

Un monaco e dodici saette

OVVERO LA STORIA DI OTTO PUNTELLI E DEI LORO TIRANTI PER IL  
**CONSOLIDAMENTO DELLA COPERTURA**  
NELLA TORRE DEL CASTELLO DI DOMODOSSOLA

*Light solutions for timber roofs consolidation: the case of an historic Tower in Domodossola Castle.*  
The use of steel elements to reinforce timber constructions is an ancient technique. The high strength of the material together with its lightness helps to solve many problems such as the case of weak chains in timber trusses, or the case of defective joints. Steel cables can be adopted even nowadays in structural consolidation, cooperating with ancient wooden members. In the paper, the case of an heavy and weak wooden roof in the Tower of Domodossola Castle is presented. The adoption of post-tensioned steel cables, together with vertical struts, could efficiently increase the strength and stiffness of the existing trusses. Thanks to the use of steel, a smart and light solution was obtained, able to fit the actual geometry and respectful of the original structural plan of the timber elements.

**Lorenzo Jurina**

Politecnico di Milano, Dip. Ingegneria Strutturale  
{lorenzo.jurina@polimi.it}



1 - Il monaco centrale a cui confuiscono quattro puntoni, quattro falsi puntoni e dodici saette.



**il** legno, più di altri materiali presenti in un edificio storico, è un importante elemento documentario ed innumerevoli sono le informazioni che può raccontare ad un esperto. Da ciò l'opportunità, ed in taluni casi la necessità, di garantire la conservazione, anche quando l'elemento non fosse più in grado di offrire il necessario grado di sicurezza ai carichi agenti o alle nuove destinazioni d'uso. È facile cadere nella tentazione di sostituire l'elemento originale con una sua copia ma è chiaro altresì che, invece di sostituire, è sempre meglio aggiungere o integrare.

Una campagna diagnostica accurata (che non vuol dire necessariamente costosa), finalizzata alla valutazione dell'effettivo stato di degrado, risulta fondamentale. Legni a prima vista irrecuperabili possiedono talora risorse strutturali che meritano di essere riconosciute e sfruttate.

L'utilizzo del ferro ieri, e dell'acciaio oggi, nel consolidamento delle strutture in legno è sempre stato una pratica diffusa, anche nel passato, dove nuovi elementi metallici venivano introdotti per sopperire alla inefficienza strutturale di elementi lignei degradati. Catene, cerchiature, grappe e altri elementi metallici di connessione sono stati impiegati per assorbire gli sforzi di trazione o di taglio, oppure per migliorare connessioni difettose o mancanti. Anche oggi l'acciaio è con frequenza utilizzato nel consolidamento poiché abbina l'efficienza strutturale ad un costo modesto, nel rispetto della riconoscibilità e della ritrattabilità dell'intervento.

Le pubblicazioni sono reperibili su [www.jurina.it](http://www.jurina.it)



2 - La Torre in pietra del Castello di Domodossola.

Tra i criteri che devono essere adottati in un intervento rispettoso sul costruito, la compatibilità tra nuovo e antico e la leggerezza sono obiettivi che l'acciaio consente di raggiungere, ottenendo spesso soluzioni poco invasive e formalmente gradevoli, mediante un accostamento puntuale ed attivo tra strutture lignee antiche e strutture metalliche nuove. L'uso di elementi leggeri in acciaio, come cavi e trefoli, consente, tra l'altro, di modellare l'intervento nel rispetto delle forme irregolari dell'esistente, con grande versatilità.

Un caso emblematico, affrontato recentemente da chi scrive, riguarda la pesante copertura lignea di una Torre del Castello di Domodossola, risalente al X secolo (Figure 1,2).

La copertura della torre quadrangolare in pietra, di lato 11x13 metri, presenta una tipologia a quattro falde. La struttura principale di sostegno, in legno, è composta da due capriate tra loro ortogonali le cui catene si appoggiano alle mezzerie dei muri perimetrali e i cui puntoni

diagonali convergono, in sommità, al colmo centrale dove si incastrano nel medesimo monaco. Su questo stesso monaco si innestano ben 12 saette diagonali, formando una suggestiva raggiera intorno all'unico elemento centrale (Figure 1 e 3). Come è noto, le saette rappresentano un prezioso elemento di appoggio intermedio, che, nel caso in oggetto, è in grado di limitare la inflessione sia dei 4 "veri-puntoni" delle capriate, sia degli 8 "falsi-puntoni" che costituiscono il resto dell'orditura principale della copertura.

Su tutti gli elementi lignei della copertura è stata effettuata una attenta ed accurata diagnostica atta a valutare le manifestazioni di degrado localizzato o diffuso, nonché la capacità residua del legno in termini di resistenza.

Le indagini hanno confermato la necessità di intervenire in modo drastico solo su pochi elementi, mediante puntuale rimozione e sostituzione del legno esistente, ma hanno evidenziato anche che i valori medi di resistenza meccanica erano insufficienti a reggere in sicurezza il peso della neve e, soprattutto, l'esorbitante carico permanente rappresentato dalle "piode" in pietra, che non si potevano né si volevano eliminare. Nella zona di Domodossola, le NTC2008 prevedono un elevato carico di neve e il peso delle piode in pietra, parzialmente sovrapposte, si aggira sui 700 daN/mq.

Le analisi numeriche hanno confermato che i livelli tensionali e deformativi derivanti da tali condizioni di carico non si potevano ritenere ammissibili.

Si è reso necessario, quindi, un consolidamento globale dell'orditura principale, preceduto da interventi locali di ripristino e sostituzione.



Nella prima fase sono state rimosse ed immagazzinate le pesanti piode e si è lasciata a vista l'orditura principale e secondaria. Successivamente si è posto in opera un tavolato continuo, al disopra del quale, in corrispondenza dei puntoni e dei falsi puntoni, si sono posate travette in legno lamellare di sezione 10x20 cm, rese solidali agli elementi sottostanti con lunghe viti da legno disposte ad X, così da renderle monolitiche e quindi collaboranti, utilizzando una tecnica "legno su legno" (Figure 4-9).

Nello spazio tra le varie travette lamellari, al di sopra del tavolato, si è inserito uno strato di coibentazione di spessore 10 cm, indispensabile per rendere abitabile il suggestivo spazio del sottotetto con le capriate a vista.

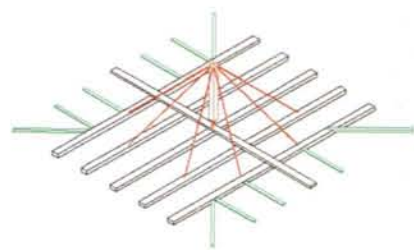
Sopra alle travette e alla coibentazione è stato posto un ulteriore assito continuo e, da ultimo sono state posizionate le piode originali, in precedenza rimosse. Le capriate ed i falsi puntoni, il cui momento di inerzia era stato aumentato con l'aggiunta delle travette poste in parallelo, hanno raggiunto una situazione di maggior sicurezza, ma ancora incapace di soddisfare le specifiche di legge. Si è optato pertanto per una soluzione che l'autore ha già applicato in passato su capriate piane e che qui viene riproposta per una copertura tridimensionale. Si è deciso, nello specifico, di inserire 8 ulteriori appoggi intermedi, vale a dire 8 puntelli verticali, i quali hanno il compito di aiutare gli 8 falsi puntoni di copertura di maggiore lunghezza a non inflettersi eccessivamente.

3 - La ossatura in legno dopo la rimozione delle piode.





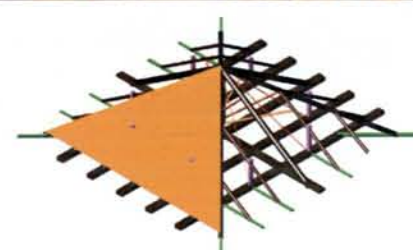
4 - Orditura principale costituita dalle due capriate ortogonali e dai falsi puntoni.



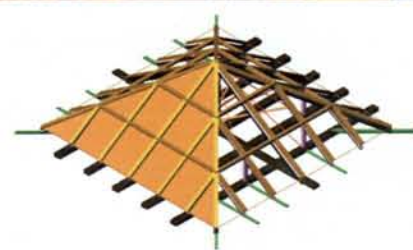
5 - Posa degli 8 tiranti in acciaio.



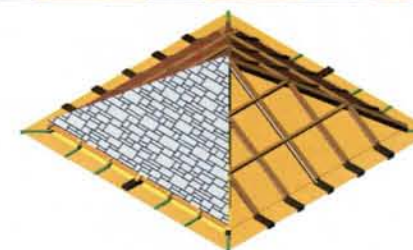
6 - Posa degli 8 puntelli di contrasto in legno.



7 - Posa del tavolato in legno.



8 - Posa di travetti in lamellare, resi solidali alla sottostante orditura principale, e di uno strato di coibentazione.



9 - Posa delle piode precedentemente rimosse.

Verrebbe spontaneo appoggiare tale nuovo puntello alle sottostanti catene lignee. In questo modo si aiuterebbe il puntone ma, allo stesso tempo, si aggraverebbe la situazione delle catene lignee, progettate per lavorare a trazione e non a flessione. La situazione si è risolta introducendo 8 tiranti diagonali in acciaio inox, post tesati, che collegano la base degli 8 puntelli verticali al colmo della capriata, trasferendo a questa posizione sommitale la azione assiale dei puntelli stessi. Il monaco centrale (con le sue 12 saette rivolte verso l'alto) continua a funzionare come sempre e gli 8 tiranti che scendono dal colmo verso il basso, a vista nello spazio del sottotetto, disposti tra saetta e saetta, svolgono in modo palese ed elegante la loro funzione di trasferimento (Figure 10-12).

Un tema complesso era rappresentato dal fissaggio degli 8 tiranti al colmo. Una soluzione particolarmente semplice è stata ottenuta posizionando una piastra in acciaio quadrangolare, a forma di "piramide tronca", in corrispondenza del colmo. Dalla piastra scendono 8 mensoline, che appaiono a vista nel sottotetto e a queste si collegano 8 cavi in acciaio (uno per ciascuno dei falsi puntoni da consolidare), che scendono verso il basso e vanno ad ancorarsi in corrispondenza ed al di sotto di nuovi puntelli lignei aggiunti.

Mettendo in trazione gli 8 cavi mediante tenditori si applica una forza verticale diretta dal basso verso l'alto alla base del nuovo puntello. In questo modo la compressione del puntello non sollecita la catena lignea, la quale continua a lavorare a sola trazione (Figure 13-15).

In sintesi, il consolidamento progettato consiste nell'aggiunta di un ulteriore vincolo verticale il quale sostiene i puntoni di falda, ad integrazione di quello fornito dalle esistenti saette. Dall'analisi numerica ad elementi finiti è stato possibile ricavare un'indicazione sull'efficacia dell'intervento di consolidamento in termini di riduzione degli spostamenti tra la situazione non consolidata e quella consolidata. Le tabelle 1 e 2 mostrano le riduzioni percentuali delle frecce in mezzeria relativamente ai 4 falsi puntoni d'angolo e ai puntoni delle 2 capriate principali, nell'ipotesi che sulla copertura agiscano i carichi permanenti e la neve.

Si sono analizzate tre diverse situazioni: (1) quella in cui si sono posti in opera i soli 8 puntelli, appoggiati alle sottostanti catene (senza tiranti); (2) quella in cui si sono modificate le sezioni resistenti mediante la aggiunta di travette lamellari collaboranti e (3) quella in cui si sono applicati i tiranti in acciaio inox.

**Tabella 1 -**  
Riduzioni medie percentuali degli spostamenti nei 4 falsi puntoni d'angolo.

Elemento	solo puntelli			raddoppio trave		con tiranti in acciaio	
	$u_x$ (SdF) [cm]	$u_x$ (SdP1) [cm]	$\Delta$ [%]	$u_x$ (SdP2) [cm]	$\Delta$ [%]	$u_x$ (SdP3) [cm]	$\Delta$ [%]
Puntone 1	1,98	1,60	19%	0,93	53%	0,86	56%
Puntone 2	1,99	1,62	19%	0,93	53%	0,87	56%
Puntone 3	1,58	1,29	18%	0,80	49%	0,72	55%
Puntone 4	1,91	1,44	24%	0,83	56%	0,73	62%
<b>Media</b>			<b>20%</b>		<b>52%</b>		<b>57%</b>

**Tabella 2 -**  
Riduzioni medie percentuali degli spostamenti nei 4 puntoni delle capriate.

Elemento	solo puntelli			raddoppio trave		con tiranti in acciaio	
	$u_x$ (SdF) [cm]	$u_x$ (SdP1) [cm]	$\Delta$ [%]	$u_x$ (SdP2) [cm]	$\Delta$ [%]	$u_x$ (SdP3) [cm]	$\Delta$ [%]
Puntone 1-C1	1,00	1,01	0,3%	0,65	35%	0,60	40%
Puntone 2-C1	1,16	1,06	8%	0,68	41%	0,64	45%
Puntone 1-C2	1,53	1,30	15%	0,92	40%	0,76	50%
Puntone 2-C2	1,12	1,02	9%	0,70	37%	0,65	42%
<b>Media</b>			<b>10%</b>		<b>38%</b>		<b>44%</b>



10 - Puntelli di contrasto in legno e relativi tiranti, a rinforzo dei falsi-puntoni.





11 12

In definitiva si ricava che l'introduzione dei soli puntelli contribuisce alla riduzione delle frecce dei puntoni solo per il 10% - 20%. Ben più consistente è la riduzione degli spostamenti quando i puntoni originari si rendono collaboranti con le travette in lamellare ad essi sovrapposte. Infine, si evidenzia l'ulteriore riduzione degli spostamenti consentita dagli 8 cavi tesi, che permette di raggiungere, in totale, il 57% ed al 44% di miglioramento per i falsi puntoni d'angolo e per i puntoni delle capriate, rispettivamente.

L'intervento realizzato ha dunque contribuito a migliorare il comportamento globale della copertura, riportando i valori delle deformazioni e delle sollecitazioni entro limiti accettabili.

Aggiungiamo che, per completare l'opera, sono state rinforzate anche le catene lignee delle due capriate principali, disponendo una coppia di cavi in acciaio a fianco della catena, uno per parte, ancorati all'estremità mediante piastre in acciaio. Applicando un tensionamento a tali cavi orizzontali si sgrava parzialmente la catena lignea originaria, riportandola entro i limiti di sicurezza stabiliti. L'approccio utilizzato, sia per le catene che per i puntoni ed i falsi puntoni, non modifica la funzione dell'elemento originale, ma ne integra la capacità strutturale, offrendo una "stampella rimovibile" ad elementi che da soli non riuscirebbero a resistere.

## CONCLUSIONI

L'esempio di consolidamento della copertura della Torre del Castello di Domodossola mostra le possibilità e la grande flessibilità che gli elementi leggeri in cavo d'acciaio offrono all'interno del panorama delle possibili soluzioni di consolidamento. In particolare i tiranti, soprattutto quando si adotta una modalità di funzionamento "attivo", permettono soluzioni molteplici, di volta in volta adattabili e specifiche per ogni singolo caso.

La scelta del professionista deve dunque tendere a sfruttare in modo ottimale le risorse tecnologiche, gli strumenti di calcolo e di diagnostica e, naturalmente, i materiali disponibili, proponendo soluzioni mirate che tengano conto della specificità del singolo problema.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Jurina L. Strutture in legno: soluzioni leggere per il consolidamento, L'Edilizia, n. 4, pp.16-23, 2002.
- [2] Jurina L. L'uso dell'acciaio nel consolidamento delle capriate e dei solai in legno, In "Il manuale del legno strutturale", vol IV "Interventi sulle strutture" L. Uzielli (a cura di), 2004.
- [3] Jurina L. Tecniche innovative nel consolidamento di capriate e solai in legno, Atti del seminario internazionale C.I.A.S. "Evoluzione nella sperimentazione per le costruzioni", Mediterraneo, 26 Settembre-3 ottobre 2004.
- [4] Jurina L. L'acciaio nel rinforzo delle strutture in legno, Atti di "Legno. Architettura e Tecnologia", Giornate di studio, Torino, Novembre 2009.



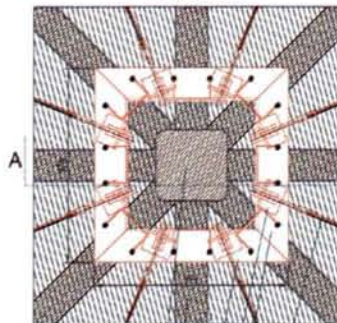
La diagnostica è stata curata dall'arch. Francesco Angelli. I lavori sono stati eseguiti dall'impresa Rossignoli di Aosta.



13

14

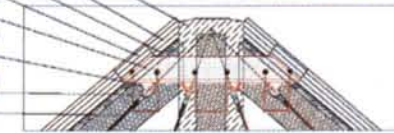
Plastra di aggancio in corrispondenza del colmo  
Vista in pianta



Elemento ligneo esistente, monaco  
Nuova trave in legno lamellare, sp. 20x10 cm  
Nuovo asse  
Plastra quadrangolare a piramide tronca, sp. 20 mm  
Elemento di aggancio per il tirante, doppia piastra forata, sp. 15 mm  
Cavallotti Ø 16 con terminali filettati  
Cavo Ø12 con copocorda a occhio

Plastra di aggancio in corrispondenza del colmo  
Vista in prospetto - Scala 1:10

Elemento ligneo esistente, monaco  
Nuova trave in legno lamellare, sp. 20x10 cm  
Nuovo asse  
Elemento ligneo di complanarità  
Plastra quadrangolare a piramide tronca, sp. 20 mm  
Elemento di aggancio per il tirante, doppia piastra forata, sp. 15 mm  
Cavallotti Ø 16, con terminali filettati  
Cavo Ø12 con copocorda a occhio



Elemento ligneo esistente, monaco  
Nuova trave in legno lamellare, sp. 20x10 cm  
Nuovo asse  
Elemento ligneo di complanarità  
Plastra quadrangolare a piramide tronca, sp. 20 mm  
Elemento di aggancio per il tirante, doppia piastra forata, sp. 15 mm  
Cavallotti Ø 16 con terminali filettati  
Cavo Ø12 con copocorda a occhio

15

11,12 - Intradosso del tetto finito. 13 - Dettaglio del fissaggio degli 8 tiranti al colmo. 14,15 - Disegni di progetto.