



COMUNE DI VIMODRONE

Provincia di Milano

OPERE DI RISTRUTTURAZIONE E RESTAURO DA REALIZZARE
MEDIANTE UTILIZZO DI TECNICHE A RIDOTTO IMPATTO AMBIENTALE
Via S. Ambrogio 44

VILLA TORRI - LOTTO A

Progettazione Architettonica	Progettazione Strutturale	Progettazione Impiantistica	Coordinatore sicurezza in fase progettuale	Indagine Geologica-Geotecnica
ARCH. ALBERTO CAVANNA Iscr. Albo Milano N.5639 Via GB. Casella, 4 00156 MILANO Tel. 0239261829 arch.cavanna@libero.it	ING. NICOLA LOGIUDICE Iscr. Albo Varese N.859 Via G. Ferrari, 21 21047 SARONNO (VA) Tel. 0296280538 nicola.logiudice@tiscali.it	ING. NICOLA LOGIUDICE Iscr. Albo Varese N.859 Via G. Ferrari, 21 21047 SARONNO (VA) Tel. 0296280538 nicola.logiudice@tiscali.it	ING. NICOLA LOGIUDICE Iscr. Albo Varese N.859 Via G. Ferrari, 21 21047 SARONNO (VA) Tel. 0296280538 nicola.logiudice@tiscali.it	DOTT. GEOL. MARCO CINOTTI Iscr. Albo Lombardia N.1290 AP Sez. A Via Bellini, 32 21052 Busto Arsizio (VA) Tel. 0331025577 studio.geo.logo@gmail.com

Emissione / Revisione	Data	Riferimento Emissione / Revisione
00	Marzo 2021	Emissione bozza di progetto definitivo/esecutivo
01	Luglio 2021	Emissione per validazione progetto definitivo/esecutivo
02	Novembre 2021	Emissione per validazione progetto definitivo/esecutivo revisione 1

Oggetto della presente:

RELAZIONE STRUTTURE

Tavola

S11

VERIFICA PORTALE A - ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

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

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/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)
 τ_o - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)
 f_{vo} - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)
 E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
 G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 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/cm²
 τ_o - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
 f_{vo} - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²
 E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²
 G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²
 γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

Fattore confidenza FC = 1.35
 Coef. parz. sic. $\gamma_M = 2.00$ (4.5.6.1)
 $f_m = 9.63$ daN/cm²
 $\tau_o = 0.19$ daN/cm²
 $f_{vo} = 0.48$ daN/cm²
 Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00
 $E = 7500$ daN/cm²
 $G = 2500$ daN/cm²

Materiali del telaio

Acciaio	f_{yk} [daN/cm ²]	f_{tk} [daN/cm ²]	E [daN/cm ²]	G [daN/cm ²]	γ_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 ³]	W_{px} [cm ³]	W_y [cm ³]	W_{py} [cm ³]	Area [cm ²]	Peso [kg/m]
HE180B	18.0	18.0	425.8	481.6	151.4	231.0	65.3	51.25

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 ($\pm 15.00\%$).

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

1 - criterio di rottura per fessurazione diagonale

Nel caso di muratura non armata in cui la rottura del pannello è di tipo fragile e caratterizzata da lesioni diagonali a 45° l'azione tagliante ultima è determinabile, come specificato nella Circolare n. 7 / 2019 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 = $1,5 \tau_o$

σ_o = Tensione normale media riferita all'area totale della base del setto

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

2 - criterio di rottura per pressoflessione

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

dove f_d = Resistenza di calcolo a compressione della muratura

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

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

dove i simboli hanno il seguente significato:

E, G moduli di elasticità normale e tangenziale della muratura

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

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

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

A area del maschio murario = $T L$

H altezza deformabile = $h' + 0.33 L (H_{\text{Piano}} - h') / h'$ (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 sopprimere a tale carenza dovrà avere una rigidezza K_t maggiore o uguale a ΔK

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

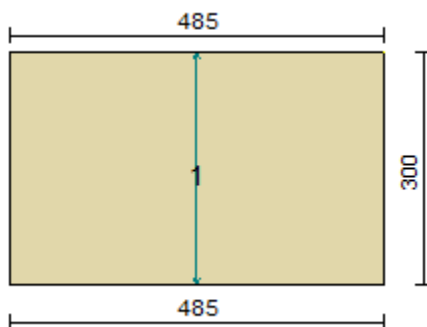
In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

Carico permanente $G_k = 150.0$ daN/m

Carico variabile $Q_k = 50.0$ 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.

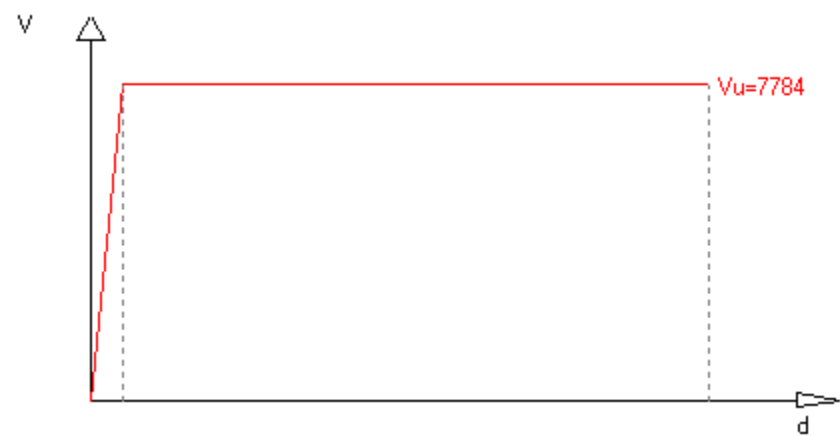
Ante-operam



T (sp. parete) = 40.00 cm

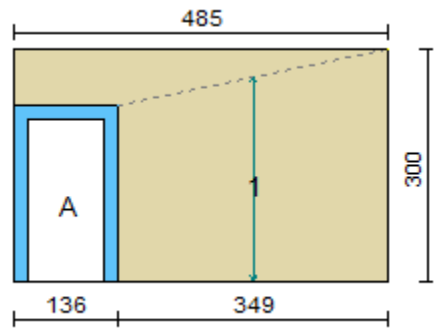
Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	σ_o	K_o	V_t	V_{pf}	V_u	δ_e	δ_u
1	485.0	279.7	1.00	0.302	132276.7	7783.6	9775.9	7783.6	0.059	1.119

Curva caratteristica ante-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{sa} = 132276.7 \text{ daN/cm}$
Taglio ultimo della parete: $V_{sa} = 7783.6 \text{ daN}$
Spostamento ultimo: $\delta u_{sa} = 1.119 \text{ cm}$

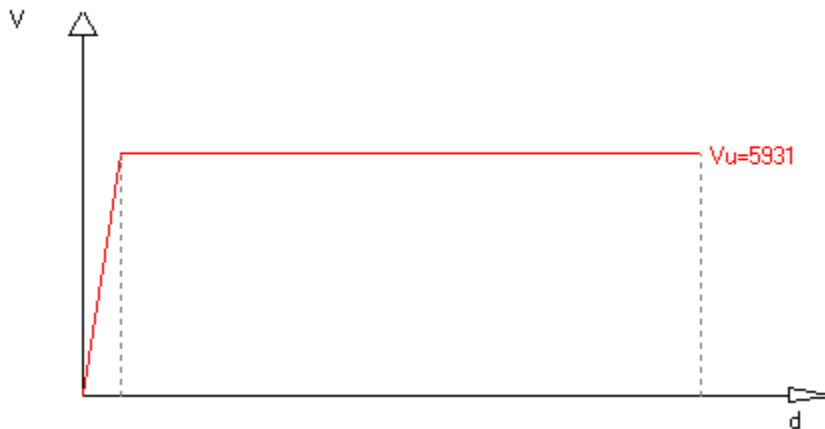
Post-operam



$T \text{ (sp. parete) } = 40.00 \text{ cm}$

Apertura A	Stato Cerchiata	Architravi 2 HE180B (S 275)		Travi inf. No		Montanti 2HE180B+2HE180B (S 275)					
Maschio 1	Lungh. 349.0	Spess. 40.00	H calc. 279.7	Coef. b 1.00	$\sigma\sigma$ 0.372	Ko 88235.5	Vt 5930.8	Vpf 6185.0	Vu 5930.8	δe 0.067	δu 1.119

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 88235.5 \text{ daN/cm}$

Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 5930.8 \text{ daN}$

Spostamento ultimo: $\delta_{u pr} = 1.119 \text{ cm}$

VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 88236 - 132277 = -44041 \text{ daN/cm}$ (riduzione rigidezza = -33.3%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 5931 - 7784 = -1853 \text{ daN}$ (riduzione resistenza = -23.8%)

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]	δ_e [cm]	F_u [daN]	F_o [daN]
A	12	219.00	36776.4	4460694.0	1.11	40736.9	40736.9

$K_t = \sum K = 36776 \text{ daN/cm}$

$V_t = \sum F_o = 40737 \text{ daN}$

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

$\Delta K_{tot} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = -7265 \text{ daN/cm}$

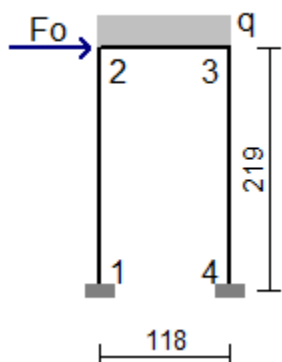
riduzione rigidezza = -5.5%; variazione percentuale di ΔK_{tot} compresa entro il 15.0% Ok

$\Delta V_{tot} = V_{pr} + V_t - V_{sa} = 38884 \text{ daN}$

aumento resistenza = 499.6%; $\Delta V_{tot} > 0$ Ok

Verifiche dei telai.

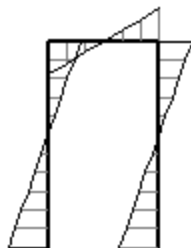
Telaio A



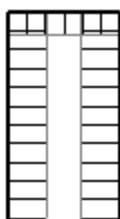
$$F_o = 40736.93 \text{ daN}, \quad q = G_k + \psi_2 Q_k = 6.83 \text{ daN/cm} \quad (\psi_2 = 0.30)$$

Sollecitazioni telaio A

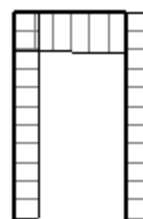
Momento flettente



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	-2449490.0	-33470.7	20385.3
	2	19.9	-2043638.0	-33491.1	20385.3
	3	39.8	-1637785.0	-33511.5	20385.3
	4	59.7	-1231933.0	-33532.0	20385.3
	5	79.6	-826080.6	-33552.4	20385.3
	6	99.5	-420228.1	-33572.8	20385.3
	7	119.5	-14375.8	-33593.2	20385.3
	8	139.4	391476.5	-33613.6	20385.3
	9	159.3	797328.8	-33634.0	20385.3
	10	179.2	1203182.0	-33654.4	20385.3
	11	199.1	1609034.0	-33674.8	20385.3
	12	219.0	2014886.0	-33695.2	20385.3

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE180B	18.0	18.0	425.8	481.6	65.3	20.3	0.85	1.40	1.50

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

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, $V_{ed} = 10192,6 \text{ daN}$

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 30637.70 \text{ daN}$

$V_{ed} / V_{crd} = 0.333 < 1$ Ok

Tenso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, $M_{ed} = -1224745,0 \text{ daNcm}$, $N_{ed} = -16735,4 \text{ daN}$, $V_{ed} =$

10192,6 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c w a f_{yk})) = 0.21, \quad \psi = -1.64$$

Ali in compressione: $c f / e = 5.05 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c w / a = 14.35 < 36 \varepsilon / \alpha = 161.10$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 170949.4 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = -0.098, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.228$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 1261307.0 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 1562823.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.97 < 1 \quad \text{Ok}$$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	2014886.0	20351.7	-33695.2
	2	19.7	1350695.0	20351.7	-33849.7
	3	39.3	683463.9	20351.7	-34004.3
	4	59.0	13193.3	20351.7	-34158.8
	5	78.7	-660116.8	20351.7	-34313.4
	6	98.3	-1336467.0	20351.7	-34467.9
	7	118.0	-2015856.0	20351.7	-34622.5

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm³]	Wpx [cm³]	A [cm²]	Av [cm²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE180B	18.0	18.0	425.8	481.6	65.3	20.3	0.85	1.40	1.50

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

Taglio: sez. 7, dist. = 118,0 cm, $V_{ed} = -17311,3 \text{ daN}$

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 30637.70 \text{ daN}$

$$V_{ed} / V_{crd} = 0.565 < 1 \quad \text{Ok}$$

Presso-flessione: sez. 7, dist. = 118,0 cm, $M_{ed} = -1007928,0 \text{ daNcm}$, $N_{ed} = 10175,8 \text{ daN}$, $V_{ed} = -17311,3 \text{ daN}$

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c w a f_{yk})) = 0.68, \quad \psi = -0.74$$

Ali in compressione: $c f / e = 5.05 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c w / a = 14.35 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 46.82$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$V_{ed} > 0.5 V_{crd} \Rightarrow \text{riduzione di } f_y, \quad \rho = ((2 V_{ed} / V_{crd}) - 1)^2 = 0.017, \quad f_{ykRid} = f_{yk} (1 - \rho) = 2703.5 \text{ daN/cm}^2$$

$$N_{vrd} = ((A - A_v) f_{yk} + A_v f_{ykRid}) / \gamma_{M0} = 170051.7 \text{ daN}$$

$$M_{vrd} = [W_{px} - (\rho A_v^2 / 4 a)] f_{yk} / \gamma_{M0} = 1255958.0 \text{ daNcm}$$

$$(N_{ed} / N_{vrd}) + (M_{ed} / M_{vrd}) = 0.86 < 1 \quad \text{Ok}$$

sez. 1, dist. = 0,0 cm, $M_{ed} = 1007443,0 \text{ daNcm}$, $N_{ed} = 10175,8 \text{ daN}$, $V_{ed} = -16847,6 \text{ daN}$

Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 5704223.0 \text{ daN}$$

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

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-2015856.0	34622.5	20351.7
	2	19.9	-1610673.0	34642.9	20351.7
	3	39.8	-1205490.0	34663.3	20351.7
	4	59.7	-800307.3	34683.7	20351.7
	5	79.6	-395124.4	34704.1	20351.7
	6	99.5	10058.5	34724.5	20351.7
	7	119.5	415241.3	34744.9	20351.7
	8	139.4	820424.1	34765.3	20351.7
	9	159.3	1225607.0	34785.7	20351.7
	10	179.2	1630790.0	34806.1	20351.7
	11	199.1	2035973.0	34826.5	20351.7
	12	219.0	2441156.0	34846.9	20351.7

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	W _x [cm ³]	W _{px} [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE180B	18.0	18.0	425.8	481.6	65.3	20.3	0.85	1.40	1.50

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

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, $V_{ed} = 10175,8 \text{ daN}$

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 30637.70 \text{ daN}$

$V_{ed} / V_{crd} = 0.332 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 12, dist. = 219,0 cm, $M_{ed} = 1220578,0 \text{ daNcm}$, $N_{ed} = 17423,5 \text{ daN}$, $V_{ed} = 10175,8 \text{ daN}$

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.81, \quad \psi = -0.60$$

Ali in compressione: $c_f / e = 5.05 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 14.35 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 38.65$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 170949.4 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.102, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.228$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 1261307.0 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 1278387.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.97 < 1 \text{ Ok}$$

sez. 12, dist. = 219,0 cm, $M_{ed} = 1220578,0 \text{ daNcm}$, $N_{ed} = 17423,5 \text{ daN}$, $V_{ed} = 10175,8 \text{ daN}$

Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 1656046.0 \text{ daN}$$

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$ 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.

VERIFICA PORTALE B - ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

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

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/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)
 τ_o - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)
 f_{vo} - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)
 E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
 G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 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/cm²
 τ_o - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
 f_{vo} - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²
 E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²
 G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²
 γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

Fattore confidenza FC = 1.35
 Coef. parz. sic. $\gamma_M = 2.00$ (4.5.6.1)
 $f_m = 9.63$ daN/cm²
 $\tau_o = 0.19$ daN/cm²
 $f_{vo} = 0.48$ daN/cm²
 Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00
 $E = 7500$ daN/cm²
 $G = 2500$ daN/cm²

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 tagliante 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 τ_o

σ_o = Tensione normale media riferita all'area totale della base del setto

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

2 - criterio di rottura per pressoflessione

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

dove f_d = Resistenza di calcolo a compressione della muratura

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

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

dove i simboli hanno il seguente significato:

E, G moduli di elasticità normale e tangenziale della muratura

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

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

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

A area del maschio murario = $T L$

H altezza deformabile = $h' + 0.33 L (H_{Piano} - h') / h'$ (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 rigidità della muratura a seguito dell'intervento)

il telaio, per poter sopprimere a tale carenza dovrà avere una rigidità K_t maggiore o uguale a ΔK

La rigidità 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

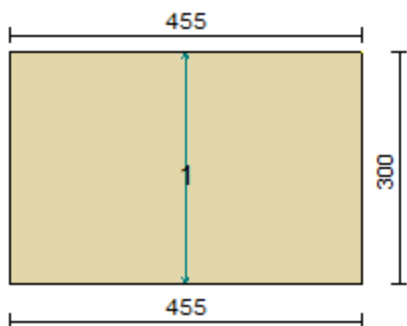
In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

Carico permanente $G_k = 150.0$ daN/m

Carico variabile $Q_k = 50.0$ 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.

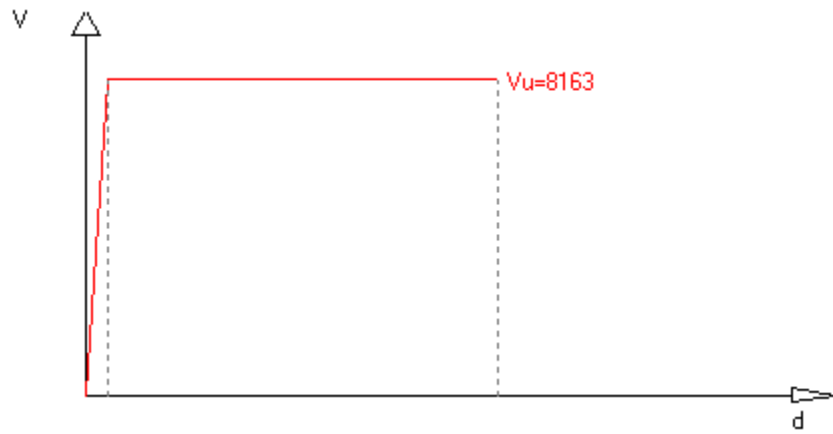
Ante-operam



T (sp. parete) = 45.00 cm

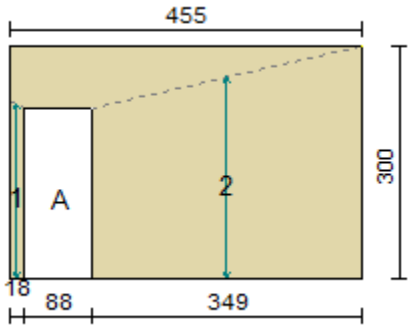
Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	σ_o	K_o	V_t	V_{pf}	V_u	δ_e	δ_u
1	455.0	277.7	1.00	0.294	139190.9	8162.7	9520.2	8162.7	0.059	1.111

Curva caratteristica ante-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{sa} = 139190.9 \text{ daN/cm}$
Taglio ultimo della parete: $V_{sa} = 8162.7 \text{ daN}$
Spostamento ultimo: $\delta u_{sa} = 1.111 \text{ cm}$

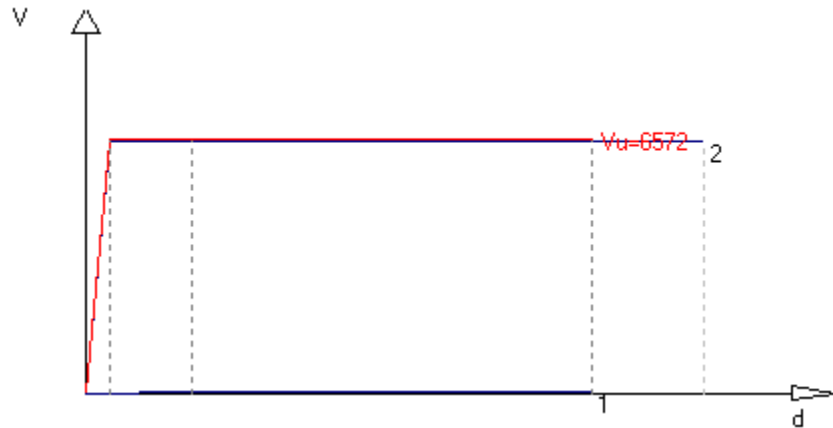
Post-operam



$T \text{ (sp. parete) } = 45.00 \text{ cm}$

Apertura B	Stato Libera	Architravi No	Travi inf. No	Montanti No								
Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ_o	Ko	Vt	Vpf	Vu	δ_e	δ_u	
1	18.0	45.00	227.2	1.50	0.809	164.2	296.7	46.8	46.8	0.285	1.363	
2	349.0	45.00	277.7	1.00	0.345	100189.7	6532.9	6524.8	6524.8	0.065	1.666	

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 100353.9 \text{ daN/cm}$

Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 6571.6 \text{ daN}$

Spostamento ultimo: $\delta u_{pr} = 1.363 \text{ cm}$

VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 100354 - 139191 = -38837 \text{ daN/cm}$ (riduzione rigidezza = -27.9%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 6572 - 8163 = -1591 \text{ daN}$ (riduzione resistenza = -19.5%)

Attenzione, la variazione percentuale di ΔK è maggiore del 15.0%, limite di accettabilità per considerare l'intervento di tipo locale.

VERIFICA PORTALE C - ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

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

MATERIALI**Muratura in mattoni pieni e malta di calce**

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019
fm - resistenza compressione [daN/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)
 τ_o - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)
fvo - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)
E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 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:

fm - resistenza compressione = 26.00 daN/cm²
 τ_o - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
fvo - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²
E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²
G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²
 γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

Fattore confidenza FC = 1.35
Coef. parz. sic. γ_M = 2.00 (4.5.6.1)
fm = 9.63 daN/cm²
 τ_o = 0.19 daN/cm²
fvo = 0.48 daN/cm²
Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00
E = 7500 daN/cm²
G = 2500 daN/cm²

Materiali del telaio

Acciaio	f_{yk} [daN/cm ²]	f_{tk} [daN/cm ²]	E [daN/cm ²]	G [daN/cm ²]	γ_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 ³]	W _{px} [cm ³]	W _y [cm ³]	W _{py} [cm ³]	Area [cm ²]	Peso [kg/m]
HE180B	18.0	18.0	425.8	481.6	151.4	231.0	65.3	51.25

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 ($\pm 15.00\%$).

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

1 - criterio di rottura per fessurazione diagonale

Nel caso di muratura non armata in cui la rottura del pannello è di tipo fragile e caratterizzata da lesioni diagonali a 45° l'azione tagliante ultima è determinabile, come specificato nella Circolare n. 7 / 2019 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 = $1,5 \tau_o$

σ_o = Tensione normale media riferita all'area totale della base del setto

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

2 - criterio di rottura per pressoflessione

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

dove f_d = Resistenza di calcolo a compressione della muratura

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

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

dove i simboli hanno il seguente significato:

E, G moduli di elasticità normale e tangenziale della muratura

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

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

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

A area del maschio murario = $T L$

H altezza deformabile = $h' + 0.33 L (H_{\text{Piano}} - h') / h'$ (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 sopprimere a tale carenza dovrà avere una rigidezza K_t maggiore o uguale a ΔK

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

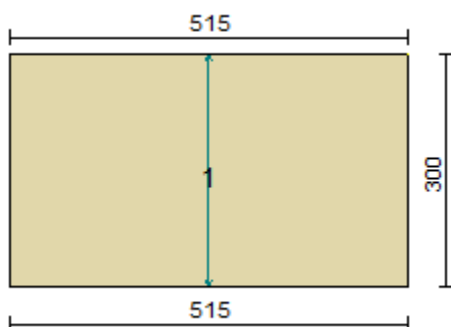
In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

Carico permanente $G_k = 150.0$ daN/m

Carico variabile $Q_k = 50.0$ 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.

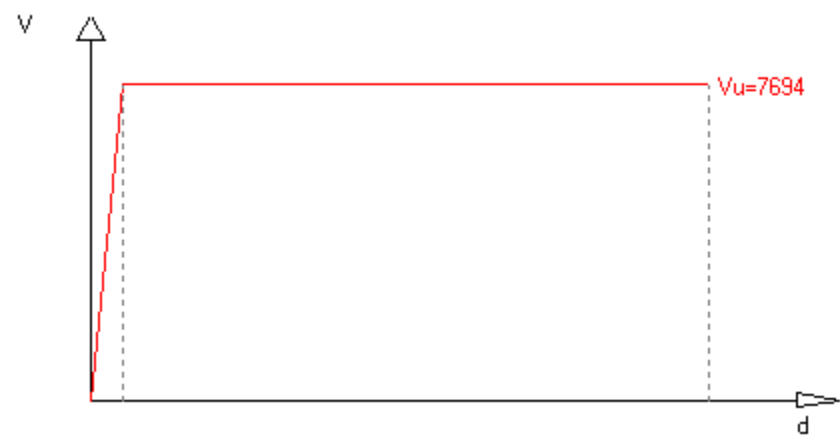
Ante-operam



T (sp. parete) = 37.00 cm

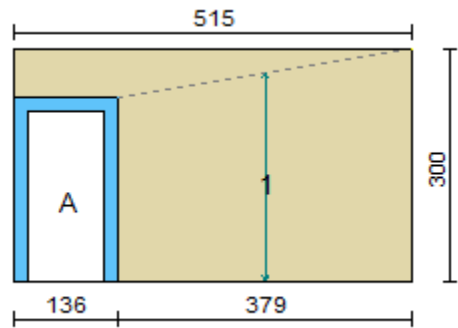
Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	σ_o	K_o	V_t	V_{pf}	V_u	δ_e	δ_u
1	515.0	283.4	1.00	0.309	129201.7	7693.8	10299.4	7693.8	0.060	1.134

Curva caratteristica ante-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{sa} = 129201.7 \text{ daN/cm}$
Taglio ultimo della parete: $V_{sa} = 7693.8 \text{ daN}$
Spostamento ultimo: $\delta u_{sa} = 1.134 \text{ cm}$

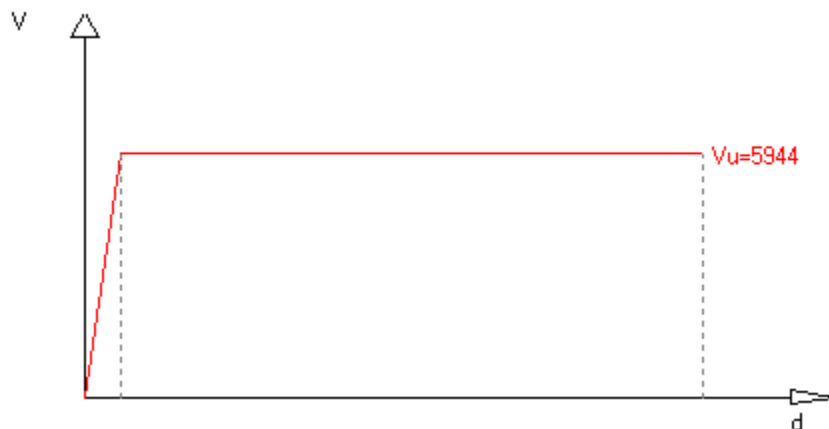
Post-operam



$T \text{ (sp. parete) } = 37.00 \text{ cm}$

Apertura C	Stato Cerchiata	Architravi 2 HE180B (S 275)		Travi inf. No		Montanti 2HE180B+2HE180B (S 275)						
Maschio 1	Lungh. 379.0	Spess. 37.00	H calc. 283.4	Coef. b 1.00	σ_o 0.369	K_o 89222.2	V_t 5944.3	V_{pf} 6609.3	V_u 5944.3	δ_e 0.067	δ_u 1.134	

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 89222.2 \text{ daN/cm}$

Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 5944.3 \text{ daN}$

Spostamento ultimo: $\delta_{u pr} = 1.134 \text{ cm}$

VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 89222 - 129202 = -39980 \text{ daN/cm}$ (riduzione rigidezza = -30.9%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 5944 - 7694 = -1750 \text{ daN}$ (riduzione resistenza = -22.7%)

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]	δ_e [cm]	F_u [daN]	F_o [daN]
A	12	229.00	32165.9	4460694.0	1.21	38958.0	36465.0

$K_t = \sum K = 32166 \text{ daN/cm}$

$V_t = \sum F_o = 36465 \text{ daN}$

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

$\Delta K_{tot} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = -7814 \text{ daN/cm}$

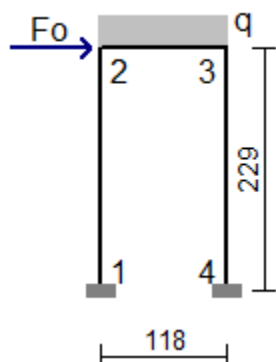
riduzione rigidezza = -6.0%; variazione percentuale di ΔK_{tot} compresa entro il 15.0% Ok

$\Delta V_{tot} = V_{pr} + V_t - V_{sa} = 34715 \text{ daN}$

aumento resistenza = 451.2%; $\Delta V_{tot} > 0$ Ok

Verifiche dei telai.

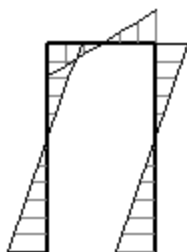
Telaio A



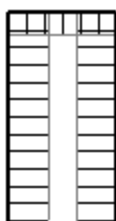
$$F_o = 36464.96 \text{ daN}, \quad q = G_k + \psi_2 Q_k = 5.78 \text{ daN/cm} \quad (\psi_2 = 0.30)$$

Sollecitazioni telaio A

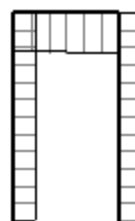
Momento flettente



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	-2285515.0	-31450.5	18245.3
	2	19.1	-1937334.0	-31470.0	18245.3
	3	38.2	-1589153.0	-31489.6	18245.3
	4	57.3	-1240972.0	-31509.2	18245.3
	5	76.3	-892790.6	-31528.7	18245.3
	6	95.4	-544609.6	-31548.3	18245.3
	7	114.5	-196428.5	-31567.8	18245.3
	8	133.6	151752.4	-31587.4	18245.3
	9	152.7	499933.6	-31606.9	18245.3
	10	171.8	848114.6	-31626.5	18245.3
	11	190.8	1196296.0	-31646.0	18245.3
	12	209.9	1544477.0	-31665.6	18245.3
	13	229.0	1892658.0	-31685.2	18245.3

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE180B	18.0	18.0	425.8	481.6	65.3	20.3	0.85	1.40	1.50

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

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, $V_{ed} = 9122,6 \text{ daN}$

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 30637.70 \text{ daN}$

$V_{ed} / V_{crd} = 0.298 < 1 \quad \text{Ok}$

Tenso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -1142757,0 daNcm, Ned = -15725,2 daN, Ved = 9122,6 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk})) = 0.22, \quad \psi = -1.59$$

Ali in compressione: $c_f / e = 5.05 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 14.35 < 36 \varepsilon / \alpha = 148.38$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 170949.4 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = -0.092, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.228$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 1261307.0 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 1554412.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$Med / M_{nrd} = 0.91 < 1 \quad \text{Ok}$$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	1892658.0	18219.7	-31685.2
	2	19.7	1268201.0	18219.7	-31819.0
	3	39.3	641111.9	18219.7	-31952.8
	4	59.0	11391.5	18219.7	-32086.6
	5	78.7	-620960.3	18219.7	-32220.4
	6	98.3	-1255944.0	18219.7	-32354.2
	7	118.0	-1893559.0	18219.7	-32488.0

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	W _x [cm ³]	W _{px} [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE180B	18.0	18.0	425.8	481.6	65.3	20.3	0.85	1.40	1.50

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

Taglio: sez. 7, dist. = 118,0 cm, Ved = -16244,0 daN

$$\text{Taglio resistente: } V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 30637.70 \text{ daN}$$

$$V_{ed} / V_{crd} = 0.530 < 1 \quad \text{Ok}$$

Presso-flessione: sez. 7, dist. = 118,0 cm, Med = -946779,6 daNcm, Ned = 9109,8 daN, Ved = -16244,0 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk})) = 0.66, \quad \psi = -0.77$$

Ali in compressione: $c_f / e = 5.05 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 14.35 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 48.32$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$V_{ed} > 0.5 V_{crd} \Rightarrow \text{riduzione di } f_y, \quad \rho = ((2 V_{ed} / V_{crd}) - 1)^2 = 0.004, \quad f_{ykRid} = f_{yk} (1 - \rho) = 2740.0 \text{ daN/cm}^2$$

$$N_{vrd} = ((A - A_v) f_{yk} + A_v f_{ykRid}) / \gamma_{M0} = 170755.8 \text{ daN}$$

$$M_{vrd} = [W_{px} - (\rho A_v^2 / 4 a)] f_{yk} / \gamma_{M0} = 1260154.0 \text{ daNcm}$$

$$(N_{ed} / N_{vrd}) + (Med / M_{vrd}) = 0.80 < 1 \quad \text{Ok}$$

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 946328,8 daNcm, Ned = 9109,8 daN, Ved = -15842,6 daN

Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 5704223.0 \text{ daN}$$

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

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-1893559.0	32488.0	18219.7
	2	19.1	-1545867.0	32507.6	18219.7
	3	38.2	-1198175.0	32527.1	18219.7
	4	57.3	-850483.3	32546.7	18219.7
	5	76.3	-502791.2	32566.2	18219.7
	6	95.4	-155099.3	32585.8	18219.7
	7	114.5	192592.7	32605.4	18219.7
	8	133.6	540284.6	32624.9	18219.7
	9	152.7	887976.8	32644.5	18219.7
	10	171.8	1235669.0	32664.0	18219.7
	11	190.8	1583361.0	32683.6	18219.7
	12	209.9	1931053.0	32703.1	18219.7
	13	229.0	2278745.0	32722.7	18219.7

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	W _x [cm ³]	W _{px} [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE180B	18.0	18.0	425.8	481.6	65.3	20.3	0.85	1.40	1.50

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

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, $V_{ed} = 9109,8 \text{ daN}$

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 30637.70 \text{ daN}$

$V_{ed} / V_{crd} = 0.297 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 13, dist. = 229,0 cm, $M_{ed} = 1139372,0 \text{ daNcm}$, $N_{ed} = 16361,3 \text{ daN}$, $V_{ed} = 9109,8 \text{ daN}$

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.79, \quad \psi = -0.62$$

Ali in compressione: $c_f / e = 5.05 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 14.35 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 39.66$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 170949.4 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.096, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.228$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 1261307.0 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 1287231.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.90 < 1 \text{ Ok}$$

sez. 13, dist. = 229,0 cm, $M_{ed} = 1139372,0 \text{ daNcm}$, $N_{ed} = 16361,3 \text{ daN}$, $V_{ed} = 9109,8 \text{ daN}$

Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 1514571.0 \text{ daN}$$

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$ 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.

VERIFICA PORTALE D - ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

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

MATERIALI**Muratura in mattoni pieni e malta di calce**

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019
fm - resistenza compressione [daN/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)
 τ_o - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)
fvo - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)
E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 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:

fm - resistenza compressione = 26.00 daN/cm²
 τ_o - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
fvo - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²
E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²
G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²
 γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

Fattore confidenza FC = 1.35
Coef. parz. sic. γ_M = 2.00 (4.5.6.1)
fm = 9.63 daN/cm²
 τ_o = 0.19 daN/cm²
fvo = 0.48 daN/cm²
Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00
E = 7500 daN/cm²
G = 2500 daN/cm²

Materiali del telaio

Acciaio	f_{yk} [daN/cm ²]	f_{tk} [daN/cm ²]	E [daN/cm ²]	G [daN/cm ²]	γ_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 ³]	W _{px} [cm ³]	W _y [cm ³]	W _{py} [cm ³]	Area [cm ²]	Peso [kg/m]
HE180B	18.0	18.0	425.8	481.6	151.4	231.0	65.3	51.25

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 ($\pm 15.00\%$).

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

1 - criterio di rottura per fessurazione diagonale

Nel caso di muratura non armata in cui la rottura del pannello è di tipo fragile e caratterizzata da lesioni diagonali a 45° l'azione tagliante ultima è determinabile, come specificato nella Circolare n. 7 / 2019 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 = $1,5 \tau_o$

σ_o = Tensione normale media riferita all'area totale della base del setto

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

2 - criterio di rottura per pressoflessione

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

dove f_d = Resistenza di calcolo a compressione della muratura

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

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

dove i simboli hanno il seguente significato:

E, G moduli di elasticità normale e tangenziale della muratura

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

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

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

A area del maschio murario = $T L$

H altezza deformabile = $h' + 0.33 L (H_{Piano} - h') / h'$ (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 rigidità della muratura a seguito dell'intervento)

il telaio, per poter sopprimere a tale carenza dovrà avere una rigidità K_t maggiore o uguale a ΔK

La rigidità 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

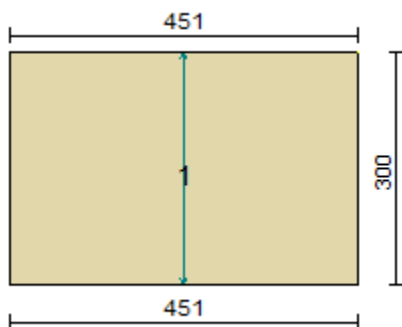
In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

Carico permanente $G_k = 150.0$ daN/m

Carico variabile $Q_k = 50.0$ 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.

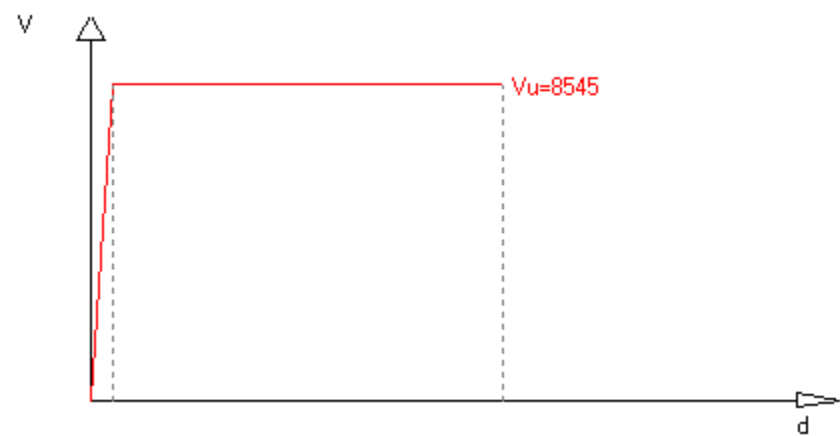
Ante-operam



T (sp. parete) = 47.50 cm

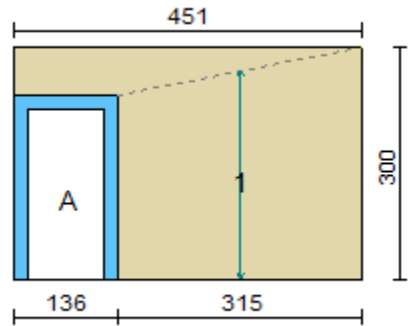
Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	σ_o	K_o	V_t	V_{pf}	V_u	δ_e	δ_u
1	451.0	281.0	1.00	0.295	143379.1	8544.9	9777.6	8544.9	0.060	1.124

Curva caratteristica ante-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{sa} = 143379.1 \text{ daN/cm}$
Taglio ultimo della parete: $V_{sa} = 8544.9 \text{ daN}$
Spostamento ultimo: $\delta_{u sa} = 1.124 \text{ cm}$

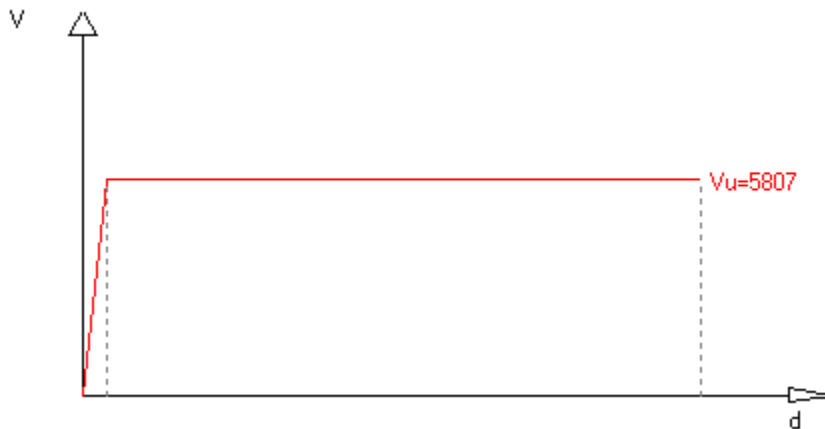
Post-operam



$T \text{ (sp. parete) } = 47.50 \text{ cm}$

Apertura D	Stato Cerchiata	Architravi 2 HE180B (S 275)		Travi inf. No		Montanti 2HE180B+2HE180B (S 275)					
Maschio 1	Lungh. 315.0	Spess. 47.50	H calc. 281.0	Coef. b 1.00	σ_o 0.362	K_o 90858.8	V_t 6308.6	V_{pf} 5806.5	V_u 5806.5	δ_e 0.064	δ_u 1.686

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 90858.8 \text{ daN/cm}$

Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 5806.5 \text{ daN}$

Spostamento ultimo: $\delta_{u pr} = 1.686 \text{ cm}$

VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 90859 - 143379 = -52520 \text{ daN/cm}$ (riduzione rigidezza = -36.6%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 5807 - 8545 = -2738 \text{ daN}$ (riduzione resistenza = -32.0%)

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]	δ_e [cm]	F_u [daN]	F_o [daN]
A	12	229.00	32165.9	4460694.0	1.21	38958.0	38958.0

$K_t = \sum K = 32166 \text{ daN/cm}$

$V_t = \sum F_o = 38958 \text{ daN}$

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

$\Delta K_{tot} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = -20354 \text{ daN/cm}$

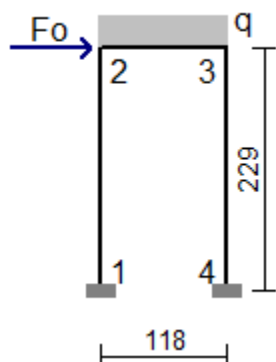
riduzione rigidezza = -14.2%; variazione percentuale di ΔK_{tot} compresa entro il 15.0% Ok

$\Delta V_{tot} = V_{pr} + V_t - V_{sa} = 36220 \text{ daN}$

aumento resistenza = 423.9%; $\Delta V_{tot} > 0$ Ok

Verifiche dei telai.

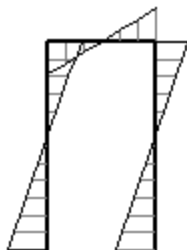
Telaio A



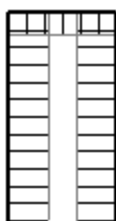
$$F_o = 38958.02 \text{ daN}, \quad q = G_k + \psi_2 Q_k = 6.95 \text{ daN/cm} \quad (\psi_2 = 0.30)$$

Sollecitazioni telaio A

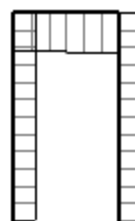
Momento flettente



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	-2441565.0	-33575.1	19490.0
	2	19.1	-2069631.0	-33594.6	19490.0
	3	38.2	-1697697.0	-33614.2	19490.0
	4	57.3	-1325764.0	-33633.7	19490.0
	5	76.3	-953829.8	-33653.3	19490.0
	6	95.4	-581896.1	-33672.8	19490.0
	7	114.5	-209962.2	-33692.4	19490.0
	8	133.6	161971.4	-33712.0	19490.0
	9	152.7	533905.4	-33731.5	19490.0
	10	171.8	905839.1	-33751.1	19490.0
	11	190.8	1277773.0	-33770.6	19490.0
	12	209.9	1649707.0	-33790.2	19490.0
	13	229.0	2021640.0	-33809.7	19490.0

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE180B	18.0	18.0	425.8	481.6	65.3	20.3	0.85	1.40	1.50

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

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 9745,0 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 30637.70 \text{ daN}$

Ved / $V_{crd} = 0.318 < 1$ Ok

Tenso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -1220783,0 daNcm, Ned = -16787,5 daN, Ved = 9745,0 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk})) = 0.21, \quad \psi = -1.64$$

Ali in compressione: $c_f / e = 5.05 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 14.35 < 36 \varepsilon / \alpha = 161.81$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 170949.4 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = -0.098, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.228$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 1261307.0 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 1563257.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.97 < 1 \quad \text{Ok}$$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	2021640.0	19468.0	-33809.7
	2	19.7	1355173.0	19468.0	-33966.6
	3	39.3	685621.4	19468.0	-34123.4
	4	59.0	12984.6	19468.0	-34280.3
	5	78.7	-662736.9	19468.0	-34437.2
	6	98.3	-1341544.0	19468.0	-34594.0
	7	118.0	-2023435.0	19468.0	-34750.9

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	W _x [cm ³]	W _{px} [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE180B	18.0	18.0	425.8	481.6	65.3	20.3	0.85	1.40	1.50

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

Taglio: sez. 7, dist. = 118,0 cm, Ved = -17375,4 daN

$$\text{Taglio resistente: } V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 30637.70 \text{ daN}$$

$$V_{ed} / V_{crd} = 0.567 < 1 \quad \text{Ok}$$

Presso-flessione: sez. 7, dist. = 118,0 cm, Med = -1011717,0 daNcm, Ned = 9734,0 daN, Ved = -17375,4 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk})) = 0.67, \quad \psi = -0.75$$

Ali in compressione: $c_f / e = 5.05 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 14.35 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 47.43$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$V_{ed} > 0.5 V_{crd} \Rightarrow \text{riduzione di } f_y, \quad \rho = ((2 V_{ed} / V_{crd}) - 1)^2 = 0.018, \quad f_{ykRid} = f_{yk} (1 - \rho) = 2700.4 \text{ daN/cm}^2$$

$$N_{vrd} = ((A - A_v) f_{yk} + A_v f_{ykRid}) / \gamma_{M0} = 169993.0 \text{ daN}$$

$$M_{vrd} = [W_{px} - (\rho A_v^2 / 4 a)] f_{yk} / \gamma_{M0} = 1255607.0 \text{ daNcm}$$

$$(N_{ed} / N_{vrd}) + (M_{ed} / M_{vrd}) = 0.86 < 1 \quad \text{Ok}$$

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 1010820,0 daNcm, Ned = 9734,0 daN, Ved = -16904,9 daN

Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 5704223.0 \text{ daN}$$

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

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-2023435.0	34750.9	19468.0
	2	19.1	-1651920.0	34770.4	19468.0
	3	38.2	-1280405.0	34790.0	19468.0
	4	57.3	-908889.5	34809.5	19468.0
	5	76.3	-537374.3	34829.1	19468.0
	6	95.4	-165859.3	34848.7	19468.0
	7	114.5	205655.8	34868.2	19468.0
	8	133.6	577170.8	34887.8	19468.0
	9	152.7	948686.1	34907.3	19468.0
	10	171.8	1320201.0	34926.9	19468.0
	11	190.8	1691716.0	34946.4	19468.0
	12	209.9	2063231.0	34966.0	19468.0
	13	229.0	2434747.0	34985.5	19468.0

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	W _x [cm ³]	W _{px} [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE180B	18.0	18.0	425.8	481.6	65.3	20.3	0.85	1.40	1.50

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

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, $V_{ed} = 9734,0 \text{ daN}$

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 30637.70 \text{ daN}$

$V_{ed} / V_{crd} = 0.318 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 13, dist. = 229,0 cm, $M_{ed} = 1217373,0 \text{ daNcm}$, $N_{ed} = 17492,8 \text{ daN}$, $V_{ed} = 9734,0 \text{ daN}$

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.81, \quad \psi = -0.60$$

Ali in compressione: $c_f / e = 5.05 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 14.35 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 38.59$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 170949.4 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.102, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.228$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 1261307.0 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 1277810.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.97 < 1 \text{ Ok}$$

sez. 13, dist. = 229,0 cm, $M_{ed} = 1217373,0 \text{ daNcm}$, $N_{ed} = 17492,8 \text{ daN}$, $V_{ed} = 9734,0 \text{ daN}$

Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 1514571.0 \text{ daN}$$

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$ 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.

VERIFICA PORTALE E - ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

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

MATERIALI**Muratura in mattoni pieni e malta di calce**

Parametri muratura Tab.C8.5.I Circ. n.7 / CSLLPP del 21/01/2019
fm - resistenza compressione [daN/cm²]: 26.00 (min.), 43.00 (max.)
 τ_o - resistenza a taglio [daN/cm²]: 0.50 (min.), 1.30 (max.)
fvo - resistenza a taglio [daN/cm²]: 1.30 (min.), 2.70 (max.)
E - modulo elastico [daN/cm²]: 12000.0 (min.), 18000.0 (max.)
G - modulo el. tang. [daN/cm²]: 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:

fm - resistenza compressione = 26.00 daN/cm²
 τ_o - resistenza a taglio = 0.50 daN/cm²
fvo - resistenza a taglio = 1.30 daN/cm²
E - modulo elastico = 15000.0 daN/cm²
G - modulo el. tang. = 5000.0 daN/cm²
 γ_m = peso specifico = 1800.0 daN/mc

Valori di progetto:

Fattore confidenza FC = 1.35
Coef. parz. sic. $\gamma_M = 2.00$ (4.5.6.1)
fm = 9.63 daN/cm²
 $\tau_o = 0.19$ daN/cm²
fvo = 0.48 daN/cm²
Coef. rid. moduli elastici per fessurazione = 2.00
E = 7500 daN/cm²
G = 2500 daN/cm²

Materiali del telaio

Acciaio	f_{yk} [daN/cm ²]	f_{tk} [daN/cm ²]	E [daN/cm ²]	G [daN/cm ²]	γ_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 ³]	W _{px} [cm ³]	W _y [cm ³]	W _{py} [cm ³]	Area [cm ²]	Peso [kg/m]
HE160B	16.0	16.0	311.6	354.1	111.2	170.0	54.3	42.61

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 tagliante 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 = $1,5 \tau_o$

σ_o = Tensione normale media riferita all'area totale della base del setto

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

2 - criterio di rottura per pressoflessione

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

dove f_d = Resistenza di calcolo a compressione della muratura

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

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

dove i simboli hanno il seguente significato:

E, G moduli di elasticità normale e tangenziale della muratura

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

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

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

A area del maschio murario = $T L$

H altezza deformabile = $h' + 0.33 L (H_{\text{Piano}} - h') / h'$ (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 sopprimere a tale carenza dovrà avere una rigidezza K_t maggiore o uguale a ΔK

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

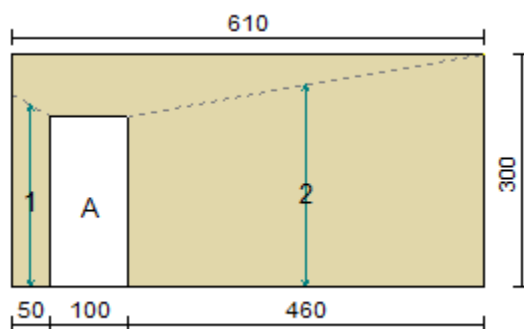
In sommità della parete sono applicati i seguenti carichi distribuiti:

Carico permanente $G_k = 150.0$ daN/m

Carico variabile $Q_k = 50.0$ 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

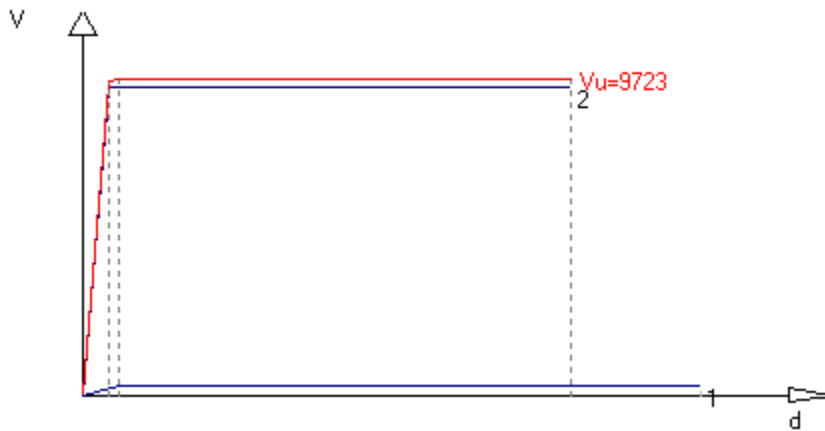


T (sp. parete) = 50.00 cm

Maschio	Lungh.	H calc.	Coef. b	σ_o	K_o	V_t	V_{pf}	V_u	δ_e	δ_u
1	50.0	239.0	1.50	0.515	2964.5	781.9	252.2	252.2	0.085	1.434

2 460.0 283.4 1.00 0.333 152981.2 9470.5 11913.7 9470.5 0.062 1.133

Curva caratteristica ante-operam:

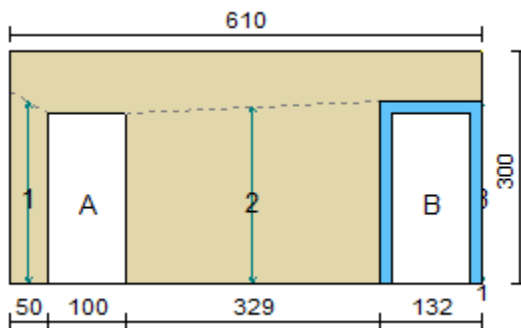


Rigidezza complessiva della parete: $K_{sa} = 155945.8$ daN/cm

Taglio ultimo della parete: $V_{sa} = 9722.6$ daN

Spostamento ultimo: $\delta u_{sa} = 1.133$ cm

Post-operam



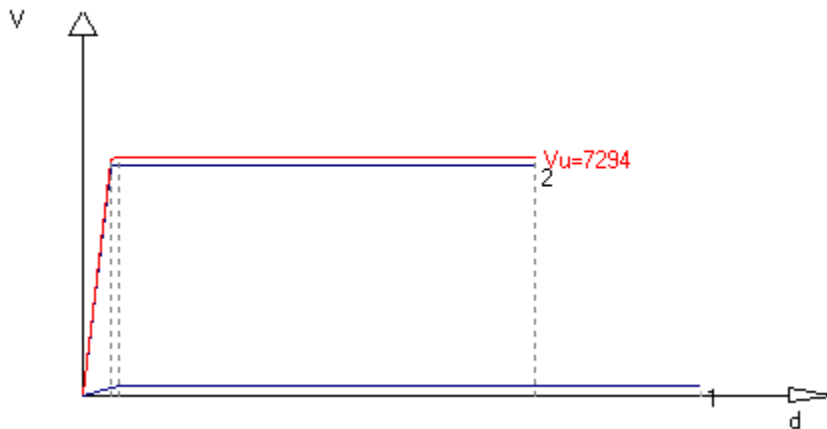
T (sp. parete) = 50.00 cm

Apertura	Stato	Architravi	Travi inf.	Montanti
E	Libera	No	No	No
	Cerchiata	2 HE160B (S 275)	No	2HE160B+2HE160B (S 275)

Maschio	Lungh.	Spess.	H calc.	Coef. b	σ	K_o	V_t	V_{pf}	V_u	δe	δu
1	50.0	50.00	239.0	1.50	0.515	2964.5	781.9	252.2	252.2	0.085	1.434
2	329.0	50.00	262.3	1.00	0.382	111056.1	7042.2	7514.1	7042.2	0.063	1.049
3 (*)	-1.0	50.00	235.3	1.00	0.000	0.0	-13.9	0.0	-13.9	N.C.	N.C.

I maschi (*) hanno un valore $\delta e > 0.006 H$, non verranno pertanto considerati resistenti ai fini delle verifiche

Curva caratteristica post-operam:



Rigidezza complessiva della parete: $K_{pr} = 114020.7 \text{ daN/cm}$

Taglio ultimo della parete: $V_{pr} = 7294.3 \text{ daN}$

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

VERIFICA

Rigidezza e resistenza della muratura:

$\Delta K_{mur} = K_{pr} - K_{sa} = 114021 - 155946 = -41925 \text{ daN/cm}$ (riduzione rigidezza = -26.9%)

$\Delta V_{mur} = V_{pr} - V_{sa} = 7294 - 9723 = -2428 \text{ daN}$ (riduzione resistenza = -25.0%)

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]	δ_e [cm]	F_u [daN]	F_o [daN]
B	12	228.00	21200.1	3264341.0	1.35	28634.6	22241.9

$K_t = \sum K = 21200 \text{ daN/cm}$

$V_t = \sum F_o = 22242 \text{ daN}$

Variazione di rigidezza e resistenza dopo l'intervento:

$\Delta K_{tot} = K_{pr} + K_t - K_{sa} = -20725 \text{ daN/cm}$

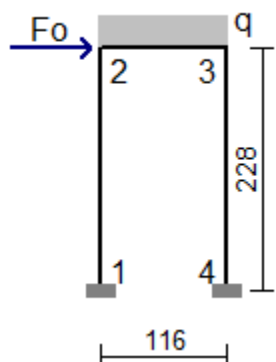
riduzione rigidezza = -13.3%; variazione percentuale di ΔK_{tot} compresa entro il 15.0% Ok

$\Delta V_{tot} = V_{pr} + V_t - V_{sa} = 19814 \text{ daN}$

aumento resistenza = 203.8%; $\Delta V_{tot} > 0$ Ok

Verifiche dei telai.

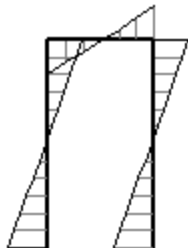
Telaio B



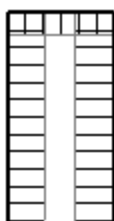
$$F_o = 22241.91 \text{ daN}, \quad q = G_k + \psi_2 Q_k = 8.85 \text{ daN/cm} \quad (\psi_2 = 0.30)$$

Sollecitazioni telaio B

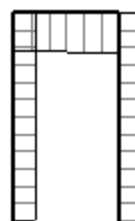
Momento flettente



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	-1381233.0	-19142.4	11103.5
	2	19.0	-1170266.0	-19158.6	11103.5
	3	38.0	-959298.6	-19174.7	11103.5
	4	57.0	-748331.4	-19190.9	11103.5
	5	76.0	-537364.2	-19207.1	11103.5
	6	95.0	-326397.0	-19223.3	11103.5
	7	114.0	-115429.9	-19239.5	11103.5
	8	133.0	95537.3	-19255.7	11103.5
	9	152.0	306504.5	-19271.9	11103.5
	10	171.0	517471.7	-19288.1	11103.5
	11	190.0	728438.8	-19304.3	11103.5
	12	209.0	939406.0	-19320.5	11103.5
	13	228.0	1150373.0	-19336.6	11103.5

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE160B	16.0	16.0	311.6	354.1	54.3	17.6	0.80	1.30	1.50

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

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Ved = 5551,8 daN

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 26630.62 \text{ daN}$

Ved / Vcrd = 0.208 < 1 Ok

Tenso-flessione: sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = -690616,4 daNcm, Ned = -9571,2 daN, Ved = 5551,8 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt[3]{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (cw a f_{yk})) = 0.29, \quad \psi = -1.40$$

Ali in compressione: $cf / e = 4.69 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $cw / a = 13.00 < 36 \varepsilon / \alpha = 114.42$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 142139.9 \text{ daN}$$

$$n = Ned / N_{rd} = -0.067, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.233$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 927377.3 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 1120651.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$Med / M_{nrd} = 0.74 < 1 \quad \text{Ok}$$

Verifica sezioni in acciaio del tratto 2-3

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
2-3	1	0.0	1150373.0	11138.4	-19336.6
	2	19.3	774718.4	11138.4	-19524.2
	3	38.7	395437.1	11138.4	-19711.8
	4	58.0	12529.5	11138.4	-19899.4
	5	77.3	-374004.7	11138.4	-20086.9
	6	96.7	-764165.0	11138.4	-20274.5
	7	116.0	-1157952.0	11138.4	-20462.1

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	Wx [cm ³]	Wpx [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE160B	16.0	16.0	311.6	354.1	54.3	17.6	0.80	1.30	1.50

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

Taglio: sez. 7, dist. = 116,0 cm, Ved = -10231,0 daN

$$\text{Taglio resistente: } V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 26630.62 \text{ daN}$$

$$Ved / V_{crd} = 0.384 < 1 \quad \text{Ok}$$

Presso-flessione: sez. 7, dist. = 116,0 cm, Med = -578976,0 daNcm, Ned = 5569,2 daN, Ved = -10231,0 daN

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt[3]{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (cw a f_{yk})) = 0.62, \quad \psi = -0.82$$

Ali in compressione: $cf / e = 4.69 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $cw / a = 13.00 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 51.69$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 142139.9 \text{ daN}$$

$$n = Ned / N_{rd} = 0.039, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.233$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 927377.3 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 1008813.0 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$Med / M_{nrd} = 0.62 < 1 \quad \text{Ok}$$

sez. 1, dist. = 0,0 cm, Med = 575186,6 daNcm, Ned = 5569,2 daN, Ved = -9668,3 daN

Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 3839593.0 \text{ daN}$$

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

Verifica sezioni in acciaio del tratto 3-4

Tratto	sez.	dist.[cm]	M [daN cm]	N [daN]	V [daN]
3-4	1	0.0	-1157952.0	20462.1	11138.4
	2	19.0	-946322.9	20478.3	11138.4
	3	38.0	-734693.8	20494.5	11138.4
	4	57.0	-523064.6	20510.6	11138.4
	5	76.0	-311435.5	20526.8	11138.4
	6	95.0	-99806.4	20543.0	11138.4
	7	114.0	111822.7	20559.2	11138.4
	8	133.0	323451.8	20575.4	11138.4
	9	152.0	535081.0	20591.6	11138.4
	10	171.0	746710.1	20607.8	11138.4
	11	190.0	958339.2	20624.0	11138.4
	12	209.0	1169968.0	20640.2	11138.4
	13	228.0	1381598.0	20656.4	11138.4

2 sez.*	B [cm]	H [cm]	W _x [cm ³]	W _{px} [cm ³]	A [cm ²]	Av [cm ²]	a [cm]	e [cm]	r [cm]
HE160B	16.0	16.0	311.6	354.1	54.3	17.6	0.80	1.30	1.50

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

Taglio: sez. 1, dist. = 0,0 cm, $V_{ed} = 5569,2 \text{ daN}$

Taglio resistente: $V_{crd} = A_v f_{yk} / (\gamma_{M0} \sqrt{3}) = 26630.62 \text{ daN}$

$V_{ed} / V_{crd} = 0.209 < 1$ Ok

Presso-flessione: sez. 13, dist. = 228,0 cm, $M_{ed} = 690798,8 \text{ daNcm}$, $N_{ed} = 10328,2 \text{ daN}$, $V_{ed} = 5569,2 \text{ daN}$

Classificazione della sezione:

$$\varepsilon = \sqrt{(235 / f_{yk})} = 0.92, \quad \alpha = 0.5 (1 + (N / (c_w a f_{yk}))) = 0.73, \quad \psi = -0.69$$

Ali in compressione: $c_f / e = 4.69 < 9 \varepsilon = 8.32$ (cl. 1)

Anima a presso-flessione: $c_w / a = 13.00 < 396 \varepsilon / (13 \alpha - 1) = 43.40$ (cl. 1)

La sezione è di classe 1

Verifica di resistenza:

$$N_{rd} = A f_{yk} / \gamma_{M0} = 142139.9 \text{ daN}$$

$$n = N_{ed} / N_{rd} = 0.073, \quad a = (A - 2 B e) / A = 0.233$$

$$M_{rd} = W_{px} f_{yk} / \gamma_{M0} = 927377.3 \text{ daNcm}$$

$$M_{nrd} = M_{rn} (1 - n) / (1 - 0.5 a) = 973659.5 \text{ daNcm} > M_{rd} \Rightarrow M_{nrd} = M_{rd}$$

$$M_{ed} / M_{nrd} = 0.74 < 1 \text{ Ok}$$

sez. 13, dist. = 228,0 cm, $M_{ed} = 690798,8 \text{ daNcm}$, $N_{ed} = 10328,2 \text{ daN}$, $V_{ed} = 5569,2 \text{ daN}$

Instabilità a compressione:

$$N_{cr} = \pi^2 E J / l_0^2 = 993874.3 \text{ daN}$$

$N_{ed} < 0.04 N_{cr} \Rightarrow$ 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.

Calcolo dimensionamento dei giunti strutturali

Nel caso in cui si realizzi una nuova costruzione in aderenza ad una costruzione esistente, la Normativa specifica che la distanza reciproca fra le costruzioni deve essere maggiore o uguale alla somma degli spostamenti orizzontali massimi calcolati con la formula semplificata seguente (par. 7.2.1 – NTC2018):

$$S_{max} = H/100 \cdot a_g/g \cdot S$$

dove:

* S_{max} = spostamento massimo della singola costruzione;

* H = altezza della costruzione, misurata dallo spiccatto della fondazione o dalla sommità della fondazione scatolare rigida (in caso di piano interrato);

* a_g/g = accelerazione di picco al suolo allo SLV, espressa in frazioni di g (g = accelerazione di gravità);

* S = coefficiente di amplificazione che tiene conto dell'amplificazione topografica e stratigrafica ($S = S_s \cdot S_t$)

Sviluppando l'espressione di normativa si ha:

$$H_{muratura} = 6,90m;$$

$$a_g/g = 0,0552 \text{ (SLV)};$$

$$S = S_s \cdot S_t = 1,20 \cdot 1 = 1,20;$$

$$d_{x \text{ bagni}} = 1,45cm \text{ (da calcolo di progetto)};$$

$$d_{y \text{ bagni}} = 1,33cm \text{ (da calcolo di progetto)};$$

VERIFICA:

$$S_{max \text{ Muratura}} = (H_{muratura} / 100) \cdot 0,0552 \cdot 1,20 = 0,43 \text{ cm}$$

$$D_x = d_{x \text{ bagni}} + S_{max \text{ muratura}} = 1,45 + 0,43 = 1,88 \text{ cm} < 5 \text{ cm}; \quad \mathbf{V}$$

$$D_y = d_{y \text{ bagni}} + S_{max \text{ muratura}} = 1,33 + 0,43 = 1,76 \text{ cm} < 5 \text{ cm}; \quad \mathbf{V}$$