

Professor Gennaro Tampone, Ingegnere civile, Architetto  
Via Cavour, 104 50129 Firenze tel +39 055 470061, cell. +39 3382772244  
[g.tampone@tin.it](mailto:g.tampone@tin.it) [gennaro.tampone@pec.architettifirenze.it](mailto:gennaro.tampone@pec.architettifirenze.it)

**CONSOLIDAMENTO delle  
STRUTTURE LIGNEE SOPRASTANTI  
la SALA LUCA GIORDANO e dei  
SOLAI LIGNEI della  
DIREZIONE ECONOMATO  
in Palazzo Medici Riccardi  
CITTA' METROPOLITANA DI FIRENZE  
Direzione Viabilità, LL.PP., Protezione Civile, Forestazione e Gestione Immobili  
(Progetto esecutivo)**

# Relazione tecnica

Firenze, febbraio 2016



Il professionista esterno  
Prof. Gennaro Tampone

## **INDICE**

<b>Premessa .....</b>	<b>7</b>
<b><i>Individuazione dei dissesti</i> .....</b>	<b>9</b>
<b><i>Criteri di intervento</i> .....</b>	<b>9</b>
1. Sottotetto nell'ala Ovest. ....	9

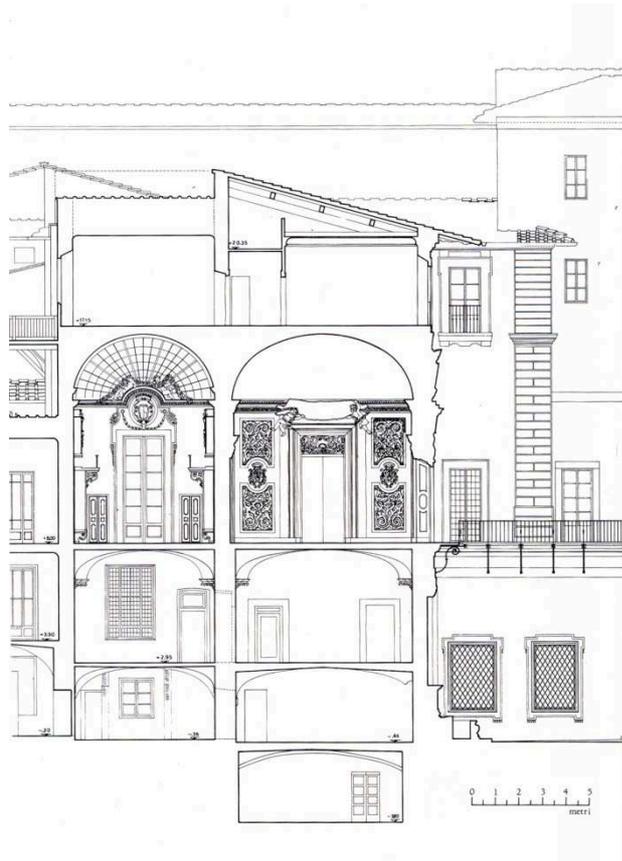


Palazzo Medici Riccardi. Facciata principale su via Cavour- Fonte google maps

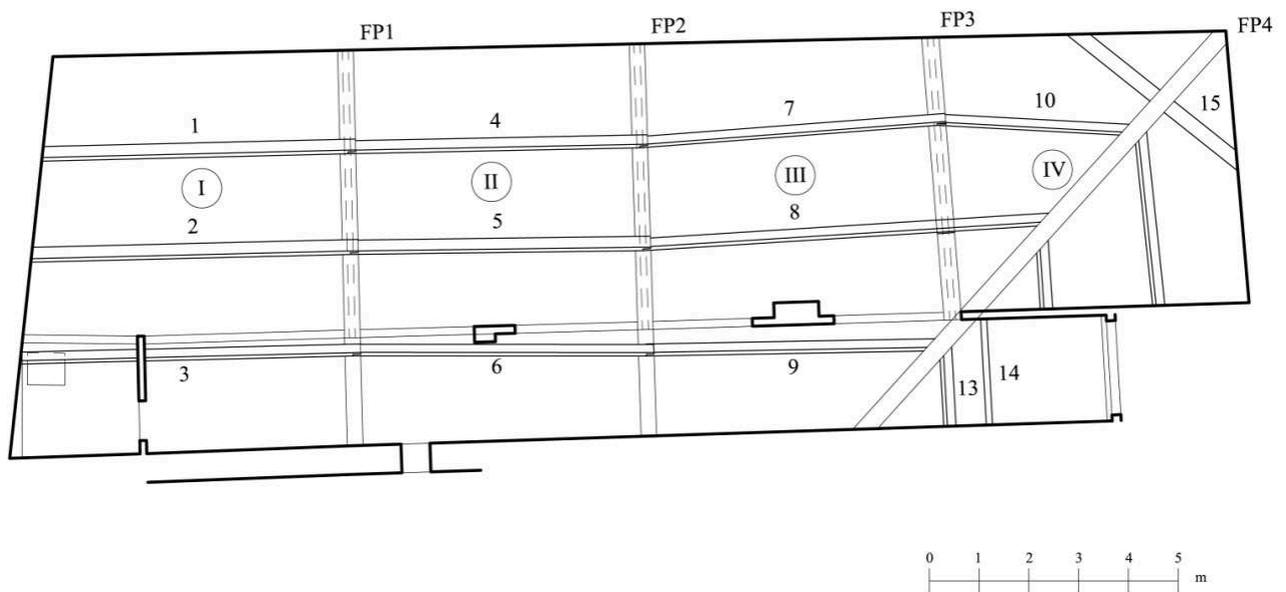


Palazzo Medici Riccardi. Foto aerea- Fonte google maps

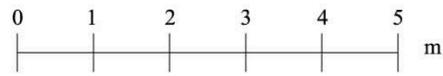
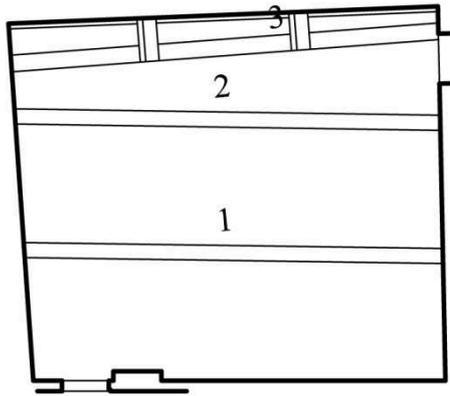




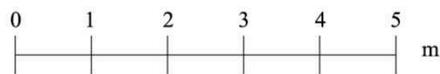
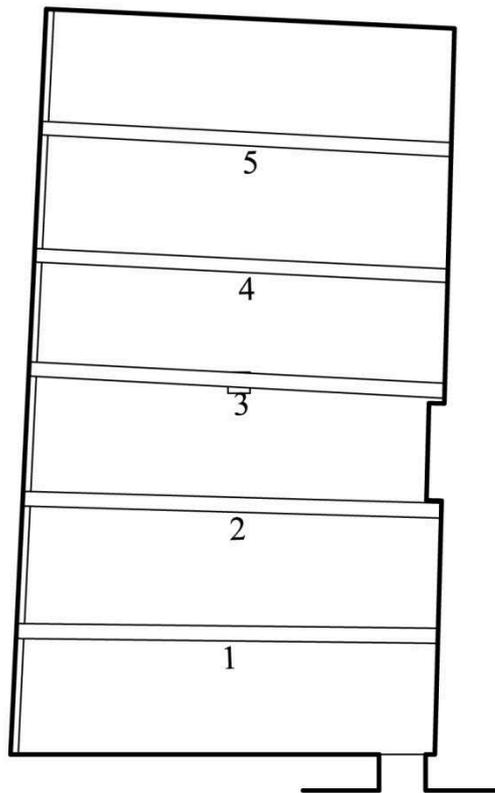
Sezione dell'ala ovest di Palazzo Medici Riccardi



Rilievo degli ambienti sottotetto (Studio Tampone). Rilievo 2014



Rilievo dei solai dell'Economato-Sala 1 (Studio Tampone). Rilievo 2014



Rilievo dei solai dell'Economato-Sala 2 (Studio Tampone). Rilievo 2014

## Premessa

Il progetto redatto nel 2008 dal Geom. Silvia Pandolfi (progetto architettonico) e dall' Ing. Ennio Passaniti (progetto strutturale) dell'Amministrazione provinciale prevedeva per le strutture lignee del tetto, in considerazione del loro pessimo stato sotto il profilo strutturale e del relativo pericolo di crollo, il completo smontaggio e la revisione con l'eliminazione delle parti deteriorate per il corpo di fabbrica in corrispondenza della facciata principale, la totale eliminazione e il completo rifacimento per la facciata principale nell'ala dell'ampliamento effettuata dalla famiglia Riccardi.

Tale progetto comprendeva, tra l'altro, una valutazione dello stato di degrado e di dissesto, in apposita tabella, di ciascuna delle membrature di legno componenti la copertura e prevedeva complessi apprestamenti di sicurezza, in particolare un ponteggio a tutta altezza nelle facciate interessate.

La tabella delle membrature e delle relative situazioni di dissesto è la seguente:

Il consolidamento delle travi più importanti (falsi puntoni) era effettuata mediante l'applicazione di lamine metalliche sulla superficie delle facce delle membrature.

Il progetto non fu realizzato.

LEGENDA	
Dimensioni trav	Note
Trave A 36x46	Le terzere si inseriscono sulla trave (vedi Part.1)
Trave B 30x41	Appoggia su muro corrido o testate in pessime condizioni
Trave C 18x25	Notevole inflessione
Trave D 18x25	Notevole inflessione
Trave E 18x25	Attacco da insetti xilofagi
Trave F 30x41	Appoggia su muro sottostante
Trav G-H-I 18x25	Nulla di rilevante
Trave L 30x41	Appoggia su muro sottostante
Trave M 18x25	Notevole inflessione. Già eseguiti interventi di consolidamento possibile rottura in corso
Trave N 18x25	Notevole inflessione
Trave O 18x25	In buona parte cassettata
Trave P-Q 18x25	Nulla di rilevante
NOTA 1:: Tutti i muri del piano sottotetto e il solajo del corridoio poggiano sulle murature del 2° piano	
NOTA 2: Travetti e pannelle si presentano in discrete condizioni di manutenzione	

Rilevazioni delle strutture lignee del sottotetto (Geom, Silvia Pandolfi)

\*\*\*

Successivamente lo scrivente fu incaricato dall'Amministrazione della progettazione esterna, ai livelli definitivo ed esecutivo, del consolidamento delle strutture lignee indicate e di quelle pure lignee dei solai della Direzione Economato; a seguito della comunicazione ufficiosa dell'incarico lo scrivente provvide a ispezionare gli ambienti cui le strutture si riferiscono e a redigere un progetto di massima del consolidamento strutturale della carpenteria lignea della copertura delle falde interessate dai dissesti. In considerazione dell'urgenza, nelle more della formalizzazione dell'incarico, all'inizio di settembre del 2012 lo scrivente redasse anche un computo metrico estimativo (progetto definitivo) che prevedeva le seguenti opere:

#### CARPENTERIA DEL TETTO:

- Opere provvisoriale (disinfestazione, pulizia, ponteggio, tettoia, passerelle di accesso, ....)
- Analisi anatomiche e dendrocronologiche delle componenti lignee
- Consolidamento delle membrature lignee mediante inserimento di lamine metalliche in quelle affette da rotture e applicazione di centine metalliche in quelle deformate ma non rotte
- Consolidamento degli appoggi murari
- Opere di ancoraggio e controventamento dei corpi di fabbrica con cavi di acciaio
- Eliminazione di setti murari estranei ingombranti e pesanti
- Opere accessorie come applicazione di gattelli, di contraffissi ecc.
- Consolidamento delle volte a incannucciato mediante applicazione di lacerti di stuoie di canne
- Trattamenti biocidi delle membrature lignee
- Eventuale installazione di impianto elettrico, impianto di rilevazione fumi e impianto antincendio (da eseguire con somme a disposizione della stazione appaltante)

#### STRUTTURA DEI DUE SOLAI

- Opere provvisoriale (disinfestazione, pulizia, ponteggio, tettoia, passerelle di accesso, ....)
- Analisi anatomiche e dendrocronologiche delle componenti lignee
- Consolidamento delle membrature lignee mediante inserimento di lamine metalliche in quelle affette da rotture e applicazione di centine metalliche in quelle deformate ma non rotte
- Consolidamento degli appoggi murari
- Opere accessorie come applicazione di gattelli, di contraffissi ecc.
- Consolidamento delle volte a incannucciato mediante applicazione di lacerti di stuoie di canne
- Trattamenti biocidi delle membrature lignee
- Eventuale installazione di impianto elettrico, impianto di rilevazione fumi e impianto antincendio (da eseguire con somme a disposizione della stazione appaltante)
- Installazione di profili di acciaio per la posa di ponti portanti temporanei al fine di controllo e ispezione
- Prove di carico

Il costo stimato delle opere comprese nel progetto era di € 430.000,00

A seguito della formalizzazione dell'incarico lo scrivente ha provveduto ad aggiornare il progetto definitivo tenendo conto delle ulteriori determinazioni sulla carpenteria esistente e delle condizioni

ambientali effettive nonché dei prezzi alla data corrente. L'importo revisionato ascende a € 495.000,00 di cui € 284.475,46 per la carpenteria della copertura e € 187.224,78 per la struttura dei solai e € 23.299,76 per opere minori e imprevisti.

La maggiore spesa di € 65.000,00 era prevalentemente dovuta a una più completa valutazione delle opere provvisionali e a variazioni di costo di materiali e prestazioni.

Il progetto era corredato da disegni.

Il progetto fu ulteriormente perfezionato stralciando le opere relative al cantiere di studio dal progetto generale.

A seguito delle osservazioni formulate da Fabbrica Progetti tali importi hanno subito ulteriori lievi modifiche puntualmente riportate nel quadro economico generale (vedi fine della presente relazione).

Fu pertanto inviato il progetto per il finanziamento e la esecuzione delle opere provvisionali che potessero consentire l'accesso alle strutture danneggiate e l'acquisizione diretta dei dati reattivi alla carpenteria, in modo particolare quelli relativi al degrado dei materiali e ai dissesti delle membrature e delle strutture lignee. I dati raccolti sono indispensabili per redigere il progetto esecutivo.

## ***Individuazione dei dissesti***

A seguito di tali indicazioni progettuali di larga massima sono state eseguite ulteriori campagne fotografiche redigendo da parte dello Studio un elenco analitico delle situazioni critiche, da Dottor Moschi per conto dell'Impresa SIRE le analisi anatomiche e la classificazione dei legnami nonché dall'IVALSA, Dott. Bernabei, Dott. Jarno Bontadi, Dott.ssa Maria Diodato le determinazioni dendrocronologiche.

Nello Studio sono state effettuati vari calcoli di verifica in molteplici condizioni di carico. Il calcolo è stato effettuato innanzitutto con la analisi dei carichi, con la determinazione analitica delle sollecitazioni esterne (flessione e taglio principalmente), delle tensioni interne, delle deformazioni teoriche. Successivamente, sono state compiute verifiche di stabilità delle membrature nelle condizioni attuali applicando il metodo delle tensioni ammissibili e, nella condizione di elementi consolidati, con il metodo agli stati limite ultimi.

In base a tutte le determinazioni indicate si è riscontrato che non soltanto le tensioni interne cui le membrature sono sottoposte sono eccessive per la specie legnosa di appartenenza ma le stesse deformazioni (quelle rilevate effettive) indotte dalle sollecitazioni sono eccessive in assoluto e costituiscono una causa di instabilità di ciascuna membratura e del sistema strutturale nel suo complesso.

Le cause **primarie** dei dissesti sono le seguenti. In considerazione della eccellente qualità originaria delle membrature a suo tempo poste in opera, per tutte le membrature poste in opera, cioè falsi puntoni, arcarecci e travicelli luci eccessive delle membrature quali che fossero le dimensioni degli elementi lineari posti in opera, inoltre campate eccessive (distanza tra le stesse membrature); per i Solai dell'Economato insufficienza dimensionale.

## ***Criteri di intervento***

### **1. Sottotetto nell'ala Ovest.**

L'intervento di consolidamento deve tendere a migliorare in maniera consistente e comunque tale da garantire adeguati livelli di sicurezza agli operatori ed ai fruitori, assicurando altresì la conservazione della carpenteria lignea nella complessità della sua articolazione, rispettandone e mantenendone la autenticità. Le analisi dendrocronologiche infatti hanno indicato che le membrature del sottotetto sono coeve (XVII sec.; v. allegati 2 e 3) e sono state poste in opera quando secondo le fonti è stata realizzata l'ala ovest del Palazzo. Quindi esse costituiscono elementi assolutamente originari della costruzione e, tra l'altro, forniscono una conferma della validità delle fonti storiche consultate (*cross datation*).

Importanza non secondaria della carpenteria e, al tempo stesso, motivazione fondamentale per mantenerne l'autenticità deriva dalla possibilità di studiare le deformazioni lentamente occorse a membrature di sezioni esigue sottoposte a carichi pressochè costanti confrontandole quindi con le deformazioni teoriche derivanti dal calcolo.

Il confronto indica che le deformazioni effettive sono molto maggiori di quelle teoriche ma senza che, almeno nelle linee generali, le membrature subissero rotture; si è cioè in presenza di deformazioni di natura visco-elastica cioè in parte di natura elastica in parte formatesi lentamente nel tempo per la permanenza del consistente carico per circa 250 anni. Si tratta di un settore di studi, quello delle deformazioni prodottesi lentamente nel tempo, nel quale le supposizioni e le ipotesi sono molteplici ma sono carenti i dati reali e, per ovvie ragioni, sono assenti quelli che potrebbero derivare da studi di carattere sperimentale; quindi le membrature in esame hanno grandissimo interesse anche sotto questo profilo.

Si intende conservare testimonianza delle vicende subite dal sistema strutturale e in particolare evidenza dei dissesti, istituendo un rapporto linguistico biunivoco tra i dissesti e le opere di consolidamento da compiere, secondo la lezione di Raffaello Stern e di Giuseppe Valadier (ala est del Colosseo, 1807, arco di Tito, Roma, 1823); in altri termini deve essere possibile comprendere la natura dei dissesti occorsi quindi la motivazione dei consolidamenti e delle scelte tipologiche e tecniche operati, gli interventi attuati per il consolidamento devono permettere di risalire alla natura dei dissesti cui intendono porre rimedio.

Criteri essenziali conseguenti sono: preferire le riparazioni alle sostituzioni di parti, le aggiunte alle sottrazioni; disegnare dispositivi di consolidamento efficienti ma poco ingombranti (quindi realizzati con materiali ad elevata resistenza), regolabili, reversibili.

Ciò premesso, non è possibile seguire il criterio primario di tentare la eliminazione delle cause dei dissesti dal momento che l'inserimento di strutture intermedie supplementari con la finalità di ridurre le campate e le distanze tra le membrature, per esempio, comporterebbe nel caso specifico difficoltà nella realizzazione degli appoggi di tali nuove strutture e comporterebbe la completa alterazione della configurazione del complesso strutturale.

In particolare gli arcarecci, che sono nel caso in studio elementi fondamentali della struttura, si troverebbero in una condizione di carico totalmente variata rispetto a quella originaria. Per esempio, la realizzazione di un ulteriore appoggio nella sezione mediana, ove vi è una deformazione molto elevata di natura visco elastica, cioè di lento adattamento alle condizioni esistenti e di deformazione viscosa, comporterebbe una totale inversione di regime statico cioè un momento negativo al posto di quello positivo attuale quindi trazione nelle zone attualmente compresse in misura notevole e viceversa.

Il criterio pertanto da seguire è di mettere le membrature, con l'applicazione di opportuni dispositivi o con adeguate misure, in grado di sopportare le sollecitazioni presenti; in altre parole, conferire alle membrature le resistenze aggiuntive necessarie, sfruttando le resistenze residue. Tale filosofia di

approccio alla tematica di consolidamento permette di far mantenere al sistema e alle unità studiate la funzione portante, di salvaguardare inoltre non soltanto le configurazioni originarie delle membrature ma anche quella dell'intero sistema.

Si devono perseguire efficienza e sicurezza durante le fasi di studio, di esecuzione delle opere, di utilizzazione degli ambienti interessati.

Criteri generali che sono stati posti a base della progettazione sono stati:

- Ricercare compatibilità, per materiali e tipologie dei dispositivi di consolidamento applicati, con la antica carpenteria, e reversibilità degli stessi interventi, almeno in modo potenziale
- Eseguire interventi che inducano minime alterazioni del sistema strutturale e della consistenza materica delle membrature costituenti, arrecare minimo disturbo anche visivo
- Non eliminare i passati interventi di consolidamento a meno che non siano dannosi
- Documentare le varie trasformazioni avvenute nel complesso
- Seguire la filosofia e la prassi del miglioramento strutturale così come espresso dalle norme tecniche sulle costruzioni nelle varie edizioni.

Sono state effettuate alcune ipotesi di intervento sugli arcarecci e sui puntoni prima di pervenire alla scelta finale della soluzione più idonea. Tenendo in considerazione la possibilità pratica di realizzazione, livello di pericolosità delle operazioni, alterazione della autenticità delle strutture e del contesto, accessibilità per le lavorazioni e l'applicazione dei dispositivi, costi, vantaggi, svantaggi.

Per gli arcarecci era stato ipotizzato il ricorso all'applicazione di cinte esterne di cavi metallici ma la limitata efficacia di tali dispositivi in rapporto alle elevate deformazioni presenti, la sensibilità dei cavi alle variazioni termiche da ritenere elevate nel caso di specie e altre notazioni hanno indotto il progettista a ricercare soluzioni alternative.

Per quanto concerne i puntoni si è preso atto dell'intervento, attuato in passato, di realizzazione, al disotto di essi, di muretti di mattoni pieni con la finalità di limitarne le deformazioni e sostenerli. Si è valutato però che tali muretti hanno un peso proprio non trascurabile, soprattutto in considerazione del fatto che al piano inferiore all'ambiente del sottotetto, con asse parallelo, si sviluppa la volta interamente decorata dal pittore Luca Giordano che è quindi esposta al pericolo di essere gravata dal peso dei muretti stessi.

La proposta progettuale relativa agli arcarecci, discussa con i Colleghi Funzionari della Soprintendenza e con i Colleghi della Amministrazione provinciale, è consistita nella applicazione alle facce dei puntoni di dispositivi esterni (mensole) che si estendono a sostenere gli arcarecci stessi in sezioni più interne rispetto all'appoggio originario in modo da ridurre la luce.

Non vi è da temere che le membrature perdano il contatto con l'appoggio originario, cioè l'estradosso del puntone, perché la luce minore comporta una diminuzione della freccia elastica di inflessione.

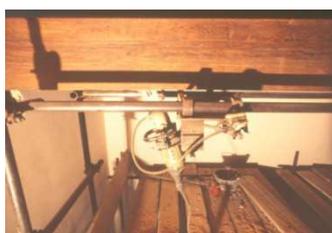
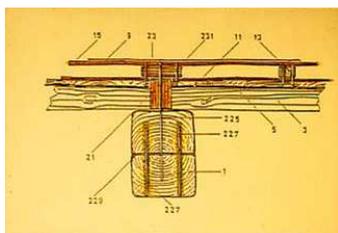
Tali dispositivi, appositamente studiati, sono di acciaio inossidabile, collegati ai puntoni a mò di collare quindi senza perni o bulloni che attraversino la membratura lignea, totalmente esterni, smontabili, reversibili. Essi consentono di ridurre la luce libera degli arcarecci da 6 m circa (situazione media) a 5 m circa con notevoli vantaggi di riduzione delle sollecitazioni (momento e taglio) e delle tensioni interne nelle membrature dal momento che le tensioni normali, le più importanti, variano con il quadrato della luce. Poiché si prevede che essi siano messi in leggera tensione di sostegno dopo la realizzazione, sono da

considerare provvedimenti attivi che non richiedono cioè ulteriori deformazioni delle membrature per entrare in azione.

Benchè "attivo", il provvedimento deve tuttavia essere riguardato come precauzionale per le situazioni in cui le attuali deformazioni subisser ulteriori indesiderati aumenti.

Essendo i travicelli sottoposti a flessione deviata determinata dalla inclinazione dei falsi puntoni, si è previsto di dotarli di gattelli che ne impediscano lo scorrimento lungo i falsi puntoni e di controventature in cavo d'acciaio che li collegano tra loro trasversalmente nelle sezioni mediane impedendone la torsione, in tal modo promuovendone anche un comportamento a sistema.

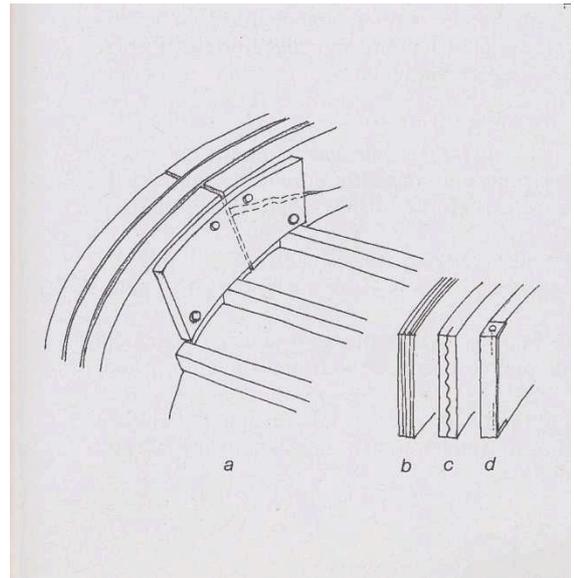
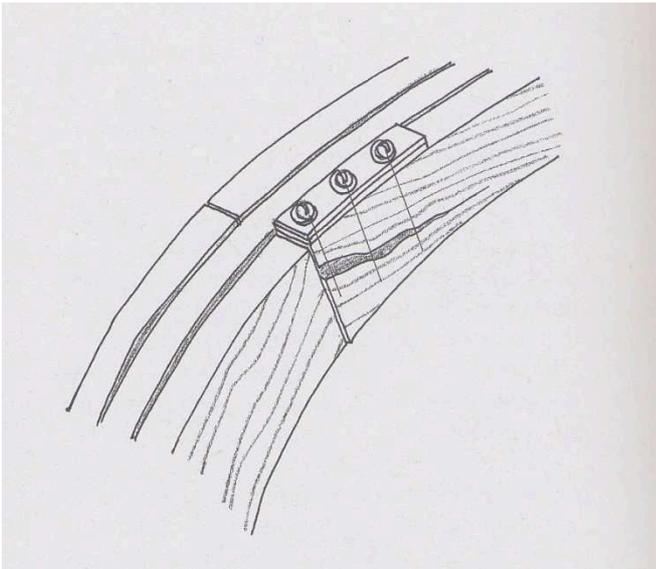
Per quanto concerne i falsi puntoni, la soluzione adottata consiste nell'inserire sottili basse lamine resistenti verticali dall'intradosso (per conferire maggiore resistenza alla trazione) e profilati, agli spigoli delle membrature all'estradosso (per contrastare la compressione). La soluzione adottata è lo sviluppo, già messo a punto da qualche anno dallo scrivente (2010 circa), della soluzione di cui al brevetto di invenzione 45817 del 1989 di cui lo scrivente stesso è titolare con il compianto Professore Ingegnere Luigi Campa. L'altezza delle lamine di acciaio e il numero di spinotti sono maggiori di quanto necessario per non eccedere le tensioni ammissibili nell'acciaio al fine di tenere moderate le tensioni accettabili nel legno e non provocare in questo rotture e strappi causati dalla solidarietà con l'acciaio.



Tecniche di consolidamento di membrature lignee mediante inserimento di lamine in acciaio (brevetto Tampone -Campa)

Spinotti d'acciaio trasversalmente disposti contribuiscono a collegare e rendere collaboranti le lamine di acciaio con la membratura lignea. Il materiale delle lamine, dei profilati e degli spinotti è AISI 304 e AISI 316. Si è previsto di smontare la parte superiore dei muretti per poter operare i tagli intradossali con la sega a catena montata su apposita slitta ed eventualmente di ricostruire in seguito la parte smontata.

Per un arcareccio di sezione alquanto ridotta e alcuni correnti o travicelli si è previsto di aumentarne la sezione carente mediante l'applicazione di guance costituite da strisce di pannelli di legno per usi strutturali.



Tecniche di intervento su centine lignee mediante l'apposizione di guance lignee (Tratto da: G. Tampone, // *restauro delle strutture di legno*, Hoepli 1996 )



Esempio di rinforzo di travicelli mediante guance di legno per usi strutturali (Tampone, 2012)

Per le travi dei solai dell'economato è stato previsto lo stesso tipo di consolidamento attuato per i falsi puntoni.

Per la corta trave trasversale posta in prossimità della finestra, affetta da carie fungina che ha prodotto un consistente vuoto nella faccia nord della trave, si è progettato di migliorare la resistenza inserendo due lamine di acciaio verticali alte quanto la trave salvo un lieve copriferro estradossale, dopo aver riempito il vuoto con elementi di strisce di pannelli di legno per usi strutturali appositamente sagomati e incollati alla trave e gli uni agli altri.

Il problema di instabilità delle centine, una in particolare, del soffitto ad incannucciato dell'ambiente d'angolo è risolto con l'apposizione di due tiranti che collegano la centina stessa alle altre . I tiranti sono in grado di opporsi allo sbandamento della centina per semplice effetto di impedimento alla distorsione.

Per riparare alcuni danni riscontrati alle centine delle volte sono stati previsti interventi di consolidamento delle centine stesse mediante l'applicazione di guance costituite da strisce di legno tratte da pannelli per usi strutturali e collegate con viti e bulloni.

Sono stati previsti lo smontaggio e la ricomposizione del manto di copertura . Inoltre è stata prevista la risarcitura del soffitto a incannucciato che presenta alcune lacerazioni. E' stata prevista la realizzazione di una passerella leggera omologata di alluminio per consentire le ispezioni.

Completano le previsioni un impianto antincendio ad aerosol, un impianto elettrico, alcune opere minori e in completamento delle analisi.

Per quanto riguarda le lesioni della muratura in corrispondenza dell'appoggio delle membrature lignee si prevede la realizzazione di diffusori di pressione costituiti da barre di acciaio collegate alla muratura mediante iniezioni di resina epossidica.

**Il progetto è costituito dai seguenti elaborati:**

- Indagine diagnostica sulle strutture lignee di copertura e del solaio (M.Moschi)
- Indagini dendrocronologiche (M.Bernabei, J.Bontadi, M.Diodato)
- Tavole di rilievo\_REV01
- Tavole di progetto\_REV01
- Analisi dei prezzi unitari\_REV02
- Elaborazioni di Calcolo\_REV01
- Capitolato\_REV02
- Computo metrico\_REV02
- Elenco prezzi\_REV02
- ETC\_REV00
- Piano di manutenzione\_REV01
- Piano di sicurezza e coordinamento\_REV02
- Fascicolo dell'opera\_REV02
- Quadro di incidenza manodopera\_REV01
- Relazione tecnica\_REV01
- Relazione fotografica\_REV01
- Schema di offerta del prezzo più basso\_REV02
- Schema di contratto\_REV00
- Relazione tecnica alle rilevazioni effettuate\_REV01

L'importo del progetto è pari a

€ 516.828,75

di cui

per opere da appaltare

€ 322.247,93 oltre iva

Il quadro economico generale è il seguente:

### A) Somme da impegnare per opere da appaltare

A1)	Opere di consolidamento*	
	A1.1) a misura	€ 169.275,82
	A 1.2) a corpo	€ 39.282,00
	<b>Totale</b>	<b>€ 208.557,82</b>
	<i>Importo lavori soggetti a ribasso</i>	<i>€ 208.557,82</i>
A2)	Oneri per la sicurezza non soggetti a ribasso*	
	A2.1) a misura	€ 99.190,11
	A2.2) a corpo	€ 14.500,00
	<b>Totale</b>	<b>€ 113.690,11</b>
	<b>Importo totale lavori a base di gara</b>	<b>€ 322.247,93</b>

### B) Somme a disposizione della stazione appaltante

B1)	Iva al 10% sui lavori	€ 32.224,79
B2)	Incentivo Progettazione 52% del 2 %	€ 3.351,38
B3)	Somme a disposizione per impianto antincendio	€ 65.000,00
B4)	Affidamento impianto elettrico di servizio	€ 10.595,69
B5)	Incarico per la verifica del progetto	€ 7.993,44
B6)	Spese tecniche	€ 19.415,52
B7)	Imprevisti	€ 55.000,00
B8)	Spese assicurazione personale	€ 1.000,00
	<b>Importo totale somme a disposizione</b>	<b>€ 194.580,82</b>

**Totale opere A+B**

**€ 516.828,75**

Il Professionista esterno

Prof. Gennaro Tampone

