

# COMUNE DI SALA BOLOGNESE

AMPLIAMENTO E MANUTENZIONE STRAORDINARIA  
DEL POLO SCOLASTICO DELL'INFANZIA IN VIA GRAMSCI, 95/A, 95/B e 95/C A SALA BOLOGNESE  
NELL'AMBITO DELL'INTERVENTO "PNRR NEXT GENERATION EU - MISSIONE 4 COMPONENTE 1"

COMMITTENTE:

Comune di Sala Bolognese  
Piazza Marconi, 1  
40010 Sala Bolognese (BO)



PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA:  
Riguzzi e Mascellani Ingegneri Studio Associato  
Ing. Daniela Riguzzi  
Ing. Paolo Mascellani

PROGETTAZIONE STRUTTURALE:  
Ing. Daniele Manetti

PROGETTAZIONE IMPIANTI MECCANICI:  
POOL Progetti Società tra professionisti  
Ing. Pier Francesco Petroncini

CUP:G24E21000140001

PROGETTAZIONE IMPIANTI ELETTRICI:  
PROEL Studio Tecnico Associato  
Per.Ind. Marco Grillini

## PROGETTO ESECUTIVO STRUTTURALE

RELAZIONE DI CALCOLO APERTURE SU MURATURE EDIFICIO ESISTENTE

ELABORATO

**RST03**

ARCHIVIO AR/250-02/A

DATA 13/02/2023

REDATTO D.M. VISTO D.M.

DATA AGG.	DESCRIZIONE	DIS.	VISTO	DATA AGG.		DIS.	VISTO
--/--				--/--			
--/--				--/--			
--/--				--/--			
--/--				--/--			

Riguzzi e Mascellani Ingegneri

Ingegneria - Architettura - Acustica ambientale - Certificazione energetica

Studio Associato

via Armaroli, 11 - 40012 Calderara di Reno - tel 051.6468358 - www.RM-ingegneri.com

**Comune di SALA BOLOGNESE**  
**Provincia di BOLOGNA**

**RELAZIONE DI CALCOLO**  
**CERCHIATURE 1 e 2**

**OGGETTO:** Ampliamento e manutenzione Polo Scolastico via Gramsci 95, Sala

**COMMITTENTE:** Comune di Sala Bolognese (BO)

**UBICAZIONE:** Polo Scolastico via Gramsci 95, loc. Sala

13/02/2023

Il Tecnico

ING. DANIELE MANETTI

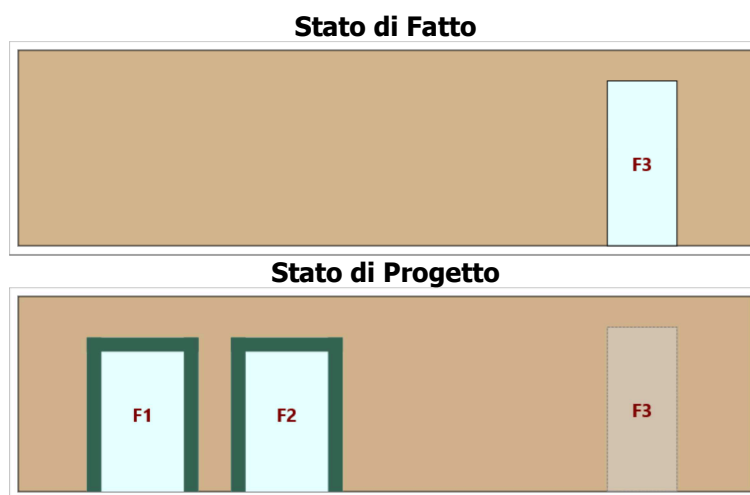
# 1 - DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

L'intervento consiste nell'apertura di **n.2** vani in muratura portante esistente. Tale intervento prevede l'inserimento di una cerchiatura completa in **acciaio** ai fini del ripristino della rigidità laterale il più possibile simile alla situazione pre-intervento ed il controllo della resistenza e della capacità di spostamento post che devono essere non minori della situazione pre-intervento.

L'intervento previsto non comporta la modifica del comportamento globale della struttura rispetto alle azioni sismiche e non altera significativamente i carichi statici, pertanto il progetto si può riferire alle sole parti interessate. Per quanto detto, tale intervento, rientra di fatto nella categoria degli **interventi locali** nel rispetto delle disposizioni di cui al § 8.4.1 del D.M. 17/01/2018.

Quanto esposto viene illustrato numericamente nei successivi paragrafi.

Vengono riportate di seguito due viste prospettiche riguardanti lo stato di fatto e lo stato di progetto, allo scopo di consentire una migliore comprensione della struttura oggetto della presente relazione:



## 2 - NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le fasi di analisi e verifica della struttura sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative, per quanto applicabili in relazione al criterio di calcolo adottato dal progettista, evidenziato nel prosieguo della presente relazione:

**[1] D.M. Infrastrutture Trasporti 17 gennaio 2018** (G.U. 20 febbraio 2018 n. 42 - Suppl. Ord.) - "Aggiornamento delle *Norme tecniche per le Costruzioni*" (NTC 18).

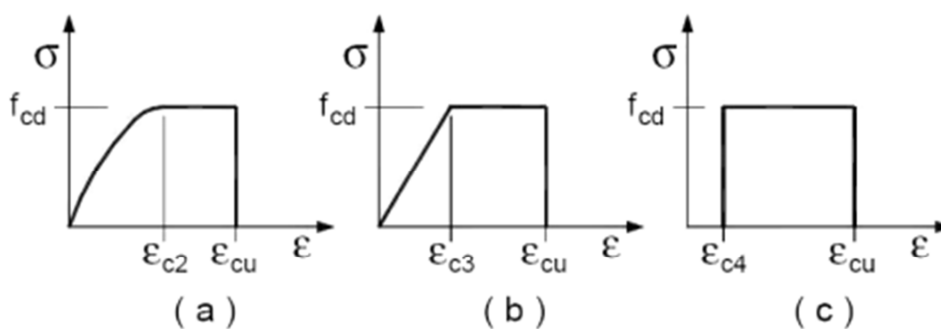
Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, ad integrazione della norma precedente e per quanto con esse non in contrasto, sono state utilizzate le indicazioni contenute nella:

**[2] Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP** (G.U. 11 febbraio 2019 n. 35 - Suppl. Ord.) - "*Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle 'Norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*".

## 3 - MATERIALI IMPIEGATI E RESISTENZE DI CALCOLO

Tutti i materiali impiegati dovranno essere comunque verificati con opportune prove di laboratorio secondo le prescrizioni della vigente Normativa.

I diagrammi costitutivi degli eventuali elementi in calcestruzzo sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al § 4.1.2.1.2.1 delle NTC 18; in particolare per le verifiche effettuate a pressoflessione retta è adottato il modello riportato in fig. (a).



Diagrammi di calcolo tensione/deformazione del calcestruzzo

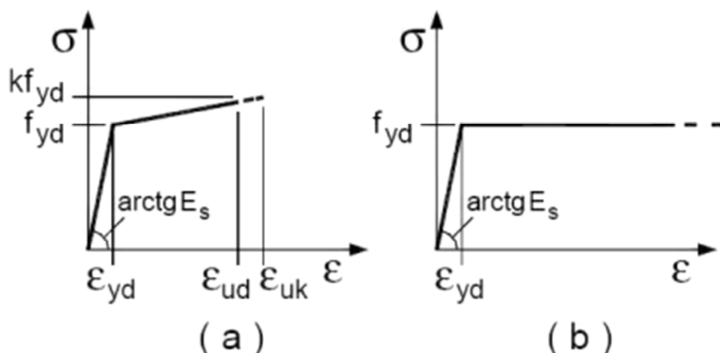
I valori di deformazione assunti sono:

$$\varepsilon_{c2} = 0,0020;$$

$$\varepsilon_{cu} = 0,0035.$$

La resistenza di calcolo  $f_{cd}$  è data da  $\alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$ . Il coefficiente di sicurezza  $\gamma_c$  si assume pari a 1,50, mentre il coefficiente  $\alpha_{cc}$  è il coefficiente riduttivo per i carichi di lunga durata pari a 0,85.

I diagrammi costitutivi dell'acciaio sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al § 4.1.2.1.2.2 delle NTC 18; in particolare è adottato il modello elastico perfettamente plastico rappresentato in fig. (b).



Diagrammi di calcolo tensione/deformazione dell'acciaio

La resistenza di calcolo  $f_{yd}$  è data da  $f_{yk} / \gamma_s$ . Il coefficiente di sicurezza  $\gamma_s$  si assume pari a 1,15.

Nell'intervento in oggetto sono stati impiegati i seguenti materiali:

## MATERIALI: MURATURA

Caratteristiche Muratura									
Id <sub>m</sub>	γ <sub>k</sub>	E	ν	γ	f <sub>cm</sub> / f <sub>ck</sub>	f <sub>vm0</sub> / f <sub>vk0</sub>	τ <sub>0</sub>	TRT	μ
	[N/m³]	[N/mm²]			[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]		
Situazione di fatto									
LC1-Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es. doppio UNI foratura <= 40%)									
1	15´000	4´550	0.50	2.00	3.704	0.148	0.059	3	-
Situazione di progetto									
LC1-Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es. doppio UNI foratura <= 40%)									
2	15´000	4´550	0.50	2.00	3.704	0.148	0.059	3	-
Materiale di chiusura fori									
LC1-Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es. doppio UNI foratura <= 40%)									
6	15´000	4´550	0.50	2.00	3.704	0.148	0.059	3	-

### LEGENDA:

Id <sub>m</sub>	Identificativo del materiale.
Sigla	Sigla descrittiva del materiale.
γ <sub>k</sub>	Peso specifico.
E	Modulo elastico normale.
ν	Modulo di Poisson.
γ	Coefficiente parziale di sicurezza.
f <sub>cm</sub> / f <sub>ck</sub>	Resistenza a compressione media nel caso di muratura esistente, f <sub>cm</sub> (Resistenza a compressione caratteristica nel caso di muratura nuova, f <sub>ck</sub> ).
f <sub>vm0</sub> / f <sub>vk0</sub>	Resistenza a taglio media senza compressione, per murature regolari esistenti, f <sub>vm0</sub> (Resistenza a taglio caratteristica senza compressione, per murature regolari nuove, f <sub>vk0</sub> ).
τ <sub>0</sub>	Resistenza a taglio (media/caratteristica) senza compressione, per murature irregolari (esistenti/nuove).
TRT	Tipo rottura a taglio dei MASCHI: [1] = per scorrimento (murature regolari); [2] = per fessurazione diagonale (murature irregolari); [3] = per scorrimento e fessurazione.
μ	Coefficiente di duttilità (moltiplicatore dello spostamento elastico). "-": lo spostamento ultimo è calcolato come minimo tra § 7.8.2.2.1 e § 7.8.2.2.2 delle NTC.

## MATERIALI: ACCIAIO PER PROFILATI

Caratteristiche Acciaio per Profilati									
Sigla	$\gamma_k$	E	$\nu$	$\gamma$	$\gamma_s$	$f_{yk}(t < 40 \text{ mm})$	$f_{yk}(40 \text{ mm} < t < 80 \text{ mm})$	$f_{tk}(t < 40 \text{ mm})$	$f_{tk}(40 \text{ mm} < t < 80 \text{ mm})$
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]				[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
S275 (EN 10025-2)	78'500	210'000	0.30	1.05	1.25	275.00	255.00	430.00	410.00

### LEGENDA:

<b>Sigla</b>	Sigla descrittiva del materiale.
$\gamma_k$	Peso specifico.
<b>E</b>	Modulo elastico normale.
$\nu$	Modulo di Poisson.
$\gamma$	Coefficiente parziale di sicurezza.
$\gamma_s$	Coefficiente parziale di sicurezza per le saldature.
$f_{yk}(t < 40 \text{ mm})$	Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili $\leq 40 \text{ mm}$ ).
$f_{yk}(40 \text{ mm} < t < 80 \text{ mm})$	Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili con spessore compreso tra 40 e 80 mm).
$f_{tk}(t < 40 \text{ mm})$	Resistenza caratteristica a rottura (per profili $\leq 40 \text{ mm}$ ).
$f_{tk}(40 \text{ mm} < t < 80 \text{ mm})$	Resistenza caratteristica a rottura (per profili con spessore compreso tra 40 e 80 mm).

## 4 - AZIONI SULLA STRUTTURA

Di seguito sono riportati i carichi applicati sulla sommità del muro.

### CARICHI APPLICATI

Id <sub>c</sub>	Descrizione	CC	Q <sub>z,i</sub>	Q <sub>z,f</sub>
			[N/m]	[N/m]
1	Peso proprio solaio sottotetto e copertura	Carico Permanente	18'000.00	18'000.00
2	-	Permanenti NON Strutturali	5'000.00	5'000.00
5	-	Coperture	6'600.00	6'600.00

### LEGENDA:

<b>Id<sub>c</sub></b>	Numero identificativo del carico.
<b>Descrizione</b>	Descrizione del carico.
<b>CC</b>	Condizione di Carico.
<b>Q<sub>z,i</sub></b>	Valore iniziale della forza nel caso di carico lineare(positivo, diretto verso il basso).
<b>Q<sub>z,f</sub></b>	Valore finale della forza nel caso di carico lineare(positivo, diretto verso il basso).

### 4.1 Combinazioni di Carico

Per la valutazione della fattibilità dell'intervento locale in esame secondo le indicazioni del § 8.4.1 del D.M. 2018, si analizza esclusivamente il comportamento della parete per la combinazione di carico sotto effetto del sisma (SLV). Viene, quindi, considerata la seguente combinazione di carico:

$$G_1 + G_2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

dove:

- G<sub>1</sub> rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi strutturali;
- G<sub>2</sub> rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
- Q<sub>ki</sub> rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile;
- $\psi_{2i}$  coefficienti di combinazione per tenere conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i rispettivi valori caratteristici.

Per la **verifica di resistenza dei rinforzi applicati ai fori** (piedritti e piattabande), le azioni su questi elementi sono state cumulate in modo da determinare condizioni di carico tali da risultare più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche, tenendo conto della probabilità ridotta di intervento simultaneo di tutte le azioni con i rispettivi valori più sfavorevoli, come previsto dalle norme vigenti.

Per gli stati limite ultimi sono state adottate le combinazioni del tipo:

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_P P + \gamma_{Q1} Q_{K1} + \gamma_{Q2} \psi_{02} Q_{K2} + \gamma_{Q3} \psi_{03} Q_{K3} + \dots$$

dove:

- G<sub>1</sub> rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo);

- $G_2$  rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;  
 $P$  rappresenta l'azione di pretensione e/o precompressione;  
 $Q$  azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:
- di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
  - di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura;
- $Q_{ki}$  rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile;  
 $\gamma_{q1}, \gamma_{q2}, \gamma_p$  coefficienti parziali come definiti nella Tab. 2.6.I del D.M. 2018;  
 $\psi_{0i}$  sono i coefficienti di combinazione per tenere conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i rispettivi valori caratteristici.

Le varie combinazioni di carico risultanti sono state costruite a partire dalle sollecitazioni caratteristiche calcolate per ogni condizione di carico elementare: ciascuna condizione di carico variabile, a rotazione, è stata considerata sollecitazione di base ( $Q_{k1}$  nella formula precedente).

## 5 - GEOMETRIA

Di seguito si riporta la descrizione della geometria del muro/maschi, delle aperture e dei relativi elementi di rinforzo.

### GEOMETRIA MURO

L	H <sub>i</sub>	H <sub>f</sub>	S <sub>f</sub>	S <sub>p</sub>	M <sub>f</sub>	M <sub>p</sub>
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]		
<b>Tratto 0</b>						
1000	320	320	25	25	1	2
<b>Tratto 1</b>						
200	320	320	25	25	1	2

#### LEGENDA:

<b>L</b>	Lunghezza del muro (Lunghezza del tratto di muro nel caso di profilo superiore variabile).
<b>H<sub>i</sub></b>	Altezza iniziale del muro.
<b>H<sub>f</sub></b>	Altezza finale del muro.
<b>S<sub>f</sub></b>	Spessore del muro nello stato di fatto.
<b>S<sub>p</sub></b>	Spessore del muro nello stato di progetto.
<b>M<sub>f</sub></b>	Identificativo del Materiale del muro nello stato di fatto (si confronti la tabella dei materiali della muratura).
<b>M<sub>p</sub></b>	Identificativo del Materiale del muro nello stato di progetto (si confronti la tabella dei materiali della muratura).

### GEOMETRIA FORI

Id <sub>F</sub>	dis <sub>I</sub>	dis <sub>B</sub>	L	H	STZ	M <sub>R</sub>
	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]		
1	136	0	135	230	P	-
2	372	0	135	230	P	-
3	964	0	114	270	C	6

#### LEGENDA:

<b>Id<sub>F</sub></b>	Numero identificativo del foro.
<b>dis<sub>I</sub></b>	Distanza del foro dal bordo iniziale del muro.
<b>dis<sub>B</sub></b>	Distanza del foro dalla base del muro.
<b>L</b>	Larghezza del foro.
<b>H</b>	Altezza del foro.
<b>STZ</b>	Tipo di Situazione (F: foro già presente nello stato di fatto; P: foro da realizzare nello stato di progetto; C: foro presente nello stato di fatto e chiuso nello stato di progetto).
<b>M<sub>R</sub></b>	Identificativo del materiale di riempimento del foro, in riferimento alla tabella dei materiali ([ - ]: riempimento non eseguito).

### GEOMETRIA MASCHI MURARI

Id <sub>M</sub>	dis <sub>I</sub>	dis <sub>B</sub>	L	H
	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
<b>Situazione di fatto</b>				
1	0	0	964	320
2	1078	0	122	320
<b>Situazione di progetto</b>				
3	0	0	112	320
4	295	0	53	320
5	531	0	669	320

#### LEGENDA:

<b>Id<sub>M</sub></b>	Numero identificativo del maschio.
-----------------------	------------------------------------

<b>dis<sub>i</sub></b>	Distanza del maschio dal bordo iniziale del muro.
<b>dis<sub>B</sub></b>	Distanza del maschio dalla base del muro.
<b>L</b>	Lunghezza del maschio.
<b>H</b>	Altezza del maschio.

## RINFORZI FORI

T <sub>R</sub>	Mtrl	Profili		Armature		L	H	B
		tipo	n	A <sub>S,L</sub>	A <sub>S,st</sub>			
						[cm]	[cm]	[cm]
Foro 1								
Piedritto Sx	S275 (EN 10025-2)	HE 240 B	1	-	-	230.00	-	-
Piattabanda	S275 (EN 10025-2)	HE 240 A	1	-	-	183.00	-	-
Piedritto Dx	S275 (EN 10025-2)	HE 240 B	1	-	-	230.00	-	-
Foro 2								
Piedritto Sx	S275 (EN 10025-2)	HE 240 B	1	-	-	230.00	-	-
Piattabanda	S275 (EN 10025-2)	HE 240 A	1	-	-	183.00	-	-
Piedritto Dx	S275 (EN 10025-2)	HE 240 B	1	-	-	230.00	-	-

### LEGENDA:

<b>T<sub>R</sub></b>	Tipologia di rinforzo del foro.
<b>Mtrl</b>	Sigla del materiale che costituisce il rinforzo.
<b>tipo/n</b>	Tipo e numero di profili metallici utilizzati.
<b>A<sub>S,L</sub></b>	Armatura longitudinale per lato.
<b>A<sub>S,st</sub></b>	Armatura trasversale.
<b>L</b>	Lunghezza del rinforzo.
<b>H</b>	Altezza/Spessore del rinforzo.
<b>B</b>	Larghezza del rinforzo (pari allo spessore del muro).

**nota: [-] dato non utile per il rinforzo in esame o elemento non presente.**

## 6 - METODOLOGIA DI CALCOLO

I calcoli sono stati condotti in rispetto di quanto riportato nelle Norme sopra elencate, ed in particolare di quanto indicato in [1] - § 8.4.1 e in [2] - § C8.7.4.1 (punto 4).

Il calcolo si articola nelle seguenti fasi:

1. Valutazione della rigidezza della parete muraria (maschi + rinforzi);
2. Valutazione della resistenza della parete muraria (V);
3. Valutazione dello spostamento elastico ( $\delta_e$ ) ed ultimo ( $\delta_u$ );
4. Rappresentazione della curva di capacità (V;  $\delta$ ).

Di seguito, si illustrano le varie fasi.

### 6.1 - Rigidezza della parete muraria

La parete muraria viene discretizzata in elementi finiti triangolari (*Hp-Shell*) **Incastrata** al PIEDE e **Libera** in TESTA. Tale modellazione consente di tenere correttamente in conto di aperture posizionate in maniera arbitraria, dei carichi agenti (muro ed architravi), di configurazioni della parete diversa da quelle rettangolari nonché di considerare gli elementi (beam) che costituiscono i rinforzi ammorsati alla parete muraria.

Nella situazione *di Fatto*, a tale schema viene applicata una forza **F** orizzontale unitaria e si calcola lo spostamento  $\delta_F$  subito dai nodi in cui essa è applicata. Pertanto, la rigidezza nello stato di Fatto **K<sub>F</sub>** è data da:

$$K_F = F/\delta_F.$$

In maniera analoga si discretizza lo schema della situazione *di Progetto* tenendo conto delle nuove aperture e delle cerchiature con elementi beam ad essi collegati. Si tiene correttamente in conto della solidarietà tra cerchiatura e muratura adiacente, come espressamente richiesto dalle norme e realizzato nella pratica. La rigidezza nello stato di Progetto è data da:

$$K_P = F/\delta_P.$$

A questo punto è possibile calcolare la variazione di rigidezza come:

$$\Delta K = \left| \frac{K_P - K_F}{K_F} \right| \cdot 100.$$

## 6.2 - Resistenza elementi

Occorre verificare che la resistenza nello stato *di Progetto* sia non minore di quella dello stato *di Fatto*. A tale scopo la resistenza viene valutata come somma dei contributi delle singole parti murarie (maschi) e dei singoli piedritti (rinforzi).

### 6.2.1 - Resistenza muratura ( $V_M$ )

La resistenza delle parti murarie (maschi) può essere valutata con le seguenti formulazioni:

1) Resistenza per taglio da *fessurazione diagonale* secondo la formulazione di Turnsek-Cacovic:

$$V_{t,1} = \frac{1,5 \cdot \tau_{0d} \cdot t \cdot l}{b} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1,5 \cdot \tau_{0d}}};$$

in cui:

$l, t$ : lunghezza e spessore del pannello;

$b$ : fattore correttivo dipendente dalla snellezza del pannello [ $b = \min(h/l; 1,5) \geq 1$ ];  
 $h$  misurata al netto delle zone rigide;

$\tau_{0d}$ : resistenza di riferimento a taglio della muratura [ $\tau_{0k}/\gamma_m$ ];

$\tau_{0k}$ : resistenza caratteristica a taglio senza compressione;

$\gamma_m$ : coefficiente di sicurezza;

$\sigma_0 = N/A$  = tensione normale media nella sezione di mezzeria del pannello;

$N$ : sforzo normale sulla sezione di mezzeria del pannello;

$A$ : area del pannello murario.

2) Resistenza per taglio da *scorrimento* ([2] f. 7.8.3):

$$V_{t,2} = l' \cdot t \cdot f_{vd};$$

in cui:

$f_{vd}$ : resistenza di progetto a taglio della muratura [ $f_{vd} = (f_{vk0} + 0,4\sigma_0)/\gamma_m$ ].

$f_{vk0}$ : resistenza caratteristica a taglio senza compressione;

$\gamma_m$ : coefficiente di sicurezza;

$l' = \beta \cdot l$ : lunghezza della parte compressa del pannello;

$l$ : lunghezza del pannello;

$\beta = 1$ ;

3) Resistenza a taglio per *pressoflessione nel piano* ([2] eq. [7.8.2]):

$$M_{Rd} = \frac{t \cdot l^2 \cdot \sigma_0}{2} \cdot \left( 1 - \frac{\sigma_0}{0,85 \cdot f_d} \right);$$

in relazione alla condizione di vincolo in TESTA del muro, il taglio resistente risulta:

Incastro	Libero
$V_{t,3} = 2 \cdot M_{Rd}/h$	$V_{t,3} = M_{Rd}/h$

in cui:

$f_d$ : resistenza a compressione della muratura ( $f_d = f_k/\gamma_m$ );

$h$ : altezza del pannello.

Pertanto, la resistenza a taglio ( $V_M$ ) dei maschi è data da:

$$V_M = \min(V_{t,1-2}, V_{t,3});$$

dove  $V_{t,1-2}$ , in base alla scelta del tipo di "Meccanismo di rottura a taglio dei maschi", è pari a:

- Meccanismo di rottura a taglio dei maschi = per fessurazione diagonale (per murature irregolari) ->  $V_{t,1-2} = V_{t,1}$ ;
- Meccanismo di rottura a taglio dei maschi = per scorrimento (per murature regolari) ->  $V_{t,1-2} = V_{t,2}$ ;
- Meccanismo di rottura a taglio dei maschi = minimo tra scorrimento e fessurazione diagonale ... ->  $V_{t,1-2} = \min(V_{t,1}; V_{t,2})$ .

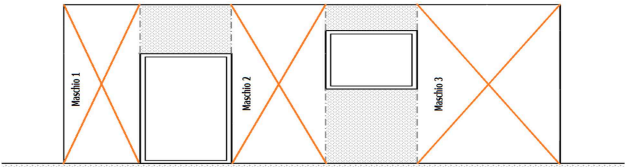
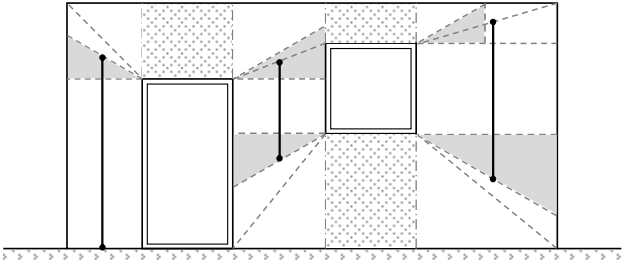


Nello specifico caso in esame, sono stati considerati i seguenti meccanismi di collasso a taglio:

<b>SITUAZIONE DI FATTO:</b>	<b>SITUAZIONE DI PROGETTO:</b>
- taglio per fessurazione diagonale; - taglio scorrimento;	- taglio per fessurazione diagonale; - taglio scorrimento;

### 6.2.1.1 - Geometria Maschi

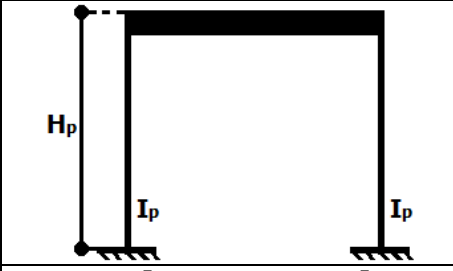
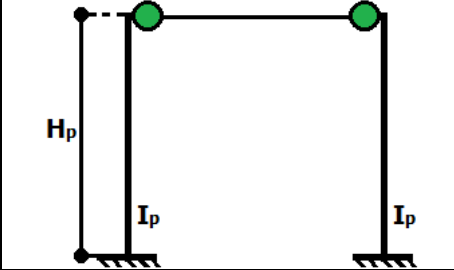
La geometria dei maschi murari (lunghezza/altezza) viene valutata considerando i seguenti metodi:

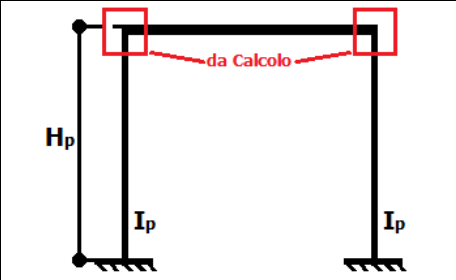
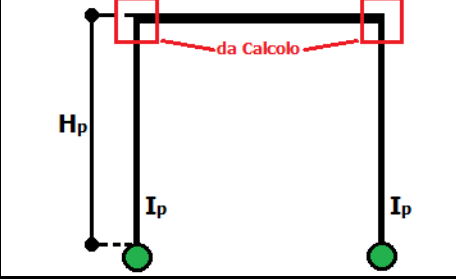
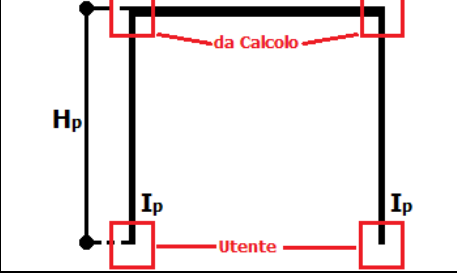
<b>Metodo 1</b>	<b>Metodo 2</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- lunghezza: la distanza (netta) tra due fori consecutivi o la distanza tra il foro e il bordo del muro;</li> <li>- altezza: quella della parete muraria (nel caso di muri a trapezio si considera la minima altezza del trapezio).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- lunghezza: la distanza (netta) tra due fori consecutivi o la distanza tra il foro e il bordo del muro;</li> <li>- altezza: la minore tra quella che si ottiene considerando un angolo di diffusione pari a <math>0^\circ</math> (zona evidenziata in grigio nel seguente esempio) e la media delle quote dei fori e/o delle estremità delle pareti.</li> </ul>
	

Nel caso in esame è stato utilizzato il **Metodo 1**.

### 6.2.2 - Resistenza Cerchiatura ( $V_c$ )

La resistenza della cerchiatura è funzione delle condizioni vincolari scelte in TESTA ed al PIEDE dei piedritti. Di seguito si riportano le possibili condizioni vincolari al PIEDE ed in TESTA

<b>PIEDE</b>	<b>TESTA</b>	<b>Schema di calcolo</b>	<b>Rigidezza Orizzontale (<math>K_t</math>)</b>
Incastro	Incastro (Grinter)		$\frac{12 \cdot E \cdot \sum I_p}{H_p^3}$ <p>E: modulo elastico del materiale dei piedritti;  <math>I_p</math>: inerzia del singolo piedritto;  <math>H_p</math>: altezza del piedritto.</p>
	Libero (Mensola)		$\frac{3 \cdot E \cdot \sum I_p}{H_p^3}$

	da Calcolo		da calcolo
Cerniera	da Calcolo		da calcolo
Utente (% incastro)	da Calcolo		da calcolo

Nel caso in esame sono state considerate le seguenti condizioni vincolari:

PIEDE	TESTA
Utente (incastro al 50%)	da Calcolo

Definite le condizioni vincolari di TESTA e di PIEDE si procede alle successive fasi:

- calcolo della rigidezza alla traslazione orizzontale ( $K_t$ );
- calcolo del momento resistente ( $M_{Rd}$ ) alla base dei piedritti.

Cerchiatura in Acciaio	Cerchiatura in CA
$f_{yk} \cdot W_{X,Ela} / \gamma_{M0}$	determinato dalla posizione dell'asse neutro (funzione delle sollecitazioni e dell'armatura presente)

- calcolo dello spostamento elastico subito dal nodo in testa al piedritto:

$$\delta_e = \frac{M_{Rd} \cdot H_p^2}{6 \cdot E \cdot I_p}$$

- Calcolo della resistenza al limite elastico della cerchiatura:

$$V_C = K_t \cdot \delta_e$$

## 6.3 - Spostamento elastico ( $\delta_e$ ) ed ultimo ( $\delta_u$ )

Di seguito si illustra come vengono determinati gli spostamenti elastici ( $\delta_e$ ) ed ultimi ( $\delta_u$ ) degli elementi che costituiscono la parete muraria (maschi e piedritti).

### 6.3.1 - Spostamento elastico ( $\delta_e$ )

#### • Muratura

Lo spostamento al limite elastico è dato da:

$$\delta_e = V_M / K_M.$$

dove:

$V_M$  = resistenza del pannello murario/maschio (§ 6.2.1)

$K_M$  = resistenza del pannello murario, che a seconda delle condizioni vincolari imposte alla parete muraria viene valutata come:

Piede <i>Incastro</i>	Testa <i>Incastro</i>	Piede <i>Incastro</i>	Testa <i>Libero</i>
$K_m = \left( \frac{H_p^3}{12 \cdot E \cdot I_p} + \frac{1,2 \cdot H_p}{G \cdot A} \right)^{-1}$		$K_m = \left( \frac{H_p^3}{3 \cdot E \cdot I_p} + \frac{1,2 \cdot H_p}{G \cdot A} \right)^{-1}$	

- Cerchiatura**

Valutato come esposto al paragrafo 6.2.2.

### 6.3.2 - Spostamento ultimo ( $\delta_u$ )

In generale, lo spostamento ultimo dei singoli elementi che compongono la parete muraria viene calcolato come:

$$\delta_u = \mu \cdot \delta_e.$$

dove:

$\mu$ : fattore di duttilità dell'elemento;

$\delta_e$ : spostamento al limite elastico dell'elemento (§ 6.3.1).

- Muratura**

Per i pannelli murari (maschi) lo spostamento ultimo viene valutato nei seguenti modi:

Modo 1			Modo 2
$\delta_u =$	$0,004 \cdot H_p$	se $V_M = \min(V_{t,1}; V_{t,2})$	Tenendo conto del valore di $\mu$ riportato nel § 3 nella tabella "MATERIALI: MURATURA".
	$0,008 \cdot H_p$	se $V_M = V_{t,3}$	
		-> meccanismo di taglio (§ 7.8.2.2.2 - NTC18)	
		-> meccanismo di flessione (§ 7.8.2.2.1 - NTC18)	

Nel caso in esame è stato valutato mediante il **Modo 1**.

- Cerchiatura in Acciaio**

Per i piedritti in acciaio lo spostamento ultimo è stato calcolato tenendo conto del valore di  $\mu$  dato da:

$$\mu = 0,075 / \varepsilon_{sy};$$

dove:

0,075: allungamento minimo che deve avere a rottura l'acciaio;

$\varepsilon_{sy} = f_{yk} / E_s$ : deformata al limite elastico;

$f_{yk}$ : resistenza caratteristica allo snervamento dell'acciaio;

$E_s$ : modulo elastico normale dell'acciaio.

- Cerchiatura in CA**

Per i piedritti in CA lo spostamento ultimo è stato calcolato tenendo conto del valore di  $\mu$  dato da:

$$\mu = \theta_u / \theta_y;$$

dove:

$\theta_u$ : rotazione ultima della sezione;

$\theta_y$ : rotazione allo snervamento della sezione.

### 6.4 - CURVE DI CAPACITÀ ( $V$ ; $\delta$ )

Vengono costruite, quindi, le curve di capacità della parete nelle situazioni:

- di Fatto: sommando le singole curve di capacità dei maschi;
- di Progetto: sommando le singole curve di capacità dei maschi e dei piedritti.

In particolare, nella costruzione della curva di capacità della parete vengono considerati i seguenti casi:

Caso 1	Caso 2
La curva di capacità viene arrestata in corrispondenza del minimo spostamento ultimo ( $\delta_{u,min}$ ) dei vari elementi (maschi o rinforzi).	La curva di capacità viene arrestata in corrispondenza del massimo spostamento ultimo ( $\delta_{u,max}$ ) dei vari elementi (maschi o rinforzi).

Nel caso in esame è stato considerato il **Caso 1**.

## 7 - VERIFICHE

Ai fini della valutazione dell'intervento se TUTTE le seguenti condizioni sono verificate, l'intervento si può classificare come LOCALE.

- **Rigidezza**: la variazione di rigidezza tra lo stato di Fatto ( $K_F$ ) e quello di Progetto ( $K_P$ ) è:

$$- 15 \% \leq \left( \frac{K_P - K_F}{K_F} \right) \cdot 100 \leq 15 \%;$$

- **Resistenza**: la resistenza nello stato di Progetto ( $V_P$ ) è non minore rispetto allo stato di Fatto ( $V_F$ )

$$V_F \leq V_P.$$

- **Spostamento**: la capacità di spostamento nello stato di Progetto ( $\delta_{u,P}$ ) è non minore rispetto allo stato di Fatto ( $\delta_{u,F}$ ):

$$\delta_{u,F} \leq \delta_{u,P}.$$

Inoltre, sui rinforzi sono state effettuate le verifiche di resistenza:

- degli architravi (*flessione retta e taglio*);
- dei piedritti (*pressoflessione retta*).

## 8 - RISULTATI

Di seguito si riportano i dettagli delle verifiche.

### CURVE DI CAPACITÀ DEI SINGOLI ELEMENTI

Curve di capacità dei singoli elementi						
EI	$V_0$	$\Delta_0$	$V_{EL}$	$\Delta_{EL}$	$V_U$	$\Delta_U$
	[N]	[cm]	[N]	[cm]	[N]	[cm]
<b>Situazione di fatto</b>						
M1	0	0.0000	209452	0.0247	209452	1.2800
M2	0	0.0000	6761	0.0485	6761	1.2800
<b>Situazione di progetto</b>						
M3	0	0.0000	7259	0.0661	7259	1.2800
M4	0	0.0000	1626	0.1289	1626	1.2800
M5	0	0.0000	161152	0.0306	161152	1.2800
F1sx	0	0.0000	81841	1.2800	81841	1.2800
F1dx	0	0.0000	81841	1.2800	81841	1.2800
F2sx	0	0.0000	81841	1.2800	81841	1.2800
F2dx	0	0.0000	81841	1.2800	81841	1.2800

#### LEGENDA:

EI	Identificativo dell'elemento: Mi = maschio i-esimo; Fi = Piedritto del foro i-esimo (sx=sinistro; dx=destra)
$V_0$	Resistenza a taglio iniziale
$\Delta_0$	Spostamento orizzontale iniziale
$V_{EL}$	Resistenza a taglio al limite elastico
$\Delta_{EL}$	Spostamento orizzontale al limite elastico
$V_U$	Resistenza ultima
$\Delta_U$	Spostamento orizzontale ultimo

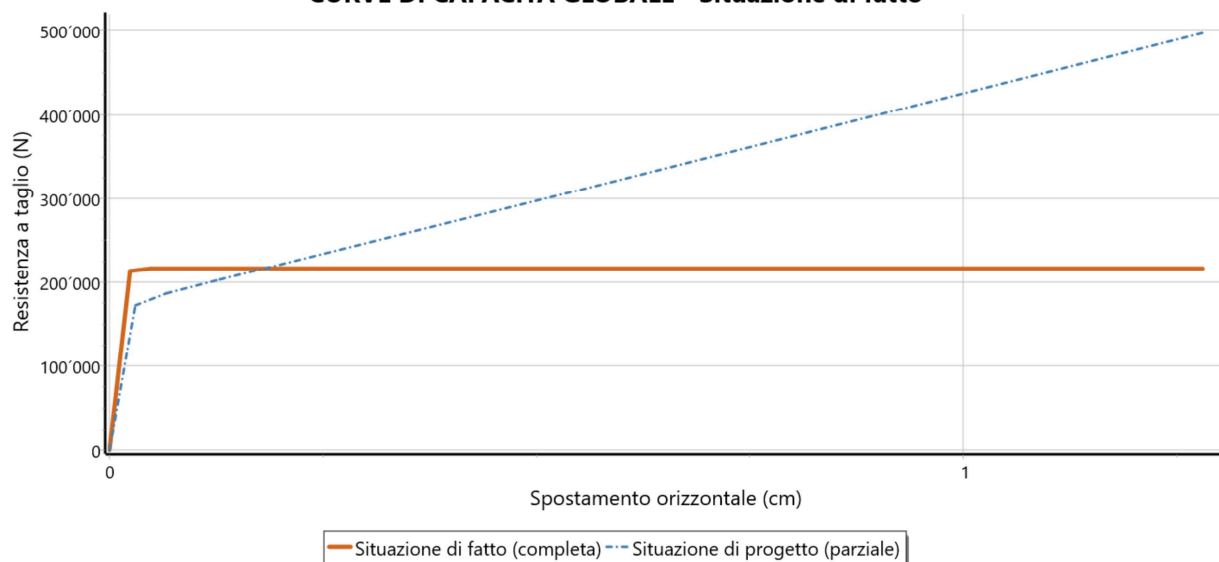
## CURVE DI CAPACITÀ GLOBALE

Curve di capacità globale		
P	V	Δ
	[N]	[cm]
<b>Situazione di fatto</b>		
0	0	0.0000
1	212894	0.0247
2	216213	0.0485
3	216213	1.2800
<b>Situazione di progetto</b>		
0	0	0.0000
1	172722	0.0306
2	186149	0.0661
3	186153	0.0661
4	203009	0.1289
5	497401	1.2800

### LEGENDA:

**P** Punto  
**V** Resistenza a taglio  
**Δ** Spostamento orizzontale

### CURVE DI CAPACITÀ GLOBALE - Situazione di fatto



### CURVE DI CAPACITÀ GLOBALE - Situazione di progetto



## MURO - VERIFICA DI RIGIDEZZA

### MURO - verifica di rigidezza

$K_F$	$K_P$	$\Delta K$	$\Delta K_{lim}$	Note
[kN/m]	[kN/m]	[%]	[%]	
849 ' 290	841 ' 885	-0.87	15.00	Verificato

#### LEGENDA:

$K_F$	Rigidezza nello stato di Fatto.
$K_P$	Rigidezza nello stato di Progetto.
$\Delta K$	Variazione di Rigidezza.
$\Delta K_{lim}$	Variazione di Rigidezza Limite.
Note	Verificato se $\Delta K < \Delta K_{lim}$

## MURO - VERIFICA DI RESISTENZA

### MURO - verifica di resistenza

$R_F$	$R_P$	$\Delta R$	Note
[N]	[N]	[N]	
216 ' 213	497 ' 401	281 ' 188	Verificato

#### LEGENDA:

$R_F$	Resistenza nello stato di Fatto.
$R_P$	Resistenza nello stato di Progetto.
$\Delta R$	Variazione di Resistenza.
Note	Verificato se $\Delta R > 0$ .

## MURO - VERIFICA DI SPOSTAMENTO

### MURO - verifica di spostamento

$\delta_F$	$\delta_P$	$\Delta \delta$	Note
[cm]	[cm]	[cm]	
1.2800	1.2800	0.0000	Verificato

#### LEGENDA:

$\delta_F$	Spostamento ultimo nello stato di Fatto.
$\delta_P$	Spostamento ultimo nello stato di Progetto.
$\Delta \delta$	Variazione di spostamento.
Note	Verificato se $\Delta \delta > 0$ .

## RINFORZI FORI - VERIFICA A PRESSOFLESSIONE RETTA

### RINFORZI FORI - verifica a pressoflessione retta

$T_R$	sez	$N_{Ed}$	$M_{Ed}$	$M_R$	CS
	[%LLI]	[N]	[Nm]	[Nm]	
<b>Foro 1</b>					
Piedritto Sx	0	-58828	877	240538	40.39
	11	-58594	-586	240559	42.57
	22	-56918	-840	240707	41.81
	33	-55693	-753	240815	43.24
	44	-54485	-606	240922	45.27
	56	-53124	-452	241043	47.68
	67	-51619	-235	241176	51.15
	78	-48491	376	241453	52.64
	89	-45371	1471	241729	44.79
	100	-45233	2256	241741	39.26
Piedritto Dx	0	-53381	-1325	241020	40.62
	11	-51469	-464	241189	48.95
	22	-51235	50	241210	53.59
	33	-49275	89	241383	55.21
	44	-47090	117	241577	57.35
	56	-44735	150	241785	59.79
	67	-42331	132	241998	63.35
	78	-38439	-220	242343	67.84
	89	-37243	-633	242449	62.54
	100	-37105	-924	242461	58.39
Piattabanda	0	-1126	4684	176713	14.37
	14	-1126	1093	176713	14.98
	29	4160	-1177	176446	32.16
	43	9889	-1647	175943	56.74
	57	11412	-1609	175809	67.01
	71	7138	-1350	176185	39.66
	86	2803	410	176566	18.73

	100	2803	3286	176566	18.02
<b>Foro 2</b>					
Piedritto Sx	0	-40316	-132	242177	66.40
	11	-40082	-472	242197	61.13
	22	-40473	-427	242163	61.29
	33	-40707	-302	242142	62.93
	44	-40825	-192	242131	64.57
	56	-40890	-102	242126	66.03
	67	-40656	115	242146	66.17
	78	-40809	487	242133	59.95
	89	-41125	1263	242105	50.12
	100	-40519	2181	242159	42.61
Piedritto Dx	0	-70690	-3868	239488	23.83
	11	-70456	-232	239509	31.68
	22	-64213	856	240061	37.58
	33	-59140	1104	240510	38.77
	44	-55095	1039	240868	41.54
	56	-51827	865	241158	45.07
	67	-49086	625	241400	49.45
	78	-46684	245	241613	56.14
	89	-44407	-474	241814	55.79
	100	-42262	-1344	242004	48.33
Piattabanda	0	-1400	4539	176689	15.28
	14	-1400	1172	176689	15.96
	29	2914	-1160	176556	33.57
	43	7554	-1688	176148	63.54
	57	8010	-1680	176108	68.81
	71	4141	-1229	176448	36.31
	86	70	849	176806	16.68
	100	70	4078	176806	16.05

#### LEGENDA:

<b>T<sub>R</sub></b>	Tipologia di rinforzo del foro.
<b>sez</b>	Posizione della sezione di verifica espressa in percentuale rispetto alla luce dell'elemento. Piedritto: 0 = sezione al piede del piedritto; Piattabanda: 0 = sezione di sinistra della piattabanda.
<b>N<sub>Ed</sub>M<sub>Ed</sub></b>	Sollecitazioni di progetto.
<b>M<sub>R</sub></b>	Momento resistente. Momento resistente Plastico nel caso di elementi costituiti da profilati in acciaio.
<b>CS</b>	Coefficiente di Sicurezza ([NS]: non significativo se CS>100)

### RINFORZI FORI - VERIFICA A TAGLIO

RINFORZI FORI - verifica a taglio						
T <sub>R</sub>	sez	V <sub>Ed</sub>	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>c,Rd</sub>	CS
	[%LLI]	[N]	[N]	[N]	[N]	
<b>Foro 1</b>						
Piedritto Sx	0	5203	-	-	502625	96.60
	11	5203	-	-	502625	96.60
	22	1654	-	-	502625	NS
	33	215	-	-	502625	NS
	44	-76	-	-	502625	NS
	56	-67	-	-	502625	NS
	67	-232	-	-	502625	NS
	78	-869	-	-	502625	NS
	89	-2240	-	-	502625	NS
	100	-4724	-	-	502625	NS
Piedritto Dx	0	-3931	-	-	502625	NS
	11	-3931	-	-	502625	NS
	22	-1826	-	-	502625	NS
	33	-1036	-	-	502625	NS
	44	-974	-	-	502625	NS
	56	-1017	-	-	502625	NS
	67	-828	-	-	502625	NS
	78	-174	-	-	502625	NS
	89	946	-	-	502625	NS
	100	1750	-	-	502625	NS
Piattabanda	0	25438	-	-	380749	14.97
	14	25353	-	-	380749	15.02
	29	11550	-	-	380749	32.97
	43	5067	-	-	380749	75.14

	57	610	-	-	380749	NS
	71	-8970	-	-	380749	42.45
	86	-20290	-	-	380749	18.77
	100	-20376	-	-	380749	18.69
<b>Foro 2</b>						
Piedritto Sx	0	1207	-	-	502625	NS
	11	1207	-	-	502625	NS
	22	-251	-	-	502625	NS
	33	-676	-	-	502625	NS
	44	-614	-	-	502625	NS
	56	-536	-	-	502625	NS
	67	-775	-	-	502625	NS
	78	-1586	-	-	502625	NS
	89	-5395	-	-	502625	93.16
	100	-5395	-	-	502625	93.16
Piedritto Dx	0	-12935	-	-	502625	38.86
	11	-12935	-	-	502625	38.86
	22	-6871	-	-	502625	73.15
	33	-3313	-	-	502625	NS
	44	-1568	-	-	502625	NS
	56	-715	-	-	502625	NS
	67	-153	-	-	502625	NS
	78	570	-	-	502625	NS
	89	1896	-	-	502625	NS
	100	4376	-	-	502625	NS
Piattabanda	0	23851	-	-	380749	15.96
	14	23766	-	-	380749	16.02
	29	11099	-	-	380749	34.30
	43	4443	-	-	380749	85.70
	57	250	-	-	380749	NS
	71	-10141	-	-	380749	37.55
	86	-22786	-	-	380749	16.71
	100	-22872	-	-	380749	16.65

#### LEGENDA:

**T<sub>R</sub>**  
**sez**

Tipologia di rinforzo del foro.

Posizione della sezione di verifica espressa in percentuale rispetto alla luce dell'elemento. Piedritto: 0 = sezione al piede del piedritto; Piattabanda: 0 = sezione di sinistra della piattabanda.

**V<sub>Ed</sub>**  
**V<sub>Rcd</sub>**  
**V<sub>Rsd</sub>**  
**V<sub>c,Rd</sub>**  
**CS**

Taglio di progetto.

Resistenza al taglio dovuta al calcestruzzo.

Resistenza al taglio dovuta alle staffe.

Resistenza a taglio dei profilati in acciaio.

Coefficiente di Sicurezza ([NS]: non significativo se CS>100).

## Il Tecnico

ING. DANIELE MANETTI

()



**Comune di SALA BOLOGNESE**  
**Provincia di BOLOGNA**

**RELAZIONE DI CALCOLO**  
**CERCHIATURA 3**

**OGGETTO:** Ampliamento e manutenzione Polo Scolastico via Gramsci 95, Sala

**COMMITTENTE:** Comune di Sala Bolognese (BO)

**UBICAZIONE:** Polo Scolastico via Gramsci 95, loc. Sala

13/02/2023

Il Tecnico

ING. DANIELE MANETTI

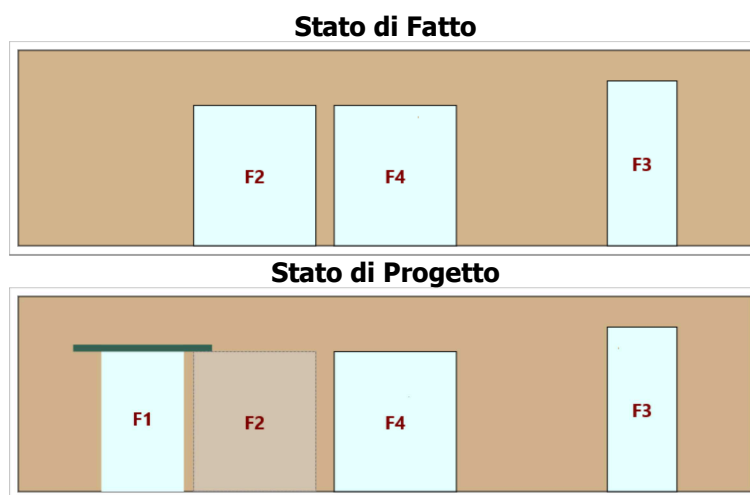
# 1 - DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

L'intervento consiste nell'apertura di **n.1** vani in muratura portante esistente. Tale intervento prevede l'inserimento architravatura in acciaio con contestuale chiusura di un foro esistente, ai fini del ripristino della rigidità laterale il più possibile simile alla situazione pre-intervento ed il controllo della resistenza e della capacità di spostamento post che devono essere non minori della situazione pre-intervento.

L'intervento previsto non comporta la modifica del comportamento globale della struttura rispetto alle azioni sismiche e non altera significativamente i carichi statici, pertanto il progetto si può riferire alle sole parti interessate. Per quanto detto, tale intervento, rientra di fatto nella categoria degli **interventi locali** nel rispetto delle disposizioni di cui al § 8.4.1 del D.M. 17/01/2018.

Quanto esposto viene illustrato numericamente nei successivi paragrafi.

Vengono riportate di seguito due viste prospettiche riguardanti lo stato di fatto e lo stato di progetto, allo scopo di consentire una migliore comprensione della struttura oggetto della presente relazione:



## 2 - NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le fasi di analisi e verifica della struttura sono state condotte in accordo alle seguenti disposizioni normative, per quanto applicabili in relazione al criterio di calcolo adottato dal progettista, evidenziato nel prosieguo della presente relazione:

**[1] D.M. Infrastrutture Trasporti 17 gennaio 2018** (G.U. 20 febbraio 2018 n. 42 - Suppl. Ord.) - "Aggiornamento delle *Norme tecniche per le Costruzioni*" (NTC 18).

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, ad integrazione della norma precedente e per quanto con esse non in contrasto, sono state utilizzate le indicazioni contenute nella:

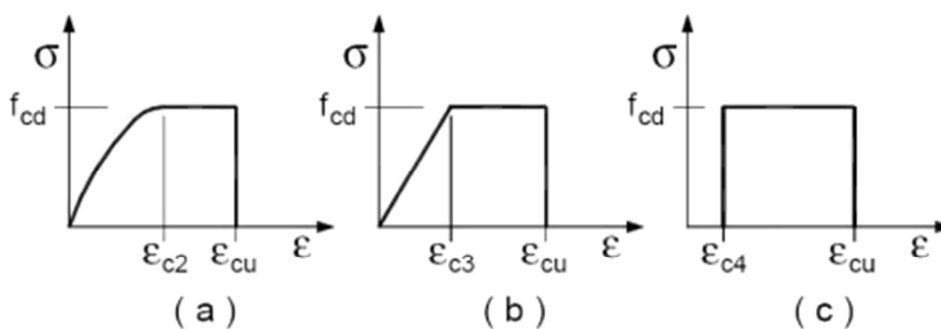
**[2] Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP** (G.U. 11 febbraio 2019 n. 35 - Suppl. Ord.) - "*Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle 'Norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*".

**[3] Giunta Regione Toscana - Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica 28/09/2009** - "*Orientamenti interpretativi in merito a interventi locali o di riparazione di edifici esistenti*".

## 3 - MATERIALI IMPIEGATI E RESISTENZE DI CALCOLO

Tutti i materiali impiegati dovranno essere comunque verificati con opportune prove di laboratorio secondo le prescrizioni della vigente Normativa.

I diagrammi costitutivi degli eventuali elementi in calcestruzzo sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al § 4.1.2.1.2.1 delle NTC 18; in particolare per le verifiche effettuate a pressoflessione retta è adottato il modello riportato in fig. (a).



Diagrammi di calcolo tensione/deformazione del calcestruzzo

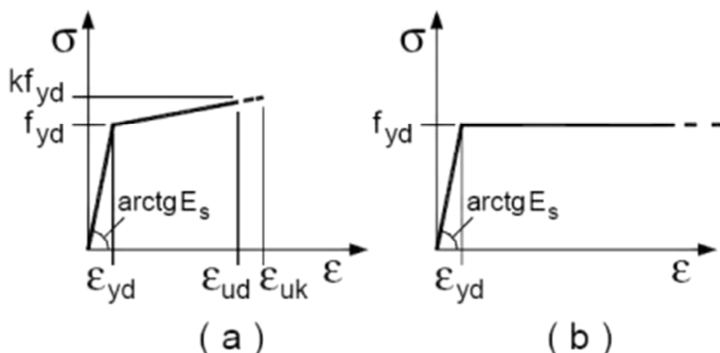
I valori di deformazione assunti sono:

$$\varepsilon_{c2} = 0,0020;$$

$$\varepsilon_{cu} = 0,0035.$$

La resistenza di calcolo  $f_{cd}$  è data da  $\alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$ . Il coefficiente di sicurezza  $\gamma_c$  si assume pari a 1,50, mentre il coefficiente  $\alpha_{cc}$  è il coefficiente riduttivo per i carichi di lunga durata pari a 0,85.

I diagrammi costitutivi dell'acciaio sono stati adottati in conformità alle indicazioni riportate al § 4.1.2.1.2.2 delle NTC 18; in particolare è adottato il modello elastico perfettamente plastico rappresentato in fig. (b).



Diagrammi di calcolo tensione/deformazione dell'acciaio

La resistenza di calcolo  $f_{yd}$  è data da  $f_{yk} / \gamma_s$ . Il coefficiente di sicurezza  $\gamma_s$  si assume pari a 1,15.

Nell'intervento in oggetto sono stati impiegati i seguenti materiali:

## MATERIALI: MURATURA

Caratteristiche Muratura									
Id <sub>m</sub>	γ <sub>k</sub>	E	ν	γ	f <sub>cm</sub> / f <sub>ck</sub>	f <sub>vm0</sub> / f <sub>vk0</sub>	τ <sub>0</sub>	TRT	μ
	[N/m³]	[N/mm²]			[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]		
Situazione di fatto									
LC1-Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es. doppio UNI foratura <= 40%)									
1	15´000	4´550	0.50	2.00	3.704	0.148	0.059	3	-
Situazione di progetto									
LC1-Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es. doppio UNI foratura <= 40%)									
2	15´000	4´550	0.50	2.00	3.704	0.148	0.059	3	-
Materiale di chiusura fori									
LC1-Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es. doppio UNI foratura <= 40%)									
6	15´000	4´550	0.50	2.00	3.704	0.148	0.059	3	-

### LEGENDA:

Id <sub>m</sub>	Identificativo del materiale.
Sigla	Sigla descrittiva del materiale.
γ <sub>k</sub>	Peso specifico.
E	Modulo elastico normale.
ν	Modulo di Poisson.
γ	Coefficiente parziale di sicurezza.
f <sub>cm</sub> / f <sub>ck</sub>	Resistenza a compressione media nel caso di muratura esistente, f <sub>cm</sub> (Resistenza a compressione caratteristica nel caso di muratura nuova, f <sub>ck</sub> ).
f <sub>vm0</sub> / f <sub>vk0</sub>	Resistenza a taglio media senza compressione, per murature regolari esistenti, f <sub>vm0</sub> (Resistenza a taglio caratteristica senza compressione, per murature regolari nuove, f <sub>vk0</sub> ).
τ <sub>0</sub>	Resistenza a taglio (media/caratteristica) senza compressione, per murature irregolari (esistenti/nuove).
TRT	Tipo rottura a taglio dei MASCHI: [1] = per scorrimento (murature regolari); [2] = per fessurazione diagonale (murature irregolari); [3] = per scorrimento e fessurazione.
μ	Coefficiente di duttilità (moltiplicatore dello spostamento elastico). "-": lo spostamento ultimo è calcolato come minimo tra § 7.8.2.2.1 e § 7.8.2.2.2 delle NTC.

## MATERIALI: ACCIAIO PER PROFILATI

Caratteristiche Acciaio per Profilati									
Sigla	$\gamma_k$	E	$\nu$	$\gamma$	$\gamma_s$	$f_{yk}(t < 40mm)$	$f_{yk}(40mm < t < 80mm)$	$f_{tk}(t < 40mm)$	$f_{tk}(40mm < t < 80mm)$
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]				[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
S275 (EN 10025-2)	78 ' 500	210 ' 000	0.30	1.05	1.25	275.00	255.00	430.00	410.00

### LEGENDA:

<b>Sigla</b>	Sigla descrittiva del materiale.
$\gamma_k$	Peso specifico.
E	Modulo elastico normale.
$\nu$	Modulo di Poisson.
$\gamma$	Coefficiente parziale di sicurezza.
$\gamma_s$	Coefficiente parziale di sicurezza per le saldature.
$f_{yk}(t < 40mm)$	Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili $\leq 40$ mm).
$f_{yk}(40mm < t < 80mm)$	Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili con spessore compreso tra 40 e 80mm).
$f_{tk}(t < 40mm)$	Resistenza caratteristica a rottura (per profili $\leq 40$ mm).
$f_{tk}(40mm < t < 80mm)$	Resistenza caratteristica a rottura (per profili con spessore compreso tra 40 e 80mm).

## 4 - AZIONI SULLA STRUTTURA

Di seguito sono riportati i carichi applicati sulla sommità del muro.

### CARICHI APPLICATI

Id <sub>c</sub>	Descrizione	CC	Q <sub>z,i</sub>	Q <sub>z,f</sub>
			[N/m]	[N/m]
1	Peso proprio solaio sottotetto e copertura	Carico Permanente	26 ' 000.00	2 ' 600.00
2	-	Permanenti NON Strutturali	5 ' 000.00	5 ' 000.00

### LEGENDA:

Id <sub>c</sub>	Numero identificativo del carico.
Descrizione	Descrizione del carico.
CC	Condizione di Carico.
Q <sub>z,i</sub>	Valore iniziale della forza nel caso di carico lineare(positivo, diretto verso il basso).
Q <sub>z,f</sub>	Valore finale della forza nel caso di carico lineare(positivo, diretto verso il basso).

### 4.1 Combinazioni di Carico

Per la valutazione della fattibilità dell'intervento locale in esame secondo le indicazioni del § 8.4.1 del D.M. 2018, si analizza esclusivamente il comportamento della parete per la combinazione di carico sotto effetto del sisma (SLV). Viene, quindi, considerata la seguente combinazione di carico:

$$G_1 + G_2 + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

dove:

- G<sub>1</sub> rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi strutturali;
- G<sub>2</sub> rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
- Q<sub>ki</sub> rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile;
- $\psi_{2i}$  coefficienti di combinazione per tenere conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i rispettivi valori caratteristici.

Per la **verifica di resistenza dei rinforzi applicati ai fori** (piedritti e piattabande), le azioni su questi elementi sono state cumulate in modo da determinare condizioni di carico tali da risultare più sfavorevoli ai fini delle singole verifiche, tenendo conto della probabilità ridotta di intervento simultaneo di tutte le azioni con i rispettivi valori più sfavorevoli, come previsto dalle norme vigenti.

Per gli stati limite ultimi sono state adottate le combinazioni del tipo:

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_P P + \gamma_{Q1} Q_{K1} + \gamma_{Q2} \psi_{02} Q_{K2} + \gamma_{Q3} \psi_{03} Q_{K3} + \dots$$

dove:

- G<sub>1</sub> rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo);
- G<sub>2</sub> rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;

- P rappresenta l'azione di pretensione e/o precompressione;
- Q azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:
- di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
  - di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura;
- $Q_{ki}$  rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile;
- $\gamma_{qr}, \gamma_{qr}, \gamma_p$  coefficienti parziali come definiti nella Tab. 2.6.I del D.M. 2018;
- $\psi_{0i}$  sono i coefficienti di combinazione per tenere conto della ridotta probabilità di concomitanza delle azioni variabili con i rispettivi valori caratteristici.

Le varie combinazioni di carico risultanti sono state costruite a partire dalle sollecitazioni caratteristiche calcolate per ogni condizione di carico elementare: ciascuna condizione di carico variabile, a rotazione, è stata considerata sollecitazione di base ( $Q_{k1}$  nella formula precedente).

## 5 - GEOMETRIA

Di seguito si riporta la descrizione della geometria del muro/maschi, delle aperture e dei relativi elementi di rinforzo.

### GEOMETRIA MURO

L	H <sub>i</sub>	H <sub>f</sub>	S <sub>f</sub>	S <sub>p</sub>	M <sub>f</sub>	M <sub>p</sub>
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]		
<b>Tratto 0</b>						
1000	320	320	25	25	1	2
<b>Tratto 1</b>						
200	320	320	25	25	1	2

#### LEGENDA:

<b>L</b>	Lunghezza del muro (Lunghezza del tratto di muro nel caso di profilo superiore variabile).
<b>H<sub>i</sub></b>	Altezza iniziale del muro.
<b>H<sub>f</sub></b>	Altezza finale del muro.
<b>S<sub>f</sub></b>	Spessore del muro nello stato di fatto.
<b>S<sub>p</sub></b>	Spessore del muro nello stato di progetto.
<b>M<sub>f</sub></b>	Identificativo del Materiale del muro nello stato di fatto (si confronti la tabella dei materiali della muratura).
<b>M<sub>p</sub></b>	Identificativo del Materiale del muro nello stato di progetto (si confronti la tabella dei materiali della muratura).

### GEOMETRIA FORI

Id <sub>F</sub>	dis <sub>i</sub>	dis <sub>B</sub>	L	H	STZ	M <sub>R</sub>
	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]		
1	136	0	135	230	P	-
2	287	0	200	230	C	6
3	964	0	114	270	F	-
4	517	0	200	230	F	-

#### LEGENDA:

<b>Id<sub>F</sub></b>	Numero identificativo del foro.
<b>dis<sub>i</sub></b>	Distanza del foro dal bordo iniziale del muro.
<b>dis<sub>B</sub></b>	Distanza del foro dalla base del muro.
<b>L</b>	Larghezza del foro.
<b>H</b>	Altezza del foro.
<b>STZ</b>	Tipo di Situazione (F: foro già presente nello stato di fatto; P: foro da realizzare nello stato di progetto; C: foro presente nello stato di fatto e chiuso nello stato di progetto).
<b>M<sub>R</sub></b>	Identificativo del materiale di riempimento del foro, in riferimento alla tabella dei materiali ([ - ]: riempimento non eseguito).

### GEOMETRIA MASCHI MURARI

Id <sub>M</sub>	dis <sub>i</sub>	dis <sub>B</sub>	L	H
	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
<b>Situazione di fatto</b>				
1	0	0	287	320
2	487	0	30	320
3	717	0	247	320
4	1078	0	122	320
<b>Situazione di progetto</b>				
5	0	0	136	320
6	271	0	246	320
7	717	0	247	320

8	1078	0	122	320
---	------	---	-----	-----

#### LEGENDA:

<b>Id<sub>M</sub></b>	Numero identificativo del maschio.
<b>dis<sub>I</sub></b>	Distanza del maschio dal bordo iniziale del muro.
<b>dis<sub>B</sub></b>	Distanza del maschio dalla base del muro.
<b>L</b>	Lunghezza del maschio.
<b>H</b>	Altezza del maschio.

### RINFORZI FORI

T <sub>R</sub>	Mtrl	Profili		Armature		L	H	B
		tipo	n	A <sub>S,L</sub>	A <sub>S,st</sub>			
						[cm]	[cm]	[cm]
<b>Foro 1</b>								
Piattabanda	S275 (EN 10025-2)	HE 120 A	2	-	-	195.00	-	-

#### LEGENDA:

<b>T<sub>R</sub></b>	Tipologia di rinforzo del foro.
<b>Mtrl</b>	Sigla del materiale che costituisce il rinforzo.
<b>tipo/n</b>	Tipo e numero di profili metallici utilizzati.
<b>A<sub>S,L</sub></b>	Armatura longitudinale per lato.
<b>A<sub>S,st</sub></b>	Armatura trasversale.
<b>L</b>	Lunghezza del rinforzo.
<b>H</b>	Altezza/Spessore del rinforzo.
<b>B</b>	Larghezza del rinforzo (pari allo spessore del muro).

nota: [-] dato non utile per il rinforzo in esame o elemento non presente.

## 6 - METODOLOGIA DI CALCOLO

I calcoli sono stati condotti in rispetto di quanto riportato nelle Norme sopra elencate, ed in particolare di quanto indicato in [1] - § 8.4.1 e in [2] - § C8.7.4.1 (punto 4).

Il calcolo si articola nelle seguenti fasi:

1. Valutazione della rigidezza della parete muraria (maschi + rinforzi);
2. Valutazione della resistenza della parete muraria (V);
3. Valutazione dello spostamento elastico ( $\delta_e$ ) ed ultimo ( $\delta_u$ );
4. Rappresentazione della curva di capacità (V;  $\delta$ ).

Di seguito, si illustrano le varie fasi.

### 6.1 - Rigidezza della parete muraria

La parete muraria viene discretizzata in elementi finiti triangolari (*Hp-Shell*) **Incastrata** al PIEDE e **Incastrata** in TESTA. Tale modellazione consente di tenere correttamente in conto di aperture posizionate in maniera arbitraria, dei carichi agenti (muro ed architravi), di configurazioni della parete diversa da quelle rettangolari nonché di considerare gli elementi (beam) che costituiscono i rinforzi ammorsati alla parete muraria.

Nella situazione di Fatto, a tale schema viene applicata una forza **F** orizzontale unitaria e si calcola lo spostamento **δ<sub>F</sub>** subito dai nodi in cui essa è applicata. Pertanto, la rigidezza nello stato di Fatto **K<sub>F</sub>** è data da:

$$K_F = F/\delta_F.$$

In maniera analoga si discretizza lo schema della situazione di Progetto tenendo conto delle nuove aperture e delle cerchiature con elementi beam ad essi collegati. Si tiene correttamente in conto della solidarietà tra cerchiatura e muratura adiacente, come espressamente richiesto dalle norme e realizzato nella pratica. La rigidezza nello stato di Progetto è data da:

$$K_P = F/\delta_P.$$

A questo punto è possibile calcolare la variazione di rigidezza come:

$$\Delta K = \left| \frac{K_P - K_F}{K_F} \right| \cdot 100.$$

### 6.2 - Resistenza elementi

Occorre verificare che la resistenza nello stato di Progetto sia non minore di quella dello stato di Fatto.

A tale scopo la resistenza viene valutata come somma dei contributi delle singole parti murarie (maschi) e dei singoli piedritti (rinforzi).

### 6.2.1 - Resistenza muratura ( $V_M$ )

La resistenza delle parti murarie (maschi) può essere valutata con le seguenti formulazioni:

1) Resistenza per taglio da fessurazione diagonale secondo la formulazione di Turnsek-Cacovic:

$$V_{t,1} = \frac{1,5 \cdot \tau_{0d} \cdot t \cdot l}{b} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1,5 \cdot \tau_{0d}}};$$

in cui:

$l, t$ : lunghezza e spessore del pannello;

$b$ : fattore correttivo dipendente dalla snellezza del pannello [ $b = \min(h/l; 1,5) \geq 1$ ];  
 $h$  misurata al netto delle zone rigide;

$\tau_{0d}$ : resistenza di riferimento a taglio della muratura [ $\tau_{0k}/\gamma_m$ ];

$\tau_{0k}$ : resistenza caratteristica a taglio senza compressione;

$\gamma_m$ : coefficiente di sicurezza;

$\sigma_0 = N/A$  = tensione normale media nella sezione di mezzeria del pannello;

$N$ : sforzo normale sulla sezione di mezzeria del pannello;

$A$ : area del pannello murario.

2) Resistenza per taglio da scorrimento ([2] f. 7.8.3):

$$V_{t,2} = l' \cdot t \cdot f_{vd};$$

in cui:

$f_{vd}$ : resistenza di progetto a taglio della muratura [ $f_{vd} = (f_{vk0} + 0,4\sigma_0)/\gamma_m$ ].

$f_{vk0}$ : resistenza caratteristica a taglio senza compressione;

$\gamma_m$ : coefficiente di sicurezza;

$l = \beta \cdot l$ : lunghezza della parte compressa del pannello;

$l$ : lunghezza del pannello;

$\beta = 1$ ;

3) Resistenza a taglio per pressoflessione nel piano ([2] eq. [7.8.2]):

$$M_{Rd} = \frac{t \cdot l^2 \cdot \sigma_0}{2} \cdot \left(1 - \frac{\sigma_0}{0,85 \cdot f_d}\right);$$

in relazione alla condizione di vincolo in TESTA del muro, il taglio resistente risulta:

Incastro	Libero
$V_{t,3} = 2 \cdot M_{Rd}/h$	$V_{t,3} = M_{Rd}/h$

in cui:

$f_d$ : resistenza a compressione della muratura ( $f_d = f_k/\gamma_m$ );

$h$ : altezza del pannello.

Pertanto, la resistenza a taglio ( $V_M$ ) dei maschi è data da:

$$V_M = \min(V_{t,1-2}, V_{t,3});$$

dove  $V_{t,1-2}$ , in base alla scelta del tipo di "Meccanismo di rottura a taglio dei maschi", è pari a:

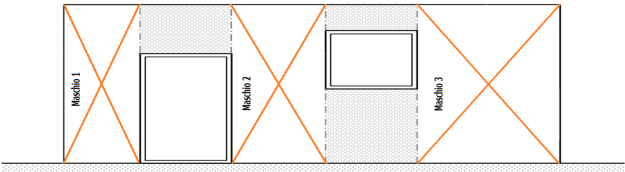
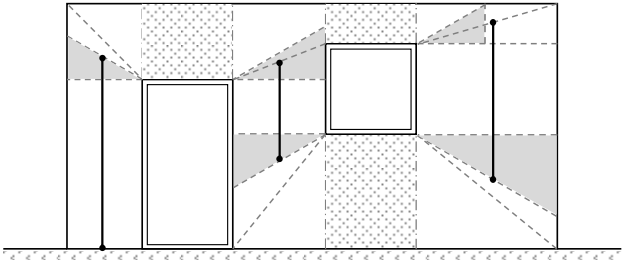
- Meccanismo di rottura a taglio dei maschi = per fessurazione diagonale (per murature irregolari) ->  $V_{t,1-2} = V_{t,1}$ ;
- Meccanismo di rottura a taglio dei maschi = per scorrimento (per murature regolari) ->  $V_{t,1-2} = V_{t,2}$ ;
- Meccanismo di rottura a taglio dei maschi = minimo tra scorrimento e fessurazione diagonale ... ->  $V_{t,1-2} = \min(V_{t,1}; V_{t,2})$ .

Nello specifico caso in esame, sono stati considerati i seguenti meccanismi di collasso a taglio:

SITUAZIONE DI FATTO:	SITUAZIONE DI PROGETTO:
- taglio per fessurazione diagonale; - taglio scorrimento;	- taglio per fessurazione diagonale; - taglio scorrimento;

#### 6.2.1.1 - Geometria Maschi

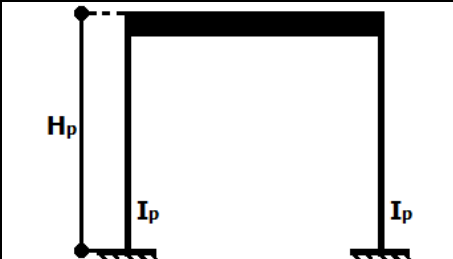
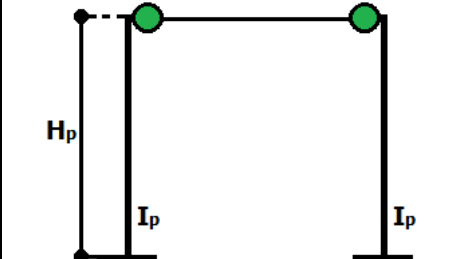
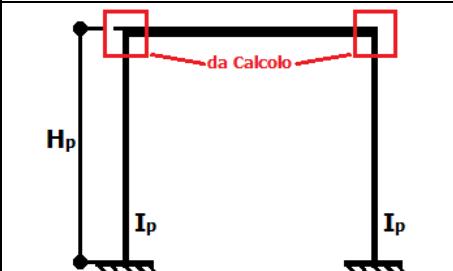
**La geometria dei maschi murari (lunghezza/altezza) viene valutata considerando i seguenti metodi:**

Metodo 1	Metodo 2
<ul style="list-style-type: none"> <li>- lunghezza: la distanza (netta) tra due fori consecutivi o la distanza tra il foro e il bordo del muro;</li> <li>- altezza: quella della parete muraria (nel caso di muri a trapezio si considera la minima altezza del trapezio).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- lunghezza: la distanza (netta) tra due fori consecutivi o la distanza tra il foro e il bordo del muro;</li> <li>- altezza: la minore tra quella che si ottiene considerando un angolo di diffusione pari a <math>0^\circ</math> (zona evidenziata in grigio nel seguente esempio) e la media delle quote dei fori e/o delle estremità delle pareti.</li> </ul>
	

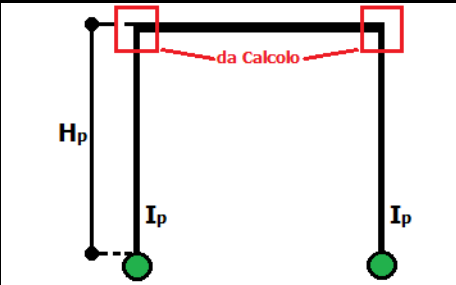
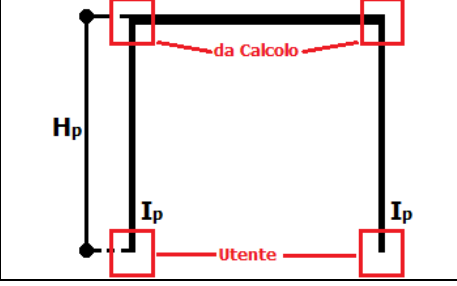
Nel caso in esame è stato utilizzato il **Metodo 1**.

### 6.2.2 - Resistenza Cerchiatura ( $V_c$ )

La resistenza della cerchiatura è funzione delle condizioni vincolari scelte in TESTA ed al PIEDE dei piedritti. Di seguito si riportano le possibili condizioni vincolari al PIEDE ed in TESTA

PIEDE	TESTA	Schema di calcolo	Rigidezza Orizzontale ( $K_t$ )
Incastro	Incastro (Grinter)		$\frac{12 \cdot E \cdot \Sigma I_p}{H_p^3}$ <p>E: modulo elastico del materiale dei piedritti;  <math>I_p</math>: inerzia del singolo piedritto;  <math>H_p</math>: altezza del piedritto.</p>
	Libero (Mensola)		$\frac{3 \cdot E \cdot \Sigma I_p}{H_p^3}$
	da Calcolo		da calcolo



Cerniera	da Calcolo		da calcolo
Utente (% incastro)	da Calcolo		da calcolo

Nel caso in esame sono state considerate le seguenti condizioni vincolari:

PIEDE	TESTA
Utente (incastro al 50%)	da Calcolo

Definite le condizioni vincolari di TESTA e di PIEDE si procede alle successive fasi:

- calcolo della rigidezza alla traslazione orizzontale ( $K_t$ );
- calcolo del momento resistente ( $M_{Rd}$ ) alla base dei piedritti.

Cerchiatura in Acciaio	Cerchiatura in CA
$f_{yk} \cdot W_{X,Elia} / \gamma_{M0}$	determinato dalla posizione dell'asse neutro (funzione delle sollecitazioni e dell'armatura presente)

- calcolo dello spostamento elastico subito dal nodo in testa al piedritto:

$$\delta_e = \frac{M_{Rd} \cdot H_p^2}{6 \cdot E \cdot I_p}$$

- Calcolo della resistenza al limite elastico della cerchiatura:

$$V_C = K_t \cdot \delta_e$$

## 6.3 - Spostamento elastico ( $\delta_e$ ) ed ultimo ( $\delta_u$ )

Di seguito si illustra come vengono determinati gli spostamenti elastici ( $\delta_e$ ) ed ultimi ( $\delta_u$ ) degli elementi che costituiscono la parete muraria (maschi e piedritti).

### 6.3.1 - Spostamento elastico ( $\delta_e$ )

#### • Muratura

Lo spostamento al limite elastico è dato da:

$$\delta_e = V_M / K_M$$

dove:

$V_M$  = resistenza del pannello murario/maschio (§ 6.2.1)

$K_M$  = resistenza del pannello murario, che a seconda delle condizioni vincolari imposte alla parete muraria viene valutata come:

Piede Incastro	Testa Incastro	Piede Incastro	Testa Libero
-------------------	-------------------	-------------------	-----------------

$$K_m = \left( \frac{H_p^3}{12 \cdot E \cdot I_p} + \frac{1,2 \cdot H_p}{G \cdot A} \right)^{-1}$$

$$K_m = \left( \frac{H_p^3}{3 \cdot E \cdot I_p} + \frac{1,2 \cdot H_p}{G \cdot A} \right)^{-1}$$

- **Cerchiatura**

Valutato come esposto al paragrafo 6.2.2.

### 6.3.2 - Spostamento ultimo ( $\delta_u$ )

In generale, lo spostamento ultimo dei singoli elementi che compongono la parete muraria viene calcolato come:

$$\delta_u = \mu \cdot \delta_e.$$

dove:

$\mu$ : fattore di duttilità dell'elemento;

$\delta_e$ : spostamento al limite elastico dell'elemento (§ 6.3.1).

- **Muratura**

Per i pannelli murari (maschi) lo spostamento ultimo viene valutato nei seguenti modi:

	Modo 1	Modo 2
$\delta_u =$	$0,004 \cdot H_p$ se $V_M = \min(V_{t,1}; V_{t,2})$	Tenendo conto del valore di $\mu$ riportato nel § 3 nella tabella "MATERIALI: MURATURA".
	$0,008 \cdot H_p$ se $V_M = V_{t,3}$	
	-> meccanismo di taglio (§ 7.8.2.2.2 - NTC18)	-> meccanismo di flessione (§ 7.8.2.2.1 - NTC18)

Nel caso in esame è stato valutato mediante il **Modo 1**.

- **Cerchiatura in Acciaio**

Per i piedritti in acciaio lo spostamento ultimo è stato calcolato tenendo conto del valore di  $\mu$  dato da:

$$\mu = 0,075 / \varepsilon_{sy};$$

dove:

0,075: allungamento minimo che deve avere a rottura l'acciaio;

$\varepsilon_{sy} = f_{yk} / E_s$ : deformata al limite elastico;

$f_{yk}$ : resistenza caratteristica allo snervamento dell'acciaio;

$E_s$ : modulo elastico normale dell'acciaio.

- **Cerchiatura in CA**

Per i piedritti in CA lo spostamento ultimo è stato calcolato tenendo conto del valore di  $\mu$  dato da:

$$\mu = \theta_u / \theta_y;$$

dove:

$\theta_u$ : rotazione ultima della sezione;

$\theta_y$ : rotazione allo snervamento della sezione.

### 6.4 - CURVE DI CAPACITÀ ( $V$ ; $\delta$ )

Vengono costruite, quindi, le curve di capacità della parete nelle situazioni:

- di Fatto: sommando le singole curve di capacità dei maschi;
- di Progetto: sommando le singole curve di capacità dei maschi e dei piedritti.

In particolare, nella costruzione della curva di capacità della parete vengono considerati i seguenti casi:

Caso 1	Caso 2
La curva di capacità viene arrestata in corrispondenza del minimo spostamento ultimo ( $\delta_{u,min}$ ) dei vari elementi (maschi o rinforzi).	La curva di capacità viene arrestata in corrispondenza del massimo spostamento ultimo ( $\delta_{u,max}$ ) dei vari elementi (maschi o rinforzi).

Nel caso in esame è stato considerato il **Caso 1**.

## 7 - VERIFICHE

Ai fini della valutazione dell'intervento se TUTTE le seguenti condizioni sono verificate, l'intervento si può classificare come LOCALE.

- **Rigidezza:** la variazione di rigidezza tra lo stato di Fatto ( $K_F$ ) e quello di Progetto ( $K_P$ ) è:

$$- 15 \% \leq \left( \frac{K_P - K_F}{K_F} \right) \cdot 100 \leq 15 \%;$$

- **Resistenza:** la resistenza nello stato di Progetto ( $V_P$ ) è non minore rispetto allo stato di Fatto ( $V_F$ )

$$V_F \leq V_P.$$

- **Spostamento:** la capacità di spostamento nello stato di Progetto ( $\delta_{u,P}$ ) è non minore rispetto allo stato di Fatto ( $\delta_{u,F}$ ):

$$\delta_{u,F} \leq \delta_{u,P}.$$

Inoltre, sui rinforzi sono state effettuate le verifiche di resistenza:

- degli architravi (*flessione retta e taglio*);
- dei piedritti (*pressoflessione retta*).

## 8 - RISULTATI

Di seguito si riportano i dettagli delle verifiche.

### CURVE DI CAPACITÀ DEI SINGOLI ELEMENTI

Curve di capacità dei singoli elementi						
EI	$V_0$	$\Delta_0$	$V_{EL}$	$\Delta_{EL}$	$V_U$	$\Delta_U$
	[N]	[cm]	[N]	[cm]	[N]	[cm]
<b>Situazione di fatto</b>						
M1	0	0.0000	62388	0.0296	62388	1.2800
M2	0	0.0000	1056	0.1162	1056	1.2800
M3	0	0.0000	46209	0.0278	46209	1.2800
M4	0	0.0000	17465	0.0422	17465	1.2800
<b>Situazione di progetto</b>						
M5	0	0.0000	20100	0.0380	20100	1.2800
M6	0	0.0000	45305	0.0268	45305	1.2800
M7	0	0.0000	45666	0.0269	45666	1.2800
M8	0	0.0000	16175	0.0391	16175	1.2800

#### LEGENDA:

EI	Identificativo dell'elemento: Mi = maschio i-esimo; Fi = Piedritto del foro i-esimo (sx=sinistro; dx=destra)
$V_0$	Resistenza a taglio iniziale
$\Delta_0$	Spostamento orizzontale iniziale
$V_{EL}$	Resistenza a taglio al limite elastico
$\Delta_{EL}$	Spostamento orizzontale al limite elastico
$V_U$	Resistenza ultima
$\Delta_U$	Spostamento orizzontale ultimo

### CURVE DI CAPACITÀ GLOBALE

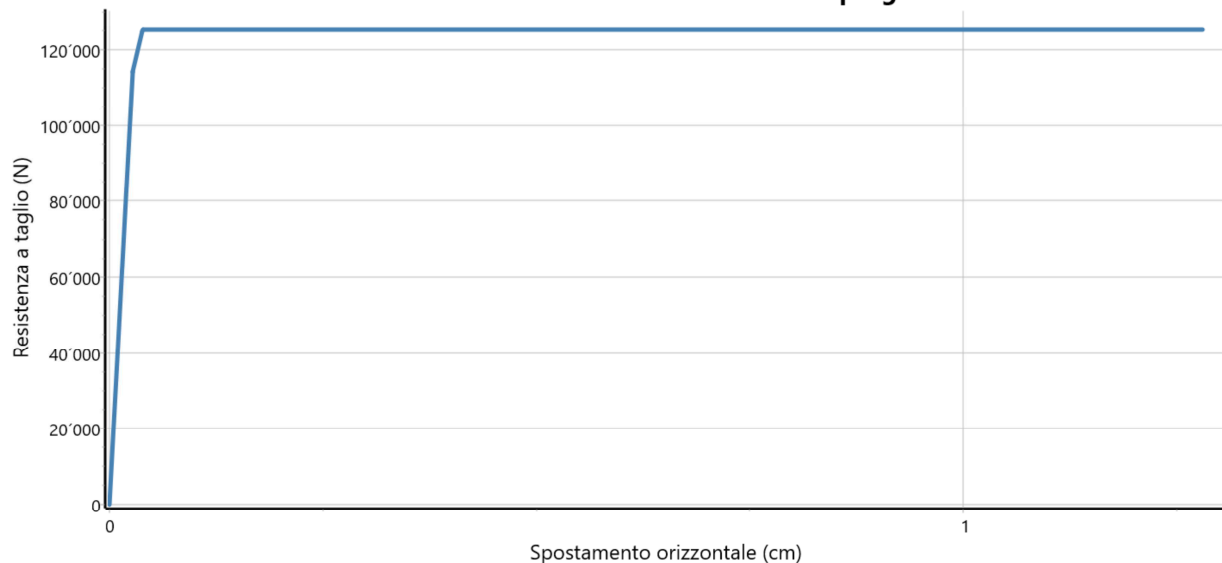
Curve di capacità globale		
P	V	$\Delta$
	[N]	[cm]
<b>Situazione di fatto</b>		
0	0	0.0000
1	116475	0.0278
2	116477	0.0278
3	121122	0.0296
4	126445	0.0422
5	127118	0.1162
6	127118	1.2800
<b>Situazione di progetto</b>		
0	0	0.0000

1	114189	0.0268
2	114191	0.0268
3	114291	0.0269
4	114292	0.0269
5	125791	0.0380
6	127246	0.0391
7	127246	1.2800

#### LEGENDA:

<b>P</b>	Punto
<b>V</b>	Resistenza a taglio
<b>Δ</b>	Spostamento orizzontale

#### CURVE DI CAPACITÀ GLOBALE - Situazione di progetto



#### MURO - VERIFICA DI RIGIDEZZA

MURO - verifica di rigidezza				
$K_F$	$K_P$	$\Delta K$	$\Delta K_{lim}$	Note
[kN/m]	[kN/m]	[%]	[%]	
512'452	542'958	5.95	15.00	Verificato

#### LEGENDA:

<b><math>K_F</math></b>	Rigidezza nello stato di Fatto.
<b><math>K_P</math></b>	Rigidezza nello stato di Progetto.
<b><math>\Delta K</math></b>	Variazione di Rigidezza.
<b><math>\Delta K_{lim}</math></b>	Variazione di Rigidezza Limite.
<b>Note</b>	Verificato se $\Delta K < \Delta K_{lim}$

#### MURO - VERIFICA DI RESISTENZA

MURO - verifica di resistenza			
$R_F$	$R_P$	$\Delta R$	Note
[N]	[N]	[N]	
127'118	127'246	128	Verificato

#### LEGENDA:

<b><math>R_F</math></b>	Resistenza nello stato di Fatto.
<b><math>R_P</math></b>	Resistenza nello stato di Progetto.
<b><math>\Delta R</math></b>	Variazione di Resistenza.
<b>Note</b>	Verificato se $\Delta R > 0$ .

#### MURO - VERIFICA DI SPOSTAMENTO

MURO - verifica di spostamento			
$\delta_F$	$\delta_P$	$\Delta \delta$	Note
[cm]	[cm]	[cm]	
1.2800	1.2800	0.0000	Verificato

#### LEGENDA:

<b><math>\delta_F</math></b>	Spostamento ultimo nello stato di Fatto.
<b><math>\delta_P</math></b>	Spostamento ultimo nello stato di Progetto.
<b><math>\Delta \delta</math></b>	Variazione di spostamento.

Note

Verificato se  $\Delta\delta > 0$ .

## RINFORZI FORI - VERIFICA A PRESSOFLESSIONE RETTA

RINFORZI FORI - verifica a pressoflessione retta					
$T_R$	sez	$N_{Ed}$	$M_{Ed}$	$M_R$	CS
	[%LLI]	[N]	[Nm]	[Nm]	
<b>Foro 1</b>					
Piattabanda	0	1695	112	27769	59.34
	20	1695	-447	27769	49.28
	40	5648	-307	27604	51.18
	60	5648	-314	27604	50.53
	80	954	-419	27800	54.18
	100	954	105	27800	64.16

### LEGENDA:

$T_R$   
sez

Tipologia di rinforzo del foro.

Posizione della sezione di verifica espressa in percentuale rispetto alla luce dell'elemento. Piedritto: 0 = sezione al piede del piedritto; Piattabanda: 0 = sezione di sinistra della piattabanda.

$N_{Ed}$   
 $M_{Ed}$   
 $M_R$   
CS

Sollecitazioni di progetto.

Momento resistente. Momento resistente Plastico nel caso di elementi costituiti da profilati in acciaio.

Coefficiente di Sicurezza ([NS]: non significativo se CS>100)

## RINFORZI FORI - VERIFICA A TAGLIO

RINFORZI FORI - verifica a taglio						
$T_R$	sez	$V_{Ed}$	$V_{Rcd}$	$V_{Rsd}$	$V_{c,Rd}$	CS
	[%LLI]	[N]	[N]	[N]	[N]	
<b>Foro 1</b>						
Piattabanda	0	2052	-	-	127924	62.34
	20	1996	-	-	127924	64.09
	40	-75	-	-	127924	NS
	60	2	-	-	127924	NS
	80	-1876	-	-	127924	68.19
	100	-1931	-	-	127924	66.25

### LEGENDA:

$T_R$   
sez

Tipologia di rinforzo del foro.

Posizione della sezione di verifica espressa in percentuale rispetto alla luce dell'elemento. Piedritto: 0 = sezione al piede del piedritto; Piattabanda: 0 = sezione di sinistra della piattabanda.

$V_{Ed}$   
 $V_{Rcd}$   
 $V_{Rsd}$   
 $V_{c,Rd}$   
CS

Taglio di progetto.

Resistenza al taglio dovuta al calcestruzzo.

Resistenza al taglio dovuta alle staffe.

Resistenza a taglio dei profilati in acciaio.

Coefficiente di Sicurezza ([NS]: non significativo se CS>100).

13/02/2023

**Il Tecnico**

ING. DANIELE MANETTI

()