

# PAUR

## AMPLIAMENTO DEL COMPARTO AUTODROMO DI MODENA

LOCALITA' MARZAGLIA – COMUNE DI MODENA

*Redatto in conformità all'art. 14 della LEGGE REGIONALE 20 APRILE 2018, N. 4  
"Disciplina della valutazione dell'impatto ambientale dei progetti"*



**COMPARTO: AUTODROMO DI MODENA**

**PROPRIETA': COMUNE DI MODENA**

**CONCESSIONARIA: AERAUTODROMO DI MODENA SPA**

**GRUPPO DI PROGETTAZIONE:**

- ARCHILINEA Srl
- BLUEWORKS – Ing. Yos Zorzi
- GEOGROUP Srl
- PRAXIS AMBIENTE Srl
- STUDIO TECNICO CAPELLARI
- STIEM – Ing. Paolo Scuderi e Ing. Luca Buzzoni

# S04

**PDC 2, FABBRICATO 1**

**RELAZIONE ILLUSTRATIVA E DI  
CALCOLO**

## 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: 2020.02.0016f  
Licenza: .....

## MATERIALI

### Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019  
 $f_m$  - resistenza compressione [daN/cm<sup>2</sup>]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)  
 $\tau_o$  - resistenza a taglio [daN/cm<sup>2</sup>]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)  
 $f_{vo}$  - resistenza a taglio [daN/cm<sup>2</sup>]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)  
 $E$  - modulo elastico [daN/cm<sup>2</sup>]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)  
 $G$  - modulo el. tang. [daN/cm<sup>2</sup>]: 4000.0 (min.), 6000.0 (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 = 26.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 $\tau_o$  - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{vo}$  - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm<sup>2</sup>  
 $E$  - modulo elastico = 15000.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 $G$  - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 $\gamma_m$  = peso specifico = 1800.0 daN/mc

### Valori di progetto:

Coef. parz. sic.  $\gamma_M = 2.00$  (4.5.6.1)  
 $f_m = 13.00$  daN/cm<sup>2</sup>  
 $\tau_o = 0.25$  daN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{vo} = 0.65$  daN/cm<sup>2</sup>  
Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00  
 $E = 7500$  daN/cm<sup>2</sup>  
 $G = 2500$  daN/cm<sup>2</sup>

### Materiali del telaio

Acciaio	$f_{yk}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$f_{tk}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$E$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$G$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\gamma_a$ [kg/mc]
S 275	2750.0	4300.0	2100000.0	807692.0	7850.0

### Sezioni in acciaio del telaio

Profilo	$B$ [cm]	$H$ [cm]	$W_x$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_{px}$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_y$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_{py}$ [cm <sup>3</sup> ]	Area [cm <sup>2</sup> ]	Peso [kg/m]
HE 120 A	12.0	11.4	106.4	119.5	38.5	58.9	25.3	19.90

## 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

$f_{td}$  = Resistenza di calcolo a trazione per fessurazione diagonale della muratura =  $1,5 \tau_o$

$\sigma_o$  = 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  $n = 3$  (senza cordolo o cordolo deformabile => schema a mensola).

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

$H$  altezza deformabile =  $h' + 0.33 L (H_{Piano} - h') / h'$  (metodo Dolce, fasce murarie parzialmente

rigide)

con  $h' =$  base media dei trapezi individuati tra le aperture

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 rigidità dei singoli montanti costituenti la cerchiatura.

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

La rigidità 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

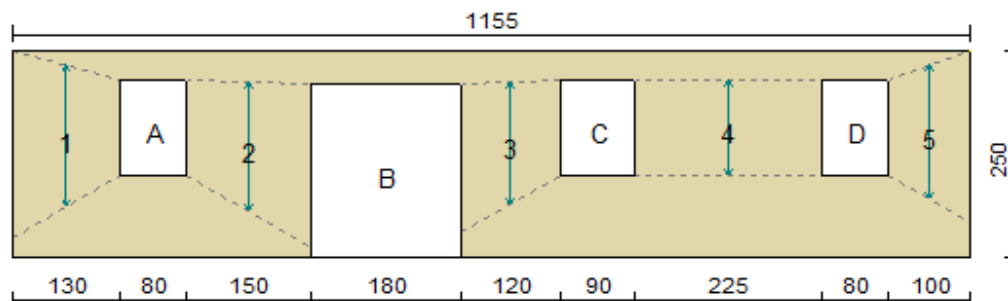
In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

Carico permanente  $G_k = 0.0$  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

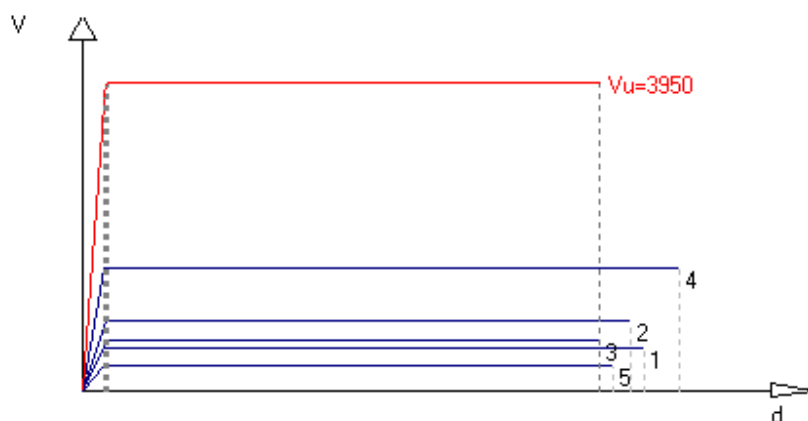


$T$  (sp. parete) = 30.00 cm

Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	$\sigma_o$	$K_o$	$V_t$	$V_{pf}$	$V_u$	$\delta_e$	$\delta_u$
1	130.0	190.2	1.46	0.202	12643.2	1239.9	528.6	528.6	0.042	1.141
2	150.0	185.7	1.24	0.253	18671.2	1763.9	898.9	898.9	0.048	1.114

3	120.0	174.8	1.46	0.262	12774.7	1207.9	632.5	632.5	0.050	1.049
4	225.0	202.2	1.00	0.213	36668.4	3168.8	1567.2	1567.2	0.043	1.213
5	100.0	179.5	1.50	0.197	7602.9	926.0	322.8	322.8	0.042	1.077

Curva caratteristica ante-operam:

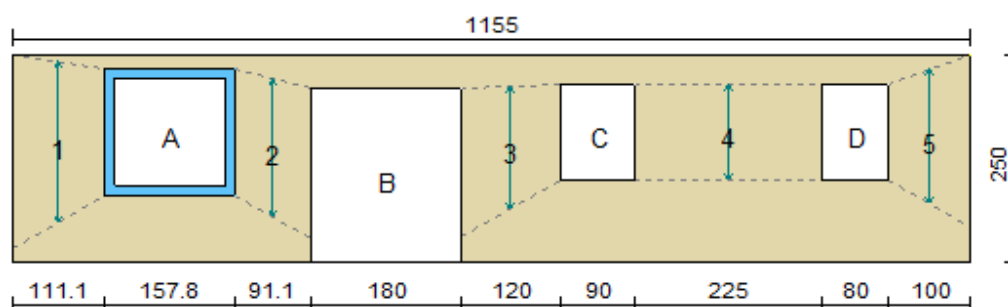


Rigidezza complessiva della parete:  $K_{sa} = 88360.3 \text{ daN/cm}$

Taglio ultimo della parete:  $V_{sa} = 3949.9 \text{ daN}$

Spostamento ultimo:  $\delta_{u sa} = 1.049 \text{ cm}$

## Post-operam

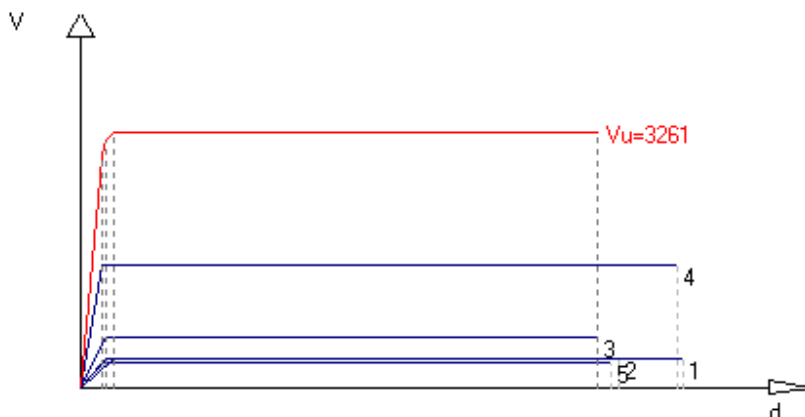


$T \text{ (sp. parete) } = 30.00 \text{ cm}$

Apertura	Stato	Montanti per lato	Architravi	Travi inf.
A	Cerchiata	2 HE 120 A (S 275)	2 HE 120 A (S 275)	2 HE 120 A (S 275)
B	Libera	No	No	No
C	Libera	No	No	No
D	Libera	No	No	No

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	$\sigma_o$	$K_o$	$V_t$	$V_{pf}$	$V_u$	$\delta_e$	$\delta_u$
1	111.1	30.00	203.8	1.50	0.203	7192.8	1034.9	362.9	362.9	0.050	1.223
2	91.1	30.00	182.1	1.50	0.282	5752.2	904.4	375.9	375.9	0.065	1.092
3	120.0	30.00	174.8	1.46	0.262	12774.7	1207.9	632.5	632.5	0.050	1.049
4	225.0	30.00	202.2	1.00	0.213	36668.4	3168.8	1567.2	1567.2	0.043	1.213
5	100.0	30.00	179.5	1.50	0.197	7602.9	926.0	322.8	322.8	0.042	1.077

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete:  $K_{pr} = 69990.9 \text{ daN/cm}$

Taglio ultimo della parete:  $V_{pr} = 3261.2 \text{ daN}$

Spostamento ultimo:  $\delta_{u pr} = 1.049 \text{ cm}$

## VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 69991 - 88360 = -18369 \text{ daN/cm}$  (riduzione rigidezza = -20.8%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 3261 - 3950 = -689 \text{ daN}$  (riduzione resistenza = -17.4%)

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.  $F_o = K \delta_{u pr}$

Telaio	c	$H_i$ [cm]	$K$ [daN/cm]	$M_u$ [daN cm]	$\delta_e$ [cm]	$F_u$ [daN]	$F_o$ [daN]
A	12	141.40	21621.2	1114539.0	0.73	15764.3	15764.3

$K_t = \Sigma K = 21621 \text{ daN/cm}$

$V_t = \Sigma F_o = 15764 \text{ daN}$

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

$\Delta K_{tot} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = 3252 \text{ daN/cm}$

aumento rigidezza = 3.7%; variazione percentuale di  $\Delta K_{tot}$  compresa entro il 15.0% (Ok)

$\Delta V_{tot} = V_{pr} + V_t - V_{sa} = 15076 \text{ daN}$

aumento resistenza = 381.7%;  $\Delta V_{tot} > 0$  (Ok)

## VERIFICA ARCHITRAVI IN ACCIAIO

La verifica si riferisce alla fase di montaggio nel momento in cui è già stata rimossa la muratura, ma le architravi non sono ancora collegate ai montanti.

Architrave: 2 HE 120 A

$J_x = 1212.8 \text{ cm}^4$ ,  $W_x = 212.8 \text{ cm}^3$ ,  $A_{\text{taglio}} = 11.4 \text{ cm}^2$

Luce di calcolo  $L = 146.4 \text{ cm}$

P.P. architrave  $PPa = 0.398 \text{ daN/cm}$

P.P. fascia muratura  $PPm = 0.869 \text{ daN/cm}$

Carico permanente trasmesso dalla sovrastruttura  $G_k = 0.00 \text{ daN/cm}$

Carico variabile trasmesso dalla sovrastruttura  $Q_k = 0.00 \text{ daN/cm}$

$q_{SLU} = 1.3 (G_k + PPa + PPm) + 1.5 Q_k = 1.65 \text{ daN/cm}$

$q_{SLE} = G_1 + G_2 + PPa + PPm + 0.3 Q_k = 1.27 \text{ daN/cm}$

$M_{sd} = (q_{SLU} L^2) / 8 = 4414.5 \text{ daN cm} < W_x f_{yd} = 557269.5 \text{ daN cm} \text{ (Ok)}$

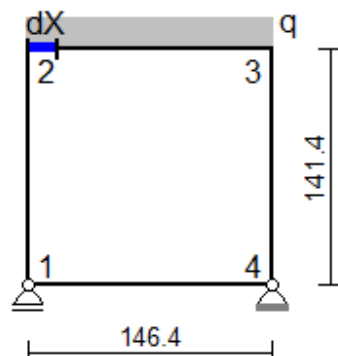
$V_{sd} = (q_{SLU} L) / 2 = 120.6 \text{ daN}$

$1.5 V_{sd} / A_{\text{taglio}} = 15.9 \text{ daN} < f_{yd} / 3^{1/2} = 1512.1 \text{ daN} \text{ (Ok)}$

Freccia  $= (5/384) (q_{SLE} L^4) / (E J_x) = 0.0030 \text{ cm} < L/500 = 0.2928 \text{ cm} \text{ (Ok)}$

## Verifiche dei telai.

Telaio A



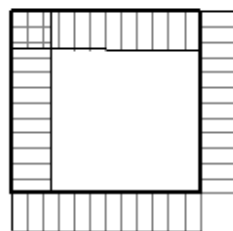
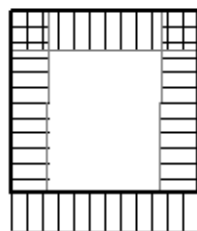
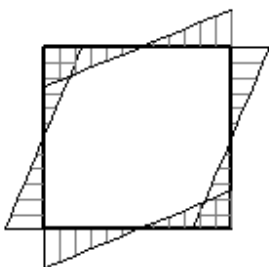
$dX = 0.729 \text{ cm}$ ,  $q = G_k + \psi_2 Q_k = 0.35 \text{ daN/cm} \text{ } (\psi_2 = 0.30)$

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	-270287.8	-3565.2	3808.1
	2	11.8	-225415.3	-3569.9	3808.1
	3	23.6	-180542.9	-3574.6	3808.1
	4	35.4	-135670.5	-3579.3	3808.1

5	47.1	-90798.0	-3584.0	3808.1
6	58.9	-45925.6	-3588.7	3808.1
7	70.7	-1053.2	-3593.4	3808.1
8	82.5	43819.3	-3598.1	3808.1
9	94.3	88691.7	-3602.8	3808.1
10	106.1	133564.1	-3607.4	3808.1
11	117.8	178436.6	-3612.1	3808.1
12	129.6	223309.0	-3616.8	3808.1
13	141.4	268181.4	-3621.5	3808.1

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE 120 A	12.0	11.4	106.3878	119.5482	25.3	8.5	0.50	0.80	1.20

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

**Taglio:** sez. 1, dist. = 0.0 cm, Ved = 1904.1 daN

Taglio resistente:  $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 12806.06$  daN

Ved /  $V_{crd} = 0.149 < 1$  Ok

**Tenso-flessione:** sez. 1, dist. = 0.0 cm, Med = -135143.9 daNcm, Ned = -1782.6 daN, Ved = 1904.1 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$ ,  $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.41$ ,  $\psi = -1.15$

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

Anima a presso-flessione:  $c_w / a = 14.80 < 36 \varepsilon / \alpha = 80.70$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 66390.3$  daN

$n = N_{ed} / N_{rd} = -0.027$ ,  $a = (A - 2 B e) / A = 0.243$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 313102.5$  daNcm

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 365886.8$  daNcm  $> M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

Med /  $M_{nrd} = 0.43 < 1$  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	268181.4	3830.0	-3621.5
	2	12.2	223943.1	3830.0	-3630.7
	3	24.4	179593.1	3830.0	-3639.8
	4	36.6	135131.5	3830.0	-3649.0
	5	48.8	90558.3	3830.0	-3658.1
	6	61.0	45873.4	3830.0	-3667.3
	7	73.2	1076.8	3830.0	-3676.4
	8	85.4	-43831.4	3830.0	-3685.6
	9	97.6	-88851.2	3830.0	-3694.7
	10	109.8	-133982.6	3830.0	-3703.9
	11	122.0	-179225.7	3830.0	-3713.0
	12	134.2	-224580.5	3830.0	-3722.2
	13	146.4	-270046.9	3830.0	-3731.3

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
---------	--------	--------	----------	-----------	---------	----------	--------	--------	--------



HE 120 A 12.0 11.4 106.3878 119.5482 25.3 8.5 0.50 0.80 1.20

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

**Taglio:** sez. 13, dist. = 146.4 cm, Ved = -1865.7 daN

Taglio resistente:  $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 12806.06 \text{ daN}$

Ved /  $V_{crd} = 0.146 < 1$  Ok

**Presso-flessione:** sez. 13, dist. = 146.4 cm, Med = -135023.4 daNcm, Ned = 1915.0 daN, Ved = -1865.7 daN

Classificazione della sezione:

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

Ali in compressione:  $c_f / e = 5.69 < 9 \epsilon = 8.32$  (cl. 1)

Anima a presso-flessione:  $c_w / a = 14.80 < 396 \epsilon / (13 \alpha - 1) = 54.45$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 66390.3 \text{ daN}$

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.029$ ,  $a = (A - 2 B e) / A = 0.243$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 313102.5 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 346041.5 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

Med /  $M_{nrd} = 0.43 < 1$  Ok

sez. 1, dist. = 0.0 cm, Med = 134090.7 daNcm, Ned = 1915.0 daN, Ved = -1810.8 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 586413.1 \text{ daN}$

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$  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	-270046.9	3731.3	3830.0
	2	11.8	-224916.8	3736.0	3830.0
	3	23.6	-179786.8	3740.7	3830.0
	4	35.4	-134656.8	3745.4	3830.0
	5	47.1	-89526.8	3750.1	3830.0
	6	58.9	-44396.8	3754.8	3830.0
	7	70.7	733.3	3759.5	3830.0
	8	82.5	45863.3	3764.2	3830.0
	9	94.3	90993.3	3768.8	3830.0
	10	106.1	136123.3	3773.5	3830.0
	11	117.8	181253.4	3778.2	3830.0
	12	129.6	226383.4	3782.9	3830.0
	13	141.4	271513.4	3787.6	3830.0

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE 120 A	12.0	11.4	106.3878	119.5482	25.3	8.5	0.50	0.80	1.20

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

**Taglio:** sez. 1, dist. = 0.0 cm, Ved = 1915.0 daN

Taglio resistente:  $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 12806.06 \text{ daN}$

$$V_{ed} / V_{crd} = 0.150 < 1 \quad \text{Ok}$$

**Presso-flessione:** sez. 13, dist. = 141.4 cm, Med = 135756.7 daNcm, Ned = 1893.8 daN, Ved = 1915.0 daN

Classificazione della sezione:

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

$$\text{Ali in compressione: } c_f / e = 5.69 < 9 \quad \varepsilon = 8.32 \quad (\text{cl. 1})$$

$$\text{Anima a presso-flessione: } c_w / a = 14.80 < 396 \quad \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 54.56 \quad (\text{cl. 1})$$

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 66390.3 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.029, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.243$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 313102.5 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 346155.3 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.43 < 1 \quad \text{Ok}$$

sez. 13, dist. = 141.4 cm, Med = 135756.7 daNcm, Ned = 1893.8 daN, Ved = 1915.0 daN

Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 628618.3 \text{ daN}$$

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

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

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
4-1	1	0.0	270287.8	3808.1	-3671.7
	2	12.2	225463.5	3808.1	-3676.6
	3	24.4	180579.9	3808.1	-3681.4
	4	36.6	135637.2	3808.1	-3686.3
	5	48.8	90635.1	3808.1	-3691.1
	6	61.0	45573.9	3808.1	-3696.0
	7	73.2	453.4	3808.1	-3700.8
	8	85.4	-44726.3	3808.1	-3705.7
	9	97.6	-89965.3	3808.1	-3710.5
	10	109.8	-135263.4	3808.1	-3715.4
	11	122.0	-180620.9	3808.1	-3720.3
	12	134.2	-226037.5	3808.1	-3725.1
	13	146.4	-271513.4	3808.1	-3730.0

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE 120 A	12.0	11.4	106.3878	119.5482	25.3	8.5	0.50	0.80	1.20

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

**Taglio:** sez. 13, dist. = 146.4 cm, Ved = -1865.0 daN

$$\text{Taglio resistente: } V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 12806.06 \text{ daN}$$

$$V_{ed} / V_{crd} = 0.146 < 1 \quad \text{Ok}$$

**Presso-flessione:** sez. 13, dist. = 146.4 cm, Med = -135756.7 daNcm, Ned = 1904.1 daN, Ved = -1865.0 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:  $c_f / e = 5.69 < 9 \varepsilon = 8.32$  (cl. 1)

Anima a presso-flessione:  $c_w / a = 14.80 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 54.50$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 66390.3 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.029, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.243$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 313102.5 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 346100.2 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.43 < 1 \text{ Ok}$$

sez. 1, dist. = 0.0 cm,  $M_{ed} = 135143.9 \text{ daNcm}$ ,  $N_{ed} = 1904.1 \text{ daN}$ ,  $V_{ed} = -1835.8 \text{ daN}$

Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 586413.1 \text{ daN}$$

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

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.

## 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: 2020.02.0016f  
Licenza: .....

## MATERIALI

### Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019  
 $f_m$  - resistenza compressione [daN/cm<sup>2</sup>]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)  
 $\tau_o$  - resistenza a taglio [daN/cm<sup>2</sup>]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)  
 $f_{vo}$  - resistenza a taglio [daN/cm<sup>2</sup>]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)  
 $E$  - modulo elastico [daN/cm<sup>2</sup>]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)  
 $G$  - modulo el. tang. [daN/cm<sup>2</sup>]: 4000.0 (min.), 6000.0 (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 = 26.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 $\tau_o$  - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{vo}$  - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm<sup>2</sup>  
 $E$  - modulo elastico = 15000.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 $G$  - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 $\gamma_m$  = peso specifico = 1800.0 daN/mc

### Valori di progetto:

Coef. parz. sic.  $\gamma_M = 2.00$  (4.5.6.1)  
 $f_m = 13.00$  daN/cm<sup>2</sup>  
 $\tau_o = 0.25$  daN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{vo} = 0.65$  daN/cm<sup>2</sup>  
Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00  
 $E = 7500$  daN/cm<sup>2</sup>  
 $G = 2500$  daN/cm<sup>2</sup>

### Materiali dei telai

Acciaio	$f_{yk}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$f_{tk}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$E$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$G$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\gamma_a$ [kg/mc]
S 275	2750.0	4300.0	2100000.0	807692.0	7850.0

### Sezioni in acciaio dei telai

Profilo	$B$ [cm]	$H$ [cm]	$W_x$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_{px}$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_y$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_{py}$ [cm <sup>3</sup> ]	Area [cm <sup>2</sup> ]	Peso [kg/m]
HE 120 A	12.0	11.4	106.4	119.6	38.5	58.9	25.4	19.90

## 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

$f_{td}$  = Resistenza di calcolo a trazione per fessurazione diagonale della muratura =  $1,5 \tau_o$

$\sigma_o$  = 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  $n = 3$  (senza cordolo o cordolo deformabile => schema a mensola).

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

$H$  altezza deformabile =  $h' + 0.33 L (H_{Piano} - h') / h'$  (metodo Dolce, fasce murarie parzialmente

rigide)

con  $h' =$  base media dei trapezi individuati tra le aperture

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

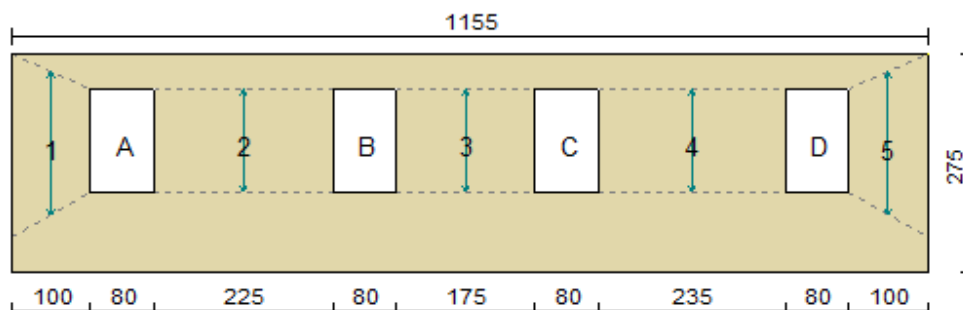
In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

Carico permanente  $G_k = 0.0$  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

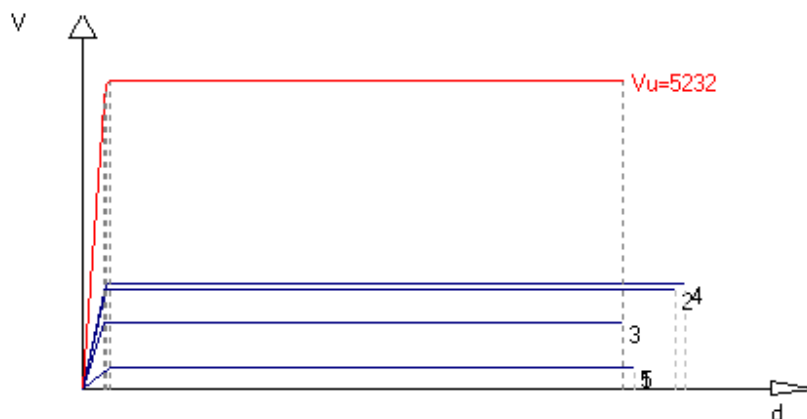


$T$  (sp. parete) = 30.00 cm

Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	$\sigma_o$	$K_o$	$V_t$	$V_{pf}$	$V_u$	$\delta_e$	$\delta_u$
1	100.0	198.4	1.50	0.225	5861.9	948.6	333.2	333.2	0.057	1.190
2	225.0	212.8	1.00	0.239	33137.6	3238.0	1666.1	1666.1	0.050	1.277

3	175.0	194.4	1.11	0.241	23724.9	2270.5	1112.1	1112.1	0.047	1.166
4	235.0	216.5	1.00	0.239	34915.0	3381.9	1786.9	1786.9	0.051	1.299
5	100.0	198.4	1.50	0.225	5861.9	948.6	333.2	333.2	0.057	1.190

Curva caratteristica ante-operam:

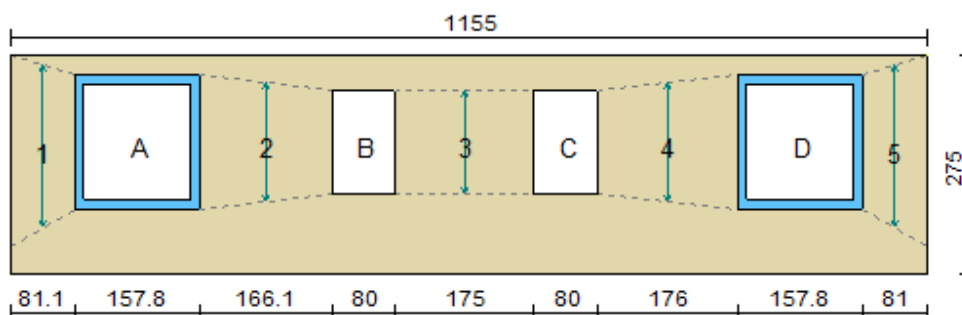


Rigidezza complessiva della parete:  $K_{sa} = 103501.3 \text{ daN/cm}$

Taglio ultimo della parete:  $V_{sa} = 5231.5 \text{ daN}$

Spostamento ultimo:  $\delta_{u sa} = 1.166 \text{ cm}$

## Post-operam

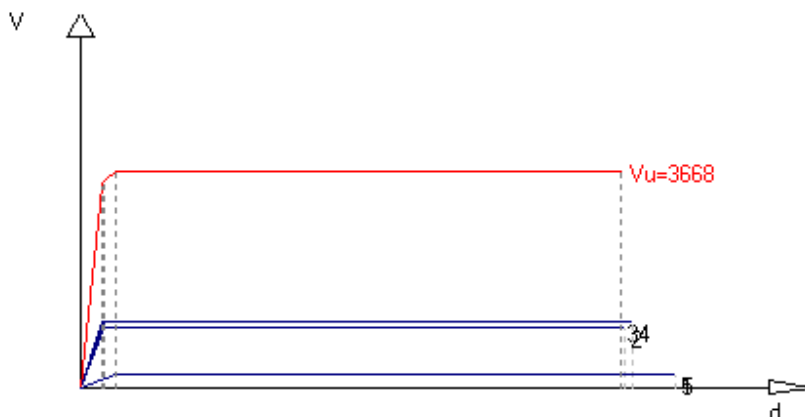


$T \text{ (sp. parete) } = 30.00 \text{ cm}$

Apertura	Stato	Montanti per lato	Architravi	Travi inf.
A	Cerchiata	2 HE 120 A (S 275)	2 HE 120 A (S 275)	2 HE 120 A (S 275)
B	Libera	No	No	No
C	Libera	No	No	No
D	Cerchiata	2 HE 120 A (S 275)	2 HE 120 A (S 275)	2 HE 120 A (S 275)

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	$\sigma_o$	$K_o$	$V_t$	$V_{pf}$	$V_u$	$\delta_e$	$\delta_u$
1	81.1	30.00	213.5	1.50	0.232	2727.7	774.1	210.3	210.3	0.077	1.281
2	166.1	30.00	195.3	1.18	0.245	20954.7	2043.5	1015.9	1015.9	0.048	1.172
3	175.0	30.00	194.4	1.11	0.241	23724.9	2270.5	1112.1	1112.1	0.047	1.166
4	176.1	30.00	198.1	1.13	0.244	23087.5	2261.9	1119.0	1119.0	0.048	1.189
5	81.1	30.00	213.5	1.50	0.232	2727.7	774.1	210.3	210.3	0.077	1.281

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete:  $K_{pr} = 73222.6 \text{ daN/cm}$

Taglio ultimo della parete:  $V_{pr} = 3667.5 \text{ daN}$

Spostamento ultimo:  $\delta_{u pr} = 1.166 \text{ cm}$

## VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 73223 - 103501 = -30279 \text{ daN/cm}$  (riduzione rigidezza = -29.3%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 3668 - 5232 = -1564 \text{ daN}$  (riduzione resistenza = -29.9%)

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]
A	12	156.40	15977.8	1114562.0	0.89	14252.7	14252.7
D	12	156.40	15977.8	1114562.0	0.89	14252.7	14252.7

$K_t = \sum K = 31956 \text{ daN/cm}$

$V_t = \sum F_o = 28505 \text{ daN}$

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

$\Delta K_{tot} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = 1677 \text{ daN/cm}$

aumento rigidezza = 1.6%; variazione percentuale di  $\Delta K_{tot}$  compresa entro il 15.0% (Ok)

$\Delta V_{tot} = V_{pr} + V_t - V_{sa} = 26941 \text{ daN}$

aumento resistenza = 515.0%;  $\Delta V_{tot} > 0$  (Ok)

## VERIFICA ARCHITRAVI IN ACCIAIO

La verifica si riferisce alla fase di montaggio nel momento in cui è già stata rimossa la muratura, ma le architravi non sono ancora collegate ai montanti.



Architrave apertura A: 2 HE 120 A

$J_x = 1212.8 \text{ cm}^4$ ,  $W_x = 212.8 \text{ cm}^3$ ,  $A_{\text{taglio}} = 11.4 \text{ cm}^2$

Luce di calcolo  $L = 146.4 \text{ cm}$

P.P. architrave  $PPa = 0.398 \text{ daN/cm}$

P.P. fascia muratura  $PPm = 1.409 \text{ daN/cm}$

Carico permanente trasmesso dalla sovrastruttura  $G_k = 0.00 \text{ daN/cm}$

Carico variabile trasmesso dalla sovrastruttura  $Q_k = 0.00 \text{ daN/cm}$

$q_{\text{SLU}} = 1.3 (G_k + PPa + PPm) + 1.5 Q_k = 2.35 \text{ daN/cm}$

$q_{\text{SLE}} = G_1 + G_2 + PPa + PPm + 0.3 Q_k = 1.81 \text{ daN/cm}$

$M_{\text{sd}} = (q_{\text{SLU}} L^2) / 8 = 6295.3 \text{ daN cm} < W_x f_{yd} = 557280.9 \text{ daN cm} \quad (\text{Ok})$

$V_{\text{sd}} = (q_{\text{SLU}} L) / 2 = 172.0 \text{ daN}$

$1.5 V_{\text{sd}} / A_{\text{taglio}} = 22.6 \text{ daN} < f_{yd} / 3^{1/2} = 1512.1 \text{ daN} \quad (\text{Ok})$

Freccia  $= (5/384) (q_{\text{SLE}} L^4) / (E J_x) = 0.0042 \text{ cm} < L/500 = 0.2928 \text{ cm} \quad (\text{Ok})$

Architrave apertura D: 2 HE 120 A

$J_x = 1212.8 \text{ cm}^4$ ,  $W_x = 212.8 \text{ cm}^3$ ,  $A_{\text{taglio}} = 11.4 \text{ cm}^2$

Luce di calcolo  $L = 146.4 \text{ cm}$

P.P. architrave  $PPa = 0.398 \text{ daN/cm}$

P.P. fascia muratura  $PPm = 1.409 \text{ daN/cm}$

Carico permanente trasmesso dalla sovrastruttura  $G_k = 0.00 \text{ daN/cm}$

Carico variabile trasmesso dalla sovrastruttura  $Q_k = 0.00 \text{ daN/cm}$

$q_{\text{SLU}} = 1.3 (G_k + PPa + PPm) + 1.5 Q_k = 2.35 \text{ daN/cm}$

$q_{\text{SLE}} = G_1 + G_2 + PPa + PPm + 0.3 Q_k = 1.81 \text{ daN/cm}$

$M_{\text{sd}} = (q_{\text{SLU}} L^2) / 8 = 6295.3 \text{ daN cm} < W_x f_{yd} = 557280.9 \text{ daN cm} \quad (\text{Ok})$

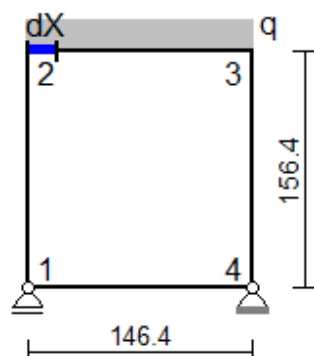
$V_{\text{sd}} = (q_{\text{SLU}} L) / 2 = 172.0 \text{ daN}$

$1.5 V_{\text{sd}} / A_{\text{taglio}} = 22.6 \text{ daN} < f_{yd} / 3^{1/2} = 1512.1 \text{ daN} \quad (\text{Ok})$

Freccia  $= (5/384) (q_{\text{SLE}} L^4) / (E J_x) = 0.0042 \text{ cm} < L/500 = 0.2928 \text{ cm} \quad (\text{Ok})$

## Verifiche dei telai.

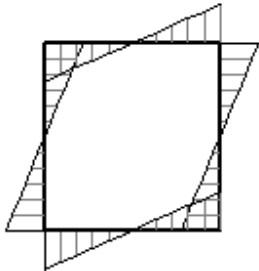
Telaio A



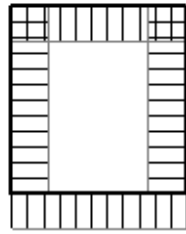
$dX = 0.892 \text{ cm}$ ,  $q = G_k + \psi_2 Q_k = 0.61 \text{ daN/cm} \quad (\psi_2 = 0.30)$

Sollecitazioni telaio A

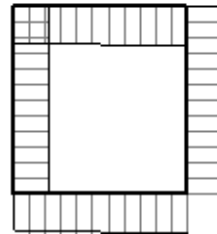
Momento flettente



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	-284563.0	-3734.0	3623.2
	2	13.0	-237340.6	-3739.1	3623.2
	3	26.1	-190118.1	-3744.3	3623.2
	4	39.1	-142895.7	-3749.5	3623.2
	5	52.1	-95673.3	-3754.7	3623.2
	6	65.2	-48450.8	-3759.9	3623.2
	7	78.2	-1228.4	-3765.1	3623.2
	8	91.2	45994.1	-3770.3	3623.2
	9	104.3	93216.5	-3775.4	3623.2
	10	117.3	140438.9	-3780.6	3623.2
	11	130.3	187661.4	-3785.8	3623.2
	12	143.4	234883.8	-3791.0	3623.2
	13	156.4	282106.3	-3796.2	3623.2

2 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]
HE 120 A	12.0	11.4	106.39	119.55	25.4	8.5	0.50	0.80	1.20

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

**Taglio:** sez. 1, dist. = 0.0 cm, Ved = 1811.6 daN

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

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

**Tenso-flessione:** sez. 1, dist. = 0.0 cm, Med = -142281.5 daNcm, Ned = -1867.0 daN, Ved = 1811.6 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$ ,  $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.41$ ,  $\psi = -1.16$

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

Anima a presso-flessione:  $c_w / a = 14.80 < 36 \varepsilon / \alpha = 81.51$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

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

$n = N_{ed} / N_{rd} = -0.028$ ,  $a = (A - 2 B e) / A = 0.243$

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

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 366350.8 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$M_{ed} / M_{nrd} = 0.45 < 1$  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	282106.3	3646.9	-3796.2
	2	13.3	231492.8	3646.9	-3809.6
	3	26.6	180700.4	3646.9	-3823.1
	4	39.9	129729.1	3646.9	-3836.5
	5	53.2	78578.7	3646.9	-3850.0
	6	66.5	27249.5	3646.9	-3863.4
	7	79.9	-24258.8	3646.9	-3876.9
	8	93.2	-75946.1	3646.9	-3890.3
	9	106.5	-127812.2	3646.9	-3903.8
	10	119.8	-179857.4	3646.9	-3917.2
	11	133.1	-232081.5	3646.9	-3930.7
	12	146.4	-284484.6	3646.9	-3944.1

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE 120 A	12.0	11.4	106.39	119.55	25.4	8.5	0.50	0.80	1.20

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

**Taglio:** sez. 12, dist. = 146.4 cm, Ved = -1972.1 daN

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

$V_{ed} / V_{crd} = 0.154 < 1$  Ok

**Presso-flessione:** sez. 12, dist. = 146.4 cm, Med = -142242.3 daNcm, Ned = 1823.4 daN, Ved = -1972.1 daN

Classificazione della sezione:

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

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

Anima a presso-flessione:  $c_w / a = 14.80 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 54.93$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

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

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.027$ ,  $a = (A - 2 B e) / A = 0.243$

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

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 346544.3 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$M_{ed} / M_{nrd} = 0.45 < 1$  Ok

sez. 1, dist. = 0.0 cm, Med = 141053.1 daNcm, Ned = 1823.4 daN, Ved = -1898.1 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 586412.6 \text{ daN}$

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$  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	-284484.6	3944.1	3646.9
	2	13.0	-236953.9	3949.3	3646.9
	3	26.1	-189423.2	3954.5	3646.9
	4	39.1	-141892.5	3959.7	3646.9
	5	52.1	-94361.8	3964.9	3646.9

6	65.2	-46831.1	3970.1	3646.9
7	78.2	699.6	3975.2	3646.9
8	91.2	48230.3	3980.4	3646.9
9	104.3	95761.0	3985.6	3646.9
10	117.3	143291.7	3990.8	3646.9
11	130.3	190822.4	3996.0	3646.9
12	143.4	238353.1	4001.2	3646.9
13	156.4	285883.8	4006.4	3646.9

2 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]
HE 120 A	12.0	11.4	106.39	119.55	25.4	8.5	0.50	0.80	1.20

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

**Taglio:** sez. 1, dist. = 0.0 cm, Ved = 1823.4 daN

Taglio resistente: Vcrd = Av f<sub>yk</sub> / ( γ<sub>M0</sub> √3 ) = 12807.55 daN

Ved / Vcrd = 0.142 < 1 Ok

**Presso-flessione:** sez. 13, dist. = 156.4 cm, Med = 142941.9 daNcm, Ned = 2003.2 daN, Ved = 1823.4 daN

Classificazione della sezione:

ε = √(235 / f<sub>yk</sub>) = 0.92, α = 0.5 (1 + (N / (cw a f<sub>yk</sub>))) = 0.60, ψ = -0.85

Ali in compressione: cf / e = 5.69 < 9 ε = 8.32 (cl. 1)

Anima a presso-flessione: cw / a = 14.80 < 396 ε / (13 α - 1) = 54.00 (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

Nrd = A f<sub>yk</sub> / γ<sub>M0</sub> = 66392.9 daN

n = Ned / Nrd = 0.030, a = (A - 2 B e) / A = 0.243

Mrd = Wpx f<sub>yk</sub> / γ<sub>M0</sub> = 313107.2 daNcm

Mnrd = Mrn (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 345579.6 daNcm > Mrd => Mnrd = Mrd

Med / Mnrd = 0.46 < 1 Ok

sez. 13, dist. = 156.4 cm, Med = 142941.9 daNcm, Ned = 2003.2 daN, Ved = 1823.4 daN

Instabilità a compressione:

Ncr = π<sup>2</sup> E J / lo<sup>2</sup> = 513821.1 daN

Ned < 0.04 Ncr => Verifica non richiesta

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

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
4-1	1	0.0	284563.0	3623.2	-3867.4
	2	13.3	233056.7	3623.2	-3872.7
	3	26.6	181479.9	3623.2	-3878.0
	4	39.9	129832.6	3623.2	-3883.3
	5	53.2	78114.8	3623.2	-3888.5
	6	66.5	26326.5	3623.2	-3893.8
	7	79.9	-25532.3	3623.2	-3899.1
	8	93.2	-77461.6	3623.2	-3904.4
	9	106.5	-129461.4	3623.2	-3909.7
	10	119.8	-181531.7	3623.2	-3915.0
	11	133.1	-233672.5	3623.2	-3920.3
	12	146.4	-285883.8	3623.2	-3925.6

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE 120 A	12.0	11.4	106.39	119.55	25.4	8.5	0.50	0.80	1.20

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

**Taglio:** sez. 12, dist. = 146.4 cm, Ved = -1962.8 daN

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

$V_{ed} / V_{crd} = 0.153 < 1$  Ok

**Presso-flessione:** sez. 12, dist. = 146.4 cm, Med = -142941.9 daNcm, Ned = 1811.6 daN, Ved = -1962.8 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{235 / f_{yk}} = 0.92$ ,  $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.59$ ,  $\psi = -0.87$

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

Anima a presso-flessione:  $c_w / a = 14.80 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 54.99$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

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

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.027$ ,  $a = (A - 2 B e) / A = 0.243$

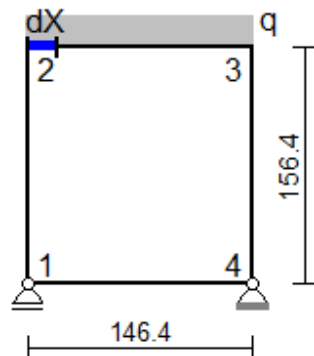
$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 313107.2 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 346607.8 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$M_{ed} / M_{nrd} = 0.46 < 1$  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.

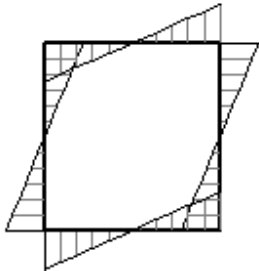
Telaio D



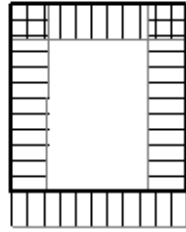
$dX = 0.892 \text{ cm}$ ,  $q = G_k + \psi_2 Q_k = 1.17 \text{ daN/cm}$  ( $\psi_2 = 0.30$ )

Sollecitazioni telaio D

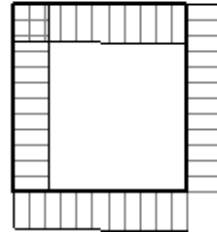
Momento flettente



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	-284437.5	-3693.1	3618.5
	2	13.0	-237276.1	-3698.3	3618.5
	3	26.1	-190114.8	-3703.5	3618.5
	4	39.1	-142953.4	-3708.7	3618.5
	5	52.1	-95792.1	-3713.8	3618.5
	6	65.2	-48630.7	-3719.0	3618.5
	7	78.2	-1469.4	-3724.2	3618.5
	8	91.2	45692.0	-3729.4	3618.5
	9	104.3	92853.4	-3734.6	3618.5
	10	117.3	140014.7	-3739.8	3618.5
	11	130.3	187176.1	-3745.0	3618.5
	12	143.4	234337.5	-3750.2	3618.5
	13	156.4	281498.8	-3755.3	3618.5

2 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]
HE 120 A	12.0	11.4	106.39	119.55	25.4	8.5	0.50	0.80	1.20

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

**Taglio:** sez. 1, dist. = 0.0 cm, Ved = 1809.3 daN

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

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

**Tenso-flessione:** sez. 1, dist. = 0.0 cm, Med = -142218.8 daNcm, Ned = -1846.5 daN, Ved = 1809.3 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$ ,  $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.41$ ,  $\psi = -1.16$

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

Anima a presso-flessione:  $c_w / a = 14.80 < 36 \varepsilon / \alpha = 81.31$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

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

$n = N_{ed} / N_{rd} = -0.028$ ,  $a = (A - 2 B e) / A = 0.243$

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

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 366241.1 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$M_{ed} / M_{nrd} = 0.45 < 1$  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	281498.8	3651.5	-3755.3
	2	13.3	231379.7	3651.5	-3776.2
	3	26.6	180982.7	3651.5	-3797.1
	4	39.9	130307.9	3651.5	-3818.0
	5	53.2	79355.3	3651.5	-3838.8
	6	66.5	28124.9	3651.5	-3859.7
	7	79.9	-23383.4	3651.5	-3880.6
	8	93.2	-75169.5	3651.5	-3901.5
	9	106.5	-127233.4	3651.5	-3922.3
	10	119.8	-179575.1	3651.5	-3943.2
	11	133.1	-232194.7	3651.5	-3964.1
	12	146.4	-285092.1	3651.5	-3985.0

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE 120 A	12.0	11.4	106.39	119.55	25.4	8.5	0.50	0.80	1.20

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

**Taglio:** sez. 12, dist. = 146.4 cm, Ved = -1992.5 daN

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

$V_{ed} / V_{crd} = 0.156 < 1$  Ok

**Presso-flessione:** sez. 12, dist. = 146.4 cm, Med = -142546.0 daNcm, Ned = 1825.8 daN, Ved = -1992.5 daN

Classificazione della sezione:

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

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

Anima a presso-flessione:  $c_w / a = 14.80 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 54.91$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

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

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.027$ ,  $a = (A - 2 B e) / A = 0.243$

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

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 346531.8 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

$M_{ed} / M_{nrd} = 0.46 < 1$  Ok

sez. 1, dist. = 0.0 cm, Med = 140749.4 daNcm, Ned = 1825.8 daN, Ved = -1877.7 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 586412.6 \text{ daN}$

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$  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	-285092.1	3985.0	3651.5
	2	13.0	-237500.3	3990.2	3651.5
	3	26.1	-189908.5	3995.3	3651.5
	4	39.1	-142316.8	4000.5	3651.5
	5	52.1	-94725.0	4005.7	3651.5

6	65.2	-47133.2	4010.9	3651.5
7	78.2	458.6	4016.1	3651.5
8	91.2	48050.4	4021.3	3651.5
9	104.3	95642.2	4026.5	3651.5
10	117.3	143233.9	4031.7	3651.5
11	130.3	190825.7	4036.8	3651.5
12	143.4	238417.5	4042.0	3651.5
13	156.4	286009.3	4047.2	3651.5

2 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]
HE 120 A	12.0	11.4	106.39	119.55	25.4	8.5	0.50	0.80	1.20

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

**Taglio:** sez. 1, dist. = 0.0 cm, Ved = 1825.8 daN

Taglio resistente: Vcrd = Av f<sub>yk</sub> / ( γ<sub>M0</sub> √3 ) = 12807.55 daN

Ved / Vcrd = 0.143 < 1 Ok

**Presso-flessione:** sez. 13, dist. = 156.4 cm, Med = 143004.6 daNcm, Ned = 2023.6 daN, Ved = 1825.8 daN

Classificazione della sezione:

ε = √(235 / f<sub>yk</sub>) = 0.92, α = 0.5 (1 + (N / (cw a f<sub>yk</sub>))) = 0.60, ψ = -0.85

Ali in compressione: cf / e = 5.69 < 9 ε = 8.32 (cl. 1)

Anima a presso-flessione: cw / a = 14.80 < 396 ε / (13 α - 1) = 53.89 (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

Nrd = A f<sub>yk</sub> / γ<sub>M0</sub> = 66392.9 daN

n = Ned / Nrd = 0.030, a = (A - 2 B e) / A = 0.243

Mrd = Wpx f<sub>yk</sub> / γ<sub>M0</sub> = 313107.2 daNcm

Mnrd = Mrn (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 345470.0 daNcm > Mrd => Mnrd = Mrd

Med / Mnrd = 0.46 < 1 Ok

sez. 13, dist. = 156.4 cm, Med = 143004.6 daNcm, Ned = 2023.6 daN, Ved = 1825.8 daN

Instabilità a compressione:

Ncr = π<sup>2</sup> E J / lo<sup>2</sup> = 513821.1 daN

Ned < 0.04 Ncr => Verifica non richiesta

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

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
4-1	1	0.0	284437.5	3618.5	-3867.4
	2	13.3	232931.2	3618.5	-3872.7
	3	26.6	181354.4	3618.5	-3878.0
	4	39.9	129707.1	3618.5	-3883.3
	5	53.2	77989.3	3618.5	-3888.5
	6	66.5	26201.0	3618.5	-3893.8
	7	79.9	-25657.8	3618.5	-3899.1
	8	93.2	-77587.1	3618.5	-3904.4
	9	106.5	-129586.9	3618.5	-3909.7
	10	119.8	-181657.2	3618.5	-3915.0
	11	133.1	-233798.0	3618.5	-3920.3
	12	146.4	-286009.3	3618.5	-3925.6



2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE 120 A	12.0	11.4	106.39	119.55	25.4	8.5	0.50	0.80	1.20

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

**Taglio:** sez. 12, dist. = 146.4 cm, Ved = -1962.8 daN

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

Ved / Vcrd = 0.153 < 1 Ok

**Presso-flessione:** sez. 12, dist. = 146.4 cm, Med = -143004.6 daNcm, Ned = 1809.3 daN, Ved = -1962.8 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$ ,  $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.59$ ,  $\psi = -0.87$

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

Anima a presso-flessione:  $c_w / a = 14.80 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 55.00$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

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

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.027$ ,  $a = (A - 2 B e) / A = 0.243$

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

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 346620.4 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

Med / Mnrđ = 0.46 < 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.

## 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: 2020.02.0016f  
Licenza: .....

## MATERIALI

### Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019  
 $f_m$  - resistenza compressione [daN/cm<sup>2</sup>]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)  
 $\tau_o$  - resistenza a taglio [daN/cm<sup>2</sup>]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)  
 $f_{vo}$  - resistenza a taglio [daN/cm<sup>2</sup>]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)  
 $E$  - modulo elastico [daN/cm<sup>2</sup>]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)  
 $G$  - modulo el. tang. [daN/cm<sup>2</sup>]: 4000.0 (min.), 6000.0 (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 = 26.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 $\tau_o$  - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{vo}$  - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm<sup>2</sup>  
 $E$  - modulo elastico = 15000.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 $G$  - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 $\gamma_m$  = peso specifico = 1800.0 daN/mc

### Valori di progetto:

Coef. parz. sic.  $\gamma_M = 2.00$  (4.5.6.1)  
 $f_m = 13.00$  daN/cm<sup>2</sup>  
 $\tau_o = 0.25$  daN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{vo} = 0.65$  daN/cm<sup>2</sup>  
Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00  
 $E = 7500$  daN/cm<sup>2</sup>  
 $G = 2500$  daN/cm<sup>2</sup>

### Materiali del telaio

Acciaio	$f_{yk}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$f_{tk}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$E$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$G$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\gamma_a$ [kg/mc]
S 275	2750.0	4300.0	2100000.0	807692.0	7850.0

### Sezioni in acciaio del telaio

Profilo	$B$ [cm]	$H$ [cm]	$W_x$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_{px}$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_y$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_{py}$ [cm <sup>3</sup> ]	Area [cm <sup>2</sup> ]	Peso [kg/m]
HE 120 A	12.0	11.4	106.4	119.5	38.5	58.9	25.3	19.90

## 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

$f_{td}$  = Resistenza di calcolo a trazione per fessurazione diagonale della muratura =  $1,5 \tau_o$

$\sigma_o$  = 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  $n = 3$  (senza cordolo o cordolo deformabile => schema a mensola).

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

$H$  altezza deformabile =  $h' + 0.33 L (H_{Piano} - h') / h'$  (metodo Dolce, fasce murarie parzialmente

rigide)

con  $h' =$  base media dei trapezi individuati tra le aperture

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

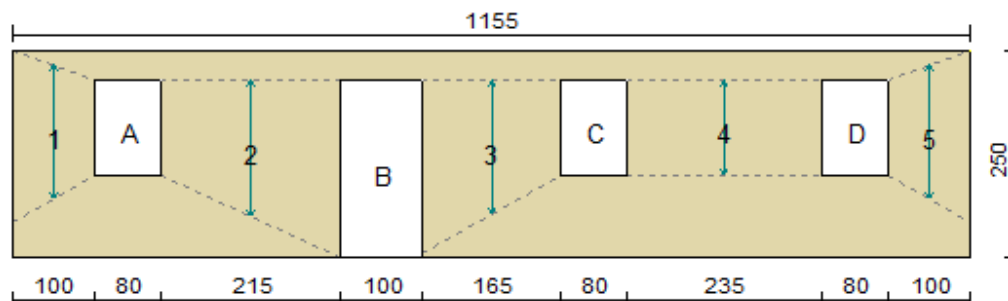
In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

Carico permanente  $G_k = 0.0$  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

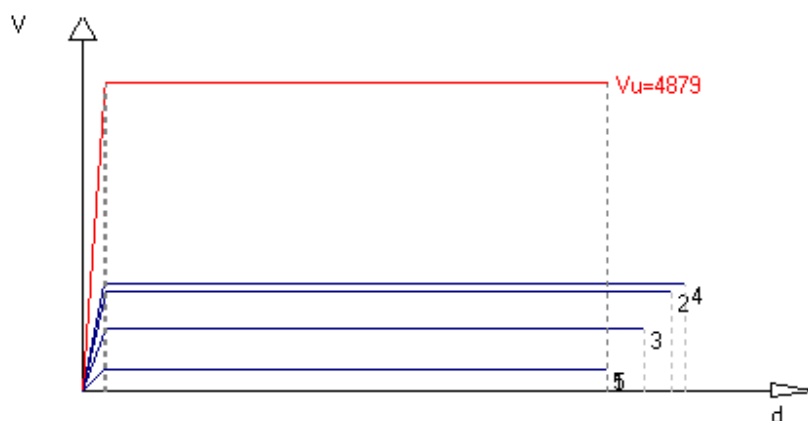


$T$  (sp. parete) = 30.00 cm

Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	$\sigma_o$	$K_o$	$V_t$	$V_{pf}$	$V_u$	$\delta_e$	$\delta_u$
1	100.0	179.5	1.50	0.197	7602.9	926.0	322.8	322.8	0.042	1.077
2	215.0	201.6	1.00	0.232	33732.8	3078.2	1565.0	1565.0	0.046	1.209

3	165.0	191.9	1.16	0.237	21474.8	2039.9	989.0	989.0	0.046	1.151
4	235.0	206.0	1.00	0.213	38447.5	3310.3	1679.2	1679.2	0.044	1.236
5	100.0	179.5	1.50	0.197	7602.9	926.0	322.8	322.8	0.042	1.077

Curva caratteristica ante-operam:

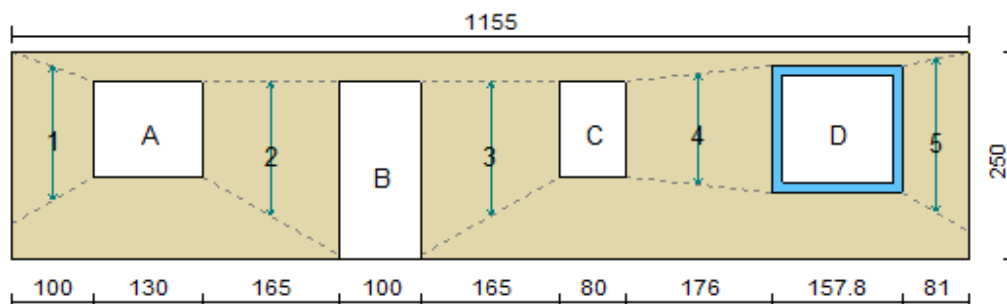


Rigidezza complessiva della parete:  $K_{sa} = 108860.8 \text{ daN/cm}$

Taglio ultimo della parete:  $V_{sa} = 4878.8 \text{ daN}$

Spostamento ultimo:  $\delta_{u sa} = 1.077 \text{ cm}$

### Post-operam



$T \text{ (sp. parete) } = 30.00 \text{ cm}$

Apertura	Stato	Montanti per lato	Architravi	Travi inf.
A	Libera	No	No	No
B	Libera	No	No	No
C	Libera	No	No	No
D	Cerchiata	2 HE 120 A (S 275)	2 HE 120 A (S 275)	2 HE 120 A (S 275)

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	$\sigma_o$	$K_o$	$V_t$	$V_{pf}$	$V_u$	$\delta_e$	$\delta_u$
1	100.0	30.00	179.5	1.50	0.203	7602.9	931.0	332.9	332.9	0.044	1.077
2	165.0	30.00	191.9	1.16	0.244	21474.8	2050.4	1014.9	1014.9	0.047	1.151
3	165.0	30.00	191.9	1.16	0.237	21474.8	2039.9	989.0	989.0	0.046	1.151
4	176.1	30.00	184.3	1.05	0.209	26940.7	2363.4	1037.4	1037.4	0.039	1.106
5	81.1	30.00	193.8	1.50	0.199	3560.5	752.4	198.8	198.8	0.056	1.163

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete:  $K_{pr} = 81053.6 \text{ daN/cm}$

Taglio ultimo della parete:  $V_{pr} = 3573.0 \text{ daN}$

Spostamento ultimo:  $\delta_{u pr} = 1.077 \text{ cm}$

## VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 81054 - 108861 = -27807 \text{ daN/cm}$  (riduzione rigidezza = -25.5%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 3573 - 4879 = -1306 \text{ daN}$  (riduzione resistenza = -26.8%)

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.  $F_o = K \delta_{u pr}$

Telaio	c	$H_i$ [cm]	$K$ [daN/cm]	$M_u$ [daN cm]	$\delta_e$ [cm]	$F_u$ [daN]	$F_o$ [daN]
D	12	141.40	21621.2	1114539.0	0.73	15764.3	15764.3

$K_t = \sum K = 21621 \text{ daN/cm}$

$V_t = \sum F_o = 15764 \text{ daN}$

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

$\Delta K_{tot} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = -6186 \text{ daN/cm}$

riduzione rigidezza = -5.7%; variazione percentuale di  $\Delta K_{tot}$  compresa entro il 15.0% (Ok)

$\Delta V_{tot} = V_{pr} + V_t - V_{sa} = 14459 \text{ daN}$

aumento resistenza = 296.4%;  $\Delta V_{tot} > 0$  (Ok)

## VERIFICA ARCHITRAVI IN ACCIAIO

La verifica si riferisce alla fase di montaggio nel momento in cui è già stata rimossa la muratura, ma le architravi non sono ancora collegate ai montanti.

Architrave: 2 HE 120 A

$J_x = 1212.8 \text{ cm}^4$ ,  $W_x = 212.8 \text{ cm}^3$ ,  $A_{\text{taglio}} = 11.4 \text{ cm}^2$

Luce di calcolo  $L = 146.4 \text{ cm}$

P.P. architrave  $PPa = 0.398 \text{ daN/cm}$

P.P. fascia muratura  $PPm = 0.869 \text{ daN/cm}$

Carico permanente trasmesso dalla sovrastruttura  $G_k = 0.00 \text{ daN/cm}$

Carico variabile trasmesso dalla sovrastruttura  $Q_k = 0.00 \text{ daN/cm}$

$q_{SLU} = 1.3 (G_k + PPa + PPm) + 1.5 Q_k = 1.65 \text{ daN/cm}$

$q_{SLE} = G_1 + G_2 + PPa + PPm + 0.3 Q_k = 1.27 \text{ daN/cm}$

$M_{sd} = (q_{SLU} L^2) / 8 = 4414.5 \text{ daN cm} < W_x f_{yd} = 557269.5 \text{ daN cm} \text{ (Ok)}$

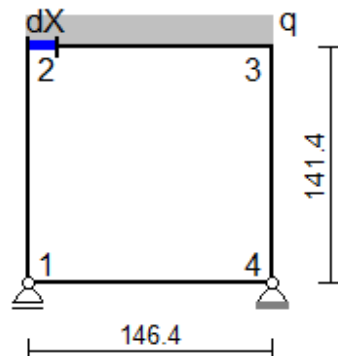
$V_{sd} = (q_{SLU} L) / 2 = 120.6 \text{ daN}$

$1.5 V_{sd} / A_{\text{taglio}} = 15.9 \text{ daN} < f_{yd} / 3^{1/2} = 1512.1 \text{ daN} \text{ (Ok)}$

Freccia  $= (5/384) (q_{SLE} L^4) / (E J_x) = 0.0030 \text{ cm} < L/500 = 0.2928 \text{ cm} \text{ (Ok)}$

### Verifiche dei telai.

Telaio D



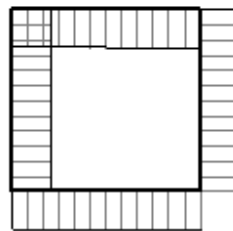
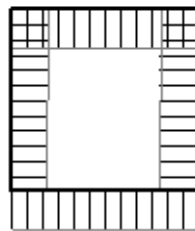
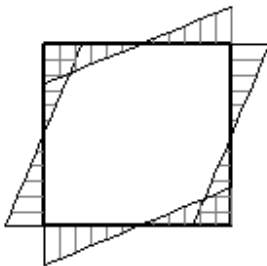
$dX = 0.729 \text{ cm}$ ,  $q = G_k + \psi_2 Q_k = 0.78 \text{ daN/cm} \text{ } (\psi_2 = 0.30)$

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	-270193.9	-3533.9	3804.0
	2	11.8	-225369.5	-3538.5	3804.0
	3	23.6	-180545.2	-3543.2	3804.0
	4	35.4	-135720.9	-3547.9	3804.0

5	47.1	-90896.6	-3552.6	3804.0
6	58.9	-46072.3	-3557.3	3804.0
7	70.7	-1247.9	-3562.0	3804.0
8	82.5	43576.4	-3566.7	3804.0
9	94.3	88400.7	-3571.4	3804.0
10	106.1	133225.0	-3576.1	3804.0
11	117.8	178049.4	-3580.8	3804.0
12	129.6	222873.7	-3585.4	3804.0
13	141.4	267698.0	-3590.1	3804.0

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE 120 A	12.0	11.4	106.3878	119.5482	25.3	8.5	0.50	0.80	1.20

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

**Taglio:** sez. 1, dist. = 0.0 cm, Ved = 1902.0 daN

Taglio resistente:  $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 12806.06$  daN

Ved /  $V_{crd} = 0.149 < 1$  Ok

**Tenso-flessione:** sez. 1, dist. = 0.0 cm, Med = -135096.9 daNcm, Ned = -1766.9 daN, Ved = 1902.0 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$ ,  $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.41$ ,  $\psi = -1.15$

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

Anima a presso-flessione:  $c_w / a = 14.80 < 36 \varepsilon / \alpha = 80.54$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 66390.3$  daN

$n = N_{ed} / N_{rd} = -0.027$ ,  $a = (A - 2 B e) / A = 0.243$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 313102.5$  daNcm

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 365802.6$  daNcm  $> M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

Med /  $M_{nrd} = 0.43 < 1$  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	267698.0	3834.1	-3590.1
	2	12.2	223810.7	3834.1	-3604.5
	3	24.4	179748.0	3834.1	-3618.9
	4	36.6	135509.7	3834.1	-3633.3
	5	48.8	91096.0	3834.1	-3647.7
	6	61.0	46506.9	3834.1	-3662.0
	7	73.2	1742.2	3834.1	-3676.4
	8	85.4	-43197.9	3834.1	-3690.8
	9	97.6	-88313.4	3834.1	-3705.2
	10	109.8	-133604.4	3834.1	-3719.6
	11	122.0	-179070.9	3834.1	-3734.0
	12	134.2	-224712.9	3834.1	-3748.3
	13	146.4	-270530.3	3834.1	-3762.7

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
---------	--------	--------	----------	-----------	---------	----------	--------	--------	--------



HE 120 A 12.0 11.4 106.3878 119.5482 25.3 8.5 0.50 0.80 1.20

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

**Taglio:** sez. 13, dist. = 146.4 cm, Ved = -1881.4 daN

Taglio resistente:  $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 12806.06 \text{ daN}$

Ved /  $V_{crd} = 0.147 < 1$  Ok

**Presso-flessione:** sez. 13, dist. = 146.4 cm, Med = -135265.2 daNcm, Ned = 1917.0 daN, Ved = -1881.4 daN

Classificazione della sezione:

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

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

Anima a presso-flessione:  $c_w / a = 14.80 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 54.44$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 66390.3 \text{ daN}$

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.029$ ,  $a = (A - 2 B e) / A = 0.243$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 313102.5 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 346030.6 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

Med /  $M_{nrd} = 0.43 < 1$  Ok

sez. 1, dist. = 0.0 cm, Med = 133849.0 daNcm, Ned = 1917.0 daN, Ved = -1795.1 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 586413.1 \text{ daN}$

Ned < 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	-270530.3	3762.7	3834.1
	2	11.8	-225352.2	3767.4	3834.1
	3	23.6	-180174.0	3772.1	3834.1
	4	35.4	-134995.9	3776.8	3834.1
	5	47.1	-89817.8	3781.5	3834.1
	6	58.9	-44639.7	3786.2	3834.1
	7	70.7	538.4	3790.9	3834.1
	8	82.5	45716.6	3795.5	3834.1
	9	94.3	90894.7	3800.2	3834.1
	10	106.1	136072.8	3804.9	3834.1
	11	117.8	181250.9	3809.6	3834.1
	12	129.6	226429.1	3814.3	3834.1
	13	141.4	271607.2	3819.0	3834.1

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE 120 A	12.0	11.4	106.3878	119.5482	25.3	8.5	0.50	0.80	1.20

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

**Taglio:** sez. 1, dist. = 0.0 cm, Ved = 1917.0 daN

Taglio resistente:  $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 12806.06 \text{ daN}$

$$V_{ed} / V_{crd} = 0.150 < 1 \quad \text{Ok}$$

**Presso-flessione:** sez. 13, dist. = 141.4 cm, Med = 135803.6 daNcm, Ned = 1909.5 daN, Ved = 1917.0 daN

Classificazione della sezione:

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

$$\text{Ali in compressione: } c_f / e = 5.69 < 9 \quad \varepsilon = 8.32 \quad (\text{cl. 1})$$

$$\text{Anima a presso-flessione: } c_w / a = 14.80 < 396 \quad \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 54.48 \quad (\text{cl. 1})$$

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 66390.3 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.029, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.243$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 313102.5 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 346071.1 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.43 < 1 \quad \text{Ok}$$

sez. 13, dist. = 141.4 cm, Med = 135803.6 daNcm, Ned = 1909.5 daN, Ved = 1917.0 daN

Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 628618.3 \text{ daN}$$

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

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

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
4-1	1	0.0	270193.9	3804.0	-3671.7
	2	12.2	225369.6	3804.0	-3676.6
	3	24.4	180486.1	3804.0	-3681.4
	4	36.6	135543.3	3804.0	-3686.3
	5	48.8	90541.3	3804.0	-3691.1
	6	61.0	45480.1	3804.0	-3696.0
	7	73.2	359.6	3804.0	-3700.8
	8	85.4	-44820.1	3804.0	-3705.7
	9	97.6	-90059.0	3804.0	-3710.5
	10	109.8	-135357.2	3804.0	-3715.4
	11	122.0	-180714.6	3804.0	-3720.2
	12	134.2	-226131.3	3804.0	-3725.1
	13	146.4	-271607.2	3804.0	-3730.0

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE 120 A	12.0	11.4	106.39	119.55	25.4	8.5	0.50	0.80	1.20

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

**Taglio:** sez. 13, dist. = 146.4 cm, Ved = -1865.0 daN

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

$$V_{ed} / V_{crd} = 0.146 < 1 \quad \text{Ok}$$

**Presso-flessione:** sez. 13, dist. = 146.4 cm, Med = -135803.6 daNcm, Ned = 1902.0 daN, Ved = -1865.0 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:  $c_f / e = 5.69 < 9 \varepsilon = 8.32$  (cl. 1)

Anima a presso-flessione:  $c_w / a = 14.80 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 54.51$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

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

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.029, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.243$$

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

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 346122.5 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.43 < 1 \text{ Ok}$$

sez. 1, dist. = 0.0 cm,  $M_{ed} = 135096.9 \text{ daNcm}$ ,  $N_{ed} = 1902.0 \text{ daN}$ ,  $V_{ed} = -1835.8 \text{ daN}$

Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 586412.6 \text{ daN}$$

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

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.

## 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: 2020.02.0016f  
Licenza: .....

## MATERIALI

### Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019  
 $f_m$  - resistenza compressione [daN/cm<sup>2</sup>]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)  
 $\tau_o$  - resistenza a taglio [daN/cm<sup>2</sup>]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)  
 $f_{vo}$  - resistenza a taglio [daN/cm<sup>2</sup>]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)  
 $E$  - modulo elastico [daN/cm<sup>2</sup>]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)  
 $G$  - modulo el. tang. [daN/cm<sup>2</sup>]: 4000.0 (min.), 6000.0 (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 = 26.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 $\tau_o$  - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{vo}$  - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm<sup>2</sup>  
 $E$  - modulo elastico = 15000.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 $G$  - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 $\gamma_m$  = peso specifico = 1800.0 daN/mc

### Valori di progetto:

Coef. parz. sic.  $\gamma_M = 2.00$  (4.5.6.1)  
 $f_m = 13.00$  daN/cm<sup>2</sup>  
 $\tau_o = 0.25$  daN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{vo} = 0.65$  daN/cm<sup>2</sup>  
Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00  
 $E = 7500$  daN/cm<sup>2</sup>  
 $G = 2500$  daN/cm<sup>2</sup>

### Materiali del telaio

Acciaio	$f_{yk}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$f_{tk}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$E$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$G$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\gamma_a$ [kg/mc]
S 275	2750.0	4300.0	2100000.0	807692.0	7850.0

### Sezioni in acciaio del telaio

Profilo	$B$ [cm]	$H$ [cm]	$W_x$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_{px}$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_y$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_{py}$ [cm <sup>3</sup> ]	Area [cm <sup>2</sup> ]	Peso [kg/m]
HE 120 A	12.0	11.4	106.4	119.5	38.5	58.9	25.3	19.90

## 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

$f_{td}$  = Resistenza di calcolo a trazione per fessurazione diagonale della muratura =  $1,5 \tau_o$

$\sigma_o$  = 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  $n = 3$  (senza cordolo o cordolo deformabile => schema a mensola).

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

$H$  altezza deformabile =  $h' + 0.33 L (H_{Piano} - h') / h'$  (metodo Dolce, fasce murarie parzialmente

rigide)

con  $h' =$  base media dei trapezi individuati tra le aperture

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

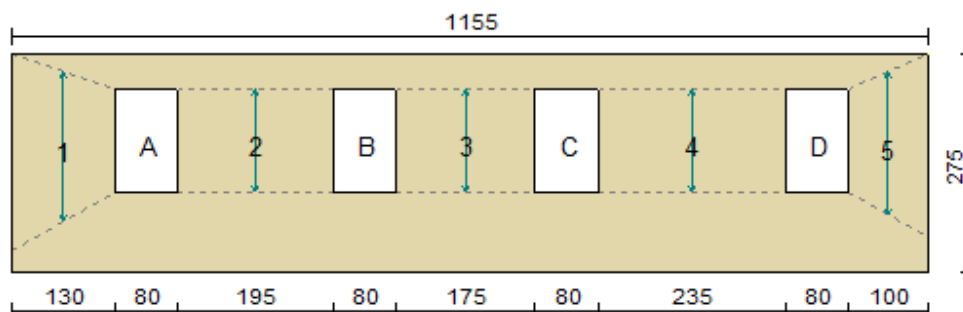
In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

Carico permanente  $G_k = 0.0$  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

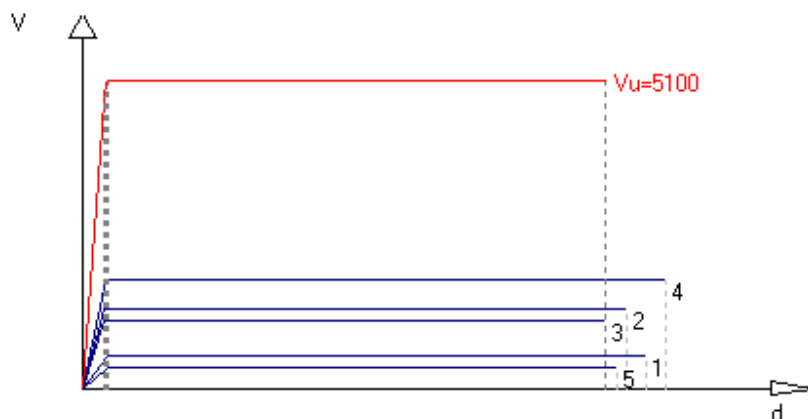


$T$  (sp. parete) = 30.00 cm

Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	$\sigma_o$	$K_o$	$V_t$	$V_{pf}$	$V_u$	$\delta_e$	$\delta_u$
1	130.0	209.2	1.50	0.229	10015.3	1237.7	544.1	544.1	0.054	1.255
2	195.0	201.8	1.03	0.239	27584.9	2713.5	1323.5	1323.5	0.048	1.211

3	175.0	194.4	1.11	0.241	23724.9	2270.5	1112.1	1112.1	0.047	1.166
4	235.0	216.5	1.00	0.239	34915.0	3381.9	1786.9	1786.9	0.051	1.299
5	100.0	198.4	1.50	0.225	5861.9	948.6	333.2	333.2	0.057	1.190

Curva caratteristica ante-operam:

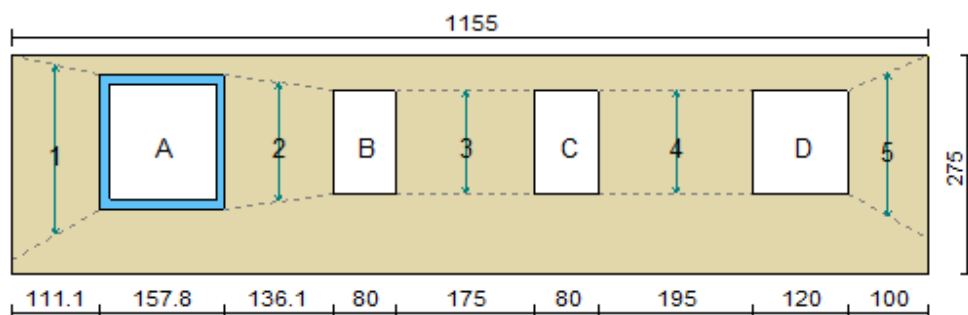


Rigidezza complessiva della parete:  $K_{sa} = 102101.9 \text{ daN/cm}$

Taglio ultimo della parete:  $V_{sa} = 5099.8 \text{ daN}$

Spostamento ultimo:  $\delta_{u sa} = 1.166 \text{ cm}$

### Post-operam

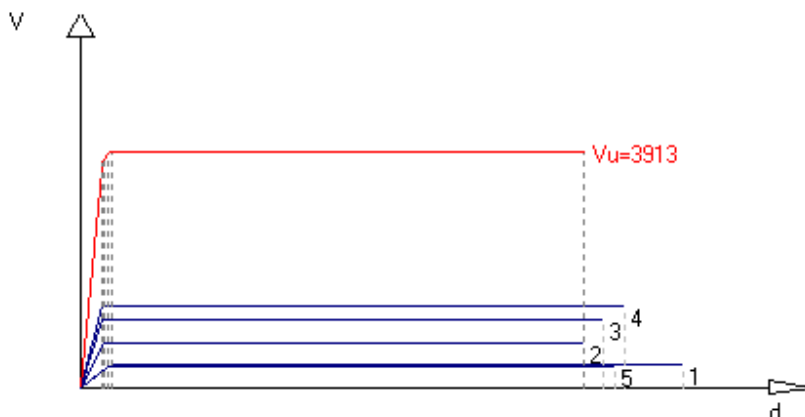


$T (\text{sp. parete}) = 30.00 \text{ cm}$

Apertura	Stato	Montanti per lato	Architravi	Travi inf.
A	Cerchiata	2 HE 120 A (S 275)	2 HE 120 A (S 275)	2 HE 120 A (S 275)
B	Libera	No	No	No
C	Libera	No	No	No
D	Libera	No	No	No

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	$\sigma_o$	$K_o$	$V_t$	$V_{pf}$	$V_u$	$\delta_e$	$\delta_u$
1	111.1	30.00	223.6	1.50	0.235	5645.0	1062.3	380.1	380.1	0.067	1.342
2	136.1	30.00	186.9	1.37	0.252	14696.8	1441.4	731.9	731.9	0.050	1.122
3	175.0	30.00	194.4	1.11	0.241	23724.9	2270.5	1112.1	1112.1	0.047	1.166
4	195.0	30.00	201.8	1.03	0.243	27584.9	2722.7	1346.2	1346.2	0.049	1.211
5	100.0	30.00	198.4	1.50	0.232	5861.9	953.9	342.8	342.8	0.058	1.190

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete:  $K_{pr} = 77513.3 \text{ daN/cm}$

Taglio ultimo della parete:  $V_{pr} = 3913.2 \text{ daN}$

Spostamento ultimo:  $\delta_{u pr} = 1.122 \text{ cm}$

## VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 77513 - 102102 = -24589 \text{ daN/cm}$  (riduzione rigidezza = -24.1%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 3913 - 5100 = -1187 \text{ daN}$  (riduzione resistenza = -23.3%)

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.  $F_o = K \delta_{u pr}$

Telaio	c	$H_i$ [cm]	$K$ [daN/cm]	$M_u$ [daN cm]	$\delta_e$ [cm]	$F_u$ [daN]	$F_o$ [daN]
A	12	156.40	15977.8	1114539.0	0.89	14252.4	14252.4

$K_t = \sum K = 15978 \text{ daN/cm}$

$V_t = \sum F_o = 14252 \text{ daN}$

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

$\Delta K_{tot} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = -8611 \text{ daN/cm}$

riduzione rigidezza = -8.4%; variazione percentuale di  $\Delta K_{tot}$  compresa entro il 15.0% (Ok)

$\Delta V_{tot} = V_{pr} + V_t - V_{sa} = 13066 \text{ daN}$

aumento resistenza = 256.2%;  $\Delta V_{tot} > 0$  (Ok)

## VERIFICA ARCHITRAVI IN ACCIAIO

La verifica si riferisce alla fase di montaggio nel momento in cui è già stata rimossa la muratura, ma le architravi non sono ancora collegate ai montanti.



Architrave: 2 HE 120 A

$J_x = 1212.8 \text{ cm}^4$ ,  $W_x = 212.8 \text{ cm}^3$ ,  $A_{\text{taglio}} = 11.4 \text{ cm}^2$

Luce di calcolo  $L = 146.4 \text{ cm}$

P.P. architrave  $PPa = 0.398 \text{ daN/cm}$

P.P. fascia muratura  $PPm = 1.409 \text{ daN/cm}$

Carico permanente trasmesso dalla sovrastruttura  $G_k = 0.00 \text{ daN/cm}$

Carico variabile trasmesso dalla sovrastruttura  $Q_k = 0.00 \text{ daN/cm}$

$q_{SLU} = 1.3 (G_k + PPa + PPm) + 1.5 Q_k = 2.35 \text{ daN/cm}$

$q_{SLE} = G_1 + G_2 + PPa + PPm + 0.3 Q_k = 1.81 \text{ daN/cm}$

$M_{sd} = (q_{SLU} L^2) / 8 = 6295.2 \text{ daN cm} < W_x f_{yd} = 557269.5 \text{ daN cm} \text{ (Ok)}$

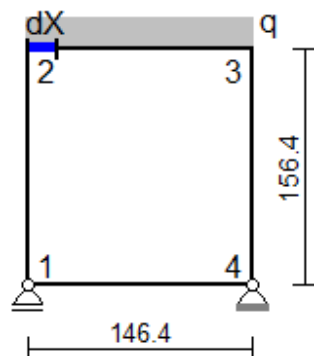
$V_{sd} = (q_{SLU} L) / 2 = 172.0 \text{ daN}$

$1.5 V_{sd} / A_{\text{taglio}} = 22.6 \text{ daN} < f_{yd} / 3^{1/2} = 1512.1 \text{ daN} \text{ (Ok)}$

Freccia  $= (5/384) (q_{SLE} L^4) / (E J_x) = 0.0042 \text{ cm} < L/500 = 0.2928 \text{ cm} \text{ (Ok)}$

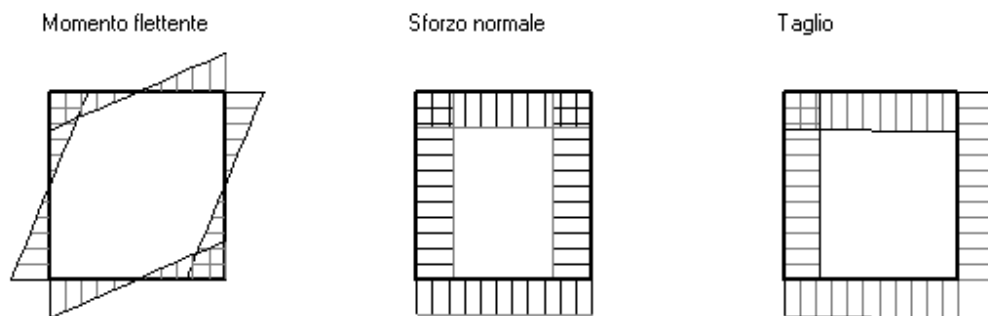
### Verifiche dei telai.

Telaio A



$dX = 0.892 \text{ cm}$ ,  $q = G_k + \psi_2 Q_k = 0.58 \text{ daN/cm}$  ( $\psi_2 = 0.30$ )

Sollecitazioni telaio A



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	-284569.7	-3736.1	3623.5
	2	13.0	-237344.1	-3741.3	3623.5
	3	26.1	-190118.5	-3746.5	3623.5
	4	39.1	-142892.8	-3751.6	3623.5

5	52.1	-95667.2	-3756.8	3623.5
6	65.2	-48441.5	-3762.0	3623.5
7	78.2	-1215.9	-3767.2	3623.5
8	91.2	46009.8	-3772.4	3623.5
9	104.3	93235.4	-3777.6	3623.5
10	117.3	140461.0	-3782.8	3623.5
11	130.3	187686.7	-3788.0	3623.5
12	143.4	234912.3	-3793.1	3623.5
13	156.4	282137.9	-3798.3	3623.5

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE 120 A	12.0	11.4	106.3878	119.5482	25.3	8.5	0.50	0.80	1.20

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

**Taglio:** sez. 1, dist. = 0.0 cm, Ved = 1811.7 daN

Taglio resistente:  $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 12806.06$  daN

Ved / Vcrd = 0.141 < 1 Ok

**Tenso-flessione:** sez. 1, dist. = 0.0 cm, Med = -142284.9 daNcm, Ned = -1868.0 daN, Ved = 1811.7 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$ ,  $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.41$ ,  $\psi = -1.16$

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

Anima a presso-flessione:  $c_w / a = 14.80 < 36 \varepsilon / \alpha = 81.53$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 66390.3$  daN

$n = N_{ed} / N_{rd} = -0.028$ ,  $a = (A - 2 B e) / A = 0.243$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 313102.5$  daNcm

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 366345.3$  daNcm >  $M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

Med / Mnrđ = 0.45 < 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	282137.9	3646.6	-3798.3
	2	13.3	231498.8	3646.6	-3811.4
	3	26.6	180685.8	3646.6	-3824.4
	4	39.9	129699.0	3646.6	-3837.5
	5	53.2	78538.4	3646.6	-3850.6
	6	66.5	27204.0	3646.6	-3863.6
	7	79.9	-24304.4	3646.6	-3876.7
	8	93.2	-75986.5	3646.6	-3889.7
	9	106.5	-127842.4	3646.6	-3902.8
	10	119.8	-179872.1	3646.6	-3915.9
	11	133.1	-232075.7	3646.6	-3928.9
	12	146.4	-284453.1	3646.6	-3942.0

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE 120 A	12.0	11.4	106.3878	119.5482	25.3	8.5	0.50	0.80	1.20

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

**Taglio:** sez. 12, dist. = 146.4 cm, Ved = -1971.0 daN

Taglio resistente:  $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 12806.06 \text{ daN}$

Ved /  $V_{crd} = 0.154 < 1$  Ok

**Presso-flessione:** sez. 12, dist. = 146.4 cm, Med = -142226.6 daNcm, Ned = 1823.3 daN, Ved = -1971.0 daN

Classificazione della sezione:

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

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

Anima a presso-flessione:  $c w / a = 14.80 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 54.93$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 66390.3 \text{ daN}$

$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.027$ ,  $a = (A - 2 B e) / A = 0.243$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 313102.5 \text{ daNcm}$

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 346533.6 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

Med /  $M_{nrd} = 0.45 < 1$  Ok

sez. 1, dist. = 0.0 cm, Med = 141069.0 daNcm, Ned = 1823.3 daN, Ved = -1899.2 daN

Instabilità a compressione:

$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 586413.1 \text{ daN}$

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$  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	-284453.1	3942.0	3646.6
	2	13.0	-236925.6	3947.2	3646.6
	3	26.1	-189398.0	3952.4	3646.6
	4	39.1	-141870.5	3957.6	3646.6
	5	52.1	-94343.0	3962.7	3646.6
	6	65.2	-46815.4	3967.9	3646.6
	7	78.2	712.1	3973.1	3646.6
	8	91.2	48239.7	3978.3	3646.6
	9	104.3	95767.2	3983.5	3646.6
	10	117.3	143294.8	3988.7	3646.6
	11	130.3	190822.3	3993.9	3646.6
	12	143.4	238349.9	3999.0	3646.6
	13	156.4	285877.4	4004.2	3646.6

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE 120 A	12.0	11.4	106.3878	119.5482	25.3	8.5	0.50	0.80	1.20

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

**Taglio:** sez. 1, dist. = 0.0 cm, Ved = 1823.3 daN

Taglio resistente:  $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 12806.06 \text{ daN}$

Ved /  $V_{crd} = 0.142 < 1$  Ok

**Presso-flessione:** sez. 13, dist. = 156.4 cm, Med = 142938.7 daNcm, Ned = 2002.1 daN, Ved = 1823.3 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (cw a f_{yk}))) = 0.60, \quad \psi = -0.85$$

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

Anima a presso-flessione:  $cw / a = 14.80 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 54.00$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 66390.3 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.030, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.243$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 313102.5 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 345573.9 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$Med / M_{nrd} = 0.46 < 1 \text{ Ok}$$

sez. 13, dist. = 156.4 cm, Med = 142938.7 daNcm, Ned = 2002.1 daN, Ved = 1823.3 daN

Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 513821.6 \text{ daN}$$

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

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

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
4-1	1	0.0	284569.7	3623.5	-3867.4
	2	13.3	233063.4	3623.5	-3872.7
	3	26.6	181486.5	3623.5	-3878.0
	4	39.9	129839.2	3623.5	-3883.3
	5	53.2	78121.3	3623.5	-3888.6
	6	66.5	26333.0	3623.5	-3893.8
	7	79.9	-25525.8	3623.5	-3899.1
	8	93.2	-77455.2	3623.5	-3904.4
	9	106.5	-129455.0	3623.5	-3909.7
	10	119.8	-181525.3	3623.5	-3915.0
	11	133.1	-233666.1	3623.5	-3920.3
	12	146.4	-285877.4	3623.5	-3925.6

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	W <sub>x</sub> [cm³]	W <sub>px</sub> [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE 120 A	12.0	11.4	106.3878	119.5482	25.3	8.5	0.50	0.80	1.20

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

**Taglio:** sez. 12, dist. = 146.4 cm, Ved = -1962.8 daN

$$\text{Taglio resistente: } V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 12806.06 \text{ daN}$$

$$V_{ed} / V_{crd} = 0.153 < 1 \text{ Ok}$$

**Presso-flessione:** sez. 12, dist. = 146.4 cm, Med = -142938.7 daNcm, Ned = 1811.7 daN, Ved = -1962.8 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (cw a f_{yk}))) = 0.59, \quad \psi = -0.87$$

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

Anima a presso-flessione:  $c_w / a = 14.80 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 54.99$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 66390.3 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.027, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.243$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 313102.5 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 346595.8 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.46 < 1 \text{ Ok}$$

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.

## 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: 2020.02.0016f  
Licenza: .....

## MATERIALI

### Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019  
 $f_m$  - resistenza compressione [daN/cm<sup>2</sup>]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)  
 $\tau_o$  - resistenza a taglio [daN/cm<sup>2</sup>]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)  
 $f_{vo}$  - resistenza a taglio [daN/cm<sup>2</sup>]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)  
 $E$  - modulo elastico [daN/cm<sup>2</sup>]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)  
 $G$  - modulo el. tang. [daN/cm<sup>2</sup>]: 4000.0 (min.), 6000.0 (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 = 26.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 $\tau_o$  - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{vo}$  - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm<sup>2</sup>  
 $E$  - modulo elastico = 15000.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 $G$  - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 $\gamma_m$  = peso specifico = 1800.0 daN/mc

### Valori di progetto:

Coef. parz. sic.  $\gamma_M = 2.00$  (4.5.6.1)  
 $f_m = 13.00$  daN/cm<sup>2</sup>  
 $\tau_o = 0.25$  daN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{vo} = 0.65$  daN/cm<sup>2</sup>  
Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00  
 $E = 7500$  daN/cm<sup>2</sup>  
 $G = 2500$  daN/cm<sup>2</sup>

### Materiali del telaio

Acciaio	$f_{yk}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$f_{tk}$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$E$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$G$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\gamma_a$ [kg/mc]
S 275	2750.0	4300.0	2100000.0	807692.0	7850.0

### Sezioni in acciaio del telaio

Profilo	$B$ [cm]	$H$ [cm]	$W_x$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_{px}$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_y$ [cm <sup>3</sup> ]	$W_{py}$ [cm <sup>3</sup> ]	Area [cm <sup>2</sup> ]	Peso [kg/m]
HE 240 A	24.0	23.0	675.4	745.0	230.7	351.7	76.9	60.36
HE 120 A	12.0	11.4	106.4	119.6	38.5	58.9	25.4	19.90

## 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

$f_{td}$  = Resistenza di calcolo a trazione per fessurazione diagonale della muratura = 1,5  $\tau_o$

$\sigma_o$  = 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  $n = 3$  (senza cordolo o cordolo deformabile => schema a mensola).

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

$H$  altezza deformabile =  $h' + 0.33 L (H_{\text{Piano}} - h') / h'$  (metodo Dolce, fasce murarie parzialmente rigide)  
con  $h'$  = base media dei trapezi individuati tra le aperture

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 rigidzze 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

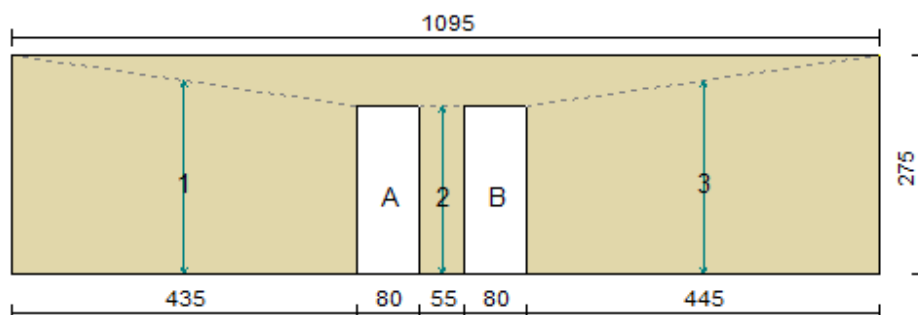
In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

Carico permanente  $G_k = 0.0$  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 semifasce superiori gravanti sul maschio stesso.

## Ante-operam



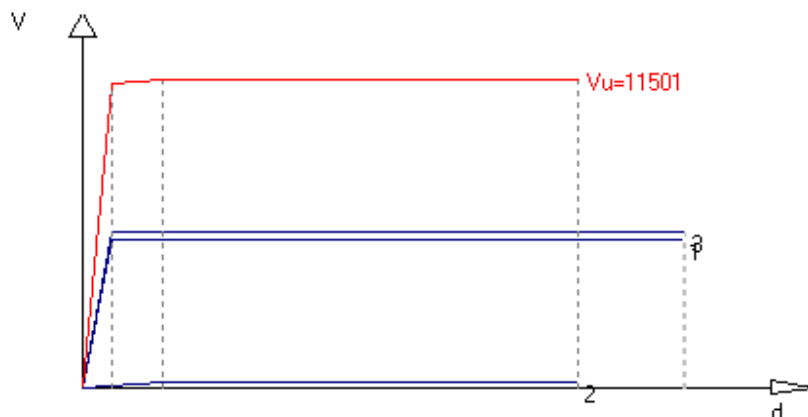
$T$  (sp. parete) = 30.00 cm

Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	$\sigma_o$	$K_o$	$V_t$	$V_{pf}$	$V_u$	$\delta_e$	$\delta_u$
1	435.0	261.7	1.00	0.262	74074.8	6376.3	5540.0	5540.0	0.075	1.570



2	55.0	215.6	1.50	0.456	881.9	614.2	184.2	184.2	0.209	1.294
3	445.0	262.2	1.00	0.261	76554.8	6520.2	5776.7	5776.7	0.075	1.573

Curva caratteristica ante-operam:

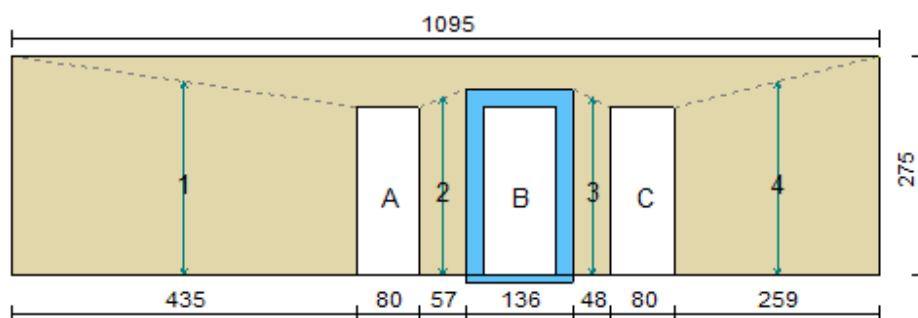


Rigidezza complessiva della parete:  $K_{sa} = 151511.6$  daN/cm

Taglio ultimo della parete:  $V_{sa} = 11500.9$  daN

Spostamento ultimo:  $\delta u_{sa} = 1.294$  cm

## Post-operam

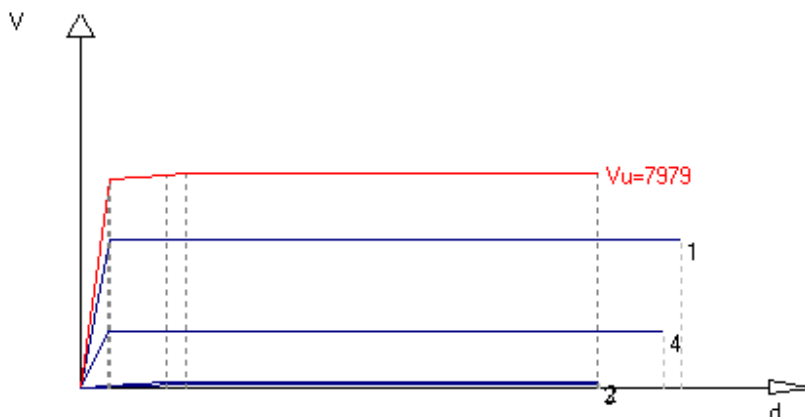


$T$  (sp. parete) = 30.00 cm

Apertura	Stato	Montanti per lato	Architravi	Travi inf.
A	Libera	No	No	No
B	Cerchiata	1 HE 240 A (S 275)	1 HE 240 A (S 275)	2 HE 120 A (S 275)
C	Libera	No	No	No

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	$\sigma_o$	$K_o$	$V_t$	$V_{pf}$	$V_u$	$\delta_e$	$\delta_u$
1	435.0	30.00	261.7	1.00	0.262	74074.8	6376.3	5540.0	5540.0	0.075	1.570
2	57.0	30.00	226.0	1.50	0.459	853.1	637.4	189.5	189.5	0.222	1.356
3	48.0	30.00	225.3	1.50	0.493	522.4	547.8	144.6	144.6	0.277	1.352
4	259.0	30.00	254.0	1.00	0.272	30819.2	3828.1	2104.6	2104.6	0.068	1.524

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete:  $K_{pr} = 106269.6 \text{ daN/cm}$

Taglio ultimo della parete:  $V_{pr} = 7978.7 \text{ daN}$

Spostamento ultimo:  $\delta_{u pr} = 1.352 \text{ cm}$

## VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 106270 - 151512 = -45242 \text{ daN/cm}$  (riduzione rigidezza = -29.9%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 7979 - 11501 = -3522 \text{ daN}$  (riduzione resistenza = -30.6%)

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.  $F_o = K \delta_{u pr}$

Telaio	c	$H_i$ [cm]	$K$ [daN/cm]	$M_u$ [daN cm]	$\delta_e$ [cm]	$F_u$ [daN]	$F_o$ [daN]
B	12	227.20	33377.0	3537671.0	0.93	31141.5	31141.5

$K_t = \Sigma K = 33377 \text{ daN/cm}$

$V_t = \Sigma F_o = 31141 \text{ daN}$

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

$\Delta K_{tot} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = -11865 \text{ daN/cm}$

riduzione rigidezza = -7.8%; variazione percentuale di  $\Delta K_{tot}$  compresa entro il 15.0% (Ok)

$\Delta V_{tot} = V_{pr} + V_t - V_{sa} = 27619 \text{ daN}$

aumento resistenza = 240.1%;  $\Delta V_{tot} > 0$  (Ok)

## VERIFICA ARCHITRAVI IN ACCIAIO

La verifica si riferisce alla fase di montaggio nel momento in cui è già stata rimossa la muratura, ma le architravi non sono ancora collegate ai montanti.

Architrave: 1 HE 240 A

$J_x = 7766.8 \text{ cm}^4$ ,  $W_x = 675.4 \text{ cm}^3$ ,  $A_{\text{taglio}} = 17.3 \text{ cm}^2$

Luce di calcolo  $L = 113.0 \text{ cm}$

P.P. architrave  $PPa = 0.604 \text{ daN/cm}$

P.P. fascia muratura  $PPm = 2.268 \text{ daN/cm}$

Carico permanente trasmesso dalla sovrastruttura  $G_k = 0.00 \text{ daN/cm}$

Carico variabile trasmesso dalla sovrastruttura  $Q_k = 0.00 \text{ daN/cm}$

$q_{SLU} = 1.3 (G_k + PPa + PPm) + 1.5 Q_k = 3.73 \text{ daN/cm}$

$q_{SLE} = G_1 + G_2 + PPa + PPm + 0.3 Q_k = 2.87 \text{ daN/cm}$

$M_{sd} = (q_{SLU} L^2) / 8 = 5958.5 \text{ daN cm} < W_x f_{yd} = 1768835.0 \text{ daN cm} \text{ (Ok)}$

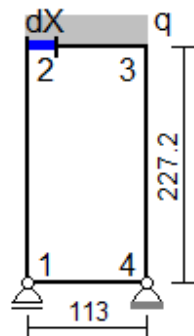
$V_{sd} = (q_{SLU} L) / 2 = 210.9 \text{ daN}$

$1.5 V_{sd} / A_{\text{taglio}} = 18.3 \text{ daN} < f_{yd} / 3^{1/2} = 1512.1 \text{ daN} \text{ (Ok)}$

Freccia  $= (5/384) (q_{SLE} L^4) / (E J_x) = 0.0004 \text{ cm} < L/500 = 0.2260 \text{ cm} \text{ (Ok)}$

### Verifiche dei telai.

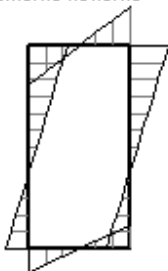
Telaio B



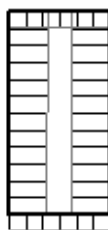
$dX = 0.933 \text{ cm}$ ,  $q = G_k + \psi_2 Q_k = 2.64 \text{ daN/cm}$  ( $\psi_2 = 0.30$ )

Sollecitazioni telaio B

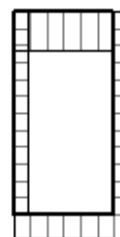
Momento flettente



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	-500740.1	-14567.1	5896.3
	2	18.9	-389103.6	-14578.5	5896.3
	3	37.9	-277467.1	-14590.0	5896.3
	4	56.8	-165830.6	-14601.4	5896.3

5	75.7	-54194.1	-14612.8	5896.3
6	94.7	57442.4	-14624.2	5896.3
7	113.6	169078.9	-14635.7	5896.3
8	132.5	280715.3	-14647.1	5896.3
9	151.5	392351.8	-14658.5	5896.3
10	170.4	503988.3	-14669.9	5896.3
11	189.3	615624.9	-14681.4	5896.3
12	208.3	727261.4	-14692.8	5896.3
13	227.2	838897.9	-14704.2	5896.3

Sez.	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE 240 A	24.0	23.0	675.3735	745.0002	76.9	25.2	0.75	1.20	2.10

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

**Taglio:** sez. 1, dist. = 0.0 cm, Ved = 5896.3 daN

Taglio resistente:  $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 38127.96$  daN

Ved /  $V_{crd} = 0.155 < 1$  Ok

**Tenso-flessione:** sez. 13, dist. = 227.2 cm, Med = 838897.9 daNcm, Ned = -14704.2 daN, Ved = 5896.3 daN

Classificazione della sezione:

$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92$ ,  $\alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.28$ ,  $\psi = -1.48$

Ali in compressione:  $c_f / e = 7.94 < 9 \varepsilon = 8.32$  (cl. 1)

Anima a presso-flessione:  $c_w / a = 21.87 < 36 \varepsilon / \alpha = 117.74$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 201339.6$  daN

$n = N_{ed} / N_{rd} = -0.073$ ,  $a = (A - 2 B e) / A = 0.251$

$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 1951191.0$  daNcm

$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 2393791.0$  daNcm  $> M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$

Med /  $M_{nrd} = 0.43 < 1$  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	838897.9	5922.5	-14704.2
	2	18.8	561392.8	5922.5	-14765.4
	3	37.7	282735.9	5922.5	-14826.5
	4	56.5	2927.3	5922.5	-14887.7
	5	75.3	-278033.1	5922.5	-14948.8
	6	94.2	-560145.1	5922.5	-15010.0
	7	113.0	-843408.9	5922.5	-15071.1

Sez.	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE 240 A	24.0	23.0	675.3735	745.0002	76.9	25.2	0.75	1.20	2.10

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

**Taglio:** sez. 7, dist. = 113.0 cm, Ved = -15071.1 daN

Taglio resistente:  $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 38127.96$  daN

$$V_{ed} / V_{crd} = 0.395 < 1 \quad \text{Ok}$$

**Presso-flessione:** sez. 7, dist. = 113.0 cm, Med = -843408.9 daNcm, Ned = 5922.5 daN, Ved = -15071.1 daN

Classificazione della sezione:

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

$$\text{Ali in compressione: } c_f / e = 7.94 < 9 \quad \varepsilon = 8.32 \quad (\text{cl. 1})$$

$$\text{Anima a presso-flessione: } c_w / a = 21.87 < 396 \quad \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 55.15 \quad (\text{cl. 1})$$

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 201339.6 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.029, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.251$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 1951191.0 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 2165245.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.43 < 1 \quad \text{Ok}$$

$$\text{sez. 1, dist.} = 0.0 \text{ cm, Med} = 838897.9 \text{ daNcm, Ned} = 5922.5 \text{ daN, Ved} = -14704.2 \text{ daN}$$

Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 12606780.0 \text{ daN}$$

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

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

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-843408.9	15071.1	5922.5
	2	18.9	-731276.8	15082.6	5922.5
	3	37.9	-619144.6	15094.0	5922.5
	4	56.8	-507012.3	15105.4	5922.5
	5	75.7	-394880.2	15116.8	5922.5
	6	94.7	-282748.0	15128.3	5922.5
	7	113.6	-170615.8	15139.7	5922.5
	8	132.5	-58483.6	15151.1	5922.5
	9	151.5	53648.6	15162.5	5922.5
	10	170.4	165780.8	15174.0	5922.5
	11	189.3	277913.0	15185.4	5922.5
	12	208.3	390045.3	15196.8	5922.5
	13	227.2	502177.5	15208.2	5922.5

Sez.	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE 240 A	24.0	23.0	675.3735	745.0002	76.9	25.2	0.75	1.20	2.10

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

**Taglio:** sez. 1, dist. = 0.0 cm, Ved = 5922.5 daN

$$\text{Taglio resistente: } V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 38127.96 \text{ daN}$$

$$V_{ed} / V_{crd} = 0.155 < 1 \quad \text{Ok}$$

**Presso-flessione:** sez. 1, dist. = 0.0 cm, Med = -843408.9 daNcm, Ned = 15071.1 daN, Ved = 5922.5 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.72, \quad \psi = -0.67$$

Ali in compressione:  $cf / e = 7.94 < 9 \varepsilon = 8.32$  (cl. 1)

Anima a presso-flessione:  $cw / a = 21.87 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 43.60$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 201339.6 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.075, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.251$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 1951191.0 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 2063877.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$Med / M_{nrd} = 0.43 < 1 \text{ Ok}$$

sez. 13, dist. = 227.2 cm, Med = 502177.5 daNcm, Ned = 15208.2 daN, Ved = 5922.5 daN

Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 3118489.0 \text{ daN}$$

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

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

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
4-1	1	0.0	500740.1	5896.3	-8852.9
	2	18.8	333940.1	5896.3	-8860.4
	3	37.7	166998.9	5896.3	-8867.9
	4	56.5	-83.4	5896.3	-8875.4
	5	75.3	-167307.0	5896.3	-8882.9
	6	94.2	-334671.6	5896.3	-8890.4
	7	113.0	-502177.5	5896.3	-8897.9

2 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> ]	Av [cm <sup>2</sup> ]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE 120 A	12.0	11.4	106.39	119.55	25.4	8.5	0.50	0.80	1.20

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

**Taglio:** sez. 7, dist. = 113.0 cm, Ved = -4448.9 daN

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

$V_{ed} / V_{crd} = 0.347 < 1$  Ok

**Presso-flessione:** sez. 7, dist. = 113.0 cm, Med = -251088.7 daNcm, Ned = 2948.1 daN, Ved = -4448.9 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c w a f_{yk}))) = 0.64, \quad \psi = -0.79$$

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

Anima a presso-flessione:  $cw / a = 14.80 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 49.58$  (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

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

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.044, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.243$$

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

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 340508.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$Med / M_{nrd} = 0.80 < 1 \text{ Ok}$$

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.