



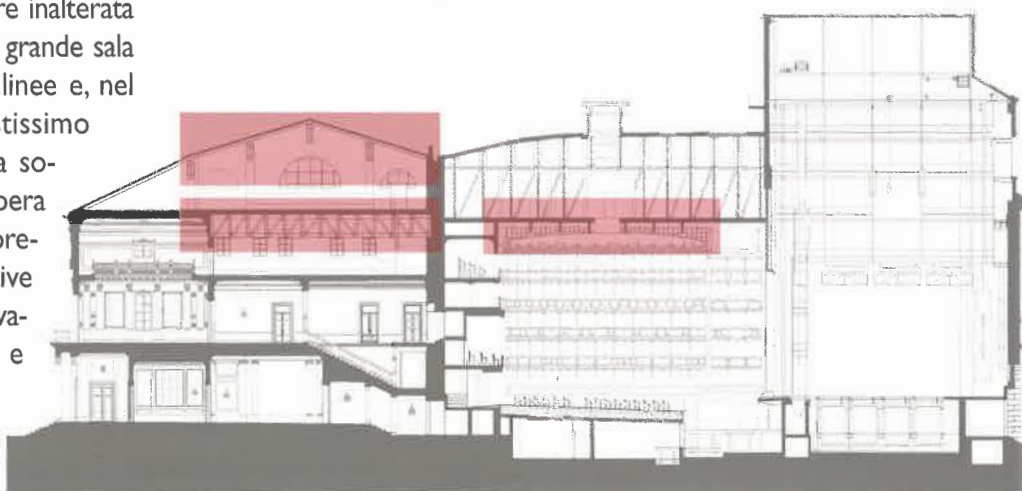
# Legno “armato”

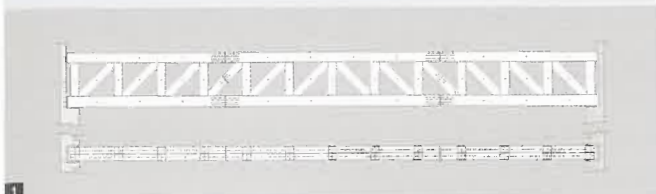
**N**el complesso contesto del cantiere, che ha portato alla ricostruzione del Teatro La Fenice, si distinguono, per le caratteristiche innovative, alcune scelte costruttive che offrono interessanti spunti di approfondimento.

In particolare si fa riferimento all'intervento operato nelle sale storiche della Fenice, le cosiddette Sale Apollinee e la Sala Teatrale vera e propria. Se per le prime è possibile parlare in parte di restauro conservativo, per la seconda si tratta di una vera e propria ricostruzione basata sulla rilettura del progetto originario. Al fine di mantenere inalterata la dimensione e la spazialità della grande sala del primo piano delle Sale Apollinee e, nel contempo, di usufruire del vastissimo ambiente del sottotetto ad essa sovrastante, sono stati messi in opera dei solai i cui elementi portanti presentano caratteristiche costruttive innovative. La necessità di preservare la geometria degli ambienti e quella di impiegare il legno come materiale per le strutture portanti, nel rispetto dei

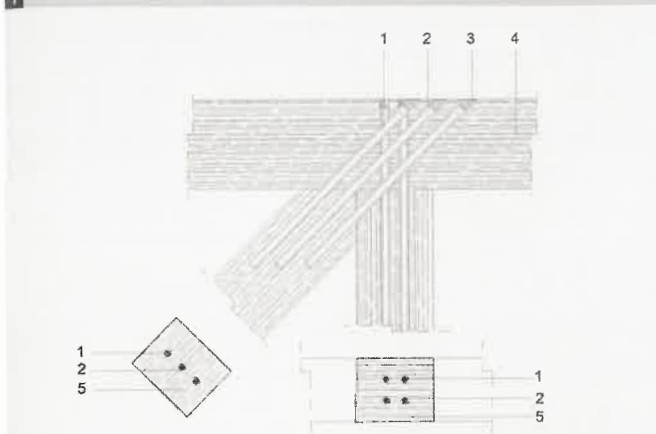
Fedeli allo schema geometrico dei solai distrutti, le travi reticolari in legno utilizzate per le sale storiche de La Fenice, soddisfano le esigenze di sicurezza in caso di incendio e trasmettono percezione spaziale complessiva conforme all'originale

Jacopo Gaspari





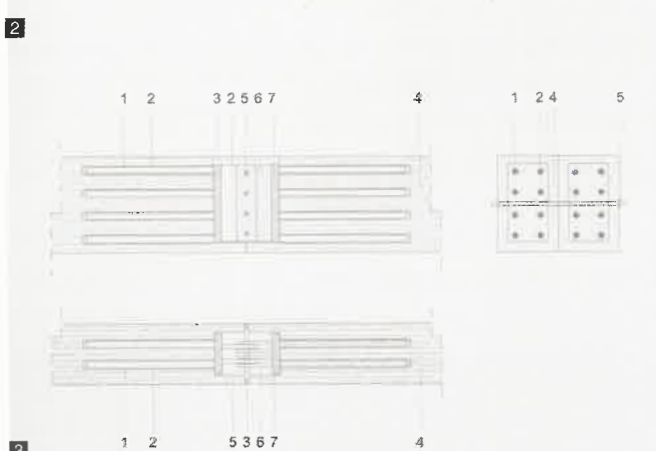
**1.** Schema geometrico di una trave reticolare in legno composta. Si può notare come essa sia stata divisa in tre tronconi per agevolare le operazioni di movimentazione in cantiere.



**2.** Sezione della giunzione tra elemento diagonale, corrente orizzontale e montante di una trave composta. Scala 1:20

Si possono notare la disposizione delle barre e l'apposita cavità saturata dalla resina tipo "renoantic" per la solidarizzazione tra gli elementi in legno e quelli in acciaio. Le barre dell'elemento diagonale seguono un orientamento verticale rispetto alla sezione trasversale del legno al fine di non interferire con quelle che collegano il montante e il corrente.

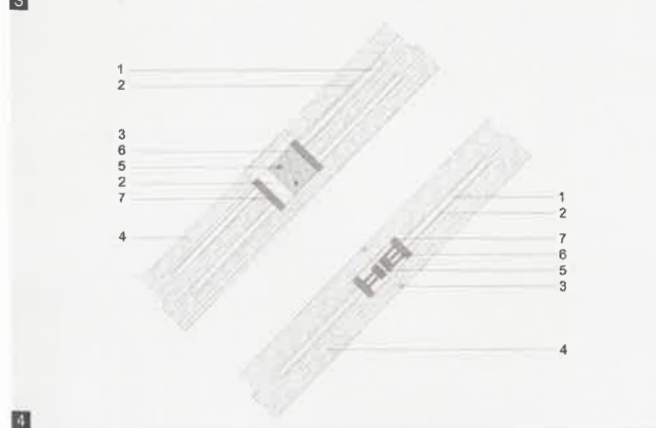
1. barre in acciaio Feb 44K Ø 20, foro Ø 35
2. resina tipo "renoantic"
3. elemento di chiusura in legno
4. trave in legno di larice S10 240x380
5. trave in legno di larice S10 240x290



**3.** Sezione del collegamento tra i correnti di due tronconi di una trave composta. Scala 1:20

In evidenza nella parte centrale le piastre in acciaio che consentono il collegamento tra le due parti. Gli elementi metallici, opportunamente sfalsati nei due conci adiacenti, sono alloggiati in un'apposita cavità ricavata nelle travi di legno. Le piastre sono fissate mediante perni in acciaio disposti trasversalmente. La completa solidazione avviene con il riempimento della cavità con resina o betoncino tipo "renoantic". La giunzione è completata da un elemento in legno che chiude la "tasca" di connessione. Oltre alla funzione estetica esso garantisce la necessaria protezione del giunto in caso di incendio.

1. barre in acciaio Feb 44K Ø 20, foro Ø 35
2. resina tipo "renoantic"
3. elemento di chiusura in legno
4. trave in legno di larice S10 240x380
5. perni di collegamento in acciaio classe 8.8 §16
6. piastra in acciaio 12 mm
7. piastra in acciaio 30 mm



**4.** Sezione del collegamento tra i diagonali di due tronconi di una trave composta. Scala 1:20

Le piastre di collegamento, concepite in modo analogo a quelle dei correnti, sono di dimensioni più contenute ed in numero inferiore in relazione alla differente sezione dei diagonali. Inoltre, assecondano la disposizione verticale delle barre di connessione, allineate rispetto alla verticale della sezione trasversale della trave in legno.

Tale accorgimento si rende indispensabile al fine di garantire che le barre metalliche del diagonale non interferiscano con quelle del corrente e del montante nel nodo più prossimo della reticolare.

1. barre in acciaio Feb 44K Ø 20, foro Ø 35
2. resina tipo "renoantic"
3. elemento di chiusura in legno
4. trave in legno di larice S10 240x380
5. perni di collegamento in acciaio classe 8.8 Ø 16
6. piastra in acciaio 12 mm
7. piastra in acciaio 30 mm

Nella pagina a fianco in basso: sezione longitudinale schematica del teatro. In evidenza i settori in cui è stata impiegata la tecnologia ferwood.

critéri di tutela stabiliti dalla Sovrintendenza per le parti storiche del teatro, hanno condotto alla decisione di utilizzare travi reticolari in legno realizzate con una tecnologia che impiega un materiale tradizionale abbinandolo ad elementi in acciaio per formare sistemi strutturali di notevole capacità meccanica. Una sorta di "legno armato" che si presenta, tuttavia, come una semplice trave in legno. Esso offre garanzie meccaniche su luci anche considerevoli paragonabili a quelle del legno lamellare dal quale, tuttavia, differisce per caratteristiche fisiche e geometria

delle sezioni. La tecnologia usata prevede la "cucitura" con barre in acciaio o, in casi specifici, in carbonio di uno o più elementi in legno che vanno a comporre la geometria della trave. Il legno e le barre in acciaio sono rese solidali attraverso l'impiego di resine polimeriche epossidiche termoindurenti. Nel caso specifico, questa soluzione è stata impiegata per la realizzazione delle quattro travi reticolari che reggono il solaio che separa la sala principale del primo piano dall'ampio sottotetto sovrastante, nonché per la realizzazione delle reticolari che sostengono

la copertura. Nel primo caso, le travi sono disposte in direzione longitudinale concordemente all'asse principale del teatro e poggiate su due possenti muri di spina adeguatamente consolidati; nel secondo, sono disposte trasversalmente rispetto ai muri perimetrali e collocate a quote diverse per determinare l'inclinazione delle falde. In entrambi i casi, con minime differenze determinate dai carichi di progetto, la geometria di ciascuna trave è riconducibile ad uno schema composto dal corrente superiore, dal corrente inferiore, da montanti verticali e da diagonali disposti in modo simmetrico. La scelta di impiegare questa tecnologia, anziché travi in acciaio o in legno lamellare, è riconducibile a diverse ragioni. In primo luogo, l'impiego dell'acciaio, che pure avrebbe in buona misura contribuito a contenere la dimensione di ciascuna trave, avrebbe posto problemi legati alla sicurezza in caso di incendio. L'inevitabile conseguenza sarebbe stata quella di dover proteggere gli elementi strutturali con un controsoffitto che avrebbe alterato la percezione spaziale della sala. Al contrario, per proteggere in caso di incendio gli elementi in legno lasciati a vista è possibile ricorrere, oltre che ad appositi rivestimenti, schiume e vernici intumescenti, ad alcuni accorgimenti, in fase di progettazione, come l'incremento della sezione della trave in funzione del tempo di resistenza al fuoco. Questo sistema sfrutta il processo di carbonizzazione del legno che determina una naturale superficie di sacrificio proteggendo le parti interne della sezione della trave. Per garantire all'unione tra gli elementi della reticolare la resistenza al fuoco, qualora richiesta, è previsto il calcolo di un'adeguata distanza tra la parete esterna dell'elemento in legno e l'asse delle barre. Tale distanza è determinata in funzione della classe di resistenza richiesta e della velocità di carbonizzazione di progetto. In tal modo la temperatura delle barre e della resina sono mantenute entro i limiti che garantiscono ancora la totale efficienza del collegamento. Inoltre, la scelta dell'acciaio non avrebbe soddisfatto le precise indicazioni della Sovrintendenza sull'impiego del legno quale materiale da utilizzare per le strutture al fine di salvaguardare l'estetica della sala. L'uso di travi in legno lamellare, quale alternativa, avrebbe posto problemi di natura geometrica in quanto le travi di questo tipo presentano sezioni molto snelle e di altezza considerevo-

le con un impatto negativo sulla percezione spaziale della sala. La tecnologia scelta consente la realizzazione di travi fedeli allo schema geometrico dei solai distrutti durante l'incendio risultando la più efficace rispetto ai vincoli posti in fase di progetto. Si può, quindi, concludere che la scelta sia stata dettata da un insieme di ragioni che mediano esigenze di carattere estetico-formale con requisiti di natura geometrica o funzionale. La stessa tecnologia è stata utilizzata, con una diversa geometria della trave, per la realizzazione della volta della Sala Teatrale. Ad una struttura in acciaio, adeguatamente protetta, sono affidati i carichi di progetto, mentre alle travi in legno, il cui schema è riconducibile al tipo Vierendeel, è affidato il compito di ripartire e trasmettere alla struttura principale il carico della volta sospesa. In questo caso, la scelta è dipesa dalle caratteristiche meccaniche e dall'elasticità offerta dalle travi in legno, poiché l'intera volta è fissata alla struttura portante tramite appositi pendini che assecondano i "movimenti" e i "ritiri" di una superficie con-





1. Le travi reticolari in legno che reggono la copertura delle Sale Apollinee.

2. 3. Fasi di montaggio delle travi reticolari del solaio delle Sale Apollinee.

4. Vista della struttura di sostegno della volta della Sala Teatrale. Si possono notare le travi composte in legno tipo Vierendeel, i pendini di collegamento per la sospensione della volta, la sottostruttura in legno e le centine della volta.



cava, finita ad intonaco e decorata, realizzata con tecniche tradizionali. A differenza delle Sale Apollinee, in questo caso, la struttura non è lasciata a vista, ma interamente rivestita da controsoffitti e decorazioni che celano la complessa struttura della Sala Teatrale.

#### Modalità di esecuzione e caratteristiche

Stabilite le caratteristiche di progetto della struttura in legno essa viene suddivisa in macroelementi realizzati separatamente per poi essere assemblati in cantiere.

Ciascun macroelemento, in funzione del progetto strutturale, viene dimensionato nella sezione e negli elementi che lo compongono e viene predisposto alla connessione con quelli attigui. Attraverso macchine a controllo numerico vengono praticati dei fori sul legno, con diametro e profondità in funzione delle sollecitazioni applicate, perfettamente corri-

spondenti tra le due parti da collegare. Il diametro del foro deve, comunque, essere di almeno 4 mm superiore a quello delle barre che verranno alloggiare all'interno. Una volta posizionate le barre, si procede all'iniezione delle resine all'interno della cavità. Le resine utilizzate sono, di norma, del tipo "renoantic", realizzate e testate in Svizzera appositamente per questo tipo di impiego. L'adesione barra-legno attraverso la resina è la fase più delicata dell'intero processo, la certezza del totale riempimento della cavità deve, infatti, essere assoluta. Per tale ragione vengono eseguiti due tipi di controlli, uno teorico e uno pratico. Il primo fa riferimento alla comparazione del volume reale di resina consumato con quello teorico previsto in fase di progettazione. Il secondo ad un particolare accorgimento seguito nella fase di esecuzione. Infatti, sugli elementi in legno vengono praticati, in corrispondenza della parte superiore del foro di alloggiamento della barra, dei microfori attraverso i quali verificare la fuoriuscita della resina in fase di riempimento a garanzia dell'effettiva saturazione della cavità. Di fondamentale importanza risulta la viscosità della resina che deve rispettare la specifica formulazione di progetto ed essere di comprovata affidabilità. Per tale ragione l'intero sistema è testato e certificato (École d'Ingénieurs de l'État de Vaud). Il legno impiegato deve essere di larice massello di qualità S10, secondo la norma DIN 1052. La stagionatura del collegamento deve avvenire in ambiente idoneo per almeno 24 ore e, a seguire, possono essere effettuate le operazioni di finitura della trave. L'unione realizzata, secondo le modalità sopra descritte, può essere considerata un incastro a totale ripristino della continuità se, nel dimensionamento della stessa, viene tenuto conto di tutte le azioni interne presenti nel nodo. Le verifiche a pressoflessione, tensoflessione e taglio sono, di norma, condotte su sezioni parzializzate (che si mantengono piane), mentre gli sforzi sul legno e le risultanti sulle singole barre sono verificati con il metodo delle tensioni ammissibili.

Si ringraziano: la Nuova.Fenice Scarl, la Sacalm Spa, l'Ente Teatro La Fenice e coloro che, a diverso titolo, hanno permesso la stesura del presente articolo.

Jacopo Gaspari, architetto, è dottorando in Tecnologia dell'Architettura allo IUAV di Venezia e all'Università di Architettura di Ferrara.