



**Regione
Toscana**

**Recupero “Casello Idraulico Brusiana – Ponte a Elsa”
in Comune di San Miniato (PI), Località Ponte a Elsa,**

Via Nazionale n°83

Livello progettuale:

PROGETTO DEFINITIVO



Titolo dell'elaborato:

RELAZIONE DI CALCOLO – Cerchiatura

**RESPONSABILE UNICO DEL
PROCEDIMENTO
Dott. Ing. Francesco Piani

(REGIONE TOSCANA)**

**IL PROGETTISTA DELL'ATTIVITA'
SPECIALISTICA
Dott. Ing. Antonio Cinelli

Studio Associato Ingegneria C.M.T.
Viale A. Cecconi n° 3, Fucecchio (FI)
tel. 0571260445**

TAV. -

SCALA -

Elaborato n. 02B Sigla RCB

REVISIONE

DATA

OGGETTO

PRIMA EMISSIONE

22/11/ 2022

INDICE

1 - DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA.....	3
2 - NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
3 - MATERIALI IMPIEGATI E RESISTENZE DI CALCOLO.....	4
4 - AZIONI SULLA STRUTTURA	5
5 - GEOMETRIA.....	6
6 - METODOLOGIA DI CALCOLO	7
7 - VERIFICHE.....	12
8 - RISULTATI.....	13
9 - CODICE DI CALCOLO IMPIEGATO	16

1 - DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

L'intervento consiste nell'apertura di **n.1** 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:

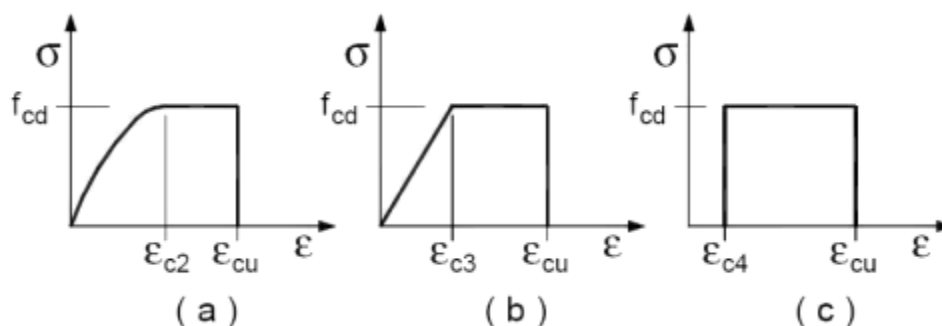
[2] Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP (G.U. 11 febbraio 2019 n. 35 - Suppl. Ord.) - "*Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*".

[3] 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

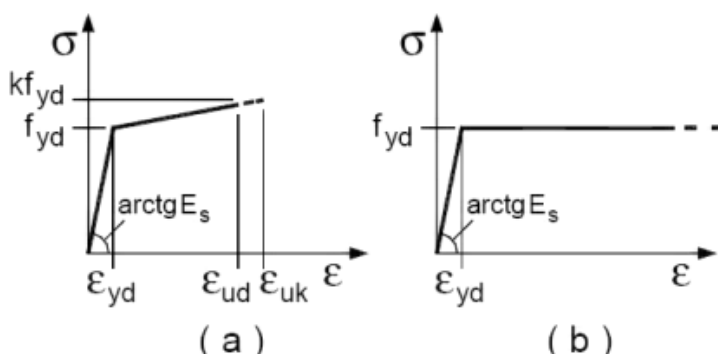
I valori di deformazione assunti sono:

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

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

La resistenza di calcolo f_{cd} è data da $\alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$. Il coefficiente di sicurezza γ_c si assume pari a 1,50, mentre il coefficiente α_{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} / γ_s . Il coefficiente di sicurezza γ_s si assume pari a 1,15.

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

MATERIALI: MURATURA

Caratteristiche Muratura									
Id_m	γ_k	E	v	γ	f_{cm} / f_{ck}	f_{vm0} / f_{vk0}	τ_0	TRT	μ
	[N/m ³]	[N/mm ²]			[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		
Situazione di fatto									
LC1-Muratura in mattoni pieni e malta di calce, con giunti di spessore ≤ 13 mm									
1	18'000	1'500	0.50	2.00	2.600	0.200	0.090	3	-
Situazione di progetto									
LC1-Muratura in mattoni pieni e malta di calce, con giunti di spessore ≤ 13 mm									
2	18'000	1'500	0.50	2.00	2.600	0.200	0.090	3	-
Materiale di chiusura fori									
LC1-Muratura in mattoni pieni e malta di calce, con giunti di spessore ≤ 13 mm									
6	18'000	1'500	0.50	2.00	2.600	0.200	0.090	3	-

LEGENDA:

Id_m	Identificativo del materiale.
Sigla	Sigla descrittiva del materiale.
γ_k	Peso specifico.
E	Modulo elastico normale.

ν	Modulo di Poisson.
γ	Coefficiente parziale di sicurezza.
f_{cm}/f_{ck}	Resistenza a compressione media nel caso di muratura esistente, f_{cm} (Resistenza a compressione caratteristica nel caso di muratura nuova, f_{ck}).
f_{vm0}/f_{vko}	Resistenza a taglio media senza compressione, per murature regolari esistenti, f_{vm0} (Resistenza a taglio caratteristica senza compressione, per murature regolari nuove, f_{vko}).
τ_0	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). "u": lo spostamento ultimo è calcolato come minimo tra § 7.8.2.2.1 e § 7.8.2.2.2 delle NTC.

MATERIALI: CALCESTRUZZO

Caratteristiche Calcestruzzo									
Sigla	γ_k	E	ν	γ	n	f_{ck}	f_{cd}	ϵ_{cu}	α_{cc}
	[N/m ³]	[N/mm ²]				[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]	
C16/20	25 '000	28 '821	0.20	1.50	15	16.60	9.41	0.35	0.85

LEGENDA:

Sigla	Sigla descrittiva del materiale.
γ_k	Peso specifico.
E	Modulo elastico normale.
ν	Modulo di Poisson.
γ	Coefficiente parziale di sicurezza.
n	Coefficiente di omogeneizzazione.
f_{ck}	Resistenza caratteristica cilindrica a compressione.
f_{cd}	Resistenza di progetto a compressione.
ϵ_{cu}	Deformazione unitaria ultima del calcestruzzo.
α_{cc}	Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata.

MATERIALI: ACCIAIO PER TONDINI

Caratteristiche Acciaio per Tondini					
Sigla	γ_k	E	ν	γ	f_{yk}
	[N/m ³]	[N/mm ²]			[N/mm ²]
B450C	78 '500	210 '000	0.30	1.15	450.00

LEGENDA:

Sigla	Sigla descrittiva del materiale.
γ_k	Peso specifico.
E	Modulo elastico normale.
ν	Modulo di Poisson.
γ	Coefficiente parziale di sicurezza.
f_{yk}	Resistenza caratteristica allo snervamento.

MATERIALI: ACCIAIO PER PROFILATI

Caratteristiche Acciaio per Profilati									
Sigla	γ_k	E	ν	γ	γ_s	$f_{yk}(t < 40mm)$	$f_{yk}(40mm < t < 80mm)$	$f_{tk}(t < 40mm)$	$f_{tk}(40mm < t < 80mm)$
	[N/m ³]	[N/mm ²]				[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
S235 (EN 10025-2)	78 '500	210 '000	0.30	1.05	1.25	235.00	215.00	360.00	360.00

LEGENDA:

Sigla	Sigla descrittiva del materiale.
γ_k	Peso specifico.
E	Modulo elastico normale.
ν	Modulo di Poisson.
γ	Coefficiente parziale di sicurezza.
γ_s	Coefficiente parziale di sicurezza per le saldature.
$f_{yk}(t < 40mm)$	Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili ≤ 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 ≤ 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 _c	Descrizione	CC	$Q_{z,i}$	$Q_{z,f}$
			[N/m]	[N/m]
1	-	Carico Permanente	13 '000.00	13 '000.00
2	-	Permanenti NON Strutturali	5 '000.00	5 '000.00
3	-	Abitazioni	5 '200.00	5 '200.00

14	-	Neve (<= 1000 m s.l.m.)	2'080.00	2'080.00
----	---	-------------------------	----------	----------

LEGENDA:

Id_c	Numero identificativo del carico.
Descrizione	Descrizione del carico.
CC	Condizione di Carico.
Q_{z,i}	Valore iniziale della forza nel caso di carico lineare(positivo, diretto verso il basso).
Q_{z,f}	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:

- G₁ rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi strutturali;
- G₂ rappresenta il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
- Q_{ki} rappresenta il valore caratteristico della i-esima azione variabile;
- ψ_{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:

- G₁ 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);
- G₂ 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;
- γ_g, γ_q, γ_p coefficienti parziali come definiti nella Tab. 2.6.I del D.M. 2018;
- ψ_{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 _i	H _f	S _f	S _p	M _f	M _p
[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]		
715	395	395	25	25	1	2

LEGENDA:

L	Lunghezza del muro (Lunghezza del tratto di muro nel caso di profilo superiore variabile).
H_i	Altezza iniziale del muro.
H_f	Altezza finale del muro.
S_f	Spessore del muro nello stato di fatto.
S_p	Spessore del muro nello stato di progetto.
M_f	Identificativo del Materiale del muro nello stato di fatto (si confronti la tabella dei materiali della muratura).
M_p	Identificativo del Materiale del muro nello stato di progetto (si confronti la tabella dei materiali della muratura).

GEOMETRIA FORI

Id_F	dis_I	dis_B	L	H	STZ	M_R
	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]		
1	70	0	250	260	P	-
2	408	140	95	120	F	-
5	12	0	200	250	C	6

LEGENDA:

Id_F	Numero identificativo del foro.
dis_I	Distanza del foro dal bordo iniziale del muro.
dis_B	Distanza del foro dalla base del muro.
L	Larghezza del foro.
H	Altezza del foro.
STZ	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).
M_R	Identificativo del materiale di riempimento del foro, in riferimento alla tabella dei materiali ([-]: riempimento non eseguito).

GEOMETRIA MASCHI MURARI

Id_M	dis_I	dis_B	L	H
	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
Situazione di fatto				
1	0	0	0	0
2	212	0	196	395
3	503	0	212	395
Situazione di progetto				
4	0	0	58	395
5	332	0	76	395
6	503	0	212	395

LEGENDA:

Id_M	Numero identificativo del maschio.
dis_I	Distanza del maschio dal bordo iniziale del muro.
dis_B	Distanza del maschio dalla base del muro.
L	Lunghezza del maschio.
H	Altezza del maschio.

RINFORZI FORI

T_R	Mtrl	Profili		Armature		L	H	B
		tipo	n	A_{S,L}	A_{S,st}			
						[cm]	[cm]	[cm]
Foro 1								
Piedritto Sx	S235 (EN 10025-2)	HE 120 B	2	-	-	260.00	-	-
Piattabanda	S235 (EN 10025-2)	HE 120 B	2	-	-	274.00	-	-
Piedritto Dx	S235 (EN 10025-2)	HE 120 B	2	-	-	260.00	-	-

LEGENDA:

T_R	Tipologia di rinforzo del foro.
Mtrl	Sigla del materiale che costituisce il rinforzo.
tipo/n	Tipo e numero di profili metallici utilizzati.
A_{S,L}	Armatura longitudinale per lato.
A_{S,st}	Armatura trasversale.
L	Lunghezza del rinforzo.
H	Altezza/Spessore del rinforzo.
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 (δ_e) ed ultimo (δ_u);
4. Rappresentazione della curva di capacità (V; δ).

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 δ_F subito dai nodi in cui essa è applicata. Pertanto, la rigidezza nello stato di Fatto **K_F** 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;

τ_{0d} : resistenza di riferimento a taglio della muratura [τ_{0k}/γ_m];

τ_{0k} : resistenza caratteristica a taglio senza compressione;

γ_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;
 γ_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:

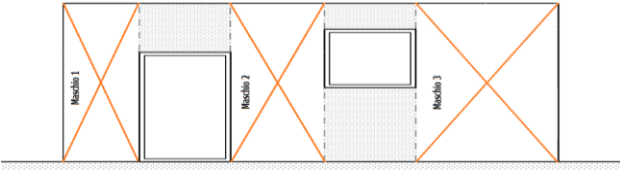
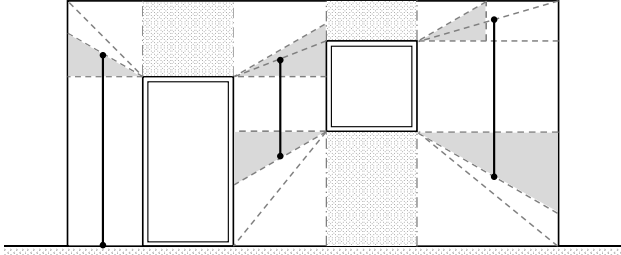
- Meccanismo di rottura a taglio dei maschi = per fessurazione diagonale (per murature irregolari) -> $V_{t,1-2} = V_{t,1}$;
- Meccanismo di rottura a taglio dei maschi = per scorrimento (per murature regolari) -> $V_{t,1-2} = V_{t,2}$;
- Meccanismo di rottura a taglio dei maschi = minimo tra scorrimento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

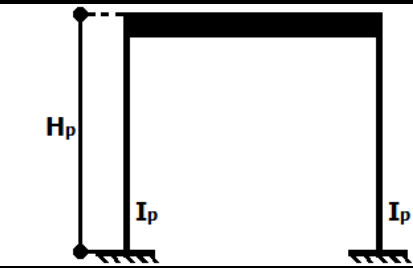
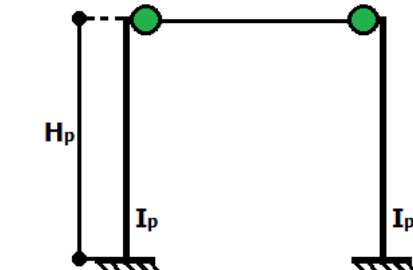
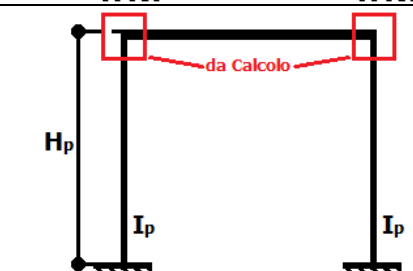
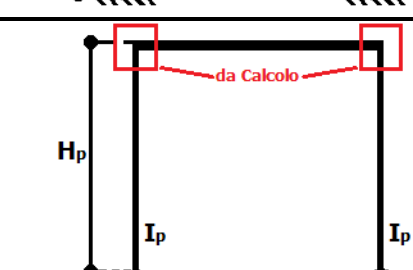
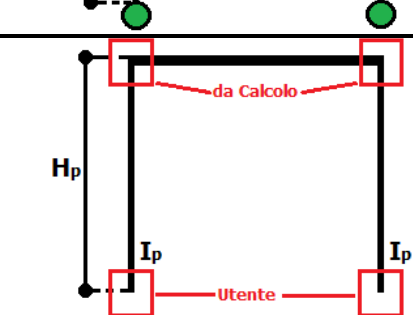
La geometria dei maschi murari (lunghezza/altezza) viene valutata considerando i seguenti metodi:

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

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)		$\frac{12 \cdot E \cdot \Sigma I_p}{H_p^3}$ E: modulo elastico del materiale dei piedritti; J _p : inerzia del singolo piedritto; H _p : altezza del piedritto.
	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
Incastro	Incastro (Grinter)

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 (δ_e) ed ultimo (δ_u)

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

6.3.1 - Spostamento elastico (δ_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 (δ_u)

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

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

dove:

μ : fattore di duttilità dell'elemento;

δ_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 μ 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 μ 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 μ dato da:

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

dove:

θ_u : rotazione ultima della sezione;

θ_y : rotazione allo snervamento della sezione.

6.4 - CURVE DI CAPACITÀ (V; δ)

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	Δ ₀	V _{EL}	Δ _{EL}	V _U	Δ _U
	[N]	[cm]	[N]	[cm]	[N]	[cm]
Situazione di fatto						
M2	0	0.0000	15789	0.1684	15789	3.1600
M3	0	0.0000	18472	0.1605	18472	3.1600
Situazione di progetto						
M4	0	0.0000	1570	0.5394	1570	3.1600
M5	0	0.0000	2697	0.4173	2697	3.1600
M6	0	0.0000	20982	0.1823	20982	3.1600
F1sx	0	0.0000	48498	2.0952	48498	3.1600
F1dx	0	0.0000	48498	2.0952	48498	3.1600

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
Δ ₀	Spostamento orizzontale iniziale
V _{EL}	Resistenza a taglio al limite elastico
Δ _{EL}	Spostamento orizzontale al limite elastico
V _U	Resistenza ultima
Δ _U	Spostamento orizzontale ultimo

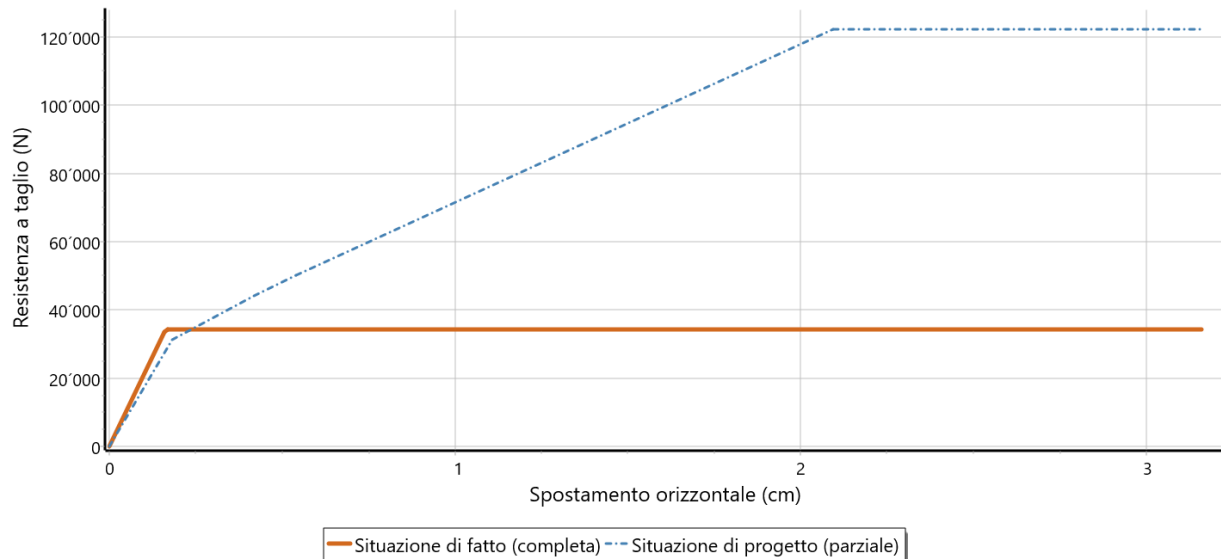
CURVE DI CAPACITÀ GLOBALE

Curve di capacità globale		
P	V	Δ
	[N]	[cm]
Situazione di fatto		
0	0	0.0000
1	33519	0.1605
2	34261	0.1684
3	34261	3.1600
Situazione di progetto		
0	0	0.0000
1	31131	0.1823
2	44212	0.4173
3	50221	0.5394
4	122245	2.0952
5	122245	3.1600

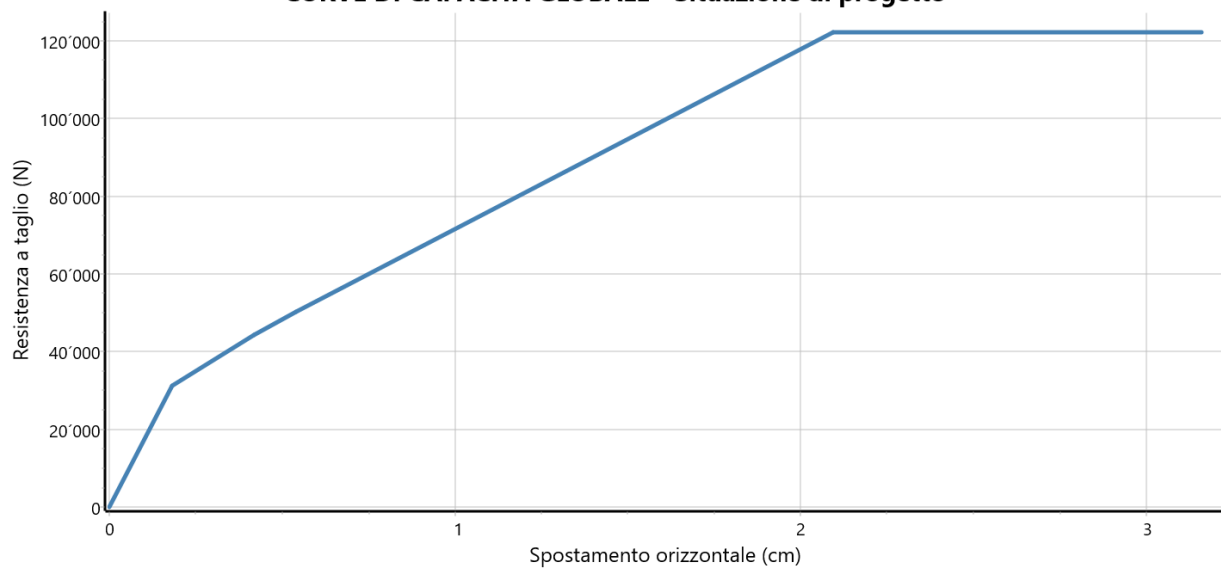
LEGENDA:

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	ΔK	ΔK_{lim}	Note
[kN/m]	[kN/m]	[%]	[%]	
71 ' 608	73 ' 114	2.10	15.00	Verificato

LEGENDA:

K_F	Rigidezza nello stato di Fatto.
K_P	Rigidezza nello stato di Progetto.
ΔK	Variazione di Rigidezza.
ΔK_{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	ΔR	Note
[N]	[N]	[N]	
34 ' 261	122 ' 245	87 ' 984	Verificato

LEGENDA:

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

MURO - VERIFICA DI SPOSTAMENTO

MURO - verifica di spostamento			
δ_F	δ_P	$\Delta\delta$	Note
[cm]	[cm]	[cm]	
3.1600	3.1600	0.0000	Verificato

LEGENDA:

δ_F	Spostamento ultimo nello stato di Fatto.
δ_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]	
Foro 1					
Piedritto Sx	0	-47830	185	30224	14.58
	10	-47756	-134	30228	14.95
	20	-47255	-147	30249	15.01
	30	-46652	-105	30274	15.49
	40	-45856	-72	30308	16.01
	50	-45025	-40	30343	16.56
	60	-44154	-1	30380	17.23
	70	-43209	83	30420	16.85
	80	-42136	306	30466	15.42
	90	-37430	1180	30665	11.66
	100	-37387	1944	30667	9.14
Piedritto Dx	0	-67165	-1153	29405	8.07
	10	-64566	-233	29515	10.86
	20	-64494	251	29518	10.81
	30	-62534	236	29601	11.18
	40	-60722	273	29678	11.33
	50	-58484	318	29773	11.53
	60	-56172	376	29871	11.70
	70	-54075	361	29960	12.16
	80	-52111	97	30043	13.99
	90	-50048	-826	30130	10.95
	100	-48971	-2358	30176	7.28
Piattabanda	0	2797	3577	32132	7.15
	10	2797	-47	32132	8.37
	20	8781	-1020	31879	19.12
	30	12718	-1069	31712	20.06
	40	15900	-875	31577	20.82
	50	15900	-846	31577	21.22
	60	13330	-978	31686	20.90
	70	9689	-1105	31840	21.28
	80	4398	-1024	32065	18.13
	90	-2910	104	32128	7.06
	100	-2910	4400	32128	5.99

LEGENDA:

T_R	Tipologia di rinforzo del foro.
sez	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}	Sollecitazioni di progetto.
M_{Ed}	Momento resistente Plastico nel caso di elementi costituiti da profilati in acciaio.
CS	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]	
Foro 1						
Piedritto Sx	0	1152	-	-	141686	NS
	10	1152	-	-	141686	NS
	20	161	-	-	141686	NS
	30	-18	-	-	141686	NS

	40	20	-	-	141686	NS
	50	38	-	-	141686	NS
	60	3	-	-	141686	NS
	70	-170	-	-	141686	NS
	80	-2164	-	-	141686	65.47
	90	-4791	-	-	141686	29.57
	100	-4791	-	-	141686	29.57
Piedritto Dx	0	-4210	-	-	141686	33.65
	10	-4210	-	-	141686	33.65
	20	-1786	-	-	141686	79.33
	30	-600	-	-	141686	NS
	40	-596	-	-	141686	NS
	50	-652	-	-	141686	NS
	60	-649	-	-	141686	NS
	70	-301	-	-	141686	NS
	80	3265	-	-	141686	43.40
	90	8165	-	-	141686	17.35
	100	8165	-	-	141686	17.35
Piattabanda	0	16968	-	-	141686	8.35
	10	16911	-	-	141686	8.38
	20	5963	-	-	141686	23.76
	30	1456	-	-	141686	97.31
	40	243	-	-	141686	NS
	50	-140	-	-	141686	NS
	60	-298	-	-	141686	NS
	70	-2006	-	-	141686	70.63
	80	-6938	-	-	141686	20.42
	90	-20045	-	-	141686	7.07
	100	-20102	-	-	141686	7.05

LEGENDA:

T_R	Tipologia di rinforzo del foro.
sez	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}	Taglio di progetto.
V_{Rcd}	Resistenza al taglio dovuta al calcestruzzo.
V_{Rsd}	Resistenza al taglio dovuta alle staffe.
V_{c,Rd}	Resistenza a taglio dei profilati in acciaio.
CS	Coefficiente di Sicurezza ([NS]: non significativo se CS>100).

9 - CODICE DI CALCOLO IMPIEGATO

Nome del Software	Calculus-CERCHIATURA
Versione	6.00a
Caratteristiche del Software	Software per il calcolo della cerchiatura di aperture in un muro portante per Windows
Numero di serie	19200511
Intestatario Licenza	C.M.T. Studio Associato Ingegneria
Produzione e Distribuzione	ACCA software S.p.A. Contrada Rosole 13 83043 BAGNOLI IRPINO (AV) - Italy Tel. 0827/69504 r.a. - Fax 0827/601235 e-mail: info@acca.it - Internet: www.acca.it