

Il recupero della copertura lignea della chiesa di San Carpoforo a Milano

La cronaca di un intervento complesso

di **Lorenza Jurina***, **Arch. A. Bassoli****

The XVII century wooden roof of San Carpoforo church in Milan showed significant deterioration, such as distortion of trusses, degradation of the joints and, mainly, inflection of the diagonal struts. A new structural solution was proposed that, in a very simple, light and reversible way, could solve the problem. It makes use of two vertical timber struts and some post-tensioned steel cables, working together with the ancient wooden trusses, in an active way. The two added vertical timber struts offer an intermediate restraint to the diagonal struts, but their compression would be dangerously transferred to the existing, weakened chain of the historical truss. To help the chain, some cables are used. Each cable starts from the top of the roof truss and ends near the strut-chain node, passing below the new vertical strut. In this way these forces are equilibrated. The result is a very economic, smart and easy to apply consolidation system that helps the diagonal struts of the truss avoiding to overstress the weak chain.

poste in opera delle rozze cuffie metalliche (figura 3), che rapidamente si sono ossidate. Queste cuffie, a diretto contatto con il legno, ne aveva impedito la traspirazione causando condensa e, di conseguenza, la marcescenza delle zone interessate.

Per aiutare i puntoni inflessi, erano state inserite in modo locale e piuttosto disordinato alcuni puntelli tra puntone e catena (figura 4). Questo intervento aiutava i puntoni ma penalizzava le catene che non lavoravano più a sola trazione ma anche a taglio e flessione. Le strutture della copertura lignea, a causa delle infiltrazioni, avevano subito notevoli deterioramenti e si osservavano inflessioni delle capriate, notevoli soprattutto nei puntoni di falda (figura 5). Il monaco di una capriata si era abbassato a tal punto che la staffa centrale di collegamento con la catena premeva sulla volta sottostante, applicando un carico puntuale in chiave sulla muratura.

Erano evidenti inoltre le rotazioni di alcune capriate con "fuori-piombo" dei monaci, e con deformazioni delle staffe di collegamento alle catene (figura 6). I nodi puntone-catena, puntone-monaco ed il dardo di Giove, molto divaricato (figura 7), denunciavano una situazione seriamente compromessa. A questa si accompagnava il deterioramento delle orditure secondarie e dei listelli porta coppo oltre alla sconnessione dei coppi stessi.

Va ricordato, da ultimo, che durante la Seconda Guerra Mondiale alcuni spezzoni di bombe incendiarie avevano danneggiato localmente la copertura (figura 8).

Solo nel 1999, dopo molti anni di mancata manutenzione, ci si rese conto che necessitava un intervento di consolidamento statico a fronte di situazioni di forte degrado sulla copertura e sulla struttura muraria sottostante.

Nello stesso anno il Comune di Milano dichiara l'inagibilità dell'edificio. Due anni più tardi, nel 2001, il Comune finanzia un intervento urgente di rifunzionalizzazione della copertura, in modo da escludere ulteriori



Figura 1 - Facciata della chiesa di San Carpoforo a Milano



Figura 3 - Una delle cuffie metalliche poste negli anni '50 per rinforzare i nodi delle capriate



Figura 4 - Puntelli inseriti tra puntone e catena per aiutare i puntoni inflessi

cedimenti strutturali delle orditure lignee e ripristinare la continuità del manto. Il progetto preliminare prevedeva la sostituzione delle capriate con strutture identiche per tipologia e forma e la sistemazione definitiva delle falde con nuovi orditi lignei e un nuovo manto in coppi.

Nell'affrontare la cantierizzazione del progetto il responsabile dell'impresa appaltatrice, l'ing. M. de Adamich della IMG s.r.l. di Milano) si è subito trovato di fronte ad un problema di notevole entità. Il progetto di rifacimento della copertura si scontrava infatti con le difficoltà di smaltire e approvigionare il materiale



Figura 5 - Strutture lignee della copertura



Figura 7 - Dardo di Giove divaricato

in una zona situata nel fitto tessuto urbano del centro di Milano. Esistevano inoltre vincoli nella realizzazione dei ponteggi ed inoltre, per raggiungere il sottotetto si poteva usare solo una stretta scala inserita nel campanile, che rendeva difficile il trasporto di materiale.

La preziosa indagine diagnostica affidata all'arch. F. Augelli, esperto in legno, confermava il degrado di una parte delle strutture lignee, ma evidenziava, nel contempo, una risorsa strutturale non trascurabile delle parti residue.

Si metteva così in luce la possibilità di integrare localmente le capriate in larice con nuovi elementi resistenti, evitando la completa sostituzione. Tenendo conto delle migliori resistenze individuate dalle indagini si aprivano nuove possibilità per ovviare alle difficoltà operative di cantiere. Il nuovo progetto (figura 9a), che ha previsto il consolidamento delle capriate mediante l'introduzione di una nuova struttura molto leggera, in affiancamento a quella originale, è stato predisposto dal prof. L. Jurina, in collaborazione con l'ing. A. Carenzi del Comune di Milano, ed ha visto la collaborazione della ditta specializzata ENGECO s.r.l., per la parte esecutiva.

La struttura ausiliaria progettata è composta da due puntelli lignei, ubicati a metà circa dei puntoni di falda (figura 9b), e da cavi in acciaio zincato disposti in modo da sostenere tali puntelli da sotto (figura 9c), migliorando lo schema statico della struttura composta legno-acciaio. Ne è risultata una soluzione piuttosto semplice, leggera e certamente reversibile, utilizzando cavi in acciaio che potevano accostarsi alle capriate in un modo attivo, contribuendo quindi fin dall'inizio a lavorare assieme alla struttura in legno, e fornendo quell'incremento di resistenza di cui c'era bisogno. In sintesi, il progetto ha previsto di interporre un puntello tra puntone e catena, ma, come nel passato, questo



Figura 6 - Fuori-piombo dei monaci con deformazioni delle staffe di collegamento alle catene



Figura 8 - Danni dovuti alle bombe incendiarie della Seconda Guerra Mondiale

puntello avrebbe fornito un aiuto al puntone ma sarebbe stato un aggravio pericoloso ed inaccettabile per la catena (figura 10). Si è inserito, pertanto un cavo sagornato che, partendo dal colmo della capriata, passasse sotto al puntello e proseguisse fino al nodo puntone-catena, in prossimità dell'appoggio sulla parete in muratura (figura 11).

Si viene così a creare una sorta di schema triangolare isostatico che include il puntone diagonale di falda, il nuovo puntello ed il cavo. Il cavo passa sotto al nuovo puntello, e una volta messo in tensione mediante tenditori, applica una forza verticale nota, dal basso all'alto, sotto al puntello ed evita che la compressione del puntello stesso si trasferisca alla catena, la quale può continuare nella sua funzione originaria, lavorando a sola trazione.

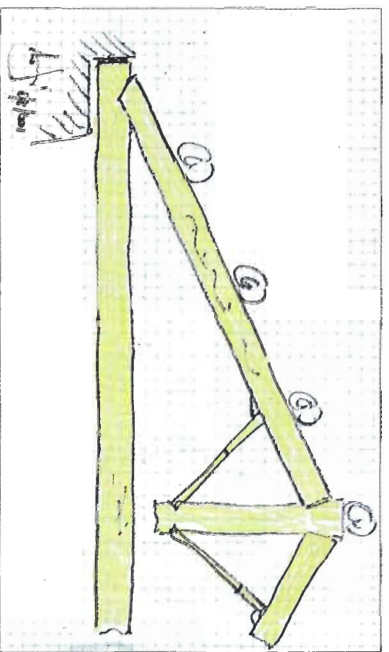


Figura 9a - Schema della capriata

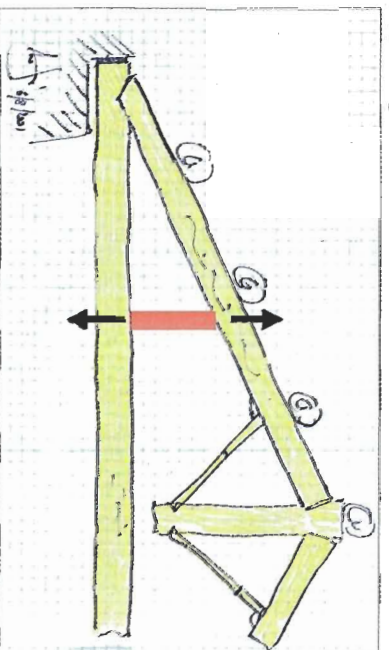


Figura 9b - Inserimento del puntello

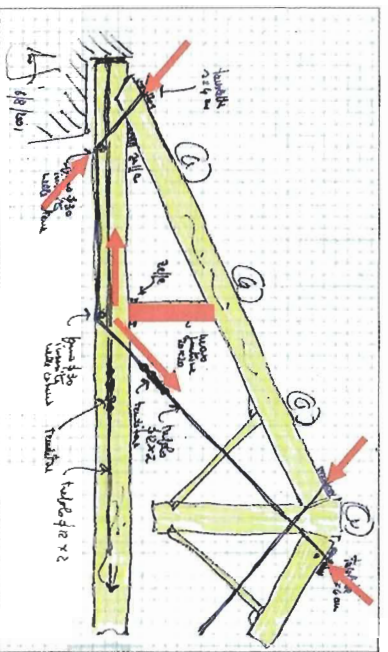


Figura 9c - Inserimento del puntello e del cavo in acciaio

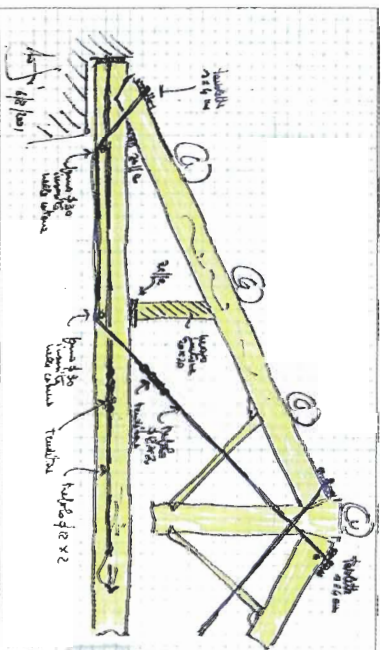


Figura 9d - Schema dell'intervento

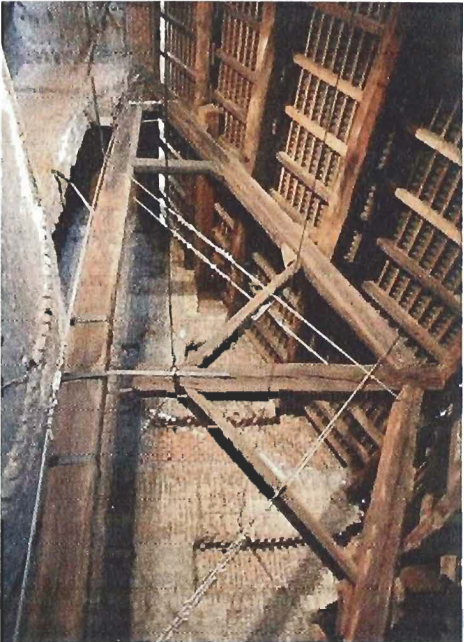


Figura 10 - Intervento di consolidamento delle capriate



Figura 11 - Intervento di consolidamento delle capriate



Figura 12 - Elementi ripartitori in acciaio



Figura 13 - Elementi sacrificali in legno

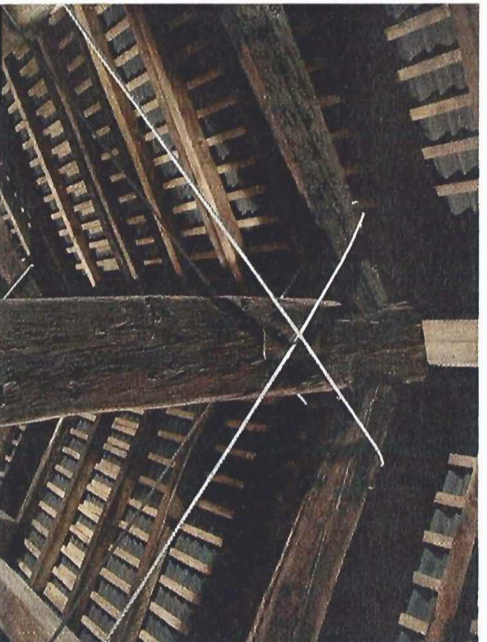


Figura 14 - I due cavi simmetrici si incrociano nel punto di vertice della capriata, dove i due puntoni di falda si intestano sul monaco



Figura 15 - Base della capriata, dove il cavo dopo essere passato sotto alla catena, risale e scavalca il puntone

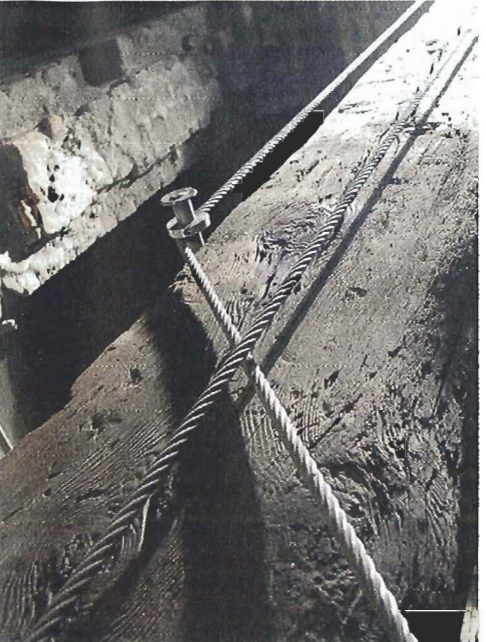


Figura 16 - Cavi in acciaio affiancati alla catena per il rinforzo delle capriate



Figura 17 - Tirante teso lungo l'asse della chiesa "inanellando" tutti i monaci delle capriate



Figura 18 - Particolare del cavo vincolato ai monaci della capriate

Il sistema è semplice, tesabile e ri-tesabile mediante tenditori, e può essere posto in opera senza la necessità di smontare il tetto, il che rappresenta una caratteristica particolarmente utile sia per i tempi che per i costi del cantiere.

Il cavo, in realtà, è un lungo anello inserito intorno alla capriata, che si accosta ad essa, su entrambi i lati, per il suo intero sviluppo. Ciò evita la necessità di creare ingombranti e costosi nodi di connessione tra cavo ed elementi lignei (figura 12).

Per tenere conto dei punti di contatto locale tra cavo e legno, nei punti in cui il cavo "scavalca" la capriata, sono stati introdotti dei cuscinetti ripartitori in legno (figura 13). Una caratteristica interessante di questa modalità di intervento è che i due cavi simmetrici (che rinforzano rispettivamente il puntone destro ed il puntone sinistro) si incrociano nel punto di vertice della capriata, dove i due puntoni di falda si intestano sul monaco (figura 14). In questo modo i cavi vengono a "cerchiare" il nodo di sommità, comprimendo tra loro i tre elementi che vi confiniscono e contribuendo a impedire eventuali movimenti relativi che inficerebbero lo schema strutturale della capriata.

Lo stesso risultato, ossia una cerchiatura mutua, si ottiene anche alla base della capriata, dove il puntone di falda e la catena si toccano. Il cavo infatti, dopo essere passato sotto alla catena in corrispondenza di due perni inox, risale e scavalca il puntone (figura 15). Così facendo contribuisce ad evitare lo scivolamento orizzontale del puntone rispetto alla catena. Si ottiene una soluzione che, geometricamente, richiama le

legature con chiodi passati e regge metalliche, tanto usate nel XIX secolo per impedire lo spostamento relativo tra i due elementi.

L'intervento risulta totalmente reversibile, rimovibile, attivo, leggero, e tesabile, così da poter essere controllato ed eventualmente ri-tesato (in una ottica di manutenzione programmata) e da essere facilmente sostituito, se necessario.

In affiancamento alle originali catene lignee sono inoltre stati posti in opera due cavi orizzontali, uno per parte, con la funzione di aiutare a resistere alla trazione della catena (figura 16).

Mediante il tensionamento del cavo orizzontale si riduce la sollecitazione della catena originaria, sgravandola e riportandola in condizioni di sicurezza. In questo modo non si sostituisce la sua funzione, ma si integra la sua carenza strutturale.

Un ulteriore *lungo tirante* è stato teso, lungo l'asse della chiesa, da uno all'altro fronte in muratura, ortogonalmente alle capriate, "inanellando" tutti i monaci delle capriate (figura 17).

Questo cavo vincola le capriate (figura 18) le une alle altre e, tutte insieme, le vincola ai fronti in muratura, fissandole nelle posizioni raggiunte lungo i secoli, così da non consentire ulteriori pericolosi spostamenti. Si evita, in tal modo, che le capriate possano inclinarsi ulteriormente, accavallandosi, con gravi conseguenze dal punto di vista statico.

Naturalmente in alcune parti delle capriate dove si presentano lacune dovute a incendi o dove il degrado era particolarmente evidente, sono state inserite zeppe e fettorature di legno

ben collegate all'esistente, così da ripristinare la continuità materica e quella strutturale. Per quanto riguarda il manto di copertura, il progetto ha previsto la parziale sostituzione dell'orditura secondaria (là dove deteriorata dalle infiltrazioni) e l'integrazione dei coppi, con la sostituzione dei soli elementi rotti, ridando così continuità allo strato di tenuta.

Durante i lavori, all'interno del sottotetto, un cavo temporaneo è stato posizionato ed utilizzato come *linea salvavita* per gli operai in modo da garantire il lavoro in sicurezza ed impedire cadute accidentali, lungo i fianchi della volta a botte sottostante le capriate. A completamento dell'intervento, su tutte le strutture lignee è stato applicato un imprregnante antimuffa traspirante ed inoltre le murature perimetrali del sottotetto, lesionate dalle spinte delle capriate e dalle infiltrazioni, sono state restaurate con la tecnica dello scuci-cuci.

La nuova soluzione progettata ha reso facile la gestione del cantiere, la cui area di lavoro si è ridotta al sottotetto e ad una corona di ponteggi e posizionati in quota intorno alla copertura, rimanendo nelle immediate adiacenze della chiesa (figura 19). Il posizionamento dei ponteggi in quota (realizzati in tubo-giunto) è stata possibile grazie alla presenza delle originarie *bucche portate* che hanno consentito un collegamento sicuro tra la parte interna e quella esterna del sottotetto (figura 20). È interessante notare come le

bucche portate, si siano ritrovate, dopo secoli, a rivestire nuovamente l'antica funzione. I vantaggi ottenuti da questo intervento sono stati di tipo

statico e di tipo economico, nel rispetto dei criteri e delle esigenze di un restauro conservativo. Gli elementi lignei originali sono stati conservati sia come materiale che come funzionalità statica, sfruttandone le capacità residue. Gli elementi aggiunti (i nuovi puntelli lignei ed i cavi) convivono con quelli esistenti, sopponendo alle mancanze strutturali di quest'ultimi.

L'intervento risulta poco invasivo, efficace e rispettoso del monumento e della sua storia. Non è stato necessario smontare e sostituire il tetto e si è potuto gestire il cantiere in quota, con ponteggi aggettanti, appesi alla muratura. Il nuovo progetto è risultato più economico di quello iniziale, anche in virtù del poco *materiale movimentato* e del suo ridotto peso e ridotto ingombro. Tutto ciò ha permesso, in accordo con l'UTC del Comune di Milano e con la IMG s.r.l. di Milano, di prevedere varianti migliorative tra cui l'inserimento di un *impianto di illuminazione* che rendesse il luogo più funzionale e più accogliente per le manutenzioni ed i monitoraggi futuri ed eventualmente per visite conoscitive del monumento. A lavori ultimati, nel 2002, finalmente il complesso è stato riaperto e si è potuta riprendere l'attività didattica dell'Accademia di Brera. Ulteriori dettagli su questo intervento e sui interventi simili in www.jurina.it.

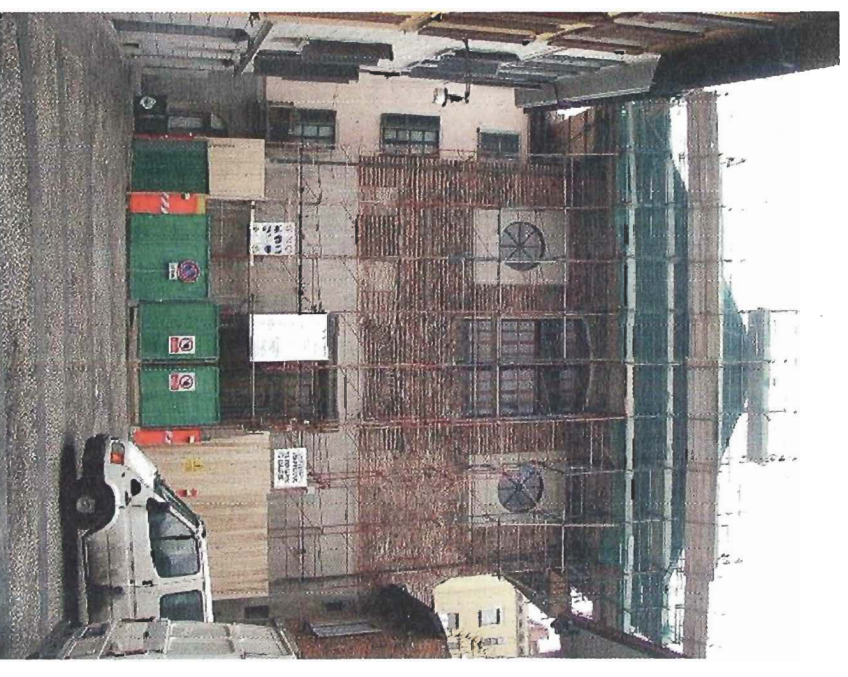


Figura 19 - Chiesa di San Carloforò durante i lavori



Figura 20 - Corona di ponteggi

*Ingegnere, DIS, Politecnico di Milano
**Ingegnere, Libero professionista