

COMUNE DI PALERMO
Settore Centro Storico



COMUNE DI PALERMO
Settore Città Storica



COMUNE DI PALERMO
Settore Città Storica

Vista la verifica del 21 giugno 2013, si esprime **Parere Tecnico favorevole**, ai sensi dell'art. 5 comma 3 della L.R. 12/2011, con contestuale atto n. 18/2013/CS del 20 dicembre 2013.

Il R.U.P.
Ing. Tonino Martelli

20 DIC. 2013

Visto il Parere Tecnico n. 18/2013/CS del 20/12/2013, si **valida il lotto A** del progetto esecutivo ai sensi dell'art. 55 del DPR 207/2010 con contestuale atto n. 04/2013/CS del 20/12/2013.

Il R.U.P.
Ing. Tonino Martelli

20 DIC. 2013

INTERVENTI URGENTI PER LA MESSA IN SICUREZZA E IL MIGLIORAMENTO STATICO DEL COMPLESSO MONUMENTALE DELLO SPASIMO

PROGETTO ESECUTIVO

TAV.	5
ALL.	8
DATA	Giugno-12

ELABORATO
Relazione dei calcoli interventi strutturali: "Zona A" Copertura scalone ottocentesco

SCALA	

I PROGETTISTI
Ing. Giuseppe Di Marzo



Arch. Lorella Cacciatore



IL R.U.P.
Ing. Tonino Martelli

Visto:
Il Dirigente Servizio II OO.PP.

La Copertura dello scalone ottocentesco

Le coperture sono determinanti per il funzionamento degli edifici, specialmente quelli in muratura, infatti la loro mancanza, anche parziale, può determinare il deterioramento degli elementi costruttivi e il crollo delle murature.

L'attuale carpenteria presenta provvedimenti di vario tipo, messi in atto per ovviare ai problemi localizzati d'eccessiva deformazione o rotture, come pure espedienti per evitare il degrado come la realizzazione di un manto di protezione in lamiera ondulata, interventi che testimoniano il sussistere della prassi della manutenzione, intesa quasi sempre come sostituzione di elementi ammalorati, e la prassi di rinforzi volti a risolvere le debolezze della struttura mediante aggiunte e integrazioni.

La copertura esistente è stata realizzata, da una parte innestando travi in legno nella preesistente muratura d'ambito della chiesa e dall'altra semplicemente appoggiando le travi sulla muratura d'ambito realizzata contestualmente allo scalone a chiusura del volume.

L'intervento che si propone è invece di tipo sostitutivo e comprende la totale dismissione di tutti gli elementi esistenti e la realizzazione di una nuova copertura contravi in legno di larice delle dimensioni di 16x20 cm, doppio tavolato dello spessore complessivo di 5 cm il tutto sorretto da un cordolo continuo realizzato con due profili, uno per lato di sezione NC 180 inghisati nella muratura con ancorante compatibile con le murature.

Come previsto dalla normativa si sono progettate delle strutture di copertura non spingenti, la tipologia è quella del semplice appoggio che possiede la caratteristica di una semplice realizzazione e di efficacia statica e dinamica.

Per il dimensionamento degli elementi costituenti la copertura si fa riferimento al calcolo riportato in coda alla presente.

La struttura è costituita da travi in legno con sezioni di 16x20 cm, e doppio tavolato in abete 2x2,5 cm il tutto come illustrato nella Tav. 5.8.1 allegata al progetto.

I cordoli studiati e pensati per il posizionamento sulle murature verranno realizzati mediante una trave UPN 180, inghisati tramite tasselli sulla muratura portante ed incassati nella muratura. L'ancoraggio di queste travi verrà eseguito o mediante tasselli chimici o con barre passanti e bloccate sulla parte opposta del muro. Laddove la muratura non dovesse possedere adeguato spessore il profilo metallico verrà posto a filo con la muratura e bloccato con le tipologie sopra esposte.

Tale sistema permette di sostenere i solai e di essere elemento attivo nella struttura sismica che va a migliorare in quanto tale elemento isolato crea una cerchiatura di piano con tutti i benefici noti, senza utilizzare i sistemi in c.a. che hanno creato negli eventi sismici rotture e crolli generalizzati.

Segue relazione di calcolo della copertura:

calcolo relativo alla realizzazione della copertura in legno dello scalone ottocentesco

In conformità al D.M. 14.01.2008 e con riferimento alla circolare del 02 febbraio 2009 n. 617

I valori di calcolo per le proprietà del materiale, a partire dai valori caratteristici, si assegnano con riferimento combinato alle classi di servizio e alle classi di durata del carico. Il valore di calcolo X_d di una proprietà del materiale è calcolato mediante la relazione:

$$X_d = X_k K_{mod} / g_M$$

dove:

X_k è il valore caratteristico della proprietà del materiale;

g_M è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al materiale;

legno massiccio $g_M = 1,50$

legno lamellare incollato $g_M = 1,45$

K_{mod} è un coefficiente correttivo che tiene conto dell'effetto, sui parametri di resistenza, sia della durata del carico sia dell'umidità della struttura. Se una combinazione di carico comprende azioni appartenenti a differenti classi di durata del carico si dovrà scegliere un valore di K_{mod} che corrisponde all'azione di minor durata.

Si riportano per comodità alcuni valori e definizioni riportate dalle NTC

Classe di durata del carico

Permanente: durata del carico più di 10 anni
Lunga durata: durata del carico 6 mesi - 10 anni
Media durata: durata del carico 6 mesi - 10 anni
Breve durata: durata del carico meno di 1 settimana
istantaneo: -----

Classe di servizio 1

E' caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20 °C e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65%, se non per poche settimane all'anno.

Classe di servizio 2

E' caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20 °C e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno.

Classe di servizio 3

E' caratterizzata da un'umidità più elevata di quella della classe di servizio 2.

valori di K_{mod} per legno massiccio e legno lamellare incollato

Classe di servizio	Permanente	Lunga	Media	Breve	istantanea
1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Le deformazioni di una struttura, dovute agli effetti delle azioni applicate, degli stati di coazione e delle variazioni di umidità devono essere contenute entro limiti accettabili, sia in relazione ai danni che possono essere indotti ai materiali di rivestimento, ai pavimenti, alle tramezzature e, più in generale, alle finiture, sia in relazione ai requisiti

estetici e sia alla funzionalità dell'opera.

Considerando il particolare comportamento reologico del legno e dei materiali derivati dal legno, si devono valutare sia la deformazione istantanea sia la deformazione a lungo termine. La deformazione istantanea si calcola usando i valori medi dei moduli elastici per le membrature. La deformazione a lungo termine può essere calcolata utilizzando i valori medi dei moduli elastici ridotti opportunamente mediante il fattore $1/(1+k_{def})$. Il coefficiente k_{def} tiene conto dell'aumento di deformabilità con il tempo causato dall'effetto combinato della viscosità e dell'umidità del materiale.

valori di K_{def} per legno massiccio e legno lamellare incollato

Materiale	Classe di servizio 1	Classe di servizio 2	Classe di servizio 3
legno massiccio	0,60	0,80	2,00
legno lamellare incollato	0,60	0,80	2,00

STATI LIMITE ULTIMI

Verifiche di resistenza

Le tensioni interne si possono calcolare nell'ipotesi di conservazione delle sezioni piane e di una relazione lineare tra tensioni e deformazioni fino alla rottura. Le seguenti prescrizioni si riferiscono alla verifica di resistenza di elementi strutturali in legno massiccio o di prodotti derivati dal legno aventi direzione della fibratura coincidente sostanzialmente con il proprio asse longitudinale e sezione trasversale costante, soggetti a sforzi agenti prevalentemente lungo uno o più assi principali dell'elemento stesso.

Verifica a Flessione

Devono essere soddisfatte entrambe le condizioni seguenti:

$$\begin{aligned} s_{m,y,d}/f_{m,y,d} + K_m s_{m,z,d}/f_{m,z,d} &\leq 1 \\ K_m s_{m,y,d}/f_{m,y,d} + s_{m,z,d}/f_{m,z,d} &\leq 1 \end{aligned}$$

dove:

$s_{m,y,d}$ e $s_{m,z,d}$ sono le tensioni di calcolo massime per flessione rispettivamente nei piani xz e xy determinate assumendo una distribuzione elastico lineare delle tensioni sulla sezione.

$f_{m,y,d}$ e $f_{m,z,d}$ sono le corrispondenti resistenze di calcolo a flessione. Nello sviluppo dei calcoli sviluppati in avanti non si terrà conto dell'eventuale aumento di resistenza in funzione delle dimensioni della sezione trasversale mediante il coefficiente k_h

I valori da adottare per il coefficiente k_m , che tiene conto convenzionalmente della ridistribuzione delle tensioni e della disomogeneità del materiale nella sezione trasversale, sono:

- $k_m = 0,7$ per sezioni trasversali rettangolari;
- $k_m = 1,0$ per altre sezioni trasversali.

Verifica a Taglio

Deve essere soddisfatta la condizione:

$$t_d \leq f_{v,d}$$

dove:

t_d è la tensione massima tangenziale di calcolo, valutata secondo la teoria di Jourawski;

$f_{v,d}$ è la corrispondente resistenza di calcolo a taglio.

La tensione tangenziale massima assoluta si ottiene come radice quadrata delle somme dei quadrati delle tensioni parziali ottenute in direzione y e z.

$$(t_y^2/f_{v,d}^2 + t_z^2/f_{v,d}^2)$$

Strutturalmente il solaio è costituito da:

Travi principali

luce trave:	253,00 cm
interasse:	90,00 cm
base:	16,00 cm
altezza:	20,00 cm
area:	320,00 cm ²
Inerzia rispetto all'asse y:	10.667 cm ⁴
Inerzia rispetto all'asse z:	6.827 cm ⁴
modulo di resistenza a flessione lungo y:	1.067 cm ³
modulo di resistenza a flessione lungo z:	853 cm ³

Tavolato

base:	234,00 cm
altezza:	5,00 cm
area:	1170,00 cm ²
Inerzia rispetto all'asse y:	2.438 cm ⁴
Inerzia rispetto all'asse z:	5.338.710 cm ⁴
modulo di resistenza a flessione lungo y:	975 cm ³
modulo di resistenza a flessione lungo z:	45.630 cm ³

Caratteristiche Meccaniche e di Resistenza dei Materiali

Le classi di resistenza e i profili caratteristici del legno lamellare sono conformi alla UNI EN 1194 mentre quelle del legno massiccio alle norme EN 338.

Travi principali

Classe di resistenza C24

Grandezza	u. m.	valore
Resistenza caratteristica a flessione $f_{m,k}$	MPa	24
Resistenza a trazione parallela alla fibratura $f_{t,0,k}$	MPa	14
Resistenza a trazione perpendicolare alla fibratura $f_{t,90,k}$	MPa	0,5
Resistenza a compressione parallela alla fibratura $f_{c,0,k}$	MPa	21
Resistenza a compressione perpendicolare alla fibratura $f_{c,90,k}$	MPa	2,5
Resistenza caratteristica a taglio $f_{v,k}$	MPa	2,5
Modulo elastico medio parallelo alle fibre E_{mean}	MPa	11000
Modulo elastico caratteristico $E_{0,05}$	MPa	7400
Modulo di taglio medio $G_{g,mean}$	MPa	690
Massa volumica caratteristica ρ_k	daN/m ³	350

Tavolato

Classe di resistenza C24

Grandezza	u. m.	valore
Resistenza caratteristica a flessione $f_{m,k}$	MPa	24
Resistenza a trazione parallela alla fibratura $f_{t,0,k}$	MPa	14
Resistenza a trazione perpendicolare alla fibratura $f_{t,90,k}$	MPa	0,5
Resistenza a compressione parallela alla fibratura $f_{c,0,k}$	MPa	21
Resistenza a compressione perpendicolare alla fibratura $f_{c,90,k}$	MPa	2,5
Resistenza caratteristica a taglio $f_{v,k}$	MPa	2,5
Modulo elastico medio parallelo alle fibre E_{mean}	MPa	11000
Modulo elastico caratteristico $E_{0,05}$	MPa	7400
Modulo di taglio medio $G_{g,mean}$	MPa	690
Massa volumica caratteristica ρ_k	daN/m ³	350

ANALISI DEI CARICHI

Carichi permanenti strutturali

Peso proprio trave principale:	11,200 daN/m
Peso proprio tavolato:	40,950 daN/m
G_{k1}	29,94 daN/m ²

Sovraccarichi permanenti

Copertura con tegole:	0,470 daN/m ²
Manto impermeabilizzante:	0,100 daN/m ²
G_{k2}	0,57 daN/m ²

Azioni variabili

coperture e sottotetti accessibile per sola manutenzione:

(tabella 3.1.II delle NTC 08)

verticale	50 daN/m ²
concentrato	120 daN/m ²
vert. Conc.	100 daN/m ²

Carico Neve

Il calcolo del carico provocato dalla neve sulla copertura è valutato utilizzando la procedura descritta nel paragrafo 3.4 delle NTC 2008.

Esso è valutato mediante la seguente formula:

$$q_s = m_i * q_{sk} * C_E * C_t$$

dove:

q_{sk} è il carico neve sulla copertura

m_i è il coefficiente di forma della copertura

C_E è il coefficiente di esposizione

C_t è il coefficiente termico

Valore caratteristico del carico neve al suolo.

Per la 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. - si ha:

$$\begin{aligned} q_{sk} &= 0,60 \text{ kN/m}^2 && \text{per } a_0 \leq 200 \text{ m} \\ q_{sk} &= 0,51 * [1 + (a_s / 481)^2] \text{ kN/m}^2 && \text{per } a_0 > 200 \text{ m} \end{aligned}$$

Per un'altitudine sul livello del mare pari a: 50 m - si ha:

$$q_{sk} = 0,51 * [1 + (50 / 481)^2] \text{ kN/m}^2 = 60 \text{ daN/m}^2$$

Coefficiente di Esposizione e termico.

L'edificio è costruito in zona: 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. Quindi si ha: $C_E = 1$

Essendo la copertura isolata termicamente, non si ha riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della neve causata dalle perdite di calore. Quindi si ha: $C_t = 1$

Coefficiente di Forma.

Il coefficiente di forma, essendo la neve impedita di scivolare, viene assunto pari a: $m_1 = 0,8$

Il carico dovuto alla neve, per la struttura in esame, vale:

$$q_s = 0,8 * 60 * 1 * 1 = 48,00 \text{ daN/m}^2$$

Carico Vento

L'azione del vento è calcolata come previsto dal paragrafo 3.3 delle NTC 2008 e secondo le istruzioni della circolare del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti del 2/2/2009 n. 617.

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$q_w = q_b * c_e * c_p * c_d$$

dove:

q_b è la pressione cinetica di riferimento

c_e è il coefficiente di esposizione

c_p è il coefficiente di forma

c_d è il coefficiente di dinamico

la velocità di riferimento v_b è data dall'espressione:

$$v_b = v_{b0} \text{ per } a_s \leq a_0$$

$$v_b = v_{b0} + k_a (a_s - a_0) \text{ per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

dove:

v_{b0} , k_a , a_0 sono parametri dati dalle NTC e legati alla zona in cui sorge la costruzione.

In zona 4 si hanno i seguenti valori:

$$v_{b0} = 28 \text{ m/sec} \quad a_0 = 500 \text{ m} \quad k_a = 0.02 \text{ s}^{-1}$$

Quindi per un'altitudine sul livello del mare pari a 50 m si ha:

$$v_b = 28 \text{ m/sec}$$

La pressione cinetica di riferimento q_b vale quindi

$$q_b = 0,5 * v_b^2 = 0,5 * 28^2 = 196 \text{ N/m}^2 = 19,6 \text{ daN/m}^2$$

Classe di esposizione

Fascia di appartenenza : Entro 10 km dalla costa

Rugosità : Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m.

Categoria di Esposizione: IV

A questa classe di esposizione competono:

$$k_r = 0,22 \quad z_0 = 0,3 \text{ m} \quad z_{min} = 8 \text{ m}$$

Il coefficiente di esposizione è dato da dall'espressione

$$c_e(z) = k_r^2 * c_t * \ln(z/z_0) * [7 + c_t * \ln(z/z_0)] \quad z \geq z_{min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{min}) \quad z < z_{min}$$

Essendo l'altezza della costruzione, 63 m, maggiore o uguale a z_{min}

$$c_e(z) = k_r^2 * c_t * \ln(z/z_0) * [7 + c_t * \ln(z/z_0)]$$
$$c_e(z) = 0,22^2 * 1 * \ln(63/0,3) * [7 + 1 * \ln(63/0,3)] = 3,2$$

Pressioni Interne

La costruzione è stata assunta come stagna, quindi $c_{pi} = 0$

Pressioni Esterne

Nel tetto in legno composto da più falde, le strutture portanti delle diverse falde sono indipendenti una dall'altra e possono quindi essere calcolati separatamente una dall'altra. Per la determinazione del carico massimo del vento si considerano solo le configurazioni che danno carichi positivi. Infatti, la pressione negativa è un carico di segno opposto a quello degli altri carichi e tende ad alleggerirne gli effetti. In questo caso andrà, invece, attentamente preso in considerazione l'equilibrio del manto di copertura che tende ad essere sollevato. Da queste considerazioni risulta prevalente la direzione del vento che investe direttamente la falda (falda sopravento), con valore del coefficiente di forma, determinato secondo il punto C3.3.10 della Circolare.

Nel caso in esame essendo l'inclinazione della falda pari a 14,98 °C risulta $c_{pe} = -0,4$

Quindi il carico del vento sulla copertura sopravvento vale

$$q_w = 49 \text{ daN/m}^2 * 1 * 1 * 3,2 * -0,4 = -63 \text{ daN/m}^2$$

La componente verticale copertura vale: $q_{wn} = q_w * \cos(\alpha)$

$$q_{wn} = -63 \text{ daN/m}^2 * \cos(14,98) = -58,79 \text{ daN/m}^2$$

Risultando la forza del vento negativa non si terrà conto di essa, a favore di sicurezza.

VERIFICA TRAVE PRINCIPALE

I carichi gravanti sulla singola trave, per metro di lunghezza, tenendo conto dell'interasse sono:

Interasse: 90,00 cm

Peso Proprio:	$G_k * i =$	$29,944 * 0,900 = 26,950 \text{ daN/m}$
Carico permanente:	$G_{k1} * i =$	$0,570 * 0,900 = 0,513 \text{ daN/m}$
Carico di esercizio:	$Q_E * i =$	$50,000 * 0,900 = 45,000 \text{ daN/m}$
Carico Neve:	$Q_s * i =$	$48,000 * 0,900 = 43,200 \text{ daN/m}$
Carico Vento:	$Q_v * i =$	$-58,79 * 0,900 = -52,911 \text{ daN/m}$

Ai fini della verifica le azioni di calcolo agli stati limite ultimi i carichi gravitazionali si ricavano dalla seguente espressione:

$$F_d = g_g * G_k + g_{q1} * Q_{k1} + g_{q2} * [\sum (Q_{ki} * Y_{02})]$$

dove:

G_k = Valore caratteristico dei carichi permanenti

Q_{k1} = Valore della azione variabile predominante

Q_{ki} = Valore delle azioni variabili

Y_{2i} = Valore dei coefficienti di combinazione

dove:

g_g = Coefficiente di maggiorazione per carichi permanenti = 1.30

g_{qi} = Coefficiente di maggiorazione per carichi variabili = 1.50

Il coefficiente di combinazione, che tiene in conto della probabilità che tutti i carichi agiscano contemporaneamente è fornito dalla tabella 2.5.I delle NTC.

Categoria	Y_{0j}	Y_{1j}	Y_{2j}
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Categoria H - Coperture	0,0	0,0	0,0

Carico complessivo sulla trave

Nel caso specifico abbiamo carichi di diversa durata, pertanto dobbiamo fare riferimento a quello con la durata più breve per la determinazione della classe di durata. Sono infatti le sollecitazioni più elevate a causare il danneggiamento e quindi la rottura del materiale: queste sollecitazioni estreme sono presenti soltanto durante l'azione contemporanea di tutti i carichi previsti dalla combinazione considerata, che si verifica soltanto durante un lasso di tempo pari alla durata dell'azione di più breve durata fra quelle contenute nella combinazione considerata. La durata del carico influenza anche la resistenza del materiale per cui, a priori, non è possibile stabilire qual'è la situazione di carico più onerosa. Nelle calcolazioni seguenti il coefficiente di maggiorazione dei carichi permanenti non strutturali è assunto pari a 1,3.

Combinazione dei carichi

Combinazione I Permanente

$$F_{dI} = 1,30 * G_{k1} + 1,30 * G_{k2}$$
$$1,3 * 26,950 + 1,30 * 0,513 = 35,702 \text{ daN/m}^2$$

Combinazione II Breve durata (con carico d'esercizio, neve senza vento)

Il carico variabile dominante è il carico d'esercizio. La formula di combinazione dei carichi diventa:

$$F_{dII} = g_g * G_k + g_{g1} * G_{k1} + g_{q1} * Q_E + g_{q2} * Y_{02} * Q_s$$

$$F_{dII} = 1.30 * 26,950 + 1.30 * 0,513 + 1.50 * 45,000 + 1.50 * 43,200 * 0,5 = 135,602 \text{ daN/m}^2$$

Combinazione III Durata istantanea (con carico d'esercizio, neve e vento)

Essendo il carico del vento negativo, a vantaggio della sicurezza, questa combinazione non viene considerata.

VERIFICA DELLA TRAVE PRINCIPALE INFLESSA ALLO SLU

Le caratteristiche di resistenza della trave sono:

Luce della campata 253 cm³

$W_y = 1067 \text{ cm}^3$

$W_z = 853 \text{ cm}^3$

Resistenza caratteristica a flessione $f_{m,k} = 240 \text{ daN/cm}^2$

Classe di durata del carico: Permanente

Classe di esposizione: 2

Coefficiente correttivo $K_{mod} = 0,6$

Valore di calcolo a snervamento $f_{myd} = f_{m,k} * k_{mod} / 1,5 = 96 \text{ daN/m}^2$

La trave è soggetta a flessione deviata nelle due direzioni principali y e z. I carichi nelle due direzioni valgono:

$Q_y = 9,228 \text{ daN/m}$

$Q_z = 34,489 \text{ daN/m}$

Essendo le travi semplicemente appoggiate agli estremi si hanno le seguenti caratteristiche di sollecitazioni:

$M_{qy} = q_z l^2 / 8 = 2.759 \text{ daN} \cdot \text{cm}$

$M_{qz} = q_y l^2 / 8 = 738 \text{ daN} \cdot \text{cm}$

La tensione provocata da Q_y vale: $s_{m,y,d} = M_y / W_z = 2,59 \text{ daN/cm}^2$

La tensione provocata da Q_z vale: $s_{m,z,d} = M_z / W_y = ,87 \text{ daN/cm}^2$

Devono essere rispettate entrambe le seguenti condizioni:

$s_{m,y,d} / f_{m,y,d} + K_m s_{m,z,d} / f_{m,z,d} < 1$

$K_m s_{m,y,d} / f_{m,y,d} + s_{m,z,d} / f_{m,z,d} < 1$

risultando:

$2,59 / 96 + 1 * ,87 / 96 = 0,04 < 1$

$1 * 2,59 / 96 + ,87 / 96 = 0,04 < 1$

LA SEZIONE E' VERIFICATA

Classe di durata del carico: Breve durata

Classe di esposizione: 2

Coefficiente correttivo $K_{mod} = 0,9$

Valore di calcolo a snervamento $f_{myd} = f_{m,k} * k_{mod} / 1,5 = 144 \text{ daN/m}^2$

La trave è soggetta a flessione deviata nelle due direzioni principali y e z. I carichi nelle due direzioni valgono:

$Q_y = 35,050 \text{ daN/m}$

$Q_z = 130,994 \text{ daN/m}$

Essendo le travi semplicemente appoggiate agli estremi si hanno le seguenti caratteristiche di sollecitazioni:

$M_{qy} = q_z l^2 / 8 = 10.481 \text{ daN} \cdot \text{cm}$

$M_{qz} = q_y l^2 / 8 = 2.804 \text{ daN} \cdot \text{cm}$

La tensione provocata da Q_y vale: $s_{m,y,d} = M_y / W_z = 9,83 \text{ daN/cm}^2$

La tensione provocata da Q_z vale: $s_{m,z,d} = M_z / W_y = 3,29 \text{ daN/cm}^2$

Devono essere rispettate entrambe le seguenti condizioni:

$s_{m,y,d} / f_{m,y,d} + K_m s_{m,z,d} / f_{m,z,d} < 1$

$K_m s_{m,y,d} / f_{m,y,d} + s_{m,z,d} / f_{m,z,d} < 1$

risultando:

$9,83 / 144 + 1 * 3,29 / 144 = 0,09 < 1$

$1 * 9,83 / 144 + 3,29 / 144 = 0,09 < 1$

LA SEZIONE E' VERIFICATA

Classe di durata del carico: istantanea. Di questa non si tiene conto essendo il carico del vento negativo.

VERIFICA A TAGLIO

Il taglio massimo, lungo l'asse principale della sezione y, si ottiene sotto la seconda combinazione dei carichi che fornisce:

$$V_y = Q_y L / 2 = 44,338 \text{ daN}$$

$$V_z = Q_z L / 2 = 165,707 \text{ daN}$$

Si calcolano le tensioni massime sollecitanti indotte dalle due componenti del taglio

$$t_y = 1,5 * Q_y / B * H = 0,208 \text{ daN}$$

$$t_z = 1,5 * Q_z / B * H = 0,777 \text{ daN}$$

$$\text{Resistenza caratteristica a taglio } f_{v,k} = 25,000 \text{ daN/cm}^2$$

$$\text{Valore di calcolo della resistenza a taglio } f_{v,d} = f_{v,k} * k_{mod} / 1,5 = 15 \text{ daN/cm}^2$$

La tensione tangenziale massima assoluta si ottiene come radice quadrata delle somme dei quadrati delle tensioni parziali ottenute in direzione y e z.

$$(t_y^2 / f_{v,d}^2 + t_z^2 / f_{v,d}^2) = 0,005$$

LA SEZIONE E' VERIFICATA

VERIFICA AGLI STATI LIMITI DI ESERCIZIO SLE

Il calcolo della freccia massima è effettuato con la formula:

$$u = (5/384 q l^4) / (EI)$$

valida per travi semplicemente appoggiate. Allo stato limite di esercizio si controlla che l'abbassamento della trave sia minore di valori ritenuti ammissibili. Il primo passo si effettua controllando che l'abbassamento istantaneo sotto la combinazione dei carichi rara sia minore o uguale a $l/300$. Il secondo controllo verifica che l'abbassamento massimo finale (a lungo termine) indotto dalla combinazione dei carichi quasi permanente sia minore di $l/200$.

Calcolo deformazione istantanea

La combinazione dei carichi rara (senza carico vento perchè negativo) è data da:

$$F_{qp} = G_k + G_{k1} + Q_E + Q_s * Y_{01}$$

$$G_k + G_{k1} = 27,46 \text{ daN/m}$$

$$Q_E = 45 \text{ daN/m}$$

$$Q_s * Y_{01} = 24 \text{ daN/m}$$

I dati della sezione sono:

$$\text{Momento d'inerzia lungo y: } I_y = 10.667 \text{ cm}^4$$

$$\text{Momento d'inerzia lungo z: } I_z = 6.827 \text{ cm}^4$$

$$\text{Modulo elastico medio: } E = 110.000 \text{ daN/cm}^2$$

I valori della freccia istantanea valgono:

$$W_{ist,G} = 0,013 \text{ cm}$$

$$W_{ist,QE} = 0,021 \text{ cm}$$

$$W_{ist,Qs} = 0,011 \text{ cm}$$

$$W_{ist,Qv} = 0 \text{ cm}$$

La deformazione istantanea $W_{ist} = 0,045 \text{ cm}$. Il valore della freccia di confronto è $d_i = 0,843 \text{ cm}$. Risultando $W_{ist} < l/300$ la trave si ritiene verificata.

Calcolo deformazione finale

La combinazione di carico da considerare è quella quasi permanente. Questa combinazione, essendo il carico dominante quello dovuto al carico di esercizio, in assenza di vento, vale:

$$F_{qp} = G_k + G_{k1} + Q_E Y_{21} + Q_s * Y_{21}$$

$$W_{ist} = W_{ist,G} + Y_{21} W_{ist,QE} + Y_{22} W_{ist,Qs}$$

dove:

Y_{2i} = Valore dei coefficienti di combinazione che in questo caso valgono entrambi zero.

La deformazione differita può quindi essere valutata moltiplicando la deformazione iniziale per un coefficiente k_{def} che tiene conto dell'aumento di deformazione nel tempo dovuto all'effetto combinato della viscosità e dell'umidità del materiale.

$$w_{diff} = w_{ist} k_{def}$$

E quindi la deformazione finale si può valutare come segue:

$$w_{fin} = w_{ist} + w_{diff} = w_{ist} + k_{def} w_{ist}$$

$$w_{fin} = w_{ist,G} (1 + k_{def}) + w_{ist,Q1} (1 + Y_{21} k_{def}) + w_{ist,Q2} (Y_{02} + Y_{22} k_{def}) + w_{ist,Q3} (Y_{03} + Y_{23} k_{def})$$

Il valore di k_{def} vale: 0,800

Sostituendo i numeri ai simboli si ha:

$$w_{fin} = 0,013(1+0,8) + 0,021(1+0,8) + 0,011(0,5+0,8) + 0(0,6+0,8) = \text{cm } 0,050$$

Il valore della freccia di confronto risulta di = 1,265 cm. Risultando $w_{fin} < l/200$ la trave si ritiene verificata.

VERIFICA TAVOLATO

I carichi gravanti sulla singola tavola, per metro di lunghezza, tenendo conto dell'interasse sono:

peso tavolato 40,950 daN/m

peso permanente 1,334 daN/m

peso neve 112,320 daN/m

Ai fini della verifica le azioni di calcolo agli stati limite ultimi i carichi gravitazionali si ricavano dalla seguente espressione:

$$F_d = g_g * G_k + g_{q1} * Q_{k1} + g_{q2} * [\sum (Q_{ki} * Y_{0i})]$$

dove:

G_k = Valore caratteristico dei carichi permanenti

Q_{k1} = Valore della azione variabile predominate

Q_{ki} = Valore delle azioni variabili

Y_{2i} = Valore dei coefficienti di combinazione

dove:

g_g = Coefficiente di maggiorazione per carichi permanenti = 1.30

g_{qi} = Coefficiente di maggiorazione per carichi variabili = 1.50

Il coefficiente di combinazione, che tiene in conto della probabilità che tutti i carichi agiscano contemporaneamente è fornito dalla tabella 2.5.I delle NTC.

Categoria	Y_{0j}	Y_{1j}	Y_{2j}
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota <= 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Categoria H - Coperture	0,0	0,0	0,0

Carico complessivo sulla trave

Nel caso specifico abbiamo carichi di diversa durata, pertanto dobbiamo fare riferimento a quello con la con la durata più breve per la determinazione della classe di durata. Sono infatti le sollecitazioni più elevate a causare il danneggiamento e quindi la rottura del materiale: queste sollecitazioni estreme sono presenti soltanto durante l'azione contemporanea di tutti i carichi previsti dalla combinazione considerata, che si verifica soltanto durante un lasso di tempo pari alla durata dell'azione di più breve durata fra quelle contenute nella combinazione considerata. La durata del carico influenza anche la resistenza del materiale per cui, a priori, non è possibile stabilire qual'è la

situazione di carico più onerosa. Nelle calcolazioni seguenti il coefficiente di maggiorazione dei carichi permanenti non strutturali è assunto pari a 1,3.

Combinazione dei carichi

Combinazione I Permanente

$$F_{dI} = 1,30 \cdot G_{k1} + 1,30 \cdot G_{k2}$$

$$1,3 \cdot 40,950 + 1,30 \cdot 1,334 = 54,969 \text{ daN/m}^2$$

Combinazione II Breve durata (con carico d'esercizio, neve senza vento)

Il carico variabile dominante è il carico d'esercizio. La formula di combinazione dei carichi diventa:

$$F_{dII} = g_g \cdot G_k + g_{g1} \cdot G_{k1} + g_{q1} \cdot Q_E + g_{q2} \cdot Y_{02} \cdot Q_s$$

$$F_{dII} = 1,30 \cdot 40,950 + 1,30 \cdot 1,334 + 1,50 \cdot 117,000 + 1,50 \cdot 112,320 \cdot 0,5 = 314,709 \text{ daN/m}^2$$

Combinazione III Durata istantanea (con carico d'esercizio, neve e vento)

Essendo il carico del vento negativo, a vantaggio della sicurezza, questa combinazione non viene considerata.

VERIFICA DEL TAVOLATO INFLESSO ALLO SLU

Le caratteristiche di resistenza della trave sono:

Luce della campata cm^3

$$W_y = 975 \text{ cm}^3$$

$$W_z = 45630 \text{ cm}^3$$

Resistenza caratteristica a flessione $f_{m,k} = 240 \text{ daN/cm}^2$

Classe di durata del carico: Permanente

Classe di esposizione: 2

Coefficiente correttivo $K_{mod} = 0,6$

Valore di calcolo a snervamento $f_{myd} = f_{m,k} \cdot K_{mod} / 1,5 = 96 \text{ daN/m}^2$

La trave è soggetta a flessione deviata nelle due direzioni principali y e z. I carichi nelle due direzioni valgono:

$$Q_y = 14,208 \text{ daN/m}$$

$$Q_z = 53,101 \text{ daN/m}$$

Essendo le travi semplicemente appoggiate agli estremi si hanno le seguenti caratteristiche di sollecitazioni:

$$M_{qy} = q_z l^2 / 8 = 0 \text{ daN}$$

$$M_{qz} = q_y l^2 / 8 = 0 \text{ daN}$$

La tensione provocata da Q_y vale: $s_{m,y,d} = M_y / W_z = \text{daN/cm}^2$

La tensione provocata da Q_z vale: $s_{m,z,d} = M_z / W_y = \text{daN/cm}^2$

Devono essere rispettate entrambe le seguenti condizioni:

$$s_{m,y,d} / f_{m,y,d} + K_m s_{m,z,d} / f_{m,z,d} < 1$$

$$K_m s_{m,y,d} / f_{m,y,d} + s_{m,z,d} / f_{m,z,d} < 1$$

risultando:

$$/ 96 + 1 \cdot / 96 = 0 < 1$$

$$1 \cdot / 96 + / 96 = 0 < 1$$

LA SEZIONE E' VERIFICATA

Classe di durata del carico: Breve durata

Classe di esposizione: 2

Coefficiente correttivo $K_{mod} = 0,9$

Valore di calcolo a snervamento $f_{myd} = f_{m,k} \cdot K_{mod} / 1,5 = 144 \text{ daN/m}^2$

La trave è soggetta a flessione deviata nelle due direzioni principali y e z. I carichi nelle due direzioni valgono:

$$Q_y = 81,345 \text{ daN/m}$$

$$Q_z = 304,014 \text{ daN/m}$$

Essendo le travi semplicemente appoggiate agli estremi si hanno le seguenti caratteristiche di sollecitazioni:

$$M_{qy} = q_y l^2 / 8 = 0 \quad \text{daN}$$

$$M_{qz} = q_z l^2 / 8 = 0 \quad \text{daN}$$

$$\text{La tensione provocata da } Q_y \text{ vale: } s_{m,y,d} = M_y / W_z = \text{daN/cm}^2$$

$$\text{La tensione provocata da } Q_z \text{ vale: } s_{m,z,d} = M_z / W_y = \text{daN/cm}^2$$

Devono essere rispettate entrambe le seguenti condizioni:

$$s_{m,y,d} / f_{m,y,d} + K_m s_{m,z,d} / f_{m,z,d} < 1$$

$$K_m s_{m,y,d} / f_{m,y,d} + s_{m,z,d} / f_{m,z,d} < 1$$

risultando:

$$/ 144 + 1 * / 144 = 0 < 1$$

$$1 * / 144 + / 144 = 0 < 1$$

LA SEZIONE E' VERIFICATA

Classe di durata del carico: istantanea. Di questa non si tiene conto essendo il carico del vento negativo.

VERIFICA A TAGLIO

Il taglio massimo, lungo l'asse principale della sezione y, si ottiene sotto la seconda combinazione dei carichi che fornisce:

$$V_y = Q_y L / 2 = 0,000 \quad \text{daN}$$

$$V_z = Q_z L / 2 = 0,000 \quad \text{daN}$$

Si calcolano le tensioni massime sollecitanti indotte dalle due componenti del taglio

$$t_y = 1,5 * Q_y / B * H = 0,000 \quad \text{daN}$$

$$t_z = 1,5 * Q_z / B * H = 0,000 \quad \text{daN}$$

$$\text{Resistenza caratteristica a taglio } f_{v,k} = 20,000 \quad \text{daN/cm}^2$$

$$\text{Valore di calcolo della resistenza a taglio } f_{v,d} = f_{v,k} * k_{mod} / 1,5 = 12 \quad \text{daN/cm}^2$$

La tensione tangenziale massima assoluta si ottiene come radice quadrata delle somme dei quadrati delle tensioni parziali ottenute in direzione y e z.

$$(t_y^2 / f_{v,d}^2 + t_z^2 / f_{v,d}^2) = 0,000$$

LA SEZIONE E' VERIFICATA

VERIFICA AGLI STATI LIMITI DI ESERCIZIO SLE

Il calcolo della freccia massima è effettuato con la formula:

$$u = (5/384 q l^4 / (EI))$$

valida per travi semplicemente appoggiate. Allo stato limite di esercizio si controlla che l'abbassamento della trave sia minore di valori ritenuti ammissibili. Il primo passo si effettua controllando che l'abbassamento istantaneo sotto la combinazione dei carichi rara sia minore o uguale a l/300. Il secondo controllo verifica che l'abbassamento massimo finale (a lungo termine) indotto dalla combinazione dei carichi quasi permanente sia minore di l/200.

Calcolo deformazione istantanea

La combinazione dei carichi rara (senza carico vento perchè negativo) è data da:

$$F_{qp} = G_k + G_{k1} + Q_E + Q_s * Y_{01}$$

$$G_k + G_{k1} = 42,28 \quad \text{daN/m}$$

$$Q_E = 117 \text{ daN/m}$$

$$Q_s * Y_{01} = 24 \quad \text{daN/m}$$

I dati della sezione sono:

$$\text{Momento d'inerzia lungo y: } I_y = 2.438 \text{ cm}^4$$

$$\text{Momento d'inerzia lungo z: } I_z = 5.338.710 \text{ cm}^4$$

$$\text{Modulo elastico medio: } E = 110.000 \text{ daN/cm}^2$$

I valori della freccia istantanea valgono:

$$W_{ist, G} = 0 \text{ cm}; W_{ist, Q_E} = 0 \text{ cm}; W_{ist, Q_s} = 0 \text{ cm}; W_{ist, Q_v} = 0 \text{ cm}$$

La deformazione istantanea $W_{ist} = 0$ cm. Il valore della freccia di confronto è di $= 0,000$ cm. Risultando $W_{ist} < l/300$ la trave si ritiene verificata.

Calcolo deformazione finale

La combinazione di carico da considerare è quella quasi permanente. Questa combinazione, essendo il carico dominante quello dovuto al carico di esercizio, in assenza di vento, vale:

$$F_{qp} = G_k + G_{k1} + Q_{E1} Y_{21} + Q_{S1} Y_{21}$$

$$W_{ist} = W_{ist,G} + Y_{21} W_{ist,QE} + Y_{22} W_{ist,Qs}$$

dove:

Y_{2i} = Valore dei coefficienti di combinazione che in questo caso valgono entrambi zero.

La deformazione differita può quindi essere valutata moltiplicando la deformazione iniziale per un coefficiente k_{def} che tiene conto dell'aumento di deformazione nel tempo dovuto all'effetto combinato della viscosità e dell'umidità del materiale.

$$W_{diff} = W_{ist} k_{def}$$

E quindi la deformazione finale si può valutare come segue:

$$W_{fin} = W_{ist} + W_{diff} = W_{ist} + k_{def} W_{ist}$$

$$W_{fin} = W_{ist,G} (1 + k_{def}) + W_{ist,Q1} (1 + Y_{21} k_{def}) + W_{ist,Q2} (Y_{02} + Y_{22} k_{def}) + W_{ist,Q3} (Y_{03} + Y_{23} k_{def})$$

Il valore di k_{def} vale: 0,800

Sostituendo i numeri ai simboli si ha:

$$W_{fin} = 0(1+0,8) + 0(1+0 \cdot 0,8) + 0(0,5+0 \cdot 0,8) + 0(0,6+0 \cdot 0,8) = \text{cm } 0,000$$

Il valore della freccia di confronto risulta di $= 0,000$ cm. Risultando $W_{fin} < l/200$ la trave si ritiene verificata.