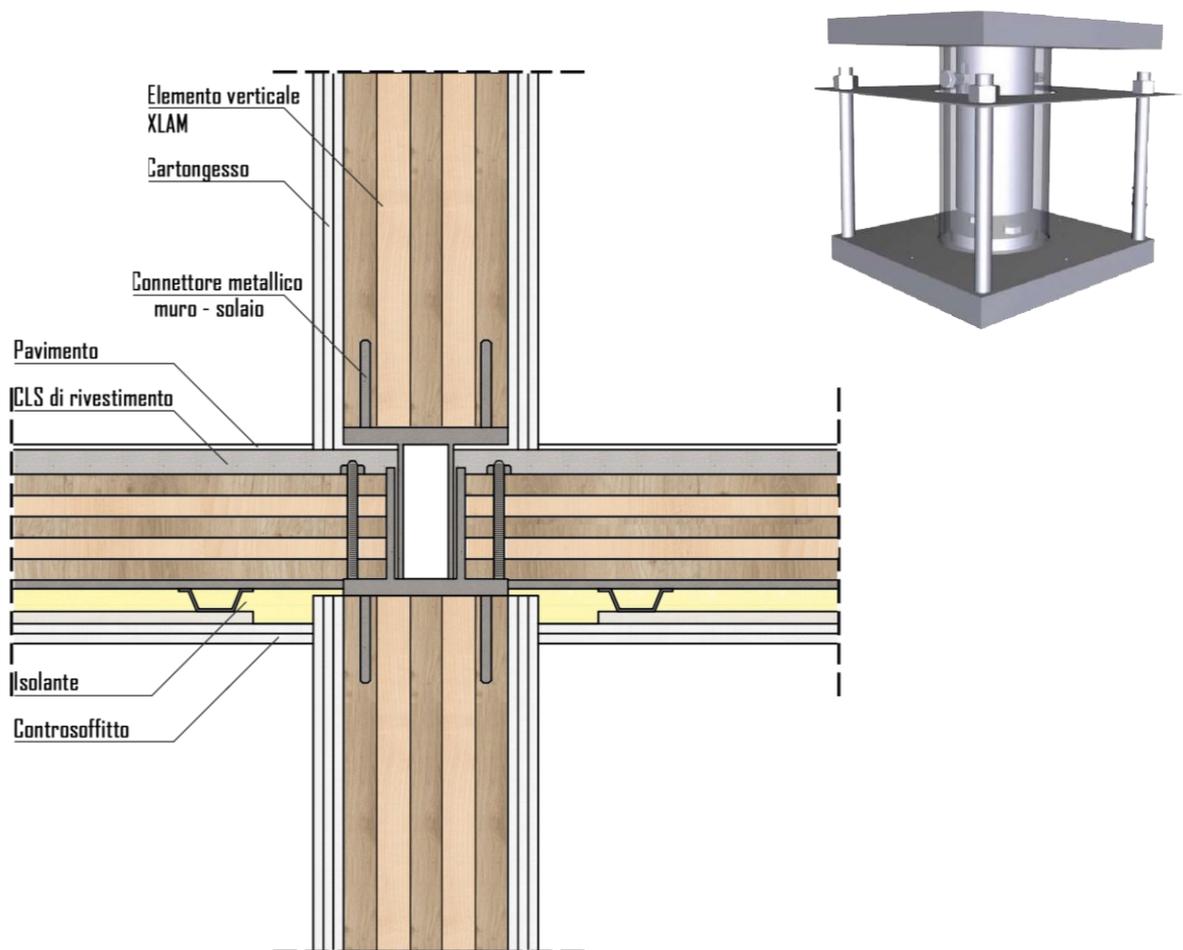
Modello tridimensionale dell'edificio



Modello strutturale tridimensionale dell'edificio e particolari delle connessioni in acciaio tra gli elementi verticali ed orizzontali lignei che compongono la struttura



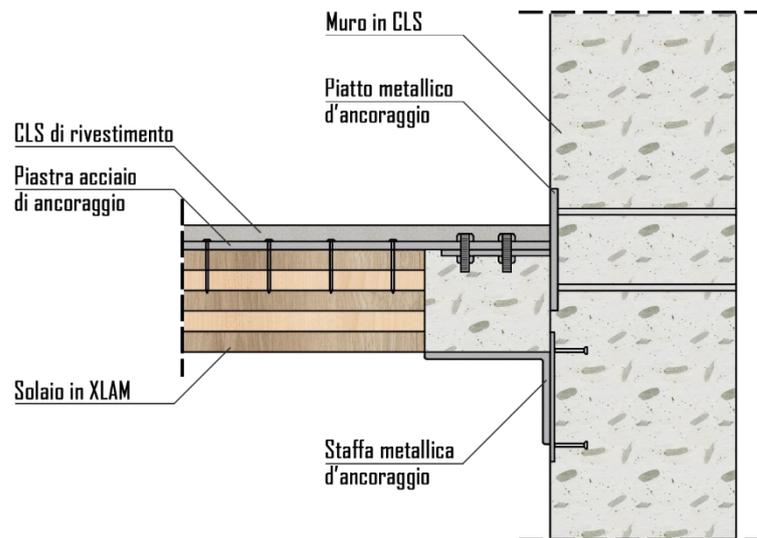
Fase di cantierizzazione della struttura ibrida dell'edificio ed elementi verticali prefabbricati in Glulam nello stabilimento di produzione, già provvisti di connettori di ancoraggio ai piani orizzontali e pronti all'installazione in cantiere tramite montaggio a secco



Dettaglio del nodo di connessione tra elementi verticali ed orizzontali in legno in tecnologia X-LAM, dei quali si osserva la composizione stratigrafica, tramite connettore metallico – scala 1:20 – elaborazione degli autori



Connessione tra elemento ligneo orizzontale in X-LAM e nucleo centrale in calcestruzzo della struttura dell'edificio mediante sostegno metallico



Dettaglio del nodo di connessione tra l'elemento orizzontale in legno e il nucleo in calcestruzzo del blocco distributivo verticale dell'edificio tramite una staffa metallica che funge da ancoraggio tra legno e cemento – scala 1:20 – elaborazione degli autori

Considerazioni riassuntive sul rapporto tra forma architettonica, principi costruttivi ed espressività del legno nel progetto

La costruzione del Brock Commons Tallwood House con il suo innovativo sistema strutturale ibrido, nel quale si è optato per la **combinazione del legno con le anime in cemento e le connessioni in acciaio** tra i pilastri e i solai, dimostra come gli sviluppi tecnologici con le macchine a controllo numerico e i modellatori strutturali, unitamente ad una buona pianificazione di cantiere e ad una efficace integrazione dei processi di costruzione e di progettazione, possano consentire l'applicazione di processi e materiali da costruzione performanti ed efficienti che garantiscono stabilità dimensionale, resistenza e sicurezza permettendo di costruire raggiungendo anche elevate altezze con il legno, materiale che si pone come una valida opzione che può contribuire al raggiungimento di alte performance costruttive, alla semplificazione della progettazione e della costruzione degli edifici.

Sitografia: www.archdaily.com - www.naturallywood.com - www.naturallywood.com - www.green.it - www.actonostry.ca

Complesso Limnologen

PREFABBRICAZIONE

PROTEZIONE DEL CANTIERE

Sintesi del progetto

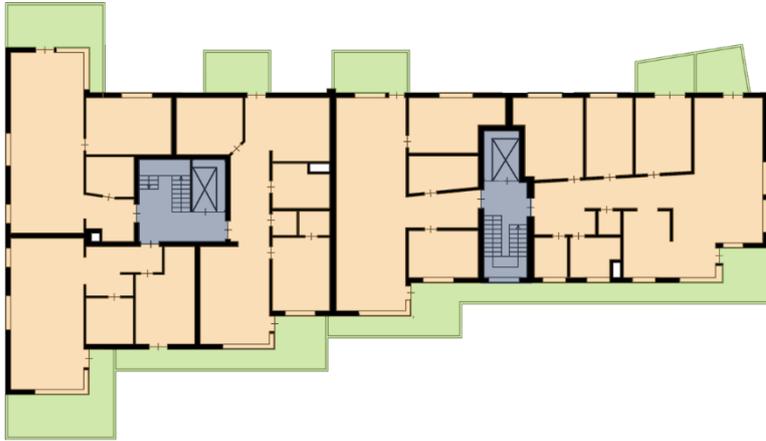
La realizzazione del complesso Limnologen, che occupa una suggestiva posizione di fronte al lago Trummen, ha inizio in seguito ad un concorso indetto per incentivare l'utilizzo di legno locale per le costruzioni nel distretto di Limnologen rafforzando il profilo della città come promotrice di opere edilizie in legno.

Il complesso residenziale, costituito da **4 edifici per un totale di 134 appartamenti con dimensioni dai 37 ai 114 mq**, dei quali una delle 5 tipologie è su doppio livello, è sorto dopo l'effettuazione di varie sperimentazioni, sia in fase di progetto che di cantiere, sul contenimento delle vibrazioni dei solai, sulla riduzione dei ponti acustici tra appartamenti e sulla riduzione delle deformazioni verticali dovute al ritiro dimensionale del legno.

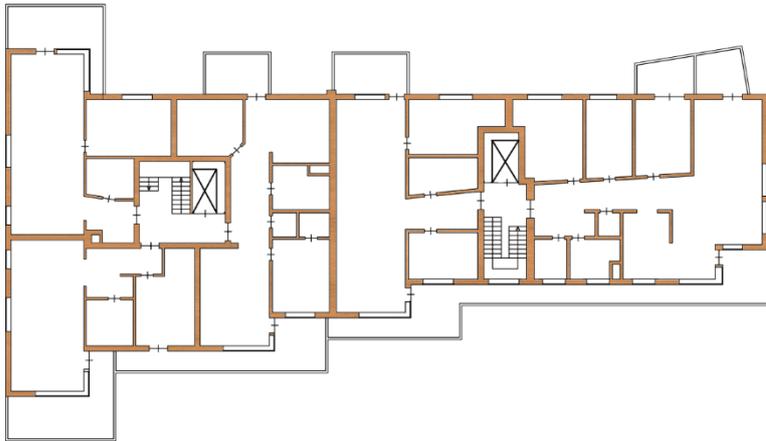
Dati

Autore	Lo studio ArkitektBolaget ha progettato l'edificio, in collaborazione con lo studio di ingegneria Martinsons byggsystem
Anno di edificazione	2008 – 2009: i primi due dei quattro edifici a Limnologen sono stati terminati durante la primavera e l'inizio dell'estate 2008, mentre la seconda fase ha portato a termine i restanti due nell'estate 2009
Luogo	Växjö, Svezia
Destinazione d'uso	Residenziale
Superficie complessiva	10.700 mq
n° di appartamenti	134
Altezza	8 piani – 4 edifici

Elaborati grafici



Pianta funzionale distributiva piano tipo – scala 1:500 – elaborazione degli autori



Pianta strutturale dell'edificio – scala 1:500 – elaborazione degli autori

Descrizione principi architettonici

Gli edifici del complesso Limnologen sono costruiti interamente in legno, dalla struttura al rivestimento listellare in facciata, interrotto solo da alcune minime porzioni intonacate, con un risultato di intervento edilizio a grande scala: architettonicamente ciascun edificio si presenta come un blocco dal rivestimento ligneo sviluppato maggiormente in lunghezza piuttosto che in larghezza, che funge da attrattore visivo per il lago, con il quale entra in contatto per un paio di metri mediante il molo ligneo esterno a sbalzo sullo specchio d'acqua a proseguimento della sala posta al piano terreno. Ciascun edificio del complesso, oltre a creare un cono visivo, funge anche da punto di osservazione del lago tramite le finestre a bovindo e i balconi posti lungo il fronte più esposto a sud, riducendo così su questo lato la superficie di rivestimento ligneo con le terrazze che proteggono il legno esterno dagli agenti atmosferici e dal vento.

La vicinanza del complesso Limnologen al lago è inoltre rafforzata dalle pareti esterne delle unità abitative che affacciano su di esso, le quali risultano posizionate obliquamente nella disposizione degli appartamenti: lo studio delle planimetrie interne ha richiesto un articolato lavoro di collaborazione tra il team progettuale e strutturale per il contemporaneo soddisfacimento della richiesta di una pianta aperta da ponderare rispetto alla funzione portante di alcune pareti interne.

Selezione di fotografie e di dettaglio



Esterno dell'edificio



Esterno dell'edificio



Esterno dell'edificio



Fase di cantierizzazione durante la quale si osserva l'importanza del processo di controllo dell'umidità del manufatto ligneo tramite un sistema di protezione dagli agenti atmosferici mediante materiali impermeabili a copertura della struttura dell'edificio



Fase di costituzione del complesso di edifici con l'avvenuta edificazione di tre edifici su un totale di quattro totali

Descrizione elementi tecnologici e costruttivi

Il progetto del complesso Limnologen elabora la una tecnologia costruttiva basata su **setti strutturalmente portanti verticali e orizzontali in compensato di tavole incollate X-LAM**, integrati e rinforzati in alcune zone da **travi e pilastri** per ridurre le deformazioni della struttura, con l'adozione di una soluzione che consente di limitare sensibilmente gli ancoraggi di tipo tradizionale tramite l'inserimento di **48 tiranti in acciaio**, i quali richiedono una rimessa in tensione e un re-incurvamento dell'acciaio periodici, posizionati nelle pareti interne per trasferire all'elemento di fondazione, realizzata su pali, e contrastare le azioni dovute al vento ed eventualmente al sisma; quest'ultima soluzione motiva la scelta di eseguire anche il piano terreno di ciascun edificio in calcestruzzo al fine di aumentare il peso della parte inferiore della struttura semplificando e rendendo più sicuro l'ancoraggio dei piani superiori. Ad esclusione del piano terreno, le pareti perimetrali e divisorie di ciascuna struttura, incluso il vano ascensore, e i solai, che fungono da piastre rigide, sono totalmente in legno, con l'applicazione di un sigillante in poliuretano tra gli elementi per ridurre la trasmissione sonora tra le unità: le pareti sono composte da un triplice strato in X-LAM, ed eventualmente rifinite internamente da tavole di gesso, mentre gli orizzontamenti sono in compensato di tavole X-LAM a tre strati rinforzati da travi di legno lamellare Glulam a forma di T con interasse 60 cm.

I pannelli a base di legno utilizzati nell'edificazione del complesso Limnologen sono elementi prefabbricati in stabilimento, essi, precedentemente all'arrivo in cantiere, sono stati pretagliati con le opportune eventuali scanalature longitudinali per accogliere i tubi del riscaldamento a pavimento e parzialmente pre-assemblati con l'inserimento di alcuni componenti di isolamento, impianti, rivestimenti e serramenti.

Durante ogni fase di produzione, trasporto e montaggio e costruzione degli elementi lignei del complesso Limnologen, ha rivestito una particolare importanza il **processo di controllo dell'umidità**: in seguito alla produzione in stabilimento, per la fase di trasporto, gli elementi delle pareti sono stati avvolti in pellicola e plastica, coperti da teli e trasportati in posizione verticale in mezzi aperti, a differenza degli elementi dei solai che sono stati ricoperti da teloni, impilati orizzontalmente e trasportati con mezzi chiusi. Successivamente, lo scarico in cantiere è avvenuto tramite carrelli elevatori in attesa dello spostamento nella zona di sollevamento per l'assemblaggio, fase durante la quale si è messo in pratica un piano di montaggio con una

attenzione verso la **protezione dagli agenti atmosferici** degli elementi, avvenuta mediante la copertura della struttura per tutta la durata del cantiere.



Stratigrafie delle chiusure verticali opache verso l'esterno, delle pareti di separazione tra le unità abitative dell'edificio e delle partizioni interne a ciascun appartamento – elaborazione degli autori



Stratigrafie degli elementi di solaio di partizione orizzontale della struttura dell'edificio e sistema di riscaldamento a pavimento – elaborazione degli autori

Considerazioni riassuntive sul rapporto tra forma architettonica, principi costruttivi ed espressività del legno nel progetto

Il complesso Limnologen racchiude in quattro edifici multipiano una concentrazione tale di elementi lignei da dimostrare come un piano di montaggio e di protezione dai fattori climatici e l'adattabilità in cantiere sono alcune delle indispensabili condizioni richieste dal materiale ligneo, particolarmente idoneo alla prefabbricazione.

Il progetto, nel quale il legno è presente dalla struttura alla facciata, presenta geometrie relativamente complesse rispetto alle usuali soluzioni tecnologiche e formali che si adattano solitamente alla prefabbricazione del legno, unitamente ad una ambiziosa sfida nella gestione del sistema di stabilizzazione strutturale degli edifici, tematiche risolte secondo un approccio lineare che mira alla semplificazione delle eventuali problematiche, come l'acustica e l'esposizione della facciate a sud, e ad una attenta pianificazione progettuale ante cantierizzazione.

Sitografia: www.europeanwood.org.cn - www.arketipomagazine.it

E3 Berlin

DICOTOMIA

PREFABBRICAZIONE

RESISTENZA AL FUOCO

Sintesi del progetto

L'edificio E3 è il simbolo dell'origine delle costruzioni alte in legno in Germania ed è il primo edificio ligneo con uno sviluppo su sette piani di altezza in Europa che si inserisce in un contesto urbano ben strutturato e definito da alti edifici stilisticamente tradizionali in cemento, nel quale E3 Berlin si pone dialogando perfettamente con l'esistente, ma con un aspetto innovativo e aperto verso la città: il progetto rappresenta un modello europeo per l'applicazione della norma della legislazione urbanistica tedesca in materia di limiti d'altezza che ammetteva solo un massimo di cinque piani di altezza, infatti l'edificazione di E3 è stata approvata eccezionalmente in seguito alla presa in considerazione e alla valutazione del rispetto dei requisiti di sicurezza dell'edificio residenziale con la richiesta della stesura di un progetto antincendio.

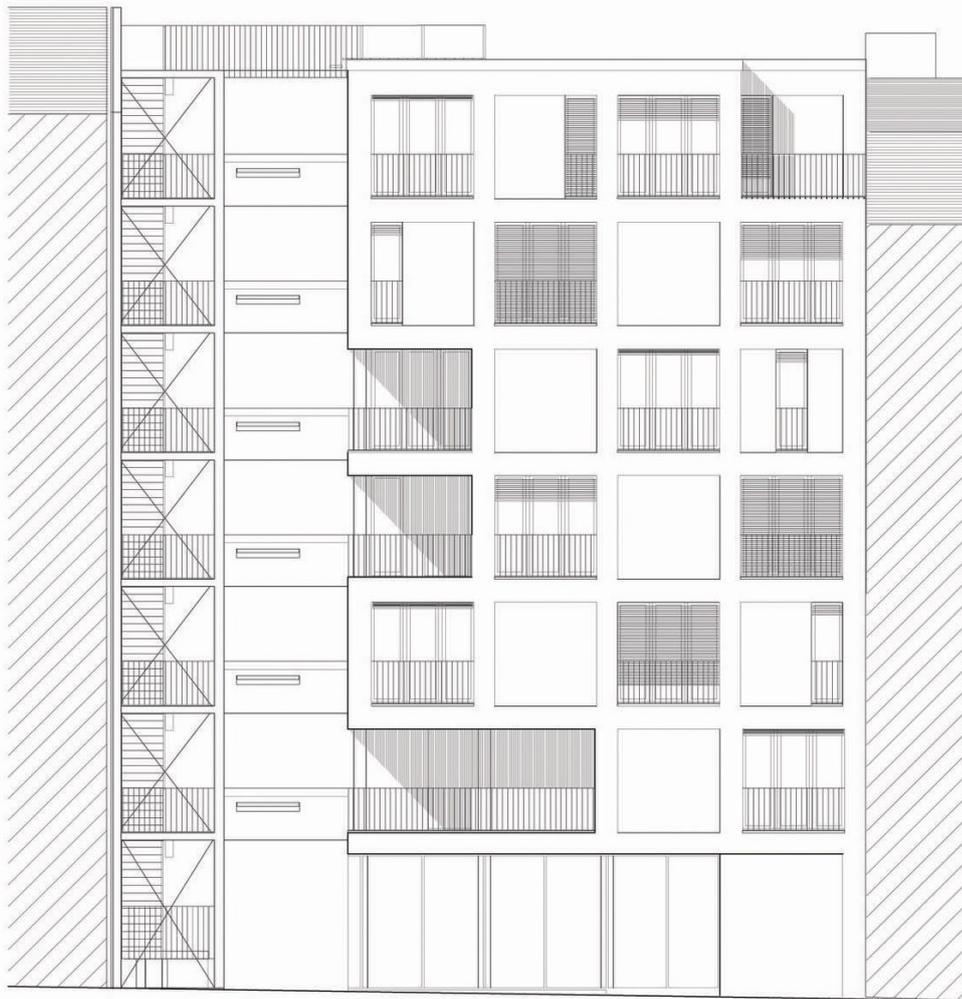
Il complesso residenziale E3 si compone di sette appartamenti di dimensioni che vanno da 120 mq ai 160 mq accessoriati di balconi e terrazze, alcune delle quali comuni e accessibili direttamente dal vano scala, posti sia verso il fronte stradale che verso quello del giardino retrostante.

Dati

Autore	Lo studio Kaden Klingbeil Architekten di Monaco ha progettato l'edificio, in collaborazione con lo studio di ingegneria Julius Natterer e l'impresa costruttrice Projekt Holzbau Merkle
Anno di edificazione	Agosto 2007 – Maggio 2008
Luogo	Berlino, Germania
Destinazione d'uso	Residenziale
Superficie complessiva	990 mq

n° di appartamenti	6
Altezza	7 piani - 22 metri di altezza – altezza interpiano dal pavimento al soffitto 2,78 metri

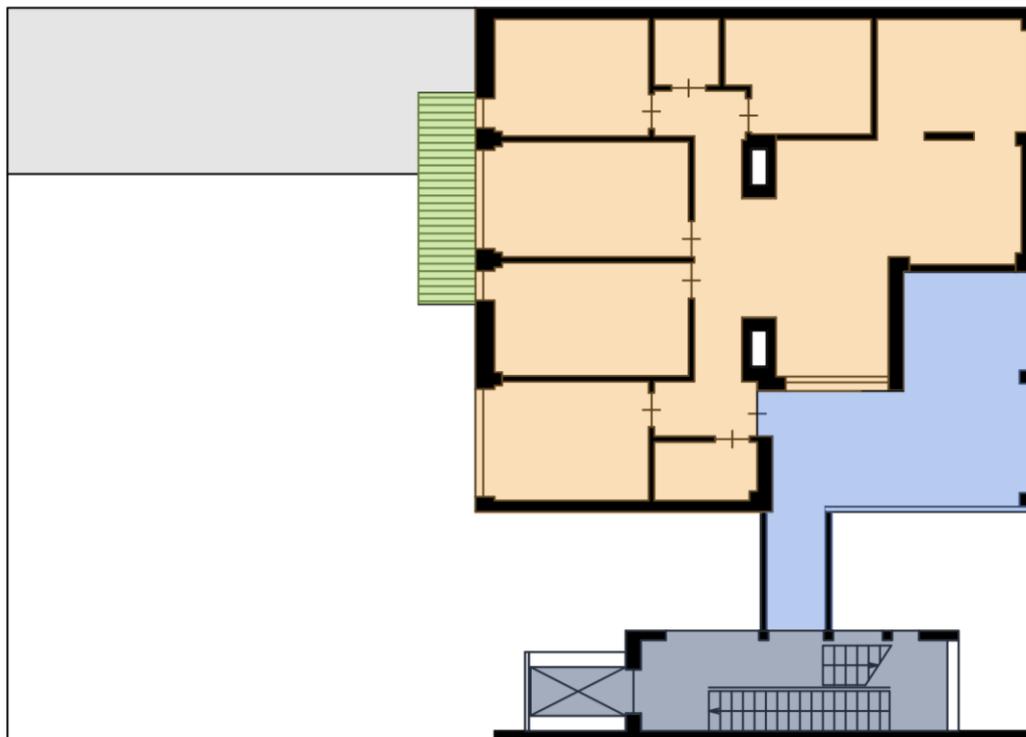
Elaborati grafici



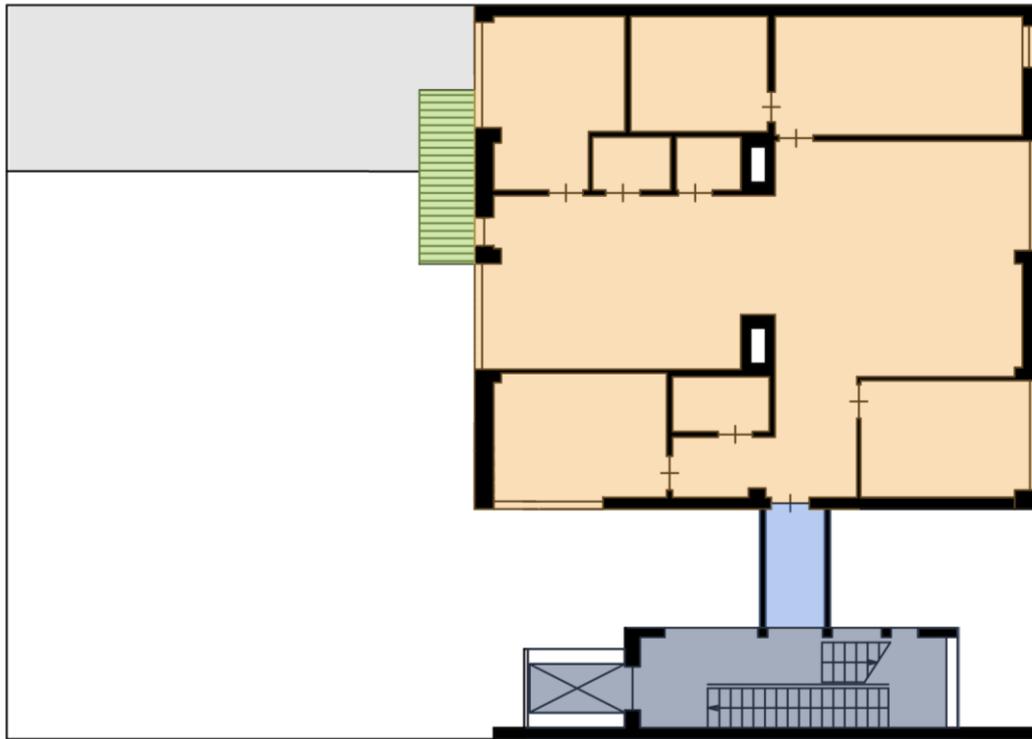
Prospetto fronte strada dell'edificio



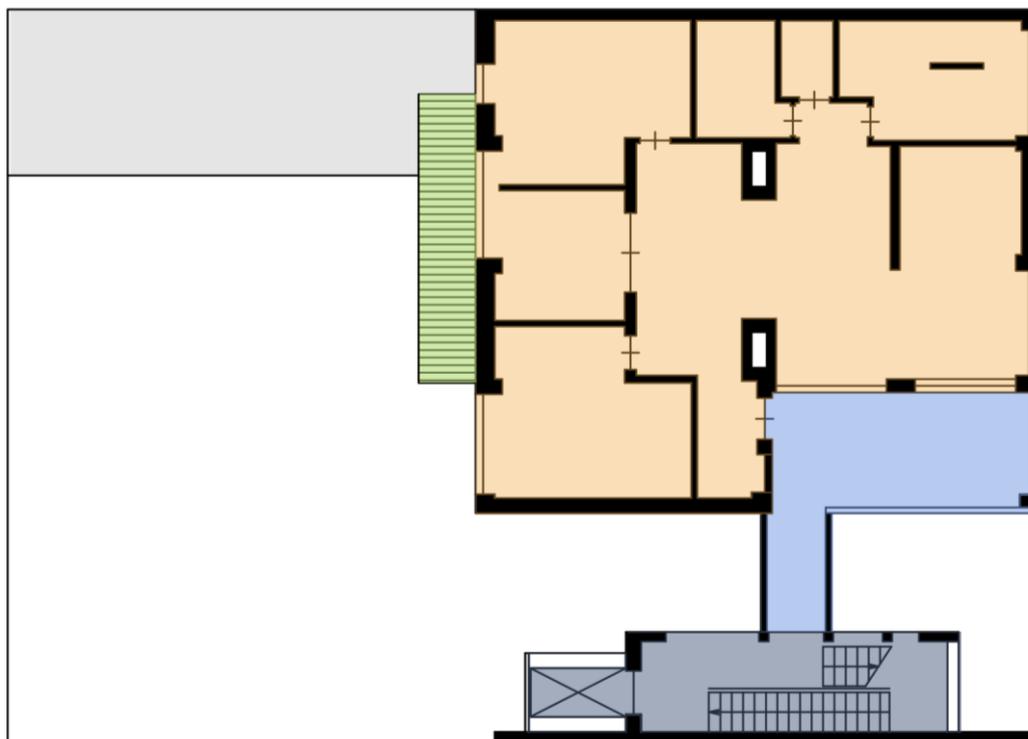
Pianta funzionale distributiva piano terreno – scala 1:200 – elaborazione degli autori



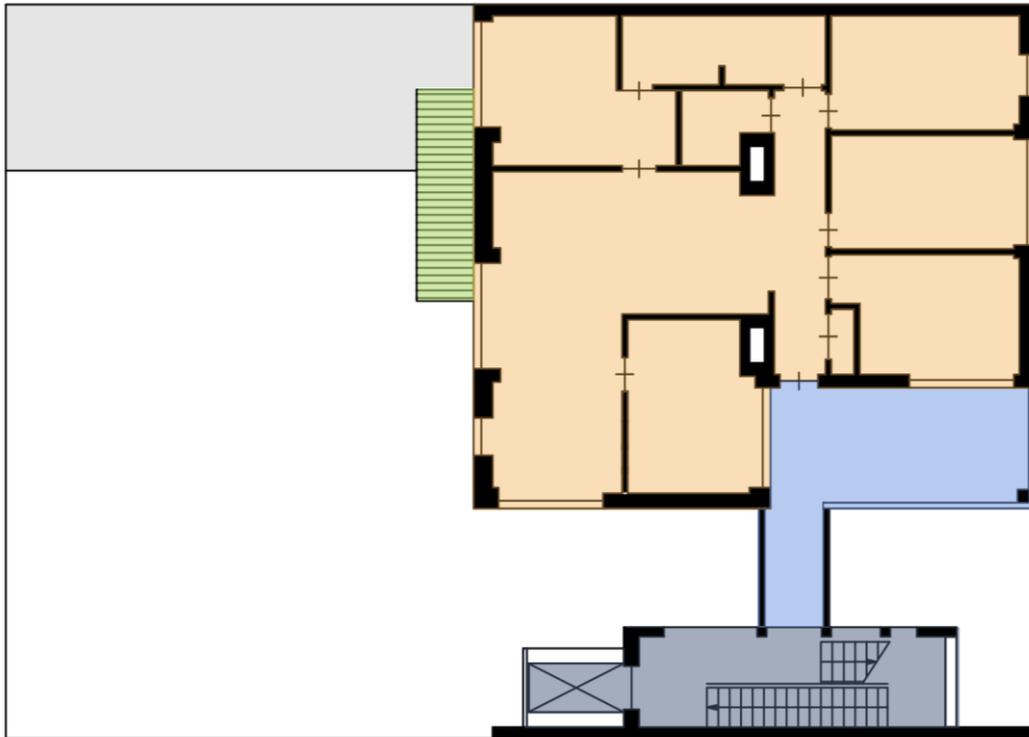
Pianta funzionale distributiva piano primo – scala 1:200 – elaborazione degli autori



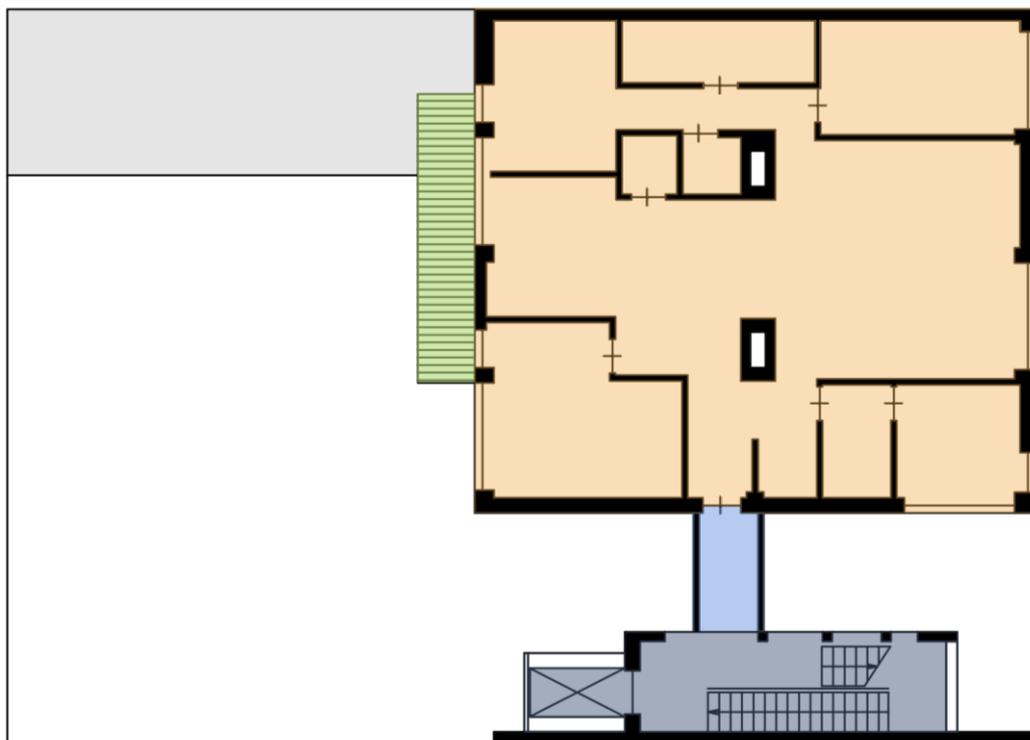
Pianta funzionale distributiva piano secondo – scala 1:200 – elaborazione degli autori



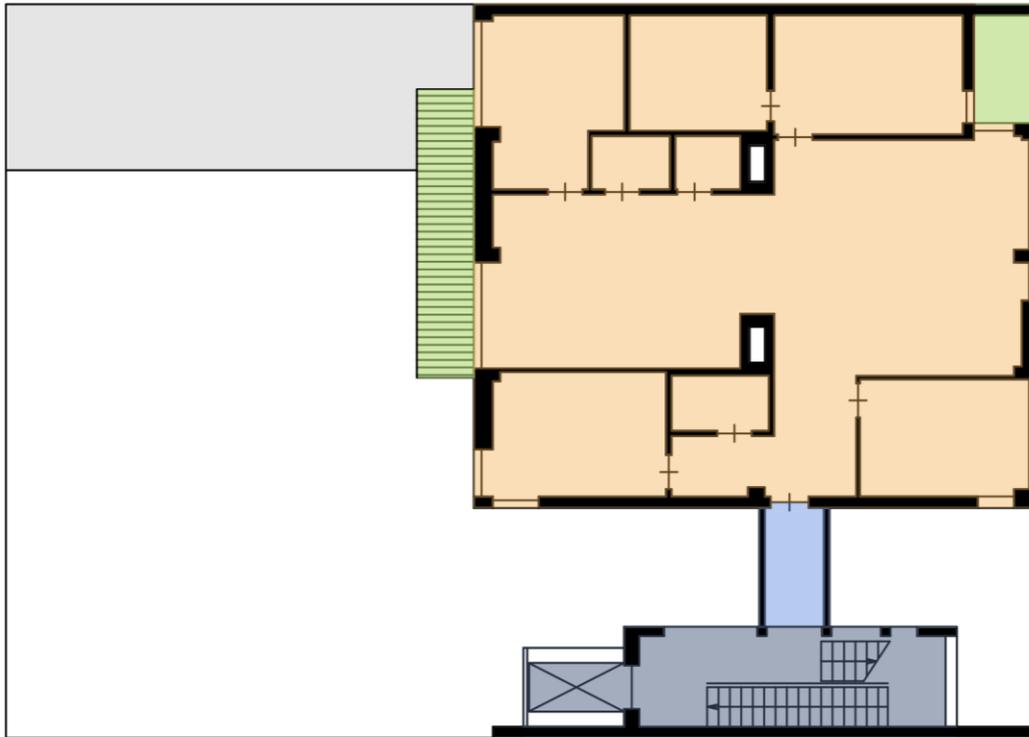
Pianta funzionale distributiva piano terzo – scala 1:200 – elaborazione degli autori



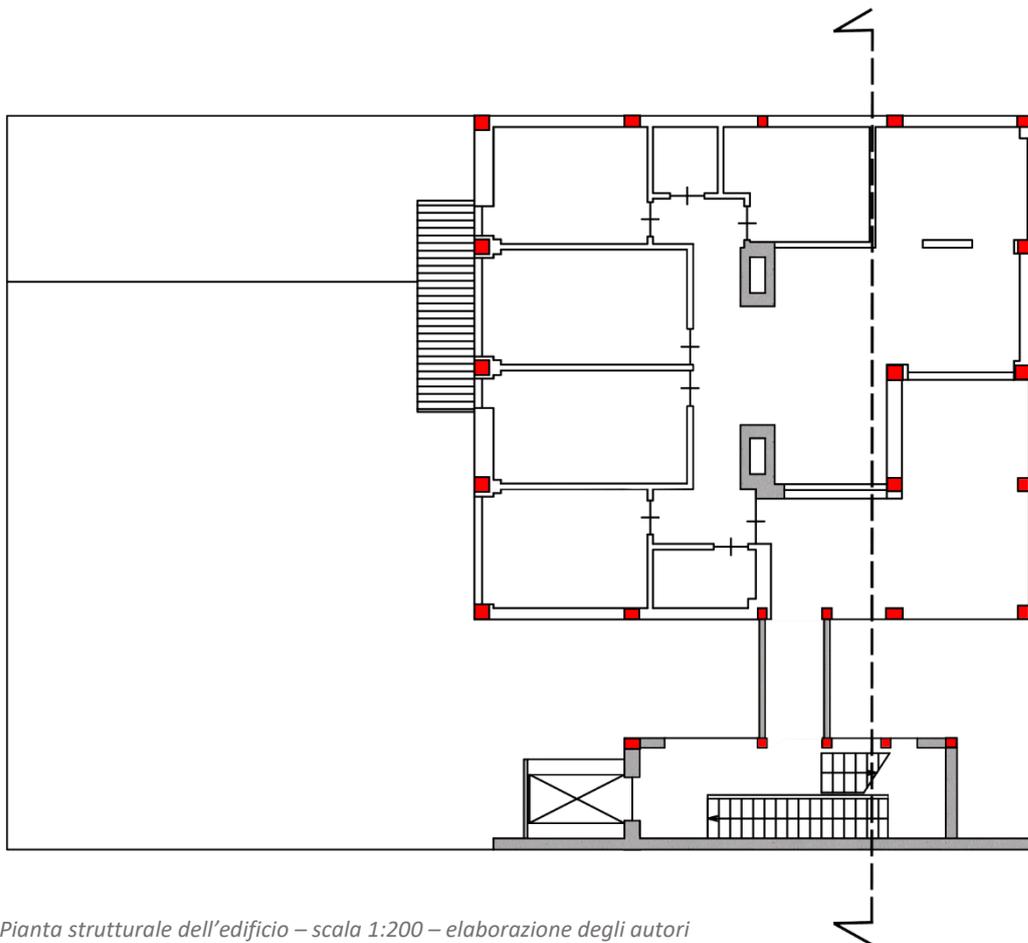
Pianta funzionale distributiva piano quarto – scala 1:200 – elaborazione degli autori



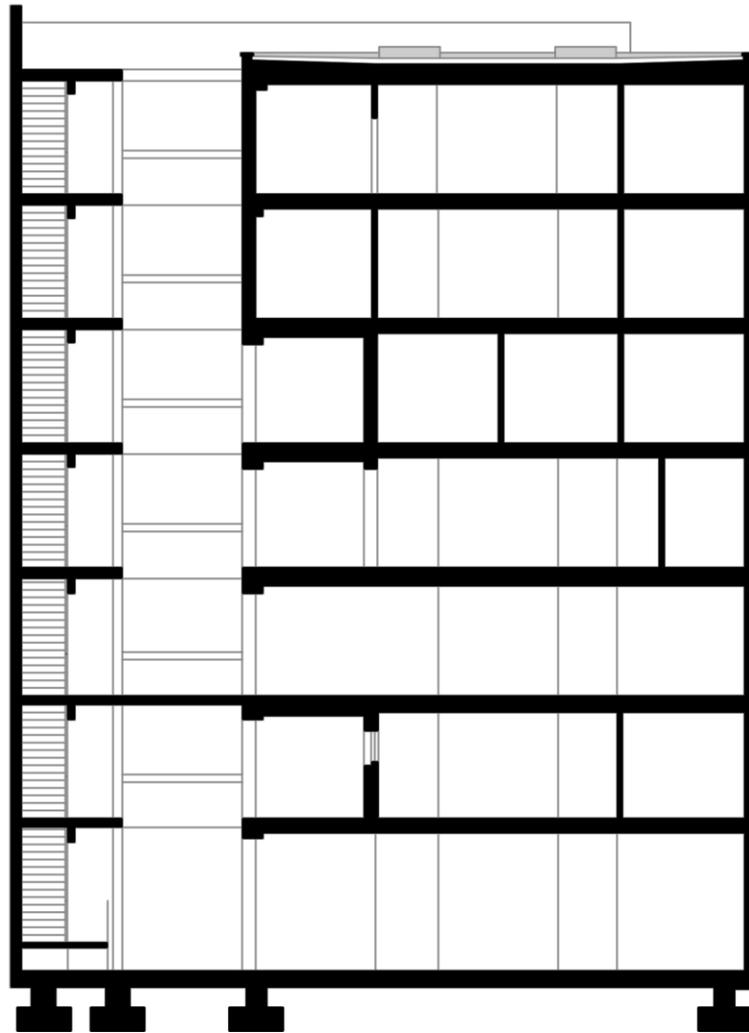
Pianta funzionale distributiva piano quinto – scala 1:200 – elaborazione degli autori



Pianta funzionale distributiva piano sesto – scala 1:200 – elaborazione degli autori



Pianta strutturale dell'edificio – scala 1:200 – elaborazione degli autori



Sezione dell'edificio – scala 1:200 – elaborazione degli autori

Descrizione principi architettonici

L'E3 Berlin deve in parte la propria architettura al rispetto della legislazione urbanistica della città e alle norme antincendio, condizioni che hanno avuto un riscontro nel **posizionamento del corpo scale esternamente all'edificio** per evitare l'eventuale sviluppo di fumo all'interno delle vie di fuga, considerata anche l'altezza dell'edificio: il complesso quindi emerge, pur inserendosi in continuità rispetto alla conformazione urbana esistente, per il sistema di collegamento verticale tramite il corpo di distribuzione in calcestruzzo, che conduce ai vari piani agli ingressi degli appartamenti attraverso la creazione di passerelle e terrazze.

La facciata esterna dell'edificio è intonacata e non mostra la struttura in legno, scelta dettata sempre da una questione urbanistica visto il contesto edilizio urbano di inserimento del progetto, unitamente alla preferenza dei progettisti di proteggere il legno che altrimenti sarebbe stato esposto direttamente agli agenti atmosferici: **l'invisibilità del legno** in facciata, seppur la **texture di alternanza delle zone vetrate e opache abbia una relazione con il sistema strutturale a telaio** sottostante, dimostra l'utilizzo del legno nel progetto come materiale da costruzione e da isolamento per il raggiungimento di elevate prestazioni di resistenza e stabilità ed energetiche dell'edificio.

Selezione di fotografie e di dettaglio



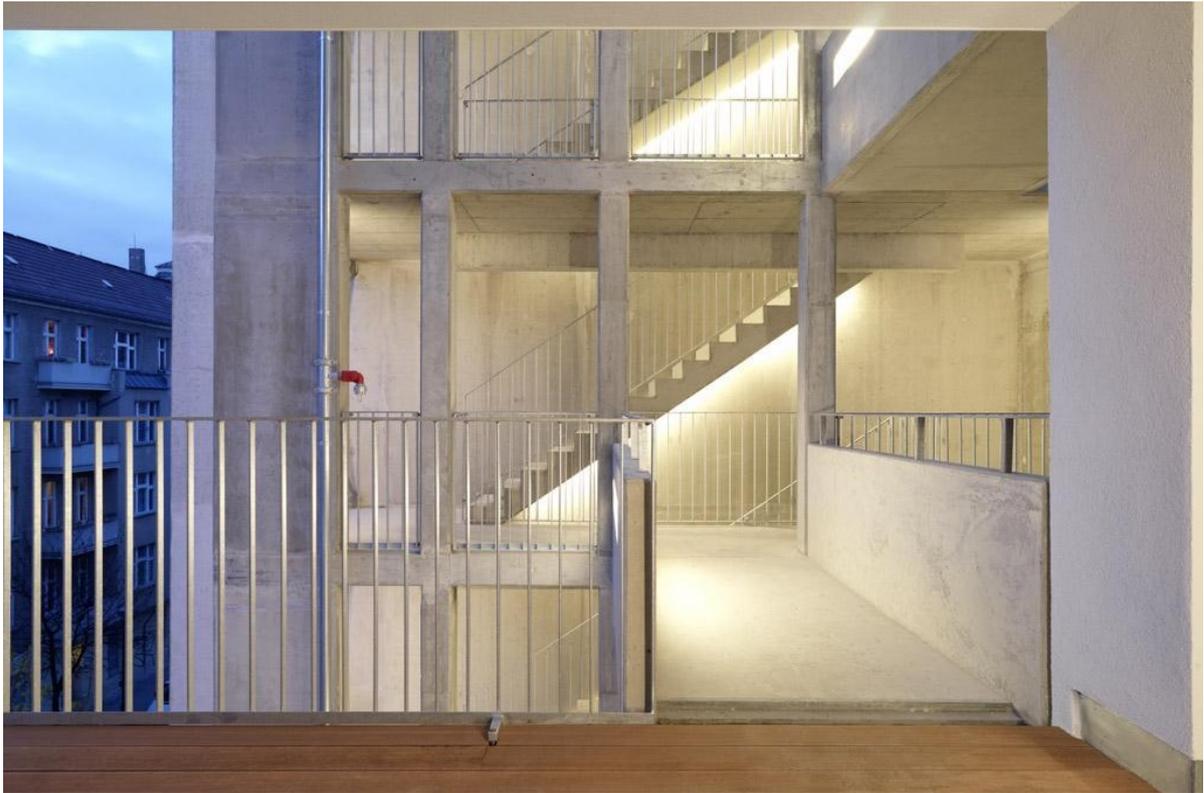
Esterno dell'edificio verso fronte strada con la particolare texture in facciata ricavata grazie al sistema a telaio



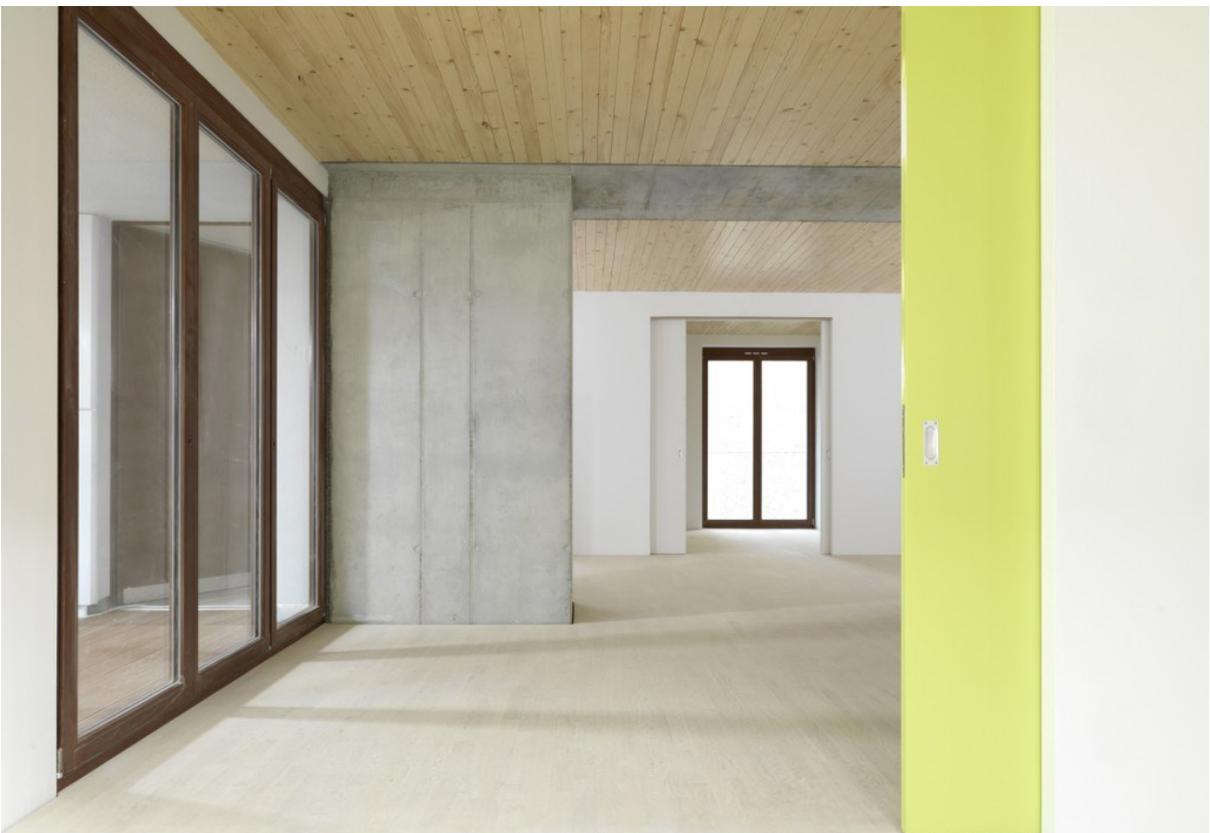
Esterno dell'edificio verso fronte cortile interno e fase di cantierizzazione dell'edificio



Fase di cantierizzazione dell'edificio durante la quale si osserva la struttura a telaio in legno e il sistema di connessione tra gli elementi mediante connettori metallici



Corpo scale di distribuzione verticale in calcestruzzo posto all'esterno dell'edificio



Interno dell'edificio con le ampie vetrate ricavate dalla struttura dell'edificio, che rendono molto luminoso l'ambiente

Descrizione elementi tecnologici e costruttivi

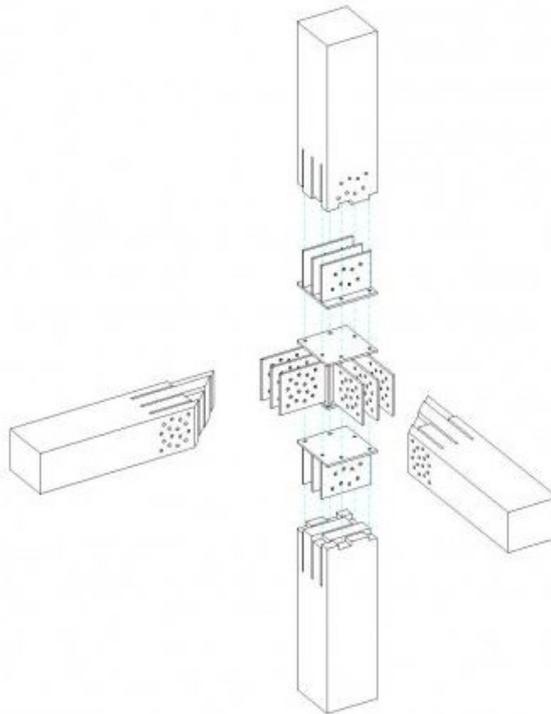
L'E3 Berlin basa la propria struttura portante su un **sistema a telaio** composta da **componenti in legno lamellare di abete combinati con lastre composite in legno-cemento**: lo scheletro portante è costituito da travi e pilastri in legno con la presenza di alcuni nuclei fissi in calcestruzzo che consistono nell'elemento di organizzazione verticale del vano scala e ascensore con annessi corridoi a sbalzo per raggiungere gli appartamenti e nei duplici cavedi per gli impianti, permettendo un miglioramento della statica dell'edificio, oltre all'inserimento delle lastre di cemento nei solai lignei che consentono una elevata flessibilità planimetrica interna alle unità attraverso l'assenza di pareti portanti di carico interno.

La struttura a telaio in legno dell'edificio è integrata perimetralmente dai pannelli in legno d'abete delle pareti, rivestiti internamente da due pannelli in fibra di gesso di spessore di 18 mm ed esternamente da un pannello di 12,5 mm, l'isolante in lana di roccia e l'intonaco naturale esterno: l'incapsulamento o il riempimento del vano perimetrale con l'**assenza di cavità tra gli elementi strutturali lignei** massimizza l'effetto di resistenza al fuoco assicurando la protezione antincendio.

L'esecuzione di un tale sistema costruttivo è supportata dallo sviluppo di soluzioni di dettaglio innovative anche per quanto concerne i collegamenti in acciaio tra i pilastri e le travi e i supporti per i solai costituiti dalle lastre in legno-cemento. Il risultato di un edificio altamente performante sia energeticamente che qualitativamente è ottenuto anche mediante un elevato grado di prefabbricazione industriale in condizioni monitorate delle pareti e delle lastre dei solai con il raggiungimento di una rapida tempistica di edificazione, sostenuta dalla **cooperazione durante ciascuna fase del processo di pianificazione, trasporto e assemblaggio dell'edificio**.



Fase di cantierizzazione dell'edificio durante la quale si osserva la struttura lignea successivamente rivestita ed intonacata ed il posizionamento e l'assemblaggio degli elementi con inserimento di connessioni metalliche



Modello tridimensionale che mostra il sistema di connessione tra travi e pilastri costituenti lo scheletro portante strutturale

Considerazioni riassuntive sul rapporto tra forma architettonica, principi costruttivi ed espressività del legno nel progetto

L'E3 Berlin rappresenta un approccio innovativo rispetto alla progettazione urbana e alle tecniche costruttive riuscendo a conciliare in un unico edificio la gestione di un aumento della densità abitativa urbana in una realtà costruita caratterizzata da una cortina storica tipica, un interesse architettonico verso un edificio aperto allo spazio che lo circonda, una attenzione alle direttive urbanistiche sull'impiego del legno in ambito urbano con il rispetto delle adeguate accortezze verso la protezione antincendio in un edificio residenziale con l'utilizzo del materiale ligneo accostato al calcestruzzo per esaltarne ciascuna sua peculiarità.

Il complesso residenziale, caratterizzato da una suddivisione in due macro blocchi adibiti a residenziale e connettivo o distributivo, riesce a dimostrare come, con una combinazione di misure costruttive, estetiche e tecniche, si possono raggiungere elevati livelli di sicurezza statica, di resistenza contro il fuoco, di durabilità nel tempo e di efficienza energetica in un edificio pluripiano di una modesta altezza con struttura lignea.

Sitografia: miesarch.com - www.divisare.com - www.kadenundlager.de - www.bigee.net

Forté Living

DICOTOMIA

PREFABBRICAZIONE

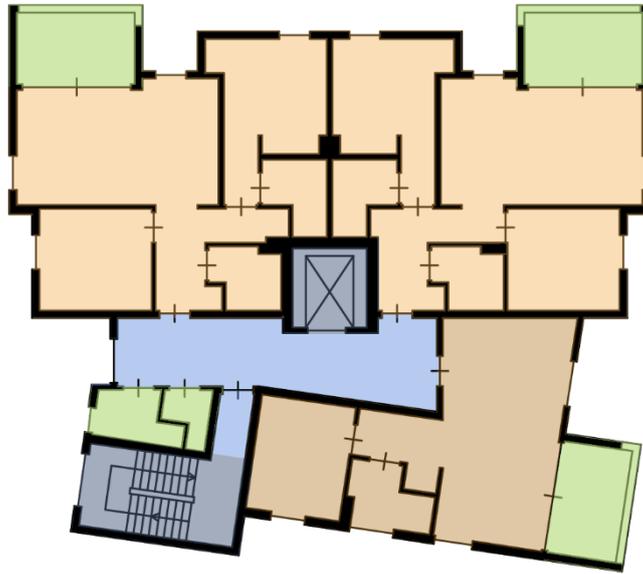
Sintesi del progetto

Il Forté Living è un edificio residenziale situato nel quartiere di Victoria Harbour che, al momento della sua realizzazione ha rappresentato contemporaneamente il primo edificio multipiano in legno d'Australia e il più alto edificio ligneo al mondo, contribuendo al progetto di riqualificazione e riorganizzazione urbana dell'area.

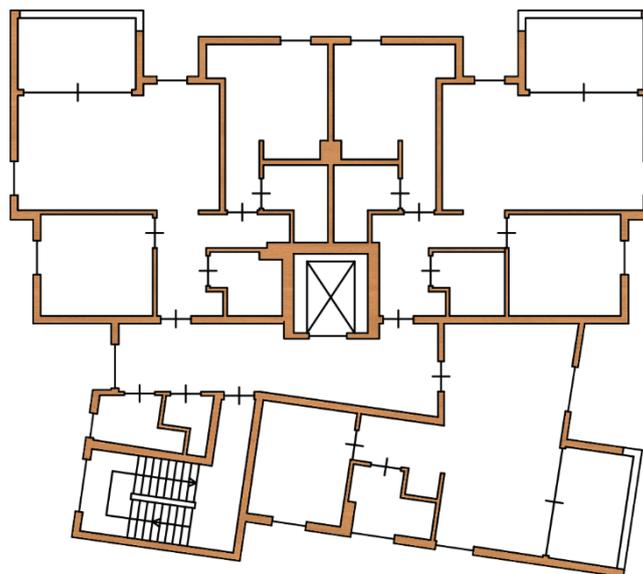
Dati

Autore	La società Lend Lease si è occupata della progettazione e della costruzione dell'edificio, con la consulenza per le strutture in legno di KLH UK Ltd. di Londra
Anno di edificazione	Maggio 2012 – Agosto 2012
Luogo	Melbourne, Australia
Destinazione d'uso	Residenziale
Superficie complessiva	1.250 mq
n° di appartamenti	23
Altezza	10 piani - 32 metri di altezza

Elaborati grafici



Pianta funzionale distributiva piano tipo – scala 1:200 – elaborazione degli autori



Pianta strutturale dell'edificio – scala 1:200 – elaborazione degli autori

Descrizione principi architettonici

Il Forté Living è un edificio nel quale il legno non viene dichiarato in facciata, infatti la struttura lignea non è visibile esternamente, come è assente anche un eventuale rivestimento in cui sia presente il legno, per il quale invece si è preferita una soluzione di **rivestimento in pannelli a protezione della struttura** sottostante; il rivestimento esterno di colore chiaro ricopre per la quasi totalità la sagoma pressoché parallelepipedica dell'edificio creando un blocco imponente e squadrato, la cui superficie viene interrotta solamente dalle aperture incassate, dai balconi sporgenti rispetto al filo della facciata e da una **scansione verticale** data da alcuni avancorpi o rientranze e dettagli metallici che identificano i settori di distribuzione interna.

Le unità immobiliari del complesso residenziale sono composte da una o due camere da letto, hanno dimensione variabile dai 59 ai 102 mq e a ciascun alloggio è annessa una zona esterna.

Selezione di fotografie e di dettaglio



Esterno dell'edificio e dettagli del rivestimento a pannelli della struttura lignea in facciata



Fase di cantiere in cui si apprezza la struttura in legno, successivamente rivestita, non evidente in facciata

Descrizione elementi tecnologici e costruttivi

L'altezza dei 32 metri del Fortè Living viene raggiunta in sicurezza con l'applicazione del **sistema costruttivo in X-LAM** che permette l'ottenimento di prestazioni elevate con una costruzione rapida e una attenzione alla componente ecologica e sostenibile consentendo un risparmio di oltre 1.400 tonnellate di anidride carbonica rispetto ad una costruzione di dimensioni simili in cemento o acciaio; la resistenza strutturale nell'edificio è quindi raggiunta tramite gli elementi in legno massiccio incollati ottenuti dalla sovrapposizione di lamine incrociate e la realizzazione del piano terreno in calcestruzzo.

La struttura lignea del Fortè Living impiega 760 pannelli in X-LAM, prodotti in Austria e trasportati via mare, utilizzati per gli elementi prefabbricati di pareti, solai e coperture: grazie alla semplificata realizzazione dei pannelli in ambito industriale, con l'arrivo in cantiere dei prodotti lignei, si è potuto procedere direttamente al loro montaggio risparmiando sui tempi di realizzazione dell'opera, senza rinunciare però alle ottime prestazioni termiche e ad un

considerevole risparmio di energia per il riscaldamento e il raffrescamento dell'edificio grazie alle elevate performance dell'involucro.

Considerazioni riassuntive sul rapporto tra forma architettonica, principi costruttivi ed espressività del legno nel progetto

Il sistema costruttivo in X-LAM si adatta perfettamente all'architettura del complesso residenziale Forté Living caratterizzata da una regolarità tipica della forma parallelepipedica, la quale riesce comunque a creare una sorta di disegno ritmato in facciata mediante la bucatatura di questa sagoma apparentemente semplice: tramite l'avanzamento e l'arretramento di aree della superficie di facciata, che talvolta assumono una colorazione differente, si vengono a plasmare ombre, zone fruibili esterne e luce interna agli ambienti con **l'architettura che assume il ruolo di mezzo di comunicazione e di dialogo tra l'interno e l'esterno** e viceversa.

Sitografia: www.architectureanddesign.com.au - www.klh.at - www.lendlease.com

Murray Grove – Graphite Apartments o Stadthaus

DICOTOMIA

PREFABBRICAZIONE

RAPPORTO CON L'INTORNO

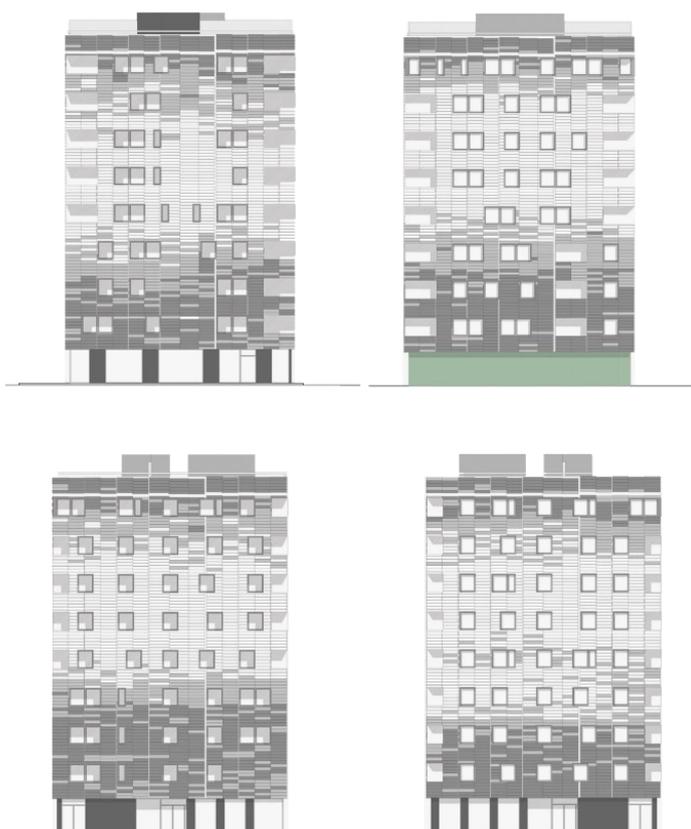
Sintesi del progetto

L'edificio Murray Grove sorge nel quartiere di Hackney a Londra e segna l'inizio di una nuova epoca nell'ambito dell'architettura in legno, essendo il primo progetto di edilizia residenziale urbana costruito in legno che ospita 29 appartamenti da una a quattro camere da letto, differenziati in edilizia residenziale agevolata e unità immobiliari private, oltre ad un ufficio di quartiere situato al piano terreno.

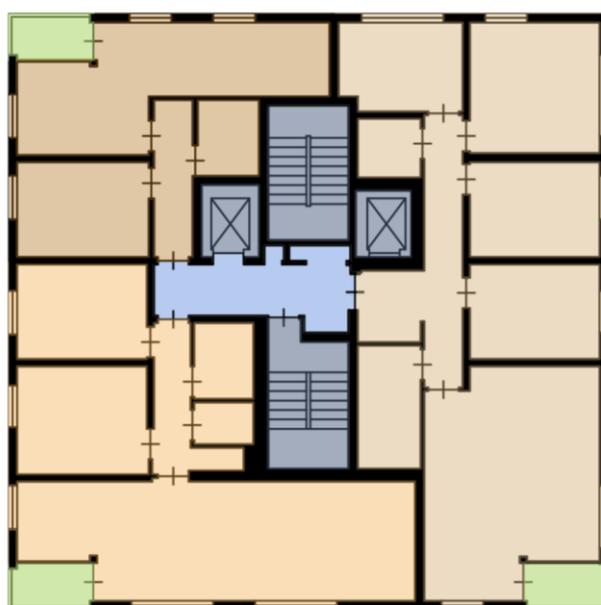
Dati

Autore	Lo studio Waugh Thistleton Architects di Londra ha progettato l'edificio, in collaborazione con l'azienda austriaca KLH per la produzione del legname
Anno di edificazione	2009
Luogo	Londra, Gran Bretagna
Destinazione d'uso	Residenziale
Superficie complessiva	1.811 mq
n° di appartamenti	29
Altezza	9 piani

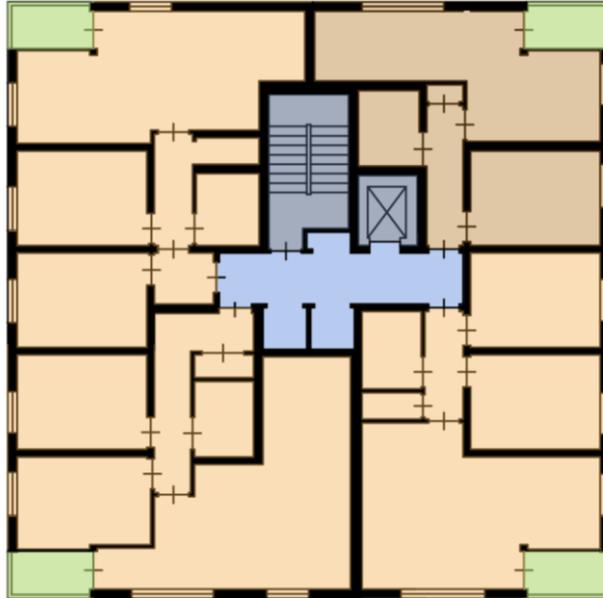
Elaborati grafici



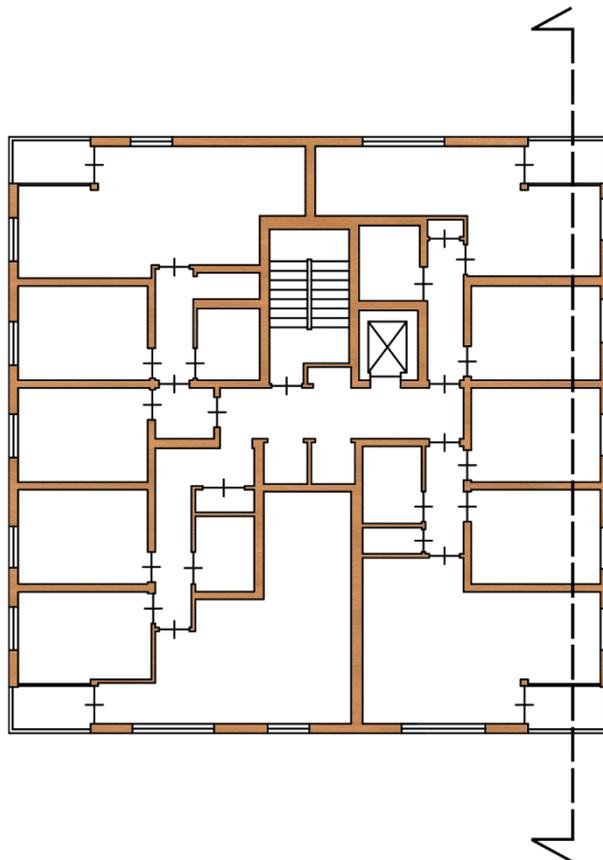
Prospetti dell'edificio



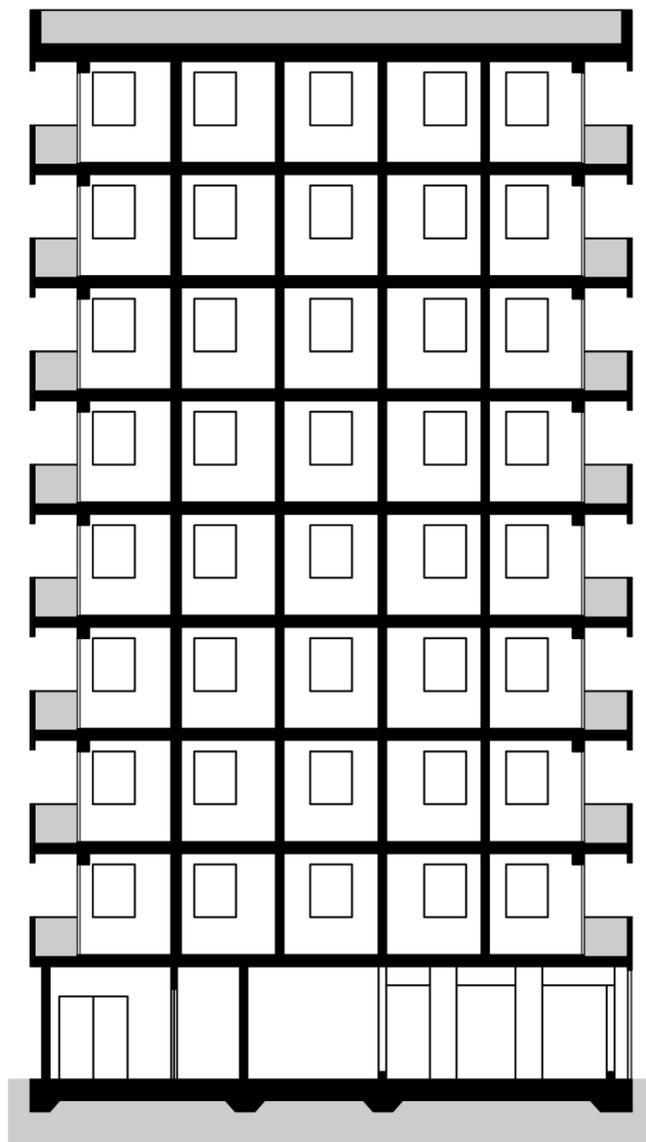
Pianta funzionale distributiva piano tipo residenza agevolata (da piano primo a terzo) – scala 1:200 – elaborazione degli autori



Pianta funzionale distributiva piano tipo residenza privata (da piano quarto a nono) – scala 1:200 – elaborazione degli autori



Pianta strutturale dell'edificio – scala 1:200 – elaborazione degli autori



Sezione dell'edificio – scala 1:200 – elaborazione degli autori

Descrizione principi architettonici

Il Murray Grove emerge, allo stesso tempo adattandosi al contesto dell'area di edificazione, per la **caratteristica facciata a pixel**, composta da 2.500 pannelli prodotti in un materiale di finta ardesia che utilizza una pasta di legno ottenuta per il 70% da legname di scarto: la disposizione dei pannelli con dimensione 120 x 15 cm, che basano le loro tonalità sulle tre principali colorazioni del bianco, grigio e nero, nasce per catturare il modo in cui la luce e le ombre mutevoli prodotte da alberi e edifici circostanti si riflettono sull'edificio, ispirandosi al concetto di lavoro dell'artista di Gerhard Richter.

Il **rivestimento esterno della struttura lignea**, la cui **componente principale è la pasta di legno**, riproduce quindi l'immagine pixellata e sfocata dell'intorno, la quale viene come avvolta attorno all'edificio e sulla quale si nota una netta mutazione del disegno e della colorazione della facciata tra il terzo e il quarto piano che rimanda al cambio di tipologia degli appartamenti interni con quelli privati posti superiormente. Ciascuno dei 29 appartamenti è fornito di balconi che, insieme alle finestre, appaiono come porzioni mancanti rispetto alla superficie della facciata, rendendola armonicamente ritmata.

Selezione di fotografie e di dettaglio



Esterno dell'edificio

Descrizione elementi tecnologici e costruttivi

La torre multipiano del Murray Grove è costruita secondo un **fitto nido d'ape di pannelli strutturali in X-LAM con un'anima in legno** costituita dai blocchi di distribuzione strutturalmente indipendenti, separati dal terreno dalla base in calcestruzzo della fondazione e del piano terreno per assicurarne una durabilità nel tempo senza che il legno possa venire a contatto con l'umidità.

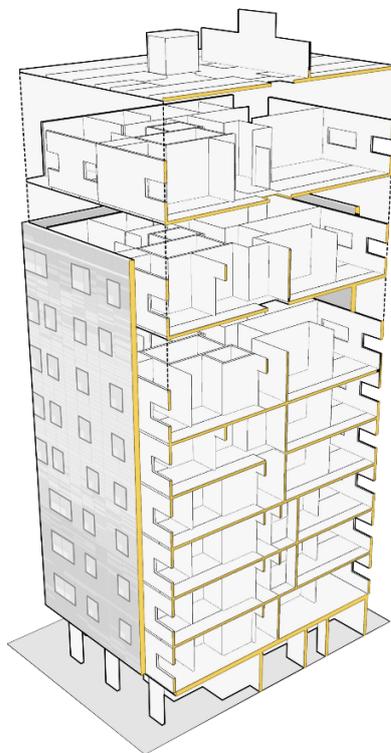
La predominanza dell'utilizzo di pannelli X-LAM a triplo strato è evidente nelle strutture delle pareti portanti e delle balaustre strutturali dei balconi, dei solai e dei nuclei ascensori nei quali è presente uno strato isolante di 40 mm tra i pannelli lamellari per ridurre le trasmissioni sonore dovute alle vibrazioni. Le pareti perimetrali dell'edificio internamente sono intonacate, mentre esternamente possiedono un isolamento di 10 cm, un'intercapedine d'aria e il **rivestimento schermante, insonorizzante e protettivo** della struttura dall'acqua. I solai sono invece composti da una pavimentazione in legno di 15 mm, un massetto da 55 mm, uno strato di isolante di 10 mm, un pannello strutturale in X-LAM di 146 mm, un vuoto tecnico di 75 mm, un secondo strato isolante compresso di 50 mm ed un pannello di cartongesso che funge da soffitto per il piano sottostante.

L'edificio utilizza una **configurazione a piattaforma** nella quale ogni piano poggia sui muri del livello sottostante fornendo una autoprotezione in caso di incendio e procedendo alla costruzione tramite il sollevamento e l'impilamento degli elementi prefabbricati, con lunghezze fino ai 9 metri, connessi da viti e piastre angolari.

Il sistema del Murray Grove di travi orizzontali e pannelli verticali in abete si riflette nella creazione di una **planimetria a matrice ad angolo retto in cui le pareti strutturali differiscono nel posizionamento su ciascuno dei nove piani**: gli appartamenti più ampi si trovano ai piani inferiori e quelli più piccoli ai piani superiori, consentendo di posizionare le pareti strutturali con l'obiettivo di ridurre al minimo il carico su ogni trave di legno che quindi non necessita di controventature incrociate.

Il cantiere, completato in 49 settimane con l'ausilio di una gru e attrezzature poco ingombranti come cacciaviti e trapani elettrici, ha portato alla realizzazione di unità abitative completamente insonorizzate e isolate grazie ai pavimenti galleggianti e alle controsoffittature, energeticamente e termicamente performanti, secondo un approccio sostenibile evidente nella

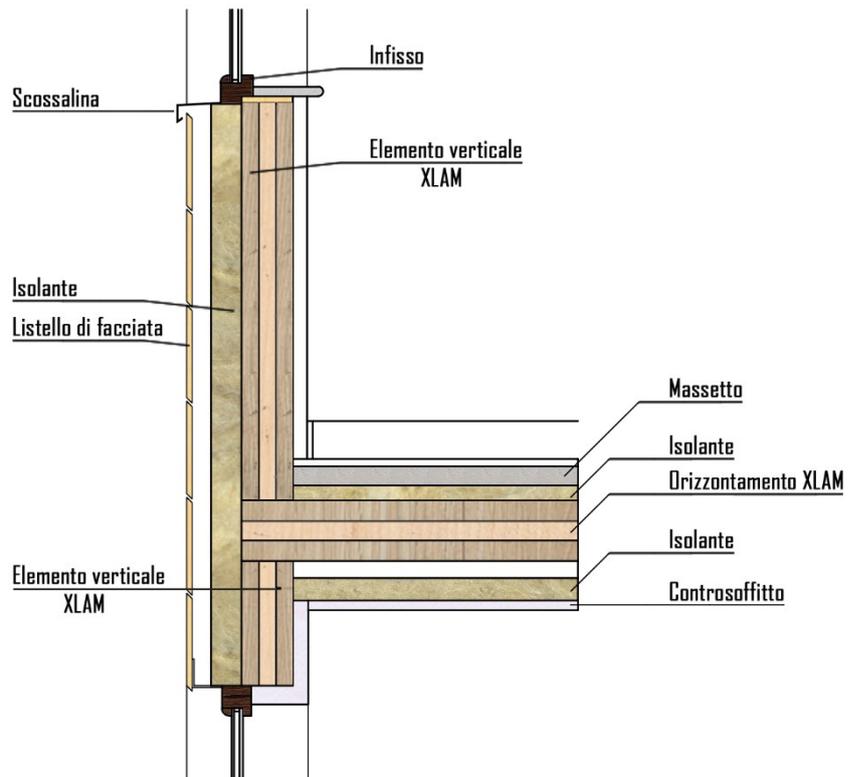
gestione del processo costruttivo, nelle scelte tecnologiche e nella struttura dell'edificio che immagazzina 186 tonnellate di carbonio.



Modelli tridimensionali che mostrano il sistema strutturale dell'edificio configurato a piattaforma con la trasmissione dei carichi dei pannelli lignei al terreno sul quale poggia



Fase di cantiere che mostra la struttura interna in legno e il metodo di connessione tra gli elementi



Dettaglio del nodo di intersezione tra l'elemento verticale della parete con l'attacco degli infissi e l'elemento orizzontale del solaio – scala 1:20 – elaborazione degli autori

Considerazioni riassuntive sul rapporto tra forma architettonica, principi costruttivi ed espressività del legno nel progetto

L'edificio del Murray Grove è considerabile come un **solido intreccio strutturale con un nucleo ulteriormente rigido, sul quale è possibile agire tramite l'inserimento di stratigrafie più complesse, eventualmente indipendenti o di separazione**, definendo elementi scatolari rapidamente assemblabili ma resistenti anche in caso di incendio o di sisma.

La dettagliata ricerca e analisi progettuale ante fase di costruzione ha permesso una semplice gestione del cantiere, dimostrando la possibilità della messa in opera di edifici alti in legno, i quali possono **non rivelare esteriormente la presenza del materiale ligneo per motivi meramente estetici o legati alla durabilità**, entrambe giustificazioni che motivano la facciata del Murray Grove, ricavata da una interessante trasformazione dello studio degli ombreggiamenti dell'ambiente circostante all'edificio con una **valutazione del progetto secondo il paesaggio e le preesistenze in cui esso va ad inserirsi**.

waughthistleton.com

www.architectmagazine.com

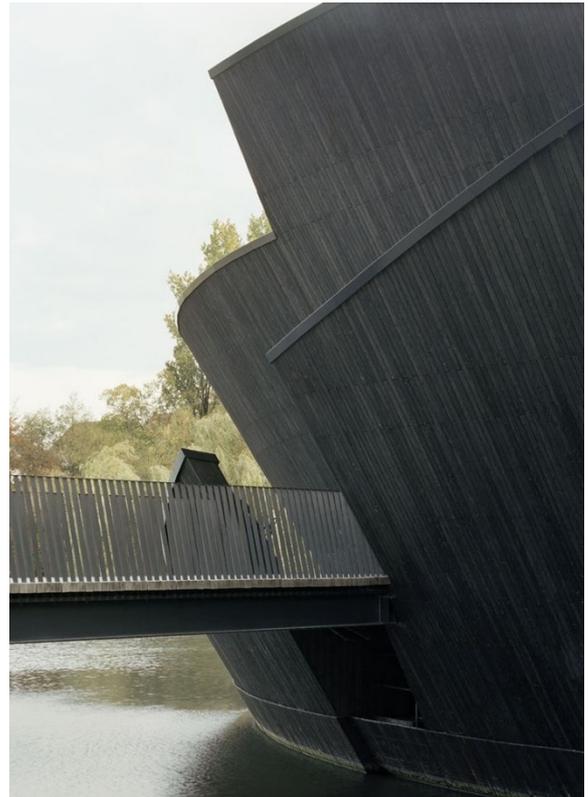
www.proholz.at/zuschnitt/33/images/London.pdf

www.dezeen.com

Il caso del Müritzeum a Waren in Germania

Il Müritzeum, detto la Casa dei 1000 laghi, è stato progettato nel 2007 a Waren, in seguito alla vincita del progetto ad un concorso indetto per ampliare l'esistente museo con la specifica esigenza di una nuova struttura che favorisse il rapporto fra i visitatori, i laghi del Mecklemburgo e l'autoctono ambiente naturale ricco di flora e fauna tipico del luogo.

Il progetto si basa sulla combinazione di due materiali principali, ossia le **doghe in legno di larice bruciato per la facciata**, rimandando alla tradizione locale della preparazione del carbone, e il cemento a vista, al fine di creare una struttura compatta e funzionale capace di inserirsi armonicamente nel contesto del parco. L'edificio si costituisce di due piani in alzato e un seminterrato con una conformazione della architettura circolare, spezzata da una coppia di sezioni taglienti: i segmenti di cono, i quali uno all'interno dell'altro tracciano in planimetria la forma di un cerchio, e la struttura del pavimento sono in legno e non risultano a diretto contatto con il suolo.



Müritzeum a Waren

Una delle due sezioni recide la curva interrompendola per creare in alzato la facciata principale dell'ingresso alla struttura con l'inserimento di una ampia vetrata, mentre un altro taglio interrompe la geometria del cerchio per assumere la conformazione di un vano scala centrale che conduce alla copertura.

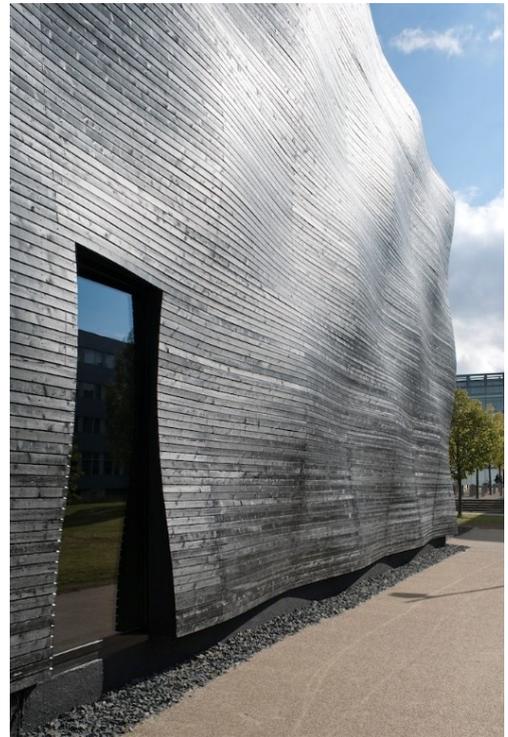
In alzato il disegno architettonico si percepisce come una spirale avvitata su sé stessa con le sommità verso il basso che si restringono e verso l'alto si allargano: le pareti sono costituite da **legno di tipologia Leno** con uno spessore di 120 millimetri, mentre le superfici esterne sono in legno carbonizzato con spessore di 30 millimetri finiti esternamente mediante una **finitura marrone nerastra** che non necessita di particolare manutenzione e permette all'edificio di mantenere esternamente il legno a vista grazie al **procedimento di carbonizzazione dei pannelli di legno** prima dell'installazione in modo da rendere completamente impermeabile la superficie lignea e resistente agli agenti atmosferici. La base della struttura è realizzata in cemento armato poiché in parte la struttura è posta sotto il livello dell'acqua.

Sitografia: www.arketipomagazine.it

Il caso dell'Interims Audimax a Monaco di Baviera in Germania

L'Interims Audimax è situata all'interno del complesso dell'Università Tecnica di Monaco di Baviera in Germania, è stata inaugurata nel 2011 ed è uno dei nuovi edifici universitari adibito ad auditorium del complesso: l'edificio ha una conformazione quasi quadrata e ospita al suo interno due aule separate da un corridoio con un atrio per un totale complessivo di quasi ottocento posti a sedere e 288 posti.

Un budget molto limitato ed un periodo di tempo per la pianificazione e la costruzione dell'edificio molto breve hanno incentivato la decisione di utilizzare una struttura con scheletro primario su una griglia di base di 62,5 centimetri di legno in abete rosso grezzo riempito con pareti con telaio in legno.



Interims Audimax a Monaco di Baviera

La facciata che racchiude l'edificio produce un effetto ondulato che, con la variazione dell'incidenza della luce, fa apparire un motivo a scacchiera, e reso per mezzo di assi di legno segato orizzontale mantenuto grezzo di abete verniciato nero satinato per contrastare il processo di invecchiamento del legno, mentre la sottostruttura in facciata è composta da pannelli sfalsati di compensato impiallacciato con taglio ondulato.

Sitografia: www.archdaily.com