

Premessa

Negli ultimi due decenni abbiamo sviluppato e proposto tecniche sempre più raffinate per il collegamento incollato di elementi di legno per impiego strutturale, convinti della loro indispensabilità in tempi ormai prossimi. Sullo slancio di precedenti innovazioni nei collegamenti a secco (ad esempio Palasport di Casalecchio di Reno) e poi in quelli incollati (dalle pensiline della Fondazione Pro Juventute a Milano in poi) eravamo pervenuti ai *Giunti CNP sottili con piastre in acciaio* sabbiato [2].

Più recentemente abbiamo ideato il *Giunto Italia* con inserti in FRP (Fiber Reinforced Polymers), facendo confrontare (prove secondo EN 380, come prescritto) numerosi campioni in grande scala con altri campioni con *Giunti CNP sottili*, analogamente incollati. Le prove rientrano nel Contratto di Ricerca con il Politecnico di Milano, in essere da due anni.

Hanno contribuito al confezionamento dei campioni le ditte di carpenteria del legno **Simionato Legnami** di Zero Branco (Tv), **De Prà Adriano** di Farra di Soligo (Tv), **Alessandro Dianese Legnami s.r.l.** di S. Donà di Piave (Ve), **Montagnoli Evio s.r.l.** di Arsago Seprio (Va), **Adriano Bevilacqua s.r.l.** di Tradate (Va), **Cammi Group S.p.A. - Divisione Legname** di Visano (Bs) e **Sala Guido Legnami s.r.l.** di Calò di Besana Brianza (Mb), quest'ultima per il confezionamento di tutti i provini sistema legno-adesivo (EN 301) e dei provini per le prove di pull-out di inserti laminati FRP in cubotti di legno lamellare GL24h (ISO 10080).

Nel mese di giugno dello scorso anno abbiamo presentato una memoria sul *Giunto CNP sottile* con piastre in acciaio e sul *Giunto Italia* alla tre giorni del WCTE 2010 (World Conference of Timber Engineering) di Riva del Garda. E' l'incontro scientifico mondiale sul legno, che si tiene con frequenza biennale in Paesi sempre diversi. Nel 2010 la conferenza è stata promossa a Riva del Garda per volontà del prof. Ario Ceccotti, che l'ha eccellentemente diretta. Hanno partecipato oltre 600 docenti universitari ed esperti di tutto il mondo, ma solo 47 (meno dell'8%) erano nostri connazionali. Il titolo del nostro saggio è stato: "*Sistemi di continuità strutturale in FRP nella carpenteria in legno*".

Allo stesso convegno i professori Maria Adelaide Parisi e Carlo Poggi del Politecnico di Milano ed i loro collaboratori arch. Chiara Tardini e ing. Giulia Fava presentarono la memoria: "*Experimental studies on timber beam connections with glued-in fiber reinforced plates*". La professoressa Parisi tenne una dotta esposizione che sorprese tutti noi, per le novità scientifiche emerse. Considerava anche il comportamento dei nostri inserti *CNP sottili* in acciaio e quelli *Giunto Italia* in FRP.

Successivamente è stata eseguita nei Laboratori del Politecnico di Milano la seconda tornata della *Campagna di prove*, con risultati più che soddisfacenti, che hanno rafforzato le nostre intuizioni. Recentemente abbiamo avuto la disponibilità di conoscere le intere sequenze dei rilevamenti computerizzati su questi campioni.

Il fortunato incontro con l'ing. Gianluca Fagotti del Servizio Controllo Costruzioni della Provincia di Perugia, esperto in problematiche sismiche, ci ha stimolato a prendere più netta consapevolezza. Una prima occa-

SINERGIA **MadeCK** EST NATURAM

Il legno è l'unico materiale pronto di alta ingegneria rinnovabile in natura

MOTIVAZIONE DEI CENCI & FAGOTTI SUL COMPORTAMENTO D'INSIEME DEL GIUNTO ITALIA IN FRP (Fiber Reinforced Polymers) NEL LEGNO E MODELLO DI CALCOLO A FAVORE DI SICUREZZA

[1]

di Giovanni e Sabrina Cenci, strutturistica in legno dal 1972

sione è stata la condivisione del brevetto "*Procedimento per la realizzazione di strutture portanti in legno con giunzioni strutturali fibrorinforzate continue*" (Arealegno n. 52, gennaio-febbraio 2011).

Al 1° Convegno Nazionale Assocompositi presso il Politecnico di Milano nel maggio di quest'anno, presieduto dal prof. Luigi Ascione [3], l'ing. Fagotti ha tenuto un'importante esposizione sul tema "*Impiego di FRP per il collegamento di travi e pannelli in legno - Considerazioni sulle unioni tra elementi lignei mediante l'utilizzo di fibrorinforzati (FRP)*". Precedentemente gli era stato assegnato un breve intervento sullo stesso tema al 1° Forum Edilizia in Legno Italia (FLI 2011) di Verona, organizzato da Holz Thurner di Kötschach Mauthen (Austria).

Il modello di calcolo che avanziamo, a favore di sicurezza, è facilmente adottabile. Molto è dovuto allo stimolo, riflessioni e suggerimenti offertici spas-

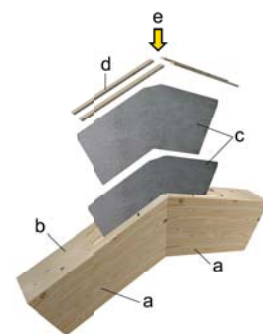


Fig. 1 - **GIUNTO SOTTILE CNP**

- a) aste della trave;
- b) intagli;
- c) piastre di acciaio sabbiato e protette Xepox 14;
- d) listelli di chiusura;
- e) adesivo Xepox 40.

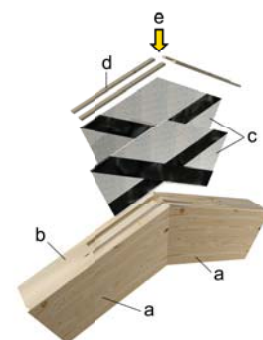


Fig. 2 - **GIUNTO ITALIA**

- a) aste della trave;
- b) intagli;
- c) inserti in FRP composti da stuoie bilanciate in vetro E e nastri unidirezionali di carbonio;
- d) listelli di chiusura;
- e) adesivo Xepox 40.



Fig. 3 - **GIUNTO ITALIA** in laminati CGFRP confezionati in "in situ" (De Prà)



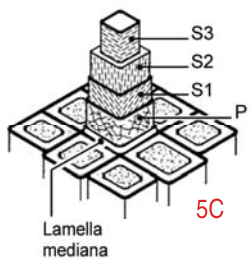
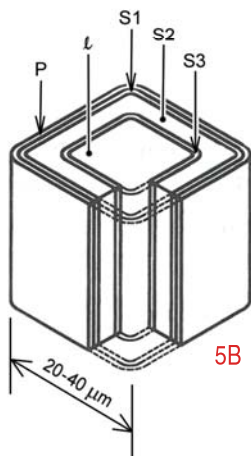
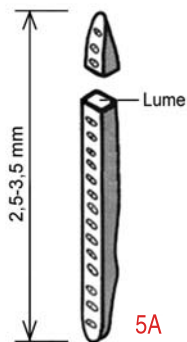


Fig. 5A, B, C:
5A) Tracheide;
5B) Particolare sezionato di una tracheide:
P = parete primaria esterna;
S1, S2, S3 = strati della parete secondaria interna;
L = cavità libera (lume), dopo l'abbattimento dell'albero;
5C) Raffigurazione che evidenzia la conformazione di una tracheide.

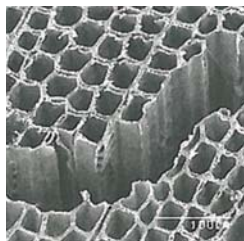


Fig. 6 - Fasci di fibre scisse da una frattura. Risultano molto bene evidenziate le pareti cellulari che avvolgono i lumi.

Esclusa la prima figura, le altre immagini (adattate) sono tratte dal testo del prof. M. Piazza ed altri - Hoeppli, citato più avanti nell'articolo.



Fig. 4 - **Campione predisposto da SIMONATO LEGNAMI**
Prova n. 6 a cura del Laboratorio Prove Materiali del Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano

sionatamente dall'ing. Gianluca Fagotti, che ha condiviso nella sostanza le motivazioni comportamentali dei sistemi ideati. E' per noi assolutamente un dovere rendere merito alla disponibilità e lungimiranza dell'ing. Fagotti dando a questo saggio il titolo: *Motivazione dei Cenci & Fagotti sul comportamento d'insieme del Giunto Italia in FRP (Fiber Reinforced Polymers) nel legno e modello di calcolo a favore di sicurezza.*

L'unione tra il tessuto del legno ed il tessuto FRP

Ci siamo resi conto che il legno è l'unico materiale pronto di alta ingegneria rinnovabile in natura ed è stato per noi istintivo ricomporre la continuità di più pezzi con materiali artificiali di struttura assimilabile, per ottenere un comportamento *pseudo duttile*. Il legno propriamente detto è costituito da milioni di cellule di varie dimensioni e forme, ben serrate tra loro in fasci di fibre di cellulosa legate prevalentemente dalla matrice polimerica di lignina.

Prediligiamo per le nostre strutture il legno di conifera, il cui tessuto è composto prevalentemente da fasci di fibre costituite da cellule fusiformi allungate, le *tracheidi*, accodate nella direzione longitudinale del tronco e tra loro collegate dalla lamella mediana, pur essa di lignina. I fasci di fibre sono intersecati dai raggi midollari che si propagano dal midollo. Le tracheidi sono formate da un involucro pluristrato (*parete cellulare*) che contorna una cavità (il *lume*) contenente acqua libera, che evacua dopo l'abbattimento dell'albero.

L'involucro parietale delle cellule delle tracheidi è un laminato pluristrato composto da lamelle di microfibrille di cellulosa in una matrice prevalentemente di lignina: il 3% dello spessore è costituito dalla *parete primaria esterna* di microfibrille disposte casualmente e per il resto dalla *parete secondaria interna* composta da tre strati di differenti spessori. In ciascuno dei quattro strati della parete cellulare l'orientamento delle fibrille è completamente differente da quello degli altri strati. L'orientamento pluriassiale delle fibrille conferisce alle cellule, ed al legno nel suo insieme, elevate potenzialità meccaniche.

Il primo strato della *parete secondaria interna* (circa il 10% del totale) è a ridosso della *parete primaria esterna* ed è costituito da microfibrille che hanno un andamento elicoidale molto accentuato (60°-70°

rispetto all'asse della cellula). Lo strato mediano è il più consistente (circa lo 85% del totale) con le microfibrille parallele tra loro e nell'insieme disposte con un'inclinazione meno accentuata (10°-30°). Infine lo strato interno sottilissimo (2% dello spessore totale) presenta le microfibrille assai più inclinate rispetto al primo strato (60°-90°). A fronte di questa magnificenza della natura restava irrisolto come ricostituire la continuità di testa di elementi di legno per le strutture, in modo meno devastante rispetto ai sistemi "a secco" in uso.

Abbiamo percepito l'analogia tra il *Giunto Italia* e la struttura intima del legno: i filamenti di vetro *E* delle stuoie bilanciate ed i filamenti di carbonio dei nastri sono corrispettivi delle microfibrille cellulari; i fili di vetro *E* e di carbonio stanno per le catene di cellule; i nastri di carbonio richiamano i fasci di fibre; le spesse stuoie bilanciate in vetro *E*, tessute a maglia larga per consentire il transito veloce dell'adesivo, richiamano il tessuto di insieme del legno (fasci di fibre e raggi midollari); la matrice polimerica epossidica che imbibisce i filamenti di carbonio e si insinua nelle maglie del tessuto di vetro *E*, involuendo i fili e saturando i vuoti della stuoia, si rifà alla funzione della matrice polimerica di lignina che lega le microfibrille ed è presente tra i fasci di fibre. Sin dall'inizio abbiamo attribuito a questa "commistione legante complessa" il termine di *ingrappamento* (Zanichelli), sembrandoci per i nostri casi più appropriato della dizione "effetto ingranamento" (*aggregate interlock*), utilizzata in senso stretto per il cemento armato [4].

Gli inserti del *Giunto Italia* sono costituiti da tessuti di fibre artificiali di carbonio *HTS* e di vetro *E* aggregati tra loro, con gli orientamenti definiti in progetto, tramite la matrice epossidica di *primo legamento* Xepox 14. Dopo l'avvenuto inserimento degli aggregati (stuoie e nastri) negli intagli del legno, tutti i vuoti residui vengono occupati dal *secondo legamento* (matrice epossidica di completamento Xepox 40). Precedentemente, nella fase conclusiva della loro produzione, le stuoie in vetro *E* sono state moderatamente apprettate con soluzione polimerica Xepox Finish in ragione del 10% del loro peso, per limitarne la deformabilità ed essere utilizzate come mezzo di inserimento dei nastri di carbonio nella posizione progettata.

Le miscele adesive Xepox 14 e Xepox 40 sono necessariamente prodotti di pregio, resi altamente scorrevoli, tanto da potersi insinuare ed insediare nelle microcavità cellulari e tra i filamenti delle fibre artificiali. Gli adesivi Xepox non modificano il loro volume al momento della miscelazione, durante la polimerizzazione e nel lungo tempo. Le loro resistenze caratteristiche sono di molte volte superiori a quelle del legno e restano immutate nel tempo nelle condizioni di esercizio, nonché nelle condizioni ultime e per carichi eccezionali.

Non appena miscelati nelle percentuali predisposte, la resina ed il rispettivo indurente catalizzatore iniziano a polimerizzare tra loro. I tempi di polimerizzazione non vanno indebitamente affrettati e sono condizionati dalla temperatura ambientale e dei materiali da aggregare. Entrambi i componenti (resina e catalizzatore) devono essere conservati a temperatura ambiente moderata, ma non fredda; la miscelazione deve essere completa.

L'adesivo di *primo legamento* (Xepox 14) deve essere subito utilizzato per l'imbibizione dei filamenti artifi-





Fig. 7 - **Campione predisposto da DE PRA' ADRIANO**
Prova n. 7 nel Laboratorio Prove Materiali del Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano

ciali, tra i quali pure polimerizza, e per l'involuppo dei fili delle stuoie di aggregazione che attraversano, legando così tra loro gli strati dei tessuti.

Per inciso, l'adesivo Xepox 14 è utilizzato anche per proteggere da nuova ossidazione le superfici delle piastre in acciaio dei *Giunti CNP*, rese porose (non più lisce) dopo la rimozione delle scorie (calamina) con la sabbiatura di grado SA3.

Gli adesivi di *secondo legamento* si insidiano tra le più minuscole asperità del legno, bagnandole ed aggregandole solidalmente con la polimerizzazione; invadono i lumi aperti o troncati dagli intagli praticati nel legno (anche ogni minuscola fessura), aderendo alle pareti cellulari e così legando tenacemente le fibre artificiali al tessuto del legno; aderiscono ovunque sull'adesivo di primo legamento. Conseguentemente gli adesivi Xepox 14 e Xepox 40 costituiscono la matrice legante omnidirezionale tra loro delle fibre artificiali e tra queste e le fibre naturali.

Le prove effettuate e le successive ispezioni confermano che nella realtà si verifica la commistione intimamente solidale della matrice e fibre artificiali (composito FRP per *Giunto Italia*) con quelle naturali che compongono il legno (cellule costituite da *microfibrille* e lignina). E' così che si realizza con facilità e convenienza la ricostituzione della continuità tra loro degli elementi in legno per impieghi strutturali, onde poterli collegare ed impiegare costruttivamente come fossero stati in origine un tutt'uno e valutandoli come sezioni parzializzate nella verifica statica (legno = polo compresso; carbonio = polo teso; stuoie di vetro E ed adesivo Xepox per la ripresa delle azioni taglianti) [5].

Caratteristiche dei collegamenti incollati *Giunto CNP* e *Giunto Italia*

Dopo la necessaria esposizione che precede, non guasta un cenno sulle peculiarità del *Giunto CNP sottile* con piastre in acciaio incollate, preparate sabbiate col grado SA3 e subito protette con Xepox 14 [6]. Questa tipologia *CNP* ed il *Giunto Italia*, a parità delle dimensioni del legno, intagli e carichi, nonostante il diverso materiale, necessitano di inserti di forma e dimensione molto simile, con l'altezza che è quasi quella dell'intera trave. I limiti, è evidente, sono le tensioni normate per le strutture in legno, soprattutto le resistenze caratteristiche a scorrimento (taglio) delle fibre del legno. Ovviamente, in sede di prova, il

Giunto CNP sottile con piastre in acciaio ha rilevato una resistenza superiore, però senza cenni di duttilità, proprio come l'avevamo pensato per ripristinare la continuità di rigidità degli elementi lignei "come fossero stati sempre di un sol pezzo". Nei *Giunti CNP* in genere, a differenza dei *giunti a secco* con le incertezze costruttive delle bullonature, la percolazione dell'adesivo a completa saturazione dei vuoti residui negli intagli permette l'immediata efficienza strutturale, secondo lo schema progettato.

Anche per il *Giunto Italia* non si può prescindere dal *diaframma di stabilizzazione* con l'adesivo, cui ci obbligavamo sin da quando furono fatte le prove portate a rottura all'Università di Trento (Aquilone di Chicco, 1996). Trattasi dello spessore di adesivo che invade completamente entrambi i "ribassi di testa" al legno. Il più incisivo termine *cuscinetto*, ora adottato, è del prof. Carlo Poggi, cui dobbiamo molto per lo spazio all'osservazione personale permessaci nel corso delle prove, potendo così affinare i sistemi incollati. Tra le interfacce di testa di entrambi i tipi di giunto è realizzato il *cuscinetto* in adesivo epossidico che interessa gran parte delle rispettive superfici frontali da giuntare. Lo si ottiene praticando il moderato ribasso che sarà invaso dall'adesivo all'atto del completamento del giunto. L'indispensabilità del *cuscinetto* è dovuta al fatto che l'adesivo Xepox 40 va ad imboccarsi nei lumi, rendendo le fibre del legno molto più stabili a compressione. E' tanto vera l'efficacia del *cuscinetto*, che nella sperimentazione dei grandi campioni ha funzionato inaspettatamente anche per riprendere la tensione nel polo teso, solo poi cedendo a circa 1/3 del carico di rottura. All'occorrenza è possibile fibrorinforzare il *cuscinetto* ed anche modificarne la forma.

La funzione del *cuscinetto* è meno avvertita nei *Giunti CNP sottili* con piastre in acciaio. Quando il *Giunto CNP* entra in funzione, la compressione viene ripresa pressoché per intero dall'inserto in acciaio, cui si oppone la sua resistenza a trazione. Le tensioni di trazione vengono trasferite alle superfici del legno con le quali la piastra si interfaccia per mezzo dell'adesivo epossidico Xepox 40. Allorché le tensioni raggiungono il valore di rottura a taglio del legno interfacciato degli intagli, si innesca il cedimento improvviso (*comportamento fragile*).

Per quanto attiene il calcolo e la verifica dei *Giunti CNP* con inserti in acciaio, si rinvia al nostro documento presentato al *WCTE 2010*, scaricabile integralmente dal nostro sito www.cenci.com. Qui è nostro desiderio approfondire la *Motivazione dei Cenci & Fagotti sul comportamento d'insieme del Giunto Italia in FRP (Fiber Reinforced Polymers) nel legno e modello di calcolo a favore di sicurezza*.

Parimenti al *Giunto CNP sottile* con piastre in acciaio, anche il *Giunto Italia* è realizzato con inserti pressoché a tutta altezza, ma la quantità di fibra dell'inserto in zona compressa non equipara la resistenza offerta dal modello in acciaio. Ne consegue che la sollecitazione di compressione viene ripresa *da subito* dalla sezione lignea per contatto frontale legno-legno attraverso l'interposto *cuscinetto* in adesivo epossidico.

E' evidente l'esemplificazione. Il *cuscinetto* di Xepox 40 interagisce in continuità materica con l'adesivo che contestualmente ha riempito tutti i vuoti delle fessate ed ha involupato ovunque gli inserti fatti di fibre di vetro e di carbonio.

Dunque gli intagli sono interamente occupati da "pia-

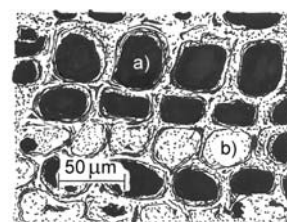


Fig. 8 - Test sulla resistenza a trazione dell'adesivo che si attesta all'imbocco dei lumi:
a) adesivo strappato fuori dalle tracheidi;
b) l'adesivo rimasto fissato alle tracheidi.

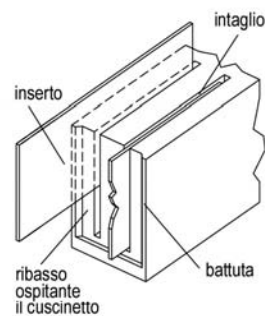


Fig. 9 - Vista del ribasso di testa sulle estremità degli elementi da giuntare, per la formazione del *cuscinetto*.



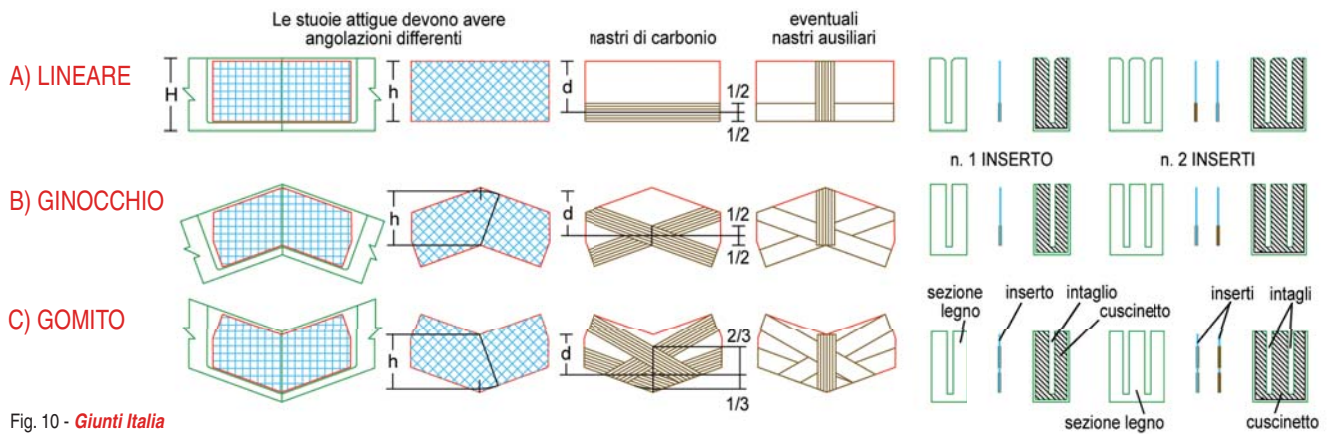


Fig. 10 - *Giunti Italia*

stre” formate dagli adesivi Xepox fibrorinforzati con strati di stuoie bilanciate di vetro *E* e nastri di carbonio. Alla sollecitazione di compressione si oppongono i nastri di rinforzo in carbonio inseriti in prossimità del lembo teso, i quali riprendono più intensamente e con costanza la tensione rispetto all’acciaio. Ne consegue l’abbassamento dell’asse neutro con incremento della sezione lignea soggetta a compressione. Il comportamento *pseudo duttile* a rottura per schiacciamento, constatato nelle prove pertinenti superiore a $f_{c,k}$ normato, è ascrivibile all’instabilizzazione delle pareti cellulari nella zona compressa soprastante l’asse neutro. Contestualmente, parimenti a quanto avviene nel *Giunto CNP*, le tensioni di trazione vengono trasferite alle superfici intagliate nel legno con le quali l’inserto si interfaccia per mezzo dell’adesivo epossidico.

Composizione costruttiva del *Giunto Italia*

Gli inserti di un *Giunto Italia* sono costituiti da stuoie bilanciate *Polyever G800* di vetro *E* di consistente grammatura (circa 800 grammi/metro quadrato +10% di appretto), considerate efficaci solo per resistere al taglio. La verifica della trazione nell’inserto é fatta esclusivamente sui nastri di carbonio, fissati preventivamente alle stuoie con adesivo epossidico *Xepox 14*. I nastri di carbonio sono del tipo unidirezionali *HTS* ad alta resistenza, in ragione di 520 fili (12k, 800 tex) per metro trasversale.

Le stuoie *Polyever G800* sono prodotti appositamente apprettati, per conseguire una sufficiente indeformabilità nel proprio piano durante le lavorazioni e le applicazioni. I nastri di carbonio *HTS* sono fissati alle superfici delle stuoie con adesivo epossidico *Xepox 14*, applicato dapprima a pennello e/o a rullo e ripassato insistentemente con rullo affinché la matrice polimerica penetri tra i filamenti. I nastri di carbonio *HTS* sono sovrapponibili con lo stesso procedimento.

Gli inserti in FRP per il *Giunto Italia* possono essere approntati in due tipologie di *laminati confezionati “in situ”* da aziende qualificate e dalle *Aziende certificate di carpenteria del legno*: a) *laminati compatti confezionati in situ*, costituiti da stuoie di vetro *E*, assemblate tra loro ed armate con nastri di carbonio; b) *laminati sciolti confezionati in situ*, corrispondenti a singole stuoie di vetro *E*, a ciascuna delle quali sono fissati uno o più nastri di carbonio. Quest’ultima tipologia si è rilevata pratica e molto efficace e non ammette l’utilizzo di stuoie di vetro *E* di grammatura inferiore. I nastri di carbonio unidirezionale *HTS* devono essere applicati nell’esatta posizione stabilita nel progetto del giunto. Tra le stuoie sciolte e sulle

superfici esterne degli inserti sono applicati dei sottili distanziatori (esempio: rondelle di spessore non superiore al millimetro, con lo scopo di favorire lo scorrimento dell’adesivo *Xepox 40* nella fase di completamento del giunto. All’introduzione degli inserti segue l’immissione dell’adesivo *Xepox 40*, che si insinua tra tali inserti e le superfici scabre degli intagli, attivando i meccanismi di legamento precedentemente illustrati. Più specifiche indicazioni applicative sono contenute nelle apposite schede.

Il modello *stress block*

In un *Giunto Italia*, con adeguata lunghezza di ancoraggio e congruo quantitativo di carbonio in zona tesa, la crisi della giunzione si innesca per schiacciamento delle fibre compresse con conseguente *dutilizzazione locale*, allorché si raggiunge il disequilibrio tra la resistenza a compressione del legno rispetto alla resistenza a trazione offerta dal rinforzo in carbonio. Per la verifica a flessione si considera la tipica *sezione parzializzata*, ove l’armatura in carbonio si configura come *briglia tesa*, collaborante con la *briglia compressa* fornita dal legno. Semplificando, alle stuoie bilanciate é affidato il collegamento tra le due *briglie*. L’adesivo del cuscinetto e quello fibrorinforzato che riempie gli intagli si oppongono all’azione tagliante, mantenendo l’equilibrio delle sezioni piane. In analogia alle ipotesi comunemente assunte per il cemento armato ed esposte nel testo *Cemento armato – Calcolo agli Stati Limite* del prof. Giandomenico Toniolo cui si è attinto [7], anche per il comportamento effettivo del *Giunto Italia* interposto solidalmente tra le travi inflesse di legno, sono considerabili più stadi in sequenza secondo il livello di sollecitazione,



Fig. 11 - *Campione predisposto da ALESSANDRO DIANESE LEGNAMI S.R.L.* Prova n. 11 nel Laboratorio Prove Materiali del Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano



tutti qui descritti. Di questi interessa in particolare l'ultimo, che si configura con il modello "parabola rettangolo", per semplicità discretizzabile con il modello "stress block". E' quest'ultimo ad essere considerato per le verifiche agli *stati limite ultimi* delle sezioni lignee fibrorinforzate.

Analogamente alla trave in cemento armato, nel Giunto Italia si attuano questi stadi:

- **stadio I** con bassi livelli di sollecitazione con comportamento elastico e distribuzione lineare a farfalla su sezione interamente reagente, perché l'adesivo del *cuscinetto* e quello fibrorinforzato degli intagli interagiscono sull'intera altezza;
- **stadio IA** con tensioni al lembo teso dell'adesivo del *cuscinetto* e dell'adesivo fibrorinforzato degli intagli, prossime alla resistenza ultima a trazione;
- **stadio II** è raggiunta la resistenza ultima a trazione dell'adesivo e si innesca una fessurazione ancora poco percettibile, che si estende fino a una quota prossima all'asse neutro, riversando la prevalenza dello sforzo di trazione nell'armatura in carbonio (nastri HTS). Il legno compresso mostra un comportamento ancora pressoché elastico-lineare, però l'innesco della fessura nella zona della briglia tesa fa cessare la continuità geometrica delle teste del legno per tramite del *cuscinetto*. Per tale ragione, a favore di sicurezza, la ripresa dell'azione tagliante è ascritta all'adesivo fibrorinforzato dalle stuoie bilanciate continue;
- **stadio III** con sollecitazioni prossime alla resistenza flessionale ultima della sezione, dove il comportamento del polo ligneo compresso esce decisamente dall'ambito elastico lineare: in buona sostanza conformemente al modello di *O'Halloran* evidenziato in tabella 4-1 del CNR-DT 201/2005, in quanto il *cuscinetto* lo rende compatibile con il finale modello *stress block*.

Quest'ultimo è lo stesso modello assunto dal prof. Maurizio Piazza e dagli ingegneri Roberto Tomasi e Roberto Modena nel loro notissimo testo: "Strutture in legno" edito da Hoepli-Milano e promosso dalla Holzbau di Bressanone (Bz), ove il comportamento *stress block* è molto ben evidenziato nella trattazione del *collegamento con barre incollate alla base di un pilastro* (posizione 3.6.6 nel testo).

A favore di sicurezza, questo nostro metodo di verifica del *Giunto Italia* si confronta con le sole risorse riconducibili al legno, ai nastri in carbonio e alle stuoie in vetro E con il loro adesivo di saturazione degli intagli (adesivo fibrorinforzato). La verifica di un *Giunto Italia* fa propria la Tabella 18-4 - *Classe di resistenza per legno lamellare di conifera omogeneo e combinato* (EN 1194), riportata nel CNR-DT 206/2007 - rev. 7 ottobre 2008, essendo stata utilizzata tale tipologia di legno nella lunga *Campagna di Prove* attuata al Politecnico di Milano.

In tabella 1 vengono riportati per ciascuna classe i valori in Mpa di resistenza caratteristica a compressione ($f_{c,0,g,k}$) e, tra parentesi, quelli di resistenza a compressione di progetto ($f_{c,0,g,d}$) definiti con $K_{mod} = 0,8$ e $\gamma_m = 1,45$. A seguire il valore caratteristico di resistenza a taglio ($f_{v,g,k}$) e, tra parentesi, il corrispettivo valore di progetto ($f_{v,g,d}$).

Le resistenze caratteristiche accertate degli adesivi Xepox sono nettamente superiori al legno strutturale. Qui le riportiamo con valori cautelativi, abbattuti a

Tabella 1 – Valori di resistenza caratteristici e di progetto per il legno lamellare (Mpa)

GL 24h:	$f_{c,0,g,k} = 24,0$ ($f_{c,0,g,d} = 13,2$);	$f_{v,g,k} = 2,7$ ($f_{v,g,d} = 1,5$);
GL 24c:	$f_{c,0,g,k} = 21,0$ ($f_{c,0,g,d} = 11,6$);	$f_{v,g,k} = 2,2$ ($f_{v,g,d} = 1,2$);
GL 28h:	$f_{c,0,g,k} = 26,5$ ($f_{c,0,g,d} = 14,6$);	$f_{v,g,k} = 3,2$ ($f_{v,g,d} = 1,7$);
GL 28c:	$f_{c,0,g,k} = 24,0$ ($f_{c,0,g,d} = 13,2$);	$f_{v,g,k} = 2,7$ ($f_{v,g,d} = 1,5$);
GL 32h:	$f_{c,0,g,k} = 29,0$ ($f_{c,0,g,d} = 16,0$);	$f_{v,g,k} = 3,8$ ($f_{v,g,d} = 2,1$);
GL 32c:	$f_{c,0,g,k} = 26,5$ ($f_{c,0,g,d} = 14,6$);	$f_{v,g,k} = 3,2$ ($f_{v,g,d} = 1,7$);
GL 36h:	$f_{c,0,g,k} = 31,0$ ($f_{c,0,g,d} = 17,1$);	$f_{v,g,k} = 4,3$ ($f_{v,g,d} = 2,4$);
GL 36c:	$f_{c,0,g,k} = 29,0$ ($f_{c,0,g,d} = 16,0$);	$f_{v,g,k} = 3,8$ ($f_{v,g,d} = 2,1$);

favore di sicurezza:

$$f_{Xepox\ c,k} \text{ (compressione)} \geq 80,0 \text{ Mpa};$$

$$f_{Xepox\ t,k} \text{ (trazione)} \dots\dots \geq 36,0 \text{ Mpa};$$

$$f_{Xepox\ v,k} \text{ (taglio)} \dots\dots \geq 14,0 \text{ Mpa};$$

Per il carbonio, la tipologia innovativa suggerisce di adottare temporaneamente un *coefficiente cumulativo di sicurezza = 3*, applicato alla resistenza caratteristica dei fili contenuti nel nastro monoassiale, di gran lunga più cautelativo del cumulo dei coefficienti e fattori previsti nel CNR-DT 200/2004.

Tale assunzione scaturisce anche dal fatto che, sicuramente, il giunto avrà comportamento *pseudo duttile* poiché il rapporto η tra il valore della resistenza ultima a trazione del composito f_{tu} e quella ultima a compressione del legno f_{cu} ($\eta = f_{tu} / f_{cu}$) sarà superiore di gran lunga all'unità, in quanto la briglia tesa composta da nastri unidirezionali in carbonio verrà dotata di una ulteriore sovrarresistenza.

Per i nastri in carbonio HTS larghi 10 cm:

$$F_{HTS,k} = 4.300 \text{ Mpa}; \quad F_{HTS,d} = F_{HTS,k} / 3 = 1.433 \text{ Mpa}$$

$$A_{HTS\ nastro} = 52 \text{ fili} \cdot 12.000 \text{ filamenti} \cdot (0,007/2)^2 \cdot \pi = 24 \text{ mm}^2$$

$$F_{HTS,d\ nastro} = 24 \text{ mm}^2 \cdot 1.433 \text{ Mpa} = 34.400 \text{ N} = 34,4 \text{ kN}$$

Le forze $F_{HTS,d}$ applicabili ai nastri HTS composti da 52 fili 12k, 800 tex, su una larghezza di 10 cm, sono indicate in tabella 2.

Per le stuoie bilanciate in vetro E (la trama e l'ordito hanno pressoché lo stesso numero di fili e perciò lo stesso peso nelle due direzioni) si applica un più sostanzioso *coefficiente cumulativo di sicurezza = 6*, attribuito al filato a secco di ciascuna delle due direzioni ideali, ortogonali tra loro.

Per una sola direzione di ciascuna stuoia bilanciata Polyevery G800 in vetro E indichiamo come segue:

- n. 1,65 fili/cm per la trama (oppure per l'ordito);
- peso a secco in una direzione = 400 g/m².

I laminati *in situ* sono comunque costituiti da più strati di stuoie (almeno due per ciascun inserto), diversamente orientate.

Ricordando il circolo di Mohr, nel piano delle "piastre" fibrorinforzate si configura un fitto sistema continuo di bielle tese e compresse discretizzabile con il modello di Morsch: traliccio di aste tese e compresse.

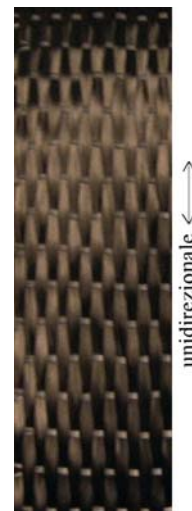


Fig. 12 - Nastro in carbonio HTS 12k

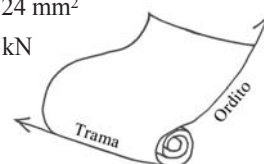


Fig. 13 - Direzione ordito (fili longitudinali) e trama (fili trasversali)

Fig. 14 - *Campione predisposto da ADRIANO BEVILACQUA S.R.L.* Prova n. 16 nel Laboratorio Prove Materiali del Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano

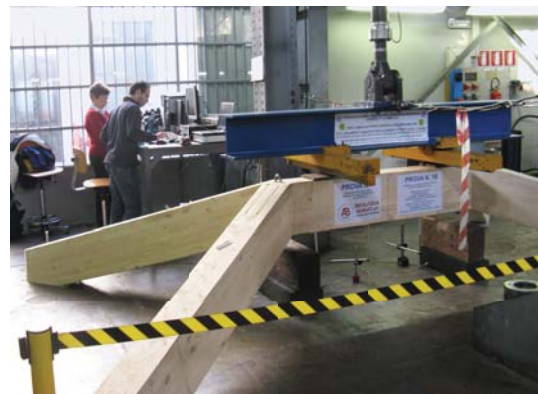


Tabella 2 – $F_{HTS,d}$ su uno e più nastri della larghezza $c = 10$ cm

n. 1 nastro → $F_{HTS,d} = 34,4$ kN;	n. 2 nastri → $F_{HTS,d} = 68,8$ kN;
n. 3 nastri → $F_{HTS,d} = 103,2$ kN;	n. 4 nastri → $F_{HTS,d} = 137,6$ kN;
n. 5 nastri → $F_{HTS,d} = 172,0$ kN;	n. 6 nastri → $F_{HTS,d} = 206,4$ kN;
n. 7 nastri → $F_{HTS,d} = 240,8$ kN;	n. 8 nastri → $F_{HTS,d} = 275,2$ kN;
n. 9 nastri → $F_{HTS,d} = 309,6$ kN;	n. 10 nastri → $F_{HTS,d} = 344,0$ kN;
n. 11 nastri → $F_{HTS,d} = 378,4$ kN;	n. 12 nastri → $F_{HTS,d} = 412,8$ kN;
n. 13 nastri → $F_{HTS,d} = 447,2$ kN;	n. 14 nastri → $F_{HTS,d} = 481,6$ kN;
n. 15 nastri → $F_{HTS,d} = 516,0$ kN;	n. 16 nastri → $F_{HTS,d} = 550,4$ kN;
n. 17 nastri → $F_{HTS,d} = 584,8$ kN;	n. 18 nastri → $F_{HTS,d} = 619,2$ kN;
n. 19 nastri → $F_{HTS,d} = 653,6$ kN;	n. 20 nastri → $F_{HTS,d} = 688,0$ kN;
n. 21 nastri → $F_{HTS,d} = 722,4$ kN;	n. 22 nastri → $F_{HTS,d} = 756,8$ kN;
n. 23 nastri → $F_{HTS,d} = 791,2$ kN;	n. 24 nastri → $F_{HTS,d} = 825,6$ kN;

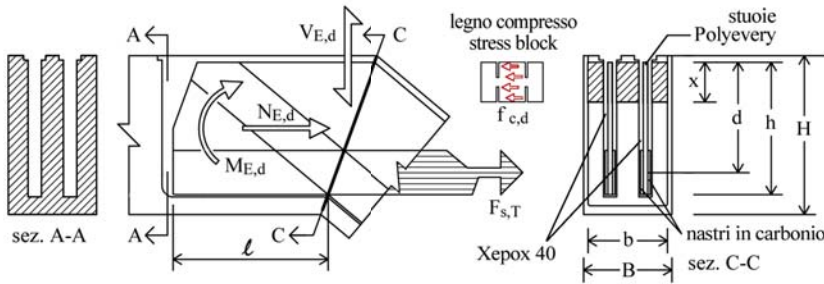


Fig. 15 - Schema per il calcolo della forza nei nastri di carbonio.

La densità del vetro E è 2,54 g/m² e disponiamo di *fili-tirante* ideali in ragione di 1,46 mm² per centimetro di larghezza di una singola stuoia in una sola direzione, più che congrui per riprendere in sicurezza la tensione di 0,85 kN/cm. Lo sforzo è attribuibile ad entrambe le due componenti comunque orientate (ipotesi inclinazione variabile del traliccio) e possiamo considerare:

$$(f_{G400,d} = f_{G400,k} / 6); \quad f_{G400,k} = 3.500 \text{ Mpa}$$

$$f_{G400,d} = f_{G400,k} / 6 = 583 \text{ Mpa}$$

$$t_{G400,d} = 1,46 \text{ mm}^2 \cdot 583 \text{ Mpa} = 0,85 \text{ kN/cm stuoia.}$$

E' evidente la rilevante resistenza della piastra fibrorinforzata. Per casi particolarmente impegnativi potrà rendersi necessaria l'integrazione con nastri in carbonio, in funzione di "staffatura" aggiuntiva. Il limite degli inserti in FRP (Fiber Reinforced Polymers), purché convenientemente composti, resta l'interfacciamento con le superfici intagliate, vale a dire la resistenza a taglio del legno.

Criteri di verifica

Può sembrare superfluo dirlo, ma è opportuno accertarsi preventivamente della disponibilità di una sufficiente sezione utile del legno, al netto degli intagli, interamente reagente. Sempre a favore di sicurezza, per la verifica a trazione e taglio del solo legno è opportuno riferirsi alla sezione non più piena, al netto dell'inserto, ove finisce la penetrazione dell'inserto. Con riferimento alla sez. A-A di figura 15, dovrà risultare:

$$\text{alla compressione: } f_{c(SLU)} = \left(\frac{N_{E,d}}{A_{\text{utile}}} + \frac{M_{E,d}}{W_{x,\text{utile}}} \right) \leq f_{c,d}$$

$$\text{alla trazione: } f_{t(SLU)} = \left(\frac{N_{E,d}}{A_{\text{utile}}} - \frac{M_{E,d}}{W_{x,\text{utile}}} \right) \leq f_{t,d}$$

$$\text{al taglio: } f_{v(SLU)} = \left(\frac{V_{E,d} \cdot 1,5}{A_{\text{utile}}} \right) \leq f_{v,d}$$

Indicando:

- B = larghezza totale della trave in legno;
- H = altezza totale della trave in legno;
- b = larghezza della trave in legno al netto delle battute laterali;

- h = altezza utile di calcolo = altezza dell'inserto;
- s = larghezza dell'intaglio;
- i = numero degli intagli = numero degli inserti;
- $A_{\text{utile}} = [B - (i \cdot s)] \cdot H$;
- $W_{x,\text{utile}} = [B - (i \cdot s)] \cdot H^2 / 6$;
- c = altezza dei nastri in carbonio HTS con 52 fili 12 k, 800 tex, = 10 cm;
- e = distanza baricentrica dei nastri HTS dal bordo teso dell'inserto = 5 cm ;
- n = numero dei nastri HTS;
- d = distanza tra il centro di applicazione dello sforzo di trazione ed il bordo compresso;
- x = altezza della zona compressa (stress block);
- $F_{s,T}$ = sforzo di trazione agente nell'armatura in carbonio; ($F_{s,T} \leq F_{HTS,d}$);
- $f_{c,d}$ = resistenza di progetto a compressione del legno;
- $f_{t,d}$ = resistenza di progetto a trazione del legno;
- $f_{v,d}$ = resistenza di progetto a taglio del legno;
- $M_{E,d}$ = momento flettente di progetto;
- $N_{E,d}$ = sforzo assiale (+ compressione; - trazione);
- $V_{E,d}$ = sforzo di taglio.

Verifica a flessione

Il problema del dimensionamento del giunto è ricondotto al mantenimento della coppia di valori di sforzo normale e momento flettente ($N_{E,d}$ e $M_{E,d}$) all'interno o, al più, sulla frontiera del dominio resistente della sezione. La formula proposta dal prof. Piazza ed altri nel testo già citato ci è parsa quella meglio gestibile, in virtù della duttilità intrinseca del materiale legno in compressione. E' scontato che proponiamo l'applicazione della formula anche per il *Giunto Italia* [8]. Il dimensionamento del *Giunto Italia* può essere eseguito tanto per flessione semplice che per sollecitazione composta di presso (o tenso) flessione.

Si procede con l'impostare un sistema di equazioni che si basa sul principio della conservazione dell'equilibrio alla traslazione ed alla rotazione delle sezioni e che permette di determinare la zona di distribuzione delle compressioni x, la cui risultante è equiparabile con il valore di resistenza minima a trazione $F_{s,T}$ dei nastri di carbonio HTS 12k, 800 tex.

Posto:

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 & \left\{ \begin{aligned} N_{E,d} + F_{s,T} - f_{c,d} \cdot b \cdot x &= 0 \\ (\sum M)_0 = 0 & \left\{ \begin{aligned} M_{E,d} + N_{E,d} \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right) - f_{c,d} \cdot b \cdot x \cdot \left(d - \frac{x}{2}\right) &= 0 \end{aligned} \right. \end{aligned} \right.$$

Fig. 16 - Stuoia Polyevery G800 in vetro E



Fig. 17 - Campione predisposto da EVIO MONTAGNOLI S.R.L. Prova n. 21 nel Laboratorio Prove Materiali del Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano

è possibile ricavare l'altezza della zona compressa:

$$x = d \cdot \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{E,d} + N_{E,d} \cdot (2 \cdot d - h)}{f_{c,d} \cdot b \cdot d^2}} \right\}$$

Sostituendo il valore di x nella prima equazione si determina il valore della forza di trazione $F_{s,T}$ che i nastri di carbonio devono assumere:

$$F_{s,T} = f_{c,d} \cdot b \cdot x - N_{E,d}$$

Si stabilisce il numero occorrente dei nastri (n) dividendo la forza di trazione complessiva $F_{s,T}$ per l'entità riprendibile in sicurezza da ciascun nastro HTS 12k, 800 tex:

$$n \geq F_{s,T} / F_{HTS,d}$$

Lunghezza di ancoraggio

Sempre a favore di sicurezza, la lunghezza di ancoraggio ℓ è condizionata dall'armatura dei nastri in carbonio, dal numero delle facce degli intagli e dalla resistenza a taglio assegnabile al legno. Deve risultare:

$$\ell \geq \frac{F_{s,T}}{i \cdot 2 \cdot c \cdot f_{v,d}}$$

Verifica a torsione

Manteniamo la raffigurazione di un giunto angolato, solo per meglio evidenziare il procedimento.

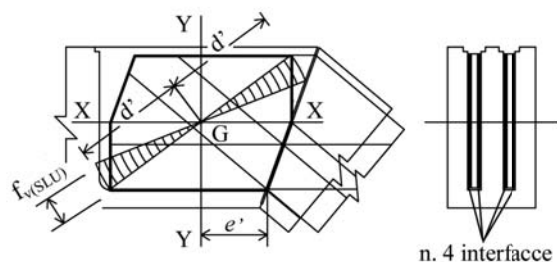


Fig. 18 - Schema per la verifica a torsione

La verifica della resistenza torsionale dei piani degli inserti in FRP che interfacciano le superfici intagliate del legno, considera la geometria delle aree e l'entità delle forze esterne agenti: $M_{E,d}$, $N_{E,d}$, $V_{E,d}$.

Posto:

G = baricentro della superficie interfacciata della parte di inserto nel corrispettivo intaglio, quello alle estremità delle travi da ricongiungere con il *Giunto Italia*;

n' = numero degli intagli con inserti attivi;

J_p = inerzia polare = $J_x + J_y$;

A = superficie dell'interfacciamento;

e' = distanza tra il baricentro G ed il piano di combaciamento di testa delle travi da ricostituire in unica entità;

d' = posizione più distante dal baricentro G , sul perimetro delle superfici interfacciate.

Si evidenzia che il momento principale $M_{E,d}$ deve essere integrato con il momento di trasporto $M_{t,E,d}$. $M_{t,E,d} = V_{E,d} \cdot e'$, ove $V_{E,d}$ è l'azione tagliante applicata in capo all'asta; e' il braccio rispetto al baricentro G . Deve risultare:

$$f_{v,(SLU)} = \left[\frac{(M_{E,d} + V_{E,d} \cdot e') \cdot d'}{n' \cdot 2 \text{ facce} \cdot J_p} + \frac{\sqrt{N_{E,d}^2 + V_{E,d}^2}}{n' \cdot 2 \text{ facce} \cdot A} \right] \leq f_{v,d}$$

Verifica a taglio

Il meccanismo ipotizzato di ripresa dell'azione tagliante deriva dal cemento armato, ovvero si rifà al cosiddetto *effetto spinotto* o *effetto bietta* (dowel action): il taglio esterno viene supportato dalla resistenza al taglio offerta dall'inserto nella sua completezza (stuoia di vetro e massa di adesivo che occupa l'intaglio), che interseca la fessura, quella formantesi nella posizione tesa dell'interfacciamento tra i due tronchi lignei congiunti. L'efficacia degli inserti di *matrice polimerica fibrorinforzata* con le stuoie di vetro, va confrontata con la resistenza a taglio del legno cui tali piastre sono intimamente interfacciate. Peraltro, a vantaggio della sicurezza, è del tutto trascurato il contributo della briglia compressa, meccanismo sempre riconducibile al C.A. e attraverso il quale un'aliquota del taglio viene portata dalle tensioni tangenziali che si sviluppano nella zona al di sopra dell'asse neutro.

Si considera disponibile la stessa lunghezza di ancoraggio definita per i nastri di carbonio, che condizionano la lunghezza minima delle stuoie.

Dovrà semplicemente risultare:

$$f_{v,(SLU)} = \frac{V_{E,d}}{\text{numero stuoie} \cdot \ell} \leq t_{G400,d}$$

Differentemente si dovrà integrare con nastri in carbonio con funzione di staffatura. Anche se non richiesto dal calcolo, nel *Giunto Italia* è preferibile considerare una quota importante di taglio, mai inferiore al 50% di quella offerta dalla sezione in legno pieno, detratti gli intagli (vedi sez. A-A, fig. 15).

Giunti angolati

Stante la presenza del *cuscinetto*, si considera un miglioramento della resistenza caratteristica del legno,

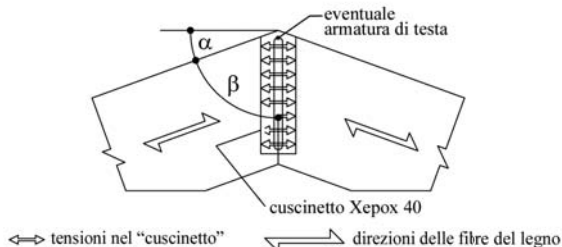


Fig. 19 - Schematizzazione dell'angolo adottato

introducendo un valore correttivo mai superiore a $K_c = 4,0$ ed assumendo quale angolo α tra forza e fibre



Fig. 20 - Campione predisposto da CAMMI GROUP S.p.A. Prova n. 28 al Laboratorio Prove Materiali del Politecnico di Milano



Fig. 21
Provinci
per la
marcatura CE





il complementare a quello riscontrato tra il piano di combaciamento di testa e le fibre ($\alpha = 90^\circ - \beta$).

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

Altre applicazioni

Il procedimento di verifica *Giunto Italia* è applicabile anche al rinforzo di travi lesionate, all'occorrenza usufruendo di coefficienti più cautelativi sulle resistenze dei materiali. Infatti, oltre all'utilizzo dei coefficienti γ_m , è doveroso adottare dei fattori di confidenza (FC), previsti dalle NTC 2008 e legati al livello di conoscenza del materiale.

A seguire gli esempi numerici di verifica, comprovanti il grado di sicurezza del calcolo, anche con il conforto dei risultati della seconda tornata di prove al Politecnico di Milano [9].

Note:

[1] - Ricordiamo sempre molto volentieri quanto scritto dalla professoressa Elisa Guagenti ed altri nel testo *Statica; Fondamenti di meccanica strutturale*: "Qui brevemente diremo che, pur diverse tra loro, le posizioni filosofiche sono concordi nell'accordare gradi di utilità e non di verità alle teorie scientifiche, in particolare a quelle espresse in termini matematici. A rispecchiare questo fatto è oggi quasi più consueto parlare di modelli piuttosto che di teorie."

[2] - Probabilmente non saremmo pervenuti al *Giunto Italia*, l'ultimo dei tipi costruttivi da noi ideati, senza usufruire di un intenso percorso formativo. A fine secolo molti nostri lavori vennero ospitati nella pubblicazione "Tecnologie avanzate nell'impiego strutturale del legno", edito da CNR-ITL (Istituto per la Tecnologia del Legno) in occasione di Lignomec '99 e curato dalla dott.ssa Emanuela Rachello, dall'ing. Oscar Delmarco e dal prof. Maurizio Piazza.

In particolare sono due i lavori di spicco che ci hanno reso coscienti di essere nel periodo di transizione tra due visioni divergenti sull'utilizzo dell'unico bene strutturale di pronto uso rinnovabile in natura: il legno. Entrambi i lavori sono stati da noi concepiti strutturalmente e calcolati, poi realizzati dalla Holzbau S.p.A. di Bressanone: il Palasport di Casalecchio di Reno e l'Aquilone di Chicco per Artsana.

La copertura in legno lamellare del *Palasport di Casalecchio di Reno*, un misto di struttura geodetica ed a volta, l'abbiamo sentita come gloriosa espressione dell'era delle connessioni a secco, in via di conclusione: gli attacchi polari delle aste usufruiscono di uno spinotto orizzontale (sopra) e di una spina fissa verticale (sotto), che li collega ai nodi cilindrici in acciaio, rinforzati da una camicia interna di calcestruzzo.

L'*Aquilone di Chicco* è un atto pionieristico e si aggiudica l'*European Glulam Award* (1999), forse perché percepito come un onesto tentativo di ridare protagonismo alla natura.

Formidabile per innovazione tutto quello che è seguito, non brevemente riassumibile.

[3] - Il 1° Convegno Nazionale Assocompositi è stato un incontro di grande intensità ed interesse durato due giorni, presieduto e coordinato dai prof. Luigi Ascione dell'Università di Salerno, prof. Carlo Poggi, direttore del Laboratorio Prove Materiali del Politecnico di

Milano e dal prof. Roberto Frassine, presidente di Assocompositi. L'ing. Gianluca Fagotti ha illustrato con dovizia scientifica i nuovi sistemi *Giunto Italia* in FRP.

[4] - Per molti anni abbiamo cercato la risposta valida all'esigenza strutturale di ricomporre delle travi di legno, senza avvalersi di mezzi metallici invasivi e distruttivi della continuità delle fibre. Ne parlavamo nel numero 38 - luglio agosto 2008 di *Arealegno*; l'abbiamo approfondito nel nostro intervento in occasione della rassegna *Computec* nell'ottobre del 2008 e l'abbiamo ricordato nel numero 11 - dicembre 2008 di *Tetto&Pareti in Legno* e numero 50 di *Arealegno* - settembre-ottobre 2010. Quando iniziammo a concentrarci su queste ipotesi, Sabrina ebbe la fortuna di esporle brevemente al prof. Franco Maceri, Presidente per il CNR delle *Commissioni di studio per la predisposizione e l'analisi di norme tecniche relative alle costruzioni*, che ne comprese la potenzialità e ci indirizzò al Politecnico di Milano, logisticamente per noi più vicino.

[5] - Il convincimento è stato rafforzato dallo studio di J. Follrich, A. Teischinger, W. Gindl, U. Müller: *Adhesive bond strength of end grain joints in softwood with varying density*. *Holzforschung*, Vol. 62, pages 237-242. Walter de Gruyter, Berlin-New York, 2008 (vedasi fig. 8 di pagina 6).

[6] - La sabbatura SA3 rimuove la calamina e la sporizia delle lamiere, rendendo le superfici porose, ossia nella migliore condizione di ingrappamento ed adesione. Dopo la sabbatura, le lamiere devono essere immediatamente protette con adesivo Xepox14, affinché non si possano nuovamente ossidare. Nei *Giunti CNP sottili* le lamiere sabbiate SA3 e protette con Xepox 14 si comportano all'opposto delle lamiere lisce originariamente "sporche".

[7] - Giandomenico Toniolo - *Cemento armato, Calcolo agli stati limite - Tecnica delle costruzioni, Vol. 2A*, - Zanichelli Editore - vedasi il Capitolo 3.

[8] - L'argomento è stato minuziosamente trattato dal prof. Mario De Stefano, direttore del Dipartimento di Costruzioni, Università di Firenze, Ordinario di Tecnica delle Costruzioni, nel "Corso di aggiornamento Norme Tecniche DM 2008; SLU di travi inflesse e pressoinflesse con esempi applicativi". Le lezioni sono state tenute presso l'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Arezzo nel maggio 2009 e sono visionabili sul sito Internet.

[9] - La *Campagna di Prove* con il Laboratorio Prove Materiali del Politecnico di Milano ha comportato tempi, competenze e costi considerevoli nel confezionamento dei grandi campioni in legno. Se oggi possiamo incominciare ad esprimerci più compiutamente lo dobbiamo alle Aziende che ci hanno supportato nella preparazione dei campioni sperimentali, alla comprensione ed intelligenza dei titolari e dei loro tecnici; ai loro operai che ci è stato consentito avere a diretto contatto, anche "per ragionarci".

Veramente grazie al prof. Carlo Poggi per aver gestito con equilibrio e saggezza un percorso di esplorazione e confronto che si è rilevato quanto mai accendato, del quale è stato difficile sin all'ultimo prendere coscienza degli straordinari risultati. Un grazie speciale ai tecnici del Laboratorio Prove Materiali del Politecnico di Milano ed in particolare ai signori Antonio Cocco e Andrea De Steffani, senza la cui genuina pazienza ed attenzione non saremmo giunti a tante fantastiche conclusioni.

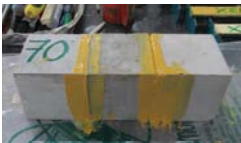


Fig. 21
Provinci
per la
marcatura CE

