

QUADERNI TECNICI DI ASSOLEGNO



NORMATIVA, PRINCIPI ED ESEMPI PRATICI

**COSTRUZIONI IN LEGNO ESISTENTI: DIAGNOSI
E CONSOLIDAMENTO**

www.assolegno.it

www.assolegnorisponde.it

assolegno@federlegnoarredo.it

FLA
FEDERLEGNOARREDO

Milano, settembre 2021



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. Marco Pio Lauriola (Timber Design - Progetti in Legno).

INTRODUZIONE AL QUADERNO TECNICO

Il presente lavoro nasce dalla crescente richiesta di informazioni da parte delle imprese e dei tecnici di settore in relazione alle modalità di ispezione e diagnosi delle opere esistenti in legno.

In particolare, è obiettivo di Assolegno identificare tutti i processi che possono portare ad un utilizzo razionale del legno massiccio e dei prodotti in legno ingegnerizzato al fine di procedere –anche nei contesti storici ed artistici– a un loro impiego che ne sfrutti bellezza, proprietà meccaniche e caratteristiche di sostenibilità ambientale.

È inoltre importante, specialmente in tutti quei processi di assistenza post-vendita, far comprendere e riportare adeguati riferimenti normativi al fine di evitare contenziosi che possono nascere tra committente, impresa di costruzioni e azienda fornitrice di legname.

Il legno è infatti oggetto di “movimenti”, dovuti principalmente a variazioni igrometriche dell’ambiente circostante che possono comportare l’apertura di fessure da ritiro sugli elementi strutturali, ma che allo stesso modo le stesse fessure possono non essere considerate quali “difetti” del materiale (in considerazione naturalmente della regola di classificazione utilizzata ai fini di assegnare una classe di resistenza all’elemento).

Giova ancora una volta ricordare che la sostituzione di coperture realizzate in tradizionale (es. coperture in C.A.) con elementi in legno, può molte volte comportare benefici a livello di miglioramento o adeguamento sismico dell’intera opera edile (soprattutto nel processo di dialogo con le opere in muratura) ed essere oggetto di agevolazioni fiscali da parte della committenza secondo quanto previsto in Normativa (vedi relativo “Sisma-bonus”).

Entro il presente Quaderno Tecnico si condividono quindi i maggiori riferimenti normativi per definire adeguate tecniche di diagnosi di strutture in legno, utilizzate tanto per le coperture quanto per gli edifici in legno.

Albino Angeli
*Consigliere del Gruppo Grandi Strutture
e Produttori di legno lamellare e CLT*

Marco Vidoni
Consigliere del Prime Lavorazioni

INDICE DEI CONTENUTI

INDICE DEI CONTENUTI

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | DIAGNOSI: INTRODUZIONE E PRINCIPI | 2 |
| 1.1 | ATTIVITÀ DI DIAGNOSI | 3 |
| 1.2 | FASI DI LAVORO: INDAGINE PRELIMINARE | 4 |
| 1.3 | VALUTAZIONI DIAGNOSTICHE DI DETTAGLIO | 6 |
| 1.3.1 | IDENTIFICAZIONE DELLA SPECIE | 7 |
| 1.3.2 | STIMA DELL'UMIDITÀ | 10 |
| 1.3.3 | CLASSIFICAZIONE CON METODI A VISTA | 12 |
| 1.3.4 | STIMA DEL DEGRADO BIOLOGICO: FUNGHI | 14 |
| 1.3.5 | STIMA DEL DEGRADO BIOLOGICO: INSETTI | 16 |
| 1.3.6 | STIMA DEL DEGRADO MECCANICO | 17 |
| 2 | ELEMENTI INCOLLATI | 19 |
| 2.1 | ELEMENTI INCOLLATI: STIMA DEL DANNO | 20 |
| 2.1.1 | LA NECESSITÀ DELLA DIAGNOSI PER GLI ELEMENTI INCOLLATI | 21 |
| 2.1.2 | APPROCCIO ALLA DIAGNOSI DI STRUTTURE COMPLESSE | 21 |
| 2.2 | STIMA DELLE CARATTERISTICHE RILEVANTI DELL'OPERA | 23 |
| 2.2.1 | CONDIZIONI AMBIENTALI E UMIDITÀ DEL LEGNO | 25 |
| 2.2.2 | MAPPATURA DELLE FESSURE DA RITIRO | 27 |
| 2.2.3 | METODI ALTERNATIVI E DI APPROFONDIMENTO | 30 |
| 2.3 | APPROFONDIMENTI SULL'ADESIVO | 30 |
| 2.3.1 | PRELIEVO DI CAMPIONI E TEST A TAGLIO | 32 |
| 2.4 | VALUTAZIONE DEI RISULTATI DELLA DIAGNOSI | 34 |
| 2.4.1 | VALUTAZIONE DELLE CONDIZIONI AMBIENTALI DI CONTORNO | 34 |
| 2.4.2 | CONSEGUENZE DELLE FESSURE | 36 |
| 2.5 | RISULTATI DELLE PROVE A TAGLIO SUI PROVINI CAMPIONATI | 38 |
| 2.6 | CONCLUSIONI | 39 |
| 3 | INTERVENTI SU EDIFICI IN LEGNO | 44 |
| 3.1 | INTERVENTI AL PIEDE DELL'EDIFICIO | 45 |
| 3.1.1 | PUNTELLAZIONE | 45 |
| 3.1.2 | RICOSTRUZIONE DELLA BASE DELLE PARETI CLT E LOG-HOUSE | 46 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.1.3 | RICOSTRUZIONE DELLA BASE DELLE PARETI PLATFORM-FRAME | 50 |
| 3.1.4 | RICOSTRUZIONI LOCALI | 52 |
| 3.2 | INTERVENTI SUI SOLAI | 54 |
| 3.2.1 | SOLAIO DEGRADATO NELLA ZONA DI APPOGGIO | 54 |
| 3.3 | INTERVENTI SUI BALCONI | 56 |
| 3.3.1 | DEGRADO PARZIALE DELLO SBALZO – 1 | 56 |
| 3.3.2 | DEGRADO PARZIALE DELLO SBALZO – 2 | 58 |
| 3.3.3 | DEGRADO TOTALE DELLO SBALZO | 59 |



1. DIAGNOSI: INTRODUZIONE E PRINCIPI

1 DIAGNOSI: INTRODUZIONE E PRINCIPI

La diagnostica strutturale comprende l'insieme delle tecniche di indagine volte a definire lo stato di conservazione delle strutture e delle caratteristiche costruttive che incidono sul comportamento strutturale.

Le tecniche investigative possono essere realizzate *in situ*, mediante analisi visive, prove e misurazioni strumentali. Alcune prove di laboratorio, in grado d'integrare la ricognizione e l'indagine sulle strutture *in situ*, possono aiutare a identificare con maggiore precisione le principali caratteristiche fisico-chimiche e meccaniche dei materiali in opera.

La diagnostica strutturale prevede un rapporto di indagine secondo le indicazioni della norma UNI 11119 (e norme comunitarie correlate, in primis la EN 17121). Secondo tale norma per ciascun elemento di legno massiccio che compone la struttura deve essere effettuata una classificazione per usi strutturali. Tramite la classe strutturale è poi possibile, nota la specie legnosa, giungere alla determinazione del profilo resistente dell'elemento.

Tale attività è preliminare ad un approfondimento ingegneristico e alla definizione delle tecniche di riparazione. Le tecniche di riparazione possono essere suddivise in tre grandi gruppi:

- i. addizione di nuovi elementi e/o manufatti alla struttura esistente;
- ii. inclusione di nuovi elementi nella membratura e/o nell'orditura presente al fine di migliorarne le performance;
- iii. sostituzione di elementi o parti strutturali.

Nella prima categoria possono rientrare operazioni quali ad es.: l'addizione di carpenteria metallica per una verifica delle sollecitazioni orizzontali e verticali o la posa di nuove pareti di controvento; nella seconda categoria possono rientrare ad es.: la posa di barre incollate e sistemi FRP (*Fibre-Reinforced-Polymers*).

Alla sostituzione si ricorre invece quando gli interventi compresi delle prime due categorie non risultano tecnicamente possibili oppure siano economicamente non convenienti.

1.1 ATTIVITÀ DI DIAGNOSI

Come accennato precedentemente, la diagnosi può essere definita come un insieme di tecniche non distruttive, visive o strumentali, finalizzate ad individuare eventuali carenze conservative, costruttive o progettuali a causa delle quali una struttura è parzialmente o totalmente inefficiente o non sicura.

Tale concetto naturalmente vale in relazione alle strutture realizzate attraverso l'impiego di legno massiccio o di prodotti ingegnerizzati (ossia ottenuti attraverso l'incollaggio). Per entrambe le tipologie costruttive sopra descritte la EN 17121 indica la procedura richiesta per l'analisi e la valutazione in opera di una struttura di legno che può (in funzione anche delle richieste della committenza) prevedere due fasi di indagine:

- una valutazione preliminare che condurrà a una analisi strutturale e ad un rapporto diagnostico preliminare;
- la valutazione diagnostica di dettaglio.



Box di approfondimento

Sia nella fase di valutazione preliminare che nella valutazione diagnostica è sempre richiesto un approccio olistico, che consideri e valuti la struttura nel suo insieme, e non solo le singole membrature e i nodi strutturali. Diviene fondamentale, tanto nelle prime fasi quanto nei successivi step di lavoro, incentivare il confronto fra i professionisti (strutturista, direzione lavori, tecnologo del legno...) per capire il funzionamento e la composizione di una determinata opera di ingegneria.

Si precisa che non è assolutamente detto che una valutazione preliminare debba in ogni caso proseguire in una valutazione diagnostica di dettaglio, ma – in funzione dello stato di conservazione dell'opera stessa e di sollecitazione – può essere sufficiente oppure può essere necessario proseguire con approfondimenti specifici (ad es. definendo uno studio storico più approfondito, in grado di documentare i cambiamenti osservati nella struttura in modo da orientare in maniera più efficiente l'attività di diagnosi stessa).

Inoltre, le strutture lignee, oltre ad assolvere a funzioni statiche, spesso costituiscono superficie o supporto di opere pittoriche, di intaglio o, più in generale di decori dall'alto valore storico-artistico.

È frequente imbattersi in Chiese o palazzi storici con strutture portanti completamente dipinte, spesso con decori ed elementi che inequivocabilmente legano la struttura ad un determinato periodo storico, ad una data famiglia o ad uno specifico evento. In questi casi ovviamente, l'obiettivo di un eventuale intervento di recupero non è solo quello del mantenimento della struttura, ma anche e soprattutto della conservazione degli elementi decorativi.

Sia per la valutazione preliminare che per quella diagnostica di dettaglio, una prima e importante connotazione che appartiene al settore del legno strutturale, a differenza di quanto avviene in altri settori dove la struttura viene "campionata" in determinate aree di saggio (ad es. muratura), è che devono essere sottoposti a ispezione e diagnosi tutti gli elementi che compongono l'opera di ingegneria per tutto il loro sviluppo.

1.2 FASI DI LAVORO: INDAGINE PRELIMINARE

In relazione all'indagine preliminare si possono definire le seguenti fasi:

- **studio storico** mirato a fornire documentazione e informazioni utili a determinare la storia della struttura e, se possibile, la cronologia dei carichi sopportati; citando il §C8.5.1 della Circolare Esplicativa delle NTC 2018 "questa fase deve permettere di interpretare la condizione attuale dell'edificio come risultato di una serie di vicende statiche e di trasformazioni che si sono sovrapposte nel tempo";
- **analisi visuale** preliminare atta ad ottenere una visione d'insieme della struttura che sia sufficiente a pianificare le fasi successive, identificando anche quali opere vadano predisposte per ottenere un adeguato accesso alle singole membrature, in vista delle analisi previste nella seconda fase;
- **rilievo geometrico** per determinare la disposizione generale degli elementi strutturali e individuare i problemi principali. Questa indagine dovrebbe includere la misurazione delle dimensioni delle singole membrature che sono fondamentali per la valutazione strutturale preliminare. Dovrebbero inoltre essere rilevati eventuali segni di degrado o problemi strutturali più evidenti, che dovranno essere esaminati in maniera più dettagliata nella fase successiva;
Il rilievo geometrico è necessario per:

- analizzare e comprendere correttamente il funzionamento della struttura e delle sue parti;
- identificare le parti e gli elementi da ispezionare;
- riportare in maniera semplice e intuitiva i dati rilevati durante l'ispezione;
- restituire in forma grafica i risultati dell'indagine;
- consentire l'effettuazione degli eventuali calcoli di verifica statica;
- consentire l'elaborazione di un eventuale progetto di consolidamento.

Devono essere rilevati:

- geometria generale della struttura (luci, interassi) e delle eventuali unità strutturali (ad es. capriate);
 - geometria delle unioni (in special modo nelle capriate);
 - forma e dimensioni delle sezioni;
 - deformazioni eventuali, distinguendo, ove possibile, lo stato deformativo derivante dalle azioni applicate da quello proprio del materiale.
- **analisi strutturale** preliminare per determinare i livelli generali di sollecitazione e deformazione attesa all'interno della struttura;
 - **rapporto preliminare** che includa una descrizione generale della struttura e delle sue condizioni attuali, con una nota riguardo alle aree di interesse che richiedono uno studio più dettagliato e che potrebbero richiedere misure e azioni immediate di messa in sicurezza. Il rapporto preliminare deve includere anche una descrizione delle eventuali patologie, delle condizioni di servizio e del comportamento strutturale. Devono essere identificate le aree vulnerabili, insieme a membrature e collegamenti che sopportano elevate o eccessive tensioni e/o deformazioni. Tutti i problemi e/o la necessità di riduzione dei carichi all'interno della struttura devono essere annotati insieme a una valutazione preliminare generale delle condizioni attuali della struttura e delle linee guida e delle proposte per la prosecuzione dell'indagine.



Box di approfondimento

Per lo svolgimento delle attività di diagnosi, è indispensabile riuscire a raggiungere la struttura in ogni sua parte in modo che questa possa essere ispezionabile agevolmente

ed in sicurezza dal tecnico incaricato. L'orditura lignea deve essere quindi raggiungibile in ogni sua parte e le superfici (per quanto possibile) devono essere pulite, ovvero non devono essere presenti detriti di vario tipo e genere che possano essere di ostacolo alla valutazione tecnologica degli elementi oggetto di attenzione.

Nel periodo rinascimentale le strutture erano sempre provviste di un efficiente sistema di percorsi e camminamenti d'ispezione posizionati in punti ben precisi, da cui era possibile percepire movimenti o danni verificatisi. Sono d'esempio i camminamenti collocati al centro delle capriate al di sopra delle catene che, in alcune chiese maggiori, divengono anche elemento decorativo.



In figura il camminamento al centro delle capriate di Santa Croce a Firenze.

I movimenti reciproci che si percepiscono tra i diversi elementi al centro di una capriata sono spesso il sintomo di cedimento degli appoggi in corrispondenza della muratura o delle unioni tra puntone e catena. Con l'avvento del Barocco si perde più o meno velocemente questa buona consuetudine.

1.3 VALUTAZIONI DIAGNOSTICHE DI DETTAGLIO

A partire dai risultati dell'indagine preliminare, la valutazione diagnostica deve includere la misurazione delle zone soggette a degrado biotico e strutturale, la classificazione strutturale a vista delle singole membrature e i risultati delle analisi non distruttive, ove si sia ritenuto appropriato eseguirle; l'indagine dovrà inoltre essere estesa alla valutazione dello stato efficienza e di conservazione dei nodi strutturali.

Similmente a quanto definito per l'ispezione preliminare, si riportano di seguito i seguenti step di lavoro, quali:

- A. identificazione della specie legnosa;
- B. stima dell'umidità del legno;
- C. classificazione secondo la resistenza;
- D. caratterizzazione e quantificazione del degrado (biotico e meccanico).

1.3.1 IDENTIFICAZIONE DELLA SPECIE

Le varie specie legnose possono essere riconosciute sia a livello macroscopico che microscopico. In questo ultimo caso però sono necessarie competenze e strumentazione specifiche. A tal proposito un utile riferimento normativo è la UNI 11118 ("Beni culturali - Manufatti lignei - Criteri per l'identificazione delle specie legnose").

Per il riconoscimento macroscopico, è talvolta sufficiente verificare la presenza (assenza) di alcune caratteristiche visibili ad occhio nudo (o al massimo con l'ausilio una comune lente di ingrandimento), utilizzando apposite chiavi dicotomiche che riportano tali caratteristiche, e in presenza di campioni di legno con idonee dimensioni (rappresentativo di tutte e tre le direzioni anatomiche: radiale, tangenziale e trasversale) è possibile arrivare a determinare la specie (genere) di appartenenza.

Per quanto riguarda la procedura di riconoscimento, si accenna solo che questa viene effettuata per lo più attraverso l'osservazione della sezione trasversale dell'elemento. Successivamente il primo passo da compiere è definire se siamo di fronte ad un legno di latifoglia o di conifera. Questa operazione è generalmente agevole osservando la sezione trasversale dei campioni di legno: le conifere presentano anelli di accrescimento molto più marcati e distinguibili tra loro rispetto alle latifoglie. Ciò è dovuto al fatto che nelle Conifere è particolarmente evidente la formazione di cellule a lume ampio e pareti sottili (legno primaverile) e cellule schiacciate radialmente con lume ridotto e pareti molto spesse (legno autunnale).

Una volta stabilito se siamo in presenza di una conifera o di una latifoglia è possibile seguire il percorso indicato nella "Chiave dicotomica per il riconoscimento macroscopico dei principali legnami indigeni impiegati in Italia" (vedi Tab. 1 e 2).

In relazione alle conifere si riportano le seguenti chiavi dicotomiche:

| Legni di conifera | | |
|--|--|---------------------|
| I - ASSENZA CANALI RESINIFERI | | |
| Durame ed alburno indifferenziati | Legno color bianco opaco | Abete bianco |
| Durame ed alburno differenziati | Durame color rosso vivo da fresco, scurentesi poi con l'esposizione all'aria. Anelli stretti ben marcati | Tasso |
| | Durame bruno. Anelli di accrescimento con sottile zona tardiva, irregolari, non sempre ben distinguibili. Odore aromatico forte | Cipresso |
| | Durame bruno. Anelli di accrescimento ben marcati. Odore aromatico | Cedri |
| II - PRESENZA CANALI RESINIFERI | | |
| Durame ed alburno indifferenziati | Legno color bianco un po' lucente | Abete rosso |
| Durame ed alburno differenziati | Durame color rosso marcato, molto esteso, alburno ridottissimo. Brusco passaggio fra zona primaticcia e tardiva. Zona tardiva ben marcata. Canali resiniferi piccoli, numerosi | Larice |
| | Durame di un bel color salmone, molto esteso. Passaggio graduale fra la zona primaticcia e quella tardiva. Zona tardiva ben marcata. Canali resiniferi piccoli, poco numerosi | Douglasia |
| | Durame poco esteso. Canali resiniferi grossi e numerosi. Anelli di accrescimento ben marcati | Pini |

Tab. 1 – Conifere: Chiave dicotomica per il riconoscimento macroscopico dei principali legnami italiani (courtesy: CNR IBE)

In relazione alle latifoglie si riportano le seguenti chiavi dicotomiche:

| Legni di latifolia | | |
|---|--|--------------------------------|
| I - VASI PRIMATICCI BEN VISIBILI AD OCCHIO NUDO FORMANTI UN CERCHIO POROSO NELLA ZONA PRIMATICCIA DEGLI ANELLI | | |
| Durame ed alburno indifferenziati | Legno color bianco madre-perlaceo | Frassino |
| Durame ed alburno differenziati | Raggi grandi ben visibili ad occhio nudo. Durame color bruno giallastro. Querce caducifoglie | Rovere - Farnia - Cerro |
| | Raggi invisibili. I vasi piccoli disposti in fiamme radiali. Durame color bruno giallastro. Alburno sottile giallastro | Castagno |
| | Raggi appena percettibili ad occhio nudo. I vasi piccoli riuniti in bande tangenziali ondulate. Durame color rossastro bruno. Alburno bianco-giallastro molto spesso | Olmo |
| | Raggi piccoli visibili ad occhio nudo. I vasi piccoli sono riuniti in gruppi puntiformi. Durame color giallo-verdastro. Alburno bianco-giallastro molto sottile | Robinia |

Tab. 2a – Latifoglie: Chiave dicotomica per il riconoscimento macroscopico dei principali legnami italiani (courtesy: CNR IBE)

II - VASI PRIMATICCI NON FORMATI ANELLO POROSO

| | | | |
|-----------------------------------|---|---|---|
| Durame ed alburno indifferenziati | Raggi grandi ben visibili ad occhio nudo | Raggi uguali. Legno color bianco rosato-bruno | Platano |
| | | Raggi ineguali. Legno color bianco roseo | Faggio |
| | Presenza di falsi raggi | Legno biancastro | Carpino |
| | | Legno rossastro chiaro | Ontano |
| | Raggi molto piccoli ma visibili ad occhio nudo | Legno bianco opaco, leggero | Tiglio |
| | | Legno bianco lucido, di aspetto sericeo in sezione | Acerò |
| Raggi invisibili ad occhio nudo | Legno biancastro | Betulla, Pioppo Salice, ippocastano | |
| Durame ed alburno differenziati | Raggi molto grandi, ben visibili ad occhio nudo | Legno con durame bruno e alburno rossastro chiaro | Querce sempreverdi (Leccio, Sughera) |
| | Raggi picco, visibili ad occhio nudo | Legno con durame bruno spesso, presenta venature nerastre; alburno grigio pallido | Noce |

Tab. 2b – Latifoglie: Chiave dicotomica per il riconoscimento macroscopico dei principali legnami italiani (courtesy: CNR IBE)

1.3.2 STIMA DELL'UMIDITÀ

La carie del legno è un processo di degradazione di cui sono responsabili alcuni funghi Basidiomiceti (carie bianca e carie bruna) o Ascomiceti e Deuteromiceti (carie soffice) che attaccano la parete cellulare demolendo la cellulosa e/o la lignina mediante l'azione di enzimi. L'azione di tali funghi può avvenire solamente ad umidità del legno superiore al

20% circa, condizione che in una struttura ben progettata non deve verificarsi, se non in maniera temporanea.

In tali situazioni, è molto importante determinare il contenuto di umidità, che è indice di un fenomeno degenerativo in atto. È chiaro però che, se al momento dell'indagine viene rilevata umidità inferiore al 20%, questo non significa che il legno non sia stato attaccato da funghi; è possibile infatti che in passato ci siano state condizioni di umidità elevate che abbiano favorito l'attacco da funghi e al momento sono cessate.

In linea di principio, inoltre, l'umidità all'interno del legno si muove dalle zone più umide a quelle meno umide, con una conseguente formazione di gradienti interni longitudinali o trasversali. Questo movimento segue leggi fisiche diverse riferibili di volta in volta alla permeabilità, all'adsorbimento, alla diffusione, alla capillarità e all'osmosi.

La misurazione dell'umidità del legno, quindi, ha l'utilità di determinare la reale classe d'uso delle varie porzioni della struttura e in particolare di quelle più a rischio di attacco fungino; la classe d'uso secondo la normativa europea (in particolare la EN 335) determina infatti il rischio di attacchi biotici in funzione dell'umidità del legno in uso.

L'umidità del legno può essere verificata in opera con un igrometro elettrico portatile. Secondo la normativa attuale, tramite igrometri elettrici portatili è possibile effettuare solamente delle stime e non delle misure dell'umidità del legno. In ogni caso, acquistando attrezzature di livello professionale e attenendosi alle istruzioni fornite dal costruttore, è possibile ottenere stime affidabili e sufficienti a determinare la presenza o meno di un ambiente adatto allo sviluppo di carie fungine.



Box di approfondimento

Lo studio del contenuto di umidità e dei gradienti è di fondamentale importanza nel campo strutturale per la comprensione di alcune problematiche legate non solamente all'apertura di alcune fessurazioni del legno, ma anche all'evoluzione ed all'origine di alcuni processi degenerativi. In particolare, la presenza di una più alta umidità interna rispetto all'esterna potrebbe essere legata ad una importante infiltrazione di acqua dalle teste o, per effetto della gravità, da fessurazioni estradossali, o da infiltrazioni e

condensazione in corrispondenza di unioni metalliche, con la conseguente formazione di condizioni favorevoli allo sviluppo di carie invisibili dall'esterno.

Al contrario, un più alto valore di umidità superficiale potrebbe essere determinato da fenomeni temporanei di condensazione superficiale e essere comunque di più semplice risoluzione.

1.3.3 CLASSIFICAZIONE CON METODI A VISTA

La classificazione strutturale a vista, che può essere effettuata solo sul legno massiccio, è una fase fondamentale dell'intera attività di diagnosi, perché permette di stimare i valori di resistenza, rigidezza e massa volumica degli elementi strutturali, da applicare alle sezioni resistenti residue.

Se tutte le operazioni descritte finora richiedono esperienza specifica, questa, ancora più delle altre, richiede personale specificatamente formato. La norma UNI 11119 propone una tabella di classificazione, specificando quali difetti misurare e come, ed indicandone i limiti dimensionali per le diverse categorie in opera.

In particolare, l'operazione di classificazione prevede una indagine visiva con l'obiettivo di identificare la tipologia di legname e la sua difettosità originaria. Lo scopo è giungere alla classificazione dell'elemento basata sulla difettosità originaria di ciascuna membratura, per attribuire delle proprietà meccaniche all'elemento stesso.

| Caratteristica | Categoria in opera | | |
|--|--------------------|----------------|-------------------------|
| | I | II | III |
| Smussi | ≤ 1/8 | ≤ 1/5 | ≤ 1/3 |
| Lesioni varie, cretti da gelo, cipollature | Assenti | Assenti | Ammissibili se limitate |
| Nodi singoli | ≤ 1/5; ≤ 50 mm | ≤ 1/5; ≤ 70 mm | ≤ 1/2 |
| Gruppo di nodi | ≤ 1/5 | ≤ 2/3 | ≤ 1/2 |
| Sezione radiale | 7% | 12% | 20% |

| Inclinazione della fibratura (%) | Sezione tangenziale | 10% | 20% | 33% |
|----------------------------------|---------------------|---------------------------------|-----|-----|
| Fessurazioni radiali da ritiro | | Ammissibili purché non passanti | | |

Tab. 3 -Regola di classificazione elementi in opera (UNI 11119)

Si ricorda che per l'assegnazione ad una categoria resistente è possibile comunque utilizzare la UNI 11035-2, purché siano soddisfatte le seguenti condizioni:

- L'elemento in opera deve appartenere a uno dei tipi di legname previsti nella stessa norma UNI 11035-2;
- La visibilità e l'accessibilità dell'elemento deve essere estesa ad almeno tre facce e a una delle due testate.

Box di approfondimento

Si evidenzia che la norma UNI 11119 al paragrafo 7.6 "modalità operative diverse" include la possibilità di utilizzare regole di classificazione diverse da quelle indicate sopra, purché soddisfino i seguenti requisiti e purché il professionista incaricato se ne assuma la responsabilità:

- considerare almeno le seguenti caratteristiche che influiscono sulla resistenza o in generale sul comportamento strutturale in opera dell'elemento:*
 - nodi singoli;
 - gruppi di nodi;
 - smussi;
 - inclinazione della fibratura;
 - fessurazioni (da ritiro, cipollatura, da fulmine, da gelo, ecc.);
 - lesioni varie;
- essere applicabili alla specie legnosa dell'elemento da classificare;*
- esplicitare le modalità di misurazione delle varie caratteristiche;*
- essere corredate da tabelle di valori prestazionali associati a ciascuna categoria in cui gli elementi lignei vengono classificati.*

Inoltre, le regole di classificazione applicabili agli elementi in legno in opera dovranno soddisfare anche i requisiti di seguito elencati, al fine di tenere conto delle particolari condizioni di ispezione:

- e) prevedere e tenere in considerazione le limitazioni derivanti dalle condizioni di accessibilità e di visibilità delle superfici degli elementi. Se il numero delle facce dell'elemento visibili è minore di tre, tale circostanza deve essere esplicitamente riportata nel resoconto di ispezione;*
- f) prevedere la presenza di legno degradato e indicarne i metodi di misurazione; di norma:

 - le zone degradate da funghi devono essere escluse per intero dalla sezione efficace;*
 - per attacchi di insetti omogeneamente diffusi nell'intera sezione critica, si potrà adottare la sezione stessa per intero ai fini della sola classificazione, attribuendole però ai fini dell'analisi strutturale valori delle proprietà fisico-meccaniche ridotti proporzionalmente all'area occupata dalle gallerie; la necessità di questa riduzione dovrà essere esplicitamente segnalata nel resoconto di ispezione, che indicherà la percentuale di riduzione da applicare;*
 - per attacchi di insetti localizzati, le zone degradate dovranno essere escluse per intero dalla sezione efficace;**
- g) classificare separatamente ciascuna delle zone critiche identificate.*

1.3.4 STIMA DEL DEGRADO BIOLOGICO: FUNGHI

La caratterizzazione del degrado biologico prevede di identificare l'agente del degrado (in genere funghi della carie oppure insetti), di valutare se l'attacco sia attivo o pregresso e di stimare le dimensioni della porzione interessata, per determinare le sezioni resistenti residue. Si fa presente che il degrado generalmente non è esteso a tutta la struttura o a tutto l'elemento, nella maggior parte dei casi il degrado interessa specifiche zone di alcuni elementi; per tale motivo è necessario che tutti gli elementi vengano valutati e per tutto il loro sviluppo; una eventuale indagine a campione può fornire una stima di larga massima dei problemi presenti ma non può dare gli elementi e le necessarie garanzie di accuratezza richieste nell'ambito della riabilitazione strutturale.

La tecnica attualmente più utilizzata è la “resistografica”, che consente l’impiego di uno strumento trasportabile, il trapano dinamometrico, che, con qualche accorgimento, può essere utilizzato anche in condizioni disagiati di lavoro. Il trapano dinamometrico è assimilabile ad un trapano strumentato in grado di rilevare la resistenza che il materiale legno oppone alla penetrazione di una punta che avanza con velocità di avanzamento e di rotazione controllati; le dimensioni esigue della sezione della punta (da 1,5 mm a 3 mm di diametro) non provocano danni strutturali ed estetici all’elemento.

Il grafico, denominato generalmente “profilo”, riporta sull’asse delle ordinate la resistenza del legno alla penetrazione, espressa mediante un’unità di misura arbitraria, e sulle ascisse la profondità di penetrazione in scala reale, carattere quest’ultimo che ci consente di localizzare e rilevare in termini dimensionali un eventuale danno, cavità o difetto riscontrato all’interno dell’elemento. La lettura del profilo richiede notevole esperienza e preparazione.

Il trapano dinamometrico è uno strumento nato per la diagnosi su piante in piedi, ma le risposte su segati risultano ugualmente valide e, addirittura più facilmente interpretabili. La tecnica resistografica consente al diagnosta di indagare elementi strutturali lignei, non solamente in luce, ma anche in corrispondenza degli appoggi o, più in generale, nelle parti non visibili dell’elemento.

Sono da considerarsi inadeguati invece i carotaggi e le forature di tipo ordinario allo scopo di eseguire in seguito prove con frattometro (apparecchio che esegue prove di flessione su carote di piccole dimensioni) in quanto, oltre a fornire risposte discutibili, risultano maggiormente distruttive e, se non operate con estrema attenzione, possono costituire in seguito una via di accesso e di raccolta per l’acqua piovana o di condensazione dalla quale possono innescarsi processi degenerativi da carie, oppure luogo di deposizione delle uova per gli insetti xilofagi.

Altra indagine di dubbia valenza è quella legata alla stima delle proprietà meccaniche del legno attraverso la misura della profondità di penetrazione ottenuta con l’ausilio di un punzone che viene “sparato” contro la superficie, utilizzando un’energia costante; tale tecnica è in grado di sondare solo la superficie della zona sottoposta a prova e non considera la difettosità del materiale.

1.3.5 STIMA DEL DEGRADO BIOLOGICO: INSETTI

Gli insetti che attaccano il legno sono di varie famiglie e pertanto hanno un ciclo vitale diverso.

Il ciclo di vita di un insetto (ad eccezione delle termiti) parte dalla deposizione delle uova da parte di un insetto adulto (una farfalla) su piccole cavità o fessure del legno. L'uovo si schiude e dà vita alla larva che penetra nella massa legnosa mangiandola e scavando gallerie. La larva può vivere e lavorare nel legno anche alcuni anni.



Poi si trasforma in insetto perfetto (con le ali) e abbandona il legno forandone la superficie, si accoppia e depone le uova dando origine ad un nuovo ciclo vitale.

Il legno lamellare ha molte meno fessure rispetto al legno massiccio e sicuramente di ampiezza molto minore, per questo motivo l'insetto adulto ha difficoltà a deporre in esso le uova e quindi gli attacchi da insetti nelle travi di legno lamellare sono generalmente piuttosto sporadici e limitati.

È importante osservare che i fori che si riscontrano sulla superficie non sono fori di ingresso ma di uscita ovvero fori di sfarfallamento e pertanto la loro quantità non ci fornisce indicazioni sull'entità dell'attacco in corso.

Generalmente gli insetti mangiano la sola parte periferica del tronco, l'alburno, essendo questo più ricco di sostanze a loro gradite come gli amidi e gli zuccheri; il durame, se differenziato come nella quercia e nel castagno, è molto resistente all'attacco perché ricco di sostanze estrattive (tannini) che lo rendono sgradevole.

Fanno eccezione le specie a durame non differenziato come l'abete che ha il durame povero di estrattivi e pertanto vengono attaccate principalmente nell'alburno ma anche nel durame.

Gli amidi e gli zuccheri contenuti nel legno col tempo tendono a trasformarsi rendendo il materiale non più gradito agli insetti e, superati gli 80-100 anni dall'abbattimento, il legno diventa praticamente immune all'attacco da parte della maggior parte delle famiglie di insetti xilofagi che attaccano il legno in opera. Pertanto, generalmente le strutture antiche non hanno attacchi di insetti in corso ma eventualmente pregressi e non hanno bisogno di trattamenti preservanti.

Il rischio di attacco da insetti è subordinato alla possibilità dell'insetto adulto di deporre le uova nelle fessure o cavità del legno; i trattamenti superficiali (impregnanti, vernici, sostanze preservanti) ed i rivestimenti (ad esempio le pareti di legno rivestite con isolanti, intonaci o cartongessi) impediscono all'insetto adulto di deporre le uova sul legno e pertanto il rischio da attacco da insetti è generalmente molto remoto.

1.3.6 STIMA DEL DEGRADO MECCANICO

Per quanto riguarda il degrado meccanico, vengono rilevati eventuali dissesti del sistema strutturale e delle sue unità strutturali (avvallamenti, perdite di complanarità e verticalità, ecc.); su ciascun elemento si rilevano poi, tutte quelle manifestazioni (rottture, lesioni, deformazioni, scorrimenti, rotazioni, ecc.) dovute principalmente all'azione dei carichi.

Rientrano entro tale tipologia anche i relativi controlli che possono essere fatti sulle unioni meccaniche e di carpenteria al fine di verificarne in loco l'efficienza e lo stato di conservazione.

Il degrado di tipo meccanico solitamente può presentare difficoltà nel riconoscimento e computazione della sua estensione ed è strettamente legato all'esperienza maturata dal tecnico incaricato, nonché dalla corretta interpretazione del funzionamento strutturale specie per strutture complesse quali le capriate ed i sistemi reticolari in genere.

Risulta necessario verificare la rispondenza delle caratteristiche geometriche rilevate delle unioni con quelle previste in sede di progetto.

A livello di stabilità della struttura e ai fini di una verifica strutturale successiva, la caratterizzazione meccanica delle unioni è importante quanto la classificazione e la definizione del degrado biologico degli elementi: anzi in questo caso è fondamentale definire se l'opera possa avere aspetti di comportamento labile, ben più importante ai fini della sicurezza di un "semplice" dimensionamento della sezione resistente.

2. ELEMENTI INCOLLATI

2 ELEMENTI INCOLLATI

Entro il presente capitolo si farà prevalentemente riferimento alle tecniche di indagine dedicate alle strutture in legno lamellare incollato. In relazione all'argomento si precisa che le considerazioni che seguiranno sono supportate da pubblicazioni internazionali e da esperienza; allo stesso modo si evidenzia come sia a livello nazionale che internazionale manchi un effettivo riferimento normativo sul tema.

Ai fini dell'attività di diagnosi, si sottolinea come la qualità del legno lamellare così come quella dei pannelli di tavole incrociate (CLT – *Cross Laminated Timber*), dipende da diversi fattori quali la classe di resistenza delle tavole che compongono tali elementi, l'adesivo e le sue modalità di applicazione nonché dai controlli distruttivi eseguiti in stabilimento dal produttore in relazione alla tenuta dei giunti a dita e dei piani di incollaggio.



Box di approfondimento

Relativamente gli assortimenti inquadrabili quale "legno lamellare incollato" si ricorda come questi a livello di produzione debbano essere conformi alla UNI EN 14080.

Si ricorda che la pubblicazione della EN 14080: 2013 ha comportato l'introduzione di molte novità all'interno del panorama normativo. Si riportano alcune definizioni:

- *Legno lamellare ("glulam"): elemento strutturale composto da almeno due lamelle con andamento della fibratura pressoché parallelo; le lamelle possono essere una o due tavole affiancate con spessore finito compreso da 6 mm a 45 mm (incluso).*
- *Elementi Bilama/Trilama ("glued solid timber"): elementi strutturali con dimensioni delle sezioni fino a 280 mm composti da 2 a 5 lamelle (aventi la stessa classe di resistenza) con andamento della fibratura pressoché parallelo e uno spessore delle tavole compreso da 45 mm a 85 mm (incluso).*

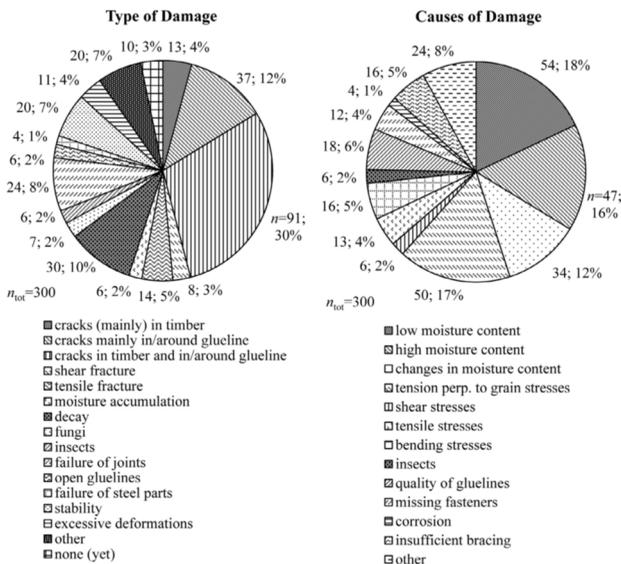
Per il legno lamellare, all'interno di una specifica tecnica europea, sono state introdotte le classi di resistenza a trazione. La norma infatti definisce i valori caratteristici minimi di resistenza a trazione delle tavole per definire i profili resistenti degli elementi finiti.

Il compensato di tavole (CLT - Cross Laminated Timber), in base alle condizioni di carico, può assumere la funzione di lastra (per le pareti) e/o di piastra (per i solai). In generale, il vantaggio principale del sistema composto da pareti e solai in compensato di tavole è la capacità di auto-controventarsi grazie al comportamento scatolare dell'edificio.

Per quanto riguarda la situazione normativa e in particolare quella dedicata alla certificazione di prodotto, i pannelli CLT circolano sul territorio nazionale coperti da marcatura CE in accordo a specifici ETA o (in alternativa) tramite Valutazione Tecnica rilasciata dal Servizio Tecnico Centrale (CVT - Certificato di Valutazione Tecnica).

2.1 ELEMENTI INCOLLATI: STIMA DEL DANNO

Strutture in legno lamellare, così come quelle realizzate tramite l'impiego di compensato di tavole, possiedono (se concepite e mantenute correttamente) una durabilità in linea con la vita nominale dell'opera. Tuttavia, in alcune situazioni, si possono avere episodi che fanno perdere all'opera in tutto o in parte i requisiti di sicurezza definiti in sede di progetto.



Analisi dello stato di danno di un campione di strutture in lamellare - courtesy assessing the integrity of glued-laminated timber elements - Philipp Dietsch, Thomas Tannert

2.1.1 LA NECESSITÀ DELLA DIAGNOSI PER GLI ELEMENTI INCOLLATI

Al di là di esigenze lampanti come la l'evidenza di un attacco fungino o da insetti, si può rendere necessario l'attività di diagnosi su elementi in legno lamellare o in compensato di tavole qualora si abbiano:

- un cambio di destinazione della struttura;
- l'incremento dei carichi in copertura (ad es. l'installazione di impianti);
- dubbi circa la rispondenza tra progetto e opera realizzata;
- verifica di un eventuale attacco biotico, in corso o esaurito, da parte di funghi o insetti.

Sempre in termini generali, l'ispezione su elementi incollati, può seguire quanto indicato per le strutture in legno massiccio con alcune precisazioni circa le prove non distruttive o semi-distruttive da adottare attraverso l'eventuale prelievo di campioni rappresentativi.

Naturalmente l'obiettivo del presente elaborato è di presentare un possibile iter "flessibile" dedicato alla diagnosi di tali strutture al fine di:

- definire lo "stato di salute" generale della struttura in legno lamellare;
- valutare le condizioni al contorno entro la quale la medesima struttura si trova (e identificare eventuali cambiamenti nella classe di servizio e/o di classe di utilizzo rispetto a quanto preventivato in sede di progetto);
- stimare l'umidità media entro cui si trovano i medesimi elementi strutturali;
- mappare le fessure che sono presenti sulla struttura medesima;
- valutare l'integrità delle linee di colla.

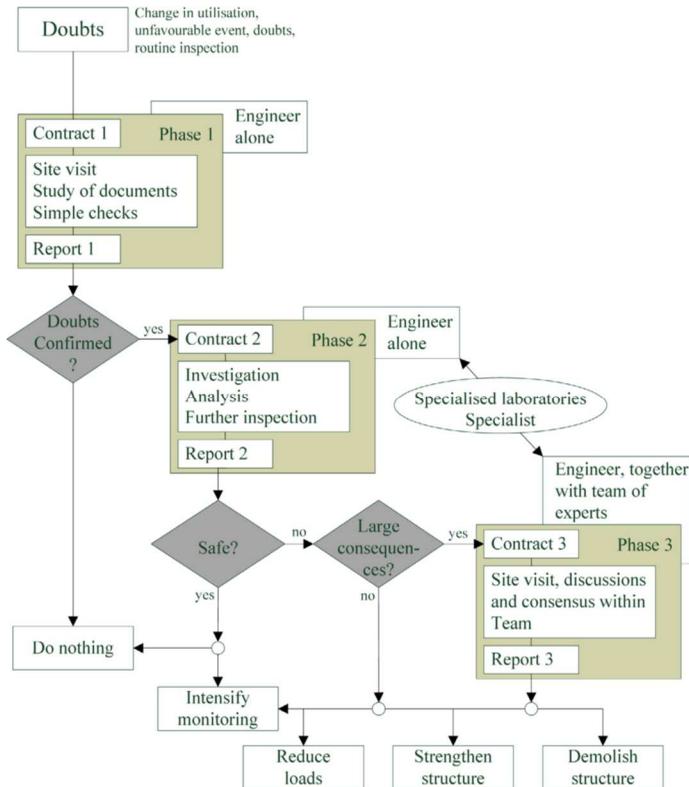
2.1.2 APPROCCIO ALLA DIAGNOSI DI STRUTTURE COMPLESSE

L'obiettivo della diagnosi, a prescindere dalla tipologia e dagli assortimenti oggetto di attenzione, è quello di rilevare, localizzare e documentare l'effettivo stato di "danno", definendo le cause e individuando –in una seconda fase– le modalità di riparazione.

La valutazione dell'esistente può essere suddivisa in due fasi, in via analoga a quanto indicato all'interno del par. 1 del presente quaderno tecnico:

- Valutazione preliminare basata essenzialmente su metodi a vista;

- Valutazione diagnostica approfondita con la definizione di prove distruttive o semi-distruttive al fine anche di quantificare l'eventuale degrado presente su tali strutture.



Fasi e analisi dell'esistente – courtesy: assessing the integrity of glued-laminated timber elements - Philipp Dietsch, Thomas Tannert

La valutazione in loco (sia a livello preliminare che in fase di diagnosi) può essere accompagnata da fasi di sperimentazione da eseguirsi in laboratorio. Il tipo di test nonché il numero di campioni da prelevare dipende essenzialmente dalla complessità della struttura e dalla presenza di più elementi aventi una classe di resistenza diversa e dalla disponibilità economica nell'eseguire tali sperimentazioni da parte della committenza.

Normalmente, e ancora una volta in senso generale, le proprietà oggetto di analisi possono essere sintetizzate in combinazione ai seguenti strumenti di approfondimento:

1. overview generale dell'opera → documentazione storica e ispezione visiva;
2. mappatura dell'umidità del materiale → impiego di igrometri resistivi o capacitivi;
3. analisi delle fessure → tramite analisi visiva e spessimetro o analisi radiografiche e/o ecografiche;
tipologia di adesivo → visivo e/o tramite analisi spettrografiche di laboratorio;
4. resistenza dei piani di incollaggio → prelievo di campioni e definizione di prove a "taglio".

2.2 STIMA DELLE CARATTERISTICHE RILEVANTI DELL'OPERA

Prima di una qualsiasi diagnosi, è necessario approfondire se sono disponibili documenti (progettuali o di gestione del cantiere) ed eventualmente procedere con accesso agli atti presso l'ufficio territoriale competente.

La stessa documentazione può essere un valido supporto al tecnologo e può offrire inoltre una panoramica sulle caratteristiche prestazionali della struttura che andrebbero altrimenti investigate sul campo. Inoltre –specialmente su elementi incollati– alcune informazioni possono essere ricavabili soltanto dalla documentazione depositata, come la periodicità delle prove di carattere distruttivo in relazione al lotto fornito o ancora la classe di resistenza delle tavole che compongono il pacchetto.



Box di approfondimento

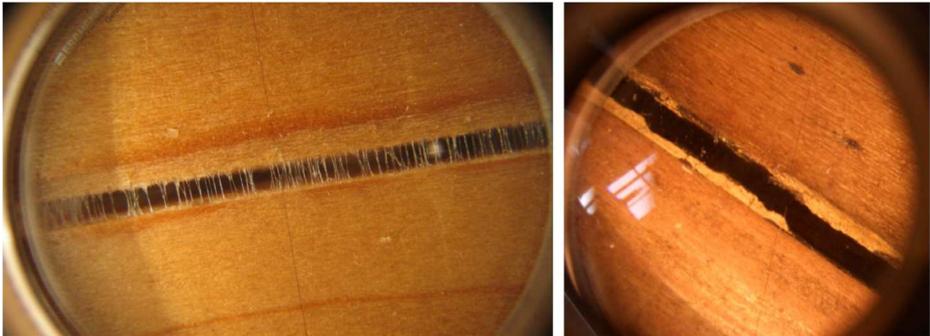
Per gli edifici realizzati post anni 2000 il reperimento della documentazione –alla luce del progressivo strutturarsi della normativa Italiana –in relazione alle strutture in legno può essere relativamente semplice in quanto il progetto si trova depositato presso gli uffici territoriali competenti, quali ad es. geni civili, regione e comuni. Inoltre, sanatorie e altri provvedimenti possono dare una visione aggiornata di quello che è lo stato attuale e fornire contestualmente elementi utili alla definizione delle attività di diagnosi. Il tecnologo inoltre può trovare una fonte preziosa dei dati caratterizzanti l'opera in legno direttamente dall'azienda costruttrice o, qualora l'intervento abbia

caratteristiche architettoniche di rilievo, potranno essere utili anche la consultazione di riviste di settore.

L'acquisizione della documentazione progettuale e/o di cantiere, quindi, è normalmente seguita da un'ispezione visiva. Tale operazione è senza dubbio un passaggio fondamentale nell'iter di diagnosi ed è altresì fondamentale per annotare le porzioni della struttura ammalorate o caratterizzate da degrado da parte di funghi ed insetti (tali porzioni, attenzionate adeguatamente nella parte di ispezione visuale saranno successivamente oggetto di approfondimento durante il successivo step di valutazione diagnostica).

Specialmente nelle strutture ingegnerizzate, è estremamente utile, anche a partire dall'indagine preliminare, utilizzare una lente di ingrandimento provvista di lampada in modo che sia altrettanto facile procedere a definire foto delle eventuali delaminazioni.

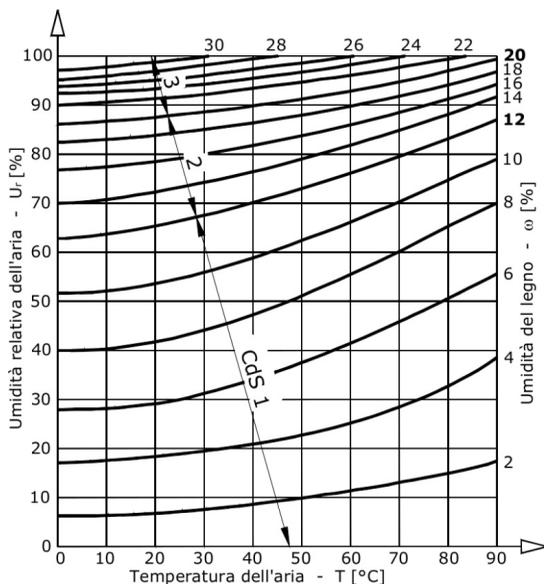
Altrettanto importante, in funzione anche della complessità della struttura, risulta procedere a mappare le stesse immagini e posizzarle precisamente all'interno della planimetria di riferimento.



Esempi di delaminazione – a sx si ha una delaminazione dell'elemento dovuta principalmente ad una scarsa attenzione nella fase di reticolazione dell'adesivo in stabilimento; a dx al contrario la delaminazione è dovuta a tensioni del materiale in opera a causa delle variazioni dell'umidità ambientale (e conseguentemente del materiale legno). Courtesy: assessing the integrity of glued-laminated timber elements - Philipp Dietsch, Thomas Tannert

2.2.1 CONDIZIONI AMBIENTALI E UMIDITÀ DEL LEGNO

È importante riuscire a misurare nell'intorno dell'orditura le condizioni ambientali sia in termini di temperatura che di umidità dell'aria. Infatti, il legno assorbe e cede umidità con l'ambiente cercando l'equilibrio igrometrico secondo il seguente diagramma:

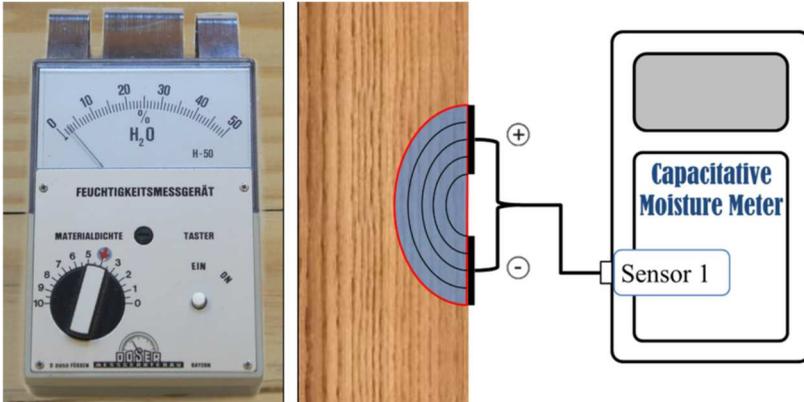


Curve di equilibrio igroscopico e classi di servizio (da CNR DT 206-R1 / 2018)

L'umidità del legno in servizio dovrebbe essere prossima a quella dedotta dal precedente diagramma; qualora in alcune parti della struttura si rilevino livelli di umidità superiori, questo deve essere visto come un campanello di allarme e vanno ricercate le cause (punti di condensa, percolazioni dalla copertura, perdite da impianti, ecc.).

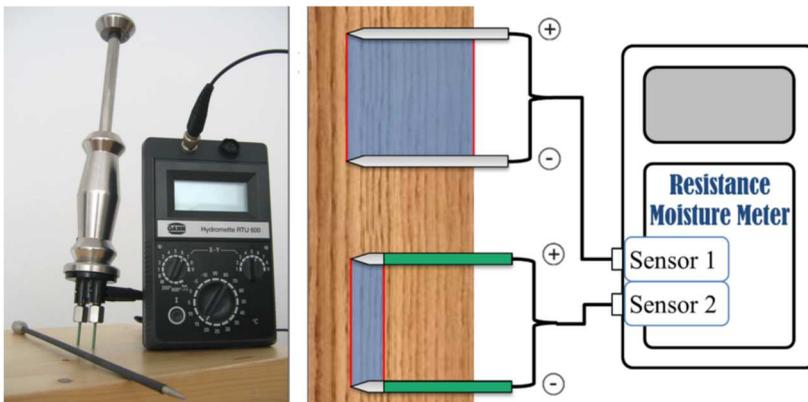
L'umidità del legno può essere stimata secondo varie metodologie di indagine utilizzando strumenti portatili:

- **Metodo capacitivo:** l'apparecchio è in grado di stimare il contenuto di umidità del legno semplicemente appoggiandolo sulla superficie dell'elemento di cui si vuole misurare l'umidità. La metodologia fornisce risultati affidabili solo in prossimità della superficie e non è possibile con la presente tipologia di strumento misurare l'umidità in profondità e definire il gradiente di umidità.



Metodo capacitivo e schematizzazione dell'area di misurazione

- Metodo elettrico:** Il metodo più comunemente impiegato è quello che stima l'umidità del legno attraverso una misura di resistenza elettrica. Poiché l'acqua ha una conduttività molto più alta del legno, la resistenza elettrica diminuisce all'aumentare dell'umidità. In pratica vengono infissi nel legno due elettrodi posti fra loro ad una distanza predefinita e misurata la resistenza elettrica fra i due elettrodi. Qualora si utilizzino elettrodi isolati (ovvero parzialmente coperti da teflon), è possibile altresì misurare l'umidità del legno a varie profondità e definire il gradiente di umidità.



Metodo elettrico e schematizzazione dell'area di misurazione

Box di approfondimento

La stima dell'umidità attraverso l'utilizzo di elettrodi non è consigliabile nelle specie ricche di terpeni, oli o trattate con agenti preservanti. In tal caso è invece consigliabile il "metodo della doppia pesata" (o metodo gravimetrico, da EN 13183-1). Tale metodo richiede l'uso di una stufa ventilata e termostata e di una bilancia tecnica o analitica. La stufa deve essere ventilata per asportare il vapore liberato dal provino, mentre la temperatura è fissata a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ in modo tale che tutta l'acqua si trasformi in vapore senza che vi siano fenomeni di distillazione degli estrattivi o di degradamento termico della parete cellulare. Si tratta del metodo più preciso e utilizzato normalmente in sede di contenzioso.

L'umidità percentuale è determinata con la formula:

$$U\% = [(Peso\ umido - Peso\ anidro) / Peso\ anidro] \times 100$$

dove:

Peso umido = peso del legno al momento in cui se ne vuole determinare l'umidità

Peso anidro = peso del legno anidro, ottenibile dopo permanenza in stufa ventilata a 103°C fino a peso costante.

2.2.2 MAPPATURA DELLE FESSURE DA RITIRO

Il motivo del frequente verificarsi delle fessure da ritiro è da ricercarsi principalmente nei bassi valori di resistenza a trazione perpendicolare alla fibratura (si ricorda che il rapporto tra la resistenza a trazione perpendicolare e parallela può variare da 1/30 a 1/50). Stati di tensione perpendicolare alla fibratura possono essere generati da diversi meccanismi, tra i quali si ricordano:

- Il ritiro ed il rigonfiamento periodico causato da variazioni di umidità ambientali e conseguente equilibrio dinamico del materiale legno;
- Le sollecitazioni esterne, specialmente su elementi "curvilinei".

La mappatura delle fessure è parte sostanziale di ogni attività di diagnosi, ma assume una valenza strategica soprattutto in strutture in legno lamellare di grande luce. Una prima osservazione delle fessure presenti su strutture lignee può essere sicuramente eseguita

nella prima fase del rilievo, all'interno della ispezione tecnologica iniziale, ma è altrettanto fondamentale riuscire a definire la posizione, lunghezza e profondità delle stesse durante l'analisi diagnostica di dettaglio.

In relazione alle fessure medesime è quindi importante andare a rilevare per ciascuna di esse:

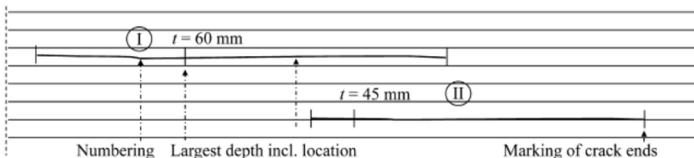
- Posizione, lunghezza, e profondità della stessa;
- Investigare i motivi per cui il legno lamellare manifesti tali stati fessurativi
- Delineare i riflessi della presenza delle fessure sulla sicurezza strutturale dell'elemento

L'approccio più comune nel caratterizzare le fessure da ritiro è quello di utilizzare uno spessimetro e una metro a nastro o pieghevole.



Strumenti di rilevazione delle fessure: spessimetro, metro e lente di ingrandimento munita di fotocamera

La documentazione relativa alla mappatura delle fessure deve essere ben strutturata e leggibile attraverso l'elaborazione di figure esplicative e che descrivono i maggiori dati caratterizzanti le stesse.

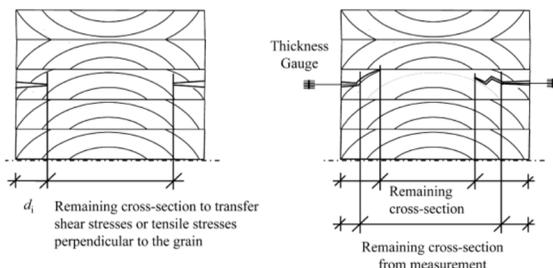


Esempio di mappatura delle fessure su legno lamellare; includendo nel rilievo la numerazione / identificazione, nonché la larghezza e profondità

La mappatura delle fessure, comprensiva della loro lunghezza, e profondità è un fattore da tenere ben in considerazione soprattutto per quegli elementi sottoposti a variazioni del

carico di umidità di ambientale (si vedano quindi strutture poste in classe di servizio 2 e 3 secondo EN 1995 – Eurocodice 5) in quanto gli stati fessurativi possono sicuramente variare a livello dimensionale.

La profondità della stessa fessura deve essere misurata in più punti lungo il suo sviluppo così come meglio illustrato in figura seguente.

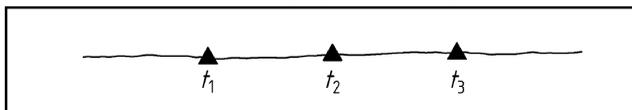


Schematizzazione del monitoraggio e misura della profondità delle fessure con relative difficoltà di definizione della profondità delle stesse qualora la stessa renda non praticabile l'inserimento corretto dello spessimetro

Box di approfondimento

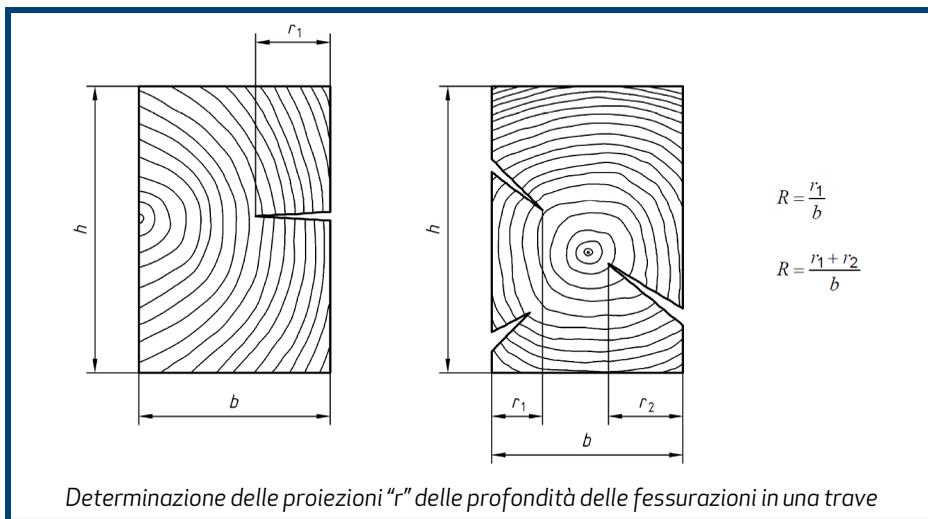
Relativamente la rilevazione e la quantificazione dei punti di misura delle medesime fessure, un utile riferimento normativo è la DIN 4074-1 ("Legno strutturale classificato secondo la resistenza - legname di Conifera").

La stessa norma riporta infatti, per fessure più lunghe di 1 metro o 1/4 della lunghezza dell'elemento, la misura della profondità su 3 punti: a 1/4, a 1/2 e a 3/4.



$$r = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}$$

Il parametro di classificazione si calcola come somma delle profondità "r" (t_1 ; t_2 e t_3 rappresentano le profondità in corrispondenza dei punti situati a 1/4; 1/2 e 3/4) della maggiore fessurazione presente su ciascuno dei due lati verticali della sezione, divisa per la lunghezza della base della sezione secondo lo schema seguente.



2.2.3 METODI ALTERNATIVI E DI APPROFONDIMENTO

Ai fini di un rilevamento delle fessure presenti su strutture (sia di legno massiccio che in legno lamellare), possono essere utilizzate dispositivi ottici, laser o tecniche ecografiche o radiografiche (X-ray).

A livello esperienziale è stato comunque dimostrato che l'utilizzo di laser ottici presenta le stesse criticità dei rilievi manuali in quanto anche attraverso l'utilizzo di tale strumenti l'operatore non riesce a definire la profondità della fessura quanto questa si presenta segmentata all'interno della sezione.

Analisi attraverso i raggi X possono essere un ulteriore strumento per arrivare a delineare lo stato di salute della copertura. Le macchine portatili solitamente in commercio riescono a "riconoscere" stati fessurativi che siano almeno il 2% dello spessore dell'elemento, con la medesima fessura orientata in senso parallelo alla direzione radiale della lamella.

2.3 APPROFONDIMENTI SULL'ADESIVO

Gli adesivi strutturali sono raggruppati in funzione della loro natura chimica e si possono identificare i seguenti e più importanti gruppi:

- mellamino – urea – formaldeide (MUF);
- resine poliuretaniche e isocianatici;
- adesivi a base di sostanze organiche di derivazione alimentare.

In relazione ad eventuali approfondimenti sull'adesivo, è fondamentale rintracciare la documentazione accompagnatoria al materiale. In tale documentazione, e con particolare riferimento alla dichiarazione di prestazione, è possibile avere notizie sul tipo di adesivo, sulla classe di resistenza delle lamelle utilizzate, nonché ottenere dei riferimenti circa i metodi e le prove distruttive effettuate all'interno dello stabilimento di produzione ai fini di garantire l'adeguata tenuta della linea di colla e resistenza del finger joint.

Box di approfondimento

La determinazione dell'adesivo utilizzato nella produzione di elementi incollati è importante soprattutto laddove si abbiano condizioni severe di variazione dell'umidità ambientale (in riferimento quindi a classi di servizio 2 e 3 secondo EN 1995-1-1).

Gli adesivi di Tipo I sono applicabili in tutte le classi di servizio (1, 2, 3) mentre gli adesivi di Tipo II sono applicabili solo nelle classi di servizio 1 e 2. Inoltre, è bene precisare che adesivi urea-formaldeide sono applicabili solo in classe di servizio 1 (oggi, infatti, sono sostituiti di fatto da adesivi melammina – urea – formaldeide). La tipologia di adesivo, qualora la documentazione fosse carente o qualora effettivamente sorgessero dubbi circa la rispondenza della stessa, è possibile verificarla solo attraverso specifiche prove di laboratorio.

Nel caso di adesivi di natura resorcinica la loro identificazione può avvenire agevolmente anche da caratteristiche estetiche quale in primis la loro colorazione scura, nonché il tipico odore a seguito di un'incisione sulla superficie. Allo stesso modo è spesso un indicatore il colore bianco per gli adesivi MUF.

Inoltre, la data di realizzazione (ovvero di produzione) della struttura in legno può essere un indicatore della tipologia di adesivo. Infatti, le colle melamminiche hanno trovato un impiego industriale a partire dal 1975.

Qualora non fosse disponibile nessuna documentazione accompagnatoria o l'ispezione visiva non fornisse risultati apprezzabili, diviene necessario definire una campagna prove in laboratorio per poter avere certezze sulla tipologia di adesivo utilizzato.



Box di approfondimento

Una prima indicazione circa la tipologia di adesivo utilizzato per la produzione di legno "ingegnerizzato" può essere dato attraverso una prova ad ebollizione condotta sulla base della norma EN 314-1 o in alternativa dalla più recente norma EN 302. Il campione prelevato dall'orditura oggetto di diagnosi (per lo più a forma di carota) è esposto a cicli di acqua bollente (6 ore) e acqua fredda (2 ore). I campioni caratterizzati dalla presenza di un adesivo a base di urea formaldeide a seguito di tale trattamento presenteranno una linea che tende a sfaldarsi, visto la scarsa attitudine del materiale a resistere ai carichi di umidità sopra descritti. Al contrario campioni caratterizzati da colla a base di melammina formaldeide dovrebbero offrire una maggior resistenza e comunque non presentare lo stesso grado di degrado descritto per gli adesivi urea-formaldeide. I test sopra descritti sono sicuramente direttamente correlati all'esperienza dell'operatore; al contrario un'analisi più accurata sicuramente è possibile ottenerla attraverso l'utilizzo dello spettrofotometro.

2.3.1 PRELIEVO DI CAMPIONI E TEST A TAGLIO

Durante l'ispezione è possibile programmare il prelievo di campioni da strutture in legno lamellare (ma anche in CLT) per l'esecuzione di prove a taglio.

La modalità di prelievo dei campioni è di fondamentale importanza ai fini di ottenere una buona lettura dell'effettiva tenuta della linea di colla: infatti, in questo caso la linea di colla deve essere posizionata centralmente rispetto al provino e perpendicolare all'asse di perforazione.

La strumentazione per questa operazione di prelievo dei campioni può essere anche molto semplice e normalmente si compone di un trapano strumentato per avere dei campioni a forma circolare, come meglio illustrato nella figura seguente.

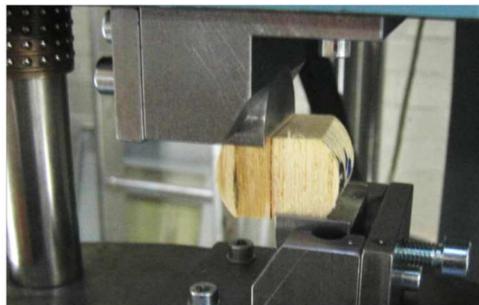
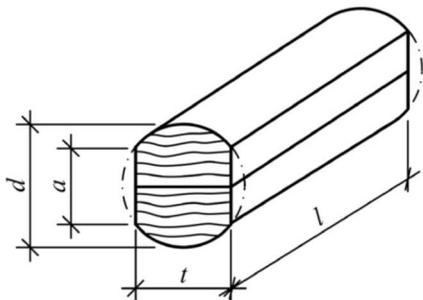


Prelievo di legno lamellare per l'esecuzione di una prova a taglio lungo la linea di colla

È consigliato il prelievo di tali campioni in zone non soggette a particolari sollecitazioni. Il campione deve avere come dimensioni 35 mm di diametro e fino a 120 mm di lunghezza.

I vuoti lasciati dalla perforazione devono essere opportunamente 'tappati' per ripristinare la continuità e il trasferimento delle medesime sollecitazioni, che per aspetti estetici ma anche per evitare che gli stessi fori sia poi innesco di attacchi biotici a carico di insetti.

I campioni devono poi essere identificati e resi riconducibili all'elemento da cui sono stati prelevati, e riportare utili informazioni quali data e naturalmente cantiere di riferimento. Anche il loro trasporto è importante in quanto deve essere assicurato un ambiente che non li esponga a salti di umidità troppo spinti che già di per sé possono indebolire (ancor prima di condurre il test) la stessa linea di colla; a tal fine è sufficiente inserirli in contenitori ermetici e mantenerli lontani da fonti di calore. Oltre alla prova a taglio, è possibile poter stimare l'umidità nonché la relativa massa volumica sui medesimi campioni.



Esecuzione di una prova a taglio lungo la linea di colla

In relazione poi alla prova di taglio (e prima dell'esecuzione della stessa) devono essere definite con precisione le dimensioni e geometria del campione, soprattutto in relazione al piano taglio.

2.4 VALUTAZIONE DEI RISULTATI DELLA DIAGNOSI

Gli obiettivi principali della valutazione diagnostica sono:

- verificare che l'opera sia realizzata rispettando le caratteristiche prestazionali e costruttive definite all'interno del progetto;
- valutare lo stato di conservazione, individuando gli agenti del degrado e stimando l'evoluzione dello stesso.

A tal proposito si sottolinea come non vi sia un approccio universalmente riconosciuto per la definizione dell'attività di diagnosi su elementi incollati; bensì il singolo tecnico, sia sulla base della sua esperienza che dei riferimenti normativi applicabili deve, a seguito della ispezione preliminare, programmare un set up di investigazioni che possano dare al committente la definizione di uno status di conservazione e il relativo stato di danno.

In ultimo e ai fini di produrre una relazione di diagnosi completa e ben comprensibile, è senza dubbio utile produrre una corposa documentazione fotografica; all'interno delle didascalie di tali foto è indispensabile riportare una accurata descrizione dell'elemento oggetto di attenzione e indicare altresì con accuratezza la posizione della porzione fotografata sia in pianta dell'opera che sull'elemento oggetto di diagnosi.

2.4.1 VALUTAZIONE DELLE CONDIZIONI AMBIENTALI DI CONTORNO

Durante la fase di diagnosi è sempre bene monitorare, anche con strumenti semplici ma dotati di sistema di registrazione dei dati, le condizioni ambientali. Il limite, comunque, di tali misure è che si riferiscono ad un intervallo temporale generalmente breve e non tengono in considerazione la variabilità delle condizioni legate alla stagionalità annuale.

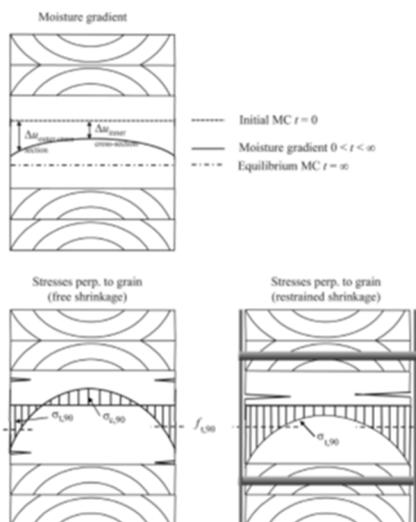
Tale attività di monitoraggio ambientale è senz'altro utile affiancarla ad un monitoraggio dell'umidità degli elementi che costituiscono l'opera. A titolo di completezza si ricorda che le proprietà meccaniche (e fisiche) del materiale legno sono direttamente influenzate dal

contenuto di umidità degli stessi; inoltre, sopra il 20% di umidità del legno si possono instaurare fenomeni di degrado soprattutto di natura fungina.

Un altro effetto della variazione di umidità dell'elemento conseguente a variazioni di umidità ambientale sono i ritiri e rigonfiamenti del materiale con relative e possibili deformazioni.

Fenomeni di ritiro-rigonfiamento sono senza dubbio più evidenti nelle direzioni radiali e tangenziali. Allo stesso tempo le lamelle più esterne saranno le prime a equilibrarsi con le variate condizioni ambientali generando di fatto un gradiente di umidità sull'elemento considerato e provocando così tensioni interne lungo la sezione trasversale dell'elemento.

Sebbene tali tensioni interne tendano a ridursi con il tempo (qualora naturalmente le condizioni di umidità al contorno si rendano costanti), queste molte volte si scaricano attraverso la formazione di fessure che compariranno all'interno della sezione trasversale, così come meglio illustrato nella figura seguente.



Condizioni ambientali e variazioni di umidità: Possibile apertura di fessure qualora la trave sia libera di ritirarsi (a sx) e costretta trasversalmente a non ritirarsi (a dx)

Le variazioni di umidità sono direttamente correlabili al tipo di destinazione dell'edificio (ambiente) e dalle escursioni che possono verificarsi nella stagionalità; tuttavia, talvolta

possono verificarsi situazioni anomale di umidità del materiale legno derivanti condizioni locali di contorno (quali ad esempio una perdita di acqua per infiltrazione

In questo frangente può essere utile suddividere:

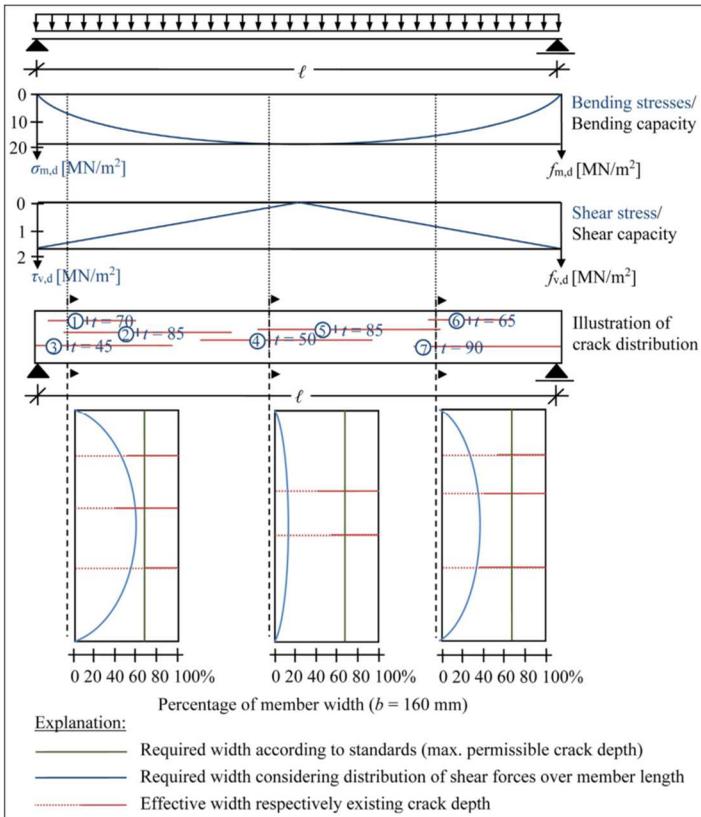
- Variazioni di umidità in relazione alle condizioni di produzione, trasporto e posa in opera dell'elemento fino alla messa in servizio dell'edificio.
- Variazioni di umidità dovute a condizioni ambientali severe (stagionalità) durante la vita in servizio dell'edificio (es. in edifici scarsamente isolati, come i magazzini).
- Variazioni di umidità dovute a fasi ambientali transitorie durante il corso della vita dell'edificio (es. ristrutturazioni)

A prescindere dalla schematizzazione sopra riportata (utile, ma non sempre esaustiva) è importante per il soggetto che esegue la diagnosi saper collegare la causa dell'insorgere delle variazioni di umidità nel legno alle cause che hanno portato a tali fenomeni al fine di porre un adeguato rimedio.

2.4.2 CONSEQUENZE DELLE FESSURE

Al fine di valutare l'influenza di una fessura è importante conoscerne le caratteristiche (quali lunghezza e profondità) nonché la posizione della stessa entro l'elemento sulla quale compare. Tale analisi deve includere la conoscenza del sistema strutturale di riferimento, le condizioni ambientali di contorno e (sulla base di queste) la possibile evoluzione delle medesime fessure; ad esempio, se il legno è stato installato da poco ed ha umidità molto diversa da quella di equilibrio con l'ambiente in cui si trova, c'è da aspettarsi una evoluzione del quadro fessurativo.

La definizione delle dimensioni della fessura è inoltre direttamente correlabile con quella che possiamo definire sezione residua dell'elemento nei confronti della sollecitazione di taglio: a tal riguardo, di particolare interesse è la profondità della stessa in quanto è la principale caratteristica che influenza il comportamento a taglio dell'elemento in legno.



Mappatura delle fessure e analisi dello schema strutturale che interessa l'elemento

Quindi in relazione agli aspetti di diagnosi e mappatura delle fessure, si consiglia un approccio come meglio specificato di seguito:

- **Fase di rilievo in situ:** in questa parte del lavoro del diagnosta, la definizione delle fessure significative da un punto di vista delle prestazioni meccaniche può essere data dall'applicazione della DIN 4074-1. In questo caso si prenderanno quindi in considerazione le fessure più lunghe di 1 m o di 1/4 la lunghezza dell'elemento. Su tali stati fessurativi si prenderà in esame la profondità media presente in accordo a quanto descritto all'interno del box di approfondimento a pag. 29-30 del presente Quaderno Tecnico.

- **Fase di verifica della sezione efficace:** mappate le fessure (in riferimento ai criteri di verifica definiti sopra) il diagnosta insieme allo strutturista dovranno definire se la base osservata in sede di rilievo di campagna è effettivamente sufficiente a garantire i criteri minimi di sicurezza attraverso l'applicazione della base efficace rilevata dell'elemento.

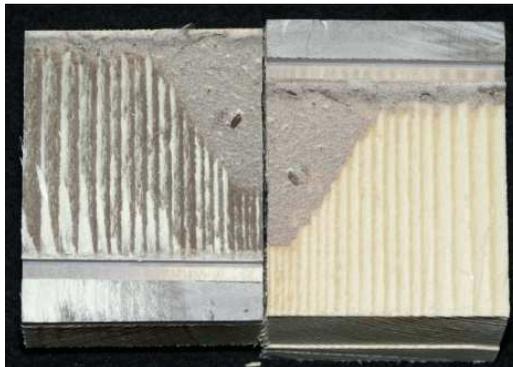
2.5 RISULTATI DELLE PROVE A TAGLIO SUI PROVINI CAMPIONATI

Oltre a definire la resistenza a taglio, dopo ogni test è importante osservare le modalità di rottura e definire la percentuale di questa che si verifica sulla superficie legnosa. Tale dato è un ottimo indice circa la qualità dell'incollaggio.

| | Media | | | Valori singoli | | |
|--|-------|----|---------------|------------------|----|---------------|
| Resistenza a taglio f_v in N/mm ² | 6 | 8 | $f_v \geq 11$ | $4 \leq f_v < 6$ | 6 | $f_v \geq 10$ |
| % minima di rottura sul legno | 90 | 72 | 45 | 100 | 74 | 20 |

Tab. 4 - Valori di accettazione per prove di rottura a taglio (EN 14080:2013 - semplificata)

Nella foto seguente è riportato un esempio di rottura a seguito di prova a taglio dove si può evincere facilmente che la maggior parte dell'area a seguito del test sopra indicato, è rappresentata da tessuto legnoso e quindi in linea con quanto indicato dalla UNI EN 14080. A titolo di completezza di informazioni si precisa che al contrario in alto a destra (della medesima foto sotto riportata la rottura ha interessato l'interfaccia "adesivo-adesivo").



Esempio con rottura coesiva nel legno. Solo una piccola zona manifesta rottura sull'adesivo

2.6 CONCLUSIONI

Le prestazioni di elementi in legno lamellare dipendono essenzialmente da tre fattori:

- Classificazione delle tavole che compongono la sezione
- Caratteristiche e performance del finger joint
- Caratteristiche e performance delle linee di colla tra lamelle

Si precisa che nel presente Quaderno Tecnico è descritta una procedura generica che il diagnosta deve sapere declinare in termini di approfondimento (e di conoscenza di base) alla situazione entro cui si trova ad applicarla.

Box di approfondimento

Cenni: attività di diagnosi - Edifici in legno e il Degrado biotico

Di seguito non si vuol ripercorrere le varie specie di insetti o funghi che danneggiano il materiale legnoso (consultabili in altre pubblicazioni di Assolegno, si veda ad es. "Guida Pratica alla Durabilità" e "Durabilità e Manutenzione delle strutture in legno"), ma si vogliono riportare delle semplici indicazioni su come andare ad investigare le variazioni di umidità lungo le parti di legno non visibili (in altre parole quelli contenuti all'interno di intercapedini in strutture opache verticali, orizzontali e inclinati). Tali variazioni verso l'alto dell'umidità (quando questo supera il valore del 20%) è la causa principale di un avvio di un'azione di degrado da parte di agenti biotici, in primis funghi.



Fessurazione del cappotto e distacco dall'infisso, chiaro segno di infiltrazione

Se gli elementi portanti di legno sono totalmente nascosti alla vista ne consegue che i punti a maggior rischio di degrado siano quelli:

- in cui affiorano chiaramente dei problemi (ad es. efflorescenze sulle finiture);
- considerati a rischio a livello progettuale o esecutivo (ad es. coperture piane);

Nel primo caso, ossia quando l'operatore denota il problema esternamente, molte volte il materiale legnoso entro lo stesso pacchetto costruttivo risulta compromesso.



Muffa sul cartongesso in una intercapedine impianti e legno al di sotto del cartongesso

Nel caso vi siano dei dubbi circa il comportamento dell'edificio e si denotino anomalie (ad es. porte che non si chiudono o solai che presentino un importante abbassamento in corso dell'esercizio), diviene quindi necessario definire una mappatura dell'umidità almeno per le pareti perimetrali (andando nell'eventualità ad approfondire la questione anche per i tramezzi all'interno dell'edificio).

Contrariamente alla diagnosi di strutture di copertura dove il diagnosta procede per ordine nella valutazione degli elementi legnosi partendo dall'orditura primaria per poi spostare l'attenzione su quella secondaria, nel caso di elementi in CLT o a telaio questi tutti devono essere considerati quali "portanti" (in particolar modo quelli verticali su cui poggiano i solai).

Quando ci si appresta ad una attività di diagnosi su un edificio in legno, i passi da compiere possono essere comunque riepilogati come di seguito:

1. overview generale dello stato di "salute" dell'edificio, mappando tutti i possibili segni di anomalie nel comportamento dell'edificio ed eventualmente segni di attacco di insetti o funghi;
2. mappare l'umidità dei setti;
3. valutare la sezione residua dei setti legnosi;
4. definire eventuali tecniche di consolidamento.

In relazione ai termini di mappatura dell'umidità è possibile procedere con l'utilizzo di igrometri resistivi con chiodi isolati, sufficientemente lunghi, in modo da raggiungere la struttura portante in legno e definirne il contenuto di umidità.



Misura di umidità su di una parete in legno con elettrodi lunghi e isolati che attraversano il cappotto

L'insieme delle misurazioni fatte, in corrispondenza principalmente all'analisi generale di cui il punto 1 del presente, forniranno al diagnosta utili informazioni per i successivi step per la stima della sezione residua del setto e per la messa in sicurezza della struttura.



b)



Sono in corso di sviluppo tecniche X-ray per la definizione delle zone ammalorate che si basano sulle misure di densità del materiale legno e coinvolgono l'umidità degli stessi setti oggetto di attenzione

Eventualmente e in riferimento alle strutture a telaio può essere utile far seguire la misura dell'umidità ad una verifica endoscopica del campo di interesse.

Su quelle porzioni di struttura che sono caratterizzate da un'umidità superiore al 18 /20% sarà quindi necessario asportare i materiali da rivestimento nonché eventuali pacchetti isolanti per poi definire una campagna resistografica per la definizione della sezione residua.

I risultati dell'indagine diagnostica andranno poi restituiti in forma tabellare e grafica al fine di predisporre se necessari interventi di consolidamento.

3. INTERVENTI SU EDIFICI IN LEGNO

3 INTERVENTI SU EDIFICI IN LEGNO

Le strutture di legno sono formate dall'assemblaggio a secco di vari elementi; in linea teorica quindi ciascun elemento, se non più efficiente, potrebbe essere sostituito con relativa facilità essendo generalmente fissato agli altri elementi per mezzo di ferramenta più o meno smontabile.

Tante strutture di legno antiche (principalmente coperture e solai) hanno superato diversi secoli e sono arrivate ai giorni nostri subendo nel tempo la sostituzione, più o meno massiccia, di elementi degradati o comunque non più efficienti.

Negli edifici realizzati interamente con strutture di legno (pareti e solai), le strutture sono generalmente coperte (parzialmente o totalmente) dalle finiture (cappotti, cartongessi, pavimenti, controsoffitti, rivestimenti, ecc.); questo può essere una grossa complicazione in quanto, per operare la sostituzione o la riparazione della struttura, è necessario demolire (almeno in parte) le finiture; inoltre, la presenza degli impianti all'interno delle finiture è una ulteriore grossa complicazione.

Ogni intervento di riparazione deve necessariamente essere preceduto dall'analisi delle cause del degrado (eccessi di umidità a causa di percolazioni, insufficienti protezioni, trappole di umidità, zone di condensa, ecc.), dalla diagnosi della struttura e dalla completa eliminazione delle cause del degrado.

In presenza di degrado da carie, per arrestare il fenomeno, è sufficiente riportare le condizioni di umidità al disotto del 20%, non è necessario rimuovere la parte degradata a meno che questa non interferisca con le opere di riparazione.

Non esistono materiali che, applicati al legno degradato da funghi della carie, ripristinano le proprietà meccaniche; pertanto, risulta sempre necessario sostituire gli elementi degradati o parte di essi e/o aggiungere elementi di rinforzo.

In ogni caso, sia nella fase di valutazione preliminare che nella valutazione diagnostica è sempre richiesto un approccio olistico, che consideri e valuti la struttura nel suo insieme, e non solo le singole membrature e i nodi strutturali. Diviene fondamentale, tanto nelle prime fasi quanto nei successivi step di lavoro, incentivare il confronto fra i professionisti (strutturista, direzione lavori, tecnologo del legno...) per capire il funzionamento e la composizione di una determinata opera di ingegneria.

3.1 INTERVENTI AL PIEDE DELL'EDIFICIO

È noto che la mancanza di uno zoccolo di calcestruzzo o di muratura alla base delle pareti del piano terra che porti il legno ad un livello superiore rispetto ai pavimenti finiti, può portare ad accumulo di umidità che a sua volta può innescare fenomeni di marcescenza a carico di (principalmente) funghi.



Base di una parete CLT marcita nella zona al di sotto dei pavimenti piano terra; nella foto a sinistra l'attacco interessa sia il cordolo di larice che la base del pannello CLT di abete

In generale risulta necessario migliorare il dettaglio costruttivo; è da prevedere la sostituzione della parte basale con un materiale non suscettibile di degrado a causa dell'umidità come il calcestruzzo o la muratura o l'acciaio COR-TEN; nel caso di utilizzo di calcestruzzo o muratura è necessario rivestire l'estradosso di tale cordolo con una guaina contro la risalita capillare.

3.1.1 PUNTELLAZIONE

La puntellazione è una operazione propedeutica all'intervento alla base e necessaria visti gli ingenti carichi in gioco; in prima approssimazione un edificio per civili abitazioni scarica al piede circa 3 tonnellate a metro lineare in pianta di parete per ogni piano, tale carico è ulteriormente incrementato in adiacenza alle aperture. Ad esempio, le pareti di base di una palazzina a struttura di legno di tre piani portano alla fondazione almeno $3 \times 3 = 9$ tonnellate a metro lineare.

Risulta necessario puntellare i solai, almeno in corrispondenza delle travi principali e le pareti in corrispondenza delle aperture, tali puntellazioni devono essere attive, ovvero

dotate di martinetti in grado di prendere carico e scaricare completamente la struttura prima di eseguire gli interventi di rimozione.



Smontaggio degli infissi, puntellazione di forza della struttura mediante martinetti idraulici su pilastri di acciaio e puntellazione di sicurezza mediante puntelli regolabili

3.1.2 RICOSTRUZIONE DELLA BASE DELLE PARETI CLT E LOG-HOUSE

Si procede dapprima alla realizzazione di nicchie per l'alloggiamento di martinetti ed alla loro messa in carico; sulla testa dei martinetti devono essere predisposte delle apposite piastre di acciaio di ripartizione. La base della parete risulta correttamente scaricata quando compare un distacco, seppur capillare, dalla fondazione.



Intervento su Log-House. Inserimento di martinetti idraulici in apposite nicchie ricavate alla base della parete; i martinetti verranno poi rimossi e recuperati previo affiancamento con basette regolabili a perdere



Intervento su CLT. In questo caso si agisce su di una parete poco caricata, non è risultato necessario utilizzare i martinetti ma è stato sufficiente forzare fin dall'inizio con i puntelli regolabili a perdere

Si procede al taglio ed asportazione della parte basale, si applica una guaina adesiva alla base del legno, si inseriscono e si mettono in forza dei puntelli regolabili a perdere in adiacenza ai martinetti per la successiva rimozione e recupero di questi.

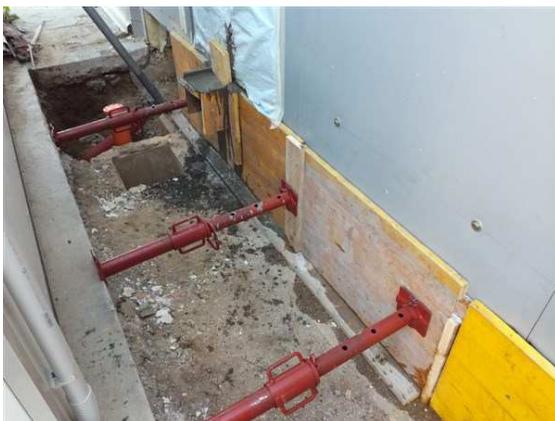
Gli ancoraggi a taglio fra parete e nuovo cordolo di calcestruzzo possono essere realizzati con viti parzialmente infisse nel legno. Il nuovo cordolo di calcestruzzo potrà essere fissato alla fondazione per mezzo di apposite perforazioni armate.



Basette regolabili a perdere; guaina adesiva alla base della parete; viti di collegamento fra il nuovo cordolo e la parete in legno; perforazioni armate di collegamento fra la fondazione ed il nuovo cordolo; armatura di confezionamento nuovo cordolo

Le gabbie di armatura del nuovo cordolo di calcestruzzo possono essere realizzate ed inserite a tratti fra un puntello regolabile e l'altro, non essendo necessaria la continuità delle armature del cordolo.

Il calcestruzzo da utilizzare per la costruzione del nuovo cordolo di base deve essere sufficientemente fluido ed additivato con antiritiro in modo da permettere la completa saturazione ed il contatto con la parte basale del legno.



Il getto può essere eseguito attraverso finestre a tramoggia nel cassero; deve essere opportunamente vibrato per eliminare eventuali vuoti

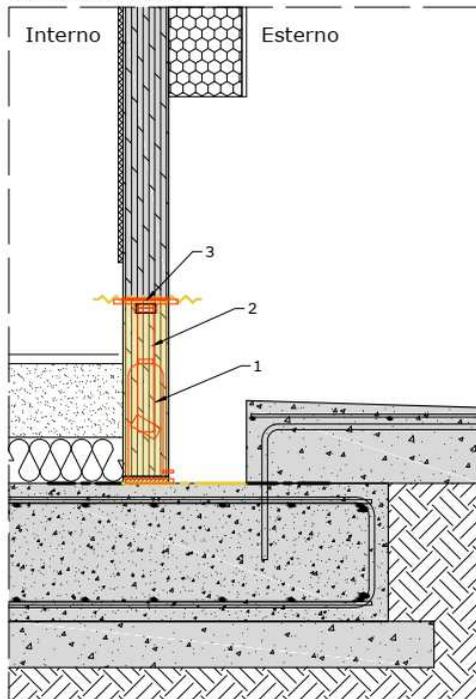


Il nuovo cordolo di calcestruzzo deve poi essere conformato in modo che il calcestruzzo non risalga sulla parete e non faccia quindi da bicchiere

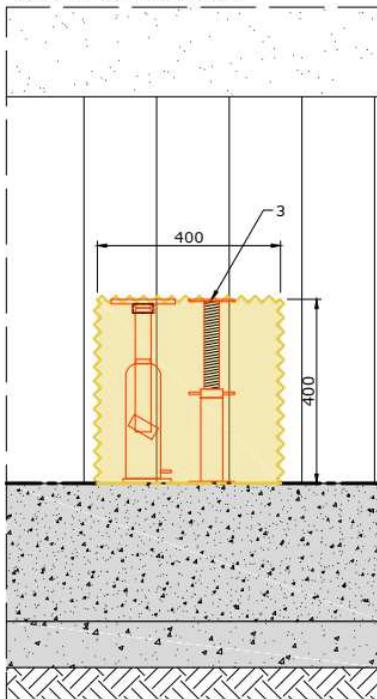
Box di approfondimento

Step di lavoro per sistemi CLT e Log-house

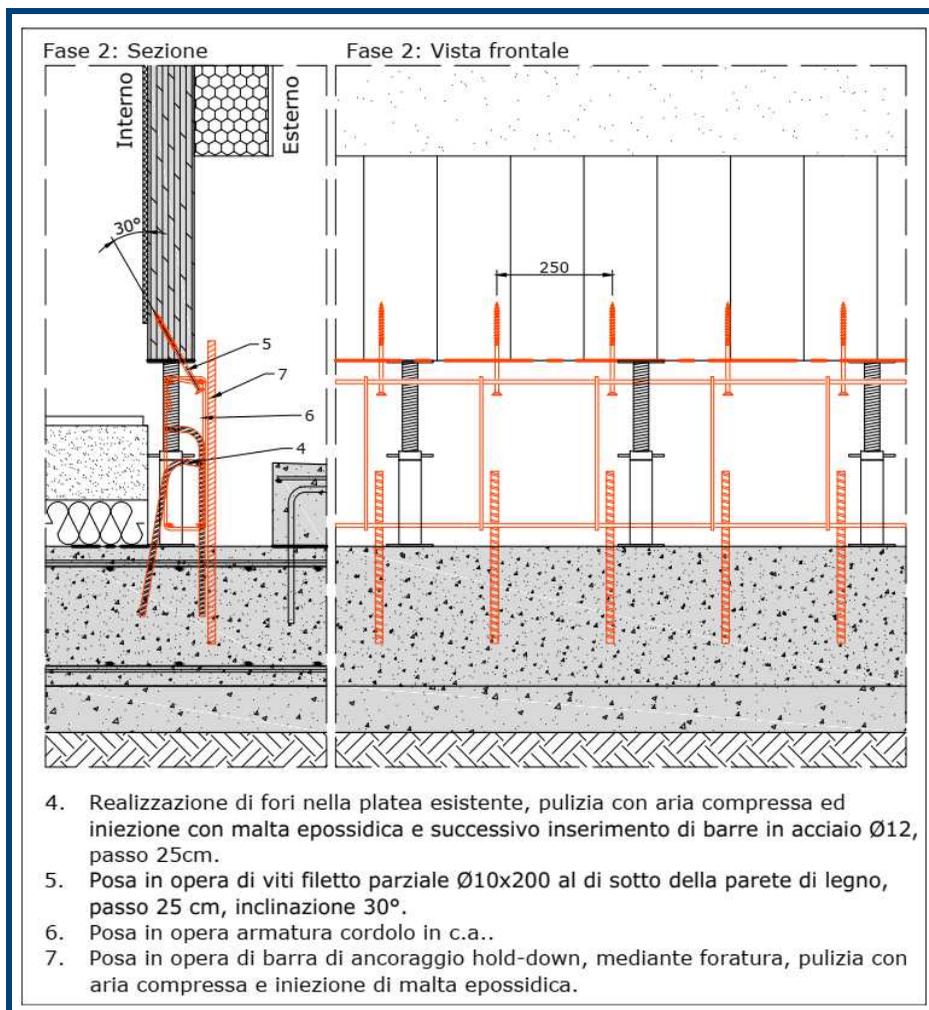
Fase 1: Sezione



Fase 1: Vista frontale



1. Apertura delle nicchie alla base della parete in legno, una ogni metro circa.
2. Applicazione di guaina adesiva alla base della parete nella nicchia e puntellazione con martinetti idraulici da minimo 10 tonnellate.
3. inserimento di puntelli regolabili a perdere e recupero martinetti, demolizione della base della parete fra una nicchia e l'altra.



3.1.3 RICOSTRUZIONE DELLA BASE DELLE PARETI PLATFORM-FRAME

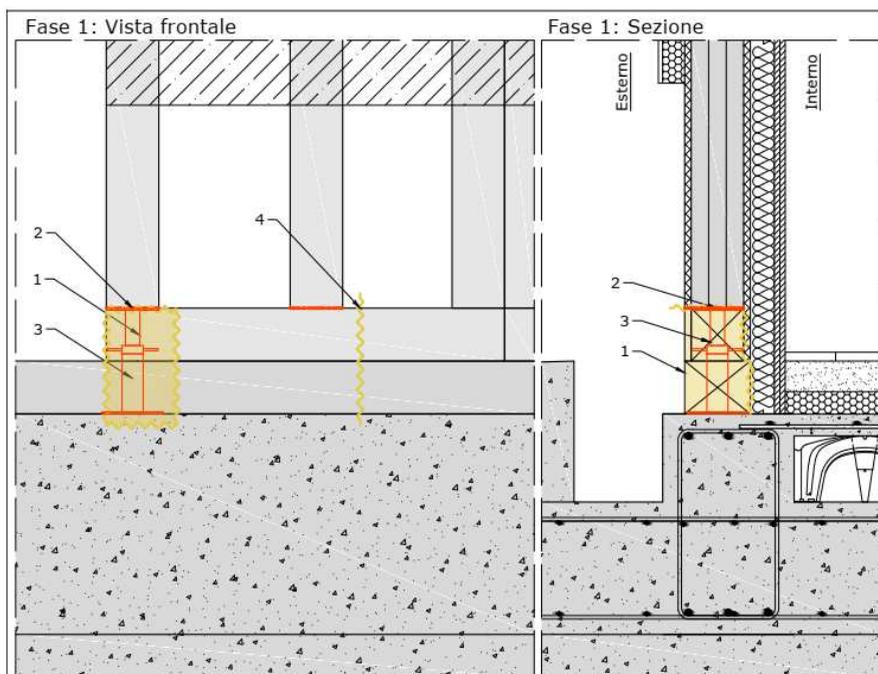
Nel caso delle pareti Platform-Frame la tecnica esposta al paragrafo precedente resta valida ma con alcune variazioni perché in questo caso i carichi verticali si scaricano sulla fondazione solo attraverso i montanti e non c'è spazio per inserire sia il martinetto che la

basetta regolabile a perdere nella larghezza del montante; pertanto, bisogna rinunciare alla forzatura con martinetto nelle nicchie ricavata alla base delle pareti.

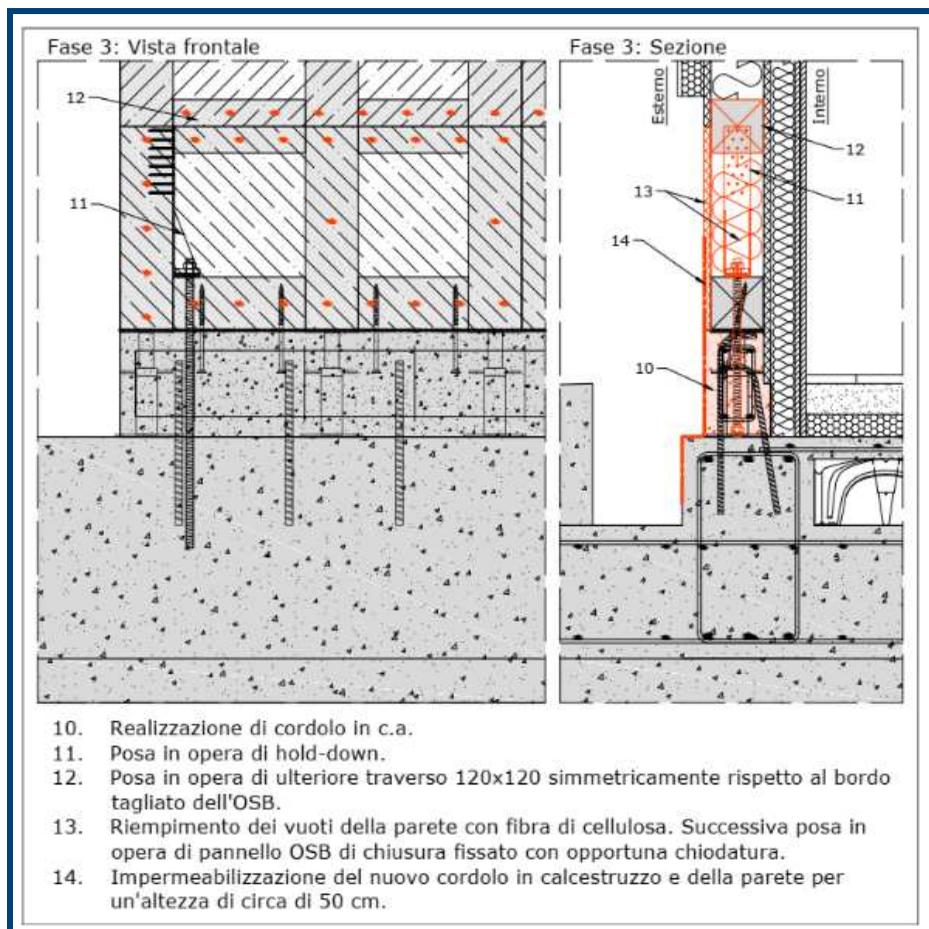
Risulta quindi necessario eseguire la puntellazione di forza in corrispondenza delle porte e finestre ed in adiacenza degli appoggi delle travi dei solai; la puntellazione nelle nicchie potrà essere eseguita solo con i puntelli regolabili.

Box di approfondimento

Step di lavoro per sistemi CLT e Log-house



1. Taglio della parete in legno in corrispondenza del solo primo montante.
2. Applicazione di guaina adesiva alla base del montante.
3. Inserimento di basetta regolabile a vite a perdere sotto al montante e messa in carico.
4. Taglio della base della parete di legno fino al montante successivo e ripetere fase 2-3.



3.1.4 RICOSTRUZIONI LOCALI

La tecnica di seguito esposta può essere utilizzata, previa puntellazione, su parti di pareti CLT o legno lamellare sollecitati solo a compressione e controventati contro l'instabilità, come ad esempio piccole porzioni di pareti o pilastri d'angolo in adiacenza a pareti; infatti, la tecnica ripristina la capacità portante a compressione ma non a flessione.



Dapprima si elimina la parte degradata realizzando una nicchia squadrata ed a superfici piane; si preparano le tavole per la realizzazione della protesi avendo cura di provarle prima nella nicchia e poi riporle rispettando l'ordine di montaggio; ciascuno strato viene incollato con malta epossidica e schiacciato per mezzo di viti orizzontali in modo da schiacciare le tavole sul legno esistente e fra loro

Le lavorazioni devono essere abbastanza precise in modo tale che i letti di colla risultino il più sottili possibile, al massimo 3 mm.

Bisogna avere cura di saturare accuratamente con la malta le zone di contatto di testa fra le nuove tavole ed il legno esistente al fine di trasferire correttamente tutti gli sforzi di compressione.

Gli incollaggi devono essere eseguiti con malta epossidica a consistenza tixotropica (cioè gelatinosa) mentre non possono essere usate resine epossidiche pure (liquide).

Il legno, sia quello esistente che quello di nuovo apporto, all'atto dell'incollaggio deve avere umidità inferiore al 18%, altrimenti non è garantita la prestazione dell'incollaggio.



Intervento su di una parete CLT sottofinestra; la rimozione delle parti degradate avviene per l'intero spessore di ciascuno strato, lasciando i contorni scalettati. La ricostruzione sarà eseguita utilizzando tavole dello stesso spessore dello strato rispettando la direzione della fibratura di ciascuno strato

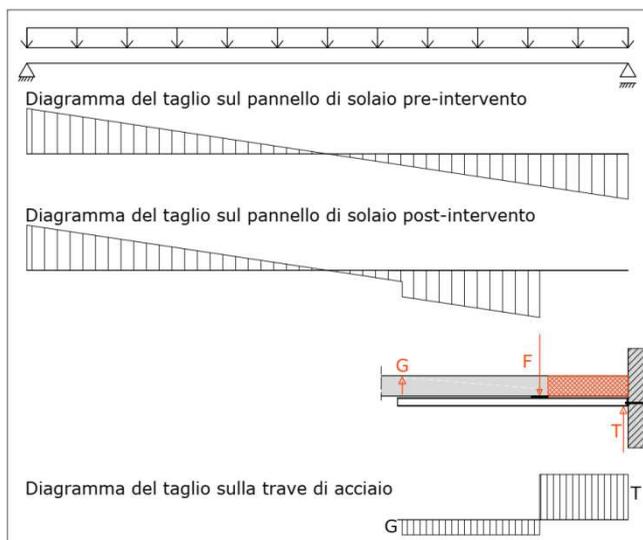
3.2 INTERVENTI SUI SOLAI

I solai degradati possono essere sostituiti, in tal caso è da prevedere la demolizione completa di finiture e impianti; oppure possono essere sostenuti da nuovi elementi di legno o di acciaio posti all'intradosso senza necessità di demolire le finiture superiori, purché ci sia spazio all'intradosso nell'intercapedine delle finiture oppure sia tollerato di lasciare a vista i nuovi elementi.

3.2.1 SOLAIO DEGRADATO NELLA ZONA DI APPOGGIO

Nel caso di seguito esposto la struttura del solaio in CLT risultava degradata in adiacenza ad un appoggio ad un muro di calcestruzzo; restava quindi una porzione di solaio ancora sana alla quale potersi ancorare efficacemente. Visto il degrado limitato, si è ritenuto possibile intervenire solo dal basso evitando di rimuovere le finiture estradossali.

Si è riusciti a contenere i nuovi elementi di rinforzo all'interno dell'intercapedine della finitura intradossale.



Schema di calcolo dell'intervento. Con semplici considerazioni di equilibrio è possibile determinare le forze in gioco. G è il carico di trazione sul gruppo di viti poste dal lato opposto all'appoggio



Marcescenza del solaio solo sulla parte terminale A-B. Il solaio prosegue alla sinistra del punto C essendo la parete adiacente non strutturale. Profilati IPE fissati con viti tutto filetto. I profilati IPE vengono dapprima fissati al muro nel punto A e spessorati nel punto B. Il profilato nel punto C risulta quindi distanziato dal solaio; in tale punto il profilato viene fissato e serrato al solaio con viti verticali in modo tale da mettere subito in carico l'intervento

3.3 INTERVENTI SUI BALCONI

Di seguito si riportano esempi in funzione dello stato di degrado dei balconi.

3.3.1 DEGRADO PARZIALE DELLO SBALZO - 1

Nel caso di seguito esposto la struttura del balcone risultava degradata non per tutta la luce dello sbalzo ma solo per una porzione, restava quindi una porzione di sbalzo ancora sana alla quale potersi ancorare efficacemente. Inoltre è stato possibile rimuovere completamente le finiture sia all'intradosso che all'estradosso.



Vista dal basso a struttura ripristinata.

Legenda:

X: CLT sano dopo aver asportato la parte terminale degradata.

T: Nuovi travetti in legno lamellare.

C: Fra la testa dei nuovi travetti e la testa del pannello CLT è inserito uno strato di malta epossidica al fine di assorbire i difetti di planarità e assicurare il contatto continuo.

P: Pannello multistrato estradosso a cavallo fra il CLT ed i travetti per riprendere la trazione dovuta alla flessione, fissato all'estradosso con viti inclinate.

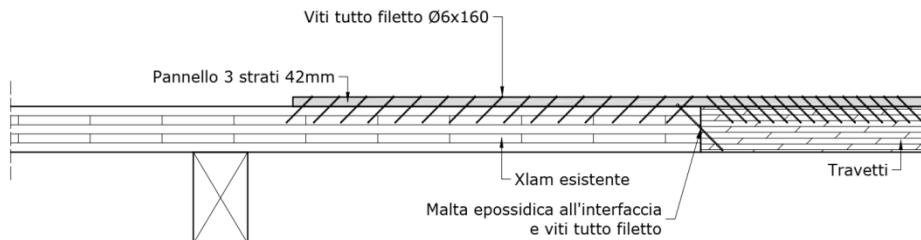
D: Pannello di chiusura di testa che funge anche da irrigidimento in quanto collega le estremità dei nuovi travetti.



Dopo aver eliminato la parte degradata si procede a ricostruirla ponendo in opera dei monconi di travi lamellari. A destra il fissaggio a taglio fra CLT e nuovi travetti con viti tutto filetto inclinate



Fissaggio del pannello multistrato estradossale a cavallo fra CLT e travetti, si utilizzano viti a inclinazione contrapposta sui travetti e sul pannello CLT



Sezione trasversale

3.3.2 DEGRADO PARZIALE DELLO SBALZO - 2

In questo caso la struttura del balcone risultava degradata non per tutta la luce dello sbalzo ma solo per una porzione, restava quindi una porzione di sbalzo ancora sana alla quale potersi ancorare efficacemente. Visto il degrado limitato, si è ritenuto possibile intervenire solo dal basso evitando di rimuovere le finiture estradosali.

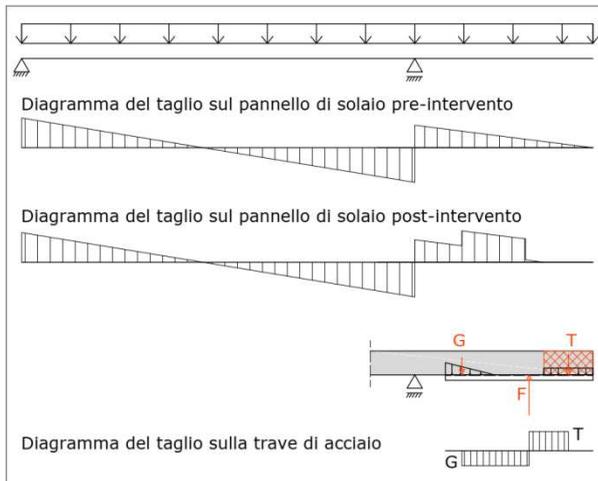


Marcescenza del balcone solo sulla parte terminale

È stato possibile ricostruire la parte degradata e sostenerla con delle travi di acciaio poste all'intradosso; l'ancoraggio delle travi alla parte sana del pannello CLT è fatta con viti.



Profilati ad U fissati con viti verticali. La ricostruzione in testa è fatta con tavole di legno incollate che però, essendo sostenute dalle travi di acciaio, non necessitano di particolare cura nell'ancoraggio con il pannello CLT esistente. La ricostruzione con tavole è leggermente sporgente all'intradosso in modo tale che, forzando le travi di acciaio contro il pannello CLT per mezzo delle viti, il sostegno diventi attivo



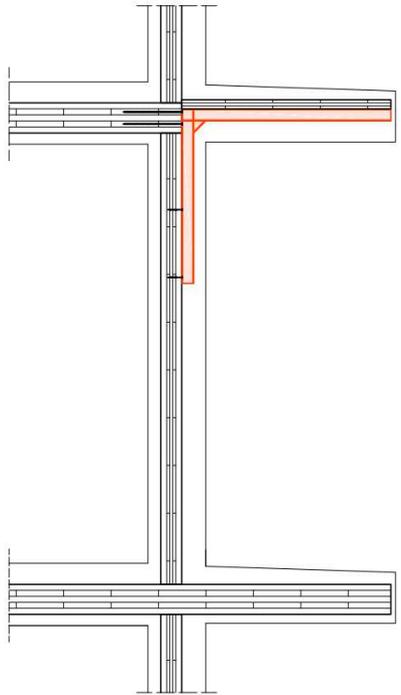
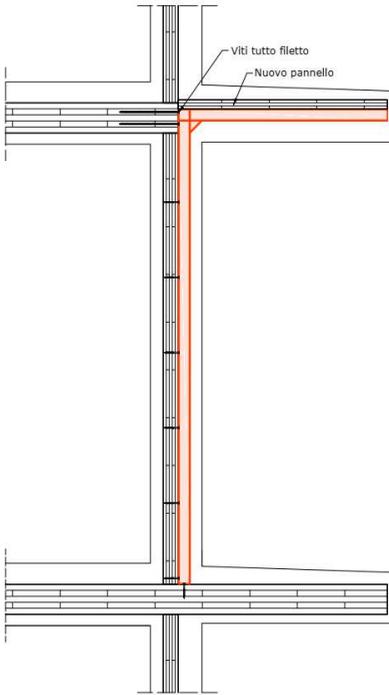
Schema di calcolo dell'intervento. Con semplici considerazioni di equilibrio è possibile determinare le forze in gioco. F è il carico di trazione sul gruppo di viti poste dal lato dell'estremo libero dello sbalzo

3.3.3 DEGRADO TOTALE DELLO SBALZO

Nel caso in cui lo sbalzo risulti degradato per tutta la sua luce, può risultare necessario inserire nuovi elementi metallici a supporto di un nuovo pannello; in tal caso i nuovi elementi metallici potrebbero essere nascosti all'interno del cappotto

Ci sono due possibili soluzioni, come evidenziato nell'immagine seguente:

- A sinistra: generalmente la parete non può sopportare il momento flettente trasmesso dal nuovo elemento metallico, risulta quindi necessario che il ramo verticale vada da impalcato a impalcato.
- A destra: se la parete è sufficientemente robusta allora il ramo verticale può essere più corto. In ambedue i casi a livello del solaio bisogna realizzare un ancoraggio a trazione con viti tutto filetto sufficientemente lunghe e, ovviamente, inserite nello strato ortogonale del solaio CLT





FEDERLEGNOARREDO

ASSOLEGNO

Foro Buonaparte 65, 20121 Milano

www.assolegno.it

www.assolegnorisponde.it

assolegno@federlegnoarredo.it