

Il legno non finisce mai di morire... A differenza di altri materiali va osservato, studiato, interpretato. Una struttura in legno massello non si calcola, si analizza. I numeri riportati nei Manuali non sempre sono sufficienti alle verifiche statiche. Tanto più se si interviene su strutture antiche. Occorre svolgere verifiche, capire le fessure, misurare l'umidità.

TRAVI IN LEGNO A GIUDIZIO

Giacomo Cusmano

Il legno, con il suo storico e diffuso impiego in edilizia, appare spesso ai tecnici anche come un materiale che presenta molte incognite interpretative nel caso in cui occorre valutarne il reimpiego negli edifici.

Come bisogna comportarsi davanti ad un solaio a travi che appare degradato? Lo è realmente?

La struttura è in grado di reggere i carichi statici cui sarà sottoposta a fine intervento di recupero?

Per valutare la resistenza di una trave in legno occorre acquisire dei criteri di giudizio che non siano puramente matematici, bensì basati in primo luogo sulla logica e su semplici, ma spesso efficaci considerazioni pratiche di riferimento.



Il legno non è l'acciaio o il calcestruzzo: esistono numerose essenze lignee e ognuna si presenta nel mercato delle costruzioni con le proprie peculiarità fisiche e meccaniche, così come a parità di essenza ogni tronco da cui derivano le travi può avere caratteristiche differenti a seconda delle condizioni ambientali in cui la pianta è cresciuta.

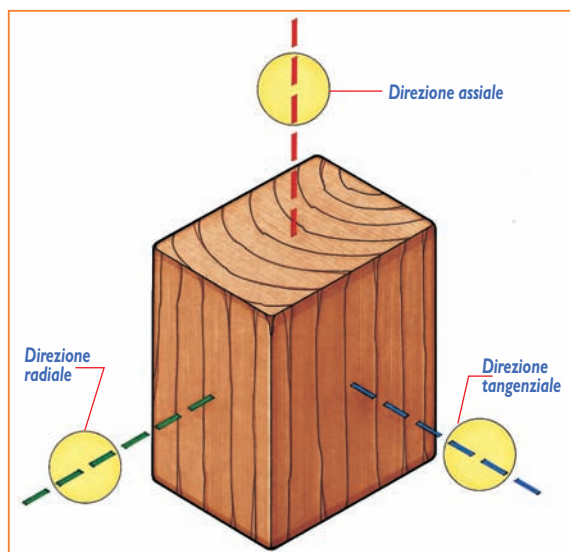
Il legno è un materiale "vivo" che interagisce con la natura e, aspetto importante, continua a farlo anche nell'ambiente dove viene inserito una volta tagliato. Vi è in primo luogo un continuo scambio di umidità tra legno ed aria del locale edile, vi possono essere microorganismi come muffe che insidiano le travi, così come non si può escludere a priori la presenza di insetti che si nutrono creando delle vere e proprie caverne delle parti interne od esterne dell'elemento portante.

Da tutte queste condizioni emergono due punti di partenza importanti per qualsiasi discussione inerente le strutture lignee:

- Allorché ci si imbatte nella necessità di dover valutare la capacità portante di un componente edile ha poco senso determinare in maniera matematica precisa la teorica resistenza meccanica partendo da considerazioni puramente geometriche. Che sui manuali tecnici vi sia scritto che un'essenza come abete è in grado di sopportare in esercizio uno sforzo di flessione $s = 100 \text{ kg/cm}^2$ questo non significa che se dai calcoli numerici si ottiene uno sforzo $s = 110 \text{ kg/cm}^2$ allora la trave è destinata a crollare e viceversa se si ottiene $s = 90 \text{ kg/cm}^2$ allora tutto procede nel migliore dei modi. Occorre svolgere delle verifiche in sito più precise, soprattutto quando ci si confronta con strutture di ormai avanzata età. Certo, in primo battuta i numeri possono fornire un ordine di grandezza importante che può far suonare "un campanello di allarme" allorché ci si imbatte in risultati numerici chiaramente fuori luogo rispetto a quelli desunti dai manuali di riferimento, ma non bisogna essere fiscali. Una struttura in legno massello non la si calcola, piuttosto la si analizza.

- Che una struttura in legno risultava ben dimensionata allorché veniva posta in opera a suo tempo questo non significa che lo sia a priori anche oggi. Non vi è chi non vede, per citare un esempio eclatante (che non è l'unico), che una trave scavata nel proprio interno da insetti perde gradualmente resistenza meccanica.

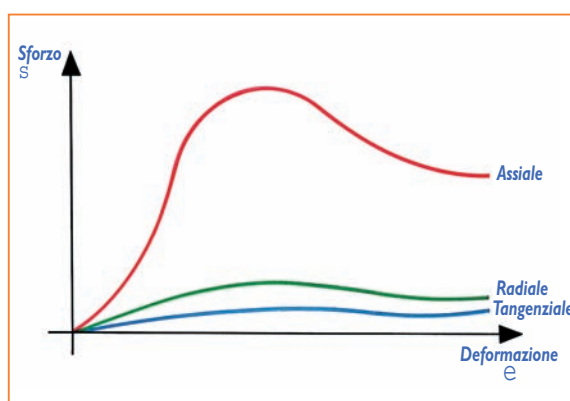
Senza voler riscrivere un trattato di tecnologia del legno al lettore è possibile fornire in breve dei punti chiave con cui incominciare seriamente a valutare ciò che di ligneo strutturale ha di fronte, indipendentemente dalla banale prova di visione estetica della freccia (imbarcamento geometrico) o del "saltello" sul solaio per valutarne a occhio la flessibilità (sempre che non vi sia pericolo, tra l'altro).



Il punto di partenza

Il legno è in primo luogo un materiale anisotropo, che resiste bene a schiacciamento in direzione assiale (ossia parallelamente alle fibre, schiacciando gli anelli), ma poco in direzione radiale o tangenziale (le fibre, concettualmente, tendono ad aprirsi allontanandosi e la deformazione del provino aumenta progressivamente in maniera repentina). Il rapporto di resistenza, facendo un confronto per capire, è circa 10:1.

Generalmente una trave in legno resiste bene a flessione sotto carico perché, flettendosi, le sue fibre vanno in parte in trazione ed in parte in compressione.

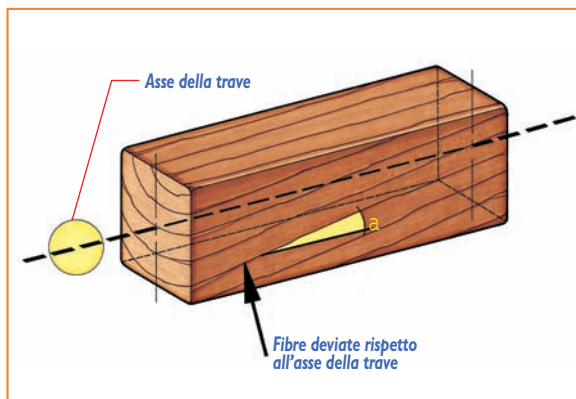


A lato, confronto tra resistenze in direzione assiale e tangenziale/radiale; il rapporto è 10:1.

Attenzione alle fibre deviate... se non vi è il cuore

Vi sono in natura numerosi tronchi di legno che, per diversi motivi, nel loro sviluppo crescono ritorti e pertanto non è raro imbattersi in travi di legno le cui fibre, derivate da tali tronchi, non seguono esattamente l'asse principale della trave. In sintesi, sul fianco della trave, anche l'utente

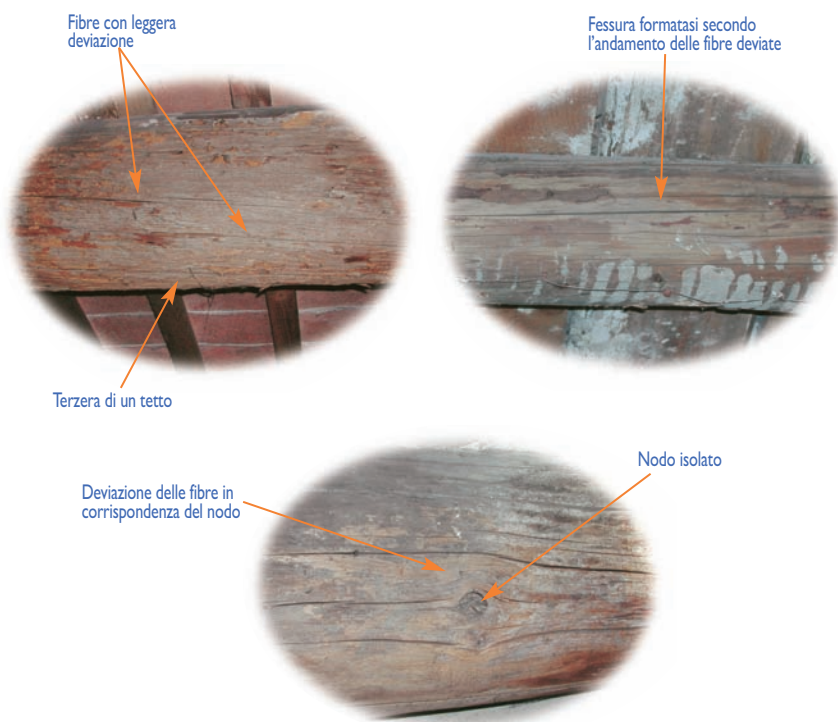
Attenzione alla deviazione delle fibre se non c'è cuore.



meno esperto è in grado di osservare delle "striature" inclinate anziché orizzontali. Se si riflette con attenzione a tale fatto ci si accorge che deviazione delle fibre significa, in termini meccanici, la presenza di azioni di compressione che non agiscono più nella direzione assiale semplice, bensì in una direzione mista assiale/tangenziale. Ne consegue un aspetto importante: un legno con fibre deviate può avere una resistenza notevolmente ridotta rispetto a quella di un legno con fibre dritte. Altresì la resistenza dello stesso diminuisce in maniera esponenziale all'aumentare del grado di inclinazione.

Verifiche sperimentali hanno dimostrato che con inclinazioni di soli 10° la resistenza diminuisce del 13% circa e che con inclinazioni di 20° la resistenza diminuisce quasi del 50%.

NODI E FIBRE DEVIATE



Non poco dunque.

Tutte le travi con fibre deviate devono dunque destare forti preoccupazioni? Un controllo più preciso non guasta. Vi è da dire che se la trave in esame presenta nella propria sezione il cuore dell'albero (la parte centrale) allora la diminuzione di resistenza è notevolmente minore e si può avere molte più garanzie di resistenza rispetto ad un analogo trave "fuori cuore". Essere "fuori cuore" significa presentarsi con molte più fibre tagliate da azioni di segheria che non possono più trasmettere adeguate azioni torsionali per flessione "impropria" rispetto all'asse naturale della pianta.

Nodi dell'albero... deviazioni locali di fibre

Una trave senza nodi non è bella, ma una trave con troppi nodi ravvicinati può portare a perdite di resistenza.

Il nodo è il segno tangibile della presenza in natura di un ramo sul tronco e pertanto, per ovvi problemi di trasporto delle sostanze nutritive da una parte all'altra della pianta di origine, dove c'è un nodo non è raro che attorno vi sia una locale (e naturale si sottolinea) deviazione delle fibre.

Come illustrato precedentemente, da un punto di vista strutturale deviazione delle fibre può voler dire forte diminuzione della capacità portante.

Se dunque un solo nodo, magari anche piccolo, può essere trascurato in termini di valutazione negativa della trave (anzi: spesso ne rappresenta un pregio estetico), in quanto è una riduzione portante locale non estesa a tutta la sezione, troppi nodi ravvicinati e grossi non sono certo l'ideale per assolvere a funzioni strutturali. Se la trave è caricata con un peso considerevole molto probabilmente è da questa area che si manifesteranno i primi segni prematuri di rottura.

Capire le fessure

Le fessure nel legno sono pericolose? Sicuramente il lettore si sarà posto questa domanda più volte.

La risposta, anche in questo caso non può essere univoca. Si premette che la probabilità che in una trave si manifestino delle lesioni non è bassa, soprattutto se il materiale costituente di base non era adeguatamente stagionato prima di essere posto in opera in edilizia. Le lesioni sono altresì spesso naturali ed inevitabili quando si taglia il legno in segheria perché, tagliando le fibre, si modifica l'equilibrio delle autotensioni interne che presenta la pianta. Il legno poi si ritira e, dato che il ritiro non avviene in eguale misura in tutte le tre direzioni principali l'elemento tende a deformarsi in maniera differente e spesso si manifestano vere e proprie fessure da ritiro.

Ad essere pericolosa, in generale, non è la fessura di per se stessa (anzi: a volte il tentativo di chiuderla con riempiimenti posticci può peggiorare la situazione!). Il problema è la disposizione geometrica della fessura rispetto all'asse verticale. La risposta alla pericolosità della fessura la si trova analizzando i concetti base della scienza delle costruzioni. La resistenza di una trave dipende da un fattore geometrico chiamato "modulo di resistenza W". Il modulo "W", per una sezione rettangolare, dipende fortemente dall'altezza ($W=bh^2/6$), ragion per cui più una trave è alta maggiore è la resistenza. La base influenza la resistenza, ma con minor peso.

Se una fessura è verticale concettualmente si può pensare che si divida in due parti con base dimezzata ed altezza sempre uguale. Con una dimostrazione matematica, ma anche con la logica, si può dimostrare che la resistenza di due elementi affiancati è pari a quella dell'elemento unico originale. Dunque le fessure verticali, in linea di principio, non sono pericolose. Se la fessura è orizzontale la resistenza diminuisce, perché ci si viene a trovare nella condizione geometrica di sì due travi, ma con ciascuna metà altezza (e come detto l'altezza influenza fortemente la resistenza).

Concludendo le fessure orizzontali poste sul fianco dei travetti, in linea di principio, peggiorano la capacità portante degli stessi.

MODULI DI RESISTENZA E FESSURE

Fessura verticale: il modulo di resistenza non cambia



Fessura orizzontale che si sviluppa a partire da un nodo: il modulo di resistenza teorico subisce un decremento

FESSURA VERTICALE

Trave originale

Fessura verticale

Schematizzazione teorica

Calcolo modulo di resistenza
 $b_1 = b_2 = \frac{b}{2}$
 $W = w_1 + w_2 = b \frac{h^2}{6} + b \frac{h^2}{6} =$
 $= (b_1 + b_2) \cdot \frac{h^2}{6} = b \frac{h^2}{6}$

Conclusione
 La fessura verticale non diminuisce il modulo di resistenza

FESSURA ORIZZONTALE

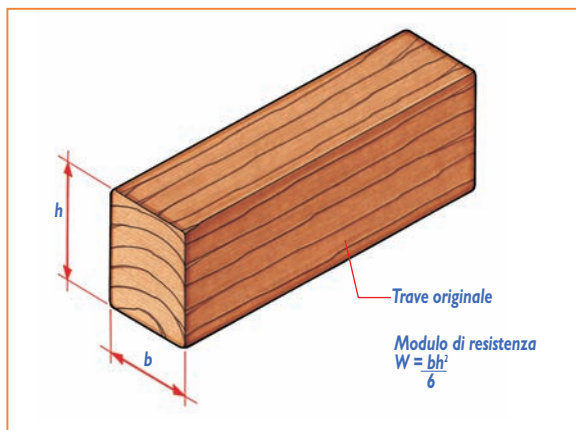
Trave originale

Fessura orizzontale

Schematizzazione teorica

Calcolo modulo di resistenza
 $h_1 = h_2 = \frac{h}{2}$
 $W = w_1 + w_2 = b \frac{(\frac{h}{2})^2}{6} + b \frac{(\frac{h}{2})^2}{6} =$
 $= \frac{bh^2}{24} + \frac{bh^2}{24} = \frac{bh^2}{12}$

Conclusione
 La fessura orizzontale non diminuisce il modulo di resistenza



Attenzione agli eccessi di umidità

Usando un paragone culinario quando un pacco di spaghetti viene messo in acqua i singoli spaghetti si allontanano l'uno dall'altro e si ammorbidiscono, perdendo a poco a poco di resistenza. In analogo modo quando una porzione di legno si viene a trovare in condizioni di eccessiva umidità ecco che le fibre del legno perdono di coesione e compattezza e si ha in maniera progressiva una perdita di resistenza alle azioni meccaniche. Il legno interagisce con l'ambiente circostante, non va mai dimenticato e come si suol dire in questo caso, ha bisogno di "respirare" per regolare in maniera naturale il proprio livello di acqua interno. Studi tecnici hanno dimostrato che rispetto alle condizioni di riferimento del 12% di umidità interna del legno in opera maggiore essiccamento porta un aumento di resistenza meccanica e maggiore umidità un repentino peggioramento.

Nelle costruzioni non è l'acqua a deteriorare il legno, ma l'impedire che la stessa evapori in maniera spontanea a peggiorare la situazione. Il ristagno di acqua vicino ad un appog-

gio deteriora il legno, che si comporta come una spugna.

Negli edifici storici non è raro riscontrare che murature umide abbiano progressivamente fatto marcire le teste dei travetti. In un intervento di recupero di un qualsiasi solaio ligneo fondamentale è sempre assicurarsi che gli appoggi laterali non siano umidi e a campione il controllo dell'integrità di una testa è sempre operazione sensata.

Un appoggio di una trave deteriorato dall'umidità, anche se nel mezzo la trave è perfetta, può causare il crollo improvviso di tutto il sistema.

Funghi e insetti

Il legno interagisce sempre con la natura e quindi se si è in presenza di funghi o insetti che attaccano gli elementi strutturali è probabile che nel tempo, lentamente o velocemente a seconda dell'azione, vi sia una perdita di resistenza meccanica significativa.

In tutti i casi, prima di un qualsiasi riutilizzo strutturale degli elementi lignei, fondamentale appare una disinfestazione con appositi prodotti.

Per ciò che attiene gli insetti, al di là di quella che può essere una classificazione di singolo insetto e relativo danno prodotto (classificazione reperibile su numerosi manuali), da un punto di vista ingegneristico vi è da suddividere gli stessi in due categorie:

- gli insetti che si nutrono del legno a partire dall'esterno verso l'interno (sulla superficie esterna si notano delle striature quasi come se vi fosse passato sopra uno scalpello);
- gli insetti che creano piccoli fori in superficie, penetrano all'interno e da qui incominciano a scavare delle vere e proprie caverne interne.

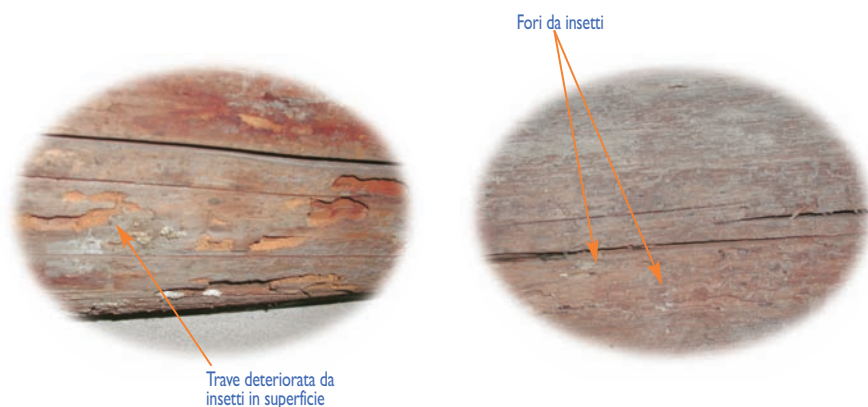
Se nel primo caso l'eventuale danno significativo è facilmente rilevabile ad occhio nudo e quindi anche il tecnico meno esperto è in grado di esprimere un

parere semplice basato sull'evidenza nel secondo caso non è immediato poter rilevare se la struttura sia ancora in grado di svolgere oppure no la propria funzione portante. I casi di "carie interna" vanno trattati con attenzione: il legno esternamente è sano, ma basta poco per incappare in gravi e soprattutto improvvisi

UMIDITÀ SOTTO CONTROLLO



CHI ATTACCA IL LEGNO



rotture. Fondamentale, in caso di dubbio, è battere con un martelletto sulla trave per rilevare (attraverso il diverso suono emesso) la presenza di eventuali vuoti (e la loro distribuzione).

Con analisi più evolute (quali ad esempio prove soniche, microcarotaggi di verifica, videoendoscopie) è possibile giungere a conclusioni analitiche certamente più precise.

Una specifica importante: condizioni di elevata umidità favoriscono l'attacco dei microrganismi patogeni e quindi spesso in punti critici si rilevano essere le zone di appoggio (contatto con la muratura sottostante evidentemente mal isolata).

A mali estremi estremi rimedi: se il gioco non ne vale la candela probabilmente anziché ipotizzare protesi specifiche di recupero forse può essere conveniente la sostituzione del pezzo intero anche se, lo si evidenzia, qualsiasi intervento (semplice/difficile, diffuso/limitato) deve dapprima premunirsi di eliminare le cause che hanno generato tale evento (a partire dagli eccessi di umidità della muratura), per non ritrovarsi alcuni anni dopo a dover affrontare nuovamente il problema tecnico.

Più anelli maggiore resistenza

A parità di essenza lignea vi è da specificare che la resistenza è influenzata in positivo dalla concentrazione della massa lignea, ragion per cui a parità di sezione un travetto che si presenta in testa con un numero di anelli elevati concentrati in poco spazio è più resistente di un travetto con analoghe dimensioni, ma anelli più rarefatti.

In analogo modo, in quanto spesso collegate, un legno che ha più massa tende ad essere più prestante da un punto di vista meccanico.

Tali caratteristiche, ovviamente, non sono sempre rilevabili in opera dal tecnico, ma se lo sono possono fornire importanti informazioni aggiuntive.

Dopo un incendio....

Come comportarsi su una struttura lignea dopo l'intervento dei vigili del fuoco? Il legno partecipa alla combustione, ma non è raro assistere a strutture che fortunatamente rimangono in opera anche ad incendio avvenuto.

Paradossalmente lo strato nero che si forma attorno alle travi protegge le stesse e

rallenta la combustione.

Il legno non è come l'acciaio: tolta la crosta nera di superficie la parte interna è ancora generalmente "buona" per un reimpiego e quindi non è detto per forza che, a priori, una struttura in legno parzialmente incendiata sia completamente

VERIFICHE DOPO L'INCENDIO



da demolire.

Per capire il livello di degrado occorre valutare in primo luogo quale sia stata la variazione geometrica in termini soprattutto di altezza della trave nella zona di mezzera (la resistenza in mezzera dipende dal modulo di resistenza $W=bh^2/6$) e di larghezza di base agli appoggi.

A fronte di questa breve, ma significativa panoramica dei tantissimi parametri che influenzano la resistenza meccanica del legno ancora una volta emerge una conclusione importante: una struttura in legno massiccio non la si calcola, la si progetta a 360°, valutando il materiale di base, il buon funzionamento dello schema portante globale e le condizioni al contorno che ne possono alterare la resistenza.