

Unione Europea  
REPUBBLICA ITALIANA



**REGIONE SICILIANA**  
**Assessorato delle Infrastrutture e della Mobilità**  
**Dipartimento regionale Tecnico**

Servizio 5  
Espletamento di Servizi di Ingegneria di competenza Regionale  
e/o per conto di Enti Locali  
(per le provincie di Palermo, Caltanissetta, Agrigento, Trapani)

Comune di Polizzi Generosa  
Intervento di ristrutturazione e riqualificazione dell'immobile di interesse storico artistico-monumentale  
"Masseria Verbumcaudo"  
PROGETTO ESECUTIVO

CUP: G39D22000010001

CIG:



Elaborati	Strutture	Scala Disegno
ST.01	Relazione di calcolo interventi strutturali	
		Rev. 00
Data Emissione	12/04/2023	
Visti e pareri		Tavola
		31

**PROGETTISTI**

arch. Gaetano Colletti  
arch. Gabriella Catarinicchia  
arch. Vittorio Primo Falletta

**CALCOLI STRUTTURALI**

arch. Gaetano Colletti  
Coordinatore per la sicurezza  
arch. Vittorio Primo Falletta

IL R.U.P.  
ing. Giuseppe Pirrello

## **CLASSIFICAZIONE DELL'INTERVENTO AI SENSI DELLE NTC 2018**

Tutti gli interventi previsti nell'ambito di questo progetto, ricadono nell'ambito degli interventi di tipo: riparazione o interventi locali; di cui al Capitolo 8.4.1 delle NTC 2018 e Capitolo C8.4.1 della relativa Circolare applicativa del 21 gennaio 2019, n.7/C.S.LL.PP.

In tale categoria rientrano gli interventi di ripristino, rinforzo o sostituzione degli elementi strutturali o parti di essi non adeguati alla funzione che devono svolgere (interventi in copertura) o, anche di modifiche di parti limitate della struttura accompagnate da opportuni rinforzi (aperture di vani nelle pareti).

I calcoli strutturali relativi sono stati eseguiti con il programma PRO\_ILC – interventi locali e particolari costruttivi (build 2021.01.001) della casa di software 2S.I. - con licenza free.

# LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO

Località: Verbumcaudo (Polizzi Generosa – PA)

Provincia: PALERMO

Regione: SICILIA

Coordinate GPS:

Latitudine : 37,65400 N

Longitudine: 13,84300 E

Altitudine s.l.m.: 620,0 m

## CALCOLO DELLE AZIONI DELLA NEVE E DEL VENTO

Normativa di riferimento:

D.M. 17 gennaio 2018 - NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

Cap. 3 - AZIONI SULLE COSTRUZIONI - Par. 3.3 e 3.4

### NEVE:

Zona Neve = III

Periodo di ritorno,  $T_r = 50$  anni

Ctr = 1 per  $T_r = 50$  anni

Ce (coeff. di esposizione al vento) = 0,90

Valore caratteristico del carico al suolo =  $q_{sk} C_e C_{tr} = 122$  daN/mq

#### Copertura a più falde:

Angolo di inclinazione della falda  $\alpha_1 = 19,0^\circ$

$\mu_1(\alpha_1) = 0,80 \Rightarrow Q_1 = 98$  daN/mq

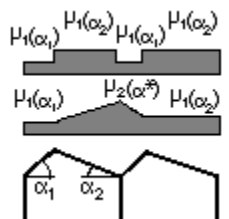
Angolo di inclinazione della falda  $\alpha_2 = 19,0^\circ$

$\mu_1(\alpha_2) = 0,80 \Rightarrow Q_2 = 98$  daN/mq

$\alpha^* = (\alpha_1 + \alpha_2) / 2 = 19,0^\circ$

$\mu_2(\alpha^*) = 1,31 \Rightarrow Q_2^* = 160$  daN/mq

Schema di carico:



### VENTO:

Zona vento = 4

Velocità base della zona,  $V_{b.o} = 28$  m/s (Tab. 3.3.I)

Altitudine base della zona,  $A_o = 500$  m (Tab. 3.3.I)

Altitudine del sito,  $A_s = 620$  m

$K_a = 0,360$  (Tab. 3.3.I)

Velocità di riferimento,  $V_b = V_{b.o} (1 + K_a (A_s/A_o - 1)) = 30,42$  m/s

Periodo di ritorno,  $T_r = 50$  anni

$C_r = 1$  per  $T_r = 50$  anni

Velocità riferita al periodo di ritorno di progetto,  $V_r = V_b C_r = 30,42$  m/s

Classe di rugosità del terreno: D

[Aree prive di ostacoli o con al di più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)]

Esposizione: Cat. II - Entroterra fino a 500 m di altitudine

(  $K_r = 0,19$ ;  $Z_o = 0,05$  m;  $Z_{min} = 4$  m )

Pressione cinetica di riferimento,  $q_b = 58$  daN/mq

Coefficiente di forma,  $C_p = 1,00$

Coefficiente dinamico,  $C_d = 1,00$

Coefficiente di esposizione,  $C_e = 2,04$

Coefficiente di esposizione topografica,  $C_t = 1,00$

Altezza dell'edificio,  $h = 6,00$  m

Pressione del vento,  $p = q_b C_e C_p C_d = 118$  daN/mq

## TEMPERATURA DELL'ARIA ESTERNA:

Zona: IV

$T_{min} = -7.58^\circ$  [NTC 3.5.7]

$T_{max} = 40.76^\circ$  [NTC 3.5.8]

# Verifica di un tetto in legno a orditura semplice con luce m 4,70 (misurata in proiezione orizzontale)

## Dati generali:

Normativa di riferimento: DM 14/01/2008 NTC

Classe di servizio 1 - (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.)

Categoria carichi variabili: Neve (alt. s.l.m. =< 1000 m)

## Dati geometrici:

Dimensioni delle travi in legno: B x H = 14.0 x 18.0 cm, interasse: i = 70.0 cm

A = 252.0 cm<sup>2</sup>, Wx = 756.0 cm<sup>3</sup>, Jx = 6804.0 cm<sup>4</sup>

Luce di calcolo: L = 497.1 cm

Spessore tavolato in legno: tw = 3.0 cm

Angolo inclinazione della falda  $\alpha = 19.0^\circ$

## Materiali:

Legno travi:

Classe: GL24h UNI-EN 14080:2013 (lamellare)

Massa volumica caratteristica:  $\rho_k = 385.0 \text{ kg/mc}$

Peso per unità di volume:  $\gamma_{\text{legno}} = 420.0 \text{ daN/mc}$

Modulo elastico medio:  $E_m = 115000.0 \text{ daN/cm}^2$

Modulo elastico tangenziale medio:  $G_m = 6500.0 \text{ daN/cm}^2$

Moduli elastici per deformazioni a lungo termine:

Classe di servizio 1:  $K_{\text{def}} = 0.6$

$E_{m,\text{fin}} = E_m / (1 + K_{\text{def}}) = 71875.0 \text{ daN/cm}^2$

$G_{m,\text{fin}} = G_m / (1 + K_{\text{def}}) = 4062.5 \text{ daN/cm}^2$

$\gamma_m = 1.45$

$K_h = 1.100$

$K_{\text{cf}} = 1.00$

## Resistenze caratteristiche:

Flessione:  $f_{mk} = 240.0 \text{ daN/cm}^2$

Taglio:  $f_{vk} = 35.0 \text{ daN/cm}^2$

Trazione:  $f_{tk} = 192.0 \text{ daN/cm}^2$

## Resistenze di calcolo:

Con durata dei carichi variabili permanenti (maggiore di 10 anni)

$K_{\text{mod}} = 0.600$

Resistenza a flessione:  $f_{md} = (f_{mk} K_h K_{\text{mod}}) / \gamma_m = 109.24 \text{ daN/cm}^2$

Resistenza a taglio:  $f_{vd} = (f_{vk} K_{\text{mod}}) / \gamma_m = 14.48 \text{ daN/cm}^2$

Resistenza a trazione:  $f_{td} = (f_{tk} K_h K_{\text{mod}}) / \gamma_m = 87.39 \text{ daN/cm}^2$

## Per soli carichi permanenti:

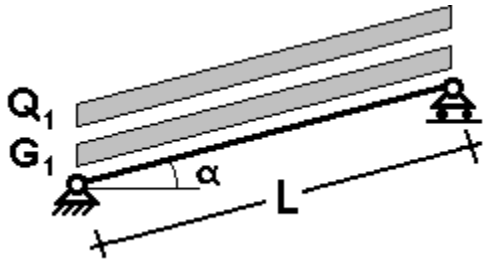
$K_{\text{mod}} = 0.600$

Resistenza a flessione:  $f_{pmd} = (f_{mk} K_h K_{\text{mod}}) / \gamma_m = 109.24 \text{ daN/cm}^2$

Resistenza a taglio:  $f_{pvd} = (f_{vk} K_{\text{mod}}) / \gamma_m = 14.48 \text{ daN/cm}^2$

Resistenza a trazione:  $f_{ptd} = (f_{tk} K_h K_{\text{mod}}) / \gamma_m = 87.39 \text{ daN/cm}^2$

## Schema statico:



Analisi dei carichi:

Carichi permanenti:

- tavolato in legno	12,6 daN/mq
$g_1 =$	12,6 daN/mq

$g_1 \times \text{interasse travi}$	8.8 daN/m
peso proprio trave	10.6 daN/m
$G_1 =$	19.4 daN/m

Carichi permanenti non strutturali:

- copertura in coppi	70,0 daN/mq
- impermeabilizzazione+coibentazione	15,0 daN/mq
$g_2 =$	85,0 daN/mq

$G_2 = g_2 \times \text{interasse travi (0.70 m)}$	59.5 daN/m
--	------------

Carichi variabili:

$q = \text{carico da neve}$	122,0 daN/mq
$Q_1 = q \times \text{interasse travi}$	85.4 daN/m

Verifiche delle travi in legno:

Combinazione di carico: permanenti + variabili ( $K_{mod} = 0.600$ )

$$Q = G_1 \gamma_{g1} + G_2 \gamma_{g2} + Q_1 \gamma_{q1} = 242.58 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \quad \gamma_{g2} = 1.50; \quad \gamma_{q1} = 1.50)$$

Verifica a flessione:

$$M = (Q L^2) / 8 = 74928.0 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_w = M / W_x = 99.1 \text{ daN/cm}^2 < f_{md} = 109.24 \text{ daN/cm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Verifica a taglio:

$$V = (Q L) / 2 = 602.9 \text{ daN}$$

$$\tau_w = 1,5 V / A = 3.6 \text{ daN/cm}^2 < f_{vd} = 14.48 \text{ daN/cm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Combinazione di carico: soli carichi permanenti ( $K_{mod} = 0.600$ )

$$Q = G_1 \gamma_{g1} + G_2 \gamma_{g2} = 114.48 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \quad \gamma_{g2} = 1.50)$$

Verifica a flessione:

$$M = (Q L^2) / 8 = 35359.7 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_w = M / W_x = 46.8 \text{ daN/cm}^2 < f_{pmd} = 109.24 \text{ daN/cm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Verifica a taglio:

$$V = (Q L) / 2 = 284.5 \text{ daN}$$

$$\tau_w = 1,5 V / A = 1.7 \text{ daN/cm}^2 < f_{pvd} = 14.48 \text{ daN/cm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Frecce in esercizio:

Deformazione istantanea per effetto dei carichi permanenti:

$$G_k = G_1 + G_2 = 78.90 \text{ daN/m}$$

$$U_{1i} = ((5 G_k L^4) / (384 E_m J_x)) + ((1.2 G_k L^2) / (8 G_m A)) = 8.196 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea per effetto dei carichi variabili:

$$U_{2i} = ((5 Q_1 L^4) / (384 E_m J_x)) + ((1.2 Q_1 L^2) / (8 G_m A)) = 8.871 \text{ mm}$$

Deformazione finale per effetto dei carichi permanenti + variabili:

$$U_{fin} = U_{1i} (1 + K_{def}) + U_{2i} (1 + \psi/2 K_{def}) = 21.985 \text{ mm} \quad (K_{def} = 0.600, \quad \psi/2 = 0.00):$$

Verifiche di deformazione:

$$U_{2i} / L = 1 / 560 < 1 / 300 \quad (\text{Ok})$$

$$U_{fin} / L = 1 / 226 < 1 / 200 \quad (\text{Ok})$$

# Verifica di un tetto in legno a orditura semplice con luce m 5,30 (misurata in proiezione orizzontale)

## Dati generali:

Normativa di riferimento: DM 14/01/2008 NTC

Classe di servizio 1 - (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.)

Categoria carichi variabili: Neve (alt. s.l.m.  $\leq$  1000 m)

## Dati geometrici:

Dimensioni delle travi in legno: B x H = 16.0 x 20.0 cm, interasse: i = 70.0 cm

A = 320.0 cm<sup>2</sup>, W<sub>x</sub> = 1066.7 cm<sup>3</sup>, J<sub>x</sub> = 10666.7 cm<sup>4</sup>

Luce di calcolo: L = 560.5 cm

Spessore tavolato in legno: t<sub>w</sub> = 3.0 cm

Angolo inclinazione della falda  $\alpha$  = 19.0°

## Materiali:

Legno travi:

Classe: GL24h UNI-EN 14080:2013 (lamellare)

Massa volumica caratteristica:  $\rho_k$  = 385.0 kg/mc

Peso per unità di volume:  $\gamma_{\text{legno}}$  = 420.0 daN/mc

Modulo elastico medio: E<sub>m</sub> = 115000.0 daN/cm<sup>2</sup>

Modulo elastico tangenziale medio: G<sub>m</sub> = 6500.0 daN/cm<sup>2</sup>

Moduli elastici per deformazioni a lungo termine:

Classe di servizio 1: K<sub>def</sub> = 0.6

E<sub>m,fin</sub> = E<sub>m</sub> / (1 + K<sub>def</sub>) = 71875.0 daN/cm<sup>2</sup>

G<sub>m,fin</sub> = G<sub>m</sub> / (1 + K<sub>def</sub>) = 4062.5 daN/cm<sup>2</sup>

$\gamma_m$  = 1.45

K<sub>h</sub> = 1.100

K<sub>cf</sub> = 1.00

## Resistenze caratteristiche:

Flessione: f<sub>mk</sub> = 240.0 daN/cm<sup>2</sup>

Taglio: f<sub>vk</sub> = 35.0 daN/cm<sup>2</sup>

Trazione: f<sub>t0k</sub> = 192.0 daN/cm<sup>2</sup>

## Resistenze di calcolo:

Con durata dei carichi variabili permanenti (maggiore di 10 anni)

K<sub>mod</sub> = 0.600

Resistenza a flessione: f<sub>md</sub> = (f<sub>mk</sub> K<sub>h</sub> K<sub>mod</sub>) /  $\gamma_m$  = 109.24 daN/cm<sup>2</sup>

Resistenza a taglio: f<sub>vd</sub> = (f<sub>vk</sub> K<sub>mod</sub>) /  $\gamma_m$  = 14.48 daN/cm<sup>2</sup>

Resistenza a trazione: f<sub>t0d</sub> = (f<sub>t0k</sub> K<sub>h</sub> K<sub>mod</sub>) /  $\gamma_m$  = 87.39 daN/cm<sup>2</sup>

## Per soli carichi permanenti:

K<sub>mod</sub> = 0.600

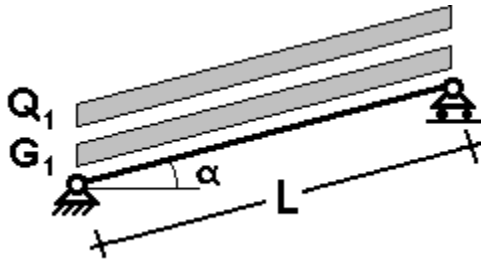
Resistenza a flessione: f<sub>pmd</sub> = (f<sub>mk</sub> K<sub>h</sub> K<sub>mod</sub>) /  $\gamma_m$  = 109.24 daN/cm<sup>2</sup>

Resistenza a taglio: f<sub>pvd</sub> = (f<sub>vk</sub> K<sub>mod</sub>) /  $\gamma_m$  = 14.48 daN/cm<sup>2</sup>

Resistenza a trazione: f<sub>pt0d</sub> = (f<sub>t0k</sub> K<sub>h</sub> K<sub>mod</sub>) /  $\gamma_m$  = 87.39 daN/cm<sup>2</sup>

## Schema statico:





Analisi dei carichi:

Carichi permanenti:

- tavolato in legno	12,6 daN/mq
$g_1 =$	12,6 daN/mq

$g_1 \times \text{interasse travi}$	8.8 daN/m
peso proprio trave	13.4 daN/m
$G_1 =$	22.3 daN/m

Carichi permanenti non strutturali:

- copertura in coppi	70,0 daN/mq
- impermeabilizzazione+coibentazione	15,0 daN/mq
$g_2 =$	85,0 daN/mq

$G_2 = g_2 \times \text{interasse travi (0.70 m)}$	59.5 daN/m
--	------------

Carichi variabili:

$q = \text{carico da neve}$	122,0 daN/mq
$Q_1 = q \times \text{interasse travi}$	85.4 daN/m

Verifiche delle travi in legno:

Combinazione di carico: permanenti + variabili ( $K_{mod} = 0.600$ )

$$Q = G_1 \gamma_{g1} + G_2 \gamma_{g2} + Q_1 \gamma_{q1} = 246.29 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \quad \gamma_{g2} = 1.50; \quad \gamma_{q1} = 1.50)$$

Verifica a flessione:

$$M = (Q L^2) / 8 = 96717.4 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_w = M / W_x = 90.7 \text{ daN/cm}^2 < f_{md} = 109.24 \text{ daN/cm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Verifica a taglio:

$$V = (Q L) / 2 = 690.2 \text{ daN}$$

$$\tau_w = 1,5 V / A = 3.2 \text{ daN/cm}^2 < f_{vd} = 14.48 \text{ daN/cm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Combinazione di carico: soli carichi permanenti ( $K_{mod} = 0.600$ )

$$Q = G_1 \gamma_{g1} + G_2 \gamma_{g2} = 118.19 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \quad \gamma_{g2} = 1.50)$$

Verifica a flessione:

$$M = (Q L^2) / 8 = 46412.5 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_w = M / W_x = 43.5 \text{ daN/cm}^2 < f_{pmd} = 109.24 \text{ daN/cm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Verifica a taglio:

$$V = (Q L) / 2 = 331.2 \text{ daN}$$

$$\tau_w = 1,5 V / A = 1.6 \text{ daN/cm}^2 < f_{pvd} = 14.48 \text{ daN/cm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Frecce in esercizio:

Deformazione istantanea per effetto dei carichi permanenti:

$$G_k = G_1 + G_2 = 81.76 \text{ daN/m}$$

$$U_{1i} = ((5 G_k L^4) / (384 E_m J_x)) + ((1.2 G_k L^2) / (8 G_m A)) = 8.751 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea per effetto dei carichi variabili:

$$U_{2i} = ((5 Q_1 L^4) / (384 E_m J_x)) + ((1.2 Q_1 L^2) / (8 G_m A)) = 9.140 \text{ mm}$$

Deformazione finale per effetto dei carichi permanenti + variabili:

$$U_{fin} = U_{1i} (1 + K_{def}) + U_{2i} (1 + \psi/2 K_{def}) = 23.142 \text{ mm} \quad (K_{def} = 0.600, \quad \psi/2 = 0.00):$$

Verifiche di deformazione:

$$U_{2i} / L = 1 / 613 < 1 / 300 \quad (\text{Ok})$$

$$U_{fin} / L = 1 / 242 < 1 / 200 \quad (\text{Ok})$$

# Verifica di un tetto in legno a orditura semplice con luce m 5,96 (misurata in proiezione orizzontale)

## Dati generali:

Normativa di riferimento: DM 14/01/2008 NTC

Classe di servizio 1 - (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.)

Categoria carichi variabili: Neve (alt. s.l.m.  $\leq$  1000 m)

## Dati geometrici:

Dimensioni delle travi in legno: B x H = 14.0 x 24.0 cm, interasse: i = 70.0 cm

A = 336.0 cm<sup>2</sup>, Wx = 1344.0 cm<sup>3</sup>, Jx = 16128.0 cm<sup>4</sup>

Luce di calcolo: L = 630.3 cm

Spessore tavolato in legno: tw = 3.0 cm

Angolo inclinazione della falda  $\alpha$  = 19.0°

## Materiali:

Legno travi:

Classe: GL24h UNI-EN 14080:2013 (lamellare)

Massa volumica caratteristica:  $\rho_k$  = 385.0 kg/mc

Peso per unità di volume:  $\gamma_{\text{legno}}$  = 420.0 daN/mc

Modulo elastico medio:  $E_m$  = 115000.0 daN/cm<sup>2</sup>

Modulo elastico tangenziale medio:  $G_m$  = 6500.0 daN/cm<sup>2</sup>

Moduli elastici per deformazioni a lungo termine:

Classe di servizio 1: Kdef = 0.6

$E_{m,fin}$  =  $E_m / (1 + K_{def})$  = 71875.0 daN/cm<sup>2</sup>

$G_{m,fin}$  =  $G_m / (1 + K_{def})$  = 4062.5 daN/cm<sup>2</sup>

$\gamma_m$  = 1.45

Kh = 1.096

Kcf = 1.00

## Resistenze caratteristiche:

Flessione:  $f_{mk}$  = 240.0 daN/cm<sup>2</sup>

Taglio:  $f_{vk}$  = 35.0 daN/cm<sup>2</sup>

Trazione:  $f_{tk}$  = 192.0 daN/cm<sup>2</sup>

## Resistenze di calcolo:

Con durata dei carichi variabili permanenti (maggiore di 10 anni)

Kmod = 0.600

Resistenza a flessione:  $f_{md} = (f_{mk} K_h K_{mod}) / \gamma_m$  = 108.84 daN/cm<sup>2</sup>

Resistenza a taglio:  $f_{vd} = (f_{vk} K_{mod}) / \gamma_m$  = 14.48 daN/cm<sup>2</sup>

Resistenza a trazione:  $f_{td} = (f_{tk} K_h K_{mod}) / \gamma_m$  = 87.07 daN/cm<sup>2</sup>

## Per soli carichi permanenti:

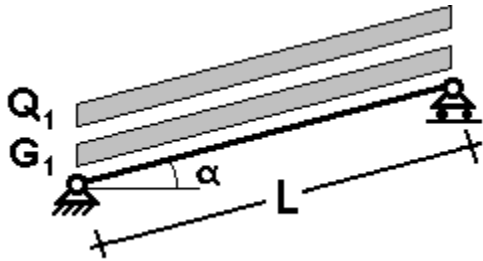
Kmod = 0.600

Resistenza a flessione:  $f_{pmd} = (f_{mk} K_h K_{mod}) / \gamma_m$  = 108.84 daN/cm<sup>2</sup>

Resistenza a taglio:  $f_{pvd} = (f_{vk} K_{mod}) / \gamma_m$  = 14.48 daN/cm<sup>2</sup>

Resistenza a trazione:  $f_{ptd} = (f_{tk} K_h K_{mod}) / \gamma_m$  = 87.07 daN/cm<sup>2</sup>

## Schema statico:



Analisi dei carichi:

Carichi permanenti:

- tavolato in legno	12,6 daN/mq
$g_1 =$	12,6 daN/mq

$g_1 \times \text{interasse travi}$	8.8 daN/m
peso proprio trave	14.1 daN/m
$G_1 =$	22.9 daN/m

Carichi permanenti non strutturali:

- copertura in coppi	70,0 daN/mq
- impermeabilizzazione+coibentazione	15,0 daN/mq
$g_2 =$	85,0 daN/mq

$G_2 = g_2 \times \text{interasse travi (0.70 m)}$	59.5 daN/m
--	------------

Carichi variabili:

$q = \text{carico da neve}$	122,0 daN/mq
$Q_1 = q \times \text{interasse travi}$	85.4 daN/m

Verifiche delle travi in legno:

Combinazione di carico: permanenti + variabili ( $K_{mod} = 0.600$ )

$$Q = G_1 \gamma_{g1} + G_2 \gamma_{g2} + Q_1 \gamma_{q1} = 247.16 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \quad \gamma_{g2} = 1.50; \quad \gamma_{q1} = 1.50)$$

Verifica a flessione:

$$M = (Q L^2) / 8 = 122739.9 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_w = M / W_x = 91.3 \text{ daN/cm}^2 < f_{md} = 108.84 \text{ daN/cm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Verifica a taglio:

$$V = (Q L) / 2 = 778.9 \text{ daN}$$

$$\tau_w = 1,5 V / A = 3.5 \text{ daN/cm}^2 < f_{vd} = 14.48 \text{ daN/cm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Combinazione di carico: soli carichi permanenti ( $K_{mod} = 0.600$ )

$$Q = G_1 \gamma_{g1} + G_2 \gamma_{g2} = 119.06 \text{ daN/m} \quad (\gamma_{g1} = 1.30; \quad \gamma_{g2} = 1.50)$$

Verifica a flessione:

$$M = (Q L^2) / 8 = 59125.7 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_w = M / W_x = 44.0 \text{ daN/cm}^2 < f_{pmd} = 108.84 \text{ daN/cm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Verifica a taglio:

$$V = (Q L) / 2 = 375.2 \text{ daN}$$

$$\tau_w = 1,5 V / A = 1.7 \text{ daN/cm}^2 < f_{pvd} = 14.48 \text{ daN/cm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Frecce in esercizio:

Deformazione istantanea per effetto dei carichi permanenti:

$$G_k = G_1 + G_2 = 82.43 \text{ daN/m}$$

$$U_{1i} = ((5 G_k L^4) / (384 E_m J_x)) + ((1.2 G_k L^2) / (8 G_m A)) = 9.359 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea per effetto dei carichi variabili:

$$U_{2i} = ((5 Q_1 L^4) / (384 E_m J_x)) + ((1.2 Q_1 L^2) / (8 G_m A)) = 9.696 \text{ mm}$$

Deformazione finale per effetto dei carichi permanenti + variabili:

$$U_{fin} = U_{1i} (1 + K_{def}) + U_{2i} (1 + \psi/2 K_{def}) = 24.669 \text{ mm} \quad (K_{def} = 0.600, \quad \psi/2 = 0.00):$$

Verifiche di deformazione:

$$U_{2i} / L = 1 / 650 < 1 / 300 \quad (\text{Ok})$$

$$U_{fin} / L = 1 / 255 < 1 / 200 \quad (\text{Ok})$$

# SETTO MURARIO 1

## ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

**Programma:** PRO\_CAD Interventi locali - Verifica cerchiature  
software per verifica e progetto di aperture di vani in setti murari.  
**Produttore:** 2si - Software e Servizi per l'Ingegneria srl  
Via G. Garibaldi 90 - 44121 Ferrara  
**Versione:** 2020.12.0019f  
**Licenza:** Gratuita

## MATERIALI

Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)  
Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019  
 $f_m$  - resistenza compressione [daN/cm<sup>2</sup>]: 14.00 (min.), 22.00 (max.)  
 $\tau_o$  - resistenza a taglio [daN/cm<sup>2</sup>]: 0.28 (min.), 0.42 (max.)  
E - modulo elastico [daN/cm<sup>2</sup>]: 9000.0 (min.), 12600.0 (max.)  
G - modulo el. tang. [daN/cm<sup>2</sup>]: 3000.0 (min.), 4200.0 (max.)

Essendo il livello di conoscenza LC1 (Limitata) si utilizzano i valori medi per i moduli elastici e i valori minimi per la resistenza.

### Valori di riferimento:

$f_m$  - resistenza compressione = 14.00 daN/cm<sup>2</sup>

$\tau_o$  - resistenza a taglio = 0.28 daN/cm<sup>2</sup>

E - modulo elastico = 10800.0 daN/cm<sup>2</sup>

G - modulo el. tang. = 3600.0 daN/cm<sup>2</sup>

$\gamma_m$  = peso specifico = 1500.0 daN/mc

### Valori di progetto:

Fattore confidenza FC = 1.35

Coef. parz. sic.  $\gamma_M$  = 2.00 (4.5.6.1)

$f_m$  = 5.19 daN/cm<sup>2</sup>

$\tau_o$  = 0.10 daN/cm<sup>2</sup>

Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00

E = 5400 daN/cm<sup>2</sup>

G = 1800 daN/cm<sup>2</sup>

### Fattori correttivi (tab. C8.5.II Circ.n.7/2019)

- Malta buona
- Ricorsi o listature
- Connessione trasversale
- Ristillatura armata con connessione dei paramenti

### Valori di progetto ante-operam:

$f_m$  = 10.11 daN/cm<sup>2</sup>

$\tau_o$  = 0.20 daN/cm<sup>2</sup>

E = 8100 daN/cm<sup>2</sup>

**G = 2700 daN/cm<sup>q</sup>**

**Valori di progetto post-operam:**

**f<sub>m</sub> = 11.12 daN/cm<sup>q</sup>**

**τ<sub>o</sub> = 0.22 daN/cm<sup>q</sup>**

**E = 8910 daN/cm<sup>q</sup>**

**G = 2970 daN/cm<sup>q</sup>**

**Materiali del telaio**

Acciaio	f <sub>yk</sub> [daN/cm <sup>q</sup> ]	f <sub>tk</sub> [daN/cm <sup>q</sup> ]	E [daN/cm <sup>q</sup> ]	G [daN/cm <sup>q</sup> ]	γ <sub>a</sub> [kg/mc]
S 275	2750.0	4300.0	2100000.0	807692.0	7850.0

**Sezioni in acciaio del telaio**

Profilo	B [cm]	H [cm]	W <sub>x</sub> [cm <sup>3</sup> ]	W <sub>px</sub> [cm <sup>3</sup> ]	W <sub>y</sub> [cm <sup>3</sup> ]	W <sub>py</sub> [cm <sup>3</sup> ]	Area [cm <sup>2</sup> ]	Peso [kg/m]
HE140A	14.0	13.3	155.4	173.6	55.6	84.9	31.4	24.68

## **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

1. D.M. 17 gennaio 2018 e allegate 'Norme tecniche per le costruzioni'.
2. Circolare 21/01/2019 n. 7 / CSLLPP Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle 'Norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018

## **METODOLOGIA DI VERIFICA**

L'apertura di un vano in una parete muraria accompagnata da opportuni rinforzi è previsto, come 'intervento locale', nella Circolare n.7 / 2019 CSLLPP al punto C8.4.1.

Le verifiche possono essere eseguite limitandosi a valutazioni numeriche relative alla sola parete interessata dall'intervento solo a condizione che si dimostri che la rigidezza dell'elemento variato non cambi significativamente e che la resistenza non peggiori ai fini del comportamento rispetto alle azioni orizzontali.

Una variazione significativa della rigidezza delle pareti muterebbe il comportamento globale della struttura e pertanto non risulterebbe sufficiente la verifica locale.

La verifica risulta positiva quando la resistenza alle forze orizzontali V post-operam risultano maggiori o uguali a quelle ante-operam, con variazioni di rigidezza non sostanziali (+/- 15.00%).

Il calcolo di V viene svolto secondo i due seguenti criteri:

1 - criterio di rottura per fessurazione diagonale

Nel caso di muratura non armata in cui la rottura del pannello è di tipo fragile e caratterizzata da lesioni diagonali a 45° l'azione tagliente ultima è determinabile, come specificato nella Circolare n. 7 / 2019 CSLLPP al punto C8.7.1.16, con la seguente relazione:

$$V_t = (L T f_{td} / b) (1 + \sigma_o / f_{td})^{1/2}$$

dove i simboli hanno il seguente significato:

L = Lunghezza del pannello murario

T = Spessore del pannello murario

f<sub>td</sub> = Resistenza di calcolo a trazione per fessurazione diagonale della muratura = 1,5 τ<sub>o</sub>

σ<sub>o</sub> = Tensione normale media riferita all'area totale della base del setto

**b** = Coefficiente correttivo legato alla distribuzione degli sforzi sulla sezione, dipendente dalla snellezza della parete. Si può assumere  $b = H / L$ , comunque non superiore a 1,5 e non inferiore a 1, dove **H** è l'altezza del pannello

**2 - criterio di rottura per pressoflessione**

$$V_{pf} = (L^2 T \sigma_o / 2) (1 - \sigma_o / 0,85 f_d) / (H / 2)$$

dove  $f_d$  = Resistenza di calcolo a compressione della muratura

La rigidezza del singolo pannello murario **K** viene valutata con la seguente relazione:

$$K = 1 / (H^3 / n E J + 1.2 H / G A)$$

dove i simboli hanno il seguente significato:

**E, G** moduli di elasticità normale e tangenziale della muratura

**J** momento di inerzia del maschio murario =  $T L^3 / 12$

**n** coefficiente relativo al grado di vincolo offerto dal traverso superiore.

In questo caso  $n = 12$  (presenza di cordolo rigido => schema incastro scorrevole).

**A** area del maschio murario =  $T L$

**H** altezza deformabile = altezza del piano (parete senza fasce murarie rigide)

La rigidezza complessiva risulterà dalla sommatoria dei contributi dei singoli maschi murari che formano la parete.

La resistenza ultima a taglio verrà calcolata in base alla curva caratteristica del diagramma  $V-\delta$

## **TELAIO DI CERCHIATURA DELLE APERTURE**

Definendo:

$\Delta K = K_{sa} - K_{pr}$  (carenza di rigidezza della muratura a seguito dell'intervento)

il telaio, per poter sopperire a tale carenza dovrà avere una rigidezza  $K_t$  maggiore o uguale a  $\Delta K$

La rigidezza del telaio è data dalla sommatoria delle rigidezze dei singoli montanti costituenti la cerchiatura.

Rigidezza del montante  $K_i = n E J / H^3$  con  $n$  che dipende dal vincolo alla base (3 cerniera, 12 incastro)

La rigidezza totale del telaio sarà:  $K_t = \sum K_i$

La resistenza a taglio del telaio sarà data dal contributo di tutti i montanti:

dato il momento ultimo di ogni montante =  $M_u = f_{yk} W / \gamma_{MO}$

$F_o = n M_u / H$  con  $n$  che dipende dallo schema (1 cerniera-incastro, 2 incastro-incastro)

La resistenza complessiva del telaio sarà:  $V_t = \sum F_o$

## **CARICHI**

In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

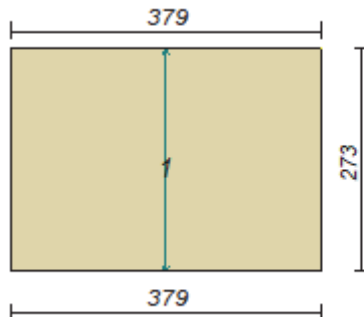
Carico permanente  $G_k = 1500.0$  daN/m

Carico variabile  $Q_k = 0.0$  daN/m



Per la determinazione della tensione media verticale, verranno inoltre considerati i contributi dovuti al peso proprio di metà maschio murario e delle semifascie superiori gravanti sul maschio stesso.

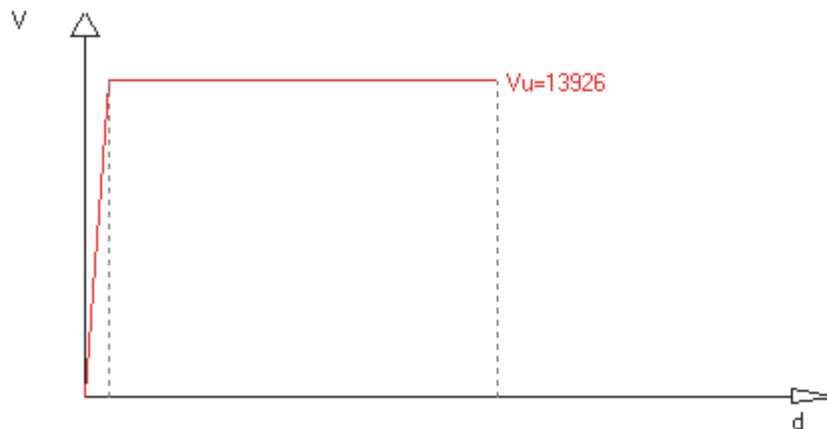
#### Ante-operam



**T (sp. parete ) = 80.00 cm**

Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	$\sigma_o$	Ko	Vt	Vpf	Vu	$\delta_e$	$\delta_u$
1	379.0	273.0	1.00	0.392	218411.2	13926.1	15757.3	13926.1	0.064	1.092

**Curva caratteristica ante-operam:**

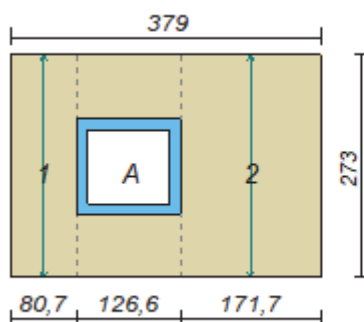


**Rigidezza complessiva della parete:  $K_{sa} = 218411.2$  daN/cm**

**Taglio ultimo della parete:  $V_{sa} = 13926.1$  daN**

**Spostamento ultimo:  $\delta_u$  sa = 1.092 cm**

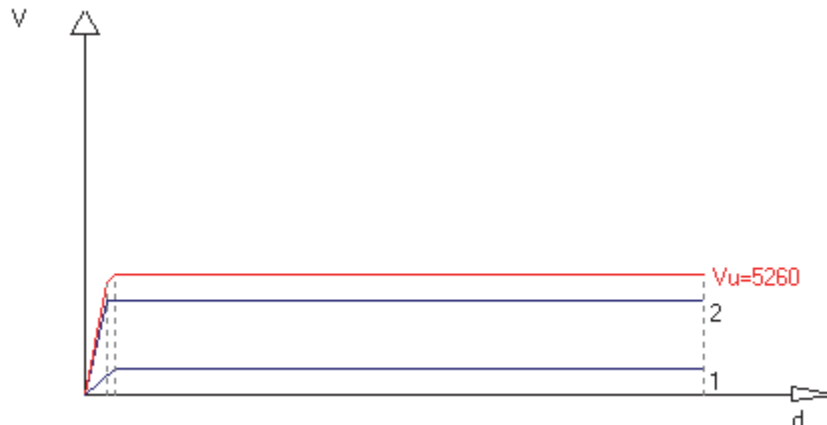
#### Post-operam



**T (sp. parete ) = 80.00 cm**

Apertura A	Stato Cerchiata	Architravi 3 HE140A (S 275)		Travi inf. 3 HE140A (S 275)		Montanti 3HE140A+3HE140A (S 275)					
Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	$\sigma_o$	Ko	Vt	Vpf	Vu	$\delta_e$	$\delta_u$
1	80.7	80.00	273.0	1.50	0.633	14006.0	2444.2	1127.3	1127.3	0.080	1.638
2	171.7	80.00	273.0	1.50	0.505	73156.6	4844.8	4133.2	4133.2	0.056	1.638

**Curva caratteristica post-operam:**



**Rigidezza complessiva della parete:**  $K_{pr} = 87162.6 \text{ daN/cm}$

**Taglio ultimo della parete:**  $V_{pr} = 5260.5 \text{ daN}$

**Spostamento ultimo:**  $\delta_u \text{ pr} = 1.638 \text{ cm}$

## VERIFICA

**Rigidezza e resistenza della muratura:**

$\Delta K_{\text{mur}} = K_{pr} - K_{sa} = 87163 - 218411 = -131249 \text{ daN/cm}$  (riduzione rigidezza = -60.1%)

$\Delta V_{\text{mur}} = V_{pr} - V_{sa} = 5260 - 13926 = -8666 \text{ daN}$  (riduzione resistenza = -62.2%)

**Rigidezza e resistenza del telaio:**

**Note:**

$K = c E J / H_i^3$ , con:  $c = 3$  nel caso di telaio incernierato alla base,  $c = 12$  nel caso di incastro

$F_u = n (M_u / H_i)$  nel caso di telaio incernierato alla base,  $F_u = n (2 M_u / H_i)$  nel caso di incastro,

con  $n$  = numero dei montanti del telaio.  $F_o = F_u$ .

Se  $\delta_e > \delta_u$ ,  $F_o$  sarà calcolato in relazione allo spostamento ultimo di progetto.  $F_o = K \delta_{u \text{ pr}}$

Telaio	c	$H_i$ [cm]	K [daN/cm]	$M_u$ [daN cm]	$\delta_e$ [cm]	$F_u$ [daN]	$F_o$ [daN]
A	12	103.30	141762.5	2442157.0	0.33	47282.8	47282.8

$K_t = \sum K = 141763 \text{ daN/cm}$

$V_t = \sum F_o = 47283 \text{ daN}$

**Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:**

$\Delta K_{\text{tot}} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = 10514 \text{ daN/cm}$

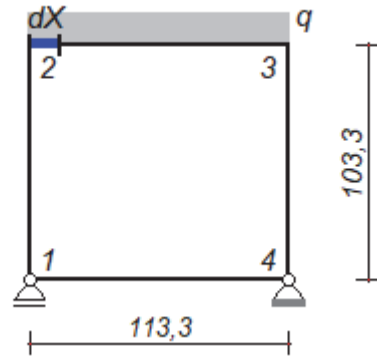
aumento rigidezza = 4.8%; variazione percentuale di  $\Delta K_{\text{tot}}$  compresa entro il 15.0% Ok

$$\Delta V_{\text{tot}} = V_{\text{pr}} + V_{\text{t}} - V_{\text{sa}} = 38617 \text{ daN}$$

aumento resistenza = 277.3%;  $\Delta V_{\text{tot}} > 0$  Ok

Verifiche dei telai.

Telaio A



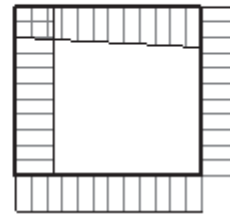
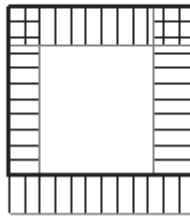
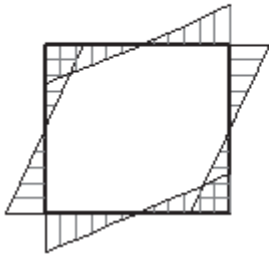
$$dX = 0.334 \text{ cm}, \quad q = G_k + \psi/2 Q_k = 24.56 \text{ daN/cm} \quad (\psi/2 = 0.30)$$

Sollecitazioni telaio A

Momento flettente

Sforzo normale

Taglio



Sollecitazione di compressione per  $N > 0$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-2

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-2	1	0.0	-564535.3	-8372.6	10715.6
	2	9.4	-463905.8	-8379.5	10715.6
	3	18.8	-363276.3	-8386.5	10715.6
	4	28.2	-262646.8	-8393.4	10715.6
	5	37.6	-162017.4	-8400.4	10715.6
	6	47.0	-61387.9	-8407.3	10715.6
	7	56.3	39241.6	-8414.3	10715.6
	8	65.7	139871.1	-8421.2	10715.6
	9	75.1	240500.5	-8428.2	10715.6
	10	84.5	341129.9	-8435.1	10715.6
	11	93.9	441759.5	-8442.1	10715.6
	12	103.3	542388.9	-8449.0	10715.6

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm <sup>3</sup> ]	Wpx [cm <sup>3</sup> ]	A [cm <sup>2</sup> ]	Av [cm <sup>2</sup> ]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE140A	14.0	13.3	155.4	173.6	31.4	10.1	0.55	0.85	1.20

### Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-2

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 3571,9 daN

Taglio resistente:  $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 15329.00$  daN

Ved /  $V_{crd} = 0.233 < 1$  Ok

Tenso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -188178,4 daNcm, Ned = -2790,9 daN, Ved = 3571,9 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$ ,  $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.40$ ,  $\psi = -1.20$

Ali in compressione:  $c_f / e = 6.50 < 9 \varepsilon = 8.32$  (cl. 1)

Anima a presso-flessione:  $c_w / a = 16.73 < 36 \varepsilon / \alpha = 83.26$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 82316.7$  daN

$n = N_{ed} / N_{rd} = -0.034$ ,  $a = (A - 2 B e) / A = 0.243$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 454561.9$  daNcm

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 534899.9$  daNcm  $> M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

Med /  $M_{nrd} = 0.41 < 1$  Ok

### Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	542388.9	11125.4	-8449.0
	2	9.4	461488.0	11125.4	-8688.0
	3	18.9	378331.4	11125.4	-8926.9
	4	28.3	292919.0	11125.4	-9165.8
	5	37.8	205250.9	11125.4	-9404.7
	6	47.2	115327.0	11125.4	-9643.6
	7	56.7	23147.4	11125.4	-9882.5
	8	66.1	-71288.0	11125.4	-10121.4
	9	75.5	-167979.1	11125.4	-10360.4
	10	85.0	-266926.0	11125.4	-10599.3
	11	94.4	-368128.6	11125.4	-10838.2
	12	103.9	-471586.9	11125.4	-11077.1
	13	113.3	-577301.0	11125.4	-11316.0

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	W <sub>x</sub> [cm <sup>3</sup> ]	W <sub>px</sub> [cm <sup>3</sup> ]	A [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>v</sub> [cm <sup>2</sup> ]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE140A	14.0	13.3	155.4	173.6	31.4	10.1	0.55	0.85	1.20

### Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 2-3

Taglio: sez. 13, dist. = 113,3 cm, Ved = -3772,0 daN

Taglio resistente:  $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 15329.00$  daN

Ved /  $V_{crd} = 0.246 < 1$  Ok

Presso-flessione: sez. 13, dist. = 113,3 cm, Med = -192433,7 daNcm, Ned = 3708,5 daN, Ved = -3772,0 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$ ,  $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.63$ ,  $\psi = -0.79$

Ali in compressione:  $cf / e = 6.50 < 9 \varepsilon = 8.32$  (cl. 1)

Anima a presso-flessione:  $cw / a = 16.73 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 50.62$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$Nrd = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 82316.7 \text{ daN}$

$n = Ned / Nrd = 0.045$ ,  $a = (A - 2 B e) / A = 0.243$

$Mrd = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 454561.9 \text{ daNcm}$

$Mnrd = Mrn (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 494051.7 \text{ daNcm} > Mrd \Rightarrow Mnrd = Mrd$

$Med / Mnrd = 0.42 < 1$  Ok

sez. 1, dist. = 0,0 cm,  $Med = 180796,3 \text{ daNcm}$ ,  $Ned = 3708,5 \text{ daN}$ ,  $Ved = -2816,3 \text{ daN}$

Instabilità a compressione:

$Ncr = \pi^2 E J / l_0^2 = 1668667.0 \text{ daN}$

$Ned < 0.04 Ncr \Rightarrow$  Verifica non richiesta

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-577301.0	11316.0	11125.4
	2	9.4	-472823.0	11323.0	11125.4
	3	18.8	-368345.0	11329.9	11125.4
	4	28.2	-263867.0	11336.9	11125.4
	5	37.6	-159389.0	11343.8	11125.4
	6	47.0	-54911.0	11350.8	11125.4
	7	56.3	49567.0	11357.7	11125.4
	8	65.7	154045.0	11364.7	11125.4
	9	75.1	258523.0	11371.6	11125.4
	10	84.5	363001.0	11378.6	11125.4
	11	93.9	467479.0	11385.5	11125.4
	12	103.3	571957.0	11392.5	11125.4

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm <sup>3</sup> ]	Wpx [cm <sup>3</sup> ]	A [cm <sup>2</sup> ]	Av [cm <sup>2</sup> ]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE140A	14.0	13.3	155.4	173.6	31.4	10.1	0.55	0.85	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 3-4

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm,  $Ved = 3708,5 \text{ daN}$

Taglio resistente:  $Vcrd = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 15329.00 \text{ daN}$

$Ved / Vcrd = 0.242 < 1$  Ok

Presso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm,  $Med = -192433,7 \text{ daNcm}$ ,  $Ned = 3772,0 \text{ daN}$ ,  $Ved = 3708,5 \text{ daN}$

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$ ,  $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c w a f_{yk}))) = 0.64$ ,  $\psi = -0.78$

Ali in compressione:  $cf / e = 6.50 < 9 \varepsilon = 8.32$  (cl. 1)

Anima a presso-flessione:  $cw / a = 16.73 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 50.41$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$Nrd = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 82316.7 \text{ daN}$

$n = Ned / Nrd = 0.046$ ,  $a = (A - 2 B e) / A = 0.243$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 454561.9 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 493652.4 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.42 < 1 \quad \text{Ok}$$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-4	1	0.0	564535.3	10715.6	-9988.9
	2	9.4	470190.5	10715.6	-9995.9
	3	18.9	375779.7	10715.6	-10002.9
	4	28.3	281302.9	10715.6	-10009.9
	5	37.8	186760.2	10715.6	-10016.9
	6	47.2	92151.5	10715.6	-10023.8
	7	56.7	-2523.2	10715.6	-10030.8
	8	66.1	-97263.9	10715.6	-10037.8
	9	75.5	-192070.5	10715.6	-10044.8
	10	85.0	-286943.2	10715.6	-10051.8
	11	94.4	-381881.8	10715.6	-10058.8
	12	103.9	-476886.4	10715.6	-10065.8
	13	113.3	-571957.0	10715.6	-10072.8

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	W <sub>x</sub> [cm <sup>3</sup> ]	W <sub>px</sub> [cm <sup>3</sup> ]	A [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>v</sub> [cm <sup>2</sup> ]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE140A	14.0	13.3	155.4	173.6	31.4	10.1	0.55	0.85	1.20

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-4

Taglio: sez. 13, dist. = 113,3 cm, V<sub>ed</sub> = -3357,6 daN

Taglio resistente: V<sub>crd</sub> = A<sub>v</sub> f<sub>yk</sub> / ( γ<sub>M0</sub> √3 ) = 15329.00 daN

$$V_{ed} / V_{crd} = 0.219 < 1 \quad \text{Ok}$$

Presso-flessione: sez. 13, dist. = 113,3 cm, M<sub>ed</sub> = -190652,3 daNcm, N<sub>ed</sub> = 3571,9 daN, V<sub>ed</sub> = -3357,6 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.63, \quad \psi = -0.79$$

Ali in compressione: c<sub>f</sub> / e = 6.50 < 9 ε = 8.32 (cl. 1)

Anima a presso-flessione: c<sub>w</sub> / a = 16.73 < 396 ε / (13 α - 1) = 51.07 (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 82316.7 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.043, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.243$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 454561.9 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 494910.3 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.42 < 1 \quad \text{Ok}$$

Nota (\*): non essendo possibile collegare le travi mediante calastrelli nel lato verso la muratura, le verifiche saranno eseguite su profili semplici dividendo le sollecitazioni per il numero delle sezioni presenti nel tratto.

# SETTO MURARIO 2

## ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

**Programma:** PRO\_CAD Interventi locali - Verifica cerchiature  
software per verifica e progetto di aperture di vani in setti murari.  
**Produttore:** 2si - Software e Servizi per l'Ingegneria srl  
Via G. Garibaldi 90 - 44121 Ferrara  
**Versione:** 2020.12.0019f  
**Licenza:** Gratuita

## MATERIALI

Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)  
Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019  
 $f_m$  - resistenza compressione [daN/cm<sup>2</sup>]: 14.00 (min.), 22.00 (max.)  
 $\tau_o$  - resistenza a taglio [daN/cm<sup>2</sup>]: 0.28 (min.), 0.42 (max.)  
E - modulo elastico [daN/cm<sup>2</sup>]: 9000.0 (min.), 12600.0 (max.)  
G - modulo el. tang. [daN/cm<sup>2</sup>]: 3000.0 (min.), 4200.0 (max.)

Essendo il livello di conoscenza LC1 (Limitata) si utilizzano i valori medi per i moduli elastici e i valori minimi per la resistenza.

### Valori di riferimento:

$f_m$  - resistenza compressione = 14.00 daN/cm<sup>2</sup>

$\tau_o$  - resistenza a taglio = 0.28 daN/cm<sup>2</sup>

E - modulo elastico = 10800.0 daN/cm<sup>2</sup>

G - modulo el. tang. = 3600.0 daN/cm<sup>2</sup>

$\gamma_m$  = peso specifico = 1500.0 daN/mc

### Valori di progetto:

Fattore confidenza FC = 1.35

Coef. parz. sic.  $\gamma_M$  = 2.00 (4.5.6.1)

$f_m$  = 5.19 daN/cm<sup>2</sup>

$\tau_o$  = 0.10 daN/cm<sup>2</sup>

Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00

E = 5400 daN/cm<sup>2</sup>

G = 1800 daN/cm<sup>2</sup>

### Fattori correttivi (tab. C8.5.II Circ.n.7/2019)

- Malta buona
- Ricorsi o listature
- Connessione trasversale
- Ristillatura armata con connessione dei paramenti

### Valori di progetto ante-operam:

$f_m$  = 10.11 daN/cm<sup>2</sup>

$\tau_o$  = 0.20 daN/cm<sup>2</sup>

E = 8100 daN/cm<sup>2</sup>

**G = 2700 daN/cm<sup>q</sup>**

**Valori di progetto post-operam:**

**f<sub>m</sub> = 11.12 daN/cm<sup>q</sup>**

**τ<sub>o</sub> = 0.22 daN/cm<sup>q</sup>**

**E = 8910 daN/cm<sup>q</sup>**

**G = 2970 daN/cm<sup>q</sup>**

**Materiali dei telai**

<b>Acciaio</b>	<b>f<sub>yk</sub> [daN/cm<sup>q</sup>]</b>	<b>f<sub>tk</sub> [daN/cm<sup>q</sup>]</b>	<b>E [daN/cm<sup>q</sup>]</b>	<b>G [daN/cm<sup>q</sup>]</b>	<b>γ<sub>a</sub> [kg/mc]</b>
<b>S 275</b>	<b>2750.0</b>	<b>4300.0</b>	<b>2100000.0</b>	<b>807692.0</b>	<b>7850.0</b>

**Sezioni in acciaio dei telai**

<b>Profilo</b>	<b>B [cm]</b>	<b>H [cm]</b>	<b>W<sub>x</sub> [cm<sup>3</sup>]</b>	<b>W<sub>px</sub> [cm<sup>3</sup>]</b>	<b>W<sub>y</sub> [cm<sup>3</sup>]</b>	<b>W<sub>py</sub> [cm<sup>3</sup>]</b>	<b>Area [cm<sup>2</sup>]</b>	<b>Peso [kg/m]</b>
<b>HE180A</b>	<b>18.0</b>	<b>17.1</b>	<b>293.7</b>	<b>325.0</b>	<b>102.7</b>	<b>156.5</b>	<b>45.3</b>	<b>35.55</b>
<b>HE120A</b>	<b>12.0</b>	<b>11.4</b>	<b>106.4</b>	<b>119.6</b>	<b>38.5</b>	<b>58.9</b>	<b>25.4</b>	<b>19.90</b>
<b>HE120B</b>	<b>12.0</b>	<b>12.0</b>	<b>144.1</b>	<b>165.3</b>	<b>52.9</b>	<b>81.0</b>	<b>34.0</b>	<b>26.71</b>

## **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- 1. D.M. 17 Gennaio 2018 e allegate 'Norme tecniche per le costruzioni'.**
- 2. Circolare 21/01/2019 n. 7 / CSLPP Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle 'Norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018**

## **METODOLOGIA DI VERIFICA**

L'apertura di un vano in una parete muraria accompagnata da opportuni rinforzi è previsto, come 'intervento locale', nella Circolare n.7 / 2019 CSLPP al punto C8.4.1.

Le verifiche possono essere eseguite limitandosi a valutazioni numeriche relative alla sola parete interessata dall'intervento solo a condizione che si dimostri che la rigidezza dell'elemento variato non cambi significativamente e che la resistenza non peggiori ai fini del comportamento rispetto alle azioni orizzontali.

Una variazione significativa della rigidezza delle pareti muterebbe il comportamento globale della struttura e pertanto non risulterebbe sufficiente la verifica locale.

La verifica risulta positiva quando la resistenza alle forze orizzontali V post-operam risultano maggiori o uguali a quelle ante-operam, con variazioni di rigidezza non sostanziali (+/- 15.00%).

Il calcolo di V viene svolto secondo i due seguenti criteri:

**1 - criterio di rottura per fessurazione diagonale**

Nel caso di muratura non armata in cui la rottura del pannello è di tipo fragile e caratterizzata da lesioni diagonali a 45° l'azione tagliante ultima è determinabile, come specificato nella Circolare n. 7 / 2019 CSLPP al punto C8.7.1.16, con la seguente relazione:

$$V_t = ( L T f_{td} / b ) ( 1 + \sigma_o / f_{td} )^{1/2}$$

dove i simboli hanno il seguente significato:

**L** = Lunghezza del pannello murario

**T** = Spessore del pannello murario

**f<sub>td</sub>** = Resistenza di calcolo a trazione per fessurazione diagonale della muratura = 1,5 τ<sub>o</sub>



$\sigma_o$  = Tensione normale media riferita all'area totale della base del setto

$b$  = Coefficiente correttivo legato alla distribuzione degli sforzi sulla sezione, dipendente dalla snellezza della parete. Si può assumere  $b = H / L$ , comunque non superiore a 1,5 e non inferiore a 1, dove  $H$  è l'altezza del pannello

2 - criterio di rottura per pressoflessione

$$V_{pf} = (L^2 T \sigma_o / 2) (1 - \sigma_o / 0,85 f_d) / (H / 2)$$

dove  $f_d$  = Resistenza di calcolo a compressione della muratura

La rigidezza del singolo pannello murario  $K$  viene valutata con la seguente relazione:

$$K = 1 / (H^3 / n E J + 1.2 H / G A)$$

dove i simboli hanno il seguente significato:

$E, G$  moduli di elasticità normale e tangenziale della muratura

$J$  momento di inerzia del maschio murario =  $T L^3 / 12$

$n$  coefficiente relativo al grado di vincolo offerto dal traverso superiore.

In questo caso  $n = 12$  (presenza di cordolo rigido => schema incastro scorrevole).

$A$  area del maschio murario =  $T L$

$H$  altezza deformabile = altezza del piano (parete senza fasce murarie rigide)

La rigidezza complessiva risulterà dalla sommatoria dei contributi dei singoli maschi murari che formano la parete.

La resistenza ultima a taglio verrà calcolata in base alla curva caratteristica del diagramma  $V-\delta$

## TELAIO DI CERCHIATURA DELLE APERTURE

Definendo:

$\Delta K = K_{sa} - K_{pr}$  (carenza di rigidezza della muratura a seguito dell'intervento)

il telaio, per poter sopprimere a tale carenza dovrà avere una rigidezza  $K_t$  maggiore o uguale a  $\Delta K$

La rigidezza del telaio è data dalla sommatoria delle rigidezze dei singoli montanti costituenti la cerchiatura.

Rigidezza del montante  $K_i = n E J / H^3$  con  $n$  che dipende dal vincolo alla base (3 cerniera, 12 incastro)

La rigidezza totale del telaio sarà:  $K_t = \sum K_i$

La resistenza a taglio del telaio sarà data dal contributo di tutti i montanti:

dato il momento ultimo di ogni montante =  $M_u = f_{yk} W / \gamma_{MO}$

$F_o = n M_u / H$  con  $n$  che dipende dallo schema (1 cerniera-incastro, 2 incastro-incastro)

La resistenza complessiva del telaio sarà:  $V_t = \sum F_o$

## CARICHI

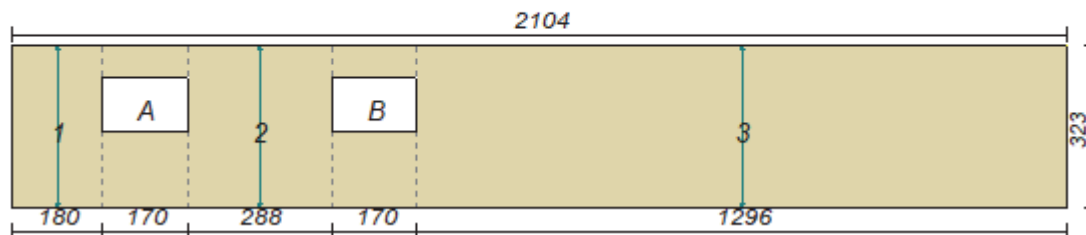
In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

Carico permanente  $G_k = 1500.0$  daN/m

Carico variabile  $Q_k = 0.0 \text{ daN/m}$

Per la determinazione della tensione media verticale, verranno inoltre considerati i contributi dovuti al peso proprio di metà maschio murario e delle semifascie superiori gravanti sul maschio stesso.

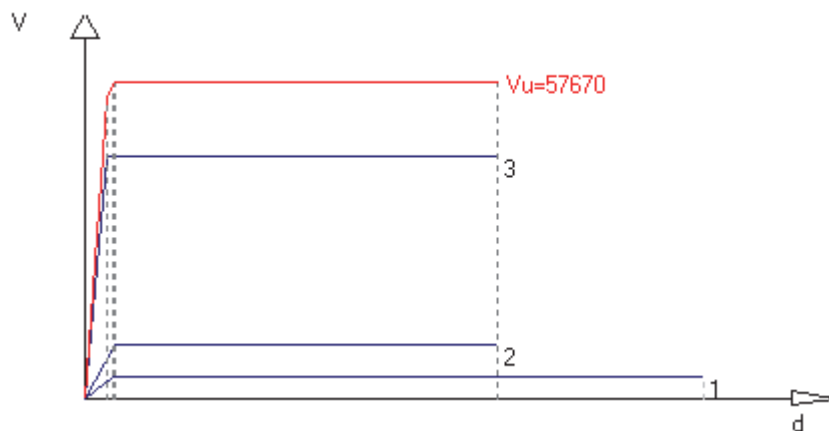
Ante-operam



$T \text{ (sp. parete) } = 70.00 \text{ cm}$

Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	$\sigma_o$	$K_o$	$V_t$	$V_{pf}$	$V_u$	$\delta_e$	$\delta_u$
1	180.0	323.0	1.50	0.602	46330.5	4402.5	3933.1	3933.1	0.085	1.938
2	288.0	323.0	1.12	0.639	104071.4	9608.7	10629.3	9608.7	0.092	1.292
3	1296.0	323.0	1.00	0.477	621231.6	44127.7	163924.4	44127.7	0.071	1.292

Curva caratteristica ante-operam:

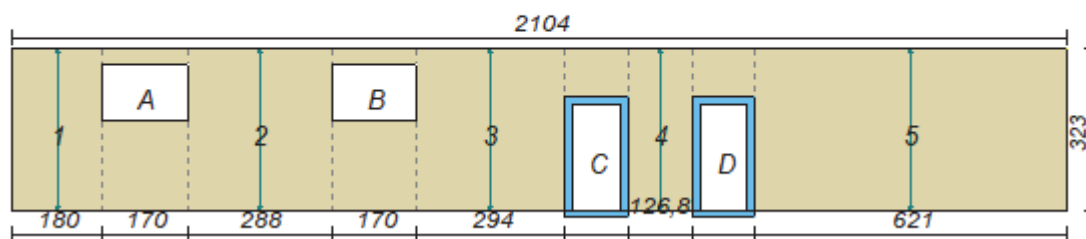


Rigidezza complessiva della parete:  $K_{sa} = 771633.4 \text{ daN/cm}$

Taglio ultimo della parete:  $V_{sa} = 57669.5 \text{ daN}$

Spostamento ultimo:  $\delta_u \text{ sa} = 1.292 \text{ cm}$

Post-operam

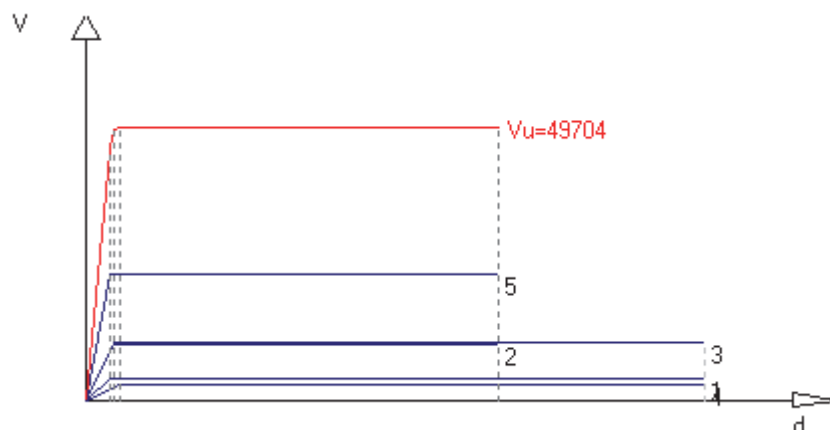


T (sp. parete) = 70.00 cm

Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
A	Libera	No	No	No
B	Libera	No	No	No
C	Cerchiata	3 HE180A (S 275)	3 HE120A (S 275)	3HE180A+3HE180A (S 275)
D	Cerchiata	3 HE180A (S 275)	3 HE120B (S 275)	3HE180A+3HE180A (S 275)

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	$\sigma_o$	Ko	Vt	Vpf	Vu	$\delta_e$	$\delta_u$
1	180.0	70.00	323.0	1.50	0.581	50963.5	4640.1	3829.5	3829.5	0.075	1.938
2	288.0	70.00	323.0	1.12	0.612	114478.5	10097.3	10292.6	10097.3	0.088	1.292
3	293.9	70.00	323.0	1.10	0.590	118038.5	10390.3	10353.8	10353.8	0.088	1.938
4	126.8	70.00	323.0	1.50	0.816	24269.0	3664.2	2597.3	2597.3	0.107	1.938
5	620.9	70.00	323.0	1.00	0.493	309752.1	22826.5	39058.0	22826.5	0.074	1.292

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete:  $K_{pr} = 617501.6$  daN/cm

Taglio ultimo della parete:  $V_{pr} = 49704.3$  daN

Spostamento ultimo:  $\delta_u$  pr = 1.292 cm

## VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 617502 - 771633 = -154132$  daN/cm (riduzione rigidezza = -20.0%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 49704 - 57670 = -7965$  daN (riduzione resistenza = -13.8%)

Rigidezza e resistenza dei telai:

Note:

$K = c E J / H_i^3$ , con:  $c = 3$  nel caso di telaio incernierato alla base,  $c = 12$  nel caso di incastro

$F_u = n (M_u / H_i)$  nel caso di telaio incernierato alla base,  $F_u = n (2 M_u / H_i)$  nel caso di

incastro,

con  $n$  = numero dei montanti del telaio.  $F_o = F_u$ .

Se  $\delta_e > \delta_u$ ,  $F_o$  sarà calcolato in relazione allo spostamento ultimo di progetto.  $F_o = K \delta_{u\ Pr}$

Telaio	c	$H_i$ [cm]	$K$ [daN/cm]	$M_u$ [daN cm]	$\delta_e$ [cm]	$F_u$ [daN]	$F_o$ [daN]
C	12	224.25	33670.8	4615600.0	1.22	41164.8	41164.8
D	12	224.55	33536.0	4615600.0	1.23	41109.8	41109.8

$$K_t = \sum K = 67207 \text{ daN/cm}$$

$$V_t = \sum F_o = 82275 \text{ daN}$$

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

$$\Delta K_{\text{tot}} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = -86925 \text{ daN/cm}$$

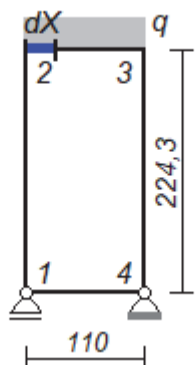
riduzione rigidezza = -11.3%; variazione percentuale di  $\Delta K_{\text{tot}}$  compresa entro il 15.0% Ok

$$\Delta V_{\text{tot}} = V_{pr} + V_t - V_{sa} = 74309 \text{ daN}$$

aumento resistenza = 128.9%;  $\Delta V_{\text{tot}} > 0$  Ok

Verifiche dei telai.

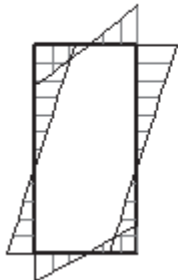
Telaio C



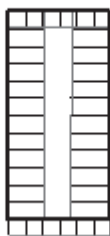
$$dX = 1.223 \text{ cm}, \quad q = G_k + \psi_2 Q_k = 18.47 \text{ daN/cm} \quad (\psi_2 = 0.30)$$

Sollecitazioni telaio C

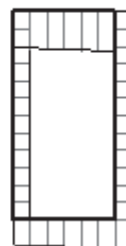
Momento flettente



Sforzo normale



Taglio



Sollecitazione di compressione per  $N > 0$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-2

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-2	1	0.0	-870434.0	-20837.6	9276.3
	2	18.7	-697083.7	-20857.5	9276.3
	3	37.4	-523733.4	-20877.4	9276.3
	4	56.1	-350383.1	-20897.4	9276.3
	5	74.8	-177032.7	-20917.3	9276.3
	6	93.4	-3682.4	-20937.2	9276.3
	7	112.1	169667.9	-20957.1	9276.3
	8	130.8	343018.2	-20977.1	9276.3
	9	149.5	516368.5	-20997.0	9276.3
	10	168.2	689718.9	-21016.9	9276.3
	11	186.9	863069.2	-21036.8	9276.3
	12	205.6	1036420.0	-21056.7	9276.3
	13	224.3	1209770.0	-21076.7	9276.3

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE180A	18.0	17.1	293.7	325.0	45.3	14.5	0.60	0.95	1.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-2

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 3092,1 daN

Taglio resistente:  $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 21910.45$  daN

$V_{ed} / V_{crd} = 0.141 < 1$  Ok

Tenso-flessione: sez. 13, dist. = 224,3 cm, Med = 403256,6 daNcm, Ned = -7025,6 daN, Ved = 3092,1 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$ ,  $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.33$ ,  $\psi = -1.37$

Ali in compressione:  $c_f / e = 7.58 < 9$   $\varepsilon = 8.32$  (cl. 1)

Anima a presso-flessione:  $c_w / a = 20.33 < 36$   $\varepsilon / \alpha = 102.24$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 118564.3$  daN

$n = N_{ed} / N_{rd} = -0.059$ ,  $a = (A - 2 B e) / A = 0.245$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 851164.3$  daNcm

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 1027191.0$  daNcm  $> M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$M_{ed} / M_{nrd} = 0.47 < 1$  Ok

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	1209770.0	9380.3	-21076.7
	2	18.4	819724.7	9380.3	-21435.1
	3	36.7	423103.0	9380.3	-21793.5
	4	55.1	19904.7	9380.3	-22151.9
	5	73.4	-389870.1	9380.3	-22510.3
	6	91.8	-806221.5	9380.3	-22868.7
	7	110.1	-1229149.0	9380.3	-23227.0

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE180A	18.0	17.1	293.7	325.0	45.3	14.5	0.60	0.95	1.50

### Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 2-3

Taglio: sez. 7, dist. = 110,1 cm, Ved = -7742,3 daN

Taglio resistente:  $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 21910.45 \text{ daN}$

$V_{ed} / V_{crd} = 0.353 < 1$  Ok

Presso-flessione: sez. 7, dist. = 110,1 cm, Med = -409716,5 daNcm, Ned = 3126,8 daN, Ved = -7742,3 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$ ,  $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.58$ ,  $\psi = -0.87$

Ali in compressione:  $c_f / e = 7.58 < 9$   $\varepsilon = 8.32$  (cl. 1)

Anima a presso-flessione:  $c_w / a = 20.33 < 396$   $\varepsilon / (13 \alpha - 1) = 56.23$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 118564.3 \text{ daN}$

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.026$ ,  $a = (A - 2 B e) / A = 0.245$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 851164.3 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 944156.1 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$M_{ed} / M_{nrd} = 0.48 < 1$  Ok

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 403256,6 daNcm, Ned = 3126,8 daN, Ved = -7025,6 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 4293812.0 \text{ daN}$

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$  Verifica non richiesta

### Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-1229149.0	23227.0	9380.3
	2	18.7	-1053855.0	23247.0	9380.3
	3	37.4	-878560.9	23266.9	9380.3
	4	56.1	-703266.7	23286.8	9380.3
	5	74.8	-527972.5	23306.7	9380.3
	6	93.4	-352678.3	23326.7	9380.3
	7	112.1	-177384.0	23346.6	9380.3
	8	130.8	-2089.8	23366.5	9380.3
	9	149.5	173204.5	23386.4	9380.3
	10	168.2	348498.7	23406.4	9380.3
	11	186.9	523792.9	23426.3	9380.3
	12	205.6	699087.2	23446.2	9380.3
	13	224.3	874381.4	23466.1	9380.3

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm <sup>3</sup> ]	Wpx [cm <sup>3</sup> ]	A [cm <sup>2</sup> ]	Av [cm <sup>2</sup> ]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE180A	18.0	17.1	293.7	325.0	45.3	14.5	0.60	0.95	1.50

### Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 3-4

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 3126,8 daN

Taglio resistente:  $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 21910.45 \text{ daN}$

$V_{ed} / V_{crd} = 0.143 < 1$  Ok

**Presso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -409716,5 daNcm, Ned = 7742,3 daN, Ved = 3126,8 daN**

**Classificazione della sezione:**

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c w a f_{yk}))) = 0.69, \quad \psi = -0.70$$

**Ali in compressione: cf / e = 7.58 < 9  $\varepsilon$  = 8.32 (cl. 1)**

**Anima a presso-flessione: cw / a = 20.33 < 396  $\varepsilon$  / (13  $\alpha$  - 1) = 45.76 (cl. 1)**

**La sezione è di classe 1**

**Verifica di resistenza:**

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 118564.3 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.065, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.245$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 851164.3 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 906405.5 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.48 < 1 \quad \text{Ok}$$

**sez. 13, dist. = 224,3 cm, Med = 291460,5 daNcm, Ned = 7822,0 daN, Ved = 3126,8 daN**

**Instabilità a compressione:**

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 1035030.0 \text{ daN}$$

$$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow \text{Verifica non richiesta}$$

**Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-4**

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-4	1	0.0	870434.0	9276.3	-15814.7
	2	18.4	580134.0	9276.3	-15825.6
	3	36.7	289632.9	9276.3	-15836.6
	4	55.1	-1069.1	9276.3	-15847.6
	5	73.4	-291972.2	9276.3	-15858.5
	6	91.8	-583076.3	9276.3	-15869.5
	7	110.1	-874381.4	9276.3	-15880.4

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm <sup>3</sup> ]	Wpx [cm <sup>3</sup> ]	A [cm <sup>2</sup> ]	Av [cm <sup>2</sup> ]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120A	12.0	11.4	106.4	119.6	25.4	8.5	0.50	0.80	1.20

**Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-4**

**Taglio: sez. 7, dist. = 110,1 cm, Ved = -5293,5 daN**

$$\text{Taglio resistente: } V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 12807.55 \text{ daN}$$

$$V_{ed} / V_{crd} = 0.413 < 1 \quad \text{Ok}$$

**Presso-flessione: sez. 7, dist. = 110,1 cm, Med = -291460,5 daNcm, Ned = 3092,1 daN, Ved = -5293,5 daN**

**Classificazione della sezione:**

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c w a f_{yk}))) = 0.65, \quad \psi = -0.78$$

**Ali in compressione: cf / e = 5.69 < 9  $\varepsilon$  = 8.32 (cl. 1)**

**Anima a presso-flessione: cw / a = 14.80 < 396  $\varepsilon$  / (13  $\alpha$  - 1) = 48.97 (cl. 1)**

**La sezione è di classe 1**

**Verifica di resistenza:**

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 66392.9 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.047, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.243$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 313107.2 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 339735.4 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.93 < 1 \quad \text{Ok}$$

$$\text{sez. 1, dist.} = 0,0 \text{ cm, } M_{ed} = 290144,7 \text{ daNcm, } N_{ed} = 3092,1 \text{ daN, } V_{ed} = -5271,6 \text{ daN}$$

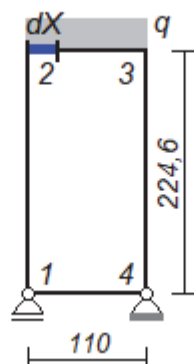
Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 1036838.0 \text{ daN}$$

$$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow \text{Verifica non richiesta}$$

Nota (\*): non essendo possibile collegare le travi mediante calastrelli nel lato verso la muratura, le verifiche saranno eseguite su profili semplici dividendo le sollecitazioni per il numero delle sezioni presenti nel tratto.

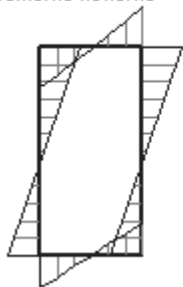
Telaio D



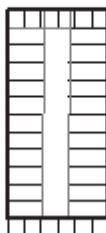
$$dX = 1.226 \text{ cm, } q = G_k + \psi_2 Q_k = 18.47 \text{ daN/cm} \quad (\psi_2 = 0.30)$$

Sollecitazioni telaio D

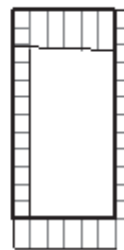
Momento flettente



Sforzo normale



Taglio



Sollecitazione di compressione per  $N > 0$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-2

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-2	1	0.0	-1045170.0	-22066.4	10344.9
	2	18.7	-851591.5	-22086.4	10344.9
	3	37.4	-658013.2	-22106.3	10344.9
	4	56.1	-464434.8	-22126.3	10344.9
	5	74.9	-270856.4	-22146.2	10344.9
	6	93.6	-77278.1	-22166.1	10344.9
	7	112.3	116300.3	-22186.1	10344.9
	8	131.0	309878.7	-22206.0	10344.9
	9	149.7	503457.0	-22226.0	10344.9



10	168.4	697035.5	-22245.9	10344.9
11	187.1	890613.8	-22265.9	10344.9
12	205.8	1084192.0	-22285.8	10344.9
13	224.6	1277771.0	-22305.8	10344.9

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE180A	18.0	17.1	293.7	325.0	45.3	14.5	0.60	0.95	1.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-2

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 3448,3 daN

Taglio resistente:  $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 21910.45 \text{ daN}$

$V_{ed} / V_{crd} = 0.157 < 1$  Ok

Tenso-flessione: sez. 13, dist. = 224,6 cm, Med = 425923,5 daNcm, Ned = -7435,3 daN, Ved = 3448,3 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$ ,  $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.32$ ,  $\psi = -1.40$

Ali in compressione:  $c_f / e = 7.58 < 9$   $\varepsilon = 8.32$  (cl. 1)

Anima a presso-flessione:  $c_w / a = 20.33 < 36$   $\varepsilon / \alpha = 105.54$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 118564.3 \text{ daN}$

$n = N_{ed} / N_{rd} = -0.063$ ,  $a = (A - 2 B e) / A = 0.245$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 851164.3 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 1030542.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$M_{ed} / M_{nrd} = 0.50 < 1$  Ok

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	1277771.0	10448.1	-22305.8
	2	18.4	865171.0	10448.1	-22664.2
	3	36.7	445994.9	10448.1	-23022.6
	4	55.1	20242.2	10448.1	-23381.0
	5	73.4	-412087.1	10448.1	-23739.4
	6	91.8	-850992.9	10448.1	-24097.8
	7	110.1	-1296475.0	10448.1	-24456.2

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE180A	18.0	17.1	293.7	325.0	45.3	14.5	0.60	0.95	1.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 2-3

Taglio: sez. 7, dist. = 110,1 cm, Ved = -8152,1 daN

Taglio resistente:  $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 21910.45 \text{ daN}$

$V_{ed} / V_{crd} = 0.372 < 1$  Ok

Presso-flessione: sez. 7, dist. = 110,1 cm, Med = -432158,4 daNcm, Ned = 3482,7 daN, Ved = -8152,1 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c w a f_{yk})) = 0.59, \quad \psi = -0.86$$

Ali in compressione:  $cf / e = 7.58 < 9 \quad \varepsilon = 8.32 \quad (\text{cl. 1})$

Anima a presso-flessione:  $cw / a = 20.33 < 396 \quad \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 55.26 \quad (\text{cl. 1})$

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 118564.3 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.029, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.245$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 851164.3 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 941245.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.51 < 1 \quad \text{Ok}$$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-1296475.0	24456.2	10448.1
	2	18.7	-1100966.0	24476.1	10448.1
	3	37.4	-905456.2	24496.1	10448.1
	4	56.1	-709946.7	24516.0	10448.1
	5	74.9	-514437.2	24536.0	10448.1
	6	93.6	-318927.7	24555.9	10448.1
	7	112.3	-123418.1	24575.9	10448.1
	8	131.0	72091.4	24595.8	10448.1
	9	149.7	267600.8	24615.8	10448.1
	10	168.4	463110.4	24635.7	10448.1
	11	187.1	658619.9	24655.7	10448.1
	12	205.8	854129.5	24675.6	10448.1
	13	224.6	1049639.0	24695.6	10448.1

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE180A	18.0	17.1	293.7	325.0	45.3	14.5	0.60	0.95	1.50

Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 3-4

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm,  $V_{ed} = 3482,7 \text{ daN}$

Taglio resistente:  $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 21910.45 \text{ daN}$

$$V_{ed} / V_{crd} = 0.159 < 1 \quad \text{Ok}$$

Presso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm,  $M_{ed} = -432158,4 \text{ daNcm}$ ,  $N_{ed} = 8152,1 \text{ daN}$ ,  $V_{ed} = 3482,7 \text{ daN}$

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c w a f_{yk})) = 0.70, \quad \psi = -0.69$$

Ali in compressione:  $cf / e = 7.58 < 9 \quad \varepsilon = 8.32 \quad (\text{cl. 1})$

Anima a presso-flessione:  $cw / a = 20.33 < 396 \quad \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 45.01 \quad (\text{cl. 1})$

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 118564.3 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.069, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.245$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 851164.3 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 903054.6 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

**Med / Mnrd = 0.51 < 1 Ok**

**sez. 13, dist. = 224,6 cm, Med = 349879,6 daNcm, Ned = 8231,9 daN, Ved = 3482,7 daN**

**Instabilità a compressione:**

**$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 1032266.0 \text{ daN}$**

**Ned < 0.04 Ncr => Verifica non richiesta**

**Verifica sezioni in acciaio del tratto 1-4**

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
1-4	1	0.0	1045170.0	10344.9	-18982.3
	2	18.4	696709.5	10344.9	-18997.0
	3	36.7	347979.3	10344.9	-19011.7
	4	55.1	-1020.5	10344.9	-19026.4
	5	73.4	-350290.3	10344.9	-19041.1
	6	91.8	-699829.7	10344.9	-19055.8
	7	110.1	-1049639.0	10344.9	-19070.5

3 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE120B	12.0	12.0	144.1	165.3	34.0	11.0	0.65	1.10	1.20

**Verifica delle sezioni con i risultati più gravosi del tratto 1-4**

**Taglio: sez. 7, dist. = 110,1 cm, Ved = -6356,8 daN**

**Taglio resistente:  $V_{crd} = A v_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 16595.38 \text{ daN}$**

**Ved / Vcrd = 0.383 < 1 Ok**

**Presso-flessione: sez. 7, dist. = 110,1 cm, Med = -349879,6 daNcm, Ned = 3448,3 daN, Ved = -6356,8 daN**

**Classificazione della sezione:**

**$\varepsilon = \sqrt{235 / f_{yk}} = 0.92$ ,  $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c w a f_{yk}))) = 0.63$ ,  $\psi = -0.83$**

**Ali in compressione:  $c f / e = 4.07 < 9$   $\varepsilon = 8.32$  (cl. 1)**

**Anima a presso-flessione:  $c w / a = 11.38 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 50.88$  (cl. 1)**

**La sezione è di classe 1**

**Verifica di resistenza:**

**$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 89100.0 \text{ daN}$**

**$n = Ned / N_{rd} = 0.039$ ,  $a = (A - 2 B e) / A = 0.224$**

**$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 432850.0 \text{ daNcm}$**

**$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 468575.3 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$**

**Med / Mnrd = 0.81 < 1 Ok**

**Nota (\*): non essendo possibile collegare le travi mediante calastrelli nel lato verso la muratura, le verifiche saranno eseguite su profili semplici dividendo le sollecitazioni per il numero delle sezioni presenti nel tratto.**