

## INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DELLE CAPRIATE LIGNEE MEDIANTE FUNI IN ACCIAIO

Lorenzo Jurina

Politecnico di Milano, DIS, Dip. Ingegneria Strutturale, p.za Leonardo Da Vinci 32, 20133 Milano,

[www.jurina.it](http://www.jurina.it)

### Introduzione

Tra i materiali da costruzione dell'edilizia storica il legno è uno dei più comuni e, più di altri, ci racconta la sua età, la sua provenienza, reca impressi i segni delle lavorazioni e delle tecnologie, degli attacchi da agenti biodeteriogeni. Sono leggibili sugli elementi lignei le tracce lasciate da eventi traumatici quali incendi o crolli. Questi dati permettono di valutare la sicurezza attuale della struttura a fronte delle sollecitazioni odierne e di quelle future.

L'uso dell'acciaio nel consolidamento delle strutture lignee è una pratica adottata sovente nel passato. Elementi metallici venivano chiamati in causa a sopperire l'inefficienza strutturale di componenti lignei, a cui venivano affiancati per "collaborazione" o "sostituzione" funzionale già dal medioevo impiegando catene, cerchiature, grappe ed elementi metallici di connessione per assorbire gli sforzi di trazione, oppure per migliorare collegamenti difettosi o per ripristinare quelli del tutto mancanti.

Negli esempi di seguito illustrati, su cui l'autore ha operato in prima persona, 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, 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: minimo intervento, specificità della soluzione rispetto all'unicità del oggetto su cui operare, adattabilità nel tempo, manutenibilità, reversibilità, riconoscibilità /valore documentario dell'esistente.

Negli interventi brevemente illustrati nel seguito ci siamo ispirati al criterio che "[...] è possibile esercitare il massimo rispetto nella conservazione, limitando le operazioni al minimo indispensabile e fermandole "prima del giusto" (Pratali, 1993) al fine di minimizzare l'impatto dell'intervento, scegliendo la soluzione maggiormente compatibile e rispettosa dello stato di fatto.

### La copertura di casa ex-Masciadri ad 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 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 nella zona sottostante. In questo modo i puntoni, nella loro parte inferiore, lavorando "a sbalzo" 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 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 dall'incalmo ligneo presente. Particolarmente curati sono stati i dettagli di ancoraggio dei cavi alla muratura.

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.

Un assito ortogonale all'esistente posto al di sopra delle capriatelle ha favorito la rigidità nel piano così da costituire un elemento diaframma capace di distribuire eventuali carichi orizzontali (Figura 1 e 2 a,b,c,d).

### **La copertura del "Baco da seta" nella villa Della Porta Bozzolo, Casalzuigno (Varese)**

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 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. 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 inferiori con resina epossidica. Tale struttura 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 della trave a "sezione mista" legno-acciaio che si è comportata in modo lineare, con limitati residui anelatici. La struttura reale è risultata 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 spesso 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 due fasi: uno di tipo locale, 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; uno 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 mezzera, 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 e 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 sono state rimosse e sostituite con perni metallici passanti (Figura 5)

### **Ex Filanda Meroni - Soncino (Cremona)**

Nel progetto di trasformazione di un edificio rustico e di una adiacente filanda, in prossimità del Castello di Soncino (CR), uno dei grandi volumi necessita di intervento di consolidamento in quanto viene 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, e dalle 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 di estremità e capace di offrire un vincolo sufficientemente rigido nei confronti dello spostamento delle pareti longitudinali, lungo tutto il loro sviluppo (Figura 6).

### **La copertura di Palazzo della Ragione- Milano**

Obiettivo dell'intervento in copertura è stato la realizzazione di un "elemento diaframma" capace di contrastare la deformazione flessionale delle murature longitudinali del corpo di fabbrica dovuta a forze ortogonali al piano.

Oltre all'incremento di rigidità della copertura nel suo piano si mirava a migliorare il mutuo collegamento con le pareti portanti longitudinali e trasversali e garantire un miglior trasferimento dei carichi.

Si è dunque proposto l'utilizzo di elementi di rinforzo in acciaio per la realizzazione del diaframma rigido a livello della copertura con funzione di controvento e di vincolo superiore alle pareti longitudinali mediante disposizione di 24 tiranti metallici incrociati opportunamente post-tesi.

L'ancoraggio dei tiranti ad una catena perimetrale costituita da un profilo a C, disposto sotto l'appoggio delle capriate, completa l'intervento con un'azione di cerchiaggio interno.

Lo schema derivato dalla modellazione numerica ha evidenziato come le due pareti longitudinali, collegate agli estremi, sottoposte ad una forza normale al loro piano, hanno come effetto una deformazione solo in parte assorbibile da collegamenti ortogonali al loro piano (es. capriate lignee), idonei a contrastare la deformazione flessionale. Mediante inserimento di tiranti incrociati si esplica invece un'azione efficace di contrasto alla deformazione di taglio (Figura 7).

### **Le capriate dell'ex Monastero di S. Clara a Pavia**

Gli interventi sulle strutture lignee dell'ex Monastero di S. Clara a Pavia hanno previsto un'opera 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 e la messa in sicurezza degli appoggi tra puntone e catene delle capriate di copertura mediante l'impiego di carpenteria metallica.

L'intervento di consolidamento è stato realizzato su quindici capriate, con luce di otto metri ed appoggi molto degradati, poste a sostegno del tetto, il cui 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, invece, per una soluzione composita che consente un allargamento della zona di appoggio. In pratica si realizza una sorta di nuova capriata leggera,

caratterizzata 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. Si dovevano pertanto realizzare i nuovi appoggi tra la capriata e la muratura a una quota superiore a quella degli appoggi esistenti, giudicati inaffidabili. Si sono utilizzati segmenti di trave in legno lamellare (bilancini), a sbalzo rispetto alla capriata, collegati 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 reazioni vincolari in una posizione diversa da quella di origine. Nel fare questo sono soggetti a rotazione, ma quest'ultima viene bilanciata da tiranti inox che convergono verso il colmo della capriata, e da un tirante orizzontale, sempre in 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 (Fig.8).

## Conclusione

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 elementi lignei. Sono state presentate soluzioni passive, soluzioni attive o soluzioni parzialmente attive; soluzioni in acciaio normale o in acciaio inox.

Molte sono le soluzioni rese possibili dall'apporto di materiali ed elementi strutturali leggeri, soprattutto con 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 controllo ed i materiali disponibili.

La progettazione dei casi illustrati è stata effettuata da :

- Casa ex-Masciadri - Arcene (BG): archh. D. Vitale, C. Di Biase, M. Minocci, ing. L. Jurina
- Villa Della Porta Bozzolo- Casalzuigno (Varese): arch. P. Bassani, ing. L. Jurina
- Chiesa di San Carpofo - Milano: Ing. A. Carenzi, ing. L. Jurina
- Palazzo della Ragione - Milano: archh. M. Dezzi Bardeschi, A. Grimoldi, P. Farina, L. Berni, ing. L. Jurina
- Ex Filanda Meroni - Soncino (CR): Archh. M. Bigozzi, M. Bigozzi, G. Celada, M. Celada, E. Soffientini, M&L, ing. L. Jurina

## Bibliografia

1. Di Biase C., Jurina L. *Un grandioso caseggiato ad uso colonico*, TeMa, 2000.
2. Jurina L., Bonaldi P. Rossi P.P., *Indagini sperimentali e numeriche sui dissesti del Palazzo della Ragione di Milano*, XIV Cong. Naz. Geotecnica, Firenze, 1980
3. Jurina L., *Consolidacion estatica de edificios monumentales por medio de tirantes metalicos*, III Congr. Int. Rehabilitacion, Granada, 1996.
4. L. Jurina, *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.
5. 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.
6. Jurina L., *Strutture in legno: Soluzioni leggere per il consolidamento in Recupero e conservazione*, n. 50,2003, pp. 65-68.
7. Pratali Maffei S., *Conservazione e manutenzione del costruito: Ipotesi e proposte per un Capitolato Speciale d'Appalto*, tesi di dottorato di ricerca in Conservazione dei beni architettonici, facoltà di Architettura, Politecnico di Milano, 1993.

8. Tampone G. (a cura di), *Legno nel restauro e restauro del legno*, atti del Congresso nazionale, Firenze, 30 novembre-3 dicembre 1983.
9. 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.
10. Tampone G., Mannucci M., Macchioni N., *Strutture in legno. Cultura, conservazione, restauro*, de Lettera Editore, Milano 2002

Figura 1. Dettagli del progetto di consolidamento delle capriatelle mediante l'impiego di tirante metallico "sagomato".

Figura 2 a, b, c, d. Dettagli dell'intervento di consolidamento con utilizzo di un cavo sagomato post-tesato, in posizione intradossale, per consolidare i puntoni a sbalzo, fortemente inflessi.

Figura 3. Il consolidamento della capriata mediante realizzazione di struttura reticolare mista.

Figura 4 Prove di carico: fase di carico sulla parte centrale

Figura 5. Consolidamento degli appoggi e delle capriate mediante cavi esterni post tesati, con inserimento di un nuovo puntello ligneo di contrasto della falda

Figura 6. Interventi previsti per l'area destinata a biblioteca

Figura 7. Uso di modello ad elementi finiti per il calcolo della deformata, con disposizione dei cavi di rinforzo e del cordolo metallico perimetrale.

Figura 8. Realizzazione del consolidamento mediante cavi esterni post tesati e "bilancini" in legno lamellare appoggiati sulla muratura.

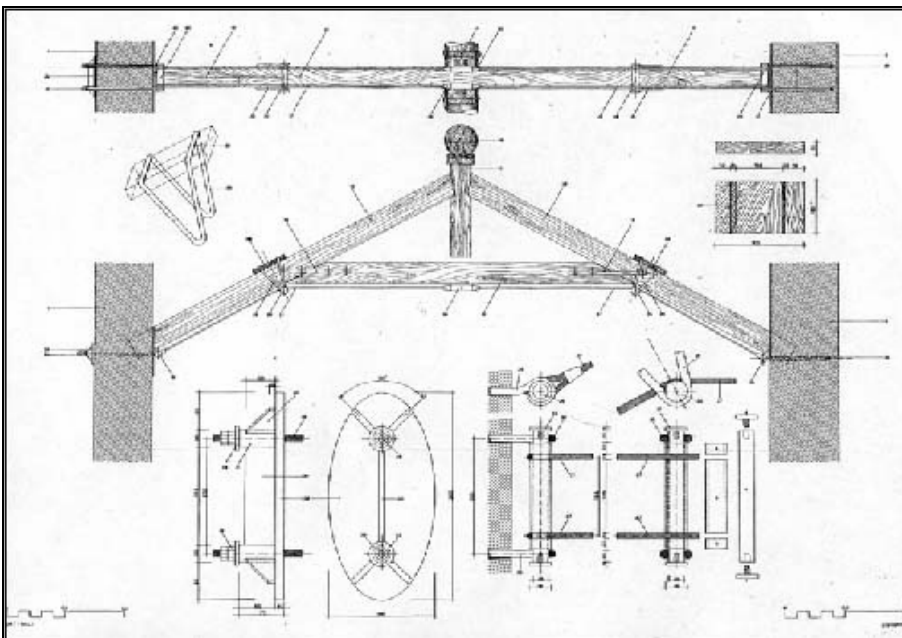


Figura 1



Figura 3 a, b, c, d.

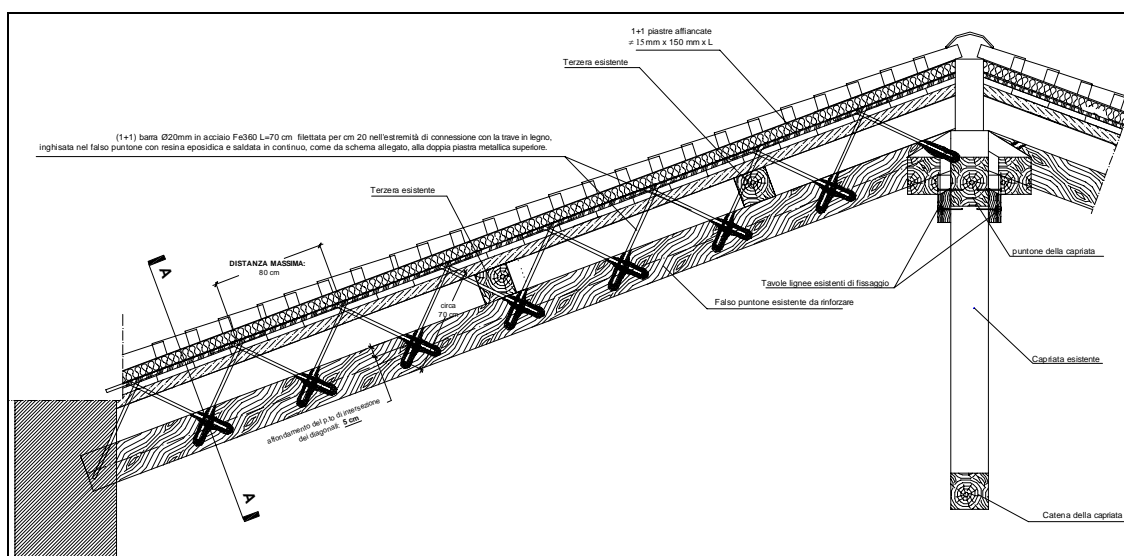


Figura 3.





Figura 4



Figura 5.

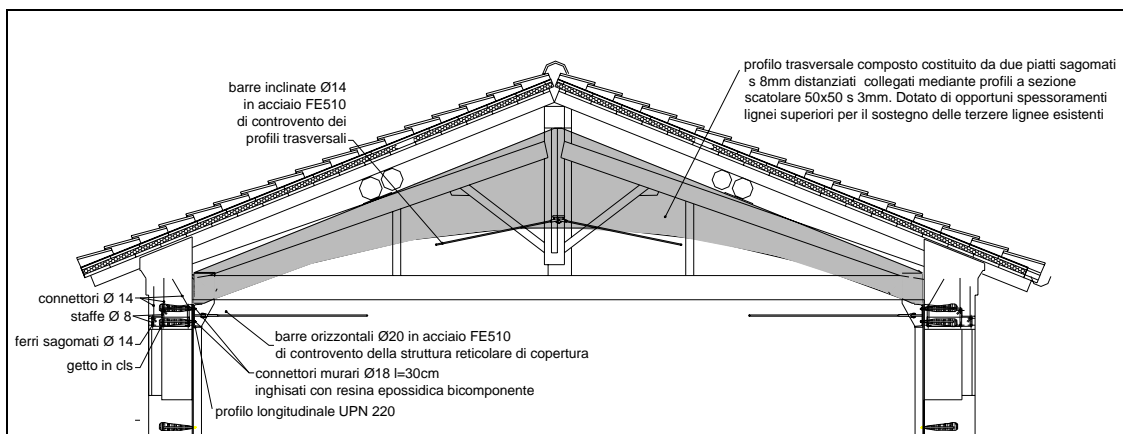


Figura 6.

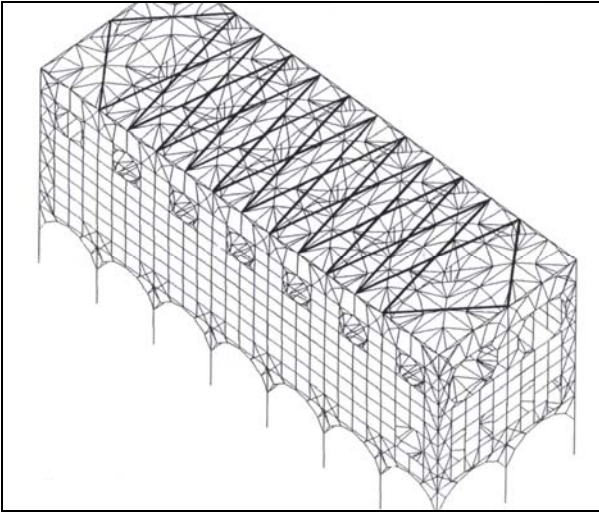


Figura 7.



Figura 8.