

QUADERNI TECNICI DI ASSOLEGNO



STRUTTURE IN LEGNO E CANTIERE

CANTIERE, UMIDITÀ E BUONE PRASSI

www.assolegno.it

www.assolegnorisponde.it

assolegno@federlegnoarredo.it

FLA
FEDERLEGNOARREDO

Milano, gennaio 2024



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) e l’Ing. Mauro Andreolli (Timber Tech Srl).

INTRODUZIONE

Il presente Quaderno Tecnico ha l'obiettivo di guidare il costruttore, il carpentiere e la Direzione Lavori in una gestione razionale del materiale legno all'interno del cantiere, con particolare riferimento all'umidità e alle possibili azioni da adottare per una mitigazione del rischio sia nei confronti di attacchi biotici che in riferimento alle deformazioni degli elementi dalla configurazione geometrica iniziale.

La gestione del cantiere riveste infatti un aspetto fondamentale, non solo ai fini di garanzia della qualità del costruito, ma anche per quanto riguarda la gestione del materiale e tutti quei processi di mitigazione del rischio in relazione alla sicurezza in caso di incendio e ai processi di degrado a carico di funghi.

Si precisa che le seguenti considerazioni possono essere estese non solo al materiale legno, ma a tutte le tipologie di materiali. Ad esempio, nelle opere in calcestruzzo è doveroso assicurare una vibrazione adeguata dei getti nonché garantire una corretta maturazione prima della rimozione dei casseri e dei puntelli. Analoghe considerazioni possono essere fatte per le strutture in acciaio.

La cura dell'opera, l'utilizzo di maestranze specializzate e la pianificazione di specifici controlli in cantiere è un obiettivo che deve prescindere dalla tecnologia costruttiva utilizzata e che deve essere preso sempre in maggiore considerazione, soprattutto in presenza di dinamiche che vedono elementi in legno dialogare con materiali tradizionali, al fine di realizzare edifici multipiano in ambito urbano e opere ingegneristicamente complesse.

Marco Luchetti

Responsabile di Assolegno di FederlegnoArredo

INDICE DEI CONTENUTI

INDICE DEI CONTENUTI

1	INTRODUZIONE	2
1.1	GENERALITÀ	2
1.2	CLASSI DI SERVIZIO	3
2	EDIFICIO E ACQUA	8
2.1	SORGENTI DI UMIDITÀ PER UN'OPERA IN LEGNO	8
2.2	MECCANISMI DI MIGRAZIONE DELL'UMIDITÀ ALL'INTERNO DELL'EDIFICIO	8
2.3	"MOISTURE DESIGN" ED EDIFICIO IN LEGNO	10
2.3.1	CONTROLLO DELL'ACQUA PIOVANA	10
2.3.2	CAPILLARITÀ	15
2.3.3	UMIDITÀ DELL'ARIA E VAPOR D'ACQUA	15
2.4	IL PRINCIPIO DELLE "4D"	17
2.4.1	<i>DEFLECTION</i> – "DEVIAZIONE"	18
2.4.2	<i>DRAINAGE</i> – "DRENAGGIO"	21
2.4.3	<i>DRYING</i> – "ASCIUGATURA"	22
2.4.4	<i>DURABLE MATERIALS</i> – "MATERIALI DURABILI"	22
3	UMIDITÀ E CANTIERE	25
3.1	BUONE PRATICHE DI CANTIERE: GENERALITÀ	25
3.2	UMIDITÀ E SITUAZIONI TRANSITORIE	26
3.3	SITUAZIONI TRANSITORIE: NON SOLO UMIDITÀ	29
3.4	CANTIERE ED EVENTI ATMOSFERICI	31
3.5	GESTIONE DEL CANTIERE	31
3.6	PROTEZIONE DEL CANTIERE	32
3.7	PIANO DI CONTROLLO DELL'UMIDITÀ	33
3.7.1	UMIDITÀ DEI PRODOTTI A BASE LEGNO E REALIZZAZIONE	35
3.7.2	LIVELLO DI PROTEZIONE	36
3.8	FATTORI ATMOSFERICI	38
3.9	INTERVENTI DI RIPRISTINO A SEGUITO DI EVENTI METEORICI	39
4	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	43

1. INTRODUZIONE

1 INTRODUZIONE

1.1 GENERALITÀ

Il legno ha caratteristiche uniche nel panorama edile: leggerezza, opportunità di prefabbricazione spinta degli elementi opachi, tempi di costruzione veloci, stoccaggio di CO₂ e tendenza alle classi energetiche più alte. Tali caratteristiche fanno delle opere di ingegneria in legno un punto di riferimento per il settore industriale delle costruzioni.

Una corretta concezione architettonica dell'edificio e della copertura, attraverso l'utilizzo di tecnologie in legno, può sicuramente essere un elemento di partenza fondamentale per garantire costi di manutenzione in linea con la vita nominale prevista in sede di progetto e per non disattendere le aspettative di una committenza sempre più attenta ai temi di sicurezza abitativa e comfort.

È da sottolineare che, a prescindere dal materiale con cui una determinata opera venga realizzata, questa necessita di manutenzione e contestualmente è altresì necessario considerare gli aspetti di interazione del materiale strutturale con l'acqua, sia in forma liquida che sotto forma di vapore d'acqua. Infatti:

- per edifici in acciaio è importante considerare le correlazioni con l'ambiente circostante al fine di evitare fenomeni di corrosione generalizzati o concentrati in determinati nodi costruttivi;
- per opere in calcestruzzo è necessario considerare che le infiltrazioni dovute alla formazione di fessure possono portare alla perdita delle caratteristiche meccaniche dell'opera stessa.

La "progettazione dell'edificio nei confronti dell'umidità" è un tema che deve essere preso in considerazione per tutte le tipologie costruttive. Le opere in legno non differiscono per tale aspetto e, considerando le caratteristiche di igroscopicità del materiale e la naturale tendenza dello stesso ad assorbire umidità più velocemente che a cederla, è necessario che lo strutturista incaricato abbia un bagaglio minimo di conoscenze tecnologiche per una corretta risoluzione dei nodi costruttivi caratterizzanti l'edificio o la struttura in genere.

È quindi importante poter prevedere, sia in cantiere che durante l'esercizio dell'opera, il comportamento del materiale nei confronti dell'umidità.

Allo stesso modo è fondamentale riuscire a rispondere, ai fini di una valutazione del comportamento stesso dell'opera e relativo contenuto di umidità degli elementi strutturali, almeno alle seguenti domande:

- Da dove può provenire l'acqua?
- Come viene trasportata l'acqua all'interno dell'edificio?
- Come può essere controllato il "carico di umidità"?
- Come può essere rimosso il "carico di umidità"?

1.2 CLASSI DI SERVIZIO

L'attribuzione ad una classe di servizio ha riflessi, in ambito progettuale, nella definizione dei coefficienti correttivi da applicare in sede dimensionamento degli elementi strutturali e in relazione ai particolari esecutivi relativi alla cantieristica dell'opera stessa:

- in ambienti interni riscaldati (con RH generalmente inferiore al 65% e T pari a 20°C), le strutture in legno possono essere assegnate alla classe di servizio 1. In questo caso l'umidità media degli elementi in legno allo stato di equilibrio è indicativamente non superiore al 12%;
- in ambienti protetti ma non riscaldati (con RH maggiore all'85% solo per poche settimane all'anno e T pari a 20°C), le strutture in legno possono essere assegnate alla classe di servizio 2. In questo caso l'umidità del legno può superare il 20% solo in determinati e brevi periodi dell'anno;
- in ambienti non protetti in generale, le strutture in legno devono essere assegnate alla classe di servizio 3. L'umidità degli elementi in legno, per la maggior parte del periodo dell'anno, è maggiore del 20%.

Allo stesso modo le classi di utilizzo espresse dalla UNI EN 335 forniscono la suddivisione riportata di seguito. Si sottolinea che tale schematizzazione ha riflessi principalmente sulle misure di protezione da adottare, nonché sulle caratteristiche di durabilità dell'opera e del materiale al fine di un suo corretto utilizzo.

- Classe d'utilizzo 0: tale classe include tutte quelle realizzazioni o porzioni di esse dove l'umidità del legno è costantemente inferiore al 20% per tutta la durata d'esercizio. In tale classe non vi sono le condizioni per un attacco biotico da parte di funghi.

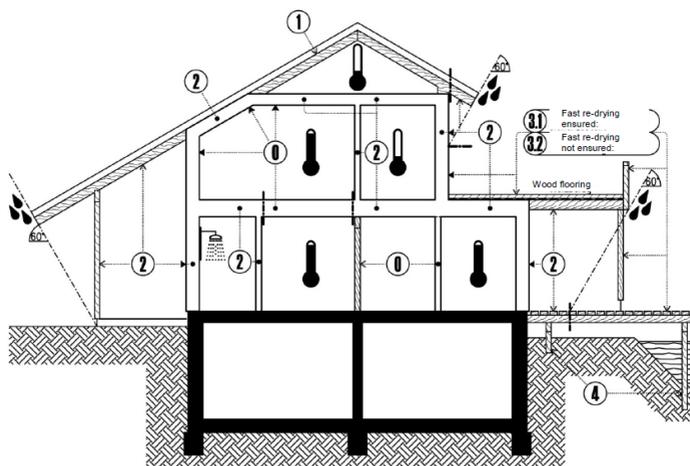
- Classe d'utilizzo 1: entro tale classe si includono quelle realizzazioni o porzioni di esse dove l'umidità del legno è inferiore al 20% per la durata d'esercizio dell'opera. Solo saltuariamente per brevi periodi dell'anno può essere prevista un'umidità relativa dell'ambiente superiore all'85%. In considerazione delle presenti condizioni di contorno sono possibili infestazioni prevalentemente da parte di insetti.
- Classe d'utilizzo 2: tale classe include quelle realizzazioni o porzioni di esse entro le quali l'umidità del legno è occasionalmente sopra il 20%. Allo stesso tempo l'umidità relativa dell'ambiente di posa può superare l'85%. Entro tali condizioni di contorno sono possibili attacchi da parte di funghi e insetti.
- Classe d'utilizzo 3: tale classe include quelle realizzazioni o porzioni di esse entro le quali l'umidità del legno è frequentemente sopra il 20%. Il legno è esposto direttamente alle precipitazioni atmosferiche, ma non è a contatto diretto né con il terreno né con l'acqua. Sono naturalmente possibili attacchi da parte di funghi e insetti.

La Classe d'utilizzo 3 comprende le seguenti sottoclassi:

- Classe d'utilizzo 3.1: all'interno di tale classe sono comprese quelle realizzazioni dove il drenaggio dell'acqua e/o la ventilazione consentono una rapida cessione di umidità da parte del materiale. Come risultato l'umidità del legno è solo saltuariamente superiore al 20%.
- Classe d'utilizzo 3.2: tale classe include quelle realizzazioni entro le quali non è garantito né il drenaggio dell'acqua, né la ventilazione. In tal caso il rischio di attacchi di funghi e insetti è elevato in quanto l'umidità del materiale legno può essere frequentemente sopra al 20%.
- Classe d'utilizzo 4: all'interno di tale classe sono comprese quelle realizzazioni dove il materiale legno si trova a costante contatto con l'acqua o con il terreno. L'umidità del legno è quindi da considerare sopra al 20%. Entro tale ambito è necessario considerare la sostituzione periodica degli elementi a causa dello sviluppo di carie a carico di funghi e degli attacchi da parte di insetti xilofagi.
- Classe di utilizzo 5: tale classe include quelle realizzazioni nelle quali il legno è a contatto con acqua marina.

Il progettista deve quindi tenere conto dei carichi di umidità sia in fase di cantiere che durante la vita di esercizio del fabbricato applicando, laddove opportuno, tutte le strategie necessarie a mantenere la struttura con un tasso di umidità inferiore al 20%, limite per cui si possono innescare fenomeni di degrado da parte di organismi fungini.

Si riportano di seguito, in funzione delle classi sopra menzionate, alcune possibili situazioni che possono verificarsi all'interno di un dato edificio in legno:



Legenda

	Classe di utilizzo
	Pacchetto esterno al fabbricato
	Pacchetto interno al fabbricato
	Pacchetto esterno/interno
	Confine tra due diverse classi di utilizzo
	Pacchetto aperto
	Pacchetto chiuso
	Ambiente riscaldato
	Ambiente non riscaldato
	Ambiente umido

Fig. 1 - Possibili classi di utilizzo all'interno di un dato edificio in legno

In senso generale, si può affermare che il compito di definire le misure di mitigazione del rischio, volte ad assicurare che gli elementi in legno possano lavorare entro le classi di esercizio e di utilizzo previste, spetta non solo al progettista, ma anche al Direttore Lavori e al costruttore.

In altre parole, la progettazione e la realizzazione dell'opera devono delineare una serie di metodologie di esecuzione al fine di garantire che l'opera in legno possa avere una manutenzione razionale e in linea con la vita nominale prevista.

2. EDIFICIO E ACQUA

2 EDIFICIO E ACQUA

Nel presente paragrafo vengono riassunte le modalità con cui l'umidità può interessare l'ossatura in legno, le modalità con cui essa si diffonde e le opportune strategie di difesa (principalmente legate all'ambito progettuale).

2.1 SORGENTI DI UMIDITÀ PER UN'OPERA IN LEGNO

Si possono individuare due distinte "sorgenti" d'umidità che il progettista deve prendere in considerazione.

- "Sorgente" di umidità interna all'edificio: ossia l'umidità derivante dalla presenza di persone all'interno dell'edificio e dalla loro attività.
- "Sorgente" di umidità esterna all'edificio: ossia umidità causata da precipitazioni, sistemi di irrigazione e acqua dal sottosuolo. Per quanto riguarda le precipitazioni deve essere inoltre fatta un'analisi dei venti dominanti in quanto gli stessi possono essere veicolo di acqua piovana e quindi portare su particolari porzioni o facciate dell'edificio possibili criticità, innalzando contestualmente le relative spese di manutenzione. In particolari zone climatiche, laddove si abbiano zone particolarmente umide e oggetto di nebbia, deve essere preso in considerazione anche il possibile carico di umidità derivante dal vapor d'acqua ambientale.

Un'ulteriore sorgente di umidità è chiamata "umidità di cantiere": in altre parole si tratta di acqua contenuta all'interno (principalmente ma non solo) del calcestruzzo, che durante il processo di maturazione si libera all'interno dell'ambiente.

2.2 MECCANISMI DI MIGRAZIONE DELL'UMIDITÀ ALL'INTERNO DELL'EDIFICIO

Ai fini di predisporre un efficace meccanismo di protezione dell'edificio o dell'opera in genere è necessario capire come e perché l'acqua può migrare all'interno dell'edificio. Tali aspetti devono esseri presi in considerazione principalmente in sede di progetto architettonico.

La migrazione di umidità all'interno dell'edificio solitamente avviene attraverso quattro meccanismi di seguito descritti brevemente.

- **Acqua liquida:** è il movimento dell'acqua sotto l'azione di forze quali ad esempio la gravità o la differenza di pressione tra ambienti diversi.
- **Capillarità:** è il movimento dell'acqua liquida all'interno di materiali porosi, risultante da quelle che vengono comunemente chiamate "tensioni superficiali".
- **Movimento d'aria:** si riferisce al movimento del vapor d'acqua risultante da movimenti d'aria nello spazio ma anche all'interno dei medesimi materiali da costruzione.
- **Diffusione:** è il movimento del vapor d'acqua risultante da una differenza di pressione tra ambienti confinanti.

In ambito costruttivo, tra i quattro movimenti d'acqua descritti sopra, quelli di maggior impatto sono l'acqua liquida e la capillarità.

Sia i processi di infiltrazione di acqua piovana (riconducibili ad acqua liquida) che i processi di infiltrazione dal sottosuolo (assimilabili ai fenomeni di capillarità) devono essere oggetto di attenzione sia in fase di progettazione architettonica e strutturale, che nelle successive fasi di costruzione.

Risulta altrettanto opportuno sottolineare che non devono essere comunque trascurati il carico di umidità derivanti dal "movimento d'aria" e dalla "diffusione", in quanto possono essere causa di possibili marcescenze della struttura in assenza di particolari dettagli costruttivi.



Fig. 2 - Assorbimento d'acqua per capillarità in elementi verticali (a sinistra) e in elementi orizzontali (a destra)

2.3 “MOISTURE DESIGN” ED EDIFICIO IN LEGNO

Per “moisture design” si intendono tutte quelle azioni di carattere progettuale dedicate a mitigare il rischio di degrado biologico derivanti da un innalzamento dell’umidità degli elementi portanti in legno.

Recenti studi sono concordi nell’affermare che la prima causa di mancanza di durabilità di una struttura lignea sia dovuta ad infiltrazioni d’acqua, principalmente dovute a fenomeni atmosferici, all’interno del pacchetto costruttivo.

2.3.1 Controllo dell’acqua piovana

Generalmente possono essere identificate due strategie complementari tra loro per il controllo dell’acqua piovana a difesa dell’opera in legno:

- minimizzazione della quantità d’acqua piovana a contatto con la superficie dell’edificio;
- gestione dell’acqua che si deposita sulla superficie e/o all’interno dei pacchetti costruttivi.

In particolar modo è altrettanto chiaro che la penetrazione di acqua piovana avviene quando concorrono simultaneamente le seguenti condizioni:

- è presente un’apertura o un foro nel pacchetto costruttivo, sia questo una struttura opaca orizzontale, verticale o inclinata;
- l’acqua è materialmente presente nei pressi dell’apertura;
- è presente un vettore che porta l’acqua dall’esterno all’interno della stratigrafia.

In relazione all’ultimo punto citato, i possibili vettori possono essere così riassunti:

- forza di gravità;
- pioggia di stravento
- tensione superficiale;
- capillarità;
- energia cinetica;
- differenza di pressione del vapor d’acqua.

2.3.1.1 Forza di gravità

La gravità è il maggior vettore da tenere in considerazione nei processi di infiltrazione d'acqua all'interno del fabbricato.

L'ingresso di acqua all'interno della struttura è causato principalmente da lavorazioni eseguite senza tener presente l'importanza delle relative sigillature verso l'esterno.

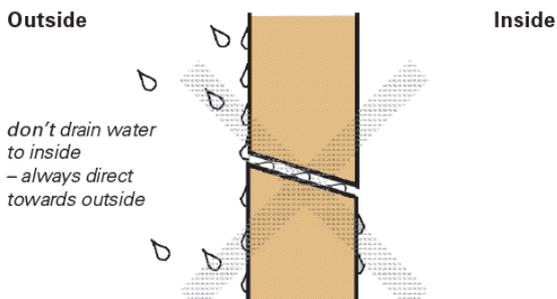


Fig. 3 - Migrazione dell'umidità per gravità all'interno dell'edificio

Come gestire le infiltrazioni di acqua per gravità?

La protezione dell'opera nei confronti delle infiltrazioni di umidità si ottiene in sede di progetto definendo pendenze minime e, se necessario, prevedendo elementi a protezione della struttura e ponendo attenzione durante la fase realizzativa (ad esempio attraverso la corretta posa delle guaine e dei relativi sormonti).

2.3.1.2 Pioggia di "stravento"

Le gocce di pioggia che impattano sulla superficie dell'edificio possono seguire diverse traiettorie guidate dal vento. Una volta che una goccia di acqua piovana colpisce una parete tende a formare un film che inizia a fluire verso il basso. Contestualmente, sempre sotto l'azione del vento stesso, tale film tenderà a deflettere sia lateralmente che verso l'alto.

Tale fenomeno comporta una maggior facilità di penetrazione dell'acqua piovana all'interno del pacchetto costruttivo, così come indicato nella figura 4. Inoltre, si possono instaurare anche fenomeni di pioggia di rimbalzo che a sua volta possono interagire con la parte basale dell'edificio (figura 4b).

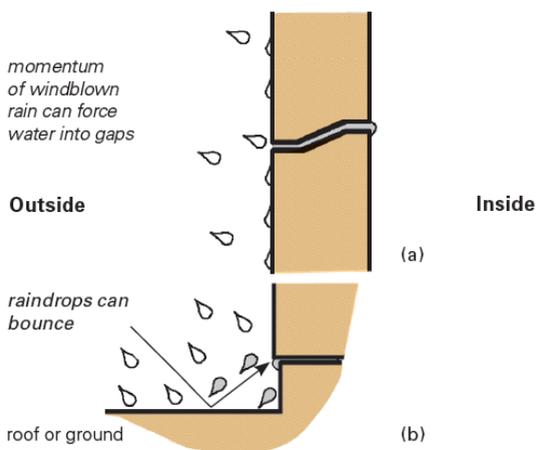


Fig. 4 - Penetrazione dell'acqua all'interno dell'edificio a causa dell'effetto del vento (a) e a causa della pioggia di rimbalzo in prossimità del piede o della copertura (b)

Come gestire le infiltrazioni di acqua da pioggia da "stravento"?

La protezione della struttura da pioggia da "stravento" si ottiene prevedendo elementi a protezione delle partizioni verticali, ad esempio tramite sporti di gronda. In relazione alla pioggia da rimbalzo è sempre necessario prevedere degli elementi imputrescibili alla base della struttura.

2.3.1.3 Differenza di pressione

Il vento causa sempre una certa pressione sulla parete. I movimenti d'aria tendono a ristabilire un equilibrio tra la pressione sul lato esterno e quella sul lato interno dell'abitazione. In altre parole, questo significa che l'eventuale pioggia trasportata dal vento stesso tende ad infiltrarsi in una qualsiasi apertura o foro presente sulla superficie dell'abitato (figura 5).

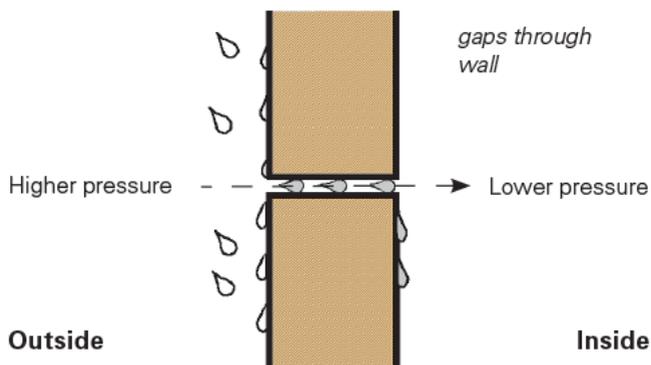


Fig. 5 - Differenza di pressione tra lato estero e interno

Come gestire le infiltrazioni di acqua causate dalle differenze di pressione?

La mitigazione del rischio correlata alle infiltrazioni per la casistica in questione può essere gestita attraverso una corretta sigillatura degli impianti e contestualmente considerando nella concezione del pacchetto costruttivo opportune barriere al vento (membrane).

2.3.1.4 Tensione superficiale (capillarità)

Si tratta di una proprietà chimica dell'acqua, le cui molecole risultano avere una definita polarità. A livello macroscopico si può osservare che le gocce d'acqua a contatto con altri materiali possono essere attratte dagli stessi. Qualora tale attrazione risulti più forte rispetto alla gravità, si possono avere scorrimenti orizzontali di lamine d'acqua.

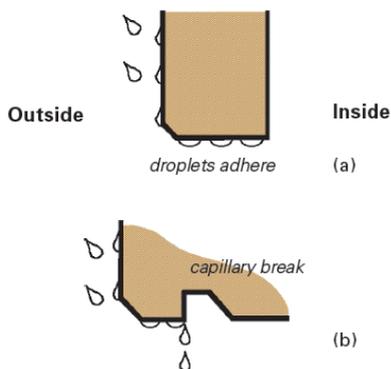


Fig. 6 - Tensione superficiale e meccanismo di capillarità dell'acqua

Come gestire le infiltrazioni dovute alla tensione superficiale?

Una possibile soluzione può essere data definendo geometrie come quella indicata nella figura 6b. Si ricorda infine che differenti materiali hanno differenti comportamenti nei confronti dell'acqua. Angoli di contatto ampi (tipici dei materiali non porosi, ad esempio alcuni metalli) indicano una bassa tensione superficiale; al contrario angoli di contatto più "stretti" indicano forze superficiali più alte (tipici dei materiali semi-porosi).

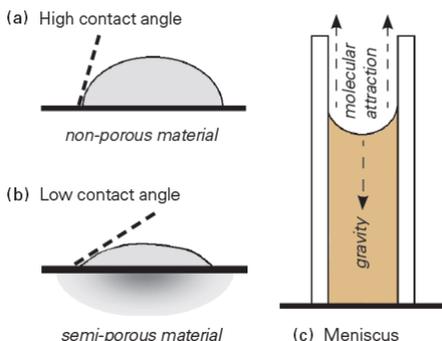


Fig. 7 - Tensione superficiale e menisco

2.3.2 Capillarità

I meccanismi di tensione superficiale sono direttamente correlati con i fenomeni di capillarità. Qualora vi siano aperture o piccole fessurazioni, l'acqua è in grado di percorrerle anche in senso contrario alla forza di gravità. La capacità dell'acqua nel creare infiltrazioni per capillarità all'interno dell'edificio dipende dalla tipo di materiale con il quale l'acqua è in contatto e dalla larghezza della fessura.

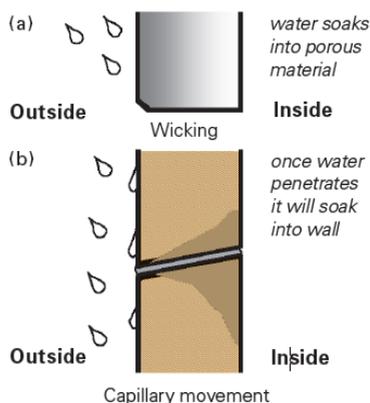


Fig. 8 - Meccanismi di capillarità

Come mitigare il rischio di infiltrazioni per capillarità?

La cura costruttiva deve essere il primo elemento di difesa dell'edificio.

Si riportano poi nel seguito sono alcune casistiche esemplificative su come poter "risolvere" in senso geometrico possibili infiltrazioni.

2.3.3 Umidità dell'aria e vapor d'acqua

Si precisa che molte volte l'aria contenuta all'interno di un edificio risulta essere più umida rispetto a quella esterna (anche in presenza di nebbia).

Infatti, l'umidità relativa è direttamente correlata alla capacità dell'aria di contenere acqua allo stato di vapore. Più la temperatura dell'aria sarà alta e maggiore sarà la capacità della stessa di acquisire umidità sotto forma di vapor d'acqua.

Il vapor d'acqua tenderà sempre a migrare da regioni ad alta pressione a regioni caratterizzate da basse pressioni di vapor d'acqua.

In particolare, si possono schematizzare due condizioni di riferimento.

- Ambienti con stessa temperatura e differenti umidità relative. Il vapor d'acqua migrerà dall'ambiente con la più alta umidità relativa (maggiore pressione di vapor d'acqua) all'ambiente con minor umidità relativa (minore pressione di vapor d'acqua)
- Ambienti con differenti temperature e stessa umidità relativa. Il vapor d'acqua migrerà dall'area con temperatura più alta (maggiore pressione di vapor d'acqua) all'ambiente caratterizzato da una più bassa temperatura (minore pressione di vapor d'acqua).

Come gestire i movimenti di umidità dovuti a differenti pressioni di vapor d'acqua?

Il movimento del vapor d'acqua avviene nella maggioranza dei casi dall'interno verso l'esterno dell'edificio. Il vapor d'acqua deve essere in grado di attraversare la parete senza creare rischi di condensa e quindi deve essere fatta particolare attenzione nella posa di barriere al vapore.

Particolare attenzione deve essere inoltre prestata ai fenomeni di condensa interstiziale nei quali il vapor d'acqua, attraversando il pacchetto costruttivo, può raggiungere il punto di rugiada (figura 8).

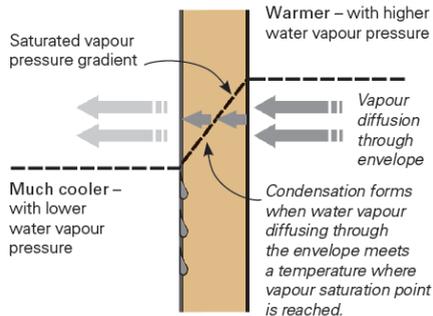


Fig. 9 - Condensa interstiziale

2.4 IL PRINCIPIO DELLE "4D"

Il principio delle "4D" è un modello sviluppato in Canada che considera in modo completo i principi di difesa della struttura al fine di mitigare il rischio di infiltrazione di acqua.

I criteri di difesa per un edificio dal "carico di umidità", a prescindere dal materiale con il quale è realizzato, sono articolati all'interno dei seguenti principi di progettazione (in ordine di importanza):

- *deflection*, ovvero "deviazione";
- *drainage*, ovvero "drenaggio";
- *drying*, ovvero "possibilità di asciugare";
- *durable materials*, ovvero "materiali durabili".

Tali principi sono inoltre riassunti all'interno della figura 10.

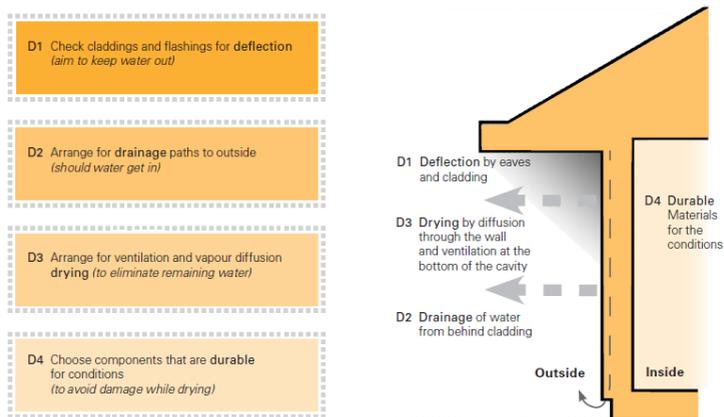


Fig. 10 - Principio delle "4D"

Tali principi hanno quindi una doppia valenza:

- per quanto riguarda gli aspetti macroscopici dell'edificio (quali ad esempio la forma del fabbricato, le pendenze della copertura...);
- per quanto riguarda gli aspetti di dettaglio (quali ad esempio provvedimenti per l'impermeabilizzazione, per la ventilazione e la definizione di tutti gli accorgimenti costruttivi).

In analogia a quanto si prevede per le norme legate al dimensionamento degli elementi portanti, è sempre opportuno avere una “ridondanza” dei fattori di “difesa” nei confronti dell’umidità al fine di ottenere una corretta progettazione tecnologica dell’edificio.

2.4.1 *Deflection* – “Deviazione”

In riferimento al controllo dell’acqua piovana, con il termine “deviazione” (*deflection*) devono intendersi tutti quei provvedimenti progettuali e costruttivi che tendono a minimizzare l’impatto dell’acqua liquida sull’involucro dell’edificio. Tale principio di natura prettamente architettonica è il primo elemento di difesa e probabilmente il più importante.

Lo stesso può essere ottenuto mediante:

- sporti di gronda o aggetti;
- profili degli elementi di rivestimento;
- elementi di protezione.

Sporti di gronda o aggetti

Elementi come la forma della copertura e la formazione di sporti di gronda, ma anche verande e altri elementi aggettanti, sono fondamentali al fine di definire una ragione manutenzione del fabbricato (figura 11a).

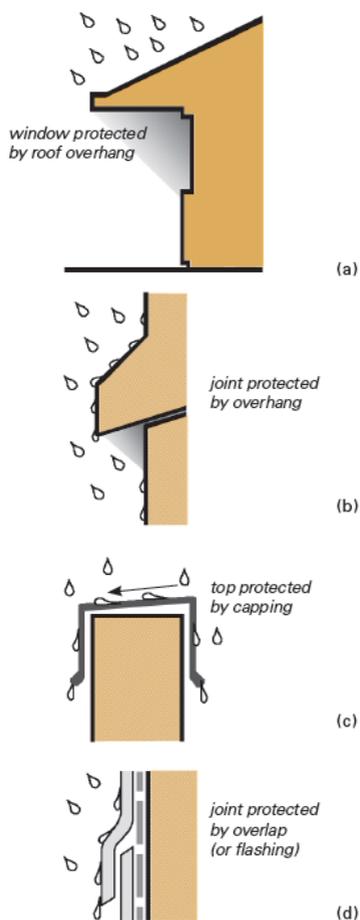


Fig. 11 - "Deviazione": esempi di protezione

Si deve comunque considerare che elementi di copertura non possono offrire una adeguata protezione a tutta la porzione della parete (figura 12) In altre parole diviene utile implementare tale misura con quanto indicato di seguito.



(Refer to *External moisture – A guide to using the risk matrix* for discussion on varying risks associated with roof/wall intersection and protecting top of wall)

Fig. 12 - “Deviazione”: limiti della protezione

Profili degli elementi di rivestimento

I profili degli elementi di rivestimento possono senza dubbio aiutare nel proteggere la struttura o particolari nodi. Tali elementi possono essere considerati come “versioni in piccolo” di elementi come gli sporti di gronda o altri elementi orizzontali o inclinati previsti in sede di progetto (figure 11b e 11d).

Profili metallici a protezione della struttura

I profili metallici possono essere utilizzati sia in senso verticale che orizzontale. È importante definire la corretta geometria degli stessi per favorire l'allontanamento delle acque meteoriche e contestualmente definire una pendenza che generalmente viene orientata verso l'esterno della struttura (figura 11c).

2.4.2 Drainage – “Drenaggio”

Il presente principio include tutte quelle azioni progettuali che tendono ad allontanare l'acqua una volta che la stessa ha superato la prima barriera di difesa definita dal principio indicato come *deflection*.

Gli elementi di rivestimento caratterizzati da particolari profili che allontanano l'acqua meteorica e le cavità tra la struttura e gli elementi di facciata possono creare le condizioni per un corretto drenaggio dell'acqua.

Il “drenaggio”, quindi, è il secondo principio e può essere considerato come elemento ridondante rispetto a quanto già visto nel precedente paragrafo.

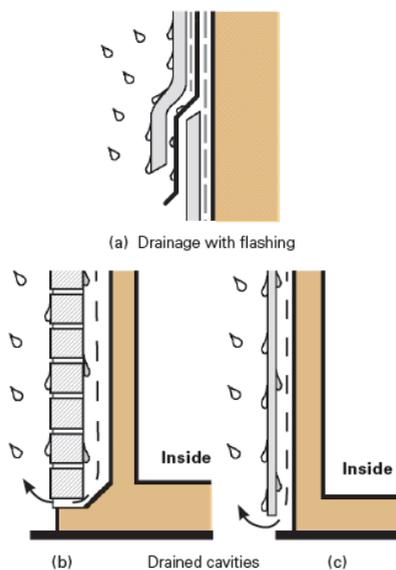


Fig. 13 - “Drenaggio”: esempi

2.4.3 *Drying* – “Asciugatura”

L'applicazione del principio di “asciugatura”, ovvero la cessione di umidità per diffusione o tramite ventilazione, assicura che il materiale legno possa ritornare ad avere in modo naturale condizioni di umidità inferiori al 18-20%, limite entro il quale l'azione di degrado da parte di funghi non è possibile.

I processi con cui la struttura cede umidità sono estremamente diversi nel caso in di ventilazione e di diffusione. Infatti, mentre nel primo caso le tempistiche per il ritorno dell'umidità del materiale intorno al valore normale del 12-15% sono nell'ordine di settimane, nel secondo caso si deve tenere presente che la struttura può impiegare anche mesi.

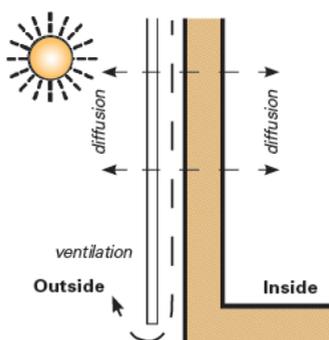


Fig. 14 - “Asciugatura”: diffusione e ventilazione

2.4.4 *Durable materials* – “Materiali durabili”

Qualora non sia possibile o sussista ancora il pericolo di un attacco biotico da parte di funghi, è necessario prevedere in sede di progetto l'utilizzo di materiali durabili almeno in corrispondenza di quei nodi o porzioni della struttura che risultano non in linea con i principi di difesa sopra menzionati.

In particolare, si consiglia di far riferimento a tale principio qualora gli elementi siano soggetti a periodico contatto con l'acqua. Naturalmente all'interno della presente casistica è indispensabile concepire pacchetti costruttivi ventilati o che comunque possano assicurare una restituzione dell'umidità acquisita attraverso meccanismi di diffusione.

Si sottolinea quindi che il processo di progettazione di un'opera in legno necessita di competenze sia di carattere ingegneristico che tecnologico e che solo costruttori e professionisti aventi l'opportuno bagaglio tecnico possono essere garanti della qualità del costruito.

3. UMIDITÀ E CANTIERE

3 UMIDITÀ E CANTIERE

3.1 BUONE PRATICHE DI CANTIERE: GENERALITÀ

La maggioranza degli errori che si compiono all'interno del panorama edile generale, indipendentemente dalla tipologia costruttiva utilizzata, possono essere evitati se si conoscono al meglio le peculiarità tecnologiche e ingegneristiche del materiale scelto.

La pubblicazione "*Design of safe timber structures – How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber*" schematizza gli errori che possono intervenire nel processo di edificazione secondo l'ordine riportato di seguito.

- Errori dovuti all'ignoranza: tutti i soggetti della filiera devono avere adeguata preparazione, sia a livello di progettazione che di produzione, di gestione del cantiere, di direzione lavori e di collaudo. Al fine di evitare tale tipologia di errori è fondamentale prevedere la formazione a tutti i livelli per tutti gli attori della filiera.
- Errori dovuti a scarsa attenzione e negligenza: è importante che durante tutto il processo di edificazione vi siano soggetti deputati al controllo, quale ad esempio il Direttore Lavori, che possano prendere visione delle operazioni che vengono svolte e verificare il grado di rispondenza delle opere al progetto.
- Errori "intenzionali": in tal caso si tratta di errori in senso lato in quanto gli stessi sono attuati in modo consapevole con il fine di ottenere una maggiore redditività dalle opere cantierizzate.

Si evidenzia che le tipologie di errori sopra menzionate non possono e non devono essere risolte con un incremento dei fattori di sicurezza, come a volte prospettato all'interno della normativa nazionale. Non è infatti sovradimensionando gli elementi strutturali che si può garantire una corretta progettazione dell'opera. Ad esempio, una struttura concepita con una scarsa cura verso la durabilità dell'opera rimarrà tale nonostante un sovradimensionamento delle sue parti strutturali.

È altrettanto vero che 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 anche a quelli inerenti all'organizzazione del processo di edificazione dell'opera in tutte le sue fasi, senza escludere ovviamente gli aspetti legati alla cantieristica e a quanto definito nei testi di tecnologia del legno.

All'interno del paragrafo seguente vengono quindi riportate una serie di casistiche allo scopo di semplificare l'argomento e fornire al lettore una prima serie di dati elaborati in contesti internazionali.

3.2 UMIDITÀ E SITUAZIONI TRANSITORIE

In un cantiere di un edificio in legno è molto importante pensare ad una protezione adeguata delle strutture durante il montaggio, sia quotidianamente da eventi atmosferici improvvisi e inaspettati come temporali, sia nel caso in cui il cantiere debba subire dei fermi prolungati dovuti ad esempio ad eventi metereologici (periodi di pioggia persistente) o di altra natura (ad esempio fermi amministrativi o per cause di altra natura).

Nel primo caso occorre porre attenzione alla protezione della testa di pareti o pilastri in legno, trattandosi di zone in cui l'assorbimento dell'acqua è maggiore. Una soluzione pratica da utilizzare è quella di prevedere una protezione con guaine traspiranti adeguatamente assicurate agli elementi strutturali stessi in modo da impedire in tutti i modi il possibile passaggio d'acqua. Tali guaine possono essere facilmente posizionate e rimosse quotidianamente. La stessa soluzione va utilizzata anche per i solai, avendo cura però di togliere i teli per consentire l'asciugatura nelle giornate di sole.



Fig. 15 - Protezione delle teste delle pareti con guaine traspiranti durante il cantiere

In caso di periodi di fermo prolungato del cantiere occorre prevedere soluzioni leggermente più laboriose da mettere in opera, ma tutto sommato semplici, economiche ed efficaci. Una soluzione è illustrata in figura 16, nella quale tutto il perimetro esterno dell'edificio è coperto con teli traspiranti di protezione all'acqua.



Fig. 16 - Protezione del perimetro esterno dell'edificio con teli impermeabili traspiranti

È necessario proteggere anche le aperture realizzate per porte e finestre, qualora gli infissi non siano stati ancora installati, mediante soluzioni provvisorie ma efficaci che impediscano l'ingresso dell'acqua all'interno della costruzione, come nel caso della figura 17.



Fig. 17 - Infissi provvisori realizzati per proteggere le strutture durante il cantiere. Anche il controllo della temperatura e dell'umidità dell'aria all'interno del cantiere è particolarmente importante per prevenire possibili condizioni di degrado. A questo proposito una soluzione semplice ed economica è quella di posizionare dei termometri e degli igrometri in maniera tale da monitorare le condizioni ambientali.



Fig. 18 - Controllo della temperatura e dell'umidità interna in cantiere mediante termoigrometro

Occorre inoltre porre attenzione a situazioni inattese che si possono verificare durante il cantiere. Ad esempio, le guaine acustiche poste alla base delle pareti che fuoriescono rispetto al perimetro esterno dell'edificio, come ad esempio in figura 19, possono fungere da elemento di convogliamento dell'acqua all'interno della

costruzione causando aumenti non voluti dell'umidità alla base della parete e conseguenti fenomeni di degrado se non controllate.

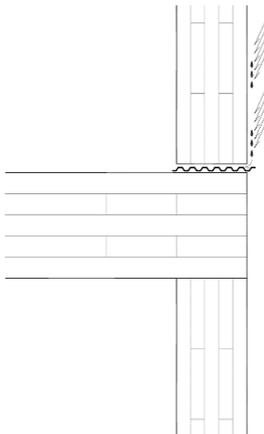


Fig. 19 - Guaina acustica alla base della parete che fuoriesce rispetto al perimetro esterno convogliando l'acqua all'interno della costruzione

La situazione può ulteriormente peggiorare se la guaina è porosa (da evitare assolutamente), perché in questo caso funge da "spugna" alla base della parete.

3.3 SITUAZIONI TRANSITORIE: NON SOLO UMIDITÀ

Le nuove norme tecniche per le costruzioni riportano un paragrafo dedicato alle situazioni transitorie. A tal proposito indicano quanto di seguito: *"per situazioni costruttive transitorie, come quelle che si hanno durante le fasi della costruzione, dovranno adottarsi tecnologie costruttive e programmi di lavoro che non possono provocare danni permanenti alla struttura o agli elementi strutturali e che comunque non possano riverberarsi sulla sicurezza dell'opera (...). L'assegnazione delle azioni di progetto ad una delle classi di durata del carico e delle classi di servizio dovrà essere congruente con la effettiva durata della situazione transitoria in esame"*.

Tali ambiti risultano essere importanti, sia per la positiva conclusione dei lavori, che per quanto riguarda la sicurezza dei lavoratori in cantiere. Basta infatti pensare che un incremento della luce del 20% (a causa ad esempio della posa di montanti alle estremità in assenza di un pilastro intermedio) comporta un incremento del 43% delle tensioni di trazione e compressione sul materiale ed una deformabilità massima

doppia. Per questo motivo ogni variazione della luce, a parità di sezione e carico, deve essere valutata attentamente, poiché comporta incrementi non trascurabili in termini sollecitazioni e deformabilità.

Inoltre, per elementi snelli (base molto minore dell'altezza) su luci di calcolo elevate, si deve prestare particolare attenzione al fenomeno di instabilità flessio-torsionale, che può verificarsi anche in presenza dei soli carichi permanenti. Per questo motivo deve sempre essere stabilizzato il lembo superiore compresso mediante l'inserimento di elementi di controvento.

Durante il montaggio, qualora in sede di progetto sia previsto il controvento, è necessario che le travi rimangano puntellate con uno o più supporti intermedi fino alla completa realizzazione del controvento.



Fig. 20 - Brock Commons: fase di cantiere a seguito di nubifragio

Oltre a considerazioni ingegneristiche, è necessario arrivare a definire strategie di protezione del cantiere atte ad evitare il contatto con l'acqua meteorica e con il fuoco.

All'interno di questo manuale tecnico, tralasciando la parte di sicurezza in caso di incendio, la quale è demandata ad altra pubblicazione, si farà riferimento alle misure di mitigazione del rischio nelle relazioni legno-acqua.

3.4 CANTIERE ED EVENTI ATMOSFERICI

Indipendentemente dal materiale utilizzato, è necessario prevedere apposite misure al fine di evitare il contatto tra materiali edili e acqua, sia questa dovuta a eventi atmosferici, di risalita che legata ad effetti di condensazione.

Molti materiali da costruzione, infatti, a contatto con l'acqua possono sviluppare agenti fungini dannosi per la salute in termini di qualità dell'aria, aspetto (presenza di muffe) e stabilità strutturale.

La capacità di gestire l'acqua sia nella fase cantieristica che in esercizio rappresenta un punto focale per tutto il comparto edile e in questo le costruzioni in legno non fanno eccezione.

È inoltre da sottolineare che i meccanismi igroscopici del materiale legno uniti alla tendenza dello stesso ad assorbire più velocemente l'umidità rispetto alla relativa cessione, rendono di fatto le relazioni legno-acqua come punto focale su cui tanto la direzione lavori, quanto il costruttore devono prestare attenzione.

3.5 GESTIONE DEL CANTIERE

Lo stoccaggio del materiale in cantiere dovrà avvenire in luogo adeguato e agevolmente accessibile per le operazioni di montaggio con la gru, con sufficiente spazio per le operazioni di spostamento. Il luogo di deposito dovrà essere il più possibile piano e il sottosuolo non cedevole. Come supporto di deposito si prestano molto bene gli spessori in legno squadrato o altri elementi che distacchino da terra i pannelli in legno. I pannelli devono essere coperti in modo da non essere esposti alle intemperie (pioggia, vento e sole). Tale condizione deve essere garantita per tutta la durata dello stoccaggio: un telo di plastica previsto per durare qualche giorno potrebbe lacerarsi sotto l'azione del vento, della pioggia e del sole.



Fig. 21 - Teli di protezione e materiale stoccato sollevato da terra

La soluzione ideale è quella di portare i pannelli e le travi in cantiere in pacchi già confezionati in stabilimento e stocarli quindi con l'interposizione di dormienti in legno di almeno 6-8 cm di spessore. In alternativa è possibile portare i singoli pannelli in cantiere, posarli in posizione orizzontale distanziati con dormienti in legno posizionati tra tutti i pannelli e proteggere poi l'intero carico con un telo impermeabile e a tenuta. E' molto importante, in quest'ultimo caso che i dormienti garantiscano un'adeguata ventilazione tra i pannelli.

3.6 PROTEZIONE DEL CANTIERE

Le costruzioni in legno possono essere oggetto di attacchi da parte di funghi (qualora il contenuto di umidità degli elementi sia superiore al 20%) durante l'iter di costruzione dell'opera. Si possono infatti verificare eventi atmosferici quando gli elementi non sono ancora protetti e quando le condizioni per una cessione dell'umidità da parte del materiale legno non sono ottimali. Entro tale frangente è possibile minimizzare il rischio di attacco fungino prendendo le dovute precauzioni nella fase di trasporto del materiale a base legno, dello stoccaggio in cantiere e del montaggio dell'opera stessa.

Teloneria di vario tipo può essere utilizzata per proteggere il materiale durante le fasi di trasporto e stoccaggio in cantiere. Tali teli, allo stesso tempo, devono essere parzialmente rimossi in sede di montaggio dell'opera, esponendo il materiale a rischi per quanto riguarda l'attacco di agenti biotici (funghi).

In alcuni casi, tutta la costruzione può essere oggetto di protezione mediante l'utilizzo di una tenda mobile. Tale metodologia di lavoro è utilizzata nei paesi scandinavi dove molto spesso si hanno condizioni metereologiche avverse.

Entro tale ambito Assolegno ha definito una proposta di standard dedicato alla fase di esecuzione dell'opera, riportando varie strategie di protezione del cantiere in funzione della complessità l'opera. Entro tale ambito è prevista la redazione di un piano di controllo dell'umidità a carico del Direttore Lavori.

3.7 PIANO DI CONTROLLO DELL'UMIDITÀ

Il piano di controllo dell'umidità è un documento di sintesi di come si intende mitigare il rischio che il materiale legno possa assumere valori anomali che possano favorire la proliferazione di processi di degrado a carico di agenti biotici, principalmente funghi.

Si suggerisce che tale documento, in assenza di un quadro normativo di riferimento, debba essere elaborato a cura del Direttore Lavori e concertato con il costruttore.

Il piano di controllo deve contenere i metodi con cui viene verificata l'umidità dei prodotti a base legno all'interno delle diverse fasi realizzative dell'opera, le periodicità dei controlli 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 ($S_d \leq 0,02$ m), coperture, tetti o infissi temporanei che di fatto impediscono l'ingresso di pioggia o precipitazioni in genere nelle fasi costruttive;
- le relative misure dedicate alla protezione del materiale legno nei confronti dell'umidità in condizione di esercizio dell'opera.

I contenuti di un generico piano di controllo dell'umidità sono riportati nella tabella seguente.

Generalità

- 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 del carpentiere al fine di verificare che le prescrizioni del piano vengano effettivamente eseguite in corrispondenza dell'ingresso al cantiere, dello stoccaggio e nelle fasi di realizzazione dell'opera.

Contenuti

Il seguente piano di controllo dell'umidità è riferito a realizzazioni in situ. Per costruzioni oggetto di prefabbricazione possono essere previste opportune semplificazioni.

Il piano di controllo dell'umidità deve quindi contenere:

- le informazioni di base circa l'opera da realizzare (indirizzo del cantiere, il riferimento del costruttore, delle squadre di carpenteria, del Direttore Lavori, del progettista strutturale dell'opera, ...);
- l'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 dell'opera e a conclusione dei lavori (chiusura dei pacchetti);
- possibili fonti di umidità del cantiere (ad esempio neve, pioggia, umidità di risalita, umidità dei getti, ...). È consigliato dettagliare la stessa fonte di umidità in relazione al particolare costruttivo considerato;
- il livello di protezione 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 (corrispondente al livello di protezione scelto);
 - nelle fasi entro le quali, per eventi accidentali, si necessita di processi di asciugatura del materiale;

- la definizione di piani di emergenza in seguito ad infiltrazioni di acqua una volta che la struttura è entrata in esercizio;
- la periodicità^(a), i punti di ispezione^(b), le registrazioni e la persona responsabile dei controlli stessi.

(a) La circolare esplicativa, al punto C11.7.10.2, definisce quanto segue in relazione ai controlli di umidità:

"In relazione ad elementi lineari o planari che devono essere incorporati in pacchetti costruttivi atti a definire la stratigrafia di strutture opache orizzontali, verticali e coperture assemblate in situ, non ventilati, il Direttore Lavori è opportuno che provveda ad assicurarsi che l'umidità degli elementi portanti al momento della chiusura della stratigrafia interessata sia inferiore o uguale al 18%. Tale controllo dovrà interessare almeno il 10% del materiale strutturale fornito ed essere uniformemente distribuito su tutta la fornitura messa in opera".

- (b) Quale indicazione di massima è consigliato definire come punti di controllo, almeno i seguenti:
- attacco a terra;
 - attacco balcone;
 - nodo serramento;
 - coperture piane.

Tab. 1 - Contenuto del piano di controllo dell'umidità

3.7.1 Umidità dei prodotti a base legno e realizzazione

L'umidità dei prodotti a base legno più diffusi a livello commerciale (all'uscita dello stabilimento di produzione), può essere generalmente così schematizzata:

- Legno massiccio: generalmente fornito in cantiere con $U_{\text{legno}} \geq 20\%$ ¹
- Legno lamellare incollato (EN 14080) e pannelli di tavole di compensato incrociate a strati incollati (EAD 130005-00-0304; EN 16351): generalmente forniti in cantiere con $9\% \leq U_{\text{legno}} \leq 15\%$

¹ La EN 14081-1 riporta che, qualora non espressamente dichiarato all'interno del contratto e quindi all'interno della documentazione accompagnatoria, il materiale deve intendersi "fresco", ossia con $U_{\text{legno}} \geq 20\%$

- Pannelli in legno compensato e LVL: generalmente forniti in cantiere con un $8\% \leq U_{\text{legno}} \leq 10\%$.

È altrettanto noto che durante le fasi di trasporto, di stoccaggio in cantiere e di montaggio si assiste generalmente ad un aumento dell'umidità dei prodotti a base legno (ad eccezione di prodotti in legno massiccio, qualora gli stessi vengano previsti in sede di progetto quali elementi "freschi", ossia con $U_{\text{legno}} > 20\%$).

3.7.2 Livello di protezione

Nel piano di controllo dell'umidità deve essere previsto il livello di protezione degli elementi a base legno.

In considerazione della stazione di cantiere devono essere previste le condizioni meteorologiche normali ed eccezionali che possono influenzare la scelta del livello di protezione. Deve essere inoltre considerata l'umidità di cantiere al fine di garantire la conformità dell'opera alle prestazioni previste in progetto.

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 è direttamente influenzata dalle condizioni di contorno;
- LP1: protezione parziale con teli provvisori. Può essere attuata installando teli di cantiere in corrispondenza dei venti dominanti o in copertura al fine di garantire una protezione degli elementi posti in opera e per 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.



Fig. 22 - Protezione parziale con teli provvisori sulla parete esposta a venti dominanti e pioggia di stravento



Fig. 23 - Protezione totale con teli provvisori

In via 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 o in alternativa per un quantitativo massimo ammesso del lotto di fornitura uguale a 15 m³);
- 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 massimo di piani fuori terra 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.

3.8 FATTORI ATMOSFERICI

Quando il legno è esposto all'esterno², 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*. Un termine equivalente in italiano non esiste e può essere tradotto con "degradamento dovuto a fattori atmosferici".

I fattori che causano questo tipo di alterazione sono, in ordine d'importanza, l'umidità, la luce solare, le variazioni di temperatura, le aggressioni da parte di sostanze chimiche (dovute all'inquinamento atmosferico), l'abrasione da particolato trasportato dal vento e l'azione concomitante di agenti biologici quali muffe e funghi cromogeni (agenti che non determinano una diminuzione delle caratteristiche meccaniche del legno ma che determinano delle modificazioni superficiali di colorazione).

I rapidi cambi di umidità che si hanno sulla superficie del legno esposto all'esterno a causa di pioggia, rugiada, assorbimento di vapore acqueo, causano continui ritiri e rigonfiamenti in funzione del gradiente di umidità del legno tra esterno e interno con conseguente formazione di deformazioni e rotture superficiali. Le variazioni dimensionali si sviluppano in maniera diversa nel legno tardivo e in quello primaverile e determinano come effetto finale la rimozione dello strato superficiale del legno primaverile a densità minore.

La luce solare determina un rapido fotoinvecchiamento 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

² Condizione che non è comunque verificata nel caso dell'ossatura dell'edificio in quanto la stessa è contenuta all'interno del pacchetto costruttivo.

dalla radiazione UV ed ad un'ossidazione degli estrattivi. La radiazione UV 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, luce solare e umidità, agiscono in 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 100 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 diminuirne la durata in servizio in modo considerevole. Altro fattore che può influenzare questo fenomeno è la temperatura: alte temperature possono aumentare la velocità 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 fratture 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.

3.9 INTERVENTI DI RIPRISTINO A SEGUITO DI EVENTI METEORICI

Si riportano di seguito alcune considerazioni di carattere generale. Ogni situazione infatti deve essere oggetto di specifica valutazione, individuando le zone eventualmente degradate, definendo una sezione residua resistente del materiale legno e programmando di conseguenza interventi di ripristino e consolidamento della struttura.

Nel caso si verifichi un evento eccezionale, quale ad esempio un'alluvione o un episodio di infiltrazione di umidità che provochi un aumento dell'umidità del materiale al di sopra del 20%, si può ipotizzare la seguente linea di azione al fine di

minimizzare il danno e ripristinare lo stato dei luoghi di un generico edificio con struttura in legno.

- È indispensabile che la proprietà dell'edificio incarichi un tecnico esperto in materia di tecnologia del legno e iscritto al rispettivo albo (ingegneri, architetti e dottori forestali) in modo che possa valutare e mappare l'umidità lungo il perimetro dell'edificio e (se interessati dal fenomeno alluvionale) anche i relativi solai di interpiano e di copertura.
- La mappatura va fatta sia in altezza che a diverse profondità negli elementi strutturali. Non è infatti sufficiente misurare l'umidità in superficie.
- Da precedenti esperienze si può affermare che la diffusione dell'acqua all'interno dei pacchetti costruttivi e nell'ambiente abitato avviene essenzialmente per gravità, mentre risultano trascurabili fenomeni legati alla migrazione dell'acqua per capillarità del materiale legno.
- Una volta proceduto a mappare l'umidità lungo le porzioni di fabbricato interessate dall'alluvione e qualora il contenuto di umidità medesima risulti essere superiore al 18% è necessario provvedere a compiere le seguenti operazioni minime.
 - Rimuovere il cappotto esterno sino all'altezza raggiunta dall'acqua.
 - Rimuovere sia lo strato di XPS (zoccolatura) che l'isolante del sistema a cappotto e lasciare a nudo l'ossatura in legno, in modo che la stessa possa scambiare liberamente l'umidità con l'ambiente circostante.
 - Definire sistemi di protezione delle porzioni di parete lasciate a "nudo", anche attraverso l'applicazione di semplici teli in nylon opportunamente distanziati dal legno, che scongiurino possibili nuovi aumenti del contenuto di umidità degli elementi portanti in legno dovuti principalmente alla pioggia ed alla pioggia di rimbalzo.
 - Il provvedimento di cui sopra è utilizzato principalmente per cercare di snellire le tempistiche entro cui l'ossatura in legno ritorni ad avere valori di umidità inferiori o uguali al 18%.
 - Eventuale demolizione delle contropareti interne. Anche tale operazione, come quelle descritte sopra, è legata al miglioramento

dello scambio dell'umidità del materiale legno che costituisce l'ossatura portante dell'edificio con l'ambiente.

- Rimuovere eventuali guaine e massetti sia interni che esterni all'edificio fino alla base dell'ossatura in legno.
- Ventilare gli ambienti tenendo aperte porte e finestre e utilizzando ventilatori che muovono l'aria nelle zone dove la ventilazione naturale è carente per favorire un processo di deumidificazione degli ambienti e dei componenti in legno.
- Monitorare periodicamente l'umidità nelle strutture portanti di legno attraverso un igrometro a infissione e attraverso la definizione sulle medesime pareti di alcuni punti fissi (rappresentativi dello stato di fatto) di misura in modo da monitorare il processo di asciugatura e verificare quando procedere a ripristinare lo stato dei luoghi.
- Per completezza si sottolinea che si potrà procedere alla ricostruzione delle parti demolite qualora gli elementi a base legno presentino umidità minori o uguali al 18%.
- I tempi previsti possono essere stimanti solitamente in 100/150 giorni. La tempistica di cui sopra si può ritenere valida qualora si intervenga tempestivamente a mettere a nudo il legno della struttura interessata da episodi di allagamento.

4. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Pubblicazioni

AAVV - Appunti per le Costruzioni in legno - 2017

AAVV - Durability of mass timber structures: a review of the biological risks - 2017

Assolegno - Guida pratica alla durabilità e ai trattamenti del legno - 2022

C. Loss, M. Luchetti, M. Piazza, M. Andreolli - Indicazioni per la progettazione e direzione lavori di edifici in legno in zona sismica - 2013

E. Frühwald, S. Thelandersson, L. Fülöp, T. Toratti, VTT - Robustness evaluation of failed timber structures - 2008

E. Frühwald, E. Serrano, T. Toratti, A. Emilsson, S. Thelandersson - Design of safe timber structures – How can we learn from structural failures in concrete, steel and timber – 2007

Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC) - Canadian wood-frame house construction - 2010

Norme di riferimento

UNI EN 335 Durability of wood and wood-based products. Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products

UNI EN 350 Durability of wood and wood-based products – Natural durability of solid wood

UNI EN 351 Durability of wood and wood-based products. Preservative-treated solid wood

UNI EN 460 Durability of wood and wood-based products – Natural durability of solid wood – Guide of the durability requirements for wood to be used in hazard classes

UNI EN 599 Durability of wood and wood-based products. Efficacy of preventive wood preservatives as determined by biological tests

UNI EN 1995-1-1 Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings

UNI EN 1995-1-2 Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-2: General – Structural fire design

UNI EN 1998 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance

DM 17.01.18 Norme Tecniche per le Costruzioni

CM 21.01.2019 Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018

CNR DT 206 R1 Istruzioni per la progettazione, Istruzione, l'esecuzione ed il Controllo delle Strutture in legno

Canadian wood-frame house construction, 2010



ASSOLEGNO

Foro Buonaparte 65, 20121 Milano

www.assolegno.it

www.assolegnorisponde.it

assolegno@federlegnoarredo.it