

QUADERNI TECNICI DI ASSOLEGNO



RELAZIONI LEGNO E ACQUA

GESTIONE DELL'UMIDITÀ

www.assolegno.it

www.assolegnorisponde.it

assolegno@federlegnoarredo.it

FLA
FEDERLEGNOARREDO

Milano, dicembre 2022



Il presente volume fa parte della raccolta "I Quaderni Tecnici di Assolegno", una serie di pubblicazioni redatte a cura della struttura di Assolegno di FederlegnoArredo che hanno l'obiettivo di promuovere il corretto uso del legno nelle costruzioni e di fornire chiarimenti in merito al quadro normativo vigente.

Sono autori di questa pubblicazione il Dott. Marco Luchetti (Responsabile di Assolegno), l'Ing. Matteo Izzi (Ufficio Tecnico di Assolegno) e l'Ing. Mauro Andreolli (Timbertech).

INTRODUZIONE AL QUADERNO TECNICO

Nell'ultimo decennio il settore dell'edilizia in legno in Italia è cresciuto enormemente, sia in termini numerici che di dimensioni e di complessità delle opere realizzate. Il rinnovato interesse per il legno è da ricercare in una ritrovata sensibilità da parte della committenza verso i temi della sostenibilità e del *"Near Zero Carbon Building"*.

Va precisato che, per opere realizzate in ambito urbano, tale maggior interesse si spiega anche grazie alla velocità di realizzazione e al minor ingombro di cantiere, che facilitano le operazioni di edificazione sia che si tratti di sopraelevazioni che di processi di demolizione e ricostruzione.

D'altro canto, l'impiego sempre più estensivo di sistemi prefabbricati e ingegnerizzati ha giocato un ruolo cruciale nell'affermazione dei sistemi costruttivi in legno anche per opere multipiano, sia a carattere residenziale che destinati al terziario

Entro il presente quaderno tecnico si vuole quindi approfondire il tema della gestione del "carico di umidità" fornendo alcune indicazioni sulla mitigazione del rischio a beneficio di tutti gli stakeholder della filiera.

Marco Luchetti

Responsabile Assolegno

INDICE DEI CONTENUTI



INDICE DEI CONTENUTI

1	LE RELAZIONI TRA LEGNO E ACQUA	2
1.1	IL COMPORTAMENTO IGROSCOPICO	2
2	LA DURABILITÀ DELL'OPERA	8
2.1	CENNI SULLA DURABILITÀ DEGLI EDIFICI IN LEGNO	9
2.2	IL PRINCIPIO DELLE "4D"	12
2.3	PROGETTAZIONE E FATTORI DI RISCHIO	13
2.4	CARPENTERIA METALLICA: CORROSIONE	16
3	IL PIANO DI CONTROLLO DELL'UMIDITÀ	20
3.1	UMIDITÀ DEI PRODOTTI A BASE LEGNO	21
3.2	IL LIVELLO DI PROTEZIONE DEL CANTIERE	22

1. LE RELAZIONI TRA LEGNO - ACQUA

1 LE RELAZIONI TRA LEGNO E ACQUA

Il legno ha caratteristiche che lo rendono un materiale da costruzione unico sia da un punto di vista ingegneristico che architettonico e ha suscitato un crescente interesse negli ultimi anni sia da parte di committenti privati che di amministrazioni pubbliche.

Sebbene la tematica legata all'economicità dell'opera resti abbastanza centrale all'interno dei processi decisionali, sempre più attenzione viene posta sul tema della sostenibilità e sulla capacità di garantire nel tempo le prestazioni previste in fase di progetto. In questo ambito sarà dunque posta l'attenzione sulle relazioni tra legno e acqua.

Sin da subito è bene sottolineare che tutti i materiali da costruzione a contatto con l'acqua possono sviluppare agenti patogeni, tanto dannosi per quanto riguarda la salute in termini di qualità dell'aria, aspetto (presenza di muffe) e stabilità strutturale.

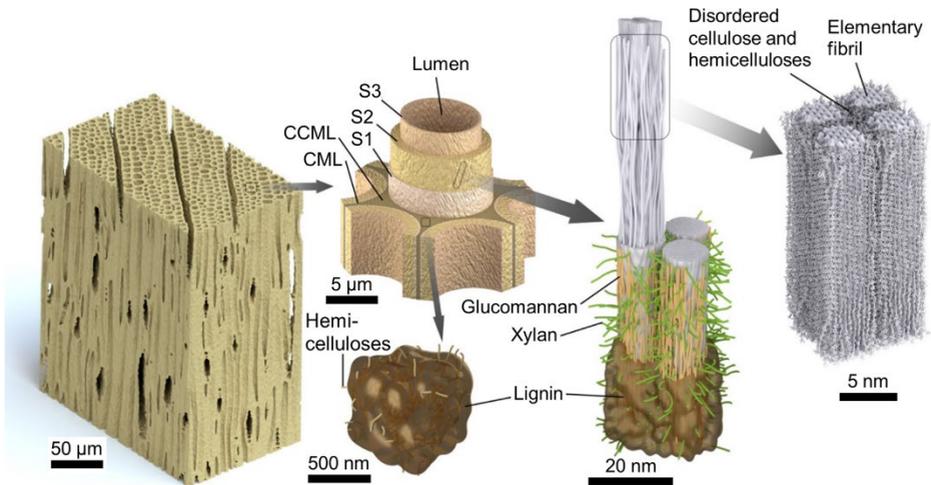
La capacità di gestire l'acqua, sia nella fase di cantiere che in esercizio, è un punto focale per tutto il comparto edile e in questo le costruzioni in legno non fanno eccezione. È quindi fondamentale considerare, fin dalle fasi progettuali, il carico di umidità per delineare dei programmi di manutenzione razionali per l'intera vita dell'opera.

1.1 IL COMPORTAMENTO IGROSCOPICO

Il legno è un materiale igroscopico e interagisce in modo dinamico con l'ambiente in cui è posto in opera, adsorbendo e cedendo l'umidità sino a trovare un punto di equilibrio.

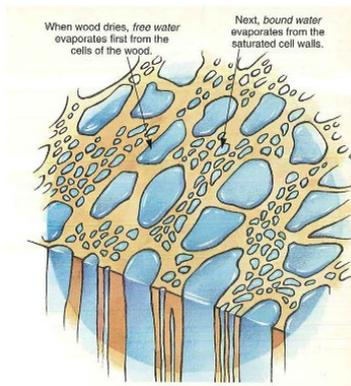
Tale peculiarità influenza le dimensioni, le proprietà meccaniche, la durabilità (possibilità o meno di essere aggredito da funghi o insetti) ed il grado di finitura (andando ad esempio ad interferire con processi di verniciatura) del materiale. È opportuno quindi considerare il "sistema legno-acqua" piuttosto che limitarsi alla trattazione del solo costituente legno.

Da un punto di vista della materia prima legno, durante il periodo vegetativo, l'albero parte dal carbonio presente all'interno della CO₂ e produce la materia organica attraverso la fotosintesi. Tale materia organica viene quindi organizzata a formare "fibre elementari", che a loro volta sono raggruppate in fasci chiamati "microfibrille". Le microfibrille sono una componente fondamentale e costituiscono l'elemento principe di cui sono costituite le pareti cellulari del legno, influenzandone le caratteristiche nel rapporto legno-acqua.



Struttura e ultrastruttura del materiale legno. Sulla destra si trova un'esemplificazione dei fasci di microfibrille di cellulosa

L'acqua può essere presente in forma di vapore che interagisce con la parete cellulare o in forma liquida presente nei lumi cellulari. Va tuttavia sottolineato che solo l'acqua presente sottoforma di vapore influenza le proprietà del materiale.



Acqua libera ("free water") e acqua "vincolata" alle pareti cellulari ("bound water"). Durante il processo di essiccazione e stagionatura, il legno perde prima l'acqua libera e poi, con un maggior apporto di energia, l'acqua legata alle pareti cellulari.

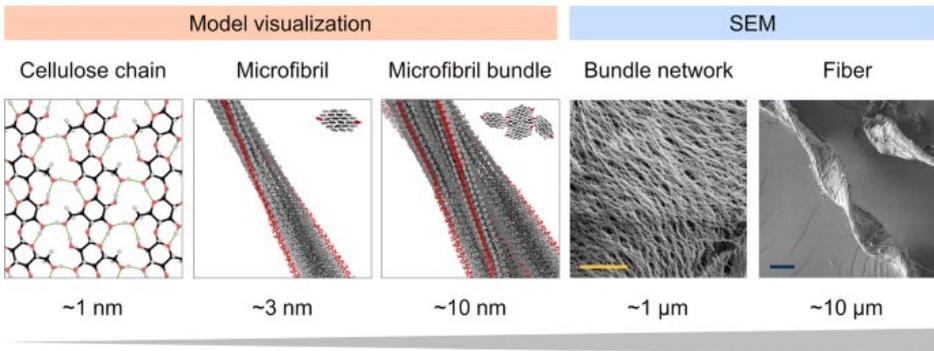
L'umidità viene espressa dalla relazione:

$$U = (M_u - M_s) / M_s$$

dove M_u è la massa del legno umido e M_s quella del legno secco (anidro).

In senso generale l'acqua è presente nel legno in tre forme: libera, legata e di costituzione. L'acqua legata è presente all'interno della parete cellulare e dipende fondamentalmente dall'umidità relativa dell'aria, legandosi attraverso i legami a idrogeno ai radicali ossidrilici liberi disponibili prevalentemente nelle zone amorphe delle microfibrille di cellulosa delle pareti cellulari. Il punto di saturazione (pari ad una umidità del legno di circa 30%) individua la soglia al di sotto della quale il legno comincia a presentare sensibili variazioni nelle sue proprietà fisico-meccaniche in funzione delle variazioni dell'umidità ambientale.

Le deformazioni insorgono nel legno quando l'umidità scende al di sotto della saturazione delle pareti cellulari, valore definito dal numero di gruppi -OH disponibili sulle microfibrille.



Fibrille di cellulosa visualizzate a diverse "scale" microscopiche ed effetto dell'acqua vincolata alle pareti nella definizione della distribuzione spaziale (Fonte: Chirality and bound water in the hierarchical cellulose structure)

L'acqua fluisce all'interno del legno dalle zone più umide a quelle meno umide. È pertanto possibile definire un gradiente di umidità, come variazione di umidità del legno per unità di lunghezza.

Il tempo necessario affinché si raggiunga l'equilibrio igroscopico varia in funzione della superficie libera per lo scambio di umidità tra l'oggetto in legno e l'ambiente. Il processo di

equilibramento igroscopico del legno si sviluppa secondo gradienti di umidità attraverso lo spessore (le zone più superficiali sono le prime a raggiungere la condizione di equilibrio rispetto a quelle più interne) che tendono ad azzerarsi dopo un tempo sufficientemente lungo se le condizioni ambientali rimangono costanti. Nel caso in cui l'umidità relativa vari continuamente, il legno non avrà mai il tempo di raggiungere l'equilibrio igroscopico: gli strati superficiali seguiranno infatti le variazioni più velocemente rispetto alle zone interne, con un conseguente andamento complesso e variabile nel tempo dei gradienti di umidità, la nascita di tensioni interne e la tendenza a distorsioni.

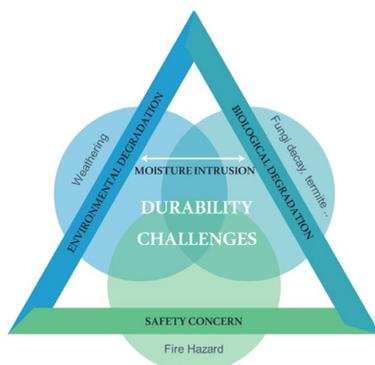
I movimenti dell'acqua all'interno del legno incidono macroscopicamente su quest'ultimo, comportando variazioni dimensionali: l'ingombro stesso della molecola di acqua implica, a seguito dei fenomeni di equilibramento igroscopico, un ritiro oppure un rigonfiamento. L'inclinazione delle microfibrille rispetto all'asse longitudinale contribuisce all'anisotropia del legno, facendo sì che la direzione trasversale sia la più interessata dal ritiro e/o dal rigonfiamento rispetto a quella longitudinale: il ritiro longitudinale è di solito compreso tra 0,2-0,8%, il ritiro radiale è tipicamente compreso tra 3% e 6%, il ritiro tangenziale infine è tipicamente compreso tra 6% e 12%.



2. LA DURABILITÀ DELL'OPERA

2 LA DURABILITÀ DELL'OPERA

Come già approfondito anche da altri Quaderni Tecnici di Assolegno, la durabilità è un elemento che deve essere preso in considerazione sin dalle fasi progettuali, considerando in primis gli elementi architettonici di progetto.



La durabilità dell'opera dipende da fattori interconnessi che comprendono condizioni igrometriche di contorno all'opera, rischio di attacchi biotici e rischi relativi all'incendio



Box di approfondimento

La progettazione delle strutture in legno è un processo multidisciplinare che, a margine della considerazione di aspetti strutturali e architettonici, deve gestire la durabilità di un materiale di natura biologica.

La durabilità non è un aspetto di banale trattazione e si possono dare due definizioni con differenti significati:

- *Durabilità naturale: è una caratteristica del legno che dipende, principalmente, dalla specie e dal taglio.*
- *Durabilità effettiva dell'elemento ligneo: dipende dalla durabilità naturale del legno utilizzato, dalla zona climatica, dalla classe d'uso, dalle caratteristiche di progetto e dalla regola d'arte della messa in opera.*

2.1 CENNI SULLA DURABILITÀ DEGLI EDIFICI IN LEGNO

Di seguito si richiama l'attenzione su alcuni punti essenziali che riguardano la concezione della struttura allo scopo di limitarne il degrado. La progettazione di strutture in legno impone da sempre un confronto con la problematica della sua durabilità, per la naturale tendenza del legno al degrado biologico. Ai fini del corretto sfruttamento del legno per la produzione di oggetti e opere durature nel tempo, il degrado biologico deve essere quindi impedito o ritardato almeno per la durata di vita richiesta al prodotto in questione. Questa problematica investe anche gli edifici in legno, soprattutto se consideriamo gli aspetti connessi alla loro concezione, talvolta erroneamente derivati da quelli relativi ad altri materiali strutturali.

La progettazione di strutture in legno impone da sempre un attento confronto con il tema della durabilità, vista la naturale tendenza del legno al degrado biologico quando i fattori ambientali lo favoriscono. In perfetta analogia con le verifiche strutturali, si possono individuare delle "azioni" che mettono a rischio la durabilità e dei meccanismi di "resistenza al degrado". In generale si può intervenire su entrambi gli aspetti: le azioni possono essere ridotte tramite provvedimenti costruttivi, es. una adeguata concezione dell'opera o l'impiego di elementi aventi prettamente funzione di protezione del legno. Viceversa, l'aumento della resistenza può avvenire tramite la scelta e l'utilizzo di specie legnose più resistenti o tramite l'utilizzo di trattamenti (superficiali o impregnazione). Questi ultimi, pur favorendo la durabilità, necessitano di adeguata manutenzione e non possono sostituire in toto i provvedimenti costruttivi, molto più efficienti e duraturi.

Per quanto riguarda le "azioni", il fattore che maggiormente mina la durabilità di una costruzione in legno è legato alla presenza di acqua. Il progetto deve quindi evitare che essa ristagni a contatto con il legno, e deve consentire una buona ventilazione in ogni parte dell'opera per garantire un contenuto di umidità sempre inferiore al 20% (soglia al disopra della quale è più elevato il rischio di attacchi fungini). Il progetto deve evitare inoltre che l'acqua venga assorbita per capillarità (es. per contatto diretto con materiali igroscopici o contenenti acqua, come nel caso di elementi appoggiati su fondazioni in CA o direttamente sul terreno). Il progetto deve poi prevenire i problemi di condensa, i quali si possono manifestare in diverse situazioni:

- all'interno dei pacchetti costruttivi, quando le stratigrafie adottate non riescono a diffondere efficacemente il vapore presente;

- sulle superfici degli elementi, se le condizioni climatiche sono particolarmente severe e favoriscono la condensazione del vapore atmosferico (es. formazione di un sottile strato di ghiaccio, che si scioglie all'aumentare della temperatura);
- all'interno di locali non ventilati e, in caso di apporto notevole di umidità, anche in ambiente domestico.

L'accumulo di neve in prossimità degli elementi costruttivi può avere a sua volta effetti sulla durabilità dell'opera. La neve, infatti, impedisce la ventilazione delle superfici e si trasforma in acqua non appena la temperatura risale e può portare a infiltrazioni di acqua in parti che, altrimenti, potrebbero essere considerate protette.



Box di approfondimento

In merito al tema della durabilità, la progettazione delle strutture in legno non può mai prescindere dalla considerazione delle classi di servizio in cui gli elementi saranno posti in opera, come definite dall'Eurocodice 5 e riprese dalle NTC 2018:

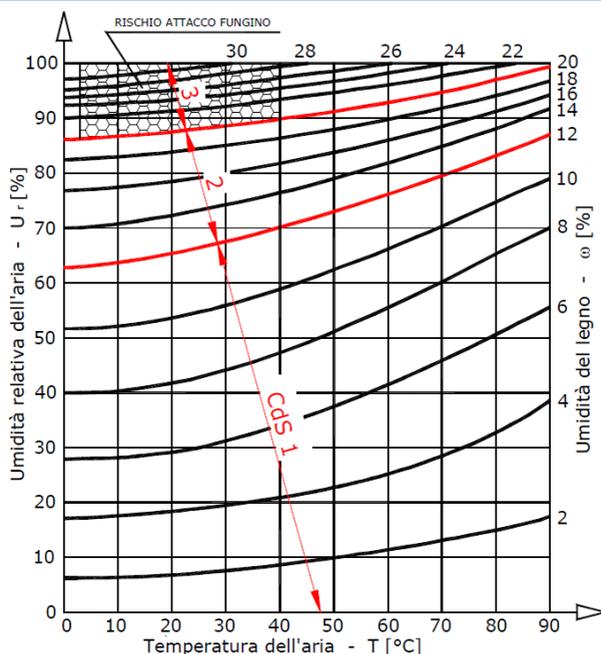
- *Classe di servizio 1: ambiente chiuso, riscaldato in inverno. Temperatura media di 20° C e umidità relativa dell'aria maggiore del 65% per poche settimane l'anno. L'umidità media di equilibrio del legno, nella maggior parte delle conifere, non è maggiore del 12%.*
- *Classe di servizio 2: ambiente al chiuso non riscaldato in inverno oppure ambiente all'aperto ma non direttamente esposto alle intemperie. Temperatura media di 20°C e umidità relativa dell'aria maggiore dell'85% per poche settimane l'anno. L'umidità media di equilibrio del legno, nella maggior parte delle conifere, non è maggiore del 20%.*
- *Classe di servizio 3: ambiente in cui le strutture sono direttamente esposte alle intemperie o frequentemente sottoposte ad inumidimento o immerse. L'umidità media di equilibrio del legno è generalmente maggiore del 20% o comunque tale umidità viene superata per lunghi periodi.*

Riguardo alle azioni associate a sostanze diverse dall'acqua, sebbene il legno sia poco sensibile a un buon numero di sostanze chimiche, non si devono sottovalutare gli effetti

sulle connessioni e sui connettori metallici. In particolare, la presenza di acqua nel legno in quantità sufficiente favorisce la corrosione dei metalli e di conseguenza il degrado del legno. Anche in questo caso, i fenomeni possono essere facilmente evitati limitando il grado di umidità e proteggendo opportunamente gli elementi metallici.

In perfetta analogia con le verifiche strutturali, si possono quindi individuare due possibili componenti in relazione alla verifica della durabilità, "azione" e "resistenza al degrado", e controllare che le conseguenze della prima non superino la seconda. In senso generale, si può intervenire su entrambe le componenti, cioè riducendo le azioni e/o aumentando la resistenza agli attacchi biotici in genere e, in particolare, a quelli fungini.

Box di approfondimento



Curve di equilibrio igroscopico riferite alle condizioni termoigrometriche ambientali. È rappresentata anche la zona a rischio di attacco fungino, indicata in figura come "3"

La riduzione delle azioni avviene tramite provvedimenti costruttivi, quali una adeguata concezione della costruzione, o aggiungendo appositi elementi aventi esclusiva funzione di protezione del legno. L'aumento della resistenza al degrado può avvenire tramite la scelta e l'impiego di specie legnose più durabili (sfruttandone quindi la durabilità naturale) o tramite il trattamento del legno (di superficie o per impregnazione). Questi ultimi, seppur favoriscano la durabilità, necessitano di adeguata manutenzione e non possono sostituire in toto i cosiddetti provvedimenti costruttivi, molto più efficienti e duraturi.



Schema che illustra le modalità per aumentare la durabilità dell'opera: ridurre le azioni ed aumentare la resistenza

2.2 IL PRINCIPIO DELLE "4D"

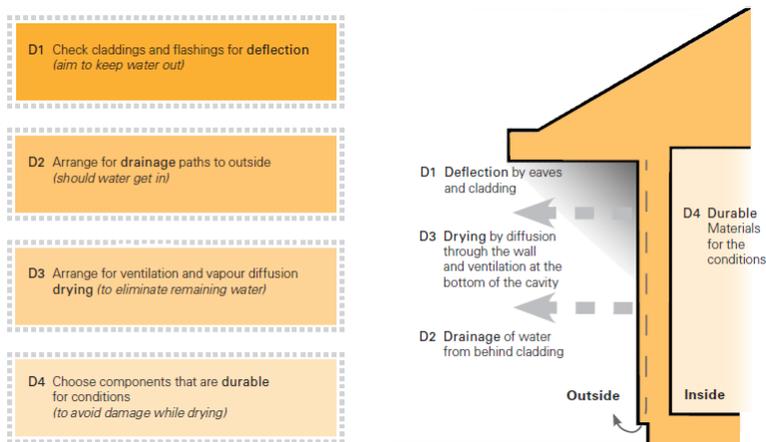
In relazione al concetto della durabilità di un edificio, si illustra di seguito il "principio delle 4D". Il modello, sviluppato in Canada, considera dei principi di difesa dal "carico di umidità" che minimizzano il rischio di infiltrazione in una costruzione (a prescindere dal materiale con cui è realizzata). Essi prevedono:

- **Deflection**, in senso letterale di "deviazione";
- **Drainage**, "drenaggio";
- **Drying**, "possibilità di asciugare";
- **Durable materials**, "materiali durabili".

Tali principi hanno una doppia valenza:

- per gli aspetti macroscopici dell'edificio (es. pendenza della copertura, forma del fabbricato, esposizione);
- per gli aspetti di dettaglio, deputati a risolvere possibili situazioni di criticità che potrebbero innescare situazioni di degrado (es. accorgimenti costruttivi volti a garantire l'impermeabilizzazione e la ventilazione).

Gli stessi possono essere riassunti dalla figura sottostante:



In analogia con quanto svolto in sede di dimensionamento degli elementi strutturali, è sempre opportuno avere una "ridondanza" di fattori di difesa nei confronti dell'umidità al fine perseguire la corretta progettazione tecnologica di un edificio.

2.3 PROGETTAZIONE E FATTORI DI RISCHIO

Il legno è soggetto sia ad attacchi ambientali in cui si realizzano condizioni atte ad alterare la natura del materiale, deteriorandone le funzioni meccaniche (attacchi abiotici), che ad attacchi distruttivi da parte di organismi viventi (attacchi biotici).

A partire da questa definizione i fattori che concorrono alla diminuzione della durabilità degli elementi in legno si possono riassumere in pochi punti.

- Gli attacchi biotici da parte di batteri, funghi, insetti e organismi marini.
- Gli attacchi chimici, dati dalla luce e in generale dalle radiazioni solari.
- I fattori meccanici, come i carichi eccessivi e di lunga durata.

- I fattori fisici, umidità e dilavamento, e indotti dalle variazioni di temperatura.

Tra i fattori elencati, quelli meccanici sono considerati nella fase di dimensionamento e verifica degli elementi portanti; in questo caso il rischio è valutato in accordo a modelli di tipo semiprobabilistico previsti dalla normativa vigente.

Per gli altri fattori di rischio non è possibile fare lo stesso ragionamento ed è evidente che il solo dimensionamento strutturale non può garantire una corretta esecuzione dell'opera, né la protezione degli elementi lignei. Inoltre, gli errori di calcolo o in fase costruttiva non sono gli unici inconvenienti che potrebbero presentarsi: piccole imprecisioni e dettagli non progettati nei minimi particolari possono essere estremamente insidiosi per la durabilità di un edificio.

Giova in particolare rimarcare che negli edifici in legno possono emergere problematiche già dopo poco tempo dalla costruzione, mentre per altri materiali da costruzioni le stesse possono rimanere latenti per periodi più lunghi, sino anni.

Le criticità principali legate alla durabilità degli edifici in legno si riscontrano in molti casi nelle fasi progettuali: la quota di posizionamento degli elementi di legno rispetto al piano di scorrimento delle acque, la scelta dei materiali, la definizione dei dettagli già in fase di progetto sono alcuni degli elementi di fondamentale importanza che il progettista deve tenere in considerazione fin dall'inizio del suo lavoro.

Al pari della fase progettuale, la fase esecutiva ricopre un ruolo primario nella protezione del legno dai fattori di rischio, considerando innanzitutto che gli elementi strutturali, se esposti alle precipitazioni atmosferiche, devono essere protetti e qualora si bagnassero deve essere verificato che l'umidità del legno rientri in valori accettabili prima di "chiudere" il pacchetto costruttivo.

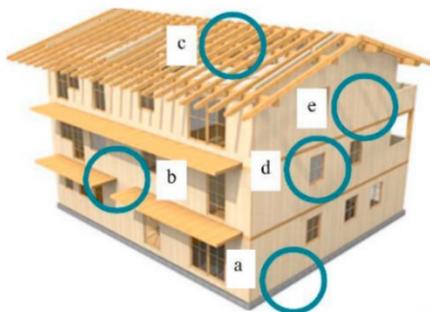
Da ultimo, ma non per importanza, va considerato che la manutenzione dell'involucro edilizio consente di mantenere efficaci le protezioni previste in fase di progetto e di identificare eventuali criticità al loro inizio.

Per la durabilità non esiste ad oggi un procedimento normativamente chiaro per ottenere un quadro completo sulle prestazioni dell'edificio. Occorre quindi che gli attori coinvolti nelle diverse fasi di vita di un edificio in legno si facciano carico, di volta in volta, di tali valutazioni.

Box di approfondimento

Zone a cui prestare particolare attenzione nella gestione della durabilità di strutture in legno:

- a) Attacco a terra
- b) Balcone
- c) Copertura
- d) Collegamento infisso - parete
- e) Pareti e solai



Si deve inoltre considerare che durante le fasi di costruzione si possono verificare eventi atmosferici quando gli elementi non sono ancora protetti. In tale frangente è possibile minimizzare il rischio di attacco fungino prendendo le dovute precauzioni nella fase di trasporto, stoccaggio in cantiere e montaggio dell'opera stessa. Teli di vario tipo possono essere utilizzati per proteggere il materiale durante le fasi di trasporto e stoccaggio in cantiere; gli stessi devono essere parzialmente rimossi in sede di montaggio dell'opera. In alcuni casi, tutta la costruzione può essere oggetto di protezione mediante l'utilizzo di una tenda mobile (metodologia di lavoro spesso utilizzata nei paesi scandinavi, dove molto spesso si hanno condizioni metereologiche avverse).

2.4 CARPENTERIA METALLICA: CORROSIONE

I connettori metallici devono essere resistenti alla corrosione o trattati per garantirne la resistenza. Qualora non siano fornite clausole in merito a livello contrattuale (costruttore – committente) devono essere seguiti i requisiti di seguito riportati:

- Qualora gli elementi in legno siano trattati con sostanze (ad es. sali di rame o alcuni composti organici), i connettori o dispositivi di fissaggio devono essere realizzati con acciaio inossidabile, soprattutto qualora gli stessi si trovino ad essere posti in classe di servizio 3.
- In accordo alla UNI EN 1993-1-4, per le condizioni interne delle piscine, le qualità idonee dell'acciaio inossidabile sono EN 1.4529, 1.4547, 1.4539 e 1.4565, qualora il contenuto di cloruro dell'acqua sia uguale o inferiore a 250 mg/l.
- Per le condizioni interne degli edifici agricoli che coinvolgono bestiame, gli elementi di fissaggio e connettori delle strutture in legno devono essere trattati per la corrosione secondo i requisiti stabiliti per la classe di servizio 3. La stessa corrosione viene infatti accelerata a causa dei gas di ammoniaca.
- Per condizioni che possono trovarsi all'interno di ambienti deputati ad accogliere vasche di decantazione, gli elementi di fissaggio e i connettori devono essere trattati galvanizzando gli stessi Z450; se lo spessore dell'acciaio è inferiore a 3 mm diviene altresì necessario utilizzare acciaio inossidabile. Inoltre, qualora la vita utile della struttura sia superiore ai 25 anni, deve essere utilizzato solo acciaio inossidabile (classe EN 1.4301).
- In condizioni di ambiente umido (riferibili alla classe di servizio 3) deve essere usata la stessa qualità d'acciaio per le piastre metalliche e gli elementi di fissaggio, poiché il contatto di diversi metalli può provocare corrosione galvanica.
- Per l'utilizzo di carpenteria metallica a contatto con specie ricche di estrattivi (ad es. Castagno) devono essere presi in considerazione gli aspetti di corrosione della stessa carpenteria metallica, utilizzando preferibilmente elementi di acciaio inossidabile.

Il seguente prospetto, ripreso dalla ISO 2801, fornisce esempi di protezione o specifiche dei materiali in funzione delle diverse classi di servizio.

Connettori	Classe di servizio ^{b)}		
	1	2	3
Chiodi e viti con diametro ≤ 4 mm	Nessun requisito	Fe/Zn 12c ^{a)}	Fe/Zn 25c ^{a)}
Bulloni, tasselli, chiodi e viti con diametro > 4 mm	Nessun requisito	Nessun requisito	Fe/Zn 25c ^{a)}
Graffette	Fe/Zn 12c ^{a)}	Fe/Zn 12c ^{a)}	Acciaio inossidabile
Piastre di acciaio con spessore fino a 3 mm	Fe/Zn 12c ^{a)}	Fe/Zn 12c ^{a)}	Acciaio inossidabile
Piastre di acciaio con spessore da 3 mm fino a 5 mm	Nessun requisito	Fe/Zn 12c ^{a)}	Fe/Zn 25c ^{a)}
Piastre di acciaio con spessore maggiore di 5 mm	Nessun requisito	Nessun requisito	Fe/Zn 25c ^{a)}

^{a)} Se si utilizza la zincatura a caldo, il Fe/Zn 12c sia sostituito da un rivestimento tipo Z275 (EN 10346). Allo stesso modo il Fe/Zn 25c sia sostituito da un rivestimento tipo Z350. Se si utilizza la zincatura a caldo con dispositivi di fissaggio a tassello, il Fe/Zn 12c sia sostituito da uno strato di zinco minimo di 39 μm di spessore secondo lo standard EN ISO 1461. Allo stesso modo, il Fe/Zn 25c sia sostituito con uno strato di spessore di zinco di 49 μm .

^{b)} Per condizioni ambientali aggressive, quali ad es. in prossimità di zone litoranee, si dovrebbe prendere in considerazione un rivestimento zincato di maggior spessore o l'impiego di acciaio inossidabile



3. UMIDITÀ E CANTIERE

3 IL PIANO DI CONTROLLO DELL'UMIDITÀ

La direzione lavori, insieme al costruttore, sono le figure che sono deputate a definire la qualità realizzativa di un'opera. A tal proposito per le strutture in legno diviene importante definire un piano di controllo dell'umidità, ossia un documento che preveda una serie di azioni e controlli per minimizzare il rischio di attacco fungino durante la fase realizzativa e la vita utile di un edificio.

Tale piano di controllo deve contenere le metodologie con cui viene verificata l'umidità dei prodotti a base legno all'interno delle diverse fasi realizzative dell'opera, le periodicità dei controlli medesimi e i limiti di ammissibilità entro i quali è possibile parlare di conformità della costruzione in relazione alla vita nominale prevista in sede di progetto.

In senso generale, all'interno del medesimo piano di controllo dovranno essere indicate anche:

- le relative misure di protezione dagli agenti atmosferici da apportare alla struttura nelle diverse fasi di edificazione. Di norma, questo può essere ottenuto attraverso l'apposizione di teli impermeabili traspiranti sui solai e coperture per impedire l'esposizione alle precipitazioni nelle fasi costruttive;
- le relative misure dedicate alla protezione del materiale legno nei confronti dell'umidità in condizione di esercizio dell'opera.



Box di approfondimento

In senso generale il piano di controllo dell'umidità:

- *deve prendere in considerazione le fasi di produzione, lavorazione, trasporto e posa in opera degli elementi a base legno;*
- *il Direttore lavori deve supervisionare l'attività del costruttore e carpentiere al fine di verificare che le prescrizioni del piano vengano effettivamente eseguite in corrispondenza dell'ingresso al cantiere, nelle fasi di stoccaggio e realizzazione dell'opera.*

Per quanto attiene i contenuti dello stesso si riportano alcune utili considerazioni:

- Informazioni di base circa l'opera realizzata (indirizzo del cantiere, riferimenti del costruttore, delle squadre di montaggio, direttore lavori, progettista strutturale)
- Elenco dei materiali a base legno ad uso strutturale impiegati nella realizzazione
- I riferimenti di umidità degli elementi a base legno e relative tolleranze previste nelle specifiche tecniche di riferimento all'interno della produzione
- I riferimenti di umidità degli elementi a base legno e relative tolleranze previste nelle fasi di ingresso in cantiere, stoccaggio, realizzazione e a conclusione dei lavori (chiusura dei pacchetti);
- Possibili fonti di umidità del cantiere (ad es. neve, pioggia, umidità di risalita, umidità dei getti...); è consigliato dettagliare la fonte di umidità in relazione al particolare costruttivo considerato;
- Il livello di protezione (LP di riferimento come da paragrafo seguente) scelto per la fase di realizzazione e una stima della durata della protezione stessa;
- La protezione dei prodotti a base legno da seguire all'interno del cantiere:
 - Nella fase di stoccaggio (se prevista)
 - Nella fase di realizzazione dell'opera
- La gestione delle fasi che, a seguito di eventi accidentali, necessitano di processi di asciugatura del materiale;
- La definizione di piani di emergenza dovuti ad infiltrazioni di acqua una volta che la struttura è entrata in esercizio;
- La periodicità, i punti di ispezione, le registrazioni e la persona responsabile degli stessi controlli.

3.1 UMIDITÀ DEI PRODOTTI A BASE LEGNO

L'umidità dei prodotti a base legno forniti in cantiere può essere così schematizzata:

- Legno massiccio: può essere commercializzato sia fresco (ovvero con umidità $U > 20\%$) che stagionato/essiccato (ovvero con $U \leq 20\%$)
- Legno incollato (legno lamellare, legno massiccio incollato, pannelli CLT/XLAM): l'umidità è generalmente compresa tra il 9% e il 15%
- Pannelli in legno compensato e LVL: l'umidità è generalmente dell'8-10%.

3.2 IL LIVELLO DI PROTEZIONE DEL CANTIERE

Il piano di controllo dell'umidità deve prevedere opportuni accorgimenti per la protezione degli elementi al fine di evitare eccessive variazioni di umidità che potrebbero alterarne la durabilità o le prestazioni meccaniche. In considerazione della localizzazione del cantiere devono essere previste le condizioni metereologiche (normali ed eccezionali) che possono influenzare la scelta del livello di protezione.

I livelli di protezione (LP) possono essere così schematizzati:

- **LP0:** nessuna protezione: è consigliato solo in particolari condizioni climatiche in quanto si deve tenere in considerazione che l'umidità del materiale viene ad essere direttamente influenzata dalle condizioni di contorno;
- **LP1:** protezione parziale con teli provvisori: può essere attuata installando teli di cantiere, ad esempio in corrispondenza dei venti dominanti o in copertura, al fine di garantire una protezione degli elementi posti in opera e mantenere un'umidità degli stessi inferiore al 18%. Saltuariamente e per brevi periodi possono essere previste condizioni di umidità dei materiali superiori al 18%;
- **LP2:** protezione totale con teli provvisori: allestimenti che consentono condizioni di lavoro per le squadre di carpenteria migliori di quanto previsto in LP1 e contestualmente tassi di umidità inferiori al 18% per tutta la durata del processo di realizzazione dell'opera.

In via del tutto generale è possibile definire la seguente correlazione con la complessità ingegneristica dell'opera:

- **LP0 / LP1:** edifici a destinazione agricola con presenza saltuaria di persone; edifici monopiano o strutture semplici e di modesta entità (luce massima ammessa pari a 6 m, come raccomandato dalla UNI/TR 11499:2022);
- **LP1:** coperture, edifici a carattere residenziale o terziario a destinazione privata o pubblica con
 - Luce o altezza non superiore a 15 m;
 - Edifici con un numero di piani fuori terra massimo pari a 4.
- **LP2:** coperture, edifici a carattere residenziale o terziario a destinazione privata o pubblica con caratteristiche di luce e altezza superiori a quelle previste per LP1.



FEDERLEGNOARREDO

ASSOLEGNO

Foro Buonaparte 65, 20121 Milano

www.assolegno.it

www.assolegnorisponde.it

assolegno@federlegnoarredo.it