

Building and Construction for Engineers

L'Edilizia

INGEGNERIA MATERIALI TECNOLOGIA

Speciale
Lamellare

de lettera editore N. 2 - Aprile/Maggio - anno XLV - pubblicazione in a.p. - 457 - art. 2 comma 20 n. 1895 601


EuroHolz
STRUTTURE IN LEGNO LAMELLARE
www.euroholz.it



Ad alcuni decenni di distanza dall'introduzione in edilizia, architettura e ingegneria del legno lamellare incollato, è arrivato il momento di pensare seriamente al problema di come controllare e valutare lo stato di conservazione e l'efficienza delle strutture da tempo in esercizio.

Il successo che il legno lamellare incollato sta ottenendo in ambiti applicativi sempre più ampi e differenziati (dalle grandi coperture ai solai per l'edilizia civile) non deve far dimenticare che questo materiale mantiene molte delle caratteristiche e dei comportamenti propri del legno massiccio, di cui è prevalentemente costituito. Ciò significa, ad esempio, che gli elementi strutturali di legno lamellare incollato, proprio come le travi e le capriate tradizionali, continuano a essere:

- igroscopici,
- anisotropi,
- soggetti a rigonfiamento e a ritiro volumetrico a causa delle variazioni di umidità delle lamelle,
- possibili vittime di attacchi biologici dovuti a funghi e insetti distruttori del legno.

Inoltre, a differenza del legno massiccio, essi possono subire quel caratteristico processo di disgregazione dell'elemento strutturale, detto "delaminazione", consistente nel cedimento (parziale o totale) delle superfici di incollaggio fra i diversi corsi di lamelle sovrapposti.

Scopo del presente contributo è illustrare come possa essere condotta correttamente l'ispezione in opera di manufatti di legno lamellare incollato, evidenziando soprattutto alcune peculiarità che, se non tenute nella dovuta considerazione, potrebbero causare errori diagnostici anche molto gravi. Per motivi di brevità, si darà per scontata la conoscenza da parte del lettore delle moderne procedure diagnostiche applicabili al legname massiccio in opera, per le quali si rimanda alla letteratura di riferimento.

Il procedimento di ispezione

1) Valutazione della qualità delle lamelle di legno
Questo tipo di indagine può rivelarsi utile per la verifica della conformità dell'elemento di legno lamellare incollato alla classe di resistenza certificata al momento della produzione. Si rende inoltre necessaria al fine di attribuire caratteristiche di resistenza appropriate alle sezioni efficaci residue di elementi parzialmente degradati di legno lamellare incollato combinato (in cui una sezione trasversale comprende lamelle interne e lamelle esterne di specie e/o classe di resistenza diverse, [1]).

Queste verifiche possono essere effettuate con note-

vole rapidità e accuratezza attraverso l'osservazione delle superfici visibili delle lamelle, i cui difetti e caratteristiche devono rientrare nei limiti attesi: gli elementi strutturali di legno lamellare incollato presentano, di fatto, (è la configurazione che rende minimi i costi di selezione e assemblaggio delle lamelle) una composizione e una distribuzione dei difetti omogenea, per cui si può ragionevolmente ritenere che le caratteristiche del legno visibili sulle facce laterali e sui bordi del manufatto stesso, siano rappresentative della difettosità globale delle lamelle. Inoltre, sempre per la stessa omogeneità di fabbricazione, non sarà necessario eseguire la verifica "a tappeto" su tutte le singole lamelle: ci si potrà limitare a controllare se siano presenti, in qualche punto, difetti non ammissibili per la qualità prevista.

Per scendere nella pratica, è da considerare fuori luogo, ad esempio, la misurazione del diametro di tutti i nodi visibili: basterà controllare il diametro dei soli nodi di dimensioni apparentemente superiori al consentito. Idem per quanto riguarda la verifica dell'inclinazione della fibratura del legno delle lamelle. Nel caso in cui l'elemento sia costituito da lamellare combinato, la verifica della qualità struttura-

*di G. Bonamini,
M. Noferi, M. Togni,
Studio Legno - Wood
Consulting
(studio.legno@iol.it)*

*L. Uzielli
DISTAF, Firenze
luca.uzielli@unifi.it*

ISPEZIONE E DIAGNOSI IN SITU DELLE STRUTTURE

le dovrà riscontrare la conformità della distribuzione rispetto a quanto atteso, cioè la qualità dovrà apparire migliore per le lamelle al bordo superiore e inferiore del manufatto (minimo due lamelle oppure 1/6 dell'altezza dell'elemento per ciascun bordo, a seconda di quale delle due soluzioni conduca a uno spessore di legno maggiore [2]).

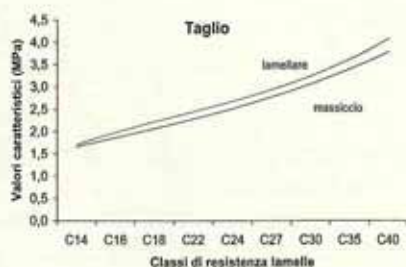
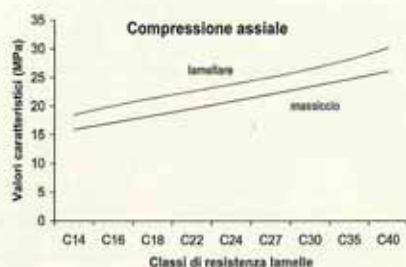
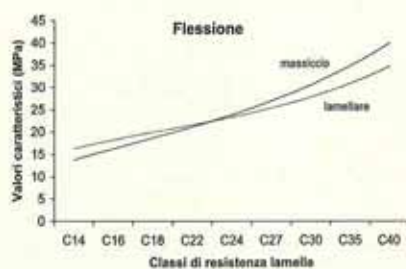
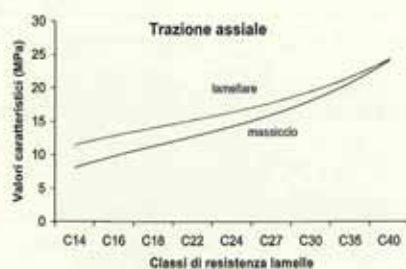
Altri punti di differenza rispetto all'ispezione in opera su elementi strutturali di legno massiccio, da tenere ben presenti per la verifica della qualità delle lamelle, sono i seguenti:

- le lamelle esterne del manufatto sono le più importanti ai fini della prestazione globale di quest'ultimo,
- i difetti del legno sono sempre interni ad una lamella (non passano da una lamella all'altra) e producono quindi effetti locali e non generali: ad es. possono cedere senza originare inneschi di fratture destinati a propagarsi al resto dell'elemento,
- i difetti delle lamelle risultano distribuiti casualmente nell'elemento strutturale di legno lamellare incollato, per cui è difficile, se non impossibile, definire una "sezione critica" in quanto particolarmente difettosa; se tale sezione fosse, invece, chiaramente individuabile, ciò significherebbe che nel processo di fabbricazione del manufatto devono essersi verifi-

FIGURA 1. Ponte di legno lamellare incollato: le strutture prive di qualsiasi tipo di protezione ed esposte alle intemperie notoriamente possono assicurare una lunga durata di esercizio solo a prezzo di un continuo controllo e di un'accurata manutenzione preventiva.

FIGURA 2.

Curve d'incremento dei valori caratteristici in funzione della classe di resistenza, calcolate conformemente alla normativa europea vigente ([1], [2]); le curve, in nero per le lamelle di legno massiccio e in rosso per i manufatti di legno lamellare incollato con esse realizzati, possono avere un andamento convergente (trazione), incrociato (flessione) o parallelo (compressione e taglio).



cati errori di assemblaggio incompatibili con le prescrizioni che regolano la produzione di legno lamellare incollato strutturale.

I punti precedenti indicano, in sostanza, che un elemento strutturale di legno lamellare incollato può avere prestazioni analoghe a quelle di un elemento di legno massiccio, pur partendo da lamelle di qualità diversa rispetto a quest'ultimo.

Più specificamente, l'influenza della qualità delle lamelle sulle caratteristiche del manufatto di legno lamellare non è omogenea per i diversi tipi di sollecitazione, come mostrano i grafici in Figura 2, quindi chi effettua l'ispezione di un manufatto di legno lamellare incollato dovrà, caso per caso, tenere conto del tipo di sollecitazione critica ai fini della sicurezza strutturale e adattare, in funzione di quest'ultima, il metro di classificazione dei difetti e delle anomalie del legno.

Indagini sulla qualità delle colle e degli incollaggi

L'unico parametro teoricamente determinabile senza troppe complicazioni è il tipo di colla impiegato: se l'analisi macroscopica lascia qualche dubbio, è sufficiente prelevare alcuni frammenti ed eseguire appropriate analisi fisico-chimiche di laboratorio (ad esempio spettrometria mediante risonanza magnetica nucleare del ^{13}C), per riuscire a distinguere

non soltanto fra adesivi termoindurenti e di altro tipo, ma anche fra i diversi tipi di resine termoindurenti (ureiche, melamminiche, fenoliche e resorciniche). Si ricorda che i tipi di colla ammessi per la produzione di manufatti strutturali di legno lamellare incollato sono correlati alla classe di servizio in cui questi ultimi si troveranno ad operare: nel caso di strutture esposte a condizioni climatiche severe, le colle dovranno essere di tipo fenolico o resorcinico ([3], [4]).

Più complessa appare, invece, la valutazione della qualità dell'incollaggio. Gli incollaggi nuovi, realizzati conformemente alle normative, danno luogo a rotture nel legno; pertanto, la resistenza dell'incollaggio è considerata maggiore della resistenza del legno (tanto è vero che il dimensionamento del legno lamellare incollato si esegue unicamente sulla base delle caratteristiche del legno). Tuttavia, nella pratica potrebbero presentarsi casi in cui:

- l'incollaggio, pur rimanendo di qualità costante nel tempo, fin dall'origine è viziato da gravi difetti d'esecuzione e quindi presenta caratteristiche inferiori al previsto;
- la colla lungo le linee d'incollaggio ha subito un significativo degrado riconducibile, p.es., all'esposizione alla luce, alle brusche variazioni igrotermiche, alla presenza di dilatazioni differenziali, o altro.

Non è questa la sede per discutere se, e in che misura, l'"invecchiamento" della colla possa realmente avvenire: ciò che qui interessa è che, in ogni caso, la presenza di eventuali problemi di incollaggio può essere diagnosticata *in situ* soltanto tramite un'attenta analisi visuale della presenza e abbondanza di delaminazioni. In generale si può ritenere che la presenza di delaminazioni sia possibile anche se l'incollaggio è conforme e integro, ma solo sulle facce del manufatto esposte a condizioni termoigrometriche tali da causare fessurazioni da ritiro del legno: su tali facce potrà essere considerata "normale" (a prescindere dall'opportunità di mettere in opera il legno lamellare in tali situazioni) una percentuale di delaminazioni non maggiore di quella delle comuni fessurazioni da ritiro riscontrabili sui bordi delle lamelle; ogni significativo aumento della percentuale di delaminazioni rispetto a quella delle fessurazioni da ritiro deve far presumere, invece, la presenza di un problema di incollaggio nella zona del manufatto oggetto di indagine. E', infatti, ragionevole ipotizzare che, se gli incollaggi sono a posto, in conseguenza dei fenomeni di ritiro sopra ricordati si apriranno fessurazioni secondo uno schema casuale, e alcune

di queste potranno cadere anche in prossimità o addirittura in corrispondenza di una linea di colla. Se, invece, le fessurazioni riscontrate coinvolgono principalmente le linee di colla, è lecito presumere che la resistenza di queste ultime sia minore della resistenza del legno.

Sulla base di queste indagini, l'incollaggio potrà essere al massimo valutato "compatibile/non compatibile con le condizioni d'esercizio", senza che peraltro si possa fornire alcun dato riguardo alla sua effettiva resistenza.



FIGURA 3.
Unioni di questo tipo rendono indispensabili accurate opere di protezione del legno in assenza delle quali l'acqua, incanalata all'interno della scatola metallica, ivi rimane, causando il rapido e sicuro degrado biologico del materiale.



Verifica della qualità dell'assemblaggio e delle unioni

Ci si limita, qui, a sottolineare come le importanti sezioni e lunghezze degli elementi di legno lamellare incollato portino ad un'amplificazione di certi comportamenti presenti anche nel massiccio: in primo luogo tutti quelli direttamente legati all'anisotropia del ritiro e delle proprietà fisico-meccaniche (instabilità dimensionale e di forma, concentrazione degli sforzi, ecc.), nonché quelli da essi indirettamente causati (stati di coazione, cedimenti nelle unioni, ecc.). Pertanto, particolare cura dovrà essere posta alla ricerca di ogni indizio che possa aiutare nella diagnosi preventiva d'inconvenienti futuri legati a tali fattori.

FIGURA 4.

Esempio di come le indicazioni diagnostiche riportate nel testo debbano essere sempre applicate criticamente: le fessurazioni visibili in figura, pur essendo tutte a carico delle linee di incollaggio, sono, con ogni probabilità, riconducibili a cedimenti del legno (e non della colla) causati dall'imponente degrado fungino testimoniato dall'abbondante presenza di corpi fruttiferi sporgenti a mensola dalle lamelle.

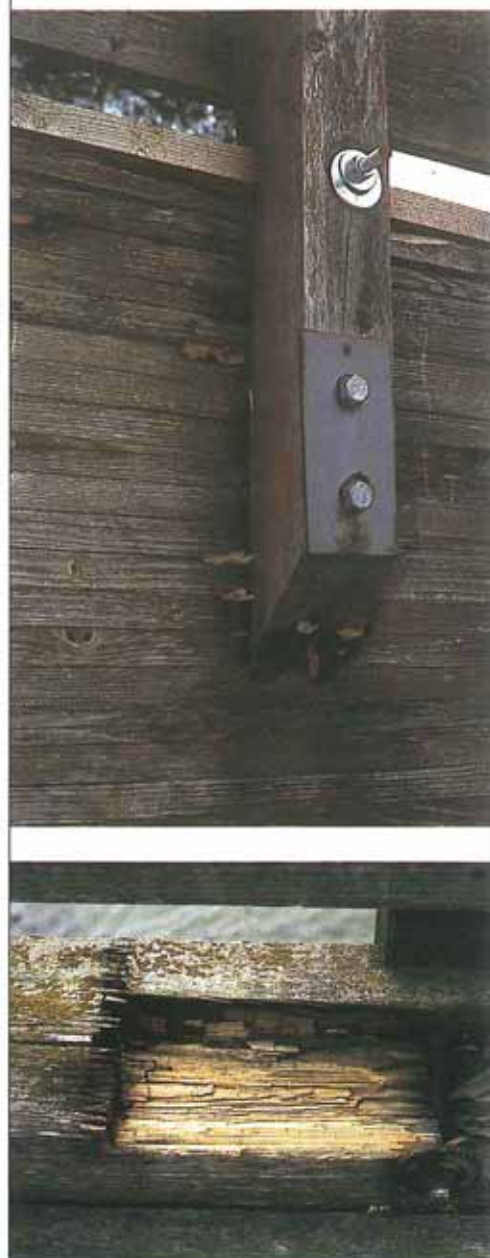
FIGURA 5.

Questo è lo stato del legno all'interno dell'elemento rappresentato nella figura precedente. I funghi agenti della carie hanno degradato gran parte della struttura cellulare del legno, lasciando un materiale di consistenza spugnosa e friabile.

Accertamento in opera dello stato di conservazione del materiale legnoso

A questo riguardo, data per scontata la necessità di controllare con accuratezza l'esistenza di eventuali trappole di umidità, soprattutto in corrispondenza delle zone di contatto del manufatto di legno lamellare incollato con altri particolari costruttivi realizzati con materiali soggetti alla formazione di condensa, l'ispezione dovrà procedere tenendo nel dovuto conto la diversa modalità di progressione del degrado biologico del legno lamellare incollato rispetto alle travi di legno massiccio. In queste ultime, ottenute per squadratura di un tronco d'albero, l'alburno (la parte più rapidamente degradabile del legno) costituisce lo strato più superficiale dell'elemento e il suo spessore è ulteriormente ridotto nel corso della segagione. Invece, nel ciclo di produzione del legno lamellare incollato non esiste alcuna possibilità di controllo della disposizione delle zone di alburno e durame delle singole lamelle. Pertanto, è praticamente certo che zone di alburno rimarranno incluse all'interno della sezione dell'elemento, costituendo così siti preferenziali per l'attacco da parte d'insetti e, soprattutto, di funghi agenti della carie del legno. Il risultato di questa peculiarità è che nei manufatti a rischio (leggi: con legno per lunghi periodi a umidità maggiore del 18-20%, riferita al peso anidro) esistono buone probabilità che il marciume inizi dall'interno dell'elemento per estendersi gradualmente verso la superficie, presentando il grave inconveniente di emergere alla vista solo in fase già molto avanzata.

La diagnosi dello stato di conservazione di un elemento di legno lamellare incollato deve pertanto includere innanzitutto una mappatura delle zone potenzialmente candidate all'insorgere di problemi di accumulo dell'umidità, per procedere poi a saggi mediante percussione ed eventuali sondaggi in profondità con succhielli, sottili punte di trapano e simili. Si richiama l'attenzione dei non specialisti sulla difficile interpretazione "al buio" dei risultati ottenibili con tecniche strumentali basate su prove non distruttive (ultrasuoni, vibrazioni, Resistograph e simili, ecc.) so-



prattutto al fine del rilevamento puramente strumentale di forme incipienti o poco avanzate di degrado [5]. Queste prove potranno pertanto (come d'altra parte è raccomandato anche nella diagnosi del legname massiccio) costituire soltanto un'integrazione all'ispezione a vista e dovranno essere condotte, in stretta concomitanza con quest'ultima, da personale altamente qualificato.

In presenza di zone degradate, l'ispezione dovrà consentire la restituzione delle sezioni residue collaboranti e, in caso di legno lamellare incollato combinato, anche la necessaria riclassificazione del manufatto ai fini della resistenza e della deformabilità in funzione della qualità delle lamelle rimanenti dopo la decurtazione del materiale degradato.

Altre indagini Ulteriori accertamenti *in situ* saranno volti sostanzialmente a controllare:

■ la presenza di eventuali riparazioni e protesi (tassellatura di difetti, stuccature di fessurazioni con colla epossidica, inserti metallici incollati o meno, spinotti di ricucitura, ecc.): ciascuno di questi interventi può avere effetti più o meno importanti sul comportamento dell'elemento a seconda della modalità di esecuzione, dell'estensione, dei materiali impiegati, della posizione, ecc. Tali effetti possono essere valutati soltanto caso per caso, e non si possono dare qui linee-guida sempre valide;

■ la funzionalità delle unioni (corretto serraggio dei bulloni, perfetta aderenza delle superfici di contatto, integrità delle linee di colla, ecc.);

■ la presenza di eventuali strati di finitura e/o protezione. A tal riguardo è opportuno ricordare che l'eventuale trattamento di preservazione del manufatto non penetra mai al di sotto di pochissimi millimetri dalla superficie, e quindi non può esercitare alcun tipo di prevenzione contro il marciume nascente in profondità; il suo effetto è, inoltre, limitato nel tempo (alcuni anni dall'applicazione) anche nei confronti degli insetti xilofagi. Eventuali trattamenti d'impermeabilizzazione, parimenti, non risultano alla prova dei fatti in grado di impedire l'aumento dell'umidità del legno fino a livelli superiori al limite di sicurezza contro gli attacchi fungini. La lunga durata in opera del legno lamellare incollato deve pertanto essere ricondotta alla corretta protezione del manufatto da perseguire in ogni fase della progettazione (non usare il legno lamellare incollato indiscriminatamente, bensì solo nelle condizioni ad esso favorevoli), dell'esecuzione e della manutenzione, piuttosto che all'efficacia di eventuali misure di preservazione chimica.

Conclusioni

Occorre ancora, da parte di molti addetti ai lavori, un notevole sforzo d'immaginazione per concepire anche solo l'esistenza di un problema di conservazione delle strutture di legno lamellare fiorite un po' ovunque nel nostro Paese negli ultimi dieci anni. Tuttavia, come altri materiali da costruzione ben più affermati insegnano (leggi: cemento armato), è buona norma programmare un'attività sistematica di monitoraggio e verifica di qualsiasi struttura a partire dai primissimi decenni d'esercizio, anche in assenza di danni o patologie evidenti. Per il legno lamellare incollato, quindi, i tempi sono ormai maturi.

A tal proposito, apparirebbe a prima vista naturale estendere al legno lamellare incollato le procedure

già da tempo consolidate per l'ispezione *in situ* e la diagnosi delle strutture di legno massiccio, il cui monitoraggio si è reso necessario in concomitanza dell'accresciuto interesse per il tema della conservazione del patrimonio nazionale dei beni culturali architettonici. Alcuni aspetti peculiari del legno lamellare incollato, tuttavia, non possono essere trascurati.

In primo luogo, occorre tenere conto della differente influenza della qualità delle lamelle che compongono il manufatto oggetto d'indagine nei confronti della reazione di quest'ultimo ai diversi tipi di sollecitazione cui può essere sottoposto.

Secondariamente, la distribuzione omogenea dei difetti naturali del legno e l'influenza sostanzialmente locale di questi ultimi (e non anche globale come in una trave lignea tradizionale) non permette di norma l'individuazione di una "sezione debole" chiaramente distinta dalle altre, sulla quale basare la diagnosi in base al principio dell'anello più debole di una catena.

Infine, fattore forse più importante di tutti, la modalità di sviluppo e progressione nel tempo dell'eventuale degrado biologico causato dall'attacco di funghi lignivori è tipicamente diversa da quella delle travi convenzionali, e può tendere facilmente a iniziare nelle zone centrali della sezione, per estendersi poi alle zone più superficiali.

Quando ciò avviene, spesso il profano si accorge del problema (ossia delle alterazioni di colore del legno) e dà l'allarme quando è troppo tardi e l'elemento è già gravemente indebolito. Nel caso invece in cui sia stata prevista un'ispezione periodica da parte di un tecnico competente, è di norma possibile individuare le situazioni di rischio biologico ancora prima che il degrado del legno abbia avuto inizio, permettendo così di intervenire tempestivamente riportando il materiale a condizioni di bassa umidità, necessarie e sufficienti per l'indefinita conservazione del legno nel tempo, e provvedendo alla messa in esecuzione di tutte le misure opportune per garantire l'integrità e la piena funzionalità del manufatto.

Sul fronte della ricerca, dando per scontata la futura volontà di inserire nei programmi di restauro e conservazione del patrimonio culturale anche le strutture di legno lamellare più significative dal punto di vista architettonico, storico e monumentale, occorrerà approfondire il problema degli effetti della durata del carico e delle altre condizioni d'esercizio sulle prestazioni degli incollaggi delle lamelle. Solo così diventerà possibile progettare interventi mirati al recupero di quegli elementi in cui la presenza di un numero eccessivo di delaminazioni denoti chiaramente l'esistenza di un problema di incollaggio.

BIBLIOGRAFIA

[1] Norma Italiana UNI EN 1194 "Strutture di legno - Legno lamellare incollato - Classi di resistenza e determinazione dei valori caratteristici".

[2] Norma Italiana UNI EN 338 "Legno Strutturale - Classi di resistenza".

[3] Norma Italiana UNI EN 301 "Adesivi per strutture portanti in legno - Classificazione e requisiti prestazionali per adesivi policondensati di tipo fenolico ed aminoplastico".

[4] Norma Italiana UNI EN 302 "Adesivi per strutture portanti in legno - Metodi di prova".

[5] Tiitta M., Beall F.C. e Biernacki J.M., 1998, "Acousto-ultrasonic assessment of internal decay in glulam beams", *Wood and Fiber Science*, 30 (3), pp. 259-272.