

FESSURAZIONI



tipi, meccanismi di formazione, diagnostica, influenza sulle resistenze

di Gabriele Bonamini,
Mariangela Noferi
Studio Legno
Wood Consulting (Firenze)
studio.legno@iol.it

Il legno ha origine dallo sviluppo del fusto di una pianta arborea che si trova nella necessità di soddisfare numerose esigenze vitali, nonché di contrastare eventi più o meno traumatici nel corso della sua esistenza biologica (gelo, fulmine, urti, vento, neve, attacchi biologici, ecc.). Tutto ciò comporta, già nell'albero in piedi, la possibile formazione, all'interno del tronco, di discontinuità dei tessuti legnosi, che si ritrovano poi negli assortimenti lavorati. Si può parlare, in generale, di lesioni subite dal legno.

Altri tipi di discontinuità possono derivare, invece, da eventi successivi all'abbattimento dell'albero quando, pur in assenza di particolari sollecitazioni esterne, l'equilibrio delle tensioni interne, sempre presenti nel fusto in piedi, viene alterato in misura tale da superare le resistenze del materiale. Appartengono a questa categoria le fessurazioni.

Una terza categoria di discontinuità si può rilevare, infine, sul legname in opera, quando esso viene sottoposto ad azioni esterne (forze, carichi), di intensità tale da provocare rotture (parziali o totali).

Lesioni, fessurazioni e rotture, pertanto, costituiscono la casistica alla quale si fa sempre riferimento al momento della valutazione tecnologica del legname strutturale, trattando con criteri assai diversi ciascuna categoria, in considerazione degli effetti ben diversi conseguenti alla loro eventuale presenza. E' opportuno osservare subito che, mentre le lesioni e le rotture costituiscono discontinuità che impongono comunque l'adozione di misure drastiche ai fini della sicurezza delle strutture (ad es. lo scarto a priori degli elementi affetti da le-

sioni in quanto non idonei per l'uso strutturale, oppure la sostituzione in opera di quelli rotti), le fessurazioni richiedono, invece, una diversa considerazione in quanto si tratta di difetti entro certi limiti "normali" e accettabili per il buon legname da costruzione.

Nel seguito del presente articolo si darà, pertanto, particolare importanza ai metodi e ai criteri che permettono di identificare con sicurezza le fessurazioni, di distinguere le fessurazioni dalle altre discontinuità del legno e di attribuire alle fessurazioni la giusta influenza sulle prestazioni degli elementi lignei su cui si presentano.

FESSURAZIONI: DA TENSIONI INTERNE, DA RITIRO, CIPOLLATURE "SANE"

Come sopra accennato, le fessurazioni hanno in comune il fatto di verificarsi dopo l'abbattimento dell'albero. In effetti, l'apertura di fessurazioni può verificarsi in tempi e con modalità diverse, secondo lo schema seguente:

- nel materiale ancora allo stato fresco: si tratta in questo caso di fessurazioni, cretti e fenditure riconducibili alla liberazione di tensioni interne del legno; la crescita dell'albero provoca, infatti, l'accumulo di tensioni nel fusto, che rimangono in equilibrio finché la pianta è in piedi, ma che possono liberarsi, sotto forma di distorsioni e spacchi, subito dopo l'abbattimento oppure durante le prime lavorazioni del tronco;
- nel materiale stagionato: le fessurazioni sono in questo caso provocate dal ritiro volumetrico del legno, che avviene

Apertura. Le fessurazioni seguono fedelmente l'inclinazione della fibra del legno.

quando l'umidità di quest'ultimo scende al di sotto del "punto di saturazione" (collocato intorno al 30% di umidità del legno, riferita allo stato anidro).

In generale, quindi, su uno stesso elemento ligneo, le fessurazioni da ritiro si manifestano in tempi successivi rispetto alle fessurazioni da tensioni interne.

Non è infrequente il caso di azione combinata fra i due meccanismi: dapprima le fessurazioni si innescano in zone di concentrazione delle tensioni interne e successivamente si ampliano e si estendono favorite dai fenomeni di ritiro. Ricadono in questa casistica anche le cipollature "sane" (mentre le cipollature "traumatiche" sono già presenti nell'albero in piedi e possono essere più propriamente inserite nella categoria delle lesioni).

Di seguito si forniscono alcune indicazioni sui meccanismi di formazione e sui metodi di diagnosi per questi tre tipi di fessurazioni.

ORIGINE DELLE FESSURAZIONI DA RITIRO

Il tessuto legnoso è composto da cellule di forma allungata, la maggior parte delle quali è allineata, grosso modo, secondo l'asse del fusto dell'albero, definendo in tal modo la direzione della fibratura del legno. La parete cellulare delimita uno spazio interno (lume) che nel legno fresco è più o meno occupato da acqua allo stato liquido. In tale stato, molecole d'acqua si trovano anche interposte alle fibrille di cellulosa, che costituiscono la parete cellulare, mantenendole in uno stato di rigonfiamento. Quando il legno perde umidità (ad es. durante la stagionatura), si ha innanzitutto la graduale evaporazione dell'acqua libera contenuta nei lumi cellulari, con conseguente perdita di massa del materiale, ma senza alcuna perdita di volume del legno.

Quando tutta l'acqua libera è evaporata, il materiale giunge al cosiddetto "punto di saturazione", al di sotto del quale anche l'acqua legata alle pareti cellulari comincia ad abbandonare il legno. In conseguenza di ciò, le fibrille di cellulosa si appressano le une alle altre, dando origine, oltre alla perdita di massa, anche ad una contrazione del volume del materiale denominata "ritiro volumetrico del legno".

Il processo prosegue, in teoria, fino a quando tutta l'umidità del legno è evaporata e si raggiunge lo stato anidro, cui corrisponde anche la condizione di massa e volume minimi per un dato pezzo di legno. Lo stato anidro è comunque raggiungibile solo essiccando il legno in stufa; in condizioni di esposizione all'aria libera, invece, il legno raggiunge uno stato di equilibrio igroscopico con l'atmosfera circostante, che nei nostri climi porta il materiale a stabilizzarsi intorno al 12-15% di umidità. Il processo è reversibile, per cui il legno può riacquistare umidità e rigonfiare non appena messo in ambiente sufficientemente umido.

Dunque, mentre in molti altri materiali (e soprattutto nei metalli) le variazioni dimensionali più significative sono prodotte da variazioni di temperatura, nel legno i coefficienti di dilatazione termica sono assai piccoli, ed in genere trascurabili rispetto alle variazioni dimensionali indotte dal cambiamento

di umidità.

Durante l'essiccazione di un elemento strutturale, la diminuzione di volume è accompagnata da una progressiva deformazione. Questo fenomeno è facilmente spiegabile, considerando che il ritiro assume valori diversi nelle differenti direzioni anatomiche, ovvero che il legno è anisotropo nei confronti del ritiro.

In particolare, la contrazione in direzione della fibratura (ritiro assiale) è trascurabile ai fini pratici, mentre, perpendicolarmente alla fibratura, il ritiro radiale è sensibile e il ritiro tangenziale è circa doppio rispetto a quello radiale.

I valori più frequenti per questi ritiri lineari totali (dallo stato fresco allo stato anidro) sono:

0,2% ÷ 0,5% per il ritiro assiale

3% ÷ 6% per il ritiro radiale

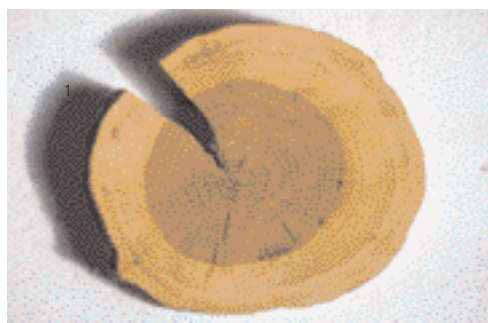
6% ÷ 12% per il ritiro tangenziale

(percentuali riferite alle dimensioni allo stato fresco).

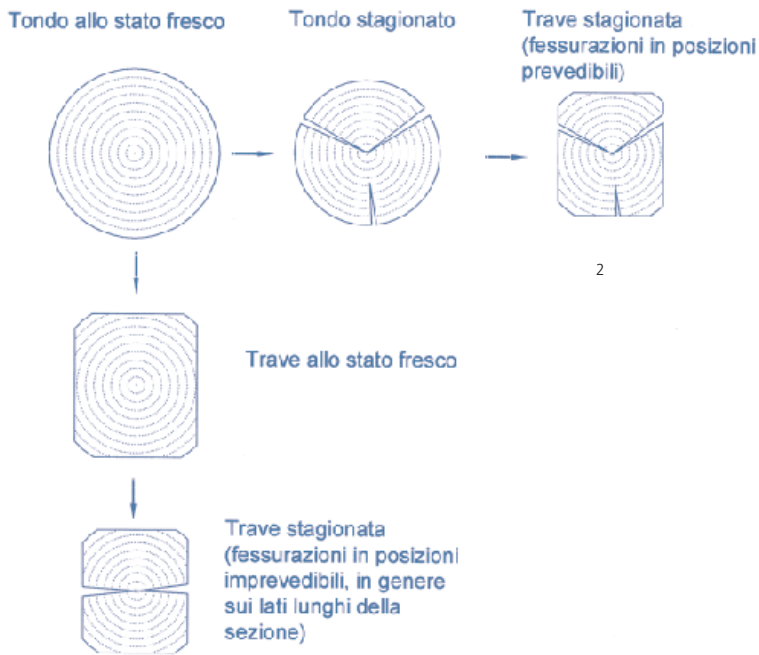
Questa anisotropia del ritiro è sufficiente a spiegare il meccanismo di apertura delle fessurazioni: si consideri, ad esempio, una rotella (ossia un disco di legno ottenuto mediante due tagli trasversali effettuati su un tronco a pochi centimetri di distanza l'uno dall'altro) allo stato fresco. Si effettui un taglio radiale dal bordo della rotella fino al midollo: se il ritiro radiale e quello tangenziale del legno fossero uguali, con la stagionatura si avrebbe una contrazione della rotella, ma il taglio non subirebbe deformazioni di sorta. Dato, invece, che il ritiro tangenziale è circa doppio di quello radiale, con l'essiccazione il taglio tende ad aprirsi a "V", con il vertice in corrispondenza del midollo (figura 1).

In assenza del taglio radiale, le tensioni generate internamente dalla differenza di ritiro nelle due direzioni provocherebbero il cedimento a trazione trasversale nel punto più debole della circonferenza della rotella, con conseguente apertura spontanea di una fessurazione. Questo è ciò che succede anche negli assortimenti legnosi, la cui squadratura avviene mediante semplice asportazione dal tronco originale di quattro sciaveri laterali, che quindi presentano il midollo incluso nella sezione (figura 2).

In qualche caso, le fessurazioni non s'innescano per lungo tempo, nonostante le tensioni interne siano presenti, per manifestarsi poi d'improvviso a seguito di repentini abbassamenti dell'umidità ambientale, di vibrazioni, di urti ecc. Questo è il motivo dei rumori secchi (schianti) che talora si possono udire nelle strutture, come già ricordato, e che non ne-



1. Rotella con fessurazione a "V" apertasi spontaneamente in seguito alla stagionatura.



3

2. Le fessurazioni da ritiro che si aprono sulle travi sono dovute allo stesso meccanismo che produce le fessurazioni nel legno tondo.

Procedendo da sinistra a destra, dapprima si lascia stagionare il tronco, che si fessura, e successivamente si squadra la trave scegliendo la posizione delle fessurazioni come meglio aggrada. Di solito questa possibilità non è realizzabile se non sottoponendo a segazione (o ri-segazione) materiale proveniente da demolizioni di strutture.

Procedendo invece dall'alto in basso si illustra la sequenza normale di lavorazione: la trave viene dapprima squadrata e solo successivamente messa a stagionare. Le fessurazioni si aprono dunque in posizione dettata dai fenomeni di ritiro, largamente imprevedibile.

3. Cipollatura traumatica: a differenza della cipollatura sana visibile nella figura 4, sono evidenti i segni di callo cicatriziale che rivelano l'origine traumatica del difetto quando l'albero era ancora in piedi (foto L.G. Bevilacqua e G. Capecci).

cessariamente indicano una situazione di reale pericolo. Negli assortimenti senza midollo incluso, ad es. nelle tavole tangenziali (a venatura fiammata), l'anisotropia del ritiro non provoca fessurazioni, bensì una tipica deformazione denominata imbarcamento. La conseguenza principale, desumibile da quanto sopra illustrato, è che, essendo inevitabili il ritiro e la sua anisotropia, durante la stagionatura – quantomeno negli assortimenti a midollo incluso - le fessurazioni da ritiro devono prima o poi aprirsi.

La loro totale assenza al momento dell'acquisto di legname nuovo, specialmente in assortimenti squadrati di grande sezione, deve colpire l'attenzione in quanto può essere dovuta a uno o più dei seguenti motivi:

- il legno si trova a umidità maggiore del 30%, e quindi è ancora allo stato fresco oppure è stato re-inumidito (dalla pioggia o da "provvidenziali" annaffiature eseguite dal venditore di legname per migliorare temporaneamente l'aspetto del materiale);
- la trave è di legno di Quercia o di altra specie legnosa in cui le fessurazioni tendono, talora, a richiudersi in superficie, mentre rimangono ben aperte all'interno della sezione (l'esame delle testate in questo caso aiuta nella diagnosi).

Per la valutazione di travi in opera occorre verificare anche quanto segue:

- che la trave non sia in realtà un elemento composito formato da elementi di minore sezione variamente connessi (ad es. incollati); l'individuazione delle linee di connessione può essere resa difficile dalla presenza di polvere, sporco o strati di finitura;
- che la trave non presenti la fessurazione sul lato non visibi-

- le dall'esterno (ad es. all'estradosso, in una trave da solaio);
- che le fessurazioni non siano state riempite (stuccatura, tassellatura);
- che la trave non sia stata incisa sul lato non visibile con un taglio longitudinale, nel tentativo di far aprire la fessurazione in una posizione esteticamente ininfluente.

ORIGINE DELLE CIPOLLATURE

Si definisce cipollatura una caratteristica discontinuità tangenziale del tessuto legnoso, che si sviluppa per un tratto più o meno lungo del fusto, evidenziandosi come distacco di due anelli di accrescimento contigui.

In sezione trasversale, la forma della cipollatura è tipicamente a mezzaluna (cipollatura parziale), oppure - nei casi più gravi - ad anello (cipollatura completa). Cipollature a mezzaluna di diverso raggio possono essere collegate tra loro da brusche discontinuità radiali (cipollatura multipla o scomposta).

La cipollatura può risalire dalla base del fusto fino ad alcuni metri di altezza, provocando talvolta il cosiddetto "difetto del palo", ovvero il distacco completo di un cilindro centrale (contenente il midollo) dal resto del tronco.

La cipollatura può riscontrarsi occasionalmente in qualsiasi legname, ma colpisce con notevole frequenza alcune specie nostrane utilizzate nelle costruzioni, principalmente il Castagno e in misura minore l'Abete bianco e il Larice. Essa costituisce un difetto tecnologico potenzialmente grave, che riduce in certa misura la capacità portante dei segati. L'evoluzione della normativa tecnica, che un tempo non ammetteva la cipollatura nel legname da costruzione, porta oggi a prevedere limiti di ammissibilità anche per questo difetto, almeno per gli assortimenti di grande sezione.



4

ORIGINE DELLE TENSIONI INTERNE DI ACCRESCIMENTO DEL FUSTO

A differenza del fenomeno del ritiro, che è legato alla perdita di umidità da parte del legno, l'accumulo e la liberazione delle tensioni interne da accrescimento è totalmente indipendente dallo stato del materiale. L'accrescimento di un albero procede per apposizione successiva di strati di legno formati (per gli alberi che crescono nei nostri climi) con periodicità annuale. Il legno degli anni precedenti all'ultimo è un tessuto formato da cellule ormai morte e quindi non in grado di reagire attivamente né alle sollecitazioni derivanti dal progressivo aumento di massa da parte dell'albero in crescita, né alle eventuali azioni di disequilibrio dovute ai venti dominanti, alla neve, alla pendenza del terreno e a numerose altre condizioni ambientali. Di fatto, quindi, la reazione a questi fattori avviene di anno in anno, grazie alla produzione di nuovo legno che si accumula sopra al materiale di precedente formazione. Questa modalità di accrescimento fa sì che quando si completa la maturazione della pianta e avviene l'abbattimento, nelle diverse zone del fusto sono presenti tensioni talora fortissime, ancorché in equilibrio fra loro. L'operazione di abbattimento e di trasformazione del tronco in assortimenti legnosi (travi, tavole, ecc.) comporta lo sconvolgimento di questo equilibrio e porta a effetti indesiderati, quali la deformazione dei pezzi o addirittura la loro parziale o totale rottura per spacco.

DIAGNOSI DELLE FESSURAZIONI

La diagnosi delle fessurazioni presenti su un elemento ligneo strutturale si rende necessaria ai fini della corretta classificazione dell'elemento stesso secondo le caratteristiche di resistenza meccanica. È noto, infatti, che le fessurazioni rientra-

no fra le caratteristiche che influiscono sulle prestazioni del legname strutturale e sono prese in considerazione quasi da tutte le Norme nazionali e internazionali di classificazione a vista, che ne limitano la presenza e l'estensione.

In questa sede non si prenderà in esame tanto l'aspetto normativo, quanto i presupposti tecnologici che giustificano l'adozione dei criteri adottati dalle Norme tecniche per la misurazione e la valutazione delle fessurazioni.

Un criterio preliminare per distinguere le fessurazioni da altri tipi di discontinuità del legno è quello per esclusione: non si tratta di fessurazioni se si riscontrano linee di frattura e cedimenti che attraversano più o meno trasversalmente la fibratura del legno. Infatti, la modalità caratteristica di apertura delle fessurazioni (anche se non esclusiva di queste ultime) è quella del cedimento lungo la fibratura del legno in seguito al superamento del limite di resistenza del materiale a trazione trasversale. Questo meccanismo di frattura consiste tipicamente nell'apertura di uno spacco più o meno profondo nel materiale.

Un secondo criterio preliminare permette, inoltre, di distinguere le cipollature sane dagli altri due tipi di fessurazione, ed è basato sulla forma della fessurazione stessa, vista in sezione trasversale: la cipollatura, infatti, decorre tangenzialmente nel legno e si presenta quindi come una separazione fra anelli di accrescimento adiacenti, mentre le fessurazioni (non importa se da tensioni interne oppure da ritiro) tipicamente hanno un decorso radiale (dal midollo verso la corteccia del tronco, seguendo l'andamento dei raggi parenchimali midollari).

Per affinare ulteriormente la diagnosi, occorre prendere in esame singolarmente i diversi tipi di fessurazione, secondo le indicazioni che seguono.

FESSURAZIONI DA RITIRO

CRITERI PER IL RICONOSCIMENTO

Le fessurazioni da ritiro si distinguono da qualsiasi altro tipo di discontinuità del legno per la seguente combinazione di caratteristiche:

- per il meccanismo di formazione: si aprono in conseguenza della stagionatura o essiccazione del legno, e quindi non sono visibili nel legno fresco oppure nel legno che, una volta stagionato, abbia riacquisito sufficiente umidità per contatto con acqua o con atmosfera molto umida (a differenza delle fessurazioni da tensioni interne);
- per la disposizione spaziale nel materiale: decorrono rigorosamente nella direzione della fibratura del legno, seguendo fedelmente le eventuali sinuosità e irregolarità, e mai trasversalmente od obliquamente ad essa (a differenza di molte rotture);
- per la morfologia: in sezione trasversale, il loro andamento segue la direzione radiale del legno (a differenza delle cipollature, che decorrono in direzione tangenziale);
- per la geometria del pezzo su cui si aprono: si rilevano prevalentemente su pezzi che includono il midollo del tronco da cui i pezzi stessi sono stati ricavati; spesso il midollo costitui-

4. Nella sezione trasversale coesistono fessurazioni di diversa origine: da ritiro (in diverse posizioni, sottili), da cipollatura sana, da tensioni interne (la fessurazione in alto al di sopra della cipollatura)
(foto L.G. Bevilacqua e G. Capechi).

sce il vertice della fessurazione, che in sezione trasversale assume una caratteristica forma a "V";

■ per il comportamento nei confronti delle variazioni climatiche: sono fessurazioni di ampiezza variabile col clima: tendono, infatti, ad allargarsi e/o estendersi se il clima è secco; viceversa tendono a chiudersi quando l'umidità ambientale aumenta;

■ per il tipo di conseguenze: le fessurazioni da ritiro non comportano automaticamente la non idoneità dell'elemento ligneo all'uso strutturale, esse sono ammesse (entro limiti piuttosto ampi) negli elementi lignei portanti;

■ per le modalità di intervento: è opportuno lasciare le fessurazioni da ritiro libere di allargarsi e restringersi; sono controindicati interventi volti a bloccarle, riempirle o "ricucirle", che indurrebbero nell'elemento stati di coazione potenzialmente pericolosi.

Una volta effettuato il riconoscimento della presenza di fessurazioni da ritiro sull'elemento, la diagnosi prosegue in due distinte direzioni:

■ da un lato si valuta l'ampiezza, la lunghezza e la profondità delle fessurazioni stesse e si confrontano queste dimensioni con i limiti di ammissibilità previsti dalle Norme tecniche per questa caratteristica del legname strutturale. Per i dettagli relativi a questo aspetto si rimanda a una delle Norme di classificazione a vista riportate in bibliografia. Si anticipa soltanto che le fessurazioni da ritiro sono ammesse entro limiti piuttosto ampi, poiché della loro inevitabile presenza si tiene già ampiamente conto nelle tabelle che riportano le tensioni ammissibili o i valori caratteristici per le diverse categorie di legname strutturale;

■ dall'altro lato, si studia il loro andamento con lo scopo di determinare altre caratteristiche importanti ai fini delle prestazioni dell'elemento ligneo strutturale sotto esame. Su questo aspetto, meno conosciuto dai non specialisti, ma altrettanto importante ai fini della sicurezza, si fornisce qualche dettaglio qui di seguito.

USO DIAGNOSTICO DELLE FESSURAZIONI PER LA DETERMINAZIONE DI ALTRE CARATTERISTICHE IMPORTANTI

Le fessurazioni, specialmente quelle da ritiro (particolarmente estese e ben visibili sulle facce degli elementi lignei) si rivelano preziose allo scopo di ottenere precise informazioni sulle seguenti caratteristiche:

- l'inclinazione della fibratura del legno;
- la posizione del midollo nella sezione;
- la presenza di degradamento interno;
- la presenza di rotture a taglio nell'elemento;
- la stima del momento in cui sono stati effettuati trattamenti superficiali.

Inclinazione della fibratura del legno. La fibratura, talora chiamata impropriamente "fibra" o "filo", è la direzione generale prevalente degli assi delle cellule costituenti il tessuto legnoso.

Ogni deviazione della fibratura, rispetto alla direzione dell'asse principale dell'elemento ligneo strutturale, influenza pesantemente le caratteristiche di resistenza e deformabilità di quest'ultimo, e deve essere quindi rilevata con accuratezza in sede diagnostica.

Le fessurazioni da ritiro, che come si è visto, si aprono per separazione laterale delle fibre legnose e seguono fedelmente la direzione della fibratura, costituiscono pertanto un sicuro indicatore dell'inclinazione di quest'ultima, rispetto all'asse del pezzo.

In definitiva, se le fessurazioni non decorrono longitudinalmente, e si presentano sensibilmente inclinate, l'elemento ligneo nel suo complesso dovrà essere classificato in una categoria bassa o addirittura scartato non a causa delle fessurazioni stesse, bensì per l'eccessiva inclinazione della fibratura.

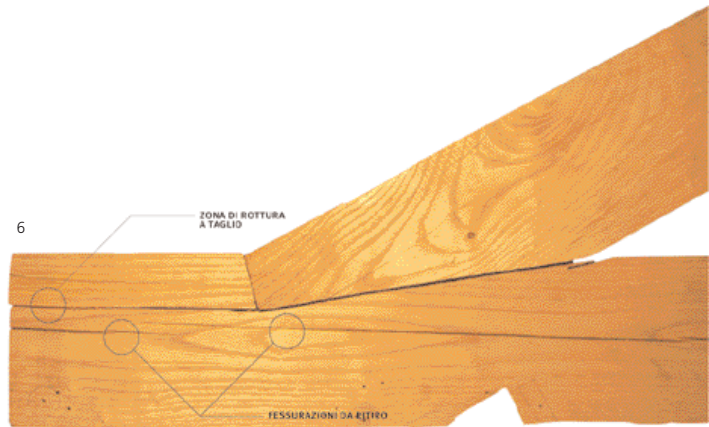
Posizione del midollo nella sezione. La stima della posizione del midollo contenuto nella sezione dell'elemento ligneo è utile ai fini della ricostruzione dell'andamento dei nodi nel legno, che hanno una significativa influenza sulle prestazioni meccaniche delle travi.

Le fessurazioni da ritiro "puntano" in modo del tutto naturale in direzione del midollo e possono pertanto essere sfruttate (ad es. inserendovi una stecca sottile di acciaio) per determinare, con buona approssimazione, la posizione del midollo stesso all'interno della sezione trasversale (figura 5).

Presenza di degradamento interno. Le fessurazioni, come in genere tutte le discontinuità affioranti in superficie, sono utili vie di accesso per l'ispezione diretta o il sondaggio con punte o altro delle parti interne dell'elemento ligneo. Ciò può essere di ausilio nell'accertamento della presenza di zone affette da marciume o di cavità non immediatamente percepibili all'esterno.

Presenza di rotture a taglio (scorrimento). Le fessurazioni da ritiro sono punti preferenziali in cui può avvenire una rottura a taglio per scorrimento orizzontale (ad es. nelle travi tozze sollecitate a flessione, oppure nel tallone del nodo puntone-catena di una capriata tradizionale, ecc.), a causa della riduzione dell'area resistente. Nelle travi in opera, una rottura di questo tipo non sempre si traduce in un collasso della struttura, e tuttavia deve essere ovviamente sempre diagnosticata, al fine di consentire la corretta verifica della sicurezza strutturale. A tal riguardo, si può provare a esaminare con attenzione le fessurazioni da ritiro: di norma al loro interno si notano schegge di legno parzialmente distaccate che uniscono i due bordi della fessurazione, attraversando quest'ultima con un andamento a "S" piuttosto allungata. A seconda del loro orientamento, rispetto all'eventuale scorrimento orizzontale delle due metà della trave, si può riscontrare un anomalo inarcamento delle "S", oppure un distacco di uno dei due punti di confluenza della scheggia con il legno della trave: esercitando una pressione appena sufficiente a far riaccostare elasticamente la parte distaccata al punto originale di congiunzione, si noterà la mancata corrispondenza dovuta a uno sfalsamento di alcuni millimetri, indice di uno scivolamento riconducibile a una possibile rottura per taglio.

Stima del momento in cui sono stati effettuati trattamenti superficiali. Non è infrequente il caso in cui i trattamenti superficiali prescritti dai capitolati di fornitura del legname (trattamenti preservanti o igniritardanti, coloritura, verniciatura o altro) vengano effettuati quando il materiale non è ancora ben stagionato. In conseguenza dell'ulteriore perdita di umidità, si apriranno nuove fessurazioni, che saranno ben distinguibili da quelle preesistenti al trattamento, in quanto presenteranno le facce interne "pulite" con il legno assolutamente al naturale. Va da sé, che queste superfici non trattate possono costituire una comoda porta di accesso per gli insetti xilofagi, rendendo inutile il trattamento preservante già effettuato.



FESSURAZIONI DA TENSIONI INTERNE

Le fessurazioni da tensioni interne si aprono poco tempo dopo l'abbattimento del fusto, indipendentemente dallo stato di stagionatura o essiccazione del legno, e quindi possono essere visibili anche nel legno fresco o bagnato. Questa è la principale caratteristica che le rende nettamente distinguibili dalle fessurazioni da ritiro. Un'altra caratteristica peculiare è quella di portare, talvolta, rapidamente allo sviluppo di fessurazioni passanti di estensione tale da rendere inutilizzabile l'elemento o addirittura dividerlo in due metà per il senso della lunghezza.

Fortunatamente, questi effetti delle tensioni interne si sviluppano in fasi precedenti all'utilizzo del legname e non sono facilmente controllabili con mezzi meccanici di contenimento, quali staffe e graffe metalliche, per cui è ben difficile che un elemento affetto da elevate tensioni interne possa essere inavvertitamente messo in opera.

CIPOLLATURA "SANA"

Il riconoscimento della cipollatura, rispetto agli altri due tipi di fessurazione, è pressoché immediato, dato il suo andamento tipicamente tangenziale. Il suo innesco può avvenire poco tempo dopo l'abbattimento, oppure più tardi, nel corso della stagionatura.

La diagnosi non comporta difficoltà solo quando la cipollatura è già innescata e risulta visibile su almeno una delle due testate dell'elemento.

In altri casi, considerando elementi strutturali ottenuti da tronchi di specie legnose notoriamente soggette a questo difetto (Castagno, Abete bianco, Larice), occorre porre attenzione a quegli indizi che possono far sospettare la presenza di una cipollatura occulta o la probabile insorgenza del difetto con l'andare del tempo.

Una classica verifica, che viene effettuata sul materiale in opera (testate non visibili), è quella dell'inserimento di una sottile stecca di acciaio nelle fessurazioni che compaiono sulle facce dell'elemento ligneo: se si tratta di una cipollatura affiorante, la stecca si disporrà tangenzialmente, forman-

do un angolo acuto con la superficie esterna del pezzo; se, invece, si tratta di una fessurazione radiale da ritiro o da tensioni interne, la stecca si disporrà all'incirca perpendicolarmente alla superficie del pezzo.

INFLUENZA DELLE FESSURAZIONI SULLE PRESTAZIONI MECCANICHE

Le caratteristiche di resistenza del legno che più risentono della presenza di fessurazioni sono tre:

- la trazione perpendicolare alla fibratura;
- il taglio;
- la flessione (quest'ultima risente soprattutto della presenza di cipollature).

TRAZIONE PERPENDICOLARE ALLA FIBRATURA

Le fessurazioni contribuiscono a peggiorare la già modestissima tensione di rottura del legno a trazione perpendicolare alla fibratura (circa 0,5 MPa), a causa dell'evidente perdita di sezione resistente. Particolare attenzione dovrà pertanto essere rivolta ad evitare la presenza e/o il posizionamento sfavorevole di fessurazioni nei punti delle strutture portanti in cui si concentra questo tipo di sollecitazione: travi appoggiate con intaglio in testa (notched beams), unioni di pezzi disposti perpendicolarmente o quasi l'uno rispetto all'altro (ad es. trave di impalcato sospesa con tiranti), e simili.

TAGLIO

I valori tipici di resistenza a taglio per scorrimento orizzontale del legno netto si aggirano intorno agli 8 MPa (mentre non si riesce ad attribuire alcun valore di resistenza al taglio perpendicolare alla fibratura perché durante le prove il legno cede sotto il dispositivo di carico prima per schiacciamento a compressione trasversale che per tranciamento delle fibre legnose).

Si vince, dalle prove sperimentali, che le fessurazioni riducono sensibilmente la capacità resistente allo scorrimento. Tuttavia, il loro effetto si esplica pienamente solo quando si

5. Uso della stecca metallica per determinare la posizione del midollo nella sezione trasversale.

6. Provano in dimensione reale che simula il nodo puntone-catena di una capriata: la rottura a taglio del tallone di legno è avvenuta in una sezione di legno netto, nonostante la presenza nelle immediate vicinanze di profonde fessurazioni da ritiro (foto H. Thoma).

- [1] BONAMINI G., NOFERI M., TOGNI M. "On-site grading of old timber members" in: *Wooden Handwork / Wooden Carpentry: European Restoration Sites - Proceedings of Culture 2000 Project: Italian Action*, 2001, Elsevier SAS, Paris, ISBN 2-84299-344-6, pp. 205 – 210.
- [2] BONAMINI G., NOFERI M., TOGNI M. "Voci di Capitolato speciale d'appalto per il legname strutturale - Il Parte: Indagini sul legno strutturale in opera" *L'Edilizia*, n.5 Ottobre-Novembre 2001, Anno XV, De Lettera Editore, Milano, pp. 34-40.
- [3] BONAMINI G., NOFERI M., TOGNI M. "Voci di Capitolato speciale d'appalto per il legname strutturale - I Parte: Qualità del legname a piè d'opera" *L'Edilizia*, n.4 Agosto-Settembre 2001, Anno XV, De Lettera Editore, Milano, pp. 38-43.
- [4] BONAMINI G., NOFERI M., TOGNI M. "Problemi di classificazione delle travi di legno in opera" *L'Edilizia*, n.7/8 Luglio-Agosto 2000, Anno XIV, De Lettera Editore, Milano, pp. 44-47.
- [5] BONAMINI G., NOFERI M., TOGNI M. E UZIELLI L. "Manuale del Legno Strutturale - Vol. 1 - Ispezione e diagnosi in opera", Editore Carlo Mancosu, Roma, 2001, ISBN-88-87017-01-8.
- [6] BONAMINI G., NOFERI M., TOGNI M. "Classificazione a vista del legname strutturale: la situazione normativa italiana" in: *Atti del Convegno LIGNOMEC '01 "Progettare la durabilità - Il legno dalla materia prima al manufatto"*, Bolzano 17 febbraio 2001 – CNR Istituto per la Tecnologia del Legno, San Michele all'Adige (TN), pp.69-72.
- [7] BONAMINI G., TOGNI M., PASCUCCI R. *Regole di classificazione per le travi di Castagno*. C.L.U.T. Editrice, Torino, Gennaio 1998, p.45, ISBN 88-7992-132-0.
- [8] BONAMINI G., UZIELLI L., ZANUZZI R. *Elementi di Tecnologia del Legno Vol. I: Scienza del legno*, Firenze, 1993, edito a cura degli Autori.
- [9] FRECH P. "Beurteilungskriterien für Ribbildungen bei Bauholz im konstruktiven Holzbau." *bauen mit holz* 89, 1987, 582-585.
- [10] GIORDANO G. *Tecnologia del legno*. Volumi: I (1981), II,2 (1983), III1 (1986), III2 (1988), U.T.E.T., Torino.
- [11] GIORDANO G., CECCOTTI A., UZIELLI L. *Tecnica delle costruzioni in legno*, V ed. 1999, Hoepli, Milano.
- [12] GÖRLACHER R. *Hölzerne Tragwerke – Untersuchungen und Beurteilen*, 1996, Universität Karlsruhe (TH), Sonderforschungsbereich 315.
- [13] KOLLMANN F., COTÉ W.J.R. *Principles of Wood Science and Technology* Springer, Berlin, 1968.

- NORMA ITALIANA SPERIMENTALE UNI ENV 1995-1-1 "Progettazione delle strutture di legno. Parte 1.1. Regole generali e regole per gli edifici", Febbraio 1995.
- NORMA ITALIANA SPERIMENTALE UNI ENV 1995-1-2 "Progettazione delle strutture di legno. Parte 1.2. Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio", Febbraio 1995.
- NORMA ITALIANA UNI 8198 "Segati di Conifere – Classificazione in base alla resistenza, 1981 (con Foglio di aggiornamento FA 145 del 1984).
- NORMA ITALIANA UNI EN 518 "Legno strutturale – Classificazione – Requisiti per le norme di classificazione a vista secondo la resistenza, Marzo 1997
- NORMA SVIZZERA SIA 164 "Constructions en bois" 1981.
- NORMA TEDESCA DIN 1052 "Holzbauwerke – Berechnung und Ausführung", April 1988.
- NORMA TEDESCA DIN 1052-1/A1 "Holzbauwerke – Teil 1: Berechnung und Ausführung – Änderung 1", Oktober 1996.
- NORMA TEDESCA DIN 4074 "Sortierung von Nadelholz nach der Tragfähigkeit – Nadelholz – Nadelholz", September 1989

trovino effettivamente in corrispondenza del piano soggetto a taglio: già a distanza di qualche millimetro, l'influenza diventa praticamente pari a zero (figura 6). In pratica, nell'Eurocodice 5 i valori caratteristici tengono già prudenzialmente conto di una normale presenza negli elementi lignei di fessurazioni da ritiro, ma non di eventuali cipollature. Idem per quanto riguarda la normativa basata sulle tensioni ammissibili (ad esempio la versione della Norma Tedesca DIN 1052 precedente all'introduzione dell'Eurocodice 5), che ammette come "normale" la presenza di fessurazioni da ritiro non passanti, che riducano fino ad un max. del 45% circa l'area soggetta a taglio.

FLESSIONE

La resistenza a flessione del legno strutturale differisce notevolmente da quella del legno netto, a causa della diversa modalità di innesco della rottura nei due casi: il legno netto, dopo la fase elastica, inizia a deformarsi plasticamente per poi a cedere per compressione assiale lungo il bordo superiore; al contrario, di norma, gli elementi strutturali cedono in corrispondenza di un nodo o di altro difetto, collassando improvvisamente (comportamento fragile a rottura).

Analogamente a quanto già ricordato per il taglio, la normativa tecnica vigente tiene già conto della presenza di normali fessurazioni da ritiro negli elementi, ma non dell'eventuale presenza di cipollature (nelle nuove versioni, attualmente in corso di approvazione, della normativa UNI italiana, si tiene conto anche di queste ultime, almeno per le specie più soggette a tale difetto). Se il legname strutturale viene classificato secondo la resistenza e gli vengono attribuiti i valori delle proprietà meccaniche riportati nelle norme tecniche per la categoria di appartenenza, non è necessario penalizzarlo ulteriormente deducendo l'area delle fessurazioni dalla sezione resistente.

COME INTERVENIRE SULLE FESSURAZIONI

PREVENZIONE

Una vera e propria prevenzione delle fessurazioni non è possibile, poiché sia le fessurazioni da tensioni interne, sia quelle da ritiro, sia infine le cipollature sono manifestazioni di comportamenti "fisiologici" e inevitabili del legno. L'unica possibilità è quella di selezionare e mettere in opera materiale che fin dall'origine sia esente da tali difetti. Limitatamente alle sole fessurazioni da ritiro, esiste la possibilità tecnica di ottenere materiale che, pur ritirandosi durante la stagionatura, non si fessuri: si tratta di scegliere assortimenti legnosi "fuori midollo" (ad esempio ricavati da metà oppure da un quarto di tronco, facendo in modo che il midollo centrale rimanga escluso dalla sezione trasversale). Si comprende come questa strada sia percorribile soltanto quando siano disponibili tronchi con diametro più che doppio rispetto alla sezione desiderata.

Altre possibilità tecniche, quali ad esempio l'impregnazione del legno con sostanze rigonfianti che impediscano il ritiro, e quindi l'apertura delle fessurazioni, ricadono ancora più nel campo della ricerca scientifica che dell'applicazione pratica.

PRETESA RIDUZIONE DELL'IMPATTO ESTETICO

Sebbene le fessurazioni siano connaturate al legno, al pari di altre caratteristiche estetiche quali la venatura e i nodi, si rileva una incomprensibile tendenza a considerarle come un qualcosa di indesiderabile e da mascherare ad ogni costo.

I "rimedi" più usati a tale scopo sono principalmente due:

-relegare le fessurazioni in posizioni non visibili (ad esempio sulla faccia superiore nelle travi di un solaio). Questo accorgimento si scontra con numerose difficoltà, come il dato di fatto che le travi a sezione rettangolare vengono disposte "di fianco", per usufruire della massima altezza disponibile, e le fessurazioni si aprono preferenzialmente proprio sui lati lunghi della sezione. Inoltre, dato che la maggior parte delle travi di legno massiccio vengono poste in opera quando devono ancora finire di stagionare, non è possibile prevedere a priori dove si apriranno le nuove fessurazioni. Un metodo usato per "predeterminare" la fessurazione è quello dell'intaglio longitudinale, ma si tratta di una pratica non raccomandabile, in quanto poco efficace e (specialmente nelle travi a fibratura inclinata) suscettibile di indebolire la trave molto di più della fessurazione naturale, che rispetta comunque la continuità della fibratura;

-riempire le fessurazioni con materiale vario: si va dalla stuccatura con gesso, al riempimento con resine epossidiche, alla "sveratura" con tasselli di legno duro. In tutti i casi si tratta di un intervento da evitare, poiché all'aumentare o al diminuire dell'umidità del legno, le fessurazioni tendono rispettivamente a restringersi o ad allargarsi e se questa tendenza risulta impedita, nascono tensioni che possono causare l'estensione a zone di legno ancora integre. Qualora sia assolutamente necessario chiudere o mascherare le fessurazioni (ad esempio per ridurre la superficie di legno esposta all'incendio), converrà quindi farlo con materiale cedevole, che possa accompagnare le inevitabili deformazioni del legno.