ENTE DI GESTIONE DEI SACRI MONTI

Sede legale Amministrativa Cascina Valperone, n.1

15020 Ponzano Monferrato (AL) - Tel. 0141 /927120 C.F./P.IVA 00971620067

www.sacri-monti.com

OPERE DI RISANAMENTO CONSERVATIVO DEL FABBRICATO ADIACENTE ALLA CAPPELLA XV PRESSO IL SACRO MONTE CALVARIO DI DOMODOSSOLA

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE

GIUGNO 2017	**SCALA -**	**AGGIORNAMENTI :**	**ELABORATO:**

AESSE INGEGNERIA
Via Stazione n. 21 - 28883
GRAVELLONA TOCE (VB)
ing. Alberto Chiesa - ing Stefano Cerlini

R.02

RELAZIONE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE

La presente relazione illustra i risultati e le modalità di svolgimento della verifiche statiche effettuate sulle strutture di copertura a corredo del progetto definitivo relativo all'intervento di "Manutenzione Straordinaria alla copertura del fabbricato adiacente alla Cappella XV presso il Sacro Monte Calvario di Domodossola", commissionato ai sottoscritti, Ing. Stefano Cerlini ed Ing. Alberto Chiesa.

1) Stato di Fatto

La struttura oggetto di intervento presenta una copertura ad una falda con inclinazione significativa, con manto di copertura in lose di pietra locale (Beola). Le orditure della copertura si presentano in discreto stato di conservazione ad esclusione di alcuni appoggi dei falsi puntoni che a seguito di fenomeni infiltrativi risultano parzialmente degradati. L'orditura principale come meglio in seguito illustrato, risulta costituita da falsi puntoni in appoggio sulle murature perimetrali la cui luce risulta spezzata da una terzera in appoggio su un pilastro centrale in muratura.

2) Analisi dei carichi in copertura

1.1. Azione della neve

L'azione della neve, sulla porzione di fabbricato in esame, è stata calcolata ai sensi quanto disposto al cap. 3.4 delle Norme Tecniche delle Costruzioni (D.M. 14/01/2008).

CALCOLO DELL'AZIONE DELLA NEVE

◉	**Zona I – Alpina** Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbania, Vercelli, Vicenza.	q_{sk} = 1,50 kN/mq $a_s \leq 200$ m q_{sk} = 1,39 [1+(a_s/728)^2] kN/mq $a_s > 200$ m
○	**Zona I – Mediterranea** Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese.	q_{sk} = 1,50 kN/mq $a_s \leq 200$ m q_{sk} = 1,35 [1+(a_s/602)^2] kN/mq $a_s > 200$ m
○	**Zona II** Arezzo, Ascoli Piceno, Bari, Campobasso, Chieti, Ferrara, Firenze, Foggia, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona.	q_{sk} = 1,00 kN/mq $a_s \leq 200$ m q_{sk} = 0,85 [1+(a_s/481)^2] kN/mq $a_s > 200$ m
○	**Zona III** Agrigento, Avellino, Benevento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Frosinone, Grosseto, L'Aquila, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastra, Olbia Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Rieti, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo.	q_{sk} = 0,60 kN/mq $a_s \leq 200$ m q_{sk} = 0,51 [1+(a_s/481^2] kN/mq $a_s > 200$ m

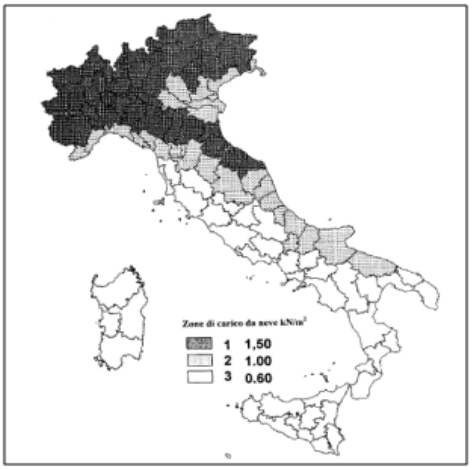
q_s (carico neve sulla copertura [N/mq]) = $\mu_i \, q_{sk} \, C_E \, C_t$

μ_i (coefficiente di forma)

q_{sk} (valore caratteristico della neve al suolo [kN/mq])

C_E (coefficiente di esposizione)

C_t (coefficiente termico)



Valore caratteristicio della neve al suolo

a_s (altitudine sul livello del mare [m])	370
q_{sk} (val. caratt. della neve al suolo [kN/mq])	1.75

Coefficiente termico

Il coefficiente termico può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato **Ct = 1**.

Coefficiente di esposizione

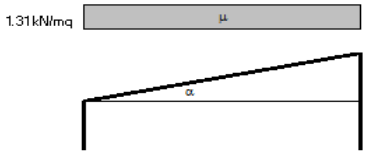
Topografia	Descrizione	C_E
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1

Valore del carico della neve al suolo

q_s (carico della neve al suolo [kN/mq])	1.75

Coefficiente di forma (copertura ad una falda)

α (inclinazione falda [°])	32
μ	0.74666667



1.2 Carichi permanenti

Il peso proprio del legname costituente le strutture è stato valutato in 7.00 KN/mc.

Il carico permanente del manto di copertura è stato valutato pari a 3.50 KN/mq.

2) Caratteristiche geometriche della copertura

La struttura portante del tetto è costituita da falsi puntoni in legno massiccio a sezione circolare Diam. 25 cm, supportati a circa metà della luce da una terzera di diametro 23 cm. circa appoggiata alle murature perimetrali ed ad un pilastro centrale di pietrame.

La struttura è completata da una catena del diametro di 20 cm. circa. Lo schema della copertura è riportato nella sottostante figura 1.

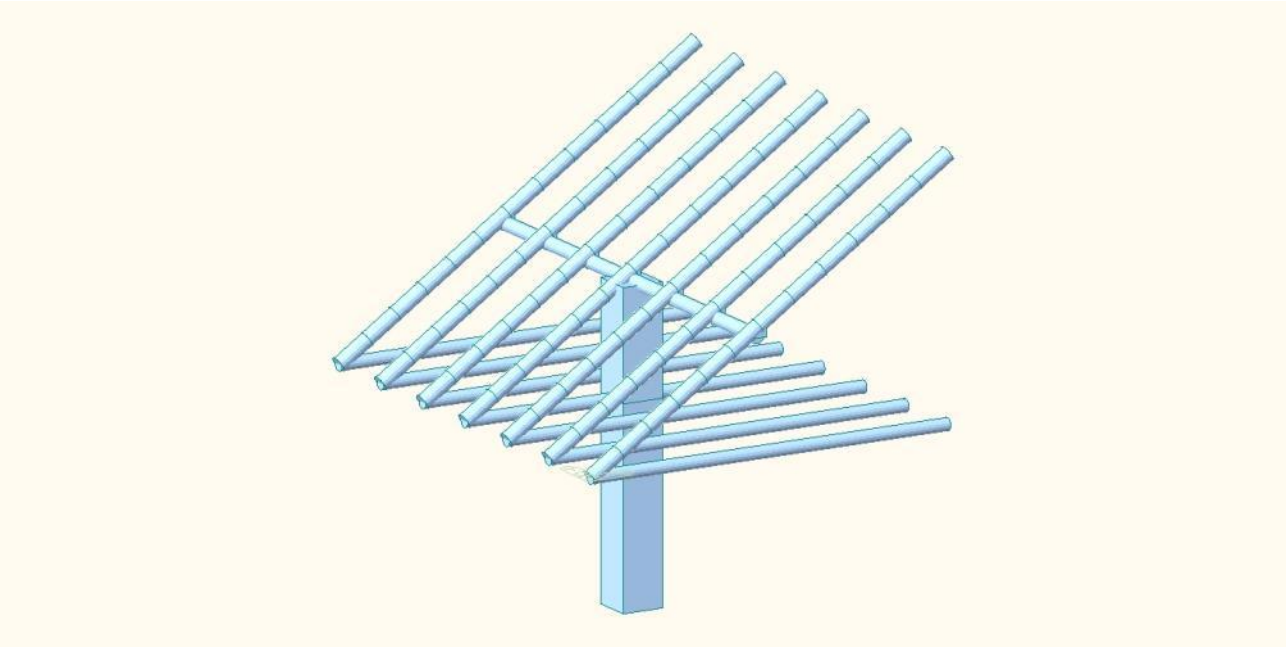


Figura 1 - Schema strutturale

Il legname costituente gli elementi strutturali è stato valutato di classe C18 mentre nelle zone ammalorate a causa delle infiltrazioni di acqua meteorica è stata attribuita una classe C14 e le verifiche sono state effettuate su una sezione opportunamente ridotta.

E' stata eseguita una modellazione f.e.m. tramite il software MIDAS Gen prodotto dalla Midas Information Technology Co. Ltd..

Gli esiti delle elaborazioni sono riportati in forma grafica nelle sottostanti figure.

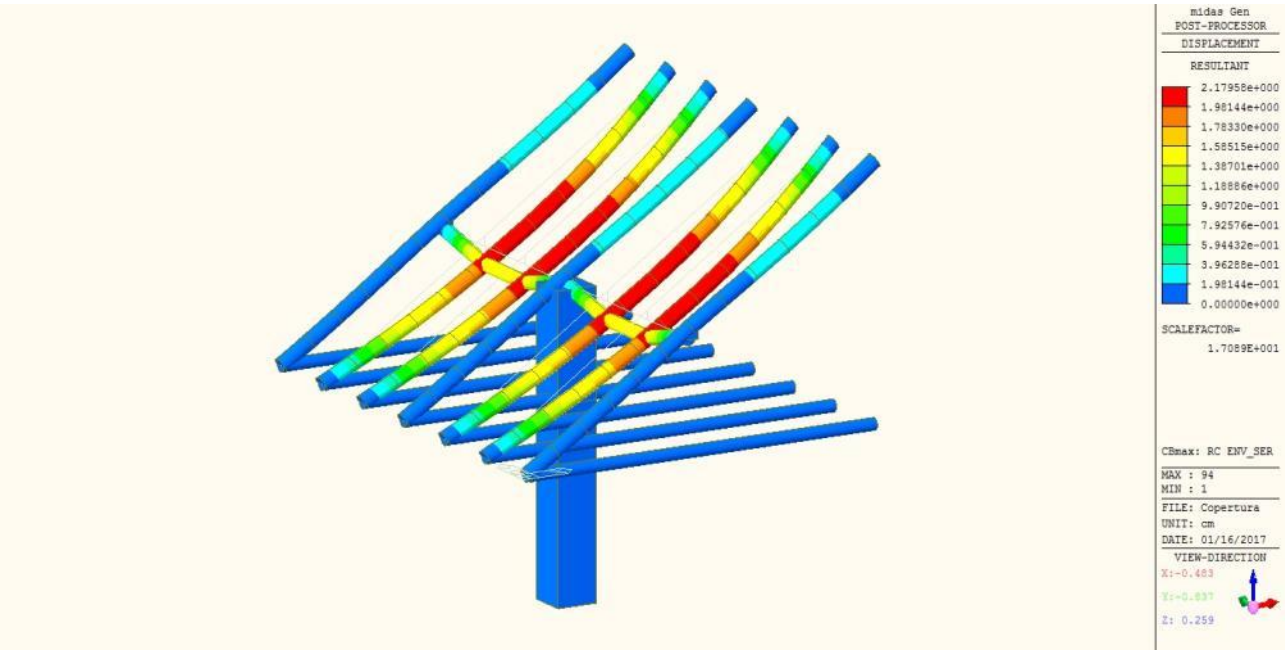


Figura 2 - Defomrazioni massime in esercizio

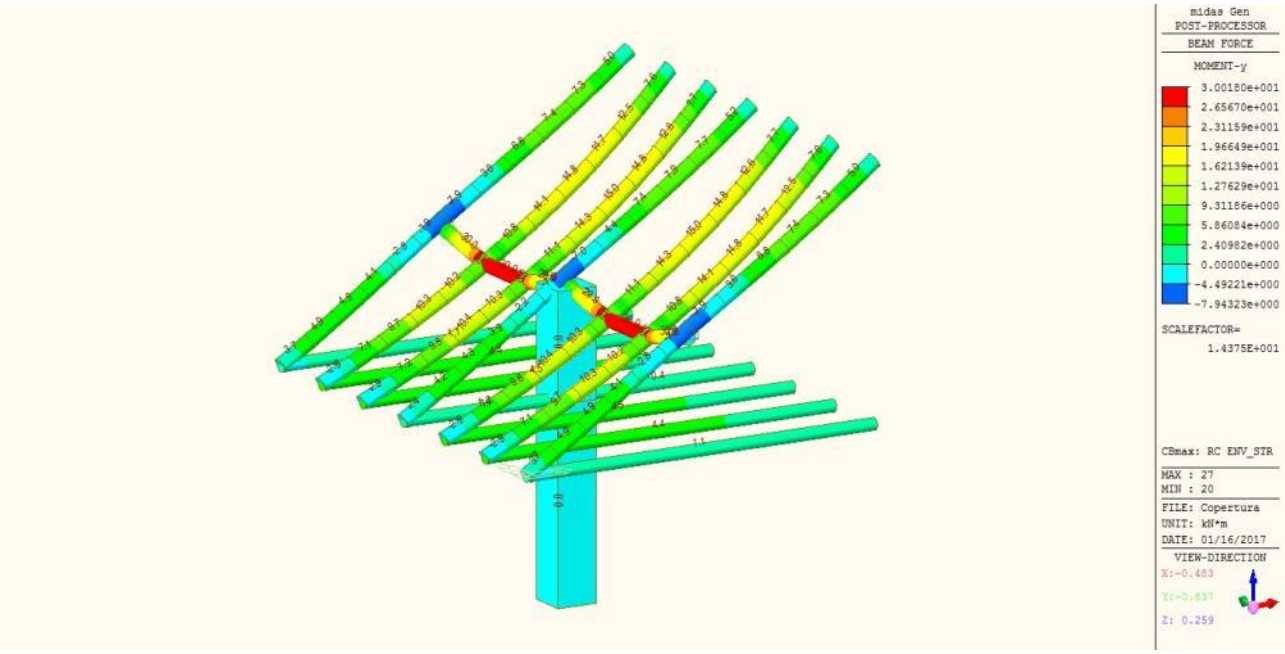


Figura 3 - Momenti massimi allo SLU

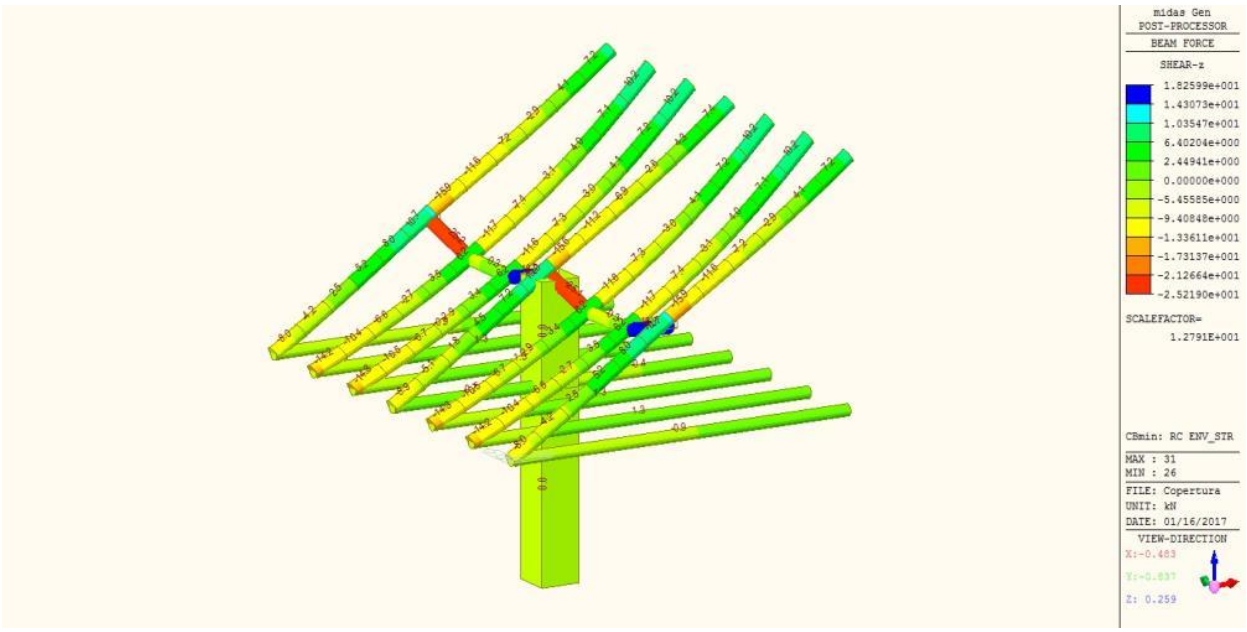
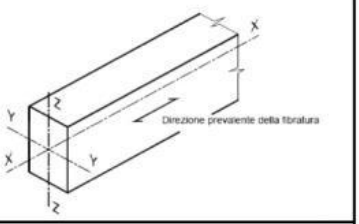


Figura 4 - Tagli massimi allo SLU

Verifica sezione in legno							
Classe di durata del carico			**Breve durata** *meno di 1 settimana [neve a bassa quota]*				
Classe di servizio			**2**	65% < UR < 85%		k_{mod}	0.9
Tipologia			**Legno massiccio**			γ_m	1.50
Sezione **Circolare**	R [cm]	**11.5**	A [cm^2] *415*	J_y [cm^4] *13737*	J_z [cm^4] *13737*	W_y [cm^3] *1194*	W_z [cm^3] *1194*
Valori caratteristici del materiale						***C18***	
Proprietà di Resistenza [N/mm^2]				***Proprietà di modulo elastico [N/mm^2]***			
*Flessione**	$f_{m,k}$	18.00		*parallelo medio*		$E_{0,m}$	9000
*Trazione parallela**	$f_{t,0,k}$	11.00		*parallelo caratteristico*		$E_{0,05}$	6000
Trazione perpendicolare	$f_{t,90,k}$	0.40		*perpendicolare medio*		$E_{90,m}$	300
Compressione parallela	$f_{c,0,k}$	18.00		*tangenziale medio*		G_m	560
Compressione perpendicolare	$f_{c,90,k}$	2.20		***Massa volumica [kg/m^3]***			
Taglio	$f_{v,k}$	3.40		caratteristica		ρ_k	320
Considero k_h ? **NO**	$k_{h,fless,y}$	1.00	$k_{h,fless,z}$	1.00		$k_{h,traz}$	1.00
Il coefficiente k_h incrementa i valori caratteristici di flessione e trazione parallela							

Stati limite ultimi		
Sollecitazioni [kN,kNm]		
N_d	**0.00**	kN
$T_{z,d}$	**0.00**	kN
$T_{y,d}$	**25.22**	kN
$M_{y,d}$	**30.02**	kNm
$M_{z,d}$	**0.00**	kNm
$M_{t,d}$	**0.00**	kNm



Verifiche di resistenza						
Trazione parallela alla fibratura			Verifica non necessaria			
Trazione perpendicolare alla fibratura			Da sviluppare			
Compressione parallela alla fibratura			Verifica non necessaria			
Compressione perpendicolare alla fibratura			Da sviluppare			
Compressione inclinata rispetto alla fibratura			Da sviluppare			
Flessione			**Attenzione: non verifica!**			
$\sigma_{m,y,d}$	25.13	N/mm^2	$\sigma_{m,z,d}$	0.00	N/mm^2	
$f_{m,y,d}$	10.80	N/mm^2	$f_{m,z,d}$	10.80	N/mm^2	
k_m	1.00					
$\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} + k_m\ \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d}$			2.33	<	1	**NO**
$k_m\ \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d}$			2.33	<	1	**NO**
Tensoflessione			Verifica non necessaria			
Pressoflessione			Verifica non necessaria			
Taglio			La sezione è verificata			
τ_d	1.64	N/mm^2 <	$f_{v,d}$	2.04	N/mm^2	
Torsione			Verifica non necessaria			
Taglio e Torsione			Verifica non necessaria			

Figura 5 - Esito delle verifiche sulla terzera

L'elemento strutturale maggiormente sollecitato è risultata la terzera con un momento flettente massimo (SLU) pari a 30,02 kNm.
L'azione tagliante massima sempre nella terzera è risultata pari a 25,22 KN.
Le verifiche sopra illustrate, evidenziano il forte sottodimensionamento della medesima; risulteranno pertanto opportuni interventi di rinforzo.

Le azioni massime sui falsi puntoni risultano invece pari a:
Momento massimo: 15,00 KN.m
Taglio Massimo : 14,30 KN

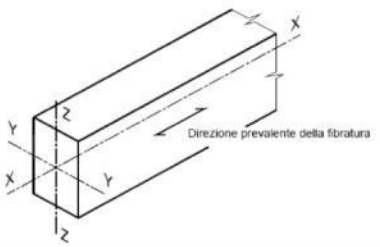
Gli elementi risultano verificati per i carichi di progetto.

Verifica sezione in legno							
Classe di durata del carico			Breve durata meno di 1 settimana [neve a bassa quota]				
Classe di servizio			2	65% < UR < 85%		k_{mod}	0.9
Tipologia			Legno massiccio			γ_m	1.50
Sezione Circolare	R [cm]	12.5	A [cm^2] 491	J_y [cm^4] 19175	J_z [cm^4] 19175	W_y [cm^3] 1534	W_z [cm^3] 1534

Valori caratteristici del materiale						C18
Proprietà di Resistenza [N/mm^2]			Proprietà di modulo elastico [N/mm^2]			
Flessione*	$f_{m,k}$	18.00	parallelo medio		$E_{0,m}$	9000
Trazione parallela*	$f_{t,0,k}$	11.00	parallelo caratteristico		$E_{0,05}$	6000
Trazione perpendicolare	$f_{t,90,k}$	0.40	perpendicolare medio		$E_{90,m}$	300
Compressione parallela	$f_{c,0,k}$	18.00	tangenziale medio		G_m	560
Compressione perpendicolare	$f_{c,90,k}$	2.20	Massa volumica [kg/m^3]			
Taglio	$f_{v,k}$	3.40	caratteristica		ρ_k	320
Considero k_h ? NO	$k_{h,fless,y}$	1.00	$k_{h,fless,z}$	1.00	$k_{h,traz}$	1.00

Il coefficiente k_h incrementa i valori caratteristici di flessione e trazione parallela

Stati limite ultimi		
Sollecitazioni [kN,kNm]		
N_d	0.00	kN
$T_{z,d}$	0.00	kN
$T_{y,d}$	14.30	kN
$M_{y,d}$	15.00	kNm
$M_{z,d}$	0.00	kNm
$M_{t,d}$	0.00	kNm



Verifiche di resistenza						
Trazione parallela alla fibratura			Verifica non necessaria			
Trazione perpendicolare alla fibratura			Da sviluppare			
Compressione parallela alla fibratura			Verifica non necessaria			
Compressione perpendicolare alla fibratura			Da sviluppare			
Compressione inclinata rispetto alla fibratura			Da sviluppare			
Flessione			La sezione è verificata			
$\sigma_{m,y,d}$	9.78	N/mm^2	$\sigma_{m,z,d}$	0.00	N/mm^2	
$f_{m,y,d}$	10.80	N/mm^2	$f_{m,z,d}$	10.80	N/mm^2	
k_m	1.00					
$\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} + k_m\ \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d}$			0.91	<	1	
$k_m\ \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d}$			0.91	<	1	
Tensoflessione			Verifica non necessaria			
Pressoflessione			Verifica non necessaria			
Taglio			La sezione è verificata			
τ_d	0.86	N/mm^2 <	$f_{v,d}$	2.04	N/mm^2	
Torsione			Verifica non necessaria			
Taglio e Torsione			Verifica non necessaria			

Figura 6 - Esiti delle verifiche sui falsi puntoni

I falsi puntoni risultano tuttavia ammalorati nella sezione d'appoggio inferiore nella quale l'unica azione significativa presente risulta lo sforzo di taglio.

E' stata pertanto effettuata una verifica locale su una sezione opportunamente ridotta (diam. 15 cm) ed una classe di legname C14.

Il nodo risulta verificato secondo tali ipotesi, come illustrato dai calcoli riassunti nella figura sottostante. In fase di realizzazione dell'intervento di dovrà verificare che la porzione lignea ammalorata dell'elemento di orditura primaria non sia tale da ridurre la sezione utile altre quella qui indicata. IN caso contrario si dovrà provvedere al consolidamento a taglio di tale appoggio.

Verifica sezione in legno

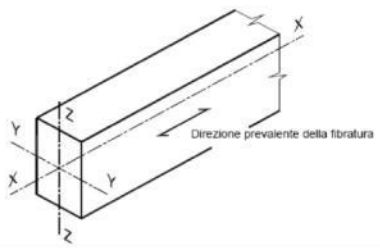
Classe di durata del carico	**Breve durata**				
	meno di 1 settimana [neve a bassa quota]				
Classe di servizio	**2**	65% < UR < 85%		k_{mod}	0.9
Tipologia	**Legno massiccio**			γ_m	1.50

Sezione	R [cm]	**7.5**	A [cm^2]	J_y [cm^4]	J_z [cm^4]	W_y [cm^3]	W_z [cm^3]
Circolare			*177*	*2485*	*2485*	*331*	*331*

Valori caratteristici del materiale						***C14***
Proprietà di Resistenza [N/mm^2]			***Proprietà di modulo elastico [N/mm^2]***			
*Flessione**	$f_{m,k}$	14.00	*parallelo medio*	$E_{0,m}$	7000	
*Trazione parallela**	$f_{t,0,k}$	8.00	*parallelo caratteristico*	$E_{0,05}$	4700	
Trazione perpendicolare	$f_{t,90,k}$	0.40	*perpendicolare medio*	$E_{90,m}$	230	
Compressione parallela	$f_{c,0,k}$	16.00	*tangenziale medio*	G_m	440	
Compressione perpendicolare	$f_{c,90,k}$	2.00	***Massa volumica [kg/m^3]***			
Taglio	$f_{v,k}$	3.00	caratteristica	ρ_k	290	
Considero k_h? **NO**	$k_{h,fless,y}$	1.00	$k_{h,fless,z}$	1.00	$k_{h,traz}$	1.00

Il coefficiente k_h incrementa i valori caratteristici di flessione e trazione parallela

Stati limite ultimi		
Sollecitazioni [kN,kNm]		
N_d	**0.00**	kN
$T_{z,d}$	**0.00**	kN
$T_{y,d}$	**14.30**	kN
$M_{y,d}$	**0.00**	kNm
$M_{z,d}$	**0.00**	kNm
$M_{t,d}$	**0.00**	kNm



Verifiche di resistenza					
Trazione parallela alla fibratura			Verifica non necessaria		
Trazione perpendicolare alla fibratura			Da sviluppare		
Compressione parallela alla fibratura			Verifica non necessaria		
Compressione perpendicolare alla fibratura			Da sviluppare		
Compressione inclinata rispetto alla fibratura			Da sviluppare		
Flessione			Verifica non necessaria		
$\sigma_{m,y,d}$	0.00	N/mm^2	$\sigma_{m,z,d}$	0.00	N/mm^2
$f_{m,y,d}$	8.40	N/mm^2	$f_{m,z,d}$	8.40	N/mm^2
k_m	1.00				
$\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} + k_m\ \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d}$			0.00	<	1
$k_m\ \sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d}$			0.00	<	1
Tensoflessione			Verifica non necessaria		
Pressoflessione			Verifica non necessaria		
Taglio			La sezione è verificata		
τ_d	1.43	N/mm^2 <	$f_{v,d}$	1.80	N/mm^2
Torsione			Verifica non necessaria		
Taglio e Torsione			Verifica non necessaria		

Figura 7 - Esiti delle verifiche sui falsi puntoni con sezioni ridotte

Sulle catene non sono state effettuate verifiche in quanto risultano pressochè scariche.

3) Interventi di rinforzo.

La verifica sopra riportate hanno evidenziato la presenza di criticità funzionali con particolare riferimento alle terzere, si è previsto pertanto un intervento di consolidamento delle stesse mediante la placcatura con elementi metallici in affiancamento sedo lo schema dell'immagine sotto riportata.

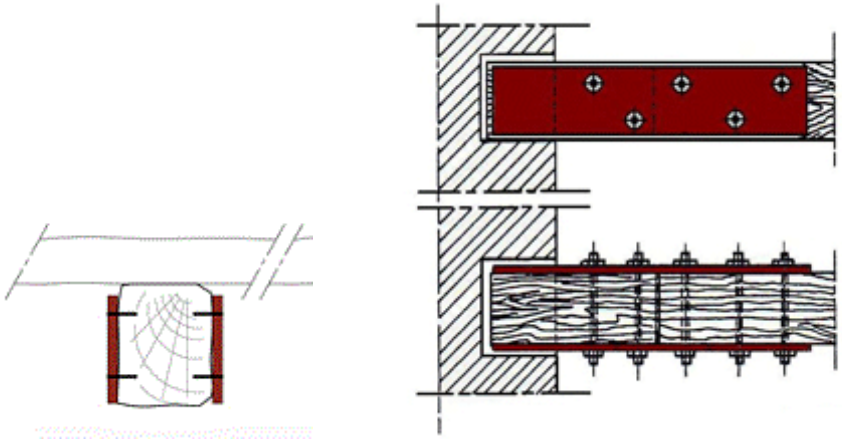


Figura 8 - Vista in sezione ed in prospetto dello schema di consolidamento terzere

Si è pertanto progettato un sistema di placcaggio della terzera esistente con lamiere in acciaio strutturale S275J0 tali da sostituire la funzionalità statica della stessa sotto l'effetto dei carichi di progetto.

Si riportano nelle illustrazioni seguenti il dettaglio dela sezione di rinforzo della terzera e le relative verifiche.

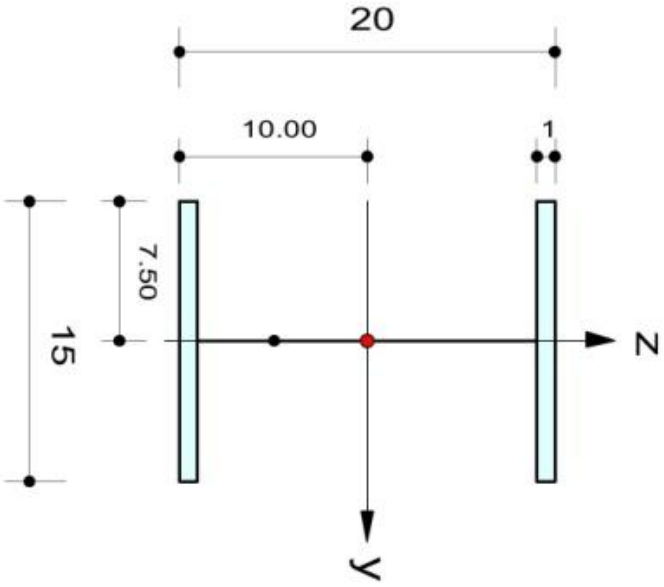


Figura 9 - Dettaglio e quotatura sistema di placcaggio terzere

midas Gen **Steel Checking Result**

Company		Project Title	
Author	Alberts	File Name	C:\...\Copertura2.mgb

1. Design Information

Design Code : Eurocode3:05
Unit System : kgf, cm
Member No : 27
Material : S275 (No:4)
(Fy = 2804.22, Es = 2141404)
Section Name : terzera (No:4)
(Rolled : terzera).
Member Length : 119.990

2. Member Forces

Axial Force Fxx = 0.00000 (LCB: 3, POS:1/4)
Bending Moments My = 0.00000, Mz = 282231
End Moments Myi = 0.00000, Myj = 0.00000 (for Lb)
Myi = 0.00000, Myj = 0.00000 (for Ly)
Mzi = 282022, Mzj = 281195 (for Lz)
Shear Forces Fyy = 25.3749 (LCB: 3, POS:J)
Fzz = 0.00000 (LCB: 3, POS:I)

Depth	20.0000	Web Thick	0.01000
Top F Width	15.0000	Top F Thick	1.00000
Bot.F Width	15.0000	Bot.F Thick	1.00000
Area	30.1800	Asz	0.20000
Qyb	14290.5	Qzb	28.1250
Iyy	2714.86	Izz	562.500
Ybar	7.50000	Zbar	10.0000
Wely	271.486	Welz	75.0000
ry	9.48449	rz	4.31719

3. Design Parameters

Unbraced Lengths Ly = 119.990, Lz = 119.990, Lb = 0.00000
Effective Length Factors Ky = 1.00, Kz = 1.00
Equivalent Uniform Moment Factors Cmy = 1.00, Cmz = 1.00, CmLT = 1.00

4. Checking Results

Slenderness Ratio
L/r = 27.8 < 300.0 (Memb:27, LCB: 3)..... O.K
Axial Resistance
N_Ed/Nt_Rd = 0.0/84631.3 = 0.000 < 1.000 ..... O.K
Bending Resistance
M_Edy/M_Rdy = 0/ 801474 = 0.000 < 1.000 ..... O.K
M_Edz/M_Rdz = 282231/ 315476 = 0.895 < 1.000 ..... O.K
Combined Resistance
RNRd = MAX[M_Edy/Mny_Rd, M_Edz/Mnz_Rd]
Rcom = N_Ed/(A*fy/Gamma_M0), Rbend = M_Edy/My_Rd + M_Edz/Mz_Rd
Rmax = MAX[RNRd, (Rcom+Rbend)] = 0.895 < 1.000 ..... O.K
Shear Resistance
V_Edy/Vy_Rd = 0.001 < 1.000 ..... O.K
V_Edz/Vz_Rd = 0.000 < 1.000 ..... O.K

Figura 10 - Verifiche SLU del sistema di rinforzo

Nella soppraстante Fig.10 sono riportate le verifiche relative sistema di consolidamento del delle terzere lignee sotto l'effetto dei carichi di progetto che risultano in tutte le combinazioni di carico considerate, verificate.

Ing. Alberto Chiesa

DOTT. ING. CHIESA ALBERTO ALBO DEGLI INGEGNERI PROV. V.C.O. n. 46

Ing. Stefano Cerlini

ORDINE DEGLI INGEGNERI VERBANO CUSIO OSSOLA Dott. Ing. STEFANO CERLINI N° A329