

Comune di Valeggio sul Mincio  
Villa Zamboni Via G. Zamboni, 35 – 37067 Valeggio sul Mincio (VR)

**Villa Zamboni a Valeggio sul Mincio (VR):  
PROGETTO DI RESTAURO DELLE COPERTURE DI VILLA ZAMBONI**

**RELAZIONE DI CALCOLO**



Progettisti: ing. arch. Valentina Cinieri (lavori edili), ing. Gabriele Sacco (strutture)

DL: ing. arch. Pietro Castelnovi

CSE: ing. Antonella Sottini

consulenza progetto strutturale delle strutture: ing. Emanuele Zamperini

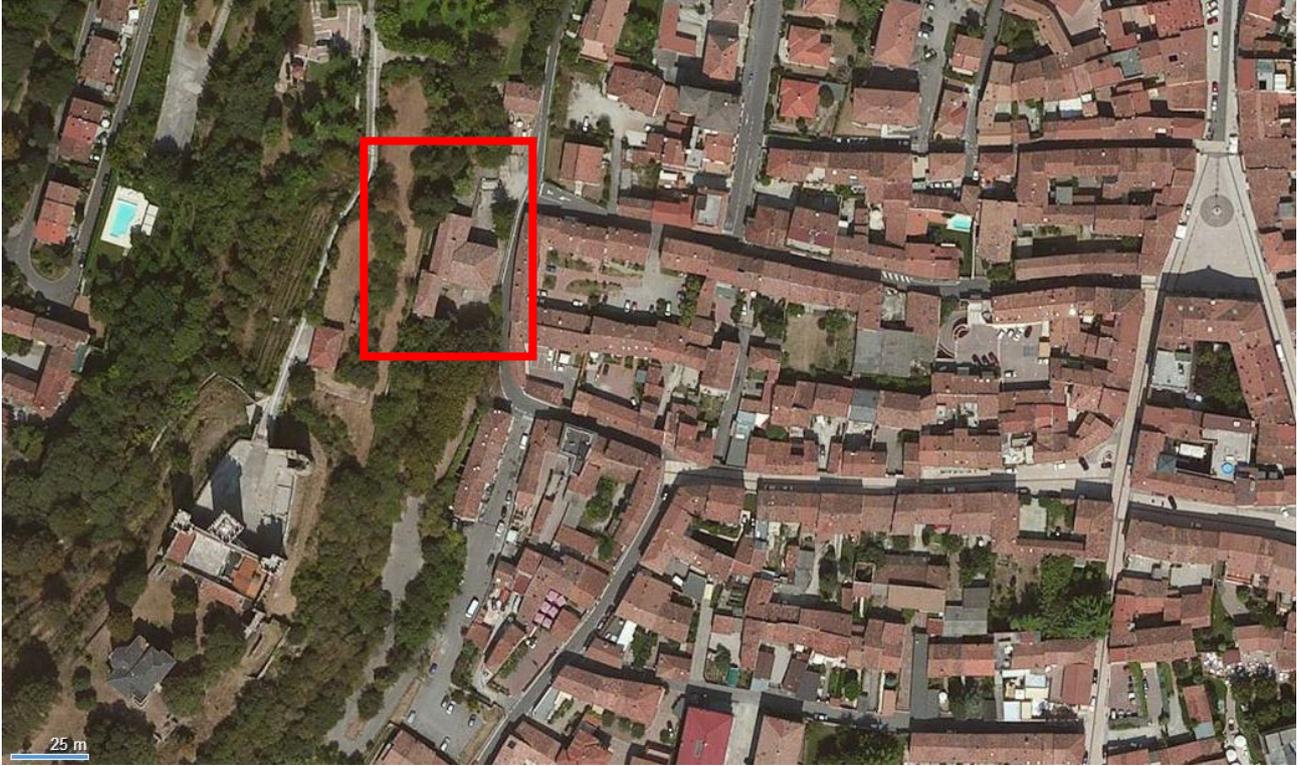


## SOMMARIO

<b>1. OGGETTO DEL PROGETTO .....</b>	<b>2</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO E QUALIFICAZIONE DELL'INTERVENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>3. DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO OGGETTO DI INTERVENTO.....</b>	<b>4</b>
3.1 DESCRIZIONE GENERALE.....	4
3.2 LA STRUTTURA DELLA COPERTURA .....	7
3.3 LA STRUTTURA DEI SOLAI DI SOTTOTETTO .....	8
<b>4. STATO DI CONSERVAZIONE .....</b>	<b>8</b>
<b>5. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO.....</b>	<b>9</b>
<b>6. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>11</b>
6.4 CLASSIFICAZIONE DEL MATERIALE LEGNOSO IN OPERA .....	11
6.4.1 <i>Legno di Abete classe C20</i> .....	11
6.5 CLASSIFICAZIONE DEI MATERIALI DEGLI ELEMENTI IN PROGETTO .....	12
6.5.1 <i>Legno massiccio di abete C24</i> .....	12
6.5.2 <i>Acciaio S275</i> .....	13
6.5.3 <i>Barre filettate in acciaio</i> .....	13
<b>7. ANALISI DEI CARICHI.....</b>	<b>13</b>
7.6 PESI PERMANENTI .....	13
7.7 AZIONE DELLA NEVE .....	13
<b>8. VERIFICHE SVOLTE.....</b>	<b>14</b>
8.1 VERIFICHE DEI FALSI PUNTONI B2 E C1 E DEL RELATIVO CONSOLIDAMENTO.....	14
8.2 VERIFICA ARcarecci A7, A17, A19, A24 E DEI RELATIVI SISTEMI DI CONSOLIDAMENTO .....	17
8.3 VERIFICA ELEMENTI DA SOSTITUIRE A14, A15, A10, B14, C3.....	20
<b>9. GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI DEL SOFTWARE DI CALCOLO .....</b>	<b>22</b>
9.1 VALUTAZIONE ATTRAVERSO MODELLI SEMPLIFICATI .....	22
9.2 UTILIZZO DEL SOFTWARE DI CALCOLO E VERIFICHE.....	22

## 1. OGGETTO DEL PROGETTO

Oggetto della presente relazione sono gli aspetti strutturali dell'intervento di restauro delle coperture della villa Zamboni di Valeggio sul Mincio (VR), edificio di origine settecentesca, edificato sul fianco orientale dell'altura su cui sorge il Castello di Valeggio (fig. 1).



**Fig. 1.** Vista aerea della villa nel contesto del centro di Valeggio sul Mincio (Bing Maps). In basso a sinistra è facilmente riconoscibile il castello di Valeggio.



**Fig. 2.** Ortofoto della copertura della villa (DB Consulting).

## 2. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO E QUALIFICAZIONE DELL'INTERVENTO**

Le principali normative di riferimento per gli interventi strutturali in oggetto risultano essere le seguenti:

### Decreti e Circolari Ministeriali

- Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”, D.M. 17 gennaio 2018.
- Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”» di cui al D.M. 17 gennaio 2018, Circolare 21 gennaio 2019, n. 7.

### Eurocodici

- Eurocode 1: Basis of design and actions on structures. Part 2-4: Wind actions, CEN, ENV 1991-2-4, 1994.
- Eurocode 1: Actions on structures - General actions. Part 1-4: Wind actions, CEN, EN 1991- 1-4, 2005.
- Eurocode 1: Actions on structures - General actions. Part 1-4: Wind actions, CEN, EN 1991- 1-4, 2005, Corrigendum, January 27, 2010.
- UNI EN 1995-1-1:2014 - Eurocodice 5: Progettazione delle strutture di legno - Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici
- UNI EN 1993-1-1:2014 - Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

### Norme UNI

- UNI 11035-2 Legno strutturale - Regole per la classificazione a vista secondo la resistenza e i valori caratteristici per i tipi di legname strutturale italiani
- UNI EN 338:2016 Legno strutturale - Classi di resistenza
- UNI EN ISO 898-1:2013 Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio
- UNI EN 10025-1:2004: Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 1: Condizioni tecniche generali di fornitura
- UNI EN 10025-2:2004: Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali - Parte 2: Condizioni tecniche di fornitura di acciai non legati per impieghi strutturali

### Istruzioni CNR

- DT 206 R1/2018 - Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno

L'intervento ai sensi del paragrafo 8.4 delle Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17/01/2018 è qualificato come intervento di riparazione o locali: “interventi che interessino singoli elementi strutturali e che, comunque, non riducano le condizioni di sicurezza preesistenti”

Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati, documentando le carenze strutturali riscontrate e dimostrando che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, non vengano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che gli interventi non comportino una riduzione dei livelli di sicurezza preesistenti.



Fig. 3. Prospetto est di Villa Zamboni (documentazione fornita dall'Associazione La Quarta Luna).

### 3. DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO OGGETTO DI INTERVENTO

#### 3.1 Descrizione generale

La villa ha sviluppo planimetrico a T e all'ultimo livello occupa circa 435 m<sup>2</sup>; la superficie in pianta del tetto è invece pari a circa 470 m<sup>2</sup>. Se si esclude una parte della villa costituita da un solo piano fuori terra, che è coperta da un terrazzo praticabile, il tetto della villa è a falde, con struttura a ordito ligneo. La copertura a falde può essere suddivisa in due parti: una più bassa, immediatamente visibile dall'ultimo piano accessibile della villa, l'altra più alta, posta al di sopra di un solaio morto, originariamente accessibile da una botola.

L'attuale precario stato di conservazione della struttura e in particolare del manto della copertura rendono necessario un intervento di recupero tecnico e di restauro.

L'edificio oggetto di intervento, di proprietà comunale, è censito al catasto fabbricati del Comune di Valeggio sul Mincio al Foglio 27 Mappali 579, 599 e 600.



Fig. 4. Estratto di mappa Catastale con indicazione dei mappali interessati.

Del podere su cui è edificata Villa Gandini Zamboni si hanno notizie già dall'inizio del XVI secolo 1500 circa; esso si trova a ridosso di antiche mura risalenti al XIII-XIV secolo, facenti parte del complesso fortificato del Castello Scaligero di Valeggio sul Mincio.

La villa costituisce un tipico esempio di residenza di villeggiatura del XVIII secolo. Nella sua configurazione ottocentesca essa era parte di un complesso architettonico formato assieme alle dipendenze (villino svizzero, corte bassa, scuderia e vigneto).

Sul fianco del pendio dell'altura su cui si trova il castello, mediante un muro di contenimento è realizzato un giardino pensile che porta alla loggia – coperta da un soffitto a volta affrescato, recentemente restaurato – da cui si può godere il panorama del paese Valeggio e delle colline moreniche e che dà accesso all'ultimo piano abitabile della villa.

La planimetria attuale della Villa Zamboni risulta molto simile a quella presente nelle antiche mappe catastali (napoleoniche e austriache) conservate nell'Archivio di Stato, tuttavia in due periodi successivi la villa ha subito interventi di ammodernamento: i primi attorno al 1870 e i secondi dopo il primo conflitto mondiale.

Giuseppe Zamboni, ultimo membro della famiglia proprietaria, figlio unico senza eredi, nel 1929 fece testamento presso il notaio Demetrio Marai indicando che la villa diventasse di proprietà del Comune di Valeggio con precisa indicazione della destinazione della villa ad asilo infantile.

Zamboni inoltre chiese che la villa fosse dedicata alla madre Giuseppina Gandini. Divenuta pubblica dopo la morte della vedova, la villa fu ristrutturata tra il 1973 e il 1974 su iniziativa del Comune di Valeggio e divenne scuola materna statale, destinazione che mantenne fino al 2003.

Dopo il trasferimento della scuola in una nuova e più moderna struttura, la villa non è stata più utilizzata e ha subito pochi interventi di manutenzione, dando origine a un progressivo degrado.

Gli interventi di ristrutturazione della villa realizzati negli anni Settanta hanno comportato la demolizione di molti dei muri portanti interni e la loro sostituzione con pilastri di calcestruzzo armato, alcuni dei solai lignei sono stati sostituiti da solai laterocementizi, mentre altri sono stati mantenuti e sono ora sostenuti da putrelle che gravano sui pilastri di calcestruzzo armato o direttamente sui muri (fig. 4).

La copertura è invece in massima parte stata conservata, tuttavia l'eliminazione di uno dei muri principali ha comportato la sua sostituzione con una coppia di falsi puntoni realizzati con putrelle metalliche, anch'esse sostenute dai nuovi pilastri di calcestruzzo armato (fig. 4).

Molte delle travi della copertura conservano interessanti tracce delle tecniche di lavorazione e trasporto del legname (fig. 5), e sono particolarmente meritevoli di essere conservate e valorizzate.



**Fig. 6.** Foto del cantiere di ristrutturazione della villa realizzato negli anni Settanta (archivio privato arch. Nasi, documentazione fornita dall'Associazione La Quarta Luna).



**Fig. 7.** Dettagli della struttura lignea di copertura: a sinistra marcatura mercantile della trave eseguita per certificare la proprietà del legname, a destra elemento conservante tracce del suo trasporto come parte di una zattera durante la fluitazione (foto E. Zamperini).

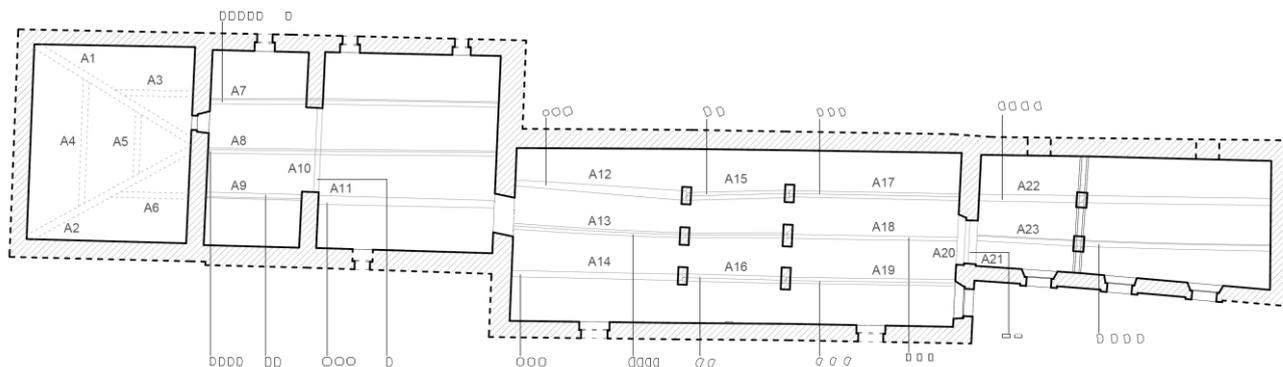
### 3.2 La struttura della copertura

La copertura posta a livello superiore è costituita da tre parti, la prima – a sud – è a capanna con falde simmetriche e testa di padiglione, la seconda – mediana – è a capanna con falde simmetriche, la terza – a nord – è a capanna con falde asimmetriche, la est di minore larghezza.

La struttura della prima parte presenta nella testa di padiglione due cantonali e nella falda di testa due arcarecci, nella rimanente parte del tetto, sviluppata su due campate, è presente una trave di colmo e un arcareccio per falda, la trave di colmo e l'arcareccio ovest sono continui. A sostegno della trave di colmo nel passaggio tra le due campate si trova un architrave con soprastante puntello, entrambi lignei.

La struttura della parte mediana si sviluppa su tre campate separate da pilastri in muratura e presenta trave di colmo ed un arcareccio per falda, solo la trave di colmo si sviluppa con continuità sulle campate meridionale e centrale.

La struttura della parte settentrionale si sviluppa su due campate separate da pilastri in muratura sostenuti da travi metalliche realizzate con sezione tale da far ritenere che siano binari ferroviari reimpiegati. Tanto la trave di colmo quanto l'unico arcareccio (falda ovest) sono continui sulle due campate.



**Fig. 8. Schema planimetrico dell'orditura lignea del tetto superiore.**

La copertura posta a livello inferiore è formata da due parti principali, la prima corrispondente al braccio orientale del fabbricato, la seconda corrispondente a metà del braccio settentrionale.

La copertura della prima parte è a capanna con falde simmetriche e testa di padiglione e presenta nell'angolo nord-ovest un compluvio e una piccola falda in continuità con la copertura della seconda parte. La struttura è organizzata indicativamente su tre campate; tra la prima – più a ovest – e la seconda si trovano due pilastri che sostengono una coppia di falsi puntoni ciascuno costituito da due profilati IPN alti 200 mm; la seconda e la terza sono parzialmente separate da un muro.

Gli elementi principali dell'orditura sono due falsi puntoni che definiscono gli spigoli della testa di padiglione e poggiano sulla muratura inferiormente in corrispondenza degli angoli del fabbricato e in un punto intermedio sul muro che separa la seconda e la terza campata, presentano inoltre un sostegno su un traverso ligneo nei pressi dell'appoggio inferiore; l'estremità superiore è a sbalzo. Sono poi presenti un falso puntone mediano nella falda di testa e un cantonale di compluvio nell'angolo nord-ovest. Il resto della grossa orditura è formato da una trave di colmo e da arcarecci, tre per falda nelle falde nord e sud e due nella falda di testa; nella piccola falda in continuità con la seconda parte del tetto è presente un solo arcareccio. L'unico arcareccio continuo su più campate è quello identificato con il codice B14. Sui cantonali e sul puntone della falda di testa gli arcarecci si innestano alla traditora.

La copertura della seconda parte è suddivisa in due campate da un falso puntone, sostenuto superiormente da una mensola di pietra; ciascuna campata presenta due arcarecci.

Al di sopra degli arcarecci si trovano i travetti ed un tavolato rado che sostiene il manto. Nella prima parte del tetto inferiore i travetti sono costituiti da semplici tronchetti di legno di abete di piccolissimo diametro non scortecciati.

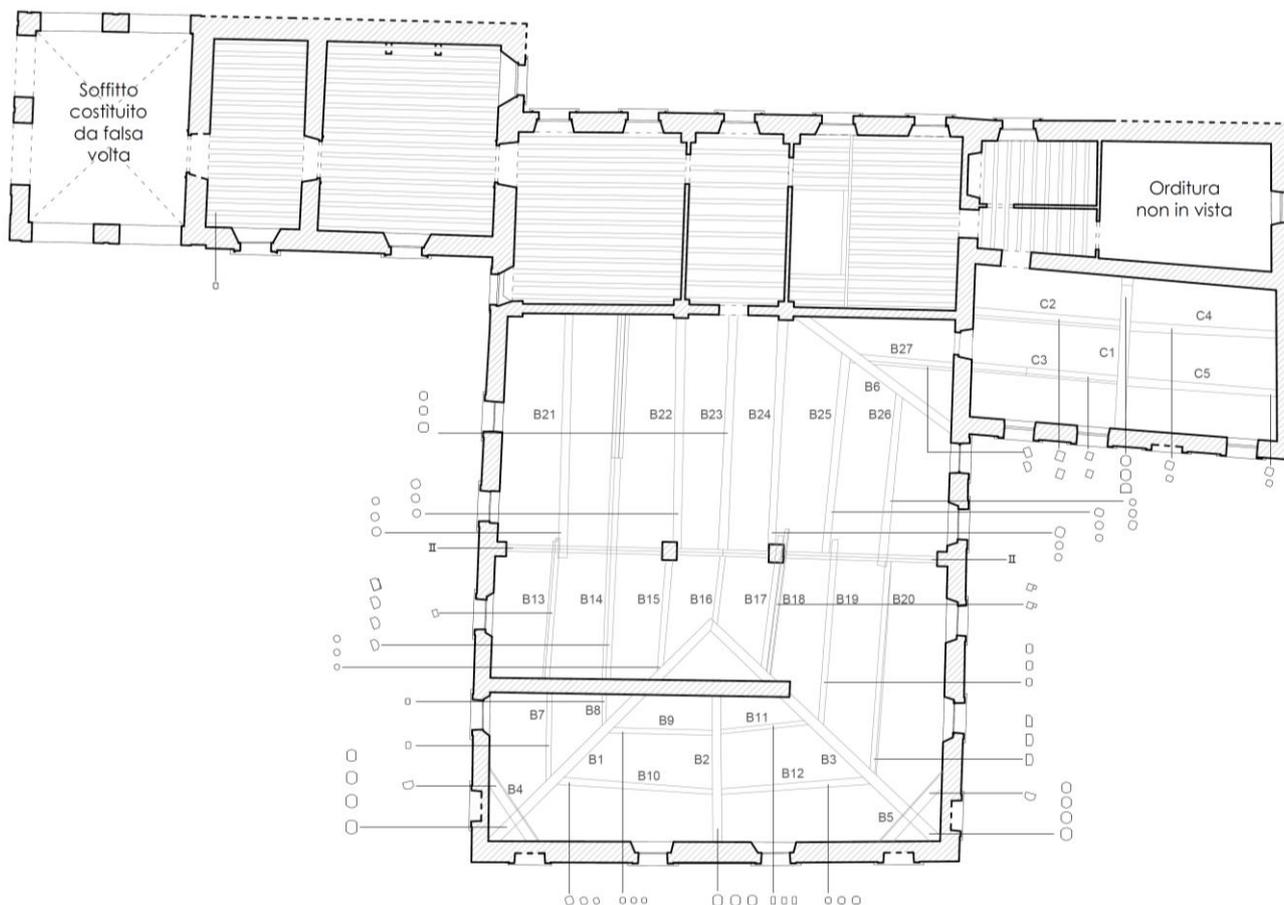


Fig. 9. Schema planimetrico dell'orditura lignea del tetto inferiore.

### 3.3 La struttura dei solai di sottotetto

I locali che presentano solai di sottotetto corrispondono all'incirca a quelli della copertura superiore, solo la loggia presenta al posto del solaio una falsa volta. I solai sono tutti alla Sansovino, con singola orditura di travetti che sostiene tavole ad essi parallele; al di sopra è presente un sottile strato di massetto e una pavimentazione rustica in tavelle.

Similmente alla copertura superiore si possono indentificare tre parti distinte. Nella prima – più a sud – sono presenti due locali con orditura nord-sud sostenuta da muri. Nella seconda – mediana – sono presenti tre locali ed i travetti, anche in questo caso con orditura nord-sud, sono sostenuti dai muri e da due coppie di putrelle poste al di sopra dei muri non portanti intermedi, sostituiti negli anni '60 ai preesistenti muri portanti. Nella terza parte – settentrionale – i travetti sono disposti con orditura est-ovest e sono sostenuti dalle murature perimetrali; le partizioni presenti sono non portanti. La parte più settentrionale dell'orditura è nascosta alla vista da un controsoffitto.

## 4. STATO DI CONSERVAZIONE

A causa delle infiltrazioni di acqua dal manto di copertura, alcuni elementi della struttura del tetto – realizzata quasi interamente in legno d'abete – hanno subito attacchi fungini che ne hanno degradate le caratteristiche meccaniche. Nel 2015 questo stato di cose ha portato l'amministrazione

comunale a mettere in atto un vasto e generalizzato intervento di puntellazione della struttura, che ha riguardato anche le parti di struttura all'epoca non soggette ad alcuna infiltrazione. Alla messa in opera di tali opere provvisoriale non è però seguito alcun intervento di ripristino del manto di copertura, attraverso le falle del quale l'acqua ha potuto continuare a infiltrarsi, facendo procedere il degrado. Il sistema di puntellazione messo in opera nel 2015 – non adeguatamente vincolato alle strutture che avrebbe dovuto sostenere – è ora in parte fuori servizio.

Pur essendo, negli ultimi cinque anni, progredito il degrado degli elementi già ammalorati e iniziato il degrado di altri elementi, per la maggior parte degli elementi della struttura lo stato di conservazione è buono. Solo alcune delle travi della copertura risultano gravemente deteriorate.

## 5. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO

Il progetto prevede la realizzazione di un ponteggio perimetrale esteso a tutte le parti di fabbricato sulla copertura delle quali si dovrà intervenire, tuttavia – al fine di conseguire un significativo risparmio economico – non sarà prevista la realizzazione dei piani di lavoro su tutta la superficie del ponteggio, ma solo in alcune “colonne” (indicativamente una per ogni lato del fabbricato) destinate a consentire l'ascesa dei lavoratori e sui due ultimi livelli, quello che consente di operare sulla gronda e un sottoponte di sicurezza.

Prima di iniziare ad operare sul manto di copertura sarà necessario verificare ed eventualmente rimettere in funzionamento le puntellature esistenti, laddove necessario, o a rimuoverle, laddove lo stato di conservazione delle travi non le richieda e la loro presenza possa rendere disagiata lo svolgimento dei lavori. Sarà invece necessario realizzare un impalcato provvisorio di sicurezza al di sopra del solaio morto di sottotetto nelle aree in cui esso presenti rischi di sfondamento.

Successivamente l'intervento prevedrà: la rimozione generalizzata del manto di copertura esistente – in stato di conservazione estremamente deficitario – la cernita dei coppi in buono stato di conservazione e la loro pulizia e conservazione in apposite aree del cantiere; la rimozione della listellatura o del tavolato esistenti. Queste operazioni saranno eseguite non in maniera generalizzata, ma per porzioni limitate, consentendo quindi di proteggere dalla pioggia in maniera economica le sottostanti strutture durante le pause delle attività lavorative.

Al termine delle operazioni di rimozione di manto e strato di supporto, si procederà:

- Nella sala principale (corrispondente all'intero corpo di fabbrica est) alla rimozione di tutti i travetti costituiti di semplici pali di piccole dimensioni, ancora dotati di corteccia.
- Nelle aree in cui è previsto il ripristino del solaio morto di sottotetto si provvederà alla realizzazione di tali operazioni e poi si passerà all'orditura del tetto.
- In ciascuna delle zone – laddove previsto o necessario – si passerà alla sostituzione di singoli travetti, allo smontaggio dei travetti di alcune porzioni di tetto al fine di consentire la sostituzione delle travi degradate, al consolidamento delle travi ammalorate destinate a essere conservate.

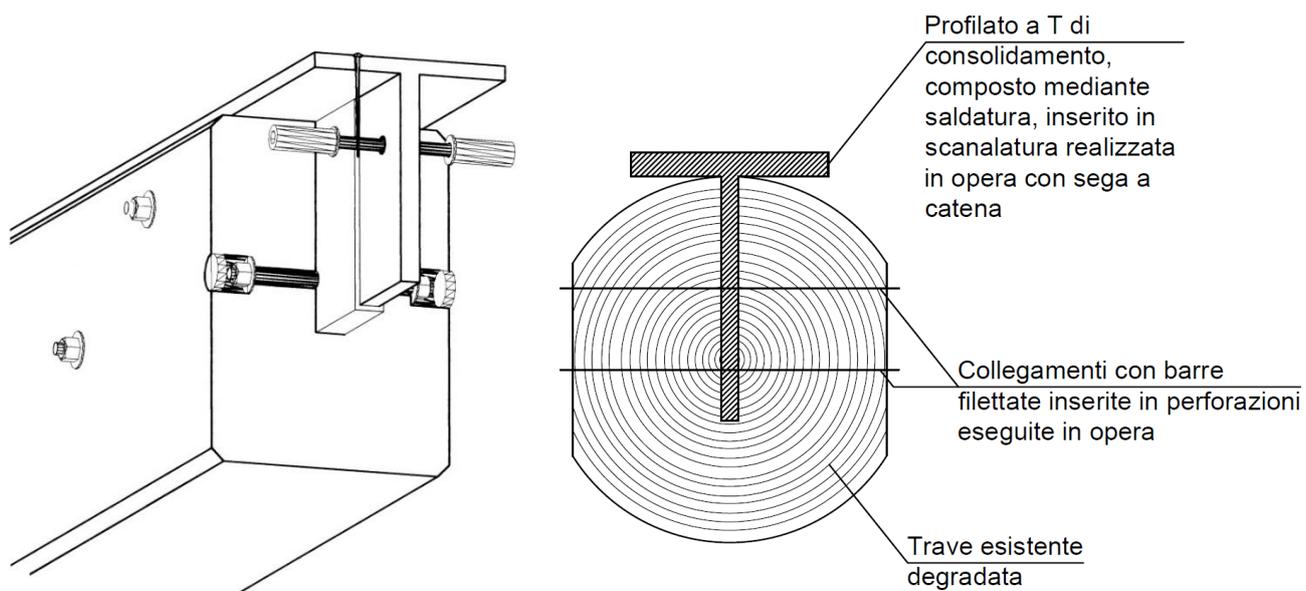
Al termine di queste operazioni si posizioneranno i travetti mancanti o riposizioneranno quelli temporaneamente rimossi e poi si metteranno in opera listellatura e coppi.

Le travi da sostituire sono solo cinque: due nel tetto direttamente visibile all'ultimo piano accessibile, uno degli arcarecci della sala maggiore e uno degli arcarecci della sala minore (entrambi già consolidati negli interventi del 1973-4, ma ulteriormente degradati negli ultimi anni e ora non più conservabili); tre nel tetto posto al di sopra del solaio morto, due arcarecci e l'architrave di uno dei vani per il passaggio da una stanza all'altra.

Alcune altre travi dovranno invece essere consolidate, in particolare il falso puntone mediano della testa di padiglione del corpo di fabbrica est, il falso puntone presente nella sala minore dell'ultimo piano accessibile direttamente; questi elementi, nonostante siano piuttosto degradati

saranno consolidati perché la loro sostituzione richiederebbe lo smontaggio di ampie parti della orditura e una radicale riconfigurazione della stessa.

Per queste travi è prevista la realizzazione del consolidamento mediante l’inserimento di profilati a T, appositamente dimensionati e assemblati mediante saldatura, in scanalature realizzate nel legno della trave esistente e ad esso vincolato mediante specifiche resine e barre filettate inserite in fori realizzati in opera nel legno e nell’anima del profilato a T.



**Fig. 10 – Esempio schematico di consolidamento di una trave lignea ammalorata mediante l’inserimento di un elemento metallico a T in una scanalatura appositamente realizzata (da M. Mariani, Il consolidamento delle strutture lignee con l’acciaio, DEI, Roma, 2004) e dettaglio del sistema di consolidamento della sezione della trave B2.**

## 6. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 6.4 Classificazione del materiale legnoso in opera

Per il legno cresciuto in Italia valgono le regole di classificazione ed i profili prestazionali contenuti nella UNI 11035-2 “Legno strutturale - Regole per la classificazione a vista secondo la resistenza e i valori caratteristici per i tipi di legname strutturale italiani” e proposti nella Tabella 18-3.

**Tabella 18-3**-Classi di resistenza secondo EN 11035, per specie legnose di provenienza italiana

Proprietà		Abete / Nord			Abete / Centro Sud			Larice / Nord			Douglasia / Italia		Altre Conifere / Italia		
		S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2/S3	S1	S2	S3
Flessione (5-percentile), MPa	$f_{m,k}$	29	23	17	32	28	21	42	32	26	40	23	33	26	22
Trazione parallela alla fibratura (5-percentile), MPa	$f_{t,0,k}$	17	14	10	19	17	13	25	19	16	24	14	20	16	13
Trazione perpendicolare alla fibratura (5-percentile), MPa	$f_{t,90,k}$	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
Compressione parallela alla fibratura (5-percentile), MPa	$f_{c,0,k}$	23	20	18	24	22	20	27	24	22	26	20	24	22	20
Compressione perpendicolare alla fibratura (5-percentile), MPa	$f_{c,90,k}$	2.9	2.9	2.9	2.1	2.1	2.1	4.0	4.0	4.0	2.6	2.6	4.0	4.0	4.0
Taglio (5-percentile), MPa	$f_{v,k}$	3.0	2.5	1.9	3.2	2.9	2.3	4.0	3.2	2.7	4.0	3.4	3.3	2.7	2.4
Modulo di elasticità parallelo alla fibratura (medio), MPa ( $\times 10^3$ )	$E_{0,mean}$	12	10.5	9.5	11	10	9.5	13	12	11.5	14	12.5	12.3	11.4	10.5
Modulo di elasticità parallelo alla fibratura (5-percentile), MPa ( $\times 10^3$ )	$E_{0,05}$	8	7	6.4	7.4	6.7	6.4	8.7	8	7.7	9.4	8.4	8.2	7.6	7
Modulo di elasticità perpendicolare alla fibratura -(medio), MPa ( $\times 10^2$ )	$E_{90,mean}$	4	3.5	3.2	3.7	3.3	3.2	4.3	4	3.8	4.7	4.2	4.1	3.8	3.5
Modulo di taglio (medio), MPa ( $\times 10^2$ )	$G_{mean}$	7.5	6.6	5.9	6.9	6.3	5.9	8.1	7.5	7.2	8.8	7.8	7.7	7.1	6.6
Massa volumica (5-percentile), kg/m <sup>3</sup>	$\rho_k$	380	380	380	280	280	280	550	550	550	400	420	530	530	530
Massa volumica (media), kg/m <sup>3</sup>	$\rho_{mean}$	415	415	415	305	305	305	600	600	600	435	455	575	575	575

Si è scelto quindi, a favore di sicurezza, di riferirsi alle caratteristiche tecniche del legno C20 delle EN338.

#### 6.4.1 Legno di Abete classe C20

Caratteristiche tecniche e coefficienti riduttivi resistenza/rigidità		resistenza caratteristica a flessione nella direzione principale	per carichi:		
			breve durata	permanenti	istantanei
$f_{m,k}$	20 N/mm <sup>2</sup>		12,00	8,00	13,33 N/mm <sup>2</sup>
$f_{t,0,k}$	12 N/mm <sup>2</sup>		7,20	4,80	8,00 N/mm <sup>2</sup>
$f_{t,90,k}$	0,4 N/mm <sup>2</sup>		0,24	0,16	0,27 N/mm <sup>2</sup>
$f_{c,0,k}$	19 N/mm <sup>2</sup>		11,40	7,60	12,67 N/mm <sup>2</sup>
$f_{c,90,k}$	2,3 N/mm <sup>2</sup>		1,38	0,92	1,53 N/mm <sup>2</sup>
$f_{v,k}$	3,6 N/mm <sup>2</sup>	resistenza caratteristica a taglio	2,16	1,44	2,40 N/mm <sup>2</sup>
$E_{m,0,mean}$	9500 N/mm <sup>2</sup>	modulo elastico medio nella direzione principale			
$E_m$ , tempo infinito	5278 N/mm <sup>2</sup>	modulo elastico medio a tempo infinito			

$E_{m,0,0,5}$	6400	N/mm <sup>2</sup>	modulo elastico caratteristico nella direzione principale
$E_{m,0,0,5}$ tempo infinito	3556	N/mm <sup>2</sup>	modulo elastico caratteristico a tempo infinito
$E_{m,90,mean}$	320	N/mm <sup>2</sup>	modulo elastico medio nella direzione perp.
$G_{V,mean}$	500	N/mm <sup>2</sup>	modulo di taglio medio
$\rho_{g,k 05}$	330	kg/m <sup>3</sup>	
$\rho_{g,m}$	390	kg/m <sup>3</sup>	
$\rho_{g,k 95}$	450	kg/m <sup>3</sup>	
$\gamma_M$	1,5	Tab. 4.4.III NTC18	
$k_{mod}$	0,9	per classe di servizio 2, carichi di breve durata	
$k_{mod}$	0,6	per classe di servizio 2, carichi permanenti	
$k_{def}$	0,8	per classe di servizio 2, Tabella 4.4.V NTC18	

## 6.5 Classificazione dei materiali degli elementi in progetto

### 6.5.1 Legno massiccio di abete C24

Caratteristiche tecniche e coefficienti riduttivi resistenza/rigidezza			per carichi:				
			breve durata	permanenti	istantanei		
$f_{m,k}$	24	N/mm <sup>2</sup>	resistenza caratteristica a flessione nella direzione principale	14,40	9,60	16,00	N/mm <sup>2</sup>
$f_{t,0,k}$	14,5	N/mm <sup>2</sup>		8,70	5,80	9,67	N/mm <sup>2</sup>
$f_{t,90,k}$	0,4	N/mm <sup>2</sup>		0,24	0,16	0,27	N/mm <sup>2</sup>
$f_{c,0,k}$	21	N/mm <sup>2</sup>		12,60	8,40	14,00	N/mm <sup>2</sup>
$f_{c,90,k}$	2,5	N/mm <sup>2</sup>	1,50	1,00	1,67	N/mm <sup>2</sup>	
$f_{v,k}$	4	N/mm <sup>2</sup>	resistenza caratteristica a taglio	2,40	1,60	2,67	N/mm <sup>2</sup>
$E_{m,0, mean}$	10000	N/mm <sup>2</sup>	modulo elastico medio nella direzione principale				
$E_{m, tempo infinito}$	5556	N/mm <sup>2</sup>	modulo elastico medio a tempo infinito				
$E_{m,0,0,5}$	6700	N/mm <sup>2</sup>	modulo elastico caratteristico nella direzione principale				
$E_{m,0,0,5}$ tempo infinito	3722	N/mm <sup>2</sup>	modulo elastico caratteristico a tempo infinito				
$E_{m,90,mean}$	330	N/mm <sup>2</sup>	modulo elastico medio nella direzione perp.				
$G_{V,mean}$	630	N/mm <sup>2</sup>	modulo di taglio medio				
$\rho_{g,k 05}$	340	kg/m <sup>3</sup>					
$\rho_{g,m}$	410	kg/m <sup>3</sup>					
$\rho_{g,k 95}$	480	kg/m <sup>3</sup>					
$\gamma_M$	1,5	Tab. 4.4.III NTC18					
$k_{mod}$	0,9	per classe di servizio 2, carichi di breve durata					
$k_{mod}$	0,6	per classe di servizio 2, carichi permanenti					
$k_{def}$	0,8	per classe di servizio 2, Tabella 4.4.V NTC18					

### 6.5.2 Acciaio S275

$f_{yk} =$	275 N/mm <sup>2</sup>
$f_{tk} =$	430 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_{M0}$	1,05
$f_d =$	261,9 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_{M2}$	1,25
$\gamma_{M3 SLU}$	1,25
$\gamma_{M3 SLE}$	1,1
$\gamma_{M7}$	1,1

### 6.5.3 Barre filettate in acciaio

Classe	8.8 o superiore
$f_{u,k}$	800 N/mm <sup>2</sup>
$f_{y,k}$	640 N/mm <sup>2</sup>

## 7. ANALISI DEI CARICHI

L'analisi dei carichi è stata svolta in accordo alle indicazioni delle NTC e relativa circolare esplicativa.

### 7.6 Pesi permanenti

PESI PERMANENTI	Peso volumico (kN/m <sup>3</sup> )	Interasse (m)	Spessore (m) /sezione (m <sup>2</sup> )	Carico per unità di superficie (kN/m <sup>2</sup> )
Tavolato di legno	4,5		0,02	0,09
Travetti	4,5	0,6	0,014	0,105
Coppi in doppio strato*				0,75
<b>TOTALE G</b>				<b>0,945</b>

### 7.7 Azione della Neve

Considerando che la località in cui è sito l'edificio si trova nella Zona II di cui al par. 3.4.2 delle NTC, con un'altitudine sul livello del mare pari a 100 m ca. in base alla CTR 1:10.000, il valore caratteristico del carico della neve al suolo per un tempo di ritorno pari a 50 anni risulta pari a 1 kN/m<sup>2</sup>

Considerando che nell'edificio non è in essere un sistema di riscaldamento continuo che possa favorire un rapido scioglimento della neve, il coefficiente termico ( $C_t$ ) è considerato pari a 1.

Considerando che, a favore di sicurezza, nell'area non sia presente una significativa rimozione di neve prodotta dal vento si è assunto un coefficiente di esposizione ( $C_E$ ) pari a 1.

Il coefficiente di forma ( $\mu$ ), per una falda di inclinazione pari a 19°, risulta pari a 0,8.

Alla luce di quanto esposto il carico caratteristico della neve sulla falda della copertura ( $q_s = q_{sk} C_t C_E \mu$ ) risulta pari a 0,8 kN/m<sup>2</sup>. A favore di sicurezza e tenendo conto che il comune si trova al confine con la provincia di Brescia nella quale, a parità di condizioni risulterebbe un carico di 1,2 kN/m<sup>2</sup>, si è scelto di considerare come carico di progetto 1 kN/m<sup>2</sup>.

## 8. VERIFICHE SVOLTE

Sono state svolte verifiche a presso-flessione e taglio delle membrature esistenti sulle quali – alla luce delle analisi sullo stato di conservazione – era emersa la necessità di intervenire e delle membrature di progetto.

Per alcune delle verifiche si è fatto uso del software Ftool Interactive-Graphics Program for Structural Analysis, Versione 4.00.04, Gennaio 2018, Sviluppato dalla Pontificia Università Cattolica di Rio de Janeiro, Prof. Luiz Fernando Martha.

Si riportano di seguito le tabelle contenenti i dati numerici delle verifiche eseguite.

### 8.1 Verifiche dei falsi puntoni B2 e C1 e del relativo consolidamento

Sono state condotte analisi a presso-flessione e taglio delle sezioni esistenti dei falsi puntoni B2 e C1, molto degradati, e la verifica della la sezione del profilo di consolidamento da porre in opera all'estradosso di questi.

I carichi gravanti sugli elementi risultano:

TRAVE B2						
	AREA DI INFLUENZA	SEZ 1	L1	SEZ 2	L2	CARICO (kN)
P1	4,29	0,0207	1,535	0,0234	1,32	12,38
P2	6,7	0,0327	2,17	0,0334	2,15	19,59

TRAVE C1						
	AREA DI INFLUENZA	SEZ 1	L1	SEZ 2	L2	CARICO (kN)
P1	6,35	0,0550	2,08	0,0467	2,07	19,01
P2	6,37	0,0360	2,07	0,0437	2,12	18,81

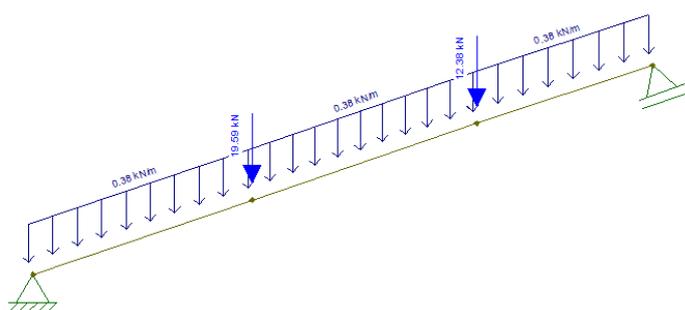
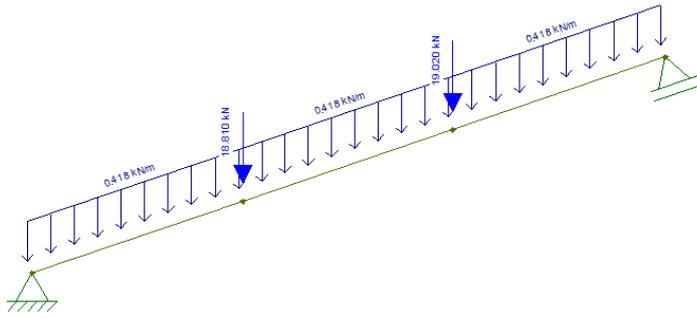
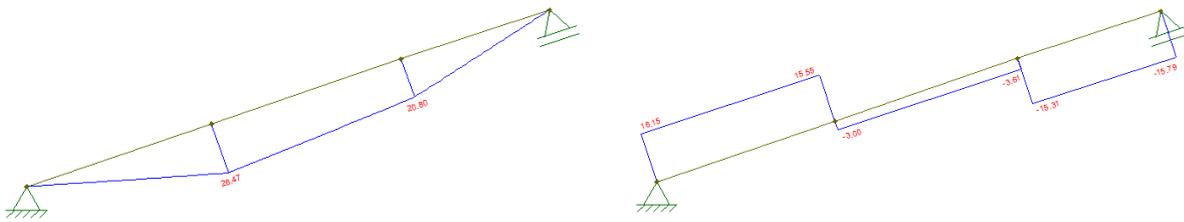


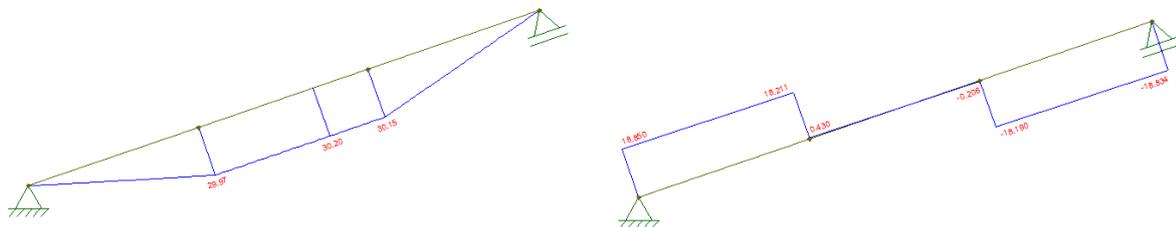
Fig. 11 – Carichi sulla trave B2



**Fig. 12 – Carichi sulla trave C1**



**Fig. 13 – Risultati delle analisi della trave B2 (momento – taglio)**



**Fig. 14 – Risultati delle analisi della trave C1 (momento – taglio)**

TRAVE B2	A	W	N	T	M	coeff. T.	tau	Verifica	sigma	Verifica	NOTE
sezione alta	57493,09	2208489	0,0	15,79	0,00	2,53E-05	0,40	18%	0,00	0%	se la trave non fosse degradata sarebbe sufficiente a sostenere i carichi
sezione media	65058,89	2598054	4,40	3,61	26,47	2,22E-05	0,08	4%	10,26	85%	
sezione bassa	67989,85	2841562	10,96	16,15	0,00	2,14E-05	0,34	16%	0,16	1%	
TRAVE C1	A	W	N	T	M	coeff. T.	tau	Verifica	sigma	Verifica	NOTE
sezione alta	84783,08	3801970	0,0	18,83	0,00	2,23E-05	0,42	19%	0,00	0%	se la trave non fosse degradata sarebbe sufficiente a sostenere i carichi
sezione media	71359,53	2893422	6,63	0,43	30,20	2,00E-05	0,01	0%	10,53	88%	
sezione bassa	63455,13	2379424	12,98	18,85	0,00	1,69E-05	0,32	15%	0,20	2%	

Entrambi i puntoni risulterebbero verificati se fossero in buono stato di conservazione, tuttavia, vista l'attuale condizione di degrado è necessario intervenire con l'inserimento di due profili saldati a T in acciaio S275 all'estradosso delle sezioni esistenti.

### VERIFICA TRAVE A T DI CONSOLIDAMENTO PUNTONE B2

nell'ipotesi che questa sostenga tutto il carico gravante senza collaborazione della trave degradata

peso proprio trave  $0,471 \times 1,3 = 0,6123$

	mm	
H	200	netta
B	160	
tw	14	
tf	20	
A1	3200	
A2	2800	
Area	6000	
Yg1	210	
Yg2	100	
Ygtot	158,6667	mm dal basso
J1	106666,7	
J2	9333333	
Jtot	27509333	mm <sup>4</sup>
Wsup	448522	
Winf	173378,2	
M	28,15	kN/m
N	4,40	kN
sigma,sup	-63,4953	N/mm <sup>2</sup>
sigma,inf	161,6293	N/mm <sup>2</sup> < fd = 261,905 N/mm <sup>2</sup>

### VERIFICA TRAVE A T DI CONSOLIDAMENTO PUNTONE C1

nell'ipotesi che questa sostenga tutto il carico gravante senza collaborazione della trave degradata

peso proprio trave  $0,471 \times 1,3 = 0,6123$

	mm	
H	200	netta
B	160	
tw	14	
tf	20	
A1	3200	
A2	2800	
Area	6000	
Yg1	210	

Yg2	100
Ygtot	158,6667 mm dal basso
J1	106666,7
J2	9333333
Jtot	27509333 mm <sup>4</sup>
Wsup	448522
Winf	173378,2
M	32,00 kN/m
N	6,63 kN
sigma,sup	-72,4604 N/mm <sup>2</sup>
sigma,inf	183,4884 N/mm <sup>2</sup> < fd = 261,905 N/mm <sup>2</sup>

## 8.2 Verifica Arcarecci A7, A17, A19, A24 e dei relativi sistemi di consolidamento

Per gli arcarecci A7, A17 e A19 è stata condotta la verifica delle sezioni esistenti e delle sezioni composte ottenute attraverso l'accoppiamento con tavoloni di abete C24 di diverso spessore.

Per l'arcareccio A24, dopo la verifica della sezione esistente, vista la deviazione della fibratura del legno rispetto all'asse dell'elemento, si è scelto di intervenire attraverso l'utilizzo di una bandella metallica forata dello spessore di 2 mm e larghezza 60 mm da posizionare all'intradosso per l'intera lunghezza e all'estradosso in corrispondenza dell'appoggio intermedio.

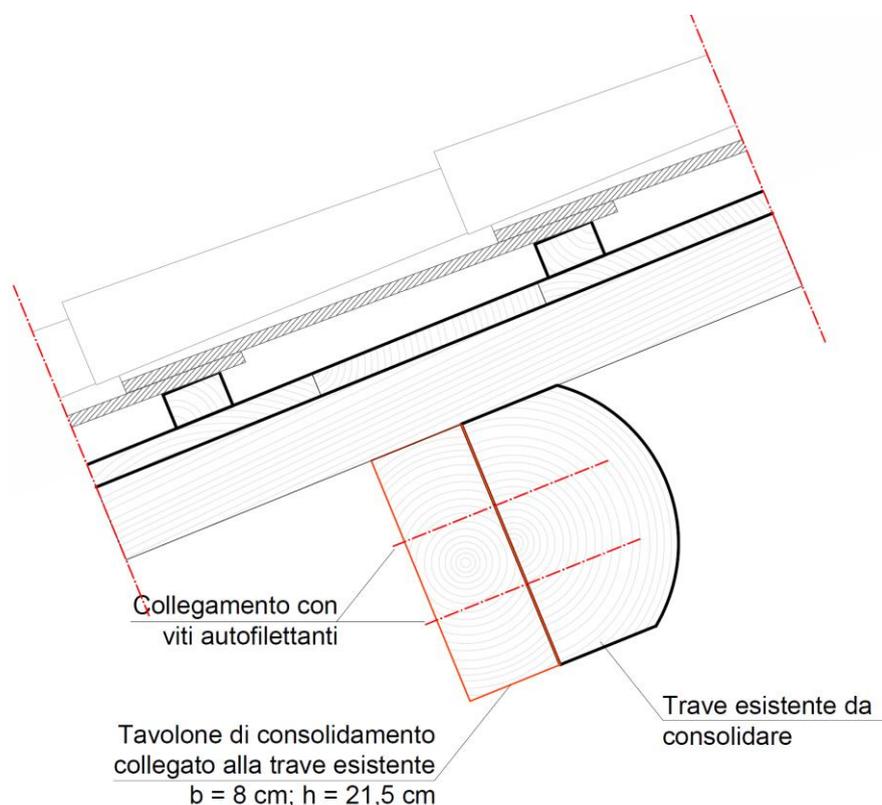


Fig. 15 – Dettaglio di esempio di intervento di consolidamento con tavolone in abete affiancato.

ARCARECCIO A7	luce	B	H	D	A	W	P	Q	T	M	coeff. T.	tau	Verifica	sigma	Verifica
sezione sud	1,36	5,21	130	220	28600	1048667	0,13728	3,97645	10,36	0,00	4,19E-05	0,43	20%	0,00	0%
mezzeria	1,36	5,21	130	210	27300	955500	0,13104	3,97645	0,00	13,49	4,18E-05	0,00	0%	14,12	118%
sezione nord	1,36	5,21	121,7	210	25550	894250	0,12264	3,97645	10,36	0,00	3,98E-05	0,41	19%	0,00	0%

VERIFICA TAVOLONE DI CONSOLIDAMENTO CONSIDERANDO 60% DEL CARICO

A7 TAVOLONE	luce	B	H	D	A	W	P	Q	T	M	coeff. T.	tau	Verifica	sigma	Verifica
	1,36	5,21	60	250	15000	625000	0,072	2,47947	6,46	8,41		0,65	27%	13,46	93%

ARCARECCIO A17	luce	B	H	D	A	Wx	Wy	P	Ox	Oy	T	Mx	My	coeff. T.	tau	Verifica	sigma1	sigma2	Verifica
sezione sud	1,18	4,855	105	205	21525	735438	376688	0,09686	3,18016	1,29679	8,34	0,00	0,00	0,58	27%	0,00	0,00	0,00	0%
mezzeria	1,18	4,855	102,67	215	22073,33	790961	377699	0,09933	3,18016	1,29679	9,37	9,37	3,82	0,00	0%	18,93	18,41	18,41	158%
sezione nord	1,18	4,855	110,0	215	23650	847458	433583	0,10643	3,18016	1,29679	8,34	0,00	0,00	0,53	24%	0,00	0,00	0,00	0%

VERIFICA IPOTESI TAVOLONE DI CONSOLIDAMENTO CONSIDERANDO 50% DEL CARICO

A17 TAVOLONE	luce	B	H	D	A	W	Wy	P	Ox	Oy	T	Mx	My	coeff. T.	tau	Verifica	sigma1	sigma2	Verifica
	1,18	4,855	80	215	17200	616333	229333	0,08256	1,68946	0,6889	4,43	4,98	2,03	0,39	16%	14,27	14,50	14,50	101%

VERIFICA SEZIONE COMPOSTA

A17 + TAVOLONE	luce	B	H	D	A	W	Wy	P	Ox	Oy	T	Mx	My	coeff. T.	tau	Verifica	sigma1	sigma2	Verifica
	1,18	4,855	182,67	215	39273,33	1407294	1195655	0,08256	3,27954	1,33729	8,60	9,66	3,94	0,33	14%	9,17	8,10	8,10	76%

ARCARECCIO A19	luce	B	H	D	A	Wx	Wy	P	Ox	Oy	T	Mx	My	coeff. T.	tau	Verifica	sigma1	sigma2	Verifica
sezione sud	1,21	4,83	103,3333	200	20666,67	688889	355926	0,093	3,25278	1,3264	8,48	0,00	0,00	0,62	29%	0,00	0,00	0,00	0%
mezzeria	1,21	4,83	100,00	210	21000	735000	350000	0,0945	3,25278	1,32640	9,49	9,49	3,87	0,00	0%	20,64	20,09	20,09	172%
sezione nord	1,21	4,83	103,3	220	22733,33	833556	391519	0,1023	3,25278	1,3264	8,48	0,00	0,00	0,56	26%	0,00	0,00	0,00	0%

VERIFICA IPOTESI TAVOLONE DI CONSOLIDAMENTO CONSIDERANDO 50% DEL CARICO

A19 TAVOLONE	luce	B	H	D	A	W	Wy	P	Ox	Oy	T	Mx	My	coeff. T.	tau	Verifica	sigma1	sigma2	Verifica
	1,18	4,855	80	210	16800	588000	224000	0,08064	1,72346	0,70276	4,52	5,08	2,07	0,40	17%	15,11	15,29	15,29	106%

VERIFICA SEZIONE COMPOSTA

A19 + TAVOLONE	luce	B	H	D	A	W	Wy	P	Ox	Oy	T	Mx	My	coeff. T.	tau	Verifica	sigma1	sigma2	Verifica
	1,18	4,855	180,00	210	37800	1323000	1134000	0,08064	3,34985	1,36597	8,78	9,87	4,02	0,35	15%	9,94	8,77	8,77	83%

ARCARECCIO A24	luce	B	H	D	A	Wx	Wy	P	Ox	Oy	T	Mx	My	coeff. T.	tau	Verifica	sigma1	sigma2	Verifica
appoggio sud	1,17	3	126,667	225	28500	1068750	601667	0,1283	3,40169	0,65948	2,34	0,57	0,11	0,12	6%	0,53	0,53	0,53	4%
mezzeria camp. Sud	1,17	3	126,667	225	28500	1068750	601667	0,1283	3,40169	0,65948	3,75	0,87	0,18	0,20	9%	1,02	1,02	1,02	9%
appoggio intermedio	1,2	5,37	148,33	220	32633,33	1196556	806769	0,1469	3,48443	0,67552	13,17	9,42	1,84	0,61	28%	9,47	7,79	7,79	79%
mezzeria campata	1,2	5,37	146,00	225	32850	1231875	799350	0,1478	3,48443	0,67552	2,08	8,28	1,62	0,09	4%	8,14	6,73	6,73	68%
appoggio nord	1,2	5,37	133,3	220	29333,33	1075556	651852	0,1320	3,48443	0,67552	9,07	0,00	0,00	0,46	21%	0,00	0,00	0,00	0%

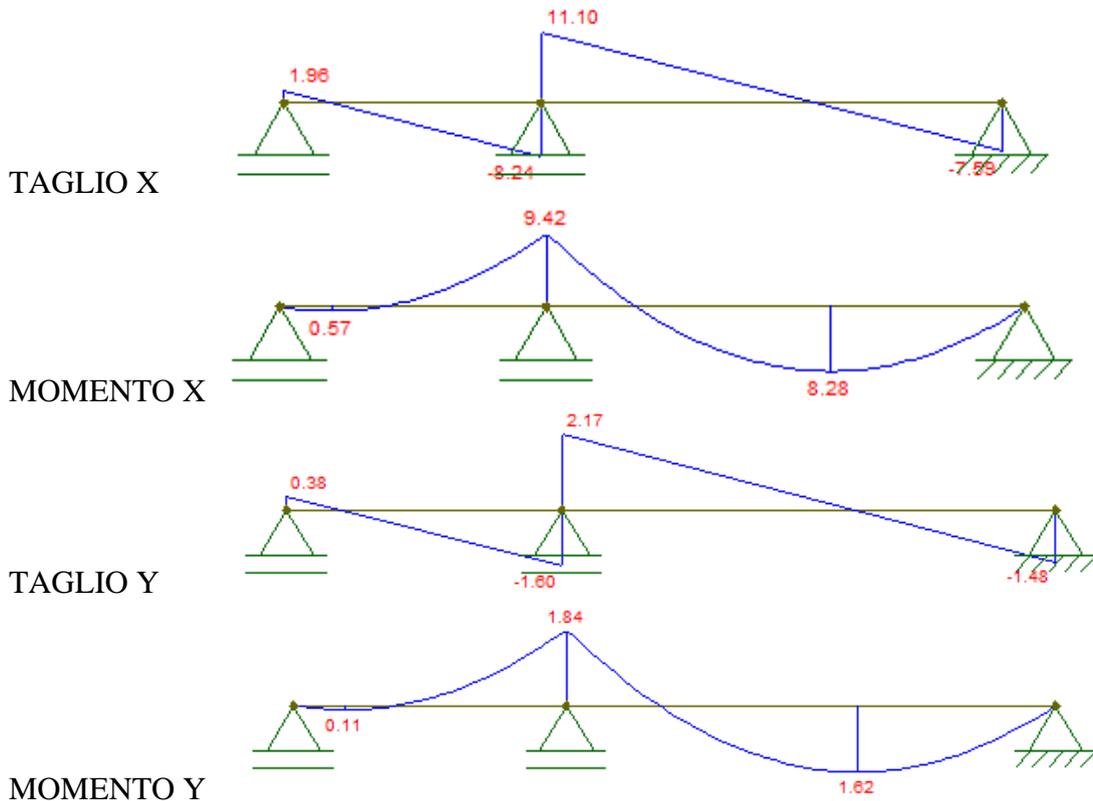


Fig. 16 – Risultati delle analisi della trave A24 in taglio e flessione devianti.

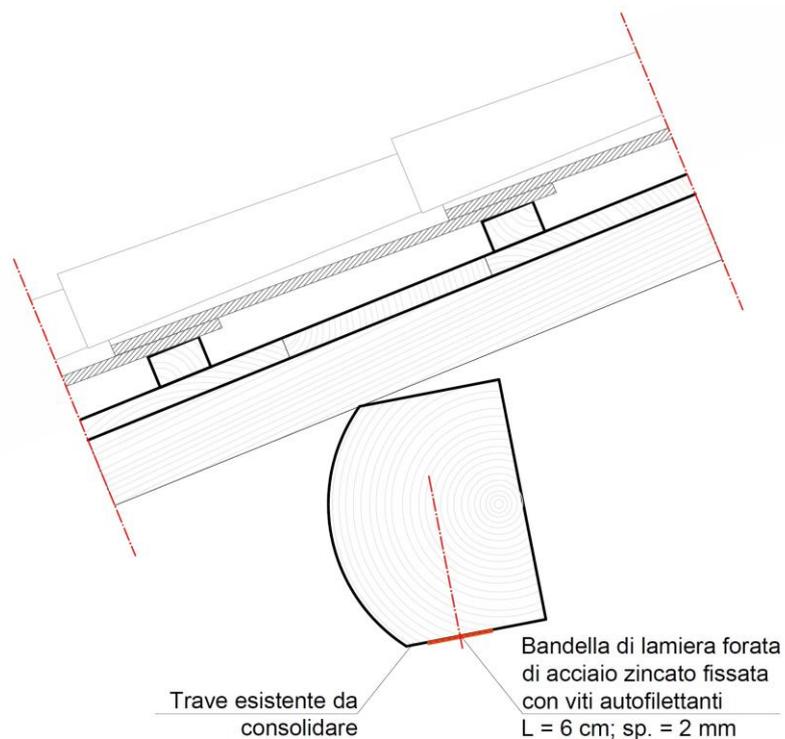


Fig. 17 – Dettaglio di esempio di intervento di consolidamento con bandella metallica forata.

### 8.3 Verifica elementi da sostituire A14, A15, A10, B14, C3

Per gli arcarecci A14, A15, A10, B14 e C3 sono state condotte verifiche delle sezioni esistenti e dimensionamento e verifica delle sezioni delle travi sostitutive in legno di abete classe C24. Si riportano di seguito tabelle di verifica.

ARCARECCIO A14	fascia	luce	B	H	D	A	W	A	W	P	Q	T	M	My	tau	Verifica	sigma	Verifica	NOTE	
sezione sud	1,26	4,88				34573,65	1019770			0,15558	3,73459	9,11	0,00	0,00	4,19E-05	0,38	18%	0,00	0%	se la trave non fosse degradata
mezzeria	1,26	4,88				35166,68	1125605			0,15826	3,73459	0,00	11,12	0,00	4,19E-05	0,00	0%	9,88	82%	sarebbe sufficiente a sostenere i carichi
sezione nord	1,26	4,88				36660,50	1149701			0,16497	3,73459	9,11	0,00	0,00	3,98E-05	0,36	17%	0,00	0%	carichi

VERIFICA TRAVE SOSTITUTIVA A14 ABETE C 24

A14 N	fascia	luce	B	H	D	A	W	A	W	P	Q	T	M	My	tau	Verifica	sigma	Verifica
	1,26	4,88	180	200		36000	1200000			0,1728	3,75174	9,15	11,17	0,00	0,38	16%	9,31	65%

ARCARECCIO A15	fascia	luce	B	H	D	A	Wx	Wy	P	Qx	Qy	T	Mx	My	tau	Verifica	sigma1	sigma2	Verifica	NOTE
sezione sud	1,18	2,8	136,6667	245		33483,33	1367236	762676	0,15068	3,23391	1,31871	4,89	0,00	0,00	0,22	10%	0,00	0,00	0%	se la trave non fosse degradata
mezzeria	1,18	2,8	133,3333	242,5		32333,33	1306806	718519	0,1485	3,23391	1,31871	3,17	3,17	1,29	0,00	0%	3,68	3,50	31%	sarebbe sufficiente a sostenere i carichi
sezione nord	1,18	2,8	130,0	240		31200	1248000	676000	0,1404	3,23391	1,31871	4,89	0,00	0,00	0,24	11%	0,00	0,00	0%	carichi

VERIFICA TRAVE SOSTITUTIVA A15 ABETE C 24 IN POSIZIONE RETTA

A15 N	fascia	luce	B	H	D	A	W	Wy	P	Qx	Qy	T	Mx	My	tau	Verifica	sigma1	sigma2	Verifica
	1,18	2,8	160	240		38400	1536000		0,18432	3,54277		4,96	3,47	0,00	0,19	8%	2,26	16%	

TRAVE A10

CALCOLO CARICO DA TRAVE A8	fascia	luce	B	H	D	A	Wx	Wy	P	Q
appoggio sud	1,31	3,21	111,67	205		22891,67	782132	426039	0,1030	3,81
mezzeria camp. Sud	1,31	3,21	111,67	210		23450	820750	436431	0,1055	3,81
appoggio intermedio	1,365	5,08	116,67	220		25666,67	941111	499074	0,1155	3,96
mezzeria campata	1,365	5,08	111,67	220		24566,67	900778	457213	0,1106	3,96
appoggio nord	1,365	5,08	111,7	220		24566,67	900778	457213	0,1106	3,96

CARICO CONCENTRATO IN MEZZERIA = 21,21 kN

TRAVE A10	fascia	luce	B	H	D	A	Wx	Wy	P	Qx	Qy	T	Mx	My	tau	Verifica	sigma1	sigma2	Verifica
sezione sud		2,72	115	245		28175	1150479	540021	0,12679	0,15263		10,81	14,56	0,00	0,58	27%	0,00	0,00	0%
mezzeria		2,72	115	245		28175	1150479	540021	0,12679	0,15263		10,81	14,56	0,00	0,58	27%	12,66	8,86	105%
sezione nord		2,72	115	245		28175	1150479	540021	0,12679	0,15263		10,81	14,56	0,00	0,58	27%	0,00	0,00	0%

VERIFICA TRAVE SOSTITUTIVA A10 ABETE C 24 IN POSIZIONE RETTA

A10 N	fascia	luce	B	H	D	A	W	Wy	P	Qx	Qy	T	Mx	My	tau	Verifica	sigma1	sigma2	Verifica
		2,72	160	240		38400	1536000		0,18432	0,23962		10,93	14,64	0,00	0,43	18%	9,53	66%	



VERIFICA TRAVE SOSTITUTIVA B14 ABETE C 24 (FLESSIONE DEVIATA)  
SUDDIVISA IN 2 CAMPATE

	fascia	luce	B	H	D	A	W	Wy	P	Qx	Qy	T	Mx	My	coeff. T.	tau	Verifica	sigma1	sigma2	Verifica
B14 N (A)	1,56	3,75	180	300		54000	2700000	1620000	0,2592	4,35576	1,77617	8,82	7,66	3,12	0,24	10%	4,18	3,91	29%	
B14 N (B)	1,54	6,71	180	300		54000	2700000	1620000	0,2592	4,30392	1,75503	15,59	24,22	9,88	0,43	18%	13,24	12,38	92%	

VERIFICA TRAVE SOSTITUTIVA C3 ABETE C 24 (FLESSIONE DEVIATA)

	fascia	luce	B	H	D	A	W	Wy	P	Qx	Qy	T	Mx	My	coeff. T.	tau	Verifica	sigma1	sigma2	Verifica
C3 N	1,43	4,35	180	200		36000	1200000	1080000	0,1728	3,91478	1,59635	9,20	9,26	3,78	0,38	16%	10,16	8,90	71%	

**Tabella di riepilogo delle sezioni delle travi da sostituire.**

ELEMENTO	SEZIONE ELEMENTO NUOVO IN LEGNO DI ABETE C24		LUNGHEZZA* (m)
	B (mm)	H (mm)	
A10	160	240	2,85
A14	180	200	5
A15	160	240	2,9
B14	180	300	10,6
C3	180	200	4,3

\*da verificare in opera

## **9. GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI DEL SOFTWARE DI CALCOLO**

### **9.1 Valutazione attraverso modelli semplificati**

Il comportamento della struttura dedotto dal modello corrisponde pienamente agli schemi classici di sollecitazione per strutture di travi elementari su due o più appoggi.

I risultati ottenuti dall'elaborazione del modello completo trovano buona corrispondenza con i risultati precedentemente ottenuti con i modelli locali utilizzati nelle fasi di progettazione preliminare con differenze compatibili con il grado di semplificazione dei modelli stessi; pertanto i risultati possono essere ritenuti pienamente accettabili.

### **9.2 Utilizzo del software di calcolo e verifiche**

Il software di calcolo è stato utilizzato unicamente per la determinazione delle reazioni vincolari, dei valori di sollecitazione interna delle membrature e degli spostamenti.

Le verifiche delle sezioni, delle membrature e delle connessioni sono state eseguite mediante tabelle appositamente realizzate all'interno di fogli di calcolo ad inserimento manuale.

Voghera, 27/12/2021

Il Progettista delle Strutture  
Ing. Gabriele Sacco