



L'ACCIAIO NEL RINFORZO DELLE STRUTTURE IN LEGNO.

Lorenzo Jurina

Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Politecnico di Milano

Abstract.

In the Italian tradition, frequently, roof and slab structures were built making use of timber elements. The conservation of this typology not only in monumental building but even in common residential houses is nowadays perceived as a value and, in many cases, it is preferred to strengthen the existing structures than to substitute them with new elements and materials. In this paper the use of steel elements as reinforcement of timber beams is described, throughout some examples. This technique belongs to the tradition and it may provide an effective way to increase both strength and stiffness. The use of modern stainless steel and of special tensioning devices permits solutions easy to be adopted, effective, light, removable and, in some cases, elegant.

Introduzione.

In passato le strutture realizzate in legno venivano spesso concepite come elementi di sacrificio, da mantenere in vita fin che era possibile e da sostituire all'occorrenza. Ciò valeva principalmente per quelle più esposte e di minori dimensioni ma anche per travi principali o capriate. Gli attuali criteri del restauro conservativo ci propongono invece di mantenere in vita ed in funzione tali strutture, nella consapevolezza che tra i materiali da costruzione dell'edilizia storica il legno è quello che, più di altri, ci racconta la sua età e la sua provenienza, quale testimonianza di una storia e di una autenticità da non cancellare. Le caratteristiche materiche e geometriche di questi elementi permettono di determinare la sicurezza attuale della struttura a fronte delle sollecitazioni previste, o prevedibili, così che è possibile decidere sulla effettiva necessità, o meno, di una integrazione con elementi compatibili.

L'uso dell'acciaio nel consolidamento delle strutture lignee, oggetto specifico della memoria, è una pratica adottata sovente nel passato. Elementi metallici venivano chiamati in causa a sopperire l'inefficienza strutturale di componenti lignei, e quindi venivano proposte catene, cerchiature, grappe ed elementi metallici di connessione per assorbire gli sforzi di trazione, oppure per migliorare collegamenti difettosi o per ripristinare quelli mancanti. I nuovi elementi venivano affiancati per "collaborazione" o "in sostituzione" con la struttura originaria.

Verranno illustrati nel seguito alcuni esempi dove è possibile evidenziare come l'acciaio (e in particolare l'acciaio inox) sia un materiale idoneo a risolvere, con efficienza e talora con eleganza, gran parte dei problemi statici delle strutture lignee, soprattutto con l'adozione di sistemi a barre o a cavo posti in contatto e "forzati" ad agire in parallelo alla struttura esistente, in modo da garantire obiettivi molteplici che sono il minimo intervento, la specificità della soluzione rispetto all'unicità dell'oggetto su cui operare, l'adattabilità nel tempo, la manutenibilità, la reversibilità, la riconoscibilità a fronte del valore documentario dell'esistente, così da minimizzare l'impatto dell'intervento, scegliendo la soluzione maggiormente compatibile e rispettosa dello stato di fatto.

L'acciaio, e in particolare l'acciaio inox, consente interventi in linea con la pratica del restauro "conservativo", come parte di un processo più ampio che coinvolga il manufatto storico. Permette infatti soluzioni che si affiancano all'esistente, senza alcuna sostituzione e sottrazione, come aggiunta riconoscibile, caratterizzante e facilmente rimovibile e quindi reversibile.

Dal punto di vista statico l'aggiunta di nuovi elementi metallici di connessione porta a rendere iperstatica la struttura. Ne consegue la possibilità di operare con strutture che passino dal mono-dimensionale al bi- e al tri-dimensionale, implicando grandi vantaggi in termini di incremento del carico limite a collasso e crescita della capacità di dissipare energia in zona sismica. Vengono forniti alcuni esempi ad illustrazione di quanto esposto.

La copertura di casa ex-Masciadri, Arcene (BG).

L'edificio rurale di casa ex Masciadri presentava una situazione di degrado molto avanzata: lesioni in facciata, cedimenti localizzati di fondazione, profonde fessure tra il muro di spina ed i muri trasversali, tetto non più impermeabile e forti flessioni delle capriate sotto peso proprio. La copertura, in parte, era costituita da numerose capriatelle a due puntoni, con una catena lignea posta ad una quota più alta dell'usuale, a circa metà puntone, in modo da consentire il transito degli utenti nella zona sottostante. In questo modo i puntoni, nella loro parte inferiore, lavorano "a sbalzo" e sono sottoposti ad una forte azione flettente che li ha deformati. La capriata tendeva ad abbassarsi sotto carichi accidentali trasmettendo una forte spinta orizzontale alla parete. La situazione risultava pericolosa sia per la parete, che presentava una evidente fessura continua da rotazione verso l'esterno a livello del pavimento, sia soprattutto per le capriate che, soggette a carichi meteorici eccezionali, potevano arrivare al collasso. La soluzione realizzata è consistita nella posa di due *tiranti metallici "sagomati"* che lambiscono inferiormente la porzione a sbalzo dei puntoni e la catena, inducendo una sollecitazione flessionale di verso opposto a quella provocata dai carichi verticali. Mettendo in trazione i cavi mediante un tenditore centrale si ottiene un avvicinamento delle estremità della capriata (consentita della cerniera presente alla base della parete) e contemporaneamente una loro inflessione in senso contrario a quella indotta dai carichi su di essa gravanti. Per incrementare la sicurezza del giunto catena-puntone si è sovrapposta a quest'ultimo una piastra metallica chiodata, in grado di ripristinare la sezione dello stesso in corrispondenza dell'incalmo ligneo presente. Particolarmente curati sono stati i dettagli di ancoraggio dei cavi alla muratura e nello snodo intermedio, realizzato con un giunto legno-acciaio semplicemente appoggiato sulla capriata.

Tali dettagli, lasciati a vista, intendono affermare la continuità della logica strutturale tra la soluzione precedente e quella attuale, con un accostamento dichiarato tra tecnologie e materiali che risultano complementari anche se caratteristici di epoche diverse (*Figura 1 e 2 a,b,c,d*).

La copertura del "Baco da seta" nella Villa della Porta Bozzolo, Casalzuigno (VA).

Gli interventi su questo edificio di proprietà del FAI, denominato "Baco da seta", sito in adiacenza alla Villa della Porta Bozzolo, hanno riguardato principalmente la copertura che mostrava una difettosità molto accentuata del legno, sottoposto a rilevanti carichi permanenti dovuti alla presenza di "medoni" in cotto.

In primo luogo sono state aggiunte nuove saette, dove erano mancanti o rimosse, e si è proceduto alla sostituzione degli elementi maggiormente degradati, con ricostruzione mediante protesi lignee delle parti irrecuperabili. I nodi degradati sono stati riportati strutturalmente in pristino attraverso l'inserimento di barre passanti in acciaio inox.

Alcuni tra i puntoni e i falsi puntoni delle capriate risultavano tuttavia particolarmente sollecitati e sono stati consolidati mediante la creazione di una *trave reticolare mista* il cui corrente superiore (compresso) è rappresentato da due piatti metallici paralleli, collocati tra i medoni ed i coppi, e il cui corrente inferiore (teso) è costituito dal puntone stesso che verrà così impegnato prevalentemente a trazione, e non più a flessione.

Si ottiene un elemento strutturale composto legno-acciaio in cui le sollecitazioni di taglio vengono sopportate da connettori diagonali in acciaio a vista, che sono saldati alle piastre metalliche superiori ed inghisati ai puntoni lignei inferiori con resina epossidica. Tale struttura mista legno-acciaio incrementa la capacità flessionale del puntone, modificandone notevolmente l'inerzia.

A verifica dell'efficacia del sistema adottato è stata effettuata una *prova di carico* su un "puntone tipo" rinforzato secondo le modalità esposte. La trave è stata caricata applicando una zavorra nella parte centrale, di entità tale da superare le sollecitazioni dello stato di esercizio.

Le prove sperimentali condotte hanno evidenziato un buon comportamento lineare della trave a "sezione mista" legno-acciaio, con limitati residui anelastici. La struttura reale è risultata decisamente più rigida di quella simulata mediante una modellazione numerica ad elementi finiti in campo lineare (*Figura 3 e 4*).

La copertura lignea della ex chiesa di San Carpofo, Milano.

Simile al precedente è l'intervento adottato per consolidare le capriate esistenti nella chiesa di San Carpofo a Milano. I sintomi di degrado interessavano i giunti tra gli elementi strutturali (ed in particolare il giunto puntone-catena, il giunto puntone-monaco ed il giunto centrale a dardo di Giove tra le due metà della catena). Inoltre i puntoni apparivano inflessi sotto l'azione dei forti carichi concentrati trasmessi dalle terzere.

A rinforzo dei giunti puntone-catena negli anni '50 erano stati introdotti elementi di "cuffia" metallica decisamente invasivi da un punto di vista formale ed ampiamente ossidati, che in alcune posizioni avevano causato fenomeni locali di marcescenza.

Geometricamente alcune capriate risultavano leggermente coricate su un fianco e presentavano il monaco disassato rispetto ai puntoni. Da ultimo erano rilevabili segni di divaricamento dei puntoni a seguito dello scorrimento rispetto alla catena e segnali di sofferenza in quest'ultima in corrispondenza del nodo centrale.

L'intervento si è articolato in una prima fase, di tipo locale, che ha riguardato il ripristino dei giunti mediante zeppe in legno e barre filettate passanti e la integrazione con tradizionali fettonature in legno di alcune zone delle capriate che

presentavano lacune; una seconda fase, di tipo globale, ha mirato a fornire un nuovo meccanismo resistente, parallelo a quello originario, mediante l'uso di un puntone ligneo e di tre funi in acciaio inox, a supporto della catena e dei puntoni.

La prima fune, parallela alla catena in legno, agisce in collaborazione con questa. Le altre due funi, simmetriche rispetto alla mezzeria, svolgono tre funzioni statiche:

- 1) legano tra loro il puntone inclinato e la catena lignea nel giunto di appoggio a terra;
- 2) legano tra loro i due puntoni ed il monaco nel giunto al colmo della capriata, stringendoli l'uno contro l'altro;
- 3) forniscono un sostegno ai puntoni inflessi proprio nel punto intermedio, al di sotto delle pesanti terzere, mediante l'introduzione di due nuovi puntelli verticali in legno forzati dal basso verso l'alto.

I tre tiranti sono costituiti ciascuno da un anello chiuso regolabile in lunghezza e tesabile con due tenditori. Ciò consente di risolvere, senza elementi invasivi, le connessioni con la struttura esistente.

Per stabilizzare le capriate leggermente inclinate rispetto alla verticale si è adottato un cavo orizzontale che le ha attraversate, inanellandole, per poi essere fissato ai timpani murari di estremità. Per completare l'opera, le cuffie metalliche in corrispondenza dei nodi puntone-catena sono state rimosse e sostituite con perni metallici passanti (*Figura 5*).

Ex Filanda Meroni, Soncino (CR).

Nel progetto di trasformazione di un edificio rustico e di una adiacente filanda, in prossimità del Castello di Soncino (CR), uno dei grandi volumi necessitava di intervento di consolidamento in quanto veniva parzialmente svuotato del solaio esistente e destinato ad ospitare la nuova biblioteca.

Nella *nuova biblioteca* la configurazione planimetrica allungata e la contemporanea totale assenza di pareti intermedie in grado di irrigidire quelle longitudinali ha comportato la necessità di progettare un efficace sistema di irrigidimento a livello dell'imposta della copertura. Tale sistema è costituito da un profilo metallico a C perimetrale fittamente collegato al coronamento murario da una serie di tiranti incrociati fissati ad esso ed alle capriate lignee esistenti. Queste ultime saranno chiamate a svolgere la funzione di traversi compressi in una struttura reticolare, dopo essere state debitamente irrigidite attraverso la realizzazione di collegamenti reticolari in estradosso ai puntoni.

Si realizza così una grande trave reticolare, con giacitura orizzontale, vincolata ai due setti murari di estremità e capace di offrire un vincolo sufficientemente rigido nei confronti dello spostamento delle pareti longitudinali, soggette a carichi laterali da vento o sisma, lungo tutto il loro sviluppo (*Figura 6*).

Le capriate dell'ex Monastero di S. Clara, Pavia.

Gli interventi sulle strutture lignee dell'ex Monastero di S. Clara a Pavia hanno previsto una prima fase generale di pulitura e disinfestazione della piccola e grande orditura da insetti e funghi, nonché la rimozione puntuale degli elementi fortemente ammalorati e la loro sostituzione con elementi di eguale essenza. Successivamente si è provveduto alla messa in sicurezza degli appoggi tra puntone e catene delle capriate di copertura mediante l'impiego di carpenteria metallica.

L'intervento è stato realizzato su quindici capriate, con luce di otto metri ed appoggi molto degradati, poste a sostegno del tetto, in cui il livello di marcescenza degli appoggi non era avanzato al punto da far propendere per una sostituzione completa della capriata o per una protesi locale del giunto. Si è optato, in questi casi, per una soluzione composita che consente un "trasferimento" della zona di appoggio. In pratica si realizza una sorta di nuova capriata leggera, composta da elementi tesi, parallela a quella in opera. Occorre notare che le catene lignee delle attuali capriate risultano a vista dai locali sottostanti, in quanto costituiscono il supporto dell'assito di sottotetto, e pertanto non sono rimovibili. Si dovevano quindi realizzare i nuovi appoggi tra la capriata e la muratura a una quota superiore a quella degli appoggi esistenti, giudicati inaffidabili. Per ottenere questo risultato si sono utilizzati segmenti di trave in legno lamellare (bilancini), a sbalzo rispetto alla capriata, vincolati ai puntoni mediante perni. Il tutto è ubicato nel sottotetto, al di sopra dell'assito esistente. I bilancini poggiano sulla muratura a fianco della capriata scaricando le risultanti verticali in una posizione diversa da quella di origine. Poiché i bilancini sono soggetti a rotazione, sono stati inseriti due tiranti inox che convergono verso il colmo della capriata ed un tirante orizzontale, sempre inox, che collega in orizzontale i due bilancini. I particolari di collegamento della struttura nuova a quella esistente sono stati progettati cercando di favorire una operatività di cantiere che tenesse conto delle inevitabili tolleranze e delle differenze geometriche tra le varie capriate (*Figura 7*).

Conclusioni.

Gli esempi descritti mostrano le possibilità e la grande flessibilità di uso degli elementi leggeri in acciaio, ed in particolare dei tiranti, nelle applicazioni del consolidamento strutturale di solai e capriate lignee. Molte sono le soluzioni rese possibili dall'apporto di materiali ed elementi strutturali leggeri, soprattutto quando si adottano una

modalità di funzionamento “attivo”, ma va sottolineato che la soluzione migliore, tra tutte le possibili, va ricercata tra quelle che riconoscono la assoluta singolarità ed irripetibilità dell’opera monumentale. Questa priorità deve spingere il professionista alla individuazione della più adeguata scelta progettuale, capace di sfruttare in modo ottimale le risorse tecnologiche, gli strumenti di calcolo e di diagnostica ed i materiali disponibili.

Immagini.

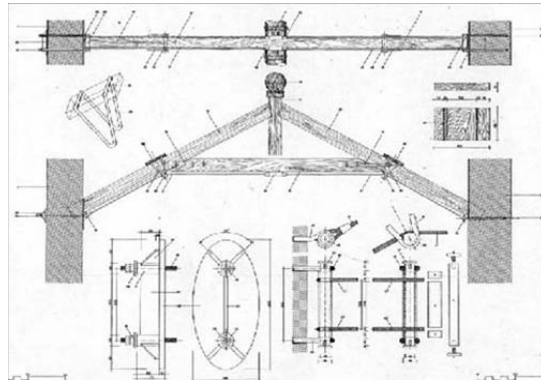
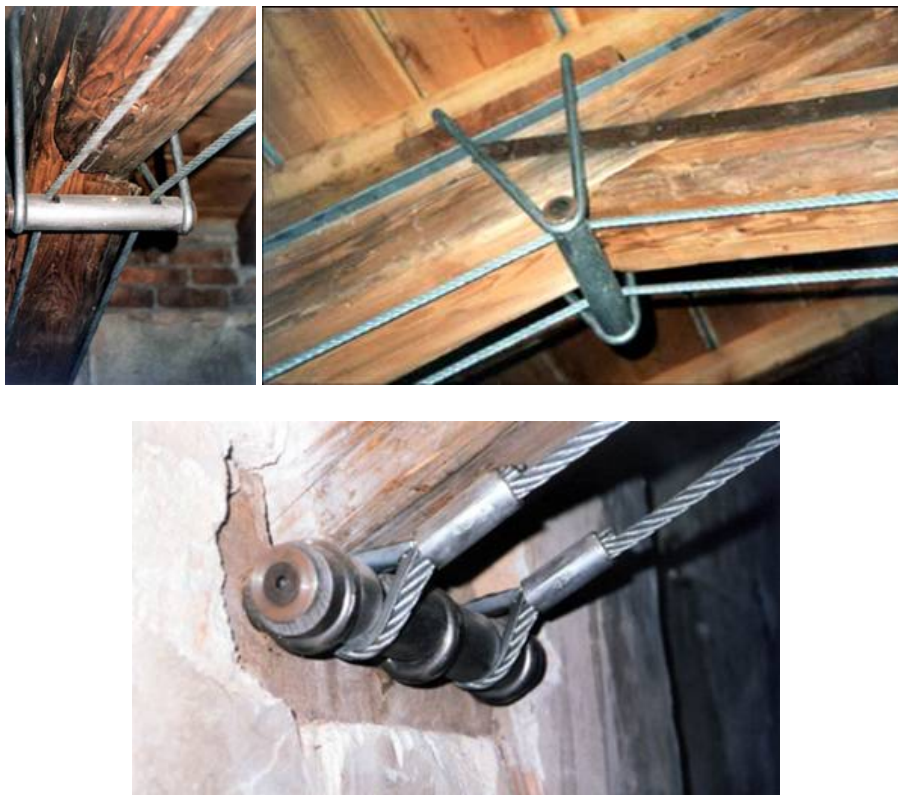


Figura 1 Casa Ex Masciadri, Arcere (BG): dettagli del progetto di consolidamento delle capriatelle mediante l’impiego di tirante metallico “sagomato”



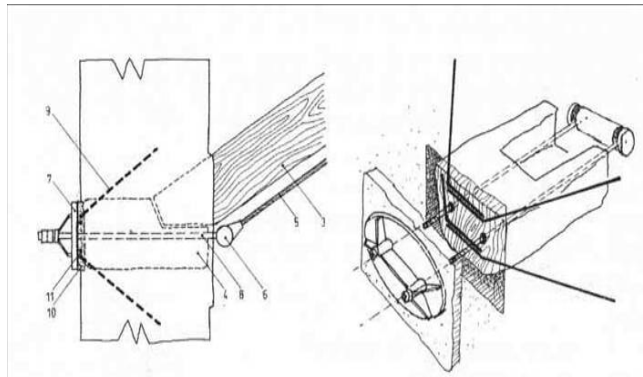


Figura 2 (a-b-c-d) Casa Ex Masciadri, Arcere (BG): dettagli del consolidamento con utilizzo di un cavo sagomato post-tesato, in posizione intradossale, per consolidare i puntoni a sbalzo, fortemente inflessi.

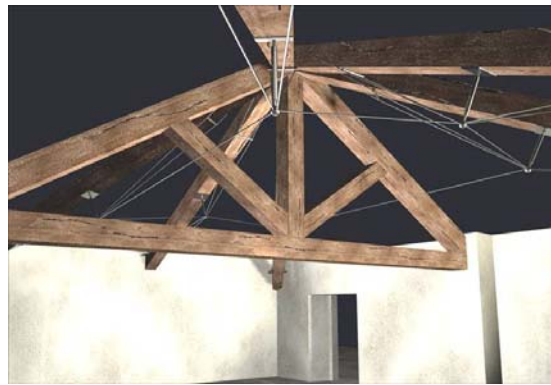


Figura 3 Villa Della Porta Bozzolo, Casalzuino (VA): consolidamento della capriata mediante realizzazione di struttura reticolare mista.



Figura 4 Villa Della Porta Bozzolo, Casalzuino (VA): prove di carico: fase di carico su trave campione.



Figura 5 Ex Chiesa di S.Carpoforo, Milano: consolidamento degli appoggi e delle capriate mediante cavi esterni post tesati, con inserimento di un nuovo puntello ligneo di contrasto della falda.

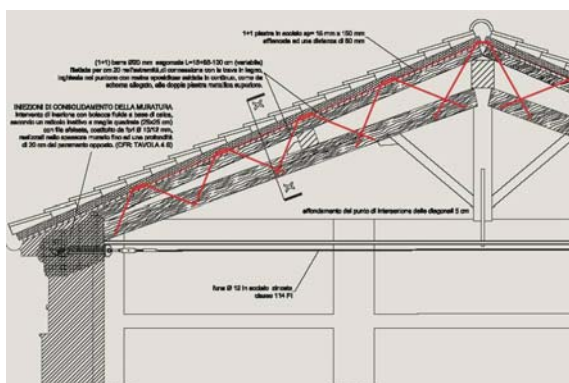


Figura 6 Ex filanda Meroni. Soncino (CR): interventi previsti per l'area destinata a biblioteca



Figura 7 Ex monastero di S. Clara, Pavia: consolidamento mediante cavi esterni post tesati e “bilancini” in legno lamellare appoggiati sulla muratura

Bibliografia.

- DI BIASE C., JURINA L., *Un grandioso caseggiato ad uso colonico*, TeMa, 2000.
- JURINA L., *Consolidacion estatica de edificios monumentales por medio de tirantes metalicos*, III Congr. Int. Rehabilitacion, Granada, 1996.
- JURINA L., *Tecniche ed esperienze nel consolidamento "attivo" di edifici monumentali*, Atti del Seminario sul tema: "Evoluzione nella sperimentazione per le costruzioni" Dubrovnik, Croatia, 28 aprile-5 maggio 2001.
- JURINA L., *La possibilità dell'approccio reversibile negli interventi di consolidamento strutturale*, Atti del XIX Convegno Scienza e Beni Culturali *La reversibilità nel restauro. Riflessioni, Esperienze, percorsi di ricerche*, Bressanone, 1-4 luglio 2003.
- JURINA L., *Strutture in legno: Soluzioni leggere per il consolidamento* in *Recupero e conservazione*, n. 50,2003, pp. 65-68.
- TAMPONE G. (a cura di), *Legno nel restauro e restauro del legno*, atti del Congresso nazionale, Firenze, 30 novembre-3 dicembre 1983.
- TAMPONE G., *Il restauro delle strutture di legno : il legname da costruzione, le strutture lignee e il loro studio, restauro, tecniche di esecuzione del restauro*, Milano, Hoepli, 1996.
- TAMPONE G., MANNUCCI M., MACCHIONI N., *Strutture in legno. Cultura, conservazione, restauro*, de Lettera Editore, Milano 2002.
- LANER F., *Legno e stati di coazione*, Flap Edizioni, 2008.