

Università degli Studi di Firenze – Scuola di Agraria

Corso di Laurea Magistrale in: Scienze e Tecnologie dei Sistemi Forestali

Materia tesi: Valorizzazione del legno

Titolo tesi: RIPRISTINO STRUTTURALE DI TRAVI LIGNEE: INDAGINE SUGLI INTERVENTI DI RICOSTRUZIONE DI TESTATA CON PROTESI DI LEGNO CONNESSA CON BARRE INCOLLATE

Relatore: Prof. Marco TOGNI

Correlatori: Ing. Benedetto PIZZO

Ing. Marco Pio LAURIOLA

Candidato: Alessio SUSINI

e-mail: alessio.susini@hotmail.com

Anno Accademico: 2012/2013

Sessione del 16/04/2014

RIASSUNTO

La ricostruzione di testata di travi lignee, tramite la sostituzione della parte degradata con una protesi di legno e la connessione di quest'ultima alla parte di trave sana con barre di rinforzo e adesivo, è una pratica ormai da tempo diffusa nell'ambito degli interventi di restauro.

Nel lavoro in esame è stato analizzato il comportamento meccanico di vari tipi di giunzione, aventi in comune la connessione fra trave e protesi, realizzata con barre di acciaio incollate con resina epossidica, con l'obiettivo di fornire dati, frutto di prove, che consentano di migliorare la previsione del comportamento meccanico e di favorire il miglioramento della progettazione di tali interventi.

La tecnica analizzata prevede l'utilizzo di una protesi in legno, della stessa specie della trave su cui si va ad intervenire. Gli elementi di rinforzo in acciaio vengono posizionati in direzione parallela alla fibratura, per minimizzare gli effetti del ritiro/rigonfiamento del legno. Questi accorgimenti garantiscono la compatibilità dei materiali costituenti il giunto. Come adesivo vengono utilizzate malte epossidiche, a consistenza tissotropica (spatolabili). La realizzazione del giunto viene eseguita, in cantiere, tramite l'apertura di canali laterali oppure di fori dove inserire le barre.

La normativa di riferimento in Italia è costituita essenzialmente dal Documento Tecnico CNR DT 206/2007, che riporta tre modi di rottura della connessione da considerarsi in fase di progetto:

1) modo a: rottura a trazione della barra;

2) modo b: rottura per scorrimento del legno all'interfaccia con l'adesivo;

3) modo c: rottura a trazione del legno. Il valore caratteristico per il dimensionamento della connessione viene considerato come il minore tra i risultati dei tre diversi modi di rottura.

Riferendosi alle passate esperienze sull'argomento sono emerse delle differenze sostanziali tra prove sperimentali e ciò che viene normalmente considerato in fase di progettazione: in particolare è stato identificato un modo di rottura diverso da quelli riportati nel CNR DT 206/2007 (modo d: rottura per spacco del legno, in direzione perpendicolare alla fibratura). In fase di progettazione sono stati considerati due diversi approcci per quest'ultimo caso: un primo metodo proposto dall'ing. Lauriola, e un secondo metodo riportato nell'Eurocodice.

Per il presente studio sono state utilizzate travi in legno lamellare di abete rosso (*Picea abies* Karst.) di due diverse sezioni (120x140 mm e 200x160 mm). In fase di produzione è stato espressamente richiesto un controllo della massa volumica in modo che il materiale risultasse il più omogeneo possibile. In totale sono stati utilizzati 45 provini: 25 di più piccole dimensioni e 20 di dimensioni maggiori.

Sono state utilizzate barre di acciaio ad aderenza migliorata di due diversi diametri (10 e 14 mm) e barre di acciaio filettate di 7 mm di diametro.

Come adesivo è stata usata la Mapewood Paste 140 LM prodotta dalla Mapei.

Sono state eseguite delle prove preliminari sulle travi intere, prima della realizzazione delle giunzioni, per la determinazione del modulo di elasticità a flessione globale.

Per la realizzazione dei giunti si è provveduto all'apertura di canali laterali dove inserire le barre, in prossimità di una testata della trave, e alla realizzazione del taglio per la separazione della protesi (la parte più corta del provino) dalla trave (la parte più lunga del provino). Le due parti sono state riunite tramite tavolette di legno fissate sulle facce superiore/inferiore del provino. È stato quindi eseguito l'incollaggio, applicando prima la malta sul fondo dei canali e in seguito inserendo le barre. Viene solitamente inserito un listello di legno a chiusura del canale.

Sono state provate varie configurazioni del giunto, definite in base agli obiettivi preposti. Per ogni configurazione è stata realizzata una serie di 5 provini.

Per quanto riguarda i provini più piccoli sono stati verificati:

- l'effetto dell'inclinazione della superficie di collegamento tra protesi e trave, rispetto al piano orizzontale, realizzando il taglio con angolo di 45° (configurazione A), 90° (configurazione B) e 135° (configurazione C). Sono state usate barre da 10 mm di diametro per il collegamento;
- il rinforzo dei provini mediante l'utilizzo di viti inserite in direzione perpendicolare alla fibratura, in configurazione B, con barre da 10 mm;
- l'uso di barre filettate accoppiate di 7 mm di diametro, più rigide delle normali barre di 10 mm, a parità di sezione resistente, su provini in configurazione B.

I provini più grandi sono stati realizzati tutti in configurazione A. Sono stati verificati:

- l'effetto della dimensione dell'elemento di rinforzo, realizzando una serie di provini con barre di acciaio di 10 mm e una con barre di 14 mm di diametro;
- l'effetto dell'assenza del listello di chiusura del canale, su provini con barre di 10 mm in cui non è stato inserito il listello;
- l'effetto della distanza delle barre dai bordi laterali, sempre utilizzando le barre di 10 mm, ma inserite ad una maggiore profondità dal bordo.

Sui provini sono state rilevate la rigidezza e le deformazioni del giunto in campo elastico, in seguito sono state eseguite le prove a rottura per flessione.

Dopo la rottura sono state eseguite ulteriori valutazioni, per la determinazione di: massa volumica e umidità (con il metodo della doppia pesata), ampiezza degli anelli e legno di reazione.

Dai risultati registrati durante le prove si è potuto verificare come i provini interi, prima dell'intervento, risultassero più rigidi rispetto agli stessi dopo la realizzazione del giunto. Le deformazioni registrate nella parte del provino dove era presente la giunzione sono risultate maggiori rispetto a quelle del lato opposto della trave, su cui non si è intervenuto.

Analizzando i valori di carico a rottura ottenuti dalle prove sperimentali e confrontando quest'ultimi con i valori di progetto, si può notare che i valori attesi secondo il DT 206/2007 sono sempre riferiti al modo di rottura b (scorrimento) e risultano mediamente molto inferiori rispetto a quelli realmente raggiunti, mentre i valori di previsione per il modo di rottura d (spacco del legno) sono mediamente superiori a quelli raggiunti nelle prove. Dall'analisi dei modi di rottura si può notare però che la maggior parte dei provini si sia rotta per spacco, diversamente da quanto considerato nella vigente normativa. I valori di carico raggiunti dai provini piccoli sono risultati molto omogenei tra loro e le differenze di carico sono state statisticamente non rilevanti, tranne per i provini rinforzati con viti, che hanno ottenuto valori di rottura molto maggiori, tanto da provocare la rottura per flessione del legno della trave in mezzera, e non delle giunzione. Per quanto riguarda i provini di dimensioni maggiori sono emerse delle differenze sostanziali nel modo di rottura per la serie con barre di 14 mm di

diametro rispetto alle altre serie di provini (con barre di 10 mm). In questo caso la rottura è avvenuta per scorrimento/rottura a trazione del legno e non per spacco. Per quanto riguarda le restanti tre serie di provini le differenze maggiori sono state registrate per i provini senza listello, che si sono rotti a valori decisamente inferiori rispetto ai provini dotati di listello di chiusura dei canali.

I valori relativi a massa volumica, ampiezza degli anelli e legno di reazione non hanno mostrato correlazioni strette con la resistenza del giunto.

In conclusione è possibile fare le seguenti osservazioni:

- non è stata confermata l'influenza dell'inclinazione del taglio sulla resistenza del giunto, i provini con barre filettate accoppiate hanno ottenuto risultati equivalenti a quelli con le normali barre di acciaio di 10 mm, mentre il rinforzo dei provini con le viti ha permesso di ristabilire le caratteristiche di resistenza originarie del legno (la rottura non è avvenuta sulla giunzione, ma sul legno per flessione);
- i provini con le barre di dimensioni maggiori hanno manifestato prevalentemente la rottura per scorrimento delle barre, per cui si sono rotti in maniera totalmente diversa rispetto agli altri travetti. In questo caso le barre sono state inserite ad una distanza maggiore dai bordi superiore/inferiore, per cui si è contribuito in maniera significativa all'aumento della resistenza del legno per spacco;
- si ritiene che il listello di chiusura contribuisca alla resistenza del giunto: l'assenza del listello, infatti, non permetterebbe alla porzione di legno più esterna di lavorare al meglio;
- la distanza delle barre dai bordi laterali sembra influire in maniera meno rilevante sulla resistenza del giunto;
- sono state osservate delle significative differenze nei valori sperimentali, rispetto ai valori di previsione considerati. In particolar modo il Documento Tecnico CNR DT 206/2007 non considera il modo di rottura d (spacco del legno), e riporta parametri che possono essere considerati non esatti, o comunque molto cautelativi, per il modo b (scorrimento).

L'analisi dei modi di rottura ha permesso di osservare che l'utilizzo di un elemento di rinforzo molto rigido, come le barre di acciaio, tende a spostare il problema sulla parte più debole del legno (rottura per spacco in direzione perpendicolare alla fibratura). In futuro si potrebbe prevedere l'utilizzo di listelli di legno direttamente come elementi di rinforzo, utilizzando legno ad elevata densità, senza difetti, o legno densificato, verificandone prima la compatibilità con l'incollaggio.