

DURABILITA' E MANUTENZIONE DELLE STRUTTURE DI LEGNO

a cura di

studiodeda
SUSTAINABLE DESIGN BY NETWORKING



Durabilità e manutenzione delle strutture di legno

DURABILITÀ E MANUTENZIONE DELLE STRUTTURE DI LEGNO

Edito e distribuito da: Ticom Srl - Piacenza

Copyright © Conlegno, 2011

Foro Buonaparte 65

20121 - Milano

Tel. 02 806041

info@conlegno.org

www.legnosughero.info

Edizione originale Settembre 2011

Scritto da Studiodeda, Sustainable Design by Networking

Coordinamento editoriale: Maurizio Follesa e Marco Pio Lauriola

Autori:

Maurizio Follesa

Marco Pio Lauriola

Mario Moschi

Si ringraziano inoltre per il prezioso contributo:

Sabrina Rossi e Marco Luchetti per la revisione del testo,

Giorgio Bignotti, Emanuele Orsini, Giovanni Cenci, Stefano Dezzutto,

Michele Zulini, Sebastiano Cerullo, Paolo Chiosso, Domenico Corradetti di

FederlegnoArredo e tutte le imprese associate ad Assolegno e

FederlegnoArredo che hanno collaborato attivamente al presente progetto.

Progetto grafico copertina: Chiara Russo e Davide Vassallo

Tutti i diritti sono riservati. È vietata la riproduzione anche parziale dell'opera, in ogni forma e con ogni mezzo, inclusi la fotocopia, la registrazione e il trattamento informatico, senza l'autorizzazione del possessore dei diritti.

Finito di stampare nel Settembre 2011

Milano

Il legno è una materia antica, una delle più utilizzate al mondo. È quindi uno dei più sperimentati materiali strutturali e, se correttamente lavorato, selezionato, progettato, offre garanzie di sicurezza non minori di quelle offerte dagli altri materiali da costruzione, sia nel caso del legno massiccio, che del legno lamellare e dei materiali derivati dal legno. Tutte queste differenti tipologie si prestano ottimamente ad essere utilizzate per rispondere alle più diverse aspettative architettoniche, statiche, dimensionali, economiche.

L'uso sinergico di esperienze millenarie e tecnologie contemporanee consente oggi di realizzare costruzioni multipiano in legno, capaci di coniugare estetica, funzionalità ed economicità con risultati sorprendenti.

Tali ottime prestazioni sono riconosciute, già da alcuni anni, anche a livello di normative nazionali (quali le Norme Tecniche delle Costruzioni – DM 14.01.08) che internazionali (quali ad es. gli Eurocodici di riferimento). I recenti sviluppi nella tecnica costruttiva hanno fatto sì che gli edifici in legno multipiano stiano riscuotendo sul mercato un sempre maggiore interesse, sia da parte di una committenza di carattere pubblico che privato. Tale importante ed indispensabile riscoperta per il settore delle costruzioni è avvenuta tanto da un punto di vista tecnico che commerciale.

Al fine di approfondire ulteriormente tematiche che possano avvicinare progettisti e tecnici del settore, Assolegno/FederlegnoArredo, agendo in sinergia con MADEexpo e ConLegno, ha promosso e contribuito all'elaborazione di due manuali tecnici dedicati alla "Progettazione e Realizzazione di edifici a struttura di legno" e "Durabilità e manutenzione delle strutture di legno" per cercare di fornire un utile guida pratica per tutti quelli che si avvicinano al nostro settore.

E' bene infatti sottolineare come, se da un lato l'interesse verso tale metodologia costruttiva possa costituire senza dubbio un'importante opportunità di crescita, dall'altro lato c'è la necessità di diffondere una sempre maggiore cultura presso tutti i soggetti della filiera.

Risulta quindi importante, in questa fase di espansione delle costruzioni di legno, che venga garantita da parte delle imprese costruttrici un'elevata qualità del costruito che non deluda la domanda, di una committenza sempre più esigente ed attenta, di soluzioni abitative d'avanguardia in termini di risparmio energetico, sostenibilità e sicurezza.

A questo processo dovranno necessariamente partecipare i professionisti del settore, spesso non adeguatamente considerati da parte dei Committenti e dei Costruttori, nonostante l'importanza del ruolo che rivestono. E'

fondamentale tenere ben presente che un edificio multipiano in legno è innanzitutto un'opera importante di ingegneria, che deve pertanto necessariamente coinvolgere tecnici aventi preparazione ed esperienza consolidate sia nel campo dell'ingegneria, sia nella tecnologia del legno.

Questo con un unico obiettivo: aumentare la diffusione delle costruzioni di legno, garantendone nel tempo quelle caratteristiche, che ad oggi, risultano essere fattore preferenziale rispetto ai sistemi edili di carattere tradizionale.

Dott. Paolo Ninatti
Presidente di Assolegno/FederlegnoArredo

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

In realtà tutti i materiali da costruzione sono soggetti a degrado, anche se in forme e tempi diversi. Nell'immaginario collettivo però, il legno è considerato tra i materiali meno durevoli soprattutto in considerazione del rischio di marcescenza o di attacco xilofago. Se è vero che molte specie legnose possono subire danni in presenza di forte umidità o di alcuni insetti, è altrettanto vero che non è corretto collegare direttamente la durabilità naturale del legno con la durabilità delle costruzioni di legno.

La vita di una costruzione di legno può essere lunghissima, maggiore di quella desiderata, a patto che le possibilità di degrado delle sue componenti di legno vengano prese in considerazione già in fase di progettazione, in modo da poterne definire e garantire la durata di vita richiesta.

La durabilità va dunque progettata ed è parte integrante del progetto. Purtroppo per lungo tempo di questo concetto non si è adeguatamente tenuto in conto.

Presi dall'entusiasmo per la bellezza del costruire con il legno, ci si è spesso dimenticati che il legno richiede molta attenzione e che non perdona chi lo adopera impropriamente. Nel tempo una struttura di legno progettata con superficialità denuncia al suo artefice soprattutto le carenze progettuali in tema di durabilità.

I grandi nemici del legno comunemente impiegato in ambito strutturale sono soprattutto l'acqua ed il sole che inevitabilmente producono alterazione del legno se presenti per lungo tempo.

Per fortuna nella gran parte dei casi le costruzioni di legno non sono esposte direttamente agli agenti atmosferici. Normalmente le strutture sono protette da un pacchetto di copertura se si tratta di un tetto, da un cappotto o da una facciata ventilata se si tratta di una parete, da dei materiali di separazione se si tratta di un pilastro a terra. In questi casi la durabilità non è mai un problema ed anche la manutenzione richiesta è praticamente nulla.

In alcuni casi però le strutture o parte di esse possono essere esposte. In questi casi, che sarebbe meglio evitare a priori, occorrono precauzioni e manutenzione.

Ad esempio i ponti moderni sono tra le strutture più esposte e quindi soggetti al rischio di invecchiamento e degrado.

I ponti antichi venivano invece realizzati con copertura e tamponamenti protettivi laterali.

Anche in ambito di coperture c'è da imparare dai nostri predecessori: in molte strutture antiche gli elementi principali, siano essi travi o capriate, sono supportate da mensole in pietra che garantiscono l'areazione dell'appoggio allontanandolo da possibili fonti di umidità.

Nelle costruzioni alpine spesso, a protezione di punti vulnerabili, venivano disposte tavole di sacrificio, facilmente sostituibili e di costo limitato, in grado di salvaguardare la struttura vera e propria.

Nella maggior parte dei casi di opere lignee quali edifici, coperture lignee piccole e grandi, la durabilità delle strutture si può ottenere mediante semplici accorgimenti a patto che di essi si tenga conto sin dal concepimento della costruzione, addirittura già in fase di progetto architettonico.

Quello che emerge infatti dal presente volume è che il "progetto della durabilità" si basa sull'applicazione di principi semplici ma irrinunciabili.

Merito di questo lavoro è aver cercato, con successo, di colmare una lacuna della letteratura di settore e di fornire delle linee guida basilari ai professionisti che, affrontando la progettazione di una costruzione di legno, vogliano prevedere gli opportuni accorgimenti per garantire adeguata durabilità alla futura opera.

Ing. Giorgio Bignotti
*Consigliere Incaricato del Gruppo Grandi Strutture
e Produttori di Legno Lamellare*

1	CENNI DI TECNOLOGIA DEL LEGNO	9
1.1	PREMESSA	10
1.2	SPECIE LEGNOSE	12
1.3	LE DIREZIONI ANATOMICHE	12
1.4	RELAZIONI LEGNO-ACQUA	13
1.5	LE FESSURE DA RITIRO	15
1.5.1	<i>Influenza delle fessurazioni sulle caratteristiche meccaniche</i>	<i>17</i>
1.6	ALBURNO E DURAME	18
2	BIODEGRADAMENTO, DURABILITÀ E PRESERVAZIONE	21
2.1	PREMESSA	22
2.2	IL DEGRADO DA FUNGHI DELLA CARIE	22
2.3	IL DEGRADO DA INSETTI XILOFAGI	25
2.4	LA DURABILITÀ NATURALE	26
2.5	CLASSI DI UTILIZZO IN FUNZIONE DELL'ESPOSIZIONE ALLE CONDIZIONI AMBIENTALI	27
2.6	SPECIE LEGNOSE E DURABILITÀ NATURALE	30
2.7	LA SCELTA DELLA SPECIE LEGNOSA IN FUNZIONE DELL'UTILIZZO	34
2.7.1	<i>Requisiti nei confronti dei funghi xilofagi</i>	<i>35</i>
2.7.2	<i>Requisiti nei confronti degli insetti coleotteri xilofagi</i>	<i>38</i>
2.7.3	<i>Requisiti nei confronti delle termiti</i>	<i>38</i>
2.7.4	<i>Requisiti nei confronti degli organismi marini perforanti</i>	<i>39</i>
2.8	TRATTAMENTI PRESERVANTI	39
2.8.1	<i>Trattamenti preventivi</i>	<i>39</i>
2.8.2	<i>Trattamenti curativi</i>	<i>40</i>
3	DISSESTI E DEGRADO STRUTTURALE	41
3.1	PREMESSA	42
3.2	DELAMINAZIONE	42
3.3	DEGRADO STRUTTURALE	43
3.4	DEGRADO SUPERFICIALE (WEATHERING)	48
3.5	OSSIDAZIONE DEGLI ELEMENTI METALLICI	49

4	DETTAGLI COSTRUTTIVI.....	51
4.1	APPOGGI	52
4.2	ELEMENTI DI PROTEZIONE	54
4.3	TRATTAMENTI E PROTEZIONI SUPERFICIALI.....	58
4.3.1	<i>Generalità e classificazione.....</i>	58
4.3.2	<i>Prodotti per esterni.....</i>	59
4.4	GIUNTI.....	62
4.4.1	<i>Elementi metallici.....</i>	62
4.4.2	<i>Giunti in genere.....</i>	63
5	CONTROLLI NEL TEMPO	65
5.1	PREMESSA.....	66
5.2	APPROCCI DIVERSI ALLA DIAGNOSI	66
5.3	PRESUPPOSTI PER L'ISPEZIONE E DIAGNOSI - ACCESSIBILITÀ	68
5.4	TECNICHE E STRUMENTAZIONI	70
5.4.1	<i>Ispezione visuale.....</i>	70
5.4.2	<i>Prove strumentali.....</i>	71
6	MANUTENZIONE	77
6.1	MANUTENZIONE E VITA NOMINALE	78
6.2	PIANO DI MANUTENZIONE	79
	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	87

Cenni di tecnologia del legno

1.1 PREMESSA

Il legno, insieme alla pietra, è stato il primo materiale da costruzione della storia. Con esso sono stati costruiti ponti che però spesso non sono durati nel tempo come quelli di pietra perché il legno si degrada in condizioni di umidità persistente, condizioni tipiche dei ponti.

Solo i ponti meglio progettati, cioè ponti coperti, realizzati con specie legnose naturalmente durabili, soggetti a manutenzione e sostituzione di elementi nel tempo, resistono nel tempo.

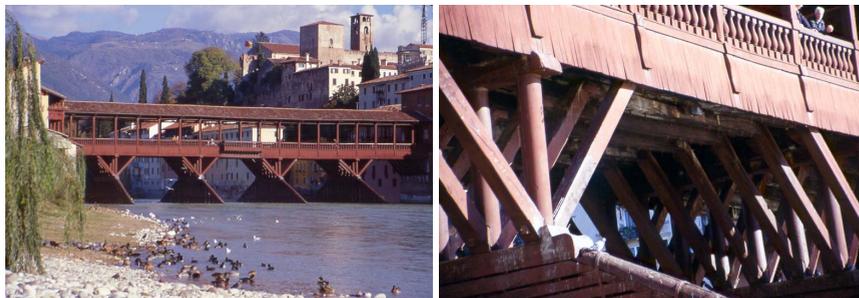


Figura 1.1: Il "Ponte vecchio" di Andrea Palladio a Bassano del Grappa, ponte carrabile coperto realizzato nel 1570. Andrea Palladio prescriveva "rovere e larice", materiali naturalmente durabili. Nel corso degli anni ha subito molti interventi di restauro e manutenzione, specialmente alle pile in alveo.

Pur non mancando nel passato esempi di grandi strutture, l'impulso all'utilizzo del legno nella costruzione di strutture di grande luce si è avuto con la tecnologia del legno lamellare incollato che ha consentito di superare le limitazioni dimensionali del tronco aprendo nuove possibilità strutturali.



Figura 1.2: La copertura della tribuna dello stadio di Manfredonia (FG), archi di legno lamellare incollato di 80m di luce libera.

È vero però che nel passato qualora vi fosse l'esigenza di coprire grandi luci veniva comunque e solo utilizzato il legno, all'epoca legno massiccio, che con l'ingegno umano veniva composto e giuntato per superare le limitazioni dimensionali del tronco.

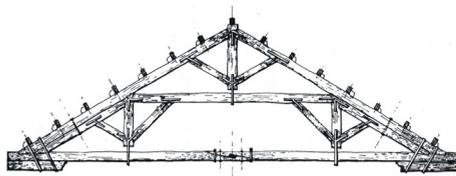


Figura 1.3: La capriata "palladiana composta" consente di coprire luci superiori ai venti metri attraverso l'utilizzo di legno massiccio squadrato di lunghezze inferiori alla luce. Grandiosi esempi sono giunti fino ai giorni nostri in perfetta efficienza e stato di conservazione.

La progettazione strutturale non è solo calcolo, il calcolo è solo una parte della progettazione; progettare significa utilizzare al meglio i materiali e le tecnologie al fine di ottenere un'opera durevole, sicura ed economica.

La **durabilità** è l'attitudine di un oggetto di durare nel tempo al degrado e all'usura. La durata di un oggetto è il tempo durante il quale l'oggetto conserva le caratteristiche per essere utilizzato, poi una o più caratteristiche raggiungono livelli minimi tali da non rendere più utilizzabile l'oggetto. Il concetto di durabilità è quindi strettamente legato al concetto di vita nominale esposto nel paragrafo "6.1 Manutenzione e vita nominale".

La durabilità di un manufatto è strettamente legata alla natura del materiale che è biodegradabile, questo però non significa che le strutture di legno siano meno durabili di quelle costruite utilizzando altri materiali: fra i materiali da costruzione il legno è l'unico che non subisce un degrado dovuto al tempo e potrebbe durare in eterno se correttamente progettato. Esistono esempi di costruzioni in legno che hanno superato i mille anni (le chiese norvegesi, le pagode giapponesi, ecc.), basta alzare gli occhi nelle nostre chiese per vedere coperture di legno antiche che, se sono state preservate dall'umidità, sono in perfetto stato di conservazione da centinaia di anni.

...

Il legno è un materiale igroscopico, assorbe e cede umidità con l'ambiente, alle variazioni di umidità del legno corrispondono variazioni dimensionali piuttosto spiccate che vanno considerate nella progettazione in quanto il legno è in continuo movimento, specie in ambienti, come quello esterno dei ponti, in cui le variazioni termo-igrometriche stagionali sono molto forti.

Il legno deriva dal tronco che in natura aveva la funzione di sostenere la chioma, il tronco quindi era sottoposto a sforzo normale e flessione, per tale motivo il legno ha una direzione di massima resistenza e rigidità che è quella longitudinale, verticale nella pianta in piedi, mostrando uno spiccato comportamento anisotropo; pertanto le caratteristiche meccaniche sono fortemente diverse nelle varie direzioni anatomiche.

Essendo materiale derivato dall'albero, il legno conserva le peculiarità dell'albero stesso. Ad esempio i nodi che sono la naturale traccia dei rami

nel tronco ai fini della resistenza meccanica del segato sono un difetto che ne diminuisce la resistenza e rigidità.

Per questi motivi e per altri che verranno detti in seguito, la progettazione delle strutture di legno non può prescindere dalle conoscenze di base di tecnologia del legno.

1.2 SPECIE LEGNOSE

Le specie legnose maggiormente utilizzate nelle strutture sono:

Conifere: abete (rosso e bianco), pino, larice, douglasia.

Latifoglie: quercia (farnia, rovere, cerro, roverella), castagno, pioppo.

Per ragioni di comodità il pioppo è spesso associato alle conifere in quanto di caratteristiche fisiche e meccaniche simili (resistenza, rigidità e soprattutto massa volumica).

Il legno lamellare incollato è generalmente di abete bianco e rosso, raramente di larice, pino e pioppo.

1.3 LE DIREZIONI ANATOMICHE

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

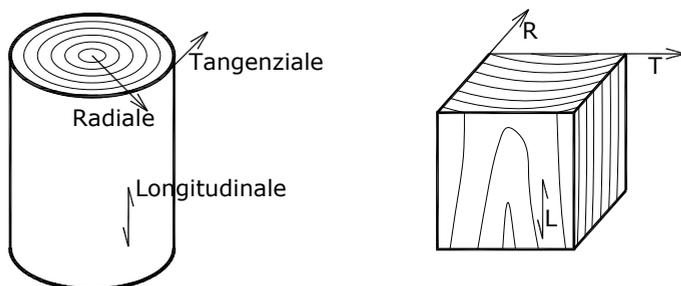


Figura 1.4: Le direzioni anatomiche. Nel caso del legno strutturale, specie se lamellare, le direzioni tangenziale e radiale non vengono distinte, si parla quindi genericamente di "direzione trasversale" per indicare qualunque direzione nel piano della sezione.

Le direzioni anatomiche R e T variano da punto a punto all'interno del tronco, tuttavia in un segato che non contiene il midollo (centro del tronco) è

generalmente possibile individuare un lato circa radiale ed uno circa tangenziale.

1.4 RELAZIONI LEGNO-ACQUA

Il legno è un materiale igroscopico, assorbe e cede umidità dall'ambiente.

Essendo formato da cellule vuote e allungate, queste possono contenere acqua in diverse forme:

acqua di saturazione: è quella che bagna le pareti cellulari, si riscontra per umidità del legno (espresse in percentuale sul peso secco) comprese fra lo 0% ed il 30% circa;

acqua libera: è quella contenuta nel lume cellulare, per umidità superiori al 30%.

Esiste poi l'acqua di costituzione che fa parte della parete cellulare stessa ma in questo contesto non riveste importanza tecnologica in quanto viene persa solo per distruzione della cellula stessa.

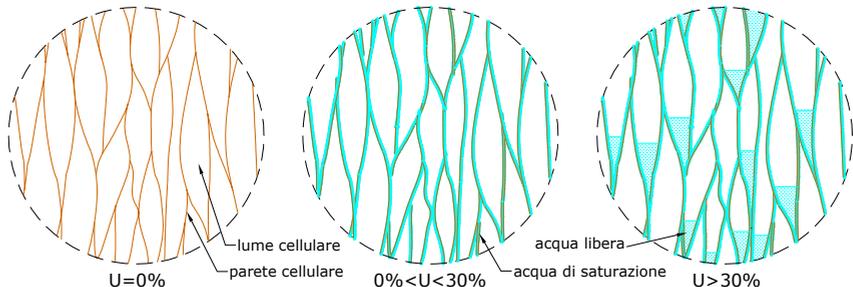


Figura 1.5: Schematizzazione della struttura anatomica del legno in cui sono rappresentate le cellule e come l'acqua può essere trattenuta da esse.

Al momento dell'abbattimento il legno ha un contenuto di umidità molto superiore al 30%, successivamente, con il processo di stagionatura, il legno perde umidità e tende a equilibrarsi verso un valore variabile in funzione dell'ambiente in cui si trova (si veda anche la Figura 2.1), le condizioni ambientali vengono anche definite *Classi di servizio* in EN 1995-1-1:

- classe di servizio 1: $U < 12\%$ in ambienti chiusi, riscaldati in inverno;
- classe di servizio 2: $12\% < U < 20\%$ in ambienti chiusi non riscaldati di inverno ed in ambienti aperti ma al coperto;
- classe di servizio 3: $U > 20\%$ all'aperto, senza protezione dalle intemperie.

I livelli di umidità del legno anzi detti sono livelli medi in quanto il legno continua sempre a scambiare umidità con l'ambiente e pertanto, a seguito delle variazioni termo-igrometriche stagionali e/o ambientali, la sua umidità oscilla di alcuni punti percentuali intorno al valore di equilibrio risultando più costante all'interno dell'elemento e maggiormente variabile in prossimità della superficie.

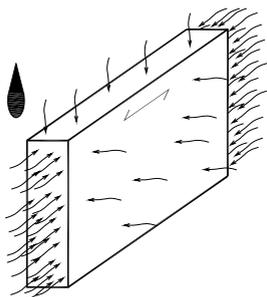


Figura 1.6: L'assorbimento e la cessione di umidità da parte del legno avviene principalmente in direzione parallela alla fibratura, quindi attraverso le sezioni di testa ortogonali alla fibratura, questo sia che si tratti di scambio di umidità con l'aria circostante che nel caso il legno venga immerso in acqua.

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

A seguito della perdita di umidità il legno subisce diminuzione delle dimensioni (ritiro); il fenomeno è reversibile e pertanto all'aumento di umidità il legno aumenta le proprie dimensioni (rigonfiamento); in particolare il legno di conifera subisce i seguenti ritiri e rigonfiamenti per ogni punto percentuale di umidità (coefficienti di ritiro e rigonfiamento per il legno di conifera):

in direzione longitudinale 0,01%

in direzione radiale 0,12%

in direzione tangenziale 0,24%

Ad esempio un cubetto di legno di lato 200mm passando dal U=30% a U=10% perde:

in direzione longitudinale $200 \times 0,01 \times (30-10)/100 = 0,4\text{mm}$
diventando 199,6mm

in direzione radiale $200 \times 0,12 \times (30-10)/100 = 4,8\text{mm}$ diventando
195,2mm

in direzione tangenziale $200 \times 0,24 \times (30-10)/100 = 9,6\text{mm}$
diventando 190,4mm

Per il legno di latifoglia di quercia si hanno i seguenti coefficienti di ritiro e rigonfiamento:

in direzione longitudinale 0,01%

in direzione radiale 0,20%

in direzione tangenziale 0,40%

È importante osservare che il fenomeno del ritiro e rigonfiamento si ha solo nel campo di umidità compreso fra lo 0% ed il punto di saturazione delle pareti cellulari ($U=30\%$); per valori superiori ad $U=30\%$ il legno non si ritira e non si rigonfia.



Figura 1.7: L'umidità del legno si può misurare in cantiere per mezzo di igrometri elettrici, apparecchi che misurano la resistenza elettrica fra due elettrodi (chiodi) infissi nel legno la quale è correlata con l'umidità del legno.

1.5 LE FESSURE DA RITIRO

Essendo il ritiro tangenziale maggiore di quello radiale, alla perdita di umidità corrisponde una diminuzione del diametro del tronco ed una distorsione della sezione in quanto il ritiro dell'anello è circa doppio rispetto al ritiro del raggio; si formano le fessure da ritiro, una principale ampia che va dal centro del tronco (midollo) alla corteccia ed eventualmente altre di minor entità ma sempre tutte radiali.

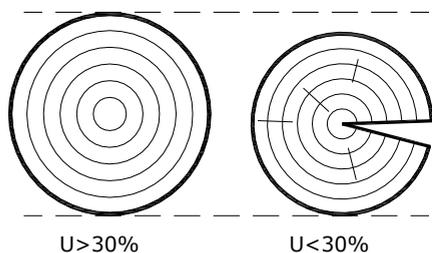


Figura 1.8: A seguito della perdita di umidità si forma una fessura ampia ed estesa lungo il tronco (detta fessura principale) ed altre piccole fessure (dette fessure secondarie) di ampiezza molto limitata sia in sezione che lungo il tronco.

Se la stagionatura avviene dopo la squadratura del tronco, come è giusto che si faccia, la trave si distorcerà e formerà le fessure da ritiro in maniera diversa se contiene o meno il centro del tronco.

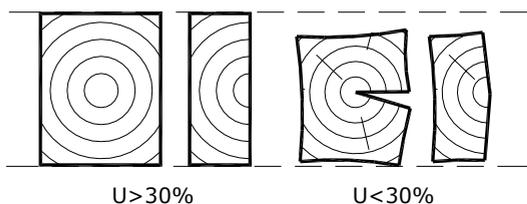


Figura 1.9: Influenza della perdita di umidità sulla forma del segato.

Dunque solo le sezioni ricavate senza includere il centro del tronco (cosiddette "fuori cuore") non formeranno la fessura principale da ritiro ma subiranno solo una distorsione ed eventualmente fessure secondarie.

E' chiaro che la trave può essere nuovamente squadrata dopo la stagionatura ma, visto che la stagionatura necessita di alcuni anni, il legno viene quasi sempre commercializzato e messo in opera fresco, pertanto la diminuzione di sezione, distorsione e fessurazione avviene quasi sempre in opera.

Le fessure da ritiro seguono la fibratura (definita come l'orientazione generale delle cellule) e pertanto ne denunciano l'inclinazione rispetto all'asse della trave; l'inclinazione si esprime in percentuale.

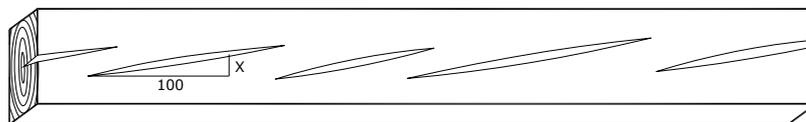


Figura 1.10: In questo caso le fessure da ritiro denunciano fibratura deviata; quando la fibratura è dritta si può presentare una unica fessura che segue la trave dall'inizio alla fine.

Generalmente compaiono su di una sola faccia della trave e sono concentrate nella mezzeria di una delle facce più grandi.

Chiaramente una trave di legno fresco (cioè ad umidità superiore al 30%) non mostra le fessure da ritiro.

1.5.1 Influenza delle fessurazioni sulle caratteristiche meccaniche

Meccanicamente le fessure da ritiro sono indebolimento solo nei confronti della resistenza a taglio della sezione, tuttavia le norme di calcolo (Eurocodice 5 versione EN1995-1-1:2008) tengono in considerazione tale indebolimento nelle verifiche di sicurezza a taglio riducendo opportunamente la sezione¹. I valori meccanici di resistenza a taglio dati per le varie classi di resistenza sono valori convenzionalmente ridotti per consentire di condurre le verifiche strutturali sulla sezione non fessurata salvaguardando la sicurezza.

Le fessure da ritiro sono un fatto fisiologico che generalmente non deve destare preoccupazione, tuttavia in alcuni casi diventano strutturalmente intollerabili, ad esempio quando la trave è affetta da fessure su due facce e queste si incontrano dividendo in due la sezione oppure quando queste passano lo spigolo determinando una vera e propria rottura.

Nelle regole di classificazione generalmente sono fissati dei limiti di profondità delle fessure per le varie classi.

¹ Nelle vecchie versioni dell'Eurocodice 5 le verifiche di sicurezza a taglio venivano condotte sulla sezione non fessurata ma i valori meccanici di resistenza a taglio dati per le varie classi di resistenza nella EN338 per il legno massiccio e nella EN1194 per il legno lamellare incollato erano valori convenzionalmente ridotti per consentire di condurre le verifiche strutturali sulla sezione non fessurata salvaguardando la sicurezza.



Figura 1.11: Fessure che passano lo spigolo in una trave di legno massiccio e determinano un importante indebolimento della trave.

1.6 ALBURNO E DURAME

Il tronco è formato da una parte centrale detto *durame* che, durante la vita dell'albero, è legno messo a riposo e conserva la sola funzione portante per la pianta; in esso vengono depositate le sostanze estrattive quali i tannini che generalmente conferiscono al legno una colorazione più scura e lo rendono anche più resistente agli attacchi biologici.



Figura 1.12: Tavole di legno di quercia; la quercia è una specie a durame ben differenziato.

Gli anelli più periferici formano l'alburno che nella pianta in piedi è legno che conduce la linfa; generalmente è di colore più chiaro rispetto al durame e dopo l'abbattimento, a differenza del durame, conserva alcune sostanze quali gli amidi e gli zuccheri.

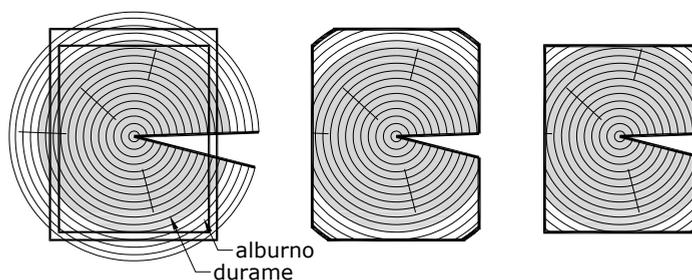


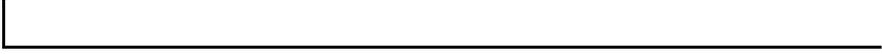
Figura 1.13: L'alburno è più presente nelle sezioni a spigolo smussato (uso Fiume o uso Trieste) rispetto a quelle a spigolo vivo.

Le caratteristiche meccaniche dell'alburno e del durame sono simili fra loro, le caratteristiche di durabilità invece sono spesso nettamente diverse come si vedrà in seguito.

Alcune specie legnose, dette a durame indifferenziato come l'abete, hanno il durame povero di estrattivi, infatti è bianco come l'alburno.



Figura 1.14: Rebus "Alburno" di Alessandro Tamai e Marco Pio Lauriola.



Biodegradamento, durabilità e preservazione

2.1 PREMESSA

Il legno ha l'indubbio vantaggio di essere un materiale totalmente biodegradabile, questo però non significa che sicuramente si degraderà nel tempo. Il degrado biologico ad opera di funghi della carie ed insetti xilofagi avviene solo in certe condizioni, inoltre esistono specie legnose più o meno resistenti all'attacco biologico e parti del tronco maggiormente degradabili.

Se il legno si degrada non è colpa del legno ma del progettista: la scelta della specie legnosa in funzione dell'ambiente in cui l'elemento verrà messo in opera, l'eventuale trattamento preservante, i dettagli costruttivi, la protezione dall'umidità rendono il legno materiale eterno. Il legno non subisce alcun degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche semplicemente dovuto al passare del tempo.

Dal punto di vista della durabilità non fa differenza che il legno sia massiccio o lamellare; il legno lamellare è solo un po' meno suscettibile all'attacco da insetti come si vedrà in seguito.

La diagnosi dello stato di degrado delle strutture in opera fa parte della Tecnologia del Legno ed è materia del Dottore in Scienze Forestali.

2.2 IL DEGRADO DA FUNGHI DELLA CARIE

I funghi della carie si diffondono nell'aria attraverso le spore, le spore sul legno germinano se questo supera il 20% di umidità; i funghi si diffondono nella massa legnosa attraverso le ife e non necessariamente danno origine al corpo fruttifero visibile; le ife degradano chimicamente il legno (la lignina o la cellulosa o entrambe) determinando una forte diminuzione di resistenza del materiale anche nei primi stadi dell'attacco quando questo non è ancora visibile e non ha ancora dato luogo al fenomeno più macroscopico della marcescenza.

L'attacco fungino avanza fintanto che permangono condizioni di umidità favorevoli; non appena l'umidità del legno ritorna a valori inferiori al 20% il fungo cessa la sua attività, tuttavia il danno causato rimane e se l'umidità del legno ritorna ad essere elevata il fungo riprende la sua attività.

Il fungo non è attivo al disotto dei 3°C e sopra i 40°C.

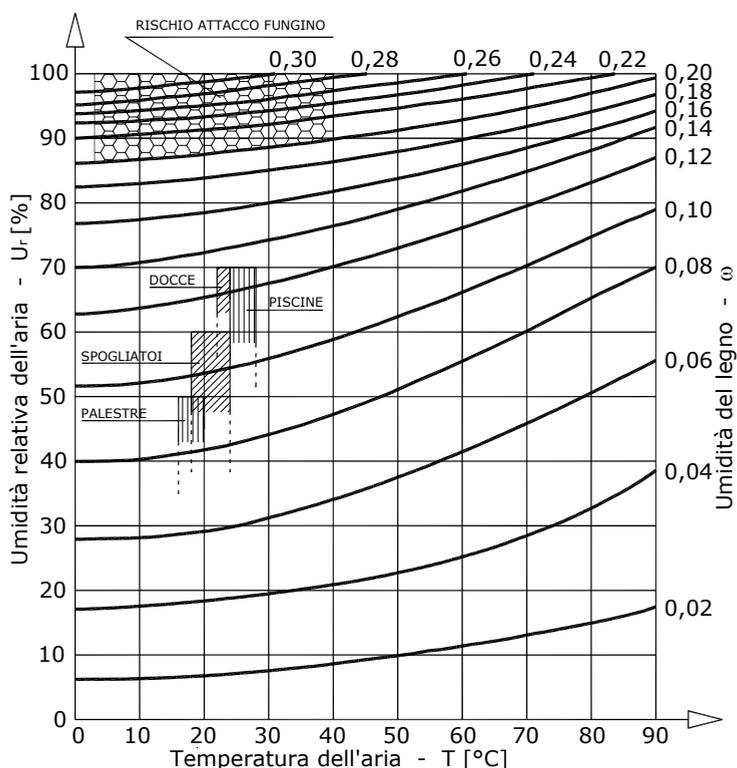


Figura 2.1: Curve di equilibrio igroscopico del legno in relazione alle condizioni termo-igrometriche ambientali. Si noti che il campo a rischio di degrado biologico da funghi è per temperature comprese fra i 3 ed i 40°C ed umidità dell'aria superiore all'85%. A titolo di esempio sono riportate le condizioni termo-igrometriche per gli impianti sportivi (da "Norme CONI per l'impiantistica sportiva 2008" e "Conferenza Stato Regioni 1605/2003"); nel caso delle piscine, qualora venga spento l'impianto di climatizzazione, l'umidità dell'aria potrebbe salire fino a livelli prossimi al 100% e di conseguenza il legno si equilibrerebbe a valori di umidità superiori al 20%, cioè a rischio di attacco biologico da funghi. Negli edifici per civili abitazioni generalmente l'umidità dell'aria è al di sotto del 65%, ad eccezione degli ambienti cucina e bagno in cui per brevi periodi si può superare tale valore (durante la cottura dei cibi in assenza di efficace allontanamento del vapore, durante l'uso della doccia).

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



Figura 2.2: Anche in ambienti in cui l'umidità dell'aria è controllata e viene mantenuta al di sotto dell'85% (valore limite per il rischio di attacco fungino, vedere Figura 2.1), in corrispondenza dei ponti termici si può avere condensa che percola sul legno provocando dapprima semplici variazioni cromatiche in superficie e poi pericoloso attacco fungino. Questo fenomeno è particolarmente sentito nelle piscine.

Negli edifici le zone maggiormente soggette ad attacco fungino sono le parti conglobate nelle murature (o nei cordoli), ciò per vari motivi: il legno non è ventilato e un aumento di umidità non riesce ad essere smaltito, la muratura favorisce la permanenza di condizioni umide, l'umidità propria del legno condensa in corrispondenza del muro esterno freddo ed il legno si bagna fungendo da "pompa" che capta l'umidità dell'aria degli ambienti interni e la condensa in testata.

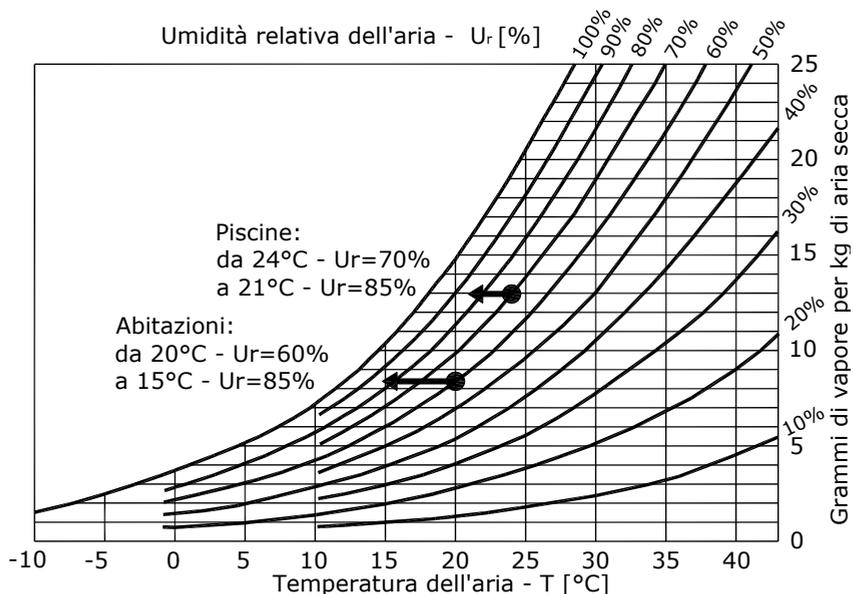


Figura 2.3: Diagramma di Mollier. Nel caso delle piscine, partendo da condizioni $T=24^\circ\text{C}$ e $U_r=70\%$, se la temperatura scende di soli 3°C perché viene spento il riscaldamento a parità di contenuto assoluto di umidità nell'aria oppure in corrispondenza dei ponti termici o delle superfici di separazione con l'esterno mal coibentate, l'umidità relativa dell'aria sale oltre l'85% con rischio di attacco fungino. Nelle abitazioni civili, partendo dalle condizioni di 20°C e $U_r=60\%$ basta scendere di 5°C perché l'umidità relativa dell'aria salga all'85% con rischio di attacco fungino; questo succede frequentemente in corrispondenza dei ponti termici o in punti in cui ci sono infiltrazioni di aria fredda esterna.

Per i motivi anzi detti l'attacco fungino è molto pericoloso.

Sia l'alburno che il durame sono soggetti ad attacco fungino, tuttavia esistono specie legnose a durame differenziato quali il castagno e le querce, che presentano, una spiccata differenza in termini di durabilità tra i due tessuti sopra menzionati. I motivi di tali differenze verranno evidenziate nel prossimo paragrafo.

2.3 IL DEGRADO DA INSETTI XILOFAGI

Gli insetti che attaccano il legno sono di varie famiglie e pertanto hanno 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 (farfalla) su piccole cavità o fessure del legno. L'uovo si schiude e dà vita alla larva che penetra nella massa legnosa mangiandolo e scavando gallerie.

La larva può vivere e lavorare nel legno anche alcuni anni.

Poi si trasforma in insetto perfetto (con le ali) ed 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.

2.4 LA DURABILITÀ NATURALE

In linea generale si può affermare che:

- L'alburno di tutte le specie è poco durabile sia nei confronti dei funghi che degli insetti. Tronchi con strato di alburno sottile (è il caso del castagno limitatamente ad alcune provenienze che mostra uno spessore di alburno inferiore al centimetro) una volta squadrati perdono pressoché totalmente l'alburno; il larice, pino e le querce hanno uno spesso strato di alburno (di alcuni centimetri), pertanto una volta squadrati continuano a conservarne importanti quantità almeno sugli spigoli.
- Con riferimento al solo durame le specie legnose maggiormente durabili sia nei confronti dei funghi che degli insetti sono: querce, robinia, castagno, larice.
- Le specie moderatamente durabili sono: douglasia, pino silvestre.
- Le specie poco durabili sono: abete (rosso e bianco), pioppo.

Per una trattazione completa dell'argomento si guardi la norma EN350 nei capitoli successivi.

Quanto detto è in linea generale; le norme specifiche mostrano in maniera puntuale i possibili problemi di degrado biologico in relazione alla specie legnosa ed alle condizioni di esposizione della struttura o elemento strutturale.

I concetti fondamentali e le norme pertinenti che saranno di seguito illustrate sono:

- le classi di utilizzo (EN 335-1 ed EN 335-2): rappresentano le diverse situazioni di servizio alle quali possono essere esposti il legno e i prodotti a base di legno;

- la durabilità naturale in funzione della specie legnosa (EN350-2): indica il comportamento di ciascuna specie legnosa per quanto riguarda la sua resistenza al degrado biologico (funghi, insetti ed organismi marini perforanti);
- l'impregnabilità (EN350-2): indica la facilità di penetrazione delle sostanze preservanti;
- i requisiti di durabilità per legno massiccio o lamellare da utilizzarsi in funzione della classe di utilizzo (EN460).

Spesso, al fine di facilitare l'esposizione, non saranno utilizzate le notazioni contenute nelle norme ma delle notazioni semplificate.

2.5 CLASSI DI UTILIZZO IN FUNZIONE DELL'ESPOSIZIONE ALLE CONDIZIONI AMBIENTALI

Le norme:

- EN 335-1 "Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Definizione delle classi di rischio utilizzo – Parte 1: Generalità";
- EN 335-2 "Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Definizione delle classi di utilizzo – Parte 2: Applicazione al legno massiccio";

definiscono 5 classi di utilizzo (o rischio biologico) per il legno e i prodotti a base di legno:

<i>Classe di utilizzo</i>	<i>Ambiente</i>	<i>Esempio</i>	<i>Rischio</i>
1	Situazione in cui il legno è riparato, completamente protetto dagli agenti atmosferici e non esposto all'umidità, non è a contatto con il terreno ed è in ambiente secco. Umidità del legno inferiore al 20%.	Ambienti interni con bassa umidità dell'aria (sempre al disotto dell'85%): Elementi all'esterno ma riparati dalle intemperie in climi generalmente secchi e lontani da acqua persistente. Strutture di edifici, tettoie, ponti non su corsi d'acqua. Abitazioni, uffici, palestre; coperture di piscine e palazzi del ghiaccio se climatizzati.	Non c'è rischio di attacco da funghi; rischio di attacco da insetti.

Capitolo 2 - Biodegradamento, durabilità e preservazione

<i>Classe di utilizzo</i>	<i>Ambiente</i>	<i>Esempio</i>	<i>Rischio</i>
2	Situazione in cui il legno è riparato, completamente protetto dagli agenti atmosferici ma in cui un'elevata umidità ambientale può determinare umidificazione occasionale ma non persistente, non è a contatto con il terreno. Umidità del legno occasionalmente superiore al 20%.	Ambienti interni con umidità dell'aria occasionalmente alte (superiore all'85%): Elementi all'esterno ma riparati dalle intemperie, in climi umidi e occasionalmente in vicinanza ma non a contatto di acqua persistente. Cantine, locali umidi poco areati; coperture di piscine e palazzi del ghiaccio non adeguatamente climatizzati; ponti coperti su corsi d'acqua.	Moderato rischio di attacco da funghi; rischio di attacco da insetti.
3	Situazione in cui il legno non è riparato dagli agenti atmosferici o comunque è soggetto a umidificazione frequente, non è a contatto con il terreno. Umidità del legno frequentemente superiore al 20%.	Elementi esposti alle intemperie ma non a contatto con acqua stagnante o terreno: Elementi esposti di tettoie e ponti dove comunque l'acqua può defluire e non stagnare. Cantine, locali umidi poco areati, coperture di serbatoi; coperture di piscine e palazzi del ghiaccio non climatizzati.	Rischio di attacco da funghi; rischio di attacco da insetti.
4	Situazione in cui il legno si trova a contatto con il terreno o con acqua dolce ed è pertanto permanente esposto all'umidificazione. Umidità del legno permanentemente superiore al 20%.	Elementi a contatto col terreno, elementi a contatto o immersi in acqua dolce: Pali, staccionate, arredo per parchi o giardini, sponde fluviali, parti di strutture racchiuse in bicchieri o "trappole di umidità".	Rischio di attacco da funghi; rischio di attacco da insetti.

<i>Classe di utilizzo</i>	<i>Ambiente</i>	<i>Esempio</i>	<i>Rischio</i>
5	Situazione in cui il legno si trova permanentemente esposto all'acqua salata. Umidità del legno permanentemente superiore al 20%.	Elementi immersi o parzialmente immersi in acqua salata: Pontili, pali da ormeggio.	Rischio di attacco da organismi marini, rischio di attacco da funghi; rischio di attacco da insetti.

Nelle piscine è prescritta una umidità dell'aria inferiore al 70% che si ottiene attraverso una adeguata ventilazione o deumidificazione (vedere anche Figura 2.3); tuttavia tale prescrizione è limitata al periodo di utilizzo dell'impianto natatorio. Durante le ore o i giorni di non utilizzo, generalmente l'impianto di climatizzazione non viene attivato per risparmiare energia e l'umidità dell'aria può superare l'85% anche per lunghi periodi. Per tale motivo le coperture delle piscine possono essere in classe di utilizzo 1, 2 o 3 in base alle modalità di climatizzazione. Una indicazione che il Progettista dovrebbe prescrivere è che la climatizzazione deve essere permanente al fine di non superare mai l'85% di umidità dell'aria; in questo caso è possibile considerare la struttura in classe di utilizzo 1 e conferire correttamente durabilità all'opera. Fare comunque attenzione ai ponti termici ed al rischio condensa (vedere Figura 2.2). Discorso analogo vale per le coperture dei palazzi del ghiaccio ed in generale per tutte quelle attività in cui esistono importanti superfici di acqua e l'umidità dell'aria può superare facilmente l'85%.

Elementi in classe di utilizzo 1, 2 o 3 possono avere parti in classe 4; ad esempio una tettoia esterna coperta può essere in classe di utilizzo 2 ma se i pilastri alla base sono infilati in bicchieri la pioggia di stravento può provocare per periodi più o meno lunghi la permanenza del legno a contatto con acqua e quindi classe di utilizzo 4.

Nel caso delle travi di solaio o di copertura degli edifici civili (classe di utilizzo 1) è possibile che gli appoggi a muro possano bagnarsi a causa di percolazioni esterne o per la rottura di tubi d'acqua, in tal caso le testate vanno in classe di utilizzo 4 ma per cause eccezionali che non dipendono dal normale utilizzo. Diverso è il caso dell'umidificazione delle testate a causa di condensa, in tal caso, se il progetto non prevede adeguata eliminazione dei ponti termici e ventilazione delle testate, il legno va considerato in classe di utilizzo 4.

Si faccia attenzione a non confondere la *classe di utilizzo* con la *classe di servizio* definita in EN 1995-1-1 (vedere anche paragrafo "1.4 Relazioni legno-acqua"); in via generale si può affermare che:

- elementi in classe di utilizzo 1 possono essere in classe di servizio 1 o 2;
- elementi in classe di utilizzo 2 possono essere in classe di servizio 2 o 3;
- elementi nelle classi di utilizzo 3, 4 e 5 sono in classe di servizio 3.

2.6 SPECIE LEGNOSE E DURABILITÀ NATURALE

Le caratteristiche di durabilità naturale e di impregnabilità² sono fornite in:

- EN 350-2: "Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Durabilità naturale del legno massiccio. Guida alla durabilità naturale e trattabilità di specie legnose scelte di importazione in Europa".

La norma, pur riferendosi in generale al legno massiccio, può essere applicata anche al legno lamellare incollato in mancanza di norme specifiche per esso, in quanto nei confronti della durabilità agli attacchi biologici il legno lamellare incollato si comporta come il legno massiccio, a parità di specie legnosa.

Nel seguito la durabilità naturale sarà descritta nel seguente modo:

Classificazione della durabilità naturale nei confronti dei funghi cariogeni, riferita al solo durame	
<i>Classe di durabilità</i>	<i>Descrizione</i>
1	molto durabile
2	durabile
3	moderatamente durabile
4	poco durabile
5	non durabile
L'alburno di qualunque specie legnosa è sempre da considerarsi in classe 5 (non durabile).	

² La EN 350-2 fornisce le seguenti definizioni:

durabilità naturale Resistenza propria del legno agli attacchi degli organismi lignivori (vedere EN 350-1).

Impregnabilità Facilità con cui il legno può essere penetrato da un liquido (per esempio un preservante del legno).

Capitolo 2 - Biodegradamento, durabilità e preservazione

Classificazione della durabilità naturale nei confronti degli insetti (Hylotrupes, Anobium, Lyctus, Hesperophanes), ad esclusione delle termiti ed organismi marini	
<i>Classe di durabilità</i>	<i>Descrizione</i>
R	resistente
NR	non resistente
Il durame generalmente è resistente nelle specie legnose a durame differenziato.	

Classificazione della durabilità naturale nei confronti delle termiti	
<i>Classe di durabilità</i>	<i>Descrizione</i>
R	resistente
MR	moderatamente resistente
NR	non resistente
L'alburno di qualunque specie legnosa è sempre da considerarsi in NR (non resistente).	

Classificazione dell'impregnabilità		
<i>Classe di impregnabilità</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Spiegazione</i>
1	impregnabile	Facile da impregnare; i segati possono venire penetrati completamente senza difficoltà mediante trattamento a pressione.
2	moderatamente impregnabile	Abbastanza facile da impregnare; normalmente non è possibile una penetrazione completa ma con un trattamento a pressione di 2÷3 ore si può raggiungere una penetrazione laterale di 6mm nelle conifere e una penetrazione più ampia nelle latifoglie.
3	poco impregnabile	Difficile da impregnare; un trattamento a pressione di 3÷4 ore permette solo una penetrazione laterale compresa tra 3 e 6mm.
4	non impregnabile	Virtualmente impossibile da impregnare; penetrazione laterale e longitudinale minima.

Spessore dell'alburno nelle piante adulte	
<i>Classe di durabilità</i>	<i>Descrizione</i>
<2cm	molto sottile: inferiore ai 2cm
2÷5cm	sottile: da 2 a 5cm
5÷10cm	medio: da 5 a 10cm
>10cm	ampio: maggiore di 10cm
x	non c'è distinzione netta fra alburno e durame
(x)	generalmente non c'è distinzione netta fra alburno e durame

Note	
<i>Nota</i>	<i>Descrizione</i>
v	la specie mostra un livello di variabilità molto elevato
nd	dati disponibili insufficienti

Si riportano di seguito le indicazioni sulle specie legnose maggiormente utilizzate per le strutture. L'elenco non è esaustivo; nelle norme citate è possibile trovare indicazioni relative ad ulteriori specie legnose.

Capitolo 2 - Biodegradamento, durabilità e preservazione

Numero da EN350-2	Nome	Degrado biologico						Impregnabilità		Larghezza alburno cm	
		Funghi (alburno sempre c.i.5)	Hylotrupes		Anobium		Termiti (alburno sempre NR)				
		dur	dur	alb	dur	alb	dur	dur	alb		
<i>Conifere</i>											
2.1	Abete bianco	4	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2-3	2 v	x
2.7	Abete rosso	4	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3-4	3 v	x
2.6	Larice	3-4	R	NR	R	NR	NR	NR	4	2 v	2÷5
2.12	Pino nero	4 v	R	NR	R	NR	NR	NR	4 v	1 v	>5
2.16	Pino silvestre	3-4	R	NR	R	NR	NR	NR	3-4	1	2+10
2.17	Douglasia	3-4	R	NR	R	NR	NR	NR	4	2-3	2+5
(*)	Cipresso	2	R	NR	R	NR	R	R	nd	nd	nd
<i>Latifoglie</i>											
3.22	Castagno	2	R	R	R	NR	MR	MR	4	2	2+5
3.79	Pioppo	5	R	R	R	NR	MR	MR	3 v	1 v	x
3.85	Quercia cerro	3	R	R	R	nd	MR	MR	4	1	>10
3.86	Quercia rovere	2	R	R	R	NR	MR	MR	4	1	2+5
3.89	Robinia	1-2	R	R	R	NR	R	R	4	1	<2
3.104	Olmo	4	R	R	R	NR	NR	NR	2-3	1	2+5
<i>Latifoglie tropicali</i>											
3.3	Doussié	1	R	R	R	nd	R	R	4	2	2+5
3.29	Brasralocus	2 v	R	R	R	nd	MR	MR	4	2	2+5
3.57	Merbau	1-2	R	R	R	nd	MR	MR	4	nd	5+10
3.62	Azobé	2v	R	R	R	nd	R	R	4	2	2+5
3.66	Iroko	1-2	R	R	R	nd	R	R	4	1	5+10
3.68	Bilinga/Opepe	1	R	R	R	nd	R	R	2	1	2+5
3.77	Afromosia	1-2	R	R	R	nd	R	R	4	1	<2
3.73	Greenheart	1	R	R	R	nd	R	R	4	2	2+5
3.90	Balau	2	R	R	R	nd	R	R	4	1-2	2+5
3.92	Meranti	2-4	R	R	R	nd	MR	MR	4 v	2	2+5
3.97	Teak/Teck	1-3	R	R	R	nd	MR- NR	MR- NR	nd	nd	nd

(*) il cipresso non è presente nella EN 350, i dati riportati sono di letteratura [1] [2] [3].

L'Afromosia è una specie in via di estinzione, pertanto il suo utilizzo è e deve essere limitato.

In commercio esistono materiali trattati termicamente per aumentarne la durabilità, tuttavia si consiglia di verificare l'effettiva efficacia del trattamento e che non ci sia stata diminuzione delle proprietà meccaniche.

Nelle specie a durame non differenziato (abete bianco e abete rosso) non ci sono importanti differenze in termini di durabilità ed impregnabilità fra alborno e durame.

Si sottolinea che la maggiore facilità di impregnazione è anche indice della permeabilità all'acqua, pertanto specie legnose facilmente impregnabili risultano anche più rapide all'assorbimento dell'acqua; questo fatto influisce direttamente sulla durabilità in funzione delle condizioni di esposizione come sarà meglio precisato in seguito.

La resistenza agli organismi marini perforanti è attualmente data dalla norma EN 350-2 solo per alcune specie tropicali in quanto le specie legnose europee non sono adatte alla classe di utilizzo 5:

Classificazione della durabilità naturale nei confronti degli organismi marini perforanti del durame		
<i>Numero EN350-2</i>	<i>Nome</i>	<i>Resistenza</i>
5.1 (3.77)	Afromosia	MR - moderatamente resistente
5.2 (3.62)	Azobé	MR - moderatamente resistente
5.3 (3.29)	Brasalocus	R - resistente
5.4 (3.68)	Bilinga/Opepe	MR - moderatamente resistente
5.5 (3.73)	Greenheart	R - resistente
5.7 (3.97)	Teack/Teck	MR - moderatamente resistente
L'alborno di qualunque specie legnosa è sempre da considerarsi NR (non resistente).		

2.7 LA SCELTA DELLA SPECIE LEGNOSA IN FUNZIONE DELL'UTILIZZO

Nei paragrafi precedenti sono state definite le classi di utilizzo (o rischio biologico) e la durabilità naturale del legno.

La scelta della corretta specie legnosa in funzione della classe di utilizzo e/o la necessità di ricorrere a trattamento preservante è stabilita nella:

- EN 460 "Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Durabilità naturale del legno massiccio. Guida ai requisiti di durabilità per legno da utilizzare nelle classi di rischio".

La norma, pur riferendosi in generale al legno massiccio, è applicabile anche al legno lamellare incollato, in quanto nei confronti della durabilità agli

attacchi biologici il legno lamellare incollato si comporta come il legno massiccio, a parità di specie legnosa.

Si noti che la norma parla di "classi di rischio" ma si riferisce alle "classi di utilizzo" così come definite nelle EN 335-1 e EN 335-2.

Il problema della adeguatezza di una specie legnosa alla classe di utilizzo va visto in funzione dell'organismo xilofago degradante, pertanto nel seguito sarà analizzato il problema scindendolo a seconda dell'agente degradante.

Le indicazioni circa la possibilità di utilizzo si riferiscono a durata in opera del legno generalmente accettabile. Qualora si voglia ottenere una maggiore durata in opera, ad esempio per elementi strutturali principali di difficile sostituzione e difficile manutenzione o per opere alle quali si voglia conferire lunga vita in servizio, è necessario utilizzare specie legnose più resistenti rispetto a quanto di seguito esposto. Se invece è sufficiente una durata in opera breve, ad esempio per strutture temporanee o per elementi per i quali è prevista la sostituzione nel tempo, possono essere utilizzate specie legnose di durabilità inferiore di quanto di seguito esposto.

In generale elementi non strutturali, elementi le cui conseguenze di rottura non sono importanti e per i quali il degrado non ha importanza dal punto di vista estetico, possono essere realizzati anche con specie legnose la cui durabilità è inferiore a quanto verrà detto, sapendo però che il materiale subirà degrado.

2.7.1 Requisiti nei confronti dei funghi xilofagi

Nella lettura del prospetto seguente ricordarsi che l'alburno di tutte le specie è considerato non durabile (classe di durabilità 5), pertanto solo in classe di utilizzo 1 è possibile utilizzare legno contenente durame senza protezione e/o trattamento. In alternativa, qualora non si vogliano eseguire trattamenti, è possibile utilizzare legno privo di alburno (disalburnato) oppure legno contenente alburno se il degrado dell'alburno è tollerabile ai fini statici e/o estetici. Oppure è possibile ricorrere a trattamenti preservanti eventualmente limitati al solo alburno che generalmente è più facilmente impregnabile del durame.

<i>Classe di utilizzo (EN 335)</i>	<i>Classe di durabilità (EN 350)</i>				
	1	2	3	4	5
1 (al coperto asciutto)	Suff	Suff	Suff	Suff	Suff
2 (al coperto con rischio di inumidimento)	Suff	Suff	Suff	A	A
3 (esposto alle intemperie)	Suff	Suff.	A	B	B
4 (a contatto con terreno o acqua dolce)	Suff	A	C	Non suff	Non suff
5 (in acqua di mare)	Suff	C	C	Non suff	Non suff

Suff La durabilità naturale è sufficiente per la classe di utilizzo, non sono necessari trattamenti preservanti.

A La durabilità naturale è generalmente sufficiente, tuttavia per certi usi in cui il legno è frequentemente in condizioni umide, può essere necessario un trattamento preservante.

B La durabilità naturale può essere sufficiente in funzione della permeabilità della specie legnosa e delle condizioni di esposizione. Questo succede nella classe di utilizzo 3 in cui il legno è soggetto ad inumidimento non persistente ad opera dell'esposizione alla pioggia. Materiali meno permeabili (cioè materiali la cui impregnabilità è bassa come in generale le conifere) sono anche meno permeabili all'acqua, pertanto la pioggia sulle superfici verticali o inclinate tende a scorrere via senza provocare aumento di umidità pericoloso; tuttavia le superfici orizzontali o poco inclinate su cui l'acqua scorre via più lentamente devono essere protette. Legni maggiormente permeabili dovrebbero essere protetti anche lateralmente, ad esempio legni contenenti l'alburno.

C Trattamento preservante normalmente raccomandato; tuttavia per la classe di utilizzo 4 è possibile che in climi secchi, in terreni drenanti e per forme di sezione tali da seccare rapidamente, non sia necessario il trattamento. Potrebbe non risultare necessario il trattamento per la classe di utilizzo 5 per quegli elementi in cui può essere tollerato il degrado.

Non suff Durabilità naturale non sufficiente, trattamento preservante necessario.

Incrociando le regole anzi dette con la durabilità naturale del legno espressa nella EN 350-2 si ha:

<i>Cl. di utilizzo (EN 335)</i>	<i>Specie legnosa (EN 350)</i>
1 al coperto asciutto	Tutte le specie legnose, durame e alburno
2 al coperto con rischio di inumidimento	Durame di Castagno, Cipresso, Quercia cerro e Quercia rovere non necessitano di trattamento preservante. Alburno e durame di Abete bianco, Abete rosso, Larice, Pino silvestre, Pino nero, Douglasia, Pioppo, nonché alburno di tutte le specie legnose potrebbero necessitare di trattamento preservante se in ambienti frequentemente umidi.
3 esposto alle intemperie	Durame di Castagno, Cipresso e Quercia rovere non necessitano di trattamento preservante. Durame di Larice, Pino silvestre, Douglasia e Quercia cerro potrebbero necessitare di trattamento preservante se in climi umidi e piovosi e/o se non protetti contro i ristagni di umidità e se non è assicurato il rapido deflusso delle acque. Alburno e durame di Abete bianco, Abete rosso, Pino nero, Pioppo, nonché alburno di tutte le specie legnose necessitano di trattamento preservante se non protetti contro i ristagni di umidità e se non è assicurato il rapido deflusso delle acque.
4 a contatto con terreno o acqua dolce	Durame di Castagno, Cipresso e Quercia rovere potrebbero necessitare di trattamento preservante se non protetti contro i ristagni di umidità e se non è assicurato il rapido deflusso delle acque. Durame di Larice, Pino silvestre, Douglasia e Quercia cerro dovrebbero essere sottoposti a trattamento preservante ad eccezione di quegli elementi in cui può essere tollerato il degrado. Alburno e durame di Abete bianco, Abete rosso, Pino nero, Pioppo, nonché alburno di tutte le specie legnose necessitano di trattamento preservante.
5 in acqua di mare	Durame di Larice, Pino silvestre, Douglasia, Castagno, Cipresso, Quercia cerro e Quercia rovere dovrebbero essere sottoposti a trattamento preservante ad eccezione di quegli elementi in cui può essere tollerato il degrado. Alburno e durame di Abete bianco, Abete rosso, Pino nero e Pioppo, nonché alburno di tutte le specie legnose necessitano di trattamento preservante.

Nella precedente tabella il durame del Larice, del Pino silvestre e della Douglasia sono stati considerati in classe di durabilità 3 nei confronti degli attacchi da funghi xilofagi; alcune provenienze dovrebbero essere

considerate di classe 4 e quindi trattate come gli Abeti.

2.7.2 Requisiti nei confronti degli insetti coleotteri xilofagi

Il rischio di attacco da insetti c'è in tutte le classi di utilizzo, pertanto le specie legnose classificate NR (non resistente) devono essere trattate con preservante.

Generalmente l'alburno è sempre NR, pertanto andrebbero usati materiali disalburnati o con alburno sottoposto a trattamento preservante.

Si può utilizzare materiale non trattato con preservante qualora sia tollerata la possibilità di attacco, ad esempio per elementi non portanti e non rilevanti ai fini estetici.

Da rilevare però che le classi di utilizzo non tengono conto delle particolari condizioni ambientali (temperatura e umidità ed in generale fattori climatici) che influenzano molto la vita degli insetti xilofagi, pertanto il maggiore o minore rischio e di conseguenza la necessità di ricorrere a trattamento preservante dovrebbe essere oggetto di approfondimento.

La presenza di rivestimenti e protezioni superficiali quali le vernici, gli impregnanti superficiali ed i rivestimenti in cartongesso o cappotti, possono rendere difficoltosa o impossibile la deposizione delle uova sulla superficie del legno eliminando il rischio di attacco e rendendo superfluo il trattamento preservante.

E' noto che il rischio di attacco da *Hylotrupes bajulus* per le conifere e di *Lyctus* nelle latifoglie non resistenti si riduce progressivamente con l'età del legno a causa del degrado nel tempo di alcune sostanze nutritive per gli insetti rendendo il legno praticamente immune da nuovi attacchi se sono passati almeno 80 anni dall'abbattimento della pianta.

2.7.3 Requisiti nei confronti delle termiti

Il rischio di attacco da termiti dipende dalla regione in quanto le termiti sono presenti solo in alcune zone del territorio italiano.

Inoltre, essendo le termiti animali sociali che nidificano nella terra, fotofobici, riescono ad attaccare solo legno raggiungibile dal terreno rimanendo protette dalla luce, pertanto generalmente legno lontano dal terreno (solai e coperture) è praticamente immune dall'attacco.

Per i motivi anzi detti, il pericolo di attacco da termiti dovrebbe essere oggetto di approfondimento.

Dove c'è pericolo di attacco da termiti può essere utilizzato senza trattamenti preservanti solo il durame di specie legnose classificato R (resistente) o MR (moderatamente resistente) quest'ultimo solo se è tollerato il rischio di attacco in relazione alla funzione dell'elemento.

2.7.4 Requisiti nei confronti degli organismi marini perforanti

Dove c'è pericolo di attacco da organismi marini perforanti può essere utilizzato senza trattamenti preservanti solo il durame di specie legnose classificato R (resistente) o MR (moderatamente resistente) quest'ultimo solo se è tollerato il rischio di attacco in relazione alla funzione dell'elemento.

2.8 TRATTAMENTI PRESERVANTI

Qualora si voglia utilizzare una specie legnosa la cui durabilità naturale non è sufficiente in relazione alle norme su esposte, bisogna ricorrere a trattamento preservante da scegliersi in conformità alle norme:

- EN 351-1 "Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno - Legno massiccio trattato con i preservanti - Classificazione di penetrazione e ritenzione del preservante";
- EN 599-1 "Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno - Prestazioni dei preservanti del legno, utilizzati a scopo preventivo, determinate mediante prove biologiche - Specifiche secondo le classi di rischio.

Il legno è un materiale impermeabile (con esso si fanno le botti, le scandole che si utilizzano in alternativa alle tegole), si bagna ma difficilmente si riesce a far penetrare in esso una sostanza liquida, questo è il grosso limite dei trattamenti preservanti.

Esistono tuttavia alcune specie legnose, come il pino, che hanno una scarsa durabilità naturale ma che risultano permeabili alle sostanze preservanti.

I trattamenti possono essere *preventivi* o *curativi*.

2.8.1 Trattamenti preventivi

I trattamenti preventivi si fanno generalmente in stabilimento mediante impregnazione (per le specie impregnabili come il pino) o superficiali a pennello per le specie legnose non impregnabili (come l'abete).

I trattamenti superficiali contro gli insetti generalmente sono a base di sostanze quali la permotrina o i sali di boro, riescono a penetrare solo di qualche millimetro, tuttavia tale penetrazione è sufficiente ad uccidere la

larva appena nasce in quanto l'uovo generalmente è posato in prossimità della superficie del legno. Qualora il trattamento venga fatto su legno fresco non ancora o poco fessurato, le fessure da ritiro che si apriranno dopo il trattamento risulteranno non protette e quindi ottimo luogo per l'insetto adulto per deporre le uova; il trattamento quindi deve essere ripetuto dopo l'apertura delle fessure proprio in corrispondenza di queste. Il trattamento ha comunque efficacia limitata nel tempo, pertanto ogni circa 10 anni dovrebbe essere ripetuto (seguendo comunque le istruzioni contenute nella documentazione accompagnatoria fornita dal produttore del preservante stesso).

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

I trattamenti profondi, efficaci sia contro i funghi che gli insetti, si conferiscono in autoclave per immersione mediante cicli di vuoto e pressione al termine dei quali si ottiene un materiale impregnato con le sostanze preservanti anche in profondità. È il caso dei pali per linee aeree o degli arredi da giardino, spesso realizzati con pino impregnato in autoclave, che resistono per alcune decine di anni a contatto col terreno, cioè in classe di rischio elevata.

2.8.2 Trattamenti curativi

Contro gli attacchi da insetti in corso esistono trattamenti con gas velenosi o con le atmosfere modificate ai quali si ricorre solo in casi eccezionali essendo molto costosi e difficoltosi da utilizzare. Si possono utilizzare i trattamenti a pennello o con gel che impediscono la formazione di nuove larve, tuttavia le larve già all'interno del legno continueranno a lavorare fino allo sfarfallamento.

Contro l'attacco da funghi della carie l'unico intervento risolutivo è la rimozione della causa dell'umidità; un eventuale trattamento a pennello non ha grande efficacia se continuano a permanere le condizioni di umidità elevata.

Dopo aver bloccato il degrado e rimosse le cause andrà valutata la necessità di intervenire con interventi di consolidamento.

Dissesti e degrado strutturale

3.1 PREMESSA

Sotto la voce “dissesti e degrado strutturale” ci sono tutti quei casi di malfunzionamento o rottura non causati da degrado biologico ma da eccessivo carico, rotture causate dal ritiro e rigonfiamento, errori nei giunti e in generale carenze strutturali.

3.2 DELAMINAZIONE

La delaminazione è un problema proprio degli elementi di legno lamellare incollato, causato da alternanza di umido e secco e gradienti di umidità che provocano ritiri e rigonfiamenti spesso non uniformi nella sezione.

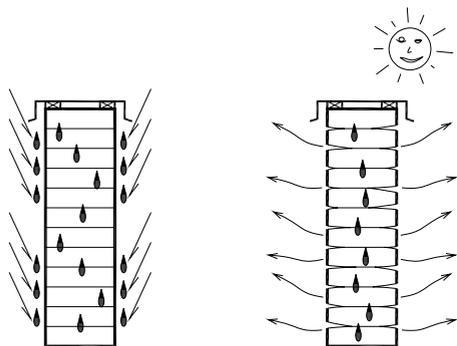


Figura 3.1: A causa dei gradienti di umidità fra interno ed esterno la zona più periferica della sezione si ritira e si trova soggetta ad autotensioni di trazione ortogonale alla fibratura che spaccano la sezione generalmente in zone prossime ai giunti di colla. Il fenomeno può portare anche a fessurazioni passanti.



Figura 3.2: Travate di ponte con visibili delaminazioni parziali.

Ricordiamo che il ritiro e rigonfiamento a seguito delle variazioni di umidità avviene principalmente in direzione ortogonale alla fibratura ed è praticamente trascurabile in direzione parallela.

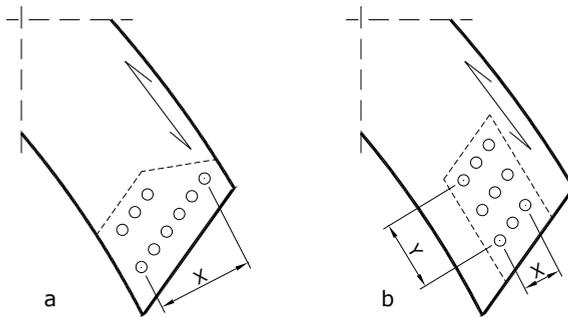


Figura 3.3: a: sbagliato; b: corretto. La struttura in foto mostra una delaminazione passante in corrispondenza del giunto meccanico di imposta dell'arco. I bulloni vincolano il legno alla piastra metallica interna (tratteggiata nel disegno "a") e pertanto lo costringono a non ritirarsi. Maggiore è la distanza X (ortogonale alla fibratura) fra i bulloni estremi e maggiore è il rischio di delaminazione a causa del ritiro impedito. Pertanto bisogna limitare l'estensione X del giunto metallico in direzione ortogonale alla fibratura mentre l'estensione Y in direzione parallela alla fibratura non ha importanza essendo il ritiro e rigonfiamento in direzione longitudinale molto contenuto.

Dal punto di vista strutturale la delaminazione è come una fessura da ritiro, pertanto si rimanda al paragrafo "1.5.1 Influenza delle fessurazioni sulle caratteristiche meccaniche" ricordando che anche per il legno lamellare le norme di calcolo tengono in considerazione l'indebolimento della sezione dovuto alle fessure da ritiro ed alla delaminazione.

3.3 DEGRADO STRUTTURALE

Gli appoggi a muro sono punti particolari e delicati perché in corrispondenza di essi ci sono concentrazioni di tensioni, inoltre la vicinanza con altri elementi strutturali impermeabili può causare ristagni di umidità.

Nel seguito si riportano alcuni esempi, possibili problemi e possibili soluzioni.

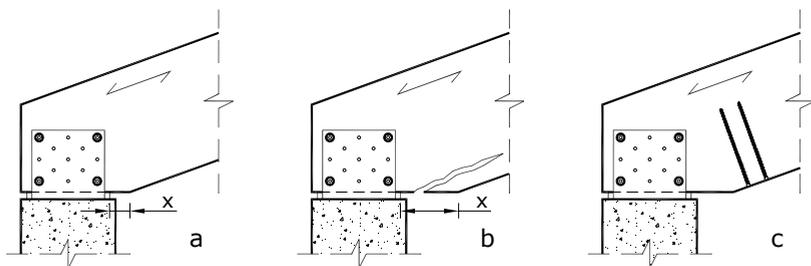


Figura 3.4: a: corretto; b: sbagliato; c: possibile soluzione. Qualora l'elemento arrivi all'appoggio inclinato e venga sagomato per appoggiare in orizzontale, la distanza x deve essere opportunamente limitata per evitare lo spacco del legno a causa dell'insorgere di tensioni di trazione ortogonali alla fibratura. Se proprio non si può ridurre la distanza x è necessario inserire opportuna ferramenta, ad esempio viti a tutto filetto, per riprendere le trazioni ortogonali alla fibratura ed evitare lo spacco; tuttavia l'armatura della trave con elementi metallici ortogonali alla fibratura può comportare problemi di spacco per ritiro, come verrà spiegato più avanti.

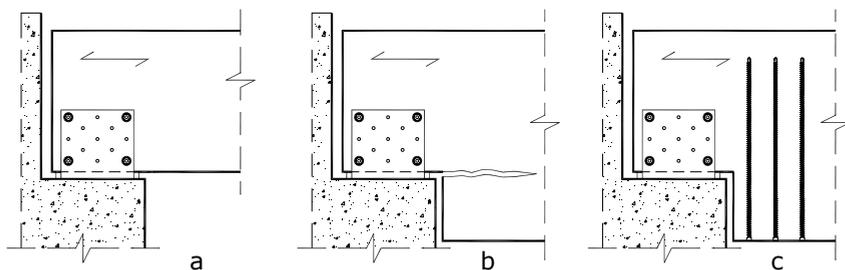


Figura 3.5: a: corretto; b: sbagliato; c: possibile soluzione. Se la sede di appoggio è a quota superiore all'intradosso della trave la lavorazione ad intaglio può causare lo spacco del legno a causa dell'insorgere di tensioni di trazione ortogonali alla fibratura. Una possibile soluzione, se proprio non si può abbassare l'appoggio, è inserire opportuna ferramenta verticale, ad esempio viti a tutto filetto.

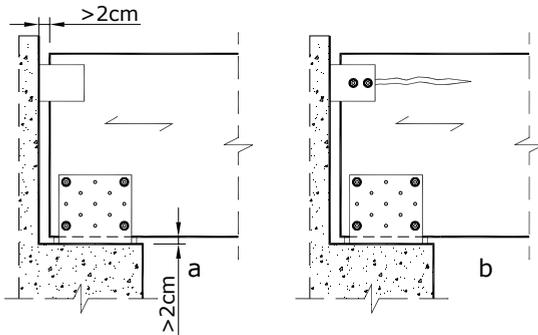


Figura 3.6: a: corretto; b: sbagliato. Nello schema di appoggio semplice di struttura isostatica, schema largamente utilizzato, è necessario vincolare l'estremità superiore della trave contro lo svergolamento (inflexione laterale), tuttavia è necessario consentire la rotazione della testa con conseguente allontanamento ed avvicinamento dello spigolo superiore rispetto alla parete della sede di appoggio; la presenza di unioni meccaniche all'estradosso può innescare lo spacco sia a causa del movimento impedito ma anche a causa del ritiro del legno ortogonalmente alla fibratura. E' sempre necessario lasciare una intercapedine su tutti i lati della testa di almeno 2cm al fine di consentire il deflusso delle acque e scongiurare l'accumulo di sporcizia.

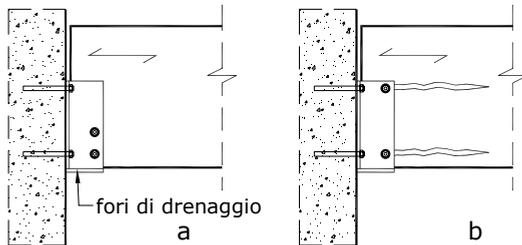


Figura 3.7: a: corretto; b: sbagliato. L'appoggio delle travi su selle metalliche deve essere assicurato con delle viti o bulloni, tuttavia la distanza di questi ortogonalmente alla fibratura deve essere contenuta per evitare lo spacco a causa del ritiro del legno ortogonalmente alla fibratura.

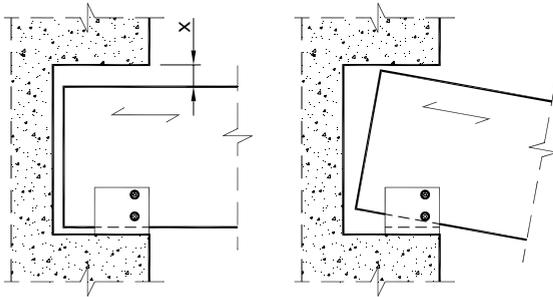


Figura 3.8: La testa della trave, oltre che sui lati, deve essere convenientemente libera anche sull'estradosso (x) in modo che sia a causa del rigonfiamento ortogonale alla fibratura ma anche a causa della importante rotazione in caso di incendio non contrasti con la parete generando danni a quest'ultima.

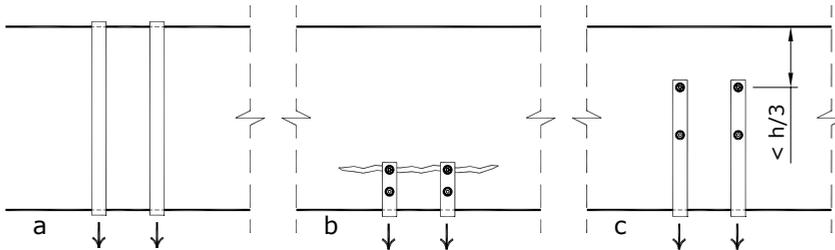


Figura 3.9: a: corretto; b: sbagliato; c: corretto. I carichi appesi devono essere riportati all'estradosso delle travi per evitare il rischio di rottura per trazione ortogonale alla fibratura. Qualora si voglia comunque utilizzare una bullonatura laterale, il primo bullone deve essere distante dall'estradosso non più di $h/3$.

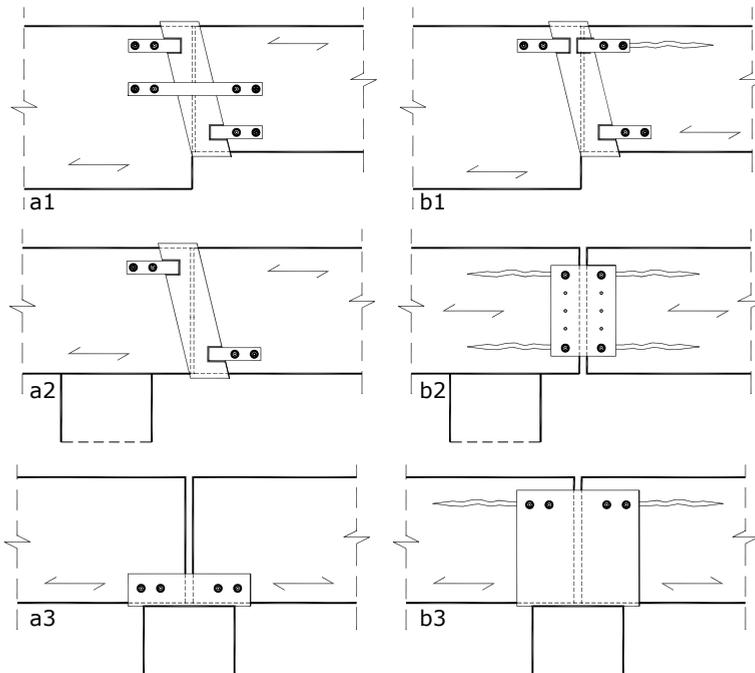


Figura 3.10: a: corretto; b: sbagliato. Elementi trave consecutivi devono essere fissati fra loro per trasferire lo sforzo normale ed il taglio ma lasciati liberi alla rotazione; un eventuale vincolo alla rotazione o viene espressamente progettato per trasferire il momento oppure può essere causa di rottura fragile per spacco.

Problemi importanti di degrado strutturale possono manifestarsi quando si utilizza legno massiccio umido che stagiona in opera: il ritiro legato alla perdita di umidità provoca deformazioni e, in elementi a fibratura deviata, importanti torsioni.

Quando non sono tollerate deformazioni della sezione bisogna utilizzare materiale ad umidità prossima a quella di equilibrio igrometrico con l'ambiente (legno stagionato).

Alcune specie legnose, ad esempio il larice, sono soggette a importanti torsioni durante la perdita di umidità. Quando le torsioni non sono tollerate allora bisogna prescrivere nelle voci di capitolato (oltre naturalmente alla classe di resistenza dell'elemento) anche una limitazione alla deviazione di fibratura. Ad esempio nel larice per non avere importanti torsioni può essere sufficiente non utilizzare materiale con fibratura deviata più del 3%.



Figura 3.11: A causa della stagionatura in opera la trave di banchina messa in opera umida ha ruotato nel tempo. Il travicello non ha più l'appoggio in piano e tenderebbe a scivolare se non ci fosse un efficace unione meccanica (vite o chiodo non visibile nella foto). Anche se il problema strutturale è risolto attraverso l'unione meccanica, resta comunque il problema estetico.

3.4 DEGRADO SUPERFICIALE (WEATHERING)

Per degrado superficiale si vuole intendere quello che interessa la sola superficie del legno.

È dovuto a fattori atmosferici, per questo in inglese prende il nome di *weathering*, quali:

- la luce solare (sia raggi UV che radiazione visibile) che provoca decomposizione della lignina e favorisce l'ossidazione di alcune sostanze con conseguente variazione di colore che generalmente tende al grigio più o meno scuro;
- l'azione di dilavamento della pioggia sulle sostanze estrattive idrosolubili;
- l'umidità che favorisce lo sviluppo di funghi cromogeni, funghi che provocano variazione di colorazione del legno;
- repentine variazioni di temperatura e umidità che provocano fessurazioni superficiali con conseguente disgregazione della superficie;
- l'erosione meccanica di particelle solide portate dal vento;
- l'azione chimica dell'inquinamento atmosferico.

Il risultato è un tipo di degrado che viene stimato in qualche millimetro di profondità ogni secolo, pertanto generalmente ininfluenza ai fini strutturali ma importante dal punto di vista estetico fin dai primi anni di vita della struttura.



Figura 3.12: Questo tavolato di larice esposto all'azione dei fattori atmosferici mostra un decadimento della superficie specialmente a carico della parte primaticcia (più tenera e porosa) degli anelli di accrescimento. Inoltre gli anelli più superficiali nella sezione tangenziale risultano parzialmente distaccati proprio a causa del degrado della parte primaticcia dell'anello.



Figura 3.13: L'azione della luce solare ha provocato ingrigimento del legno maggiormente esposto; ai lati della finestra si notano invece zone meno ossidate in quanto protette dalla luce solare dalle persiane aperte.

3.5 OSSIDAZIONE DEGLI ELEMENTI METALLICI

A differenza del legno che può subire degrado biologico ma generalmente non è soggetto a degrado chimico, le parti metalliche invece sono soggette a ossidazione.



Figura 3.14: Ossidazione di elementi metallici verniciati ai quali non è stata rinnovata la verniciatura nel tempo. In queste condizioni è necessaria la zincatura

L'ossidazione è più pericolosa per gli elementi di piccolo spessore che possono perdere completamente la loro resistenza nel giro di pochi anni, mentre invece elementi di grosso spessore possono avere durata maggiore.

E' bene sottolineare che le porzioni metalliche possono subire col tempo fenomeni di ossidazione non a causa del contatto con il legno, ma a causa dell'acqua di condensa o acqua meteorica che bagna la carpenteria

metallica. Solo alcune specie legnose ricche di sostanze estrattive quali i tannini possono favorire l'ossidazione della carpenteria metallica.

Nel paragrafo "4.4.1 Elementi metallici" saranno illustrate le protezioni superficiali per gli elementi metallici.

C apitolo 4

Dettagli costruttivi

4.1 APPOGGI

Gli appoggi delle strutture di legno sono in generale le parti più delicate dal punto di vista del degrado biologico in quanto possono essere oggetto di "trappole di umidità", cioè ristagno di acqua.

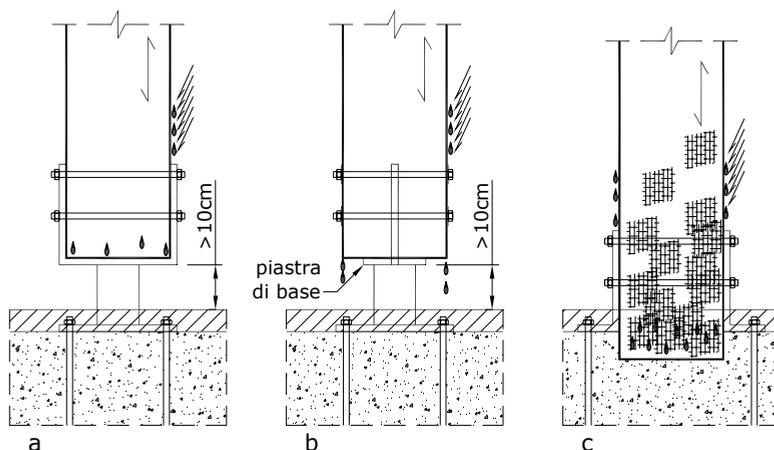


Figura 4.1: a: discutibile; b: corretto; c: sbagliato. I pilastri devono essere convenientemente sollevati dal pavimento finito per evitare che eventuale acqua possa essere assorbita; l'ampiezza della piastra di base deve essere ridotta al minimo indispensabile per diminuire la superficie di contatto tra testa del pilastro e metallo in quanto la superficie di massimo assorbimento di acqua da parte del legno è la sezione ortogonale alla fibratura. La soluzione "c" forma bicchiere e determina "trappola di umidità".



Figura 4.2: Questo è sicuramente il modo peggiore per realizzare l'appoggio a terra di un pilastro. In queste condizioni si forma un vero e proprio bicchiere che trattiene l'umidità e qualunque specie legnosa subisce degrado da funghi della carie in un tempo più o meno breve.



Figura 4.3: Anche se non è mai una buona soluzione prolungare un palo sotto terra, in questo caso il bicchiere è stato realizzato con calcestruzzo fortemente drenante, ovvero povero di inerte fino. Alla base del getto è presente un tubo di drenaggio. In tal modo si favorisce la ventilazione del legno anche al disotto del piano campagna e si evita il ristagno di umidità.

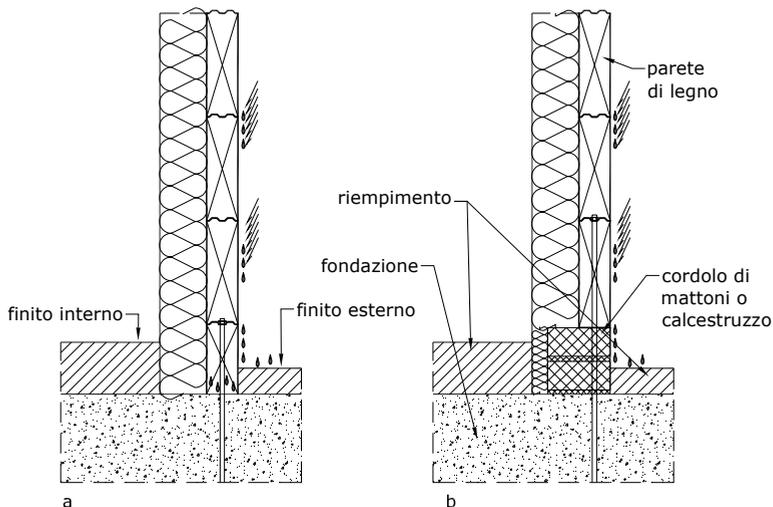


Figura 4.4: a: sbagliato; b: corretto. Un dettaglio importante è la base delle pareti negli edifici di legno; se la parete (platform o log-house o pannello di legno massiccio o altro sistema) viene impostata direttamente sulla fondazione come nel caso "a", i successivi massetti di riempimento e pavimenti realizzano un bicchiere che trattiene l'acqua piovana. È necessario che la parete venga impostata su di un cordolo, di muratura o di calcestruzzo come in "b", ad un livello sicuramente superiore al finito esterno ma è opportuno che lo sia anche rispetto al finito interno. Per le pareti che invece hanno ambedue le facce interne all'edificio tale regola è meno importante in quanto la presenza di acqua alla base del muro di legno è un fatto sporadico per lo più legato a perdite da impianti.



Figura 4.5: I fori di drenaggio alla base delle scarpe metalliche assicurano la ventilazione e il deflusso delle acque. Devono essere sufficientemente ampi da non potersi ostruire.

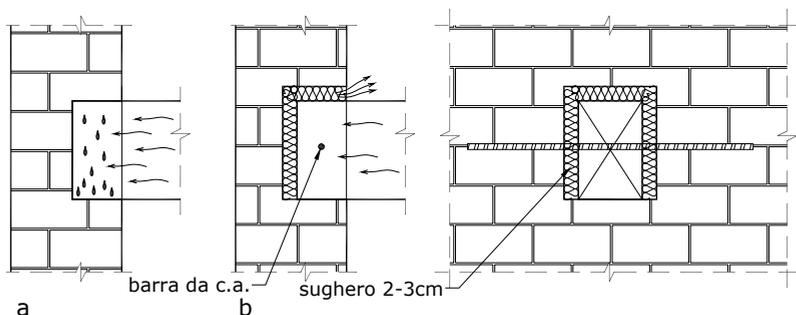


Figura 4.6: a: sbagliato; b: corretto. Gli appoggi a muro delle travi possono bagnarsi sia per umidità del muro che viene dall'esterno ma molto spesso perché l'umidità propria del legno condensa in corrispondenza del muro esterno freddo ed il legno si bagna fungendo da "pompa" che capta l'umidità dell'aria degli ambienti interni e la condensa in testata. Per ovviare a questo fenomeno è sufficiente coibentare la testata con del materiale traspirante, ad esempio il sughero. E' sempre opportuno assicurare la trave al muro contro lo sfilamento mediante una semplice barra di acciaio che unisce legno e muratura, generalmente è sufficiente una barra di diametro di 12 fino a 18mm prolungata nel muro per 30-50cm per lato.

4.2 ELEMENTI DI PROTEZIONE

La maggior causa di aumento di umidità e conseguente marcescenza del legno nelle strutture all'esterno è l'acqua piovana.

Come già detto al paragrafo "1.4 Relazioni legno-acqua", le superfici di maggior scambio di umidità sono quelle di testa, cioè le sezioni ortogonali alla fibratura, dalle superfici laterali lo scambio di umidità (o di acqua liquida) è molto più lento, tuttavia la presenza di fessure da ritiro o microfessure aumenta molto la velocità di scambio. È quindi particolarmente importante evitare il contatto dell'acqua liquida con le sezioni di testa.



Figura 4.7: Protezione delle sezioni di testa e dell'estradosso; questi particolari costruttivi semplici ma efficaci conferiscono molti anni di durabilità alle strutture esposte altrimenti destinate a rapido degrado in pochi anni.

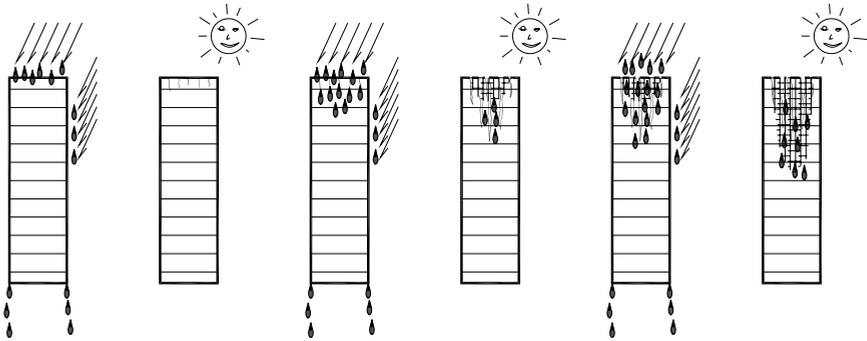


Figura 4.8: L'acqua piovana che investe le superfici laterali delle travi esposte tende a scivolare via bagnando solo la superficie del legno che però si riasciuga velocemente non appena cessa la pioggia. Sull'estradosso invece, essendo orizzontale o poco inclinato, l'acqua piovana tende a ristagnare per molte ore anche dopo che la pioggia è cessata, pertanto il legno si bagna non solo in superficie ma anche in profondità. A seguito del continuo inumidimento ed essiccazione la superficie del legno, in particolare l'estradosso dove il fenomeno è più intenso, tende a fessurarsi, le fessure favoriscono la penetrazione in profondità dell'acqua della pioggia successiva, il legno bagnato in profondità ha maggior difficoltà a riasciugarsi e pertanto inizia l'attacco fungino che genera fessure e cavità più ampie. Il fenomeno descritto, se nei primi 2-3 anni è trascurabile, nei successivi anni si amplifica velocemente portando al degrado di una significativa parte della sezione in un tempo spesso inferiore ai 10 anni. Da notare che generalmente il degrado è interno e lascia le superfici laterali quasi intatte perché queste ultime hanno la possibilità di riasciugarsi e non subire l'attacco fungino, questo fatto inganna l'osservatore inesperto che giudica il degrado semplicemente dall'osservazione delle superfici laterali.

Si ricorda che l'assorbimento di umidità è comunque più rapido della perdita di umidità, pertanto una prima regola fondamentale è consentire il più possibile la ventilazione del legno per favorire la perdita di umidità eventualmente accumulata durante la pioggia o periodi in cui l'aria è molto umida.



Figura 4.9: Il fenomeno descritto in Figura 4.8 è maggiormente sentito nelle grandi sezioni; più le sezioni sono piccole (spessori dell'ordine di 3-4cm) e maggiore è la facilità del legno più profondo di riasciugarsi. Tale regola generale è però smentita dalla foto; in questo caso è la sezione di testa che assorbe velocemente l'acqua piovana ed il degrado, denunciato addirittura dalla presenza del corpo fruttifero del fungo, è concentrato in prossimità delle teste.

La protezione dell'estradosso delle travi esposte aumenta moltissimo la durabilità dell'opera; questa può essere ottenuta sia mediante copertura continua dell'intera opera che mediante protezioni locali.



Figura 4.10: La protezione è ottenuta mediante scossaline metalliche poste all'estradosso e distanziate da questo mediante listelli. Importante anche la forma del lembo inferiore delle lamiere che deve tendere ad allontanare dal legno l'acqua. Nella foto di destra, in assenza di protezione all'estradosso, l'attacco fungino a carico delle travi principali del ponte pedonale, ha portato l'opera fuori servizio in circa otto anni; l'attacco fungino è talmente avanzato che sono visibili anche i corpi fruttiferi del fungo.

In presenza di elementi di piccole dimensioni può essere tollerata anche la mancanza di ventilazione fra l'elemento di protezione e l'estradosso dell'elemento strutturale, questo a condizione che le superfici laterali siano comunque ventilate.



Figura 4.11: La protezione estradossale di elementi sovrapposti può essere ottenuta sia mediante lamiera listellate (foto di sinistra) ma anche mediante guaina bituminosa interposta (foto di centro). Se si utilizza la guaina bituminosa questa deve sporgere da ciascun lato almeno 4cm in modo che per il peso proprio si pieghi quanto basta per allontanare l'acqua piovana. Nella foto di centro la guaina è posta sia sull'estradosso della trave secondaria sotto il tavolato che sull'estradosso della trave principale; il tavolato è opportunamente distanziato per favorire il deflusso dell'acqua. Nella foto di destra la protezione estradossale è ottenuta con nastro impermeabile autoadesivo protetto da una sottile lamina metallica argentata.

Da notare che la protezione dell'estradosso è necessaria per evitare problemi di degrado da parte dei funghi della carie; tuttavia, qualora le superfici laterali del legno possano essere investite dalla pioggia, si avrà degrado superficiale con conseguente ingrigimento della superficie.

Se questo può essere tollerato per le grandi strutture all'aperto, per strutture quali i tetti ciò non è tollerato specialmente se le parti investite dalla pioggia sono solo alcune, ad esempio le estremità delle travi in aggetto, il degrado superficiale porta a differenze cromatiche antiestetiche fra diverse zone della struttura.

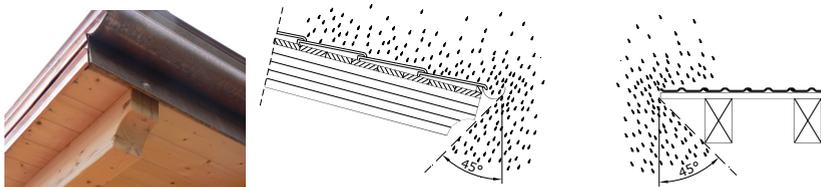


Figura 4.12: Il legno non dovrebbe essere investito dalla pioggia di stravento altrimenti quanto meno potrebbe andare incontro a ingrigimento nella zona esposta. E' necessaria quindi una verifica geometrica come quella rappresentata nei disegni. Il taglio dello spigolo inferiore del travicello non è solo motivo estetico ma serve per allontanarlo dalla pioggia.



Figura 4.13: In questo caso la testa è addirittura in parte esposta alle intemperie, in queste condizioni il problema non è solo estetico ma in pochi anni la struttura potrebbe subire degrado da funghi della carie.

4.3 TRATTAMENTI E PROTEZIONI SUPERFICIALI

In questo capitolo viene affrontato l'argomento del trattamento della superficie del legno con particolare riferimento alle strutture e rivestimenti all'esterno.

Verrà quindi solo fatto un cenno ai prodotti per infissi, porte, mobili, ecc.

4.3.1 Generalità e classificazione

Si parla in generale di prodotti vernicianti per intendere i trattamenti superficiali del legno.

I trattamenti possono avere la funzione:

- protettiva: per contrastare il degrado superficiale da fattori atmosferici (*weathering*) descritto nel paragrafo "3.4 Degrado superficiale";
- protettiva contro lo scambio di umidità: per rallentare o precludere lo scambio di umidità con l'ambiente;
- protettiva per aumentare la durezza superficiale: è il caso delle vernici per parquet o per piani di lavoro;
- estetica: per conferire al legno l'aspetto voluto, ad esempio colorare il legno lasciando intravedere la venatura oppure coprendolo, per uniformare il colore, per conferire al legno una colorazione uniforme e più vicina a quella che assumerà naturalmente nel

tempo, per rendere la superficie più liscia, per conferire al legno un aspetto antico, ecc..

Possono essere del tipo:

- filmante: vernici propriamente dette e pitture; sono prodotti che formano sulla superficie del legno un film (pellicola) continuo; le vernici sono trasparenti o leggermente colorate e lasciano intravedere la venatura del legno, le pitture (laccate e smalti) sono invece coprenti.
- non filmante (o parzialmente filmante); impregnanti e finiture, prodotti che non formano un film sulla superficie del legno in quanto hanno un basso residuo secco.

I prodotti filmanti non sono adatti alle strutture e rivestimenti di edifici specie se all'esterno in quanto le grandi dimensioni degli elementi e le forti sollecitazioni ambientali tendono a spaccare il film non solo perdendo l'effetto estetico ma attraverso le discontinuità del film il legno assorbe umidità che però non viene facilmente smaltita proprio a causa della presenza del film; il risultato è che il film tende a staccarsi dal supporto perdendo rapidamente sia la funzione protettiva che estetica.



Figura 4.14: Questa trave esposta all'esterno è stata trattata con un prodotto eccessivamente filmogeno che risulta parzialmente staccato a distanza di due anni dalla posa.

Inoltre la manutenzione delle superfici trattate con prodotti filmanti è molto più onerosa perché deve comprendere la rimozione meccanica (o chimica) del vecchio film prima dell'applicazione del nuovo.

I prodotti non filmanti hanno il vantaggio di assecondare i movimenti del legno senza distaccarsi dal supporto.

4.3.2 Prodotti per esterni

Si parla dei prodotti impregnanti adatti ad elementi di grandi dimensioni come strutture e rivestimenti di edifici, direttamente o parzialmente esposti alle intemperie (pioggia, umidità ambientale, luce solare).

Sarebbe più corretto parlare di “sistemi impregnanti” in quanto spesso la protezione del legno si ottiene mediante l’applicazione in fasi successive di due o più prodotti (fondi, finiture) sebbene alcuni sistemi sono formati da un unico prodotto da dare in una o più mani.

Un impregnante deve avere principalmente le seguenti caratteristiche:

1. proteggere la superficie contro l’azione degradante della luce, questo si ottiene con gli impregnanti colorati che tuttavia non sono mai coprenti come le pitture ma lasciano intravedere la venatura; esistono anche impregnanti trasparenti con effetto di protezione dalla luce, tuttavia la presenza dei pigmenti migliora la protezione alla luce;
2. resistere esso stesso all’azione degradante della luce;
3. rallentare lo scambio di umidità con l’ambiente ma non precluderlo, deve consentire il rapido scivolamento dell’acqua piovana ma essere traspirante nei confronti dell’umidità interna che deve poter uscire;
4. uniformare il colore o esaltare la venatura, in particolare contrastare le differenze cromatiche che si formerebbero nel tempo fra zone più o meno esposte; alcune specie legnose ricche di tannini, ad esempio il castagno, sono soggette al dilavamento dei tannini che provoca macchie scure superficiali, pertanto una tinta scura data fin dall’inizio ne uniforma il colore;
5. proteggere dal degrado superficiale da parte di muffe e funghi ed insetti attraverso la presenza di biocidi nel formulato.

La manutenzione è generalmente più semplice rispetto ai prodotti filmanti in quanto generalmente è sufficiente semplicemente spazzolare la superficie prima di riapplicare il prodotto.



Figura 4.15: Il larice tende a diventare grigio col tempo ma in maniera non uniforme; questa recinzione è stata trattata con impregnante grigio che, oltre a conferire al materiale una elevata protezione dalla luce solare, ne uniforma il colore e conferisce fin dall'inizio il colore che assumerebbe nel tempo.



Figura 4.16: Il tavolato di larice di rivestimento mostra maggiore ingrigimento nella parte bassa che nella parte alta più protetta dall'azione degli agenti atmosferici. L'impregnante protettivo risulta quasi completamente assente non essendo stato rinnovato negli anni.

Tra gli impregnanti particolarmente adatti alla protezione degli elementi strutturali esposti vi sono quelli a base di cera poiché non formano una pellicola sulla superficie del legno, ben si adattano ai movimenti propri del

legno senza distaccarsi e consentono un rapido scivolamento dell'acqua piovana, oltre a conferire un gradevole aspetto alla superficie.

4.4 GIUNTI

4.4.1 Elementi metallici

La protezione degli elementi metallici contro la corrosione è trattata all'interno dell'Eurocodice 5.

Vengono date prescrizioni in funzione della classe di servizio:

Classe di servizio 1 (elementi all'interno di ambienti riscaldati; umidità del legno non superiore al 12%)	ferramenta speciale di spessore fino a 3mm: zincatura elettrolitica classe Fe/Zn 12c oppure zincatura a caldo classe Z275; nessuna prescrizione su altri elementi
Classe di servizio 2 (elementi all'esterno ma protetti dalla pioggia; umidità del legno non superiore al 20%)	chiodi, viti, rondelle, ferramenta speciale di spessore fino a 5mm: zincatura elettrolitica classe Fe/Zn 12c oppure zincatura a caldo classe Z275; nessuna prescrizione su altri elementi
Classe di servizio 3 (elementi esposti alla pioggia o immersi; umidità del legno superiore al 20%)	chiodi, viti, rondelle, bulloni, spinotti, ferramenta speciale di spessore superiore a 3mm: zincatura elettrolitica classe Fe/Zn 25c oppure zincatura a caldo classe Z350; per spessori fino a 3mm: acciaio inox
Ambienti aggressivi particolari, salini, acidi, ecc.	protezioni adeguate al tipo di ambiente o metalli diversi dall'acciaio

La zincatura elettrolitica fa riferimento alla norma ISO2081; il numero 12 o 25 si riferisce allo spessore minimo di rivestimento di zinco ed è espresso in μm , ovvero millesimi di millimetro.

La zincatura a caldo per immersione fa riferimento alla norma EN10346 che sostituisce la EN10147; il numero 275 o 350 si riferisce alla minima massa totale su ambedue le superfici (la norma fa riferimento alle lamiere) di rivestimento di zinco espressa in g/m^2 ; gli spessori di rivestimento di zinco che ne derivano sono simili a quelli della zincatura elettrolitica.

Nel caso di ferramenta speciale (carpenteria metallica) bisogna fare attenzione ai seguenti aspetti:

- Il processo di zincatura tende a diminuire il diametro dei fori o chiudere totalmente i fori di piccolo diametro; questo accade specialmente con la zincatura a caldo dove localmente possono essere presenti spessori di rivestimento di zinco dell'ordine del millimetro, ben superiori quindi a quelli nominali di alcuni centesimi di millimetro. Durante il montaggio si è costretti ad allargare i fori nell'acciaio col rischio di asportare localmente il rivestimento di zinco. Per ovviare a questo in fase di progettazione di elementi metallici da sottoporre a zincatura a caldo è opportuno aumentare il diametro dei fori sul ferro da 0,5 a 1mm. Sarà da preferire la zincatura elettrolitica per quegli elementi con fori di piccolo diametro (inferiore ai 4mm) che a seguito della zincatura a caldo potrebbero risultare totalmente chiusi.
- Se elementi metallici zincati devono essere saldati in opera è necessario prima della saldatura asportare localmente il rivestimento di zinco (la saldatura ad arco non ha le prestazioni attese se eseguita in presenza di rivestimento di zinco). Successivamente la zona va protetta con vernice idonea, esistono vernici in grado di ripristinare la protezione dando lo stesso colore delle altre parti zincate. È necessario che la scheda tecnica del prodotto riporti l'equivalenza con la classe di zincatura prevista in progetto. È bene limitare al minimo indispensabile le saldature in opera privilegiando le unioni meccaniche.

L'Eurocodice 5 non prevede altre protezioni quali vernici, resine, ecc., tuttavia non è detto che non si possano usare; generalmente sistemi di protezione diversi dalla zincatura sono meno durabili e richiedono la riapplicazione periodica.

4.4.2 Giunti in genere

Il problema che si espone riguarda le superfici di contatto fra diversi elementi nelle strutture esposte.

L'intercapedine che è sempre presente anche se gli elementi vengono montati serrati, consente l'ingresso dell'acqua piovana e ne favorisce il ristagno.

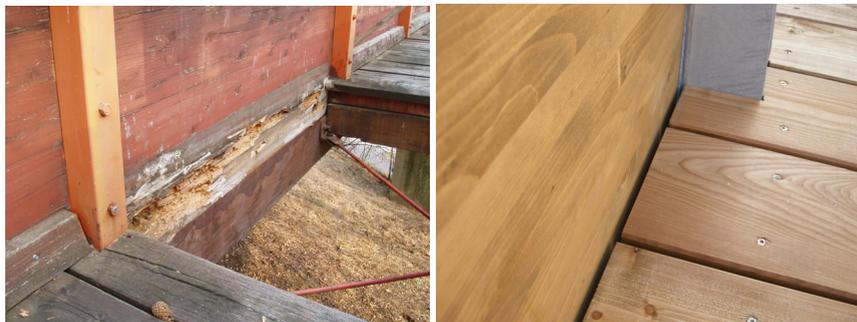


Figura 4.17: Per favorire il deflusso dell'acqua piovana è necessario distanziare gli elementi lignei fra loro; nella foto di sinistra il tavolato era intestato contro la travata principale ed era appoggiato su di un travicello affiancato anch'esso alla travata principale; all'interfaccia fra il travicello e la travata principale l'infiltrazione e ristagno di acqua piovana ha causato in pochi anni importante degrado da attacco fungino sia del travicello che della travata principale. Nella foto di destra il tavolato è montato distanziato dalla travata principale ed il sottostante travicello (evidenziato dalla posizione delle viti) è montato anch'esso distanziato.

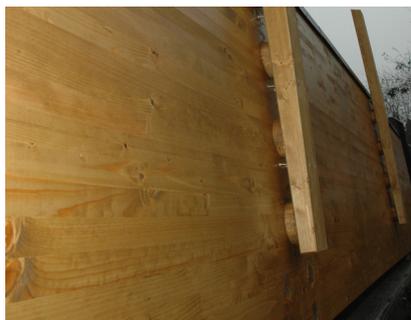


Figura 4.18: Per evitare il contatto e favorire il deflusso dell'acqua piovana, fra i montanti del parapetto e la travata principale sono interposte delle rondelle di legno.



Figura 4.19: Le rondelle metalliche larghe favoriscono il ristagno e l'ingresso dell'acqua piovana nel giunto, è buona norma incassare la testa dei bulloni e chiudere con tappo di legno incollato.



Capitolo 5

Controlli nel tempo

5.1 PREMESSA

Un principio universalmente riconosciuto in campo strutturale che trova concordi tutti gli operatori del settore, siano essi architetti, ingegneri, tecnologi del legno, storici o quant'altro, è la necessità di conoscere nel dettaglio una struttura prima di procedere a qualsiasi azione di recupero conservativo. Tale accordo trova giustificazione nel fatto che, indipendentemente dalla tecnica di consolidamento o manutenzione utilizzata in seguito, argomento invece discusso e spesso fonte di contrasto tra le diverse professionalità, l'indagine conoscitiva preliminare consente di formulare scelte operative corrette, nel pieno rispetto delle intenzioni originali del progettista, programmando e progettando interventi generalizzati o mirati, seguendo comunque criteri di economicità e sicurezza.

Il processo conoscitivo, soprattutto nel caso di edifici storici, spesso necessita dell'interazione di molte professionalità, ma quasi sempre nasce dall'esigenza di conoscere lo stato conservativo ed inizia pertanto con un'indagine diagnostica. La diagnosi³ può essere definita come un'insieme di tecniche non distruttive, visive o strumentali, finalizzate ad individuare eventuali carenze conservative, costruttive o progettuali che rendono parzialmente o totalmente inefficiente o non sicura una struttura.

5.2 APPROCCI DIVERSI ALLA DIAGNOSI

In Italia la conservazione delle strutture lignee è soprattutto indirizzata ai casi diffusi di coperture e solai inseriti in edifici storici in muratura.

L'interesse è quindi rivolto alla diagnosi e al consolidamento di elementi strutturali semplici (travi) o più complessi (capriate) e alla interazione degli orizzontamenti lignei con le strutture murarie portanti, settori dove si sono sviluppate grande esperienza e professionalità. Le strutture lignee, oltre ad assolvere a funzioni statiche, costituiscono superficie o supporto di opere pittoriche, di intaglio o, più in generale di decori dall'alto valore storico-artistico. E' 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

³ Secondo la definizione di Ross & Pellerin, 1991 "La valutazione non distruttiva dei materiali è la scienza che identifica le caratteristiche fisiche e meccaniche di una porzione di materiale senza alterarne le sue possibilità di utilizzo finale".

mantenimento della struttura, ma anche e soprattutto della conservazione degli elementi decorativi.



Figura 5.1: Le strutture lignee storiche caratteristiche in Italia sono soprattutto costituite da coperture e solai con elementi semplici o complessi, come le capriate (foto a sinistra: Cattedrale di Cesena) che molto spesso costituiscono supporto a opere d'arte di valore unico (foto a destra: Cattedrale di Nicosia).

In altri paesi, dove le tipologie strutturali presentano caratteristiche costruttive ed ambientali completamente diverse, le indagini conoscitive possono seguire strade differenti: prendendo ad esempio il Giappone, paese culturalmente molto lontano dall'occidente, ma con una grande tradizione carpentieristica, la conservazione è riferita a eccezionali strutture realizzate interamente in legno, come templi e pagode fino a 50 m d'altezza. In un paese ad altissimo rischio sismico, l'attenzione è soprattutto incentrata sullo studio del comportamento dell'intero organismo strutturale all'azione sismica, anche con prove sperimentali su porzioni di strutture e su modelli di edifici in scala. In tutto ciò, naturalmente, si prendono in considerazione aspetti puramente strutturali, senza fare alcun riferimento a quelli di tipo filologico, legati maggiormente ai principi del restauro.



Figura 5.2: In Giappone gli edifici storici sono rappresentati da eccezionali strutture realizzate interamente in legno ad opera di abili carpentieri (Horyuji; foto 1 Pagoda; foto 2: Kondo)

Diverse tipologie strutturali quindi e diversi contesti ambientali, storici e sociali che hanno inevitabilmente condotto allo sviluppo di approcci differenti che oggi, opportunamente adattati alla luce dei nuovi metodi costruttivi, possono essere impiegati nello studio e nel recupero delle nuove strutture. Le

recenti tecnologie, sviluppatasi nell'arco dello scorso secolo, permettono la produzione di semilavorati di grandi dimensioni, partendo da materiale di piccole dimensioni, o difettoso. In particolare, l'avvento del legno lamellare e dell'LVL (Laminated Veneer Lumber) ha consentito la realizzazione di grandi elementi strutturali adatti alla realizzazione di imponenti strutture lignee, in grado di coprire grandi luci. Un po' come accade per tutti i materiali ed i prodotti di nuova concezione, diagnosi e recupero sono operazioni i cui principi si delineano a distanza di qualche tempo, quando cioè errori nel ciclo di produzione o di progettazione cominciano a manifestare i loro effetti. Nelle grandi strutture lignee moderne, tali effetti cominciano oggi ad essere manifesti ed anche la ricerca applicata, comincia ad interrogarsi su quale sia l'approccio migliore per effettuare gli opportuni controlli e garantire nel tempo l'efficienza delle strutture.

5.3 PRESUPPOSTI PER L'ISPEZIONE E DIAGNOSI - ACCESSIBILITÀ

La conoscenza preventiva della struttura rimane, come già accennato, il nodo fondamentale per la predisposizione di un piano dei controlli. In questa ottica indispensabile è il sopralluogo iniziale e, quando possibile, i colloqui con il progettista e con le maestranze che hanno partecipato alla realizzazione della struttura, fonte spesso inconsapevole di preziose informazioni. Ancor prima della diagnosi è necessario quindi lo studio del progetto sia della struttura nel suo complesso, sia dei dettagli costruttivi, essenziale per poter individuare tutti i punti sensibili su cui concentrare l'attenzione. Non è generalmente necessario infatti indagare completamente ogni singolo elemento di una struttura lignea per poter ottenere risultati esaustivi; se le fasi preliminari nella pianificazione di una campagna di controlli sono state condotte correttamente, da personale tecnico preparato e qualificato, la successiva diagnosi potrà essere condotta solo sugli elementi e sulle porzioni dell'elemento ritenute maggiormente esposte a danni di tipo biotico o meccanico, evitando di eseguire rilievi non significativi per la comprensione di eventuali carenze strutturali.

I punti sensibili da indagare quindi, vengono individuati di volta in volta. Possiamo dire che in generale si parte col porre maggiore attenzione ai punti già descritti nel Capitolo "3 Dissesti e degrado strutturale" per poi estendere il controllo ad altri punti determinati in base alle capacità e all'esperienza del progettista che ha redatto il piano dei controlli o del professionista incaricato di effettuare il controllo.

La fase successiva risulta generalmente quella più difficoltosa. Noti i punti critici è necessario capire come raggiungerli. Nel periodo rinascimentale le strutture erano sempre provviste di un efficiente sistema di percorsi e camminamenti d'ispezione posizionati in punti ben precisi da cui era possibile percepire movimenti o danni verificatisi anche a distanza dal camminamento⁴. Con l'avvento del Barocco si perde più o meno velocemente questa buona consuetudine. E' molto difficile trovare oggi strutture di nuova edificazione in cui questi percorsi siano stati previsti, ma la loro assenza rende generalmente difficoltose le operazioni di controllo o, più spesso, impossibili se non a costi elevati. Si può pertanto affermare che laddove manchi la predisposizione di un qualche percorso o sistema di ispezione specialmente nei punti della struttura soggetti a degrado, sia anche la semplice presenza di un'efficiente linea vita (life line), la progettazione non sia stata completa, non essendo state prese in considerazione la necessità di effettuare un qualsiasi tipo di controllo o di manutenzione a distanza di tempo dal completamento dell'opera.



Figura 5.3: Spesso la necessità di verificare elementi lignei o particolari costruttivi non raggiungibili neppure da ponteggi e bracci mobili, ha costretto ad utilizzare le tecniche di arrampicata o il "lavoro a corda"⁵.

La possibilità quindi di effettuare agevolmente e con costi contenuti un'ispezione per la determinazione dello stato di conservazione e dell'efficienza della struttura, è un concetto che dovrebbe essere preso in considerazione fin dalla progettazione dell'opera, non limitandosi alla realizzazione di percorsi d'ispezione, ma anche prevedendo il programma dei controlli nel "piano di manutenzione" di cui si parlerà nel capitolo 6.

⁴ Sono d'esempio i camminamenti collocati al centro delle capriate al di sopra delle catene che, in alcune chiese maggiori, divengono anche elemento decorativo. 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 dei giunti tra puntone e catena.

⁵ Con "lavoro a corda" s'intende il lavoro svolto da operatori che si muovono, in questo caso sulle strutture di legno, impiegando imbracature, corde, moschettoni, carrucole bloccanti da risalita e discensori di derivazione alpinistica modificati per il lavoro in quota. Queste attrezzature vengono generalmente utilizzate dai Treeclimbers e sono ormai prodotte già modificate e provviste delle necessarie certificazioni CE.

In assenza di tutto ciò il sopralluogo preliminare sarà utile anche prevedere la possibilità d'impiego di ponteggi, bracci mobili con cestelli o, dove non possibile, a predisporre linee vita o punti di ancoraggio temporanei per il lavoro "a corda".

Le *linee vita*, secondo la definizione della norma UNI EN 795 (art. 3.13.3, Classe C), sono "dispositivi di ancoraggio che utilizzano linee di ancoraggio flessibili orizzontali". Sono generalmente costituite da cavi di acciaio a trefoli fissati a punti sicuri della struttura. Sono sicuramente una soluzione semplice ed economica, facili da calcolare ed installare e che, all'occorrenza, se opportunamente dimensionate, consentono di assicurare non solamente l'operatore, ma anche le attrezzature e le strumentazioni necessarie all'indagine. E' però necessario ricordarsi che sono installazioni che necessitano di una opportuna progettazione: troppo spesso si trovano strutture in cui sono predisposte linee vita non idonee, con cavi sottodimensionati, punti di ancoraggio troppo radi o mal fissati alla struttura, o realizzate con materiale non idoneo all'uso (cavi ossidabili, morsetti lenti o non idonei ecc.). è necessario tener sempre presente infatti che qualsiasi operatore esegua un controllo sullo stato di conservazione della struttura, questi si affiderà totalmente alla linea vita che troverà a disposizione, non ponendosi il problema della sua corretta progettazione ed installazione.

5.4 TECNICHE E STRUMENTAZIONI

La notevole esperienza e professionalità sviluppata nel mondo ed in particolare in Italia nel settore della diagnosi sulle strutture lignee ci consentono oggi di trasferire le conoscenze al controllo delle grandi strutture moderne, attraverso l'adeguamento di metodi e l'applicazione di tecniche affinate nell'ispezione delle strutture storiche. L'ispezione visuale, o principale, completata dalle opportune indagini strumentali, costituiscono anche su queste strutture, un metodo valido per la ricerca e valutazione delle carenze strutturali in genere.

5.4.1 Ispezione visuale

Si tratta sicuramente del principale e insostituibile metodo di indagine basato sull'osservazione diretta e ravvicinata dell'elemento ligneo allo scopo di rilevare tutti quei segni corrispondenti a difetti, anomalie e degrado biologico con l'impiego di strumenti semplici quali martello, cacciavite, succhiello, metro, ecc.

Per poter eseguire l'ispezione è necessario quindi che tutti i punti da ispezionare siano raggiungibili nel rispetto delle norme sulla sicurezza, siano puliti e ben illuminati. E' in questa fase inoltre che si esegue, se necessario, un rilievo delle geometrie della struttura ed una verifica delle sezioni e/o dei giunti. Cosa del tutto assente nella diagnosi delle strutture storiche, ma di fondamentale importanza nelle strutture moderne, è il controllo delle zone e degli elementi soggetti a delaminazione. Il fenomeno, descritto nel paragrafo "3.2 Delaminazione", viene misurato e controllato con l'ausilio di uno spessimetro o analoga semplice attrezzatura, ed un metro, rilevando la profondità e l'estensione della fessura aperta e la frequenza con cui si ripete il fenomeno sull'elemento, relazionandolo alle condizioni ambientali, alla presenza di giunti meccanici che possano limitare i movimenti di ritiro e rigonfiamento del legno. L'insieme delle informazioni contribuisce a valutare se il fenomeno può essere attribuito o meno alla qualità dell'incollaggio, se determina indebolimento per l'elemento o per il giunto eventualmente presente ed a stabilirne di conseguenza l'importanza.

5.4.2 Prove strumentali

In campo medico si sente dire che troppo spesso si fa ricorso alle analisi mediche ancor prima di essersi fatti un'idea completa dei sintomi. Sicuramente le analisi mediche sono un importante strumento diagnostico da utilizzare però a seguito di una diagnosi preliminare, basata sull'osservazione diretta del paziente. Anche in campo strutturale si potrebbe fare lo stesso errore, bisogna quindi ricorrere alle prove strumentali solo dopo una approfondita ispezione ed essersi fatti un'idea preliminare di quelle che possono essere le problematiche legate alla struttura. Bisogna ricordare che le prove strumentali sono sempre un mezzo che aiuta il tecnico a comprovare e caratterizzare ciò che è stato individuato durante l'ispezione visiva. Oppure, perché no, smentire.

Nell'ambito della diagnosi delle strutture lignee di grandi dimensioni le tecniche strumentali impiegate ad oggi riguardano generalmente il rilevamento di zone ad alta concentrazione di umidità e/o interessate da carie (degrado da funghi) e/o attacco da insetti, nonché la misura dell'estensione di tali zone.

Rilevamento 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 superiore al 20%, condizione che in una struttura ben progettata non deve verificarsi, se non in maniera temporanea. Diviene allora molto importante determinare il contenuto di umidità, indice di un fenomeno degenerativo in atto. E' 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 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. 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, ma anche all'evoluzione ed all'origine di alcuni processi degenerativi del legno. In particolare la presenza di una più alta umidità interna rispetto all'esterna, potrebbe essere legato ad una importante infiltrazione di acqua dalle teste o, per gravità, da fessurazioni estradossali, o da infiltrazioni e condensazione in corrispondenza di giunti metallici, 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 comunque di più semplice risoluzione.



Figura 5.4: L'igrometro a resistenza.

Lo strumento più comune per la misurazione dell'umidità è l'igrometro elettrico a resistenza, basato sulla correlazione che esiste tra contenuto d'acqua del legno e resistività, per cui a bassa resistività corrisponde un'alta umidità e viceversa. Lo strumento, se utilizzato con elettrodi a stelo isolato, consente agevolmente di rilevare anche i gradienti a diverse profondità.

Rilevamento e misura del degrado biologico

La tecnica attualmente più utilizzata è la "resistografica", che consente l'impiego di uno strumento trasportabile che, con qualche accorgimento, può essere utilizzato anche in condizioni disagiati di lavoro.



Figura 5.5: Il trapano dinamometrico è uno degli strumenti più utilizzati nella diagnosi delle grandi strutture lignee, e consente, con qualche accorgimento, di lavorare in condizioni disagiate senza pregiudizio per la sicurezza dell'operatore che, nell'immagine, è dotato di imbracatura assicurata alla linea vita già presente sulla struttura in quanto prevista in fase di progetto.

Si basa sulla misurazione della resistenza opposta dal legno alla perforazione. Si tratta di un trapano dinamometrico strumentato che misura la resistenza alla foratura (la misura è indiretta in quanto generalmente viene misurata la potenza assorbita dal motore per mantenere costanti i regimi di rotazione e la velocità di avanzamento) di una punta di diametro da 1,5 a 3 millimetri. La resistenza incontrata durante tutta la profondità di avanzamento viene restituita in forma di grafico, tramite una stampante collegata o solidale allo strumento, a seconda del modello utilizzato. Il grafico, denominato generalmente "profilo", riporta sull'asse delle ordinate la resistenza, 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 con esattezza un eventuale danno, cavità o difetto riscontrato all'interno dell'elemento. E' 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 ci consente di indagare elementi strutturali lignei, non solamente in luce, ma anche in corrispondenza degli appoggi o nelle parti estradossali non visibili e, più in generale, nelle parti non visibili dell'elemento.

Il vantaggio di questa tecnica risiede proprio nella possibilità di andare ad indagare parti nascoste, e nei limitati danni prodotti dalla prova: il foro prodotto nel corso di una prova raggiunge infatti i 3 mm di diametro.

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): 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 insetti xilofagi.

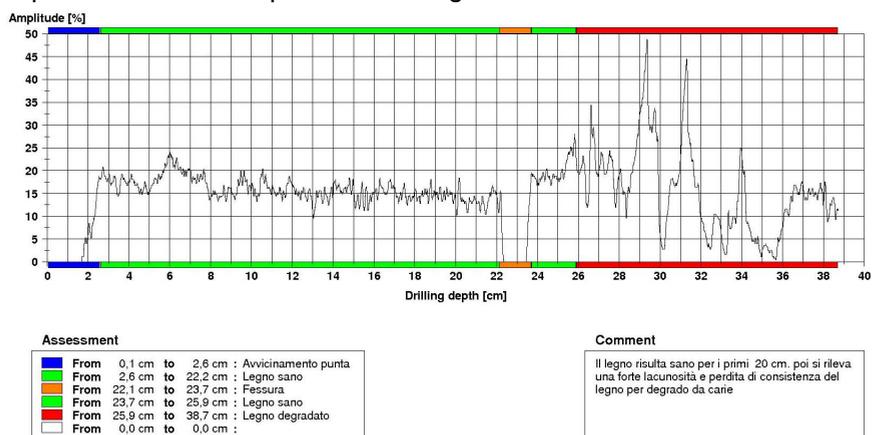


Figura 5.6: Il risultato di una prova con trapano dinamometrico, denominato profilo, consiste in un grafico che rappresenta la consistenza del legno all'interno di una sezione.

Altri tipi di prove

Molte altre prove possono essere effettuate (prove di carico, prove soniche e ultrasoniche, vibrazioni libere e forzate, radiografie, ecc.), il cui impiego è però da considerarsi al di fuori di un'ordinaria ispezione e diagnosi, semmai come ulteriori prove a corredo delle tecniche descritte.

Le prove di vibrazione e le prove di carico hanno utilità per verificare che la struttura si comporti così come previsto dal Progettista in termini di deformazioni ma non forniscono una informazione sul possibile degrado ed evoluzione dello stesso. Essendo il legno materiale elastico lineare fino a rottura, a differenza di quanto avviene sulle strutture realizzate con altri materiali, la prova di carico potrebbe non evidenziare il tratto plastico che precede ed avvisa della imminente rottura, con la conseguenza che non ci si accorge quanto ci si avvicina ad essa; per tale motivo è estremamente pericoloso eseguire una prova di carico senza prima aver fatto una corretta ispezione e diagnosi con i metodi anzi esposti.

Le prove soniche e ultrasoniche, hanno il limite di non poter essere utilizzate in zone non visibili della struttura, ad esempio sulle teste di appoggio ai muri, in quanto necessitano del piazzamento di almeno un'antenna trasmittente e di una ricevente ubicate a cavallo della zona da indagare. Inoltre la velocità delle onde potrebbe essere influenzata sia dalla presenza

di degrado ma anche da inevitabili difetti del legno e discontinuità quali nodi e fessure da ritiro, con la conseguenza che il risultato della prova risulta di dubbia interpretazione.

In linea teorica è possibile eseguire sulle strutture di legno delle indagini radiografiche, tuttavia la difficoltà di allestire la strumentazione in sicurezza ed a costi accessibili praticamente esclude la tecnica radiografica dalle tecniche possibili.



C apitolo 6

Manutenzione

La costruzione di legno non necessariamente richiede più manutenzione rispetto ad altre tipologie costruttive; la corretta progettazione porta a minimizzare la necessità ed i costi di manutenzione.

Il responsabile della manutenzione è il proprietario dell'opera che deve seguire le indicazioni del progettista riportate nel *Piano di manutenzione* a corredo di ciascuna opera.

Fanno parte degli interventi di manutenzione anche l'ispezione e la diagnosi.

6.1 MANUTENZIONE E VITA NOMINALE

La manutenzione può essere ordinaria, o straordinaria; per comprendere meglio la differenza fra le due si riporta quanto detto nel DM 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni":

2.4.1 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.1 e deve essere precisata nei documenti di progetto.

Tabella 2.4.1 – Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

Tipi di costruzione	Vita Nominale V_N in anni
<i>Opere provvisorie, opere provvisionali, strutture in fase costruttiva.</i>	≤ 10
<i>Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.</i>	≥ 50
<i>Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica</i>	≥ 100

Quanto detto dalla normativa citata ha una valenza molto forte: la struttura deve rimanere efficiente per tutta la vita utile con la sola manutenzione ordinaria.

La normativa dice anche le strategie per prevenire il degrado:

2.5.4 Degrado

La struttura deve essere progettata così che il degrado nel corso della sua vita nominale, purché si adotti la normale manutenzione ordinaria, non pregiudichi le sue prestazioni in termini di resistenza, stabilità e funzionalità, portandole al di sotto del livello richiesto dalle presenti norme.

Le misure di protezione contro l'eccessivo degrado devono essere stabilite con riferimento alle previste condizioni ambientali.

La protezione contro l'eccessivo degrado deve essere ottenuta attraverso un'opportuna scelta dei dettagli, dei materiali e delle dimensioni strutturali, con l'eventuale applicazione di sostanze o ricoprimenti protettivi, nonché con l'adozione di altre misure di protezione attiva o passiva.

Il paragrafo della normativa anzi riportato depone la responsabilità della durabilità dell'opera alla corretta progettazione, cioè al progettista.

La normativa non cita la manutenzione straordinaria fra gli interventi che portano l'opera a raggiungere la durabilità richiesta. Non essendo stabilito cosa sia manutenzione ordinaria e cosa straordinaria, può essere il progettista a stabilirlo nel "*Piano di manutenzione*".

6.2 PIANO DI MANUTENZIONE

Il "*piano di manutenzione della parte strutturale dell'opera*" è un documento prescritto dal paragrafo 10.1 del DM 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni".

Come detto dalla Circolare n°617/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008":

Il piano di manutenzione delle strutture è il documento complementare al progetto strutturale che ne prevede, pianifica e programma, tenendo conto degli elaborati progettuali esecutivi dell'intera opera, l'attività di manutenzione dell'intervento al fine di mantenerne nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità, l'efficienza ed il valore economico.

Il piano di manutenzione delle strutture – coordinato con quello generale della costruzione - costituisce parte essenziale della progettazione strutturale. Esso va corredato, in ogni caso, del manuale d'uso, del manuale di manutenzione e del programma di manutenzione delle strutture.

Nonostante si parli di “piano di manutenzione delle strutture” si ritiene che nel piano di manutenzione debbano anche essere date indicazioni sulla manutenzione delle parti non strutturali con funzione protettiva in quanto direttamente legate alla durata ed efficienza della struttura.

Il DPR 207/2010 “Regolamento di attuazione del Codice dei Contratti Pubblici 163/2006” all’art. 33 parla di “*piano di manutenzione dell’opera e delle sue parti*” estendendo quindi per le opere pubbliche il piano di manutenzione anche alle finiture ed impianti; tuttavia in questo capitolo verranno affrontate le sole parti strutturali.

I contenuti minimi del piano di manutenzione, con riferimento alle strutture, sono riassunti nel seguente specchio:

	<i>capitoli</i>	<i>contenuti</i>
piano di manutenzione delle strutture	manuale d’uso	Indicazione sui carichi permanenti non strutturali e carichi variabili dettagliati per ogni locale e copertura. Indicazione sulla posizione ed entità di eventuali carichi concentrati previsti in fase di progetto. Per i ponti deve essere indicata la categoria. Condizioni di temperatura ed umidità da mantenere nei locali.
	manuale di manutenzione	Possibili anomalie riscontrabili e le manutenzioni e/o interventi necessari. Viene indicato il soggetto che può eseguire le manutenzioni.
	programma di manutenzione	Cadenza temporale dei controlli ed interventi di manutenzione. Viene indicato il soggetto che può eseguire i controlli.

Per una descrizione più dettagliata dei contenuti del piano di manutenzione si rimanda all’art. 38 del citato DPR 207/2010.

Qualunque intervento di manutenzione inizia con l’ispezione per valutare lo stato di degrado, la pulizia, il corretto funzionamento e decidere sull’opportunità di eseguire interventi e/o approfondire le indagini.

Il piano di manutenzione cambia in funzione del tipo di opera, in relazione alla classe di utilizzo della struttura o del singolo elemento.

Le schede che seguono riassumono il “manuale di manutenzione” ed il “programma di manutenzione”, vanno intese come di larga massima e devono essere adattate all’opera in funzione delle caratteristiche specifiche di essa, ad esempio nella stessa opera possono esserci parti strutturali da trattare in maniera diversa (zone con elementi esposti e zone con elementi protetti), pertanto il piano di manutenzione dovrà essere scritto caso per caso.

Il tipo di indagine, di intervento e la frequenza indicate in seguito sono anch’esse orientative e dipendenti dalle particolari condizioni, nonché dal comportamento dell’opera nel tempo.

Variazioni al piano di manutenzione possono essere proposte e annotate sul libretto dell’edificio.

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

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

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

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

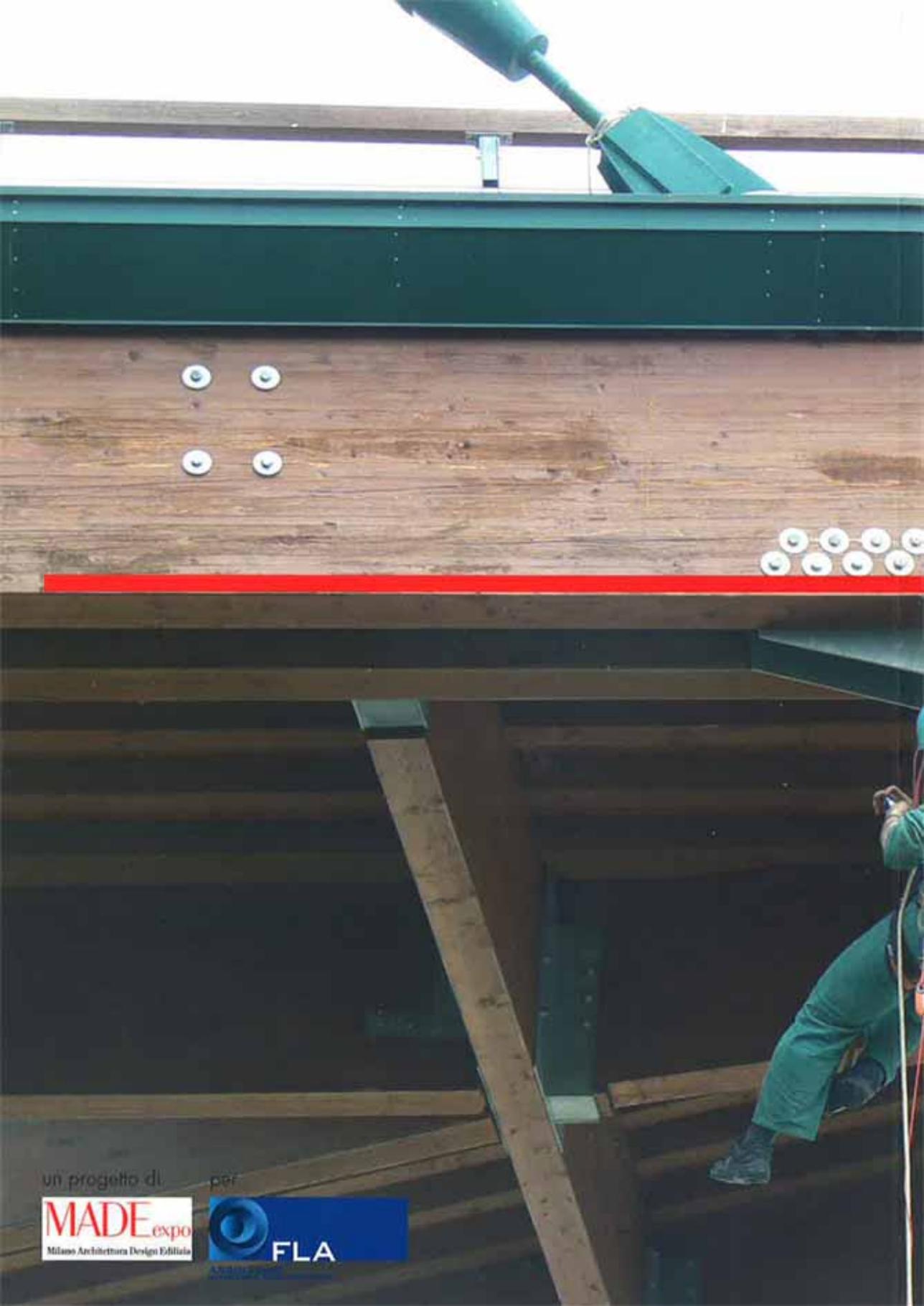
Le schede che seguono sono integrative alle precedenti.

3	<u>Edifici in legno, in caso di sisma.</u>
Dopo evento sismico importante	<p>Ispezioni a cura dell'Ingegnere, eventualmente coadiuvato dal Tecnologo del legno (dopo terremoti di intensità dal grado 6 in poi della scala Richter).</p> <p>Effettuare un controllo puntuale di tutti gli elementi di connessione (in particolare gli elementi di connessione delle pareti) provvedendo, nel caso di elementi di connessione danneggiati (chiodi, viti o piastre metalliche) all'eventuale posizionamento di nuovi elementi accanto a quelli esistenti ad opportuna distanza e con lo stesso numero e tipologia di elementi di collegamento, comunque sulla base di una specifica progettazione. Controllare l'allineamento dei vari elementi e la verticalità delle strutture verticali, eventualmente intervenendo per ripristinare la geometria.</p>

4	<u>Tutte le strutture, in caso di incendio.</u>
Dopo incendio anche parziale	<p>Ispezioni a cura dell'Ingegnere, eventualmente coadiuvato dal Tecnologo del legno (anche dopo incendi parziali o principi di incendio).</p> <p>Occorrerà effettuare un controllo accurato di tutte le sezioni residue (togliendo completamente lo strato carbonizzato) e di tutte quelle apparentemente non interessate dall'incendio fino ad una distanza di almeno 50 cm da quelle interessate, controllando anche l'eventuale deformazione degli elementi di connessione. Occorrerà quindi intervenire con opere di consolidamento con legno o sostituzioni nei casi più gravi e provvedere, nel caso di elementi di connessione danneggiati (chiodi, viti o piastre metalliche) all'eventuale posizionamento di nuovi elementi accanto a quelli esistenti ad opportuna distanza e con lo stesso numero e tipologia di elementi di collegamento, comunque sulla base di una specifica progettazione.</p>

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Guglielmo Giordano "Tecnica delle costruzioni in legno" Quinta edizione – HOEPLI – Milano 2003
- [2] Eric Teissier Du Cros (Coordinatore) "Il Cipresso – Manuale tecnico" Studio Leonardo – Firenze 1999
- [3] Raffaello Nardi Berti "La struttura anatomica del legno" CNR IVALSÀ – Trento 2006
- [4] AAW "Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana" Giunta Regionale Toscana – Firenze 2009
- [5] Maurizio Piazza, Roberto Tomasi, Roberto Modena " Strutture in legno" HOEPLI – Milano 2005
- [6] Franco Bulian "Verniciare il legno" CATAS – Udine 2004
- [7] Roberto Zanuttini "Durabilità biologica dei materiali legnosi" Federlegno-Arredo – Lampi di stampa – Milano 2007
- [8] Gabriele Bonamini, Luca Uzielli, Roberto Zanuttini "Elementi di tecnologia del legno e utilizzazioni forestali" Dispense uso interno del corso di Tecnologia del legno e utilizzazioni forestali dell'Università di Firenze
- [9] Marco Pio Lauriola, Nicola Macchioni, Massimo Mannucci, Mario Moschi "A reliable inspection procedure of existing timber structures: the case of Guarini's towers roofs at Racconigi Castle (Italy)" Proceeding of 15th WCNDT, Roma 2000
- [10] Marco Pio Lauriola, Mario Moschi, Paolo Lavisci, Massimo Mannucci "Recupero di capriate lignee: criteri e tecniche di intervento" – Modulo Dicembre 2004
- [11] Mario Moschi "Le indagini propedeutiche ai lavori di consolidamento delle capriate. La realizzazione degli interventi" in "La chiesa di S. Marco a Firenze una Lunga Stagione di Restauri" Edizioni Polistampa - Firenze 2009
- [12] G. Bonamini, M. Noferi, M. Togni, L. Uzielli "Ispezione e diagnosi in opera" in "Il Manuale del Legno Strutturale" Vol. 1, Mancosu editore - Roma 2001
- [13] Mario Moschi, Massimo Mannucci "Indagine diagnostica sulla struttura lignea della copertura e del controsoffitto" in "La chiesa di S. Marco a Firenze una Lunga Stagione di Restauri" Edizioni Polistampa - Firenze 2009



un progetto di

per

MADE expo
Milano Architettura Design Edilizia

 **FLA**
Associazione