



PROGETTO

Riparazione dei danni e miglioramento sismico del Palazzo Ducale (da Varano), danneggiato dagli eventi sismici del 24 agosto 2016 e successivi

UBICAZIONE

Piazza Cavour - 62032 - Camerino (MC) - Marche - Italia

COMMITTENTE:

UNICAM Università degli Studi di Camerino

Piazza Cavour 19/f 62032 Camerino MC

P.I.: 00291660439

C.F.: 81001910439



Responsabile Unico del Procedimento:

Ing. Gian Luca Marucci

Coordinamento Progetto:

Prof. Ing. Graziano Leoni

Supporto al R.U.P. per:

Indagini strutturali:

Prof. Ing. Alessandro Zona
Ing. Michele Morici
Evolvea s.r.l. - Gruppo Filippetti

Indagini geologiche:

Geol. Marcello Maccari

Analisi storica:

Prof. Arch. Gaia Remiddi

Analisi conoscitiva delle componenti materico-costruttive:

Prof. Arch. Enrica Petrucci
Dott. Graziella Roselli
Arch. Diana Lapucci

Progettazione opere di restauro architettonico:

Prof. Arch. Enrica Petrucci

Progettazione opere strutturali:

Seitec Seismotechnologies srl
Prof. Ing. Luigino Dezi
Ing. Alessandro Balducci

Progettazione opere impiantistiche:

ANTAS S.p.a.

Coordinamento della sicurezza in fase di progettazione:

Arch. Guido Martini

Collaboratori:

Ing. Lucia Barchetta
Ing. Leonardo Cipriani
Arch. Noemi Lapucci
Ing. Claudia Canuti
Geomore s.r.l.

TITOLO

Progetto Esecutivo Relazione sui Materiali

ELABORATO:

D

0 0 3

DISCIPLINA

STRUTTURE

REVISIONE	DATA:	OGGETTO:	REDATTO:	VERIFICATO:	APPROVATO:	SCALA:
rev_00	02/09/2022	EMISSIONE DEL PROGETTO	AG	AB	LD	
rev_01	27/02/2023	EMISSIONE PER VERIFICA DEL PROGETTO ESECUTIVO	ML	AB	LD	
rev_02	__/__/__					
rev_03	__/__/__					
rev_04	__/__/__					

NOME FILE:

D-003_Relazione sui Materiali

INDICE

RELAZIONE SUI MATERIALI	2
1 Premessa	2
2 Caratteristiche dei materiali allo stato di fatto	2
2.1 Muratura corpo A	2
2.2 Muratura corpo B	3
2.3 Muratura corpi C1 - C2	5
2.4 Acciaio per strutture metalliche	6
2.5 Legno	7
3 Caratteristiche dei materiali allo stato di progetto	7
3.1 Muratura corpo A	7
3.2 Muratura corpo B	8
3.3 Muratura corpi C1 - C2	9
3.4 Acciaio per strutture metalliche	13
3.5 Acciaio per armature c.a.	13
3.6 Calcestruzzo per solette e cordoli	14
3.7 Legno	14
3.8 Malta strutturale	14
3.9 Mattoni per nuove pareti	15
3.10 Miscele consolidanti per iniezioni	15
3.11 Intonaco armato	15
3.11.1 Rete preformata tipo "G-MESH 490"	15
3.11.2 Barre elicoidali tipo "CONNETTORE ELICOIDALE"	16
3.11.3 Elementi di completamento tipo "G-MESH FAZZOLETTO" e "G-MESH ANGOLARE"	16
3.11.4 Malta tipo "MX-RW Alte Prestazioni"	16
3.12 Barre elicoidali per cuciture a secco	17

RELAZIONE SUI MATERIALI

1 Premessa

La presente relazione illustra le caratteristiche meccaniche dei materiali allo stato di fatto e allo stato di progetto, tenendo adeguatamente conto del Livello di Conoscenza acquisito, e successivamente le caratteristiche dei materiali utilizzati per gli interventi di ripristino e miglioramento sismico del Palazzo Ducale Da Varano, sito nel Comune di Camerino.

2 Caratteristiche dei materiali allo stato di fatto

2.1 Muratura corpo A

Le proprietà meccaniche delle murature, operando in LC2, sono valutate con la media degli intervalli riportati in Tabella C8.5.I della Circolare 21 gennaio 2019 n. 7/C.S.LL.PP., corretti con i coefficienti riportati in Tabella C8.5.II (rispettivamente Tabella 1 e Tabella 2 riportate di seguito).

Tipologia di muratura	f (N/mm ²)	τ_0 (N/mm ²)	f_{v0} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	-	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	-	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	-	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,4-2,2	0,028-0,042	-	900-1260	300-420	13 - 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadriati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

(*) Nella muratura a conci sbozzati i valori di resistenza tabellati si possono incrementare se si riscontra la sistematica presenza di zeppe profonde in pietra che migliorano i contatti e aumentano l'ammorsamento tra gli elementi lapidei; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente pari a 1,2.

(**) Data la varietà litologica della pietra tenera, il peso specifico è molto variabile ma può essere facilmente stimato con prove dirette. Nel caso di muratura a conci regolari di pietra tenera, in presenza di una caratterizzazione diretta della resistenza a compressione degli elementi costituenti, la resistenza a compressione f_{pu} può essere valutata attraverso le indicazioni del § 11.10 delle NTC.

(***) Nella muratura a mattoni pieni è opportuno ridurre i valori tabellati nel caso di giunti con spessore superiore a 13 mm; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente riduttivo pari a 0,7 per le resistenze e 0,8 per i moduli elastici.

Tabella 2.1 - Valori di riferimento dei parametri meccanici e peso specifico medio per diverse tipologia di muratura

Le resistenze medie sono state poi divise per il fattore di confidenza $FC=1,2$.

La muratura, sia esterna che interna, è realizzata in conci regolari di pietra tenera. Per le caratteristiche meccaniche di questa tipologia muraria è stata considerata la media delle caratteristiche fornite dalla normativa per la **muratura a conci regolari di pietra tenera**.

Si assumeranno pertanto i seguenti valori:

- Resistenza media a compressione della muratura $f_m = 2,60 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione della muratura $f_d = f_m / FC = 2,166 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza media a taglio della muratura $\tau_0 = 0,06 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a taglio della muratura $\tau_{0d} = \tau_0 / FC = 0,05 \text{ N/mm}^2$
- Modulo di elasticità normale $E = 1410 \text{ N/mm}^2$
- Modulo di elasticità tangenziale $G = 450 \text{ N/mm}^2$
- Peso specifico medio della muratura $w = 16 \text{ KN/m}^3$

2.2 Muratura corpo B

Le proprietà meccaniche delle murature, operando in LC2, sono valutate con la media degli intervalli riportati in Tabella C8.5.I della Circolare 21 gennaio 2019 n. 7/C.S.LL.PP., corretti con i coefficienti riportati in Tabella C8.5.II (rispettivamente Tabella 1 e Tabella 2 riportate di seguito).

In particolare si è assunto che la muratura, sia esterna che interna, è realizzata in conci regolari di pietra tenera, ad eccezione delle pareti murarie che sono state oggetto di consolidamento, per le quali, visto il degrado e le attuali scarse resistenze meccaniche, si è considerata una muratura con valori bassi delle resistenze.

Muratura per le zone non oggetto di consolidamento

Tipologia di muratura	f (N/mm ²)	τ_0 (N/mm ²)	f_{v0} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	-	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbazzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	-	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	-	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,4-2,2	0,028-0,042	-	900-1260	300-420	13 - 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadriati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

(*) Nella muratura a conci sbazzati i valori di resistenza tabellati si possono incrementare se si riscontra la sistematica presenza di zeppe profonde in pietra che migliorano i contatti e aumentano l'ammorsamento tra gli elementi lapidei; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente pari a 1,2.

(**) Data la varietà litologica della pietra tenera, il peso specifico è molto variabile ma può essere facilmente stimato con prove dirette. Nel caso di muratura a conci regolari di pietra tenera, in presenza di una caratterizzazione diretta della resistenza a compressione degli elementi costituenti, la resistenza a compressione f_{pu} può essere valutata attraverso le indicazioni del § 11.10 delle NTC.

(***) Nella muratura a mattoni pieni è opportuno ridurre i valori tabellati nel caso di giunti con spessore superiore a 13 mm; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente riduttivo pari a 0,7 per le resistenze e 0,8 per i moduli elastici.

Tabella 2.2 - Valori di riferimento dei parametri meccanici e peso specifico medio per diverse tipologia di muratura

Le resistenze medie sono state poi divise per il fattore di confidenza $FC=1,2$.

La muratura, sia esterna che interna, è realizzata in conci regolari di pietra tenera. Per le caratteristiche meccaniche di questa tipologia muraria è stata considerata la media delle caratteristiche fornite dalla normativa per la **muratura a conci regolari di pietra tenera**.

Si assumeranno pertanto i seguenti valori:

- Resistenza media a compressione della muratura $f_m = 2,60 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione della muratura $f_d = f_m / FC = 2,166 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza media a taglio della muratura $\tau_0 = 0,06 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a taglio della muratura $\tau_{0d} = \tau_0 / FC = 0,05 \text{ N/mm}^2$
- Modulo di elasticità normale $E = 1410 \text{ N/mm}^2$
- Modulo di elasticità tangenziale $G = 450 \text{ N/mm}^2$
- Peso specifico medio della muratura $w = 16 \text{ KN/m}^3$

Muratura per le zone oggetto di consolidamento

Si assumeranno pertanto i seguenti valori:

- Resistenza media a compressione della muratura $f_m = 1,40 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione della muratura $f_d = f_m / FC = 1,166 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza media a taglio della muratura $\tau_0 = 0,028 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a taglio della muratura $\tau_{0d} = \tau_0 / FC = 0,0233 \text{ N/mm}^2$
- Peso specifico medio della muratura $w = 16 \text{ kN/m}^3$

2.3 Muratura corpi C1 - C2

Le proprietà meccaniche delle murature, operando in LC2, sono valutate con la media degli intervalli riportati in Tabella C8.5.I della Circolare 21 gennaio 2019 n. 7/C.S.LL.PP., corretti con i coefficienti riportati in Tabella C8.5.II (rispettivamente Tabella 1 e Tabella 2 riportate di seguito).

Tipologia di muratura	f (N/mm ²)	τ_0 (N/mm ²)	f_{v0} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	-	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbazzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	-	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	-	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,4-2,2	0,028-0,042	-	900-1260	300-420	13 - 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadriati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

(*) Nella muratura a conci sbazzati i valori di resistenza tabellati si possono incrementare se si riscontra la sistematica presenza di zeppe profonde in pietra che migliorano i contatti e aumentano l'ammorsamento tra gli elementi lapidei; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente pari a 1,2.

(**) Data la varietà litologica della pietra tenera, il peso specifico è molto variabile ma può essere facilmente stimato con prove dirette. Nel caso di muratura a conci regolari di pietra tenera, in presenza di una caratterizzazione diretta della resistenza a compressione degli elementi costituenti, la resistenza a compressione f_{pu} può essere valutata attraverso le indicazioni del § 11.10 delle NTC.

(***) Nella muratura a mattoni pieni è opportuno ridurre i valori tabellati nel caso di giunti con spessore superiore a 13 mm; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente riduttivo pari a 0,7 per le resistenze e 0,8 per i moduli elastici.

Tabella 2.3 - Valori di riferimento dei parametri meccanici e peso specifico medio per diverse tipologia di muratura

Le resistenze medie sono state poi divise per il fattore di confidenza $FC=1,2$.

La muratura, sia esterna che interna, è realizzata in conci irregolari di pietra tenera. Per le caratteristiche meccaniche sono stati considerati due tipologie di muratura: una prima tipologia

muraria è stata considerata prendendo la media delle caratteristiche fornite dalla normativa per la **muratura a conci irregolari di pietra tenera**, mentre la seconda tipologia di muratura, considerata solo per le pareti che presentano scarse caratteristiche meccaniche (fra le quali rientrano anche le pareti che allo stato di progetto sono state consolidate) sono stati presi a riferimento i valori minimi delle resistenze.

Si assumeranno pertanto i seguenti valori:

Per la prima tipologia di muratura:

- Resistenza media a compressione della muratura $f_m = 1,80 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione della muratura $f_d = f_m / FC = 1,50 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza media a taglio della muratura $\tau_0 = 0,035 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a taglio della muratura $\tau_{0d} = \tau_0 / FC = 0,0291 \text{ N/mm}^2$
- Modulo di elasticità normale $E = 1080 \text{ N/mm}^2$
- Modulo di elasticità tangenziale $G = 360 \text{ N/mm}^2$
- Peso specifico medio della muratura $w = 16 \text{ KN/m}^3$

Per la seconda tipologia di muratura:

- Resistenza media a compressione della muratura $f_m = 1,40 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione della muratura $f_d = f_m / FC = 1,166 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza media a taglio della muratura $\tau_0 = 0,028 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a taglio della muratura $\tau_{0d} = \tau_0 / FC = 0,0233 \text{ N/mm}^2$
- Modulo di elasticità normale $E = 1080 \text{ N/mm}^2$
- Modulo di elasticità tangenziale $G = 360 \text{ N/mm}^2$
- Peso specifico medio della muratura $w = 16 \text{ KN/m}^3$

2.4 Acciaio per strutture metalliche

Per le strutture in carpenteria metallica si considerano le caratteristiche dell'acciaio tipo "**S 275**" (UNI EN 10025-2) avente le seguenti caratteristiche:

- tensione caratteristica di rottura a trazione ($t \leq 40 \text{ mm}$) $f_{tk} \geq 430 \text{ N/mm}^2$

- tensione caratteristica di snervamento ($t \leq 40 \text{ mm}$) $f_{yk} \geq 275 \text{ N/mm}^2$

2.5 Legno

La verifica delle travi in legno esistenti è eseguita assumendo la seguente classe di materiale:

- D30 massiccio Latifoglie.

3 Caratteristiche dei materiali allo stato di progetto

3.1 Muratura corpo A

Allo stato di progetto si adottano gli stessi valori delle caratteristiche meccaniche delle murature dello stato attuale, ad eccezione per le parti consolidate, per le quali si distinguono il seguente tipo di intervento:

- Pareti consolidate mediante cuciture a secco con barre elicoidali ed intonaco armato;

Per la muratura consolidata mediante scuci/cuci, cuciture a secco con barre elicoidali ed intonaco armato, sono stati considerati i seguenti valori delle resistenze:

- Resistenza di calcolo a compressione della muratura $f_d = 1,5 \times f_m / \text{FC} = 3,25 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza media a taglio della muratura $\tau_0 = 0,06 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a taglio della muratura $\tau_{0d} = 1,5 \times \tau_0 / \text{FC} = 0,075 \text{ N/mm}^2$
- Peso specifico medio della muratura $w = 16 \text{ KN/m}^3$

3.2 Muratura corpo B

Allo stato di progetto si adottano gli stessi valori delle caratteristiche meccaniche delle murature dello stato attuale, ad eccezione per le parti consolidate, per le quali si distinguono i due seguenti tipi di intervento:

- Pareti consolidate mediante cuciture a secco con barre elicoidali ed intonaco armato;
- Pareti consolidate mediante cuciture a secco;

➤ Pareti consolidate mediante cuciture a secco con barre elicoidali ed intonaco armato

Per la muratura consolidata mediante scuci/cuci, cuciture a secco con barre elicoidali ed intonaco armato, sono stati considerati i seguenti valori delle resistenze:

- Resistenza di calcolo a compressione della muratura $f_d = 1,5 \times f_m / FC = 3,25 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza media a taglio della muratura $\tau_0 = 0,06 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a taglio della muratura $\tau_{0d} = 1,5 \times \tau_0 / FC = 0,075 \text{ N/mm}^2$
- Peso specifico medio della muratura $w = 16 \text{ KN/m}^3$

➤ Pareti consolidate mediante cuciture a secco

Per la muratura consolidata mediante scuci/cuci e cuciture a secco con barre elicoidali, sono stati considerati i seguenti valori delle resistenze:

- Resistenza di calcolo a compressione della muratura $f_d = 1,2 \times f_m / FC = 2,60 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza media a taglio della muratura $\tau_0 = 0,06 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a taglio della muratura $\tau_{0d} = 1,2 \times \tau_0 / FC = 0,060 \text{ N/mm}^2$

Peso specifico medio della muratura

$$w = 16 \text{ KN/m}^3$$

3.3 Muratura corpi C1 - C2

Allo stato di progetto si adottano gli stessi valori delle caratteristiche meccaniche delle murature dello stato attuale, ad eccezione per le parti consolidate, per le quali si distinguono i seguenti tre tipi di intervento:

- Pareti consolidate mediante cuciture a secco con barre elicoidali ed intonaco armato;
- Pareti consolidate mediante cuciture a secco;
- Pareti consolidate mediante intonaco armato.

➤ Pareti consolidate mediante cuciture a secco con barre elicoidali ed intonaco armato

Tipologia di muratura	Stato di fatto			Interventi di consolidamento			
	Malta buona	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Iniezione di miscele leganti (*)	Intonaco armato (**)	Ristilatura armata con connessione dei paramenti (**)	Massimo coefficiente complessivo
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	1,3	1,5	2	2,5	1,6	3,5
Muratura a conci sbazzati, con paramenti di spessore disomogeneo	1,4	1,2	1,5	1,7	2,0	1,5	3,0
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5	1,4	2,4
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,5	1,2	1,3	1,4	1,7	1,1	2,0
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,6	-	1,2	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1,2	-	1,2	1,2	1,2	-	1,4
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	(***)	-	1,3 (****)	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	1,2	-	-	-	1,3	-	1,3

(*) I coefficienti correttivi relativi alle iniezioni di miscele leganti devono essere commisurati all'effettivo beneficio apportato alla muratura, riscontrabile con verifiche sia nella fase di esecuzione (iniettabilità) sia a posteriori (riscontri sperimentali attraverso prove soniche o similari).

(**) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(***) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione f_m superiore a 2 N/mm². In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a $f_m^{0.35}$ (f_m in N/mm²).

(****) Nel caso di muratura di mattoni si intende come muratura trasversalmente connessa quella apparecchiata a regola d'arte.

Tabella 3.1 - Coefficienti correttivi dei parametri meccanici delle murature

Per la muratura consolidata mediante cuciture a secco con barre elicoidali ed intonaco armato è stato considerato un coefficiente correttivo complessivo pari a 1,50, mentre per tener in conto dell'elevato spessore delle murature è stato considerato un valore ridotto pari a 1,25 per l'intonaco armato.

- Coefficiente correttivo complessivo: *connessione trasversale + intonaco armato*=1,5
- Resistenza media a compressione della muratura $f_m = 1,40 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione della muratura $f_d = 1,5 \times f_m / \text{FC} = 1,75 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza media a taglio della muratura $\tau_0 = 0,028 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a taglio della muratura $\tau_{0d} = 1,5 \times \tau_0 / \text{FC} = 0,035 \text{ N/mm}^2$
- Modulo di elasticità normale $E = 1080 \text{ N/mm}^2$
- Modulo di elasticità tangenziale $G = 360 \text{ N/mm}^2$
- Peso specifico medio della muratura $w = 16 \text{ KN/m}^3$

➤ Pareti consolidate mediante cuciture a secco

Tipologia di muratura	Stato di fatto			Interventi di consolidamento			
	Malta buona	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Iniezione di miscele leganti (*)	Intonacoarmato (**)	Ristilatura armata con connessione dei paramenti (**)	Massimo coefficiente complessivo
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	1,3	1,5	2	2,5	1,6	3,5
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo	1,4	1,2	1,5	1,7	2,0	1,5	3,0
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5	1,4	2,4
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,5	1,2	1,3	1,4	1,7	1,1	2,0
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,6	-	1,2	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1,2	-	1,2	1,2	1,2	-	1,4
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	(***)	-	1,3 (****)	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	1,2	-	-	-	1,3	-	1,3

(*) I coefficienti correttivi relativi alle iniezioni di miscele leganti devono essere commisurati all'effettivo beneficio apportato alla muratura, riscontrabile con verifiche sia nella fase di esecuzione (iniettabilità) sia a posteriori (riscontri sperimentali attraverso prove soniche o similari).

(**) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(***) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione f_m superiore a 2 N/mm². In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a $f_m^{0.35}$ (f_m in N/mm²).

(****) Nel caso di muratura di mattoni si intende come muratura trasversalmente connessa quella apparecchiata a regola d'arte.

Tabella 3.2 - Coefficienti correttivi dei parametri meccanici delle murature

Per la muratura consolidata mediante cuciture a secco con barre elicoidali è stato considerato il coefficiente correttivo pari a 1,20.

- Coefficiente correttivo complessivo: $connessione\ trasversale=1,2$
- Resistenza media a compressione della muratura $f_m= 1,40\text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione della muratura $f_d= 1,2 \times f_m / FC=1,40\text{ N/mm}^2$
- Resistenza media a taglio della muratura $\tau_0= 0,028\text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a taglio della muratura $\tau_{0d}=1,2 \times \tau_0/FC=0,028\text{ N/mm}^2$
- Modulo di elasticità normale $E= 1080\text{ N/mm}^2$
- Modulo di elasticità tangenziale $G= 360\text{ N/mm}^2$
- Peso specifico medio della muratura $w=16\text{ KN/m}^3$

➤ Pareti consolidate mediante intonaco armato

Tipologia di muratura	Stato di fatto			Interventi di consolidamento			
	Malta buona	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Iniezione di miscele leganti (*)	Intonacoarmato (**)	Ristilatura armata con connessione dei paramenti (**)	Massimo coefficiente complessivo
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	1,3	1,5	2	2,5	1,6	3,5
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo	1,4	1,2	1,5	1,7	2,0	1,5	3,0
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5	1,4	2,4
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,5	1,2	1,3	1,4	1,7	1,1	2,0
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,6	-	1,2	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1,2	-	1,2	1,2	1,2	-	1,4
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	(***)	-	1,3 (****)	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	1,2	-	-	-	1,3	-	1,3

(*) I coefficienti correttivi relativi alle iniezioni di miscele leganti devono essere commisurati all'effettivo beneficio apportato alla muratura, riscontrabile con verifiche sia nella fase di esecuzione (iniettabilità) sia a-posteriori (riscontri sperimentali attraverso prove soniche o similari).

(**) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(***) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione f_m superiore a 2 N/mm². In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a $f_m^{0,35}$ (f_m in N/mm²).

(****) Nel caso di muratura di mattoni si intende come muratura trasversalmente connessa quella apparecchiata a regola d'arte.

Tabella 3.3 - Coefficienti correttivi dei parametri meccanici delle murature

Per la muratura consolidata mediante intonaco armato è stato considerato un coefficiente correttivo pari a 1,25 considerando un valore ridotto rispetto a quanto riportato nella tabella soprastante, per tener in conto dell'elevato spessore delle murature.

- Coefficiente correttivo complessivo: $intonaco\ armato=1,25$
- Resistenza media a compressione della muratura $f_m= 1,40\text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione della muratura $f_d= 1,25 \times f_m / FC=1,458\text{ N/mm}^2$
- Resistenza media a taglio della muratura $\tau_0= 0,028\text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a taglio della muratura $\tau_{0d}=1,25 \times \tau_0 / FC=0,0291\text{ N/mm}^2$
- Modulo di elasticità normale $E= 1080\text{ N/mm}^2$
- Modulo di elasticità tangenziale $G= 360\text{ N/mm}^2$
- Peso specifico medio della muratura $w=16\text{ KN/m}^3$

3.4 Acciaio per strutture metalliche

Le strutture in carpenteria metallica saranno realizzate con le seguenti tipologie di acciai:

1. tipo “**S 275**” (UNI EN 10025-2) avente le seguenti caratteristiche:

- tensione caratteristica di rottura a trazione ($t \leq 40 \text{ mm}$) $f_{tk} \geq 430 \text{ N/mm}^2$
- tensione caratteristica di snervamento ($t \leq 40 \text{ mm}$) $f_{yk} \geq 275 \text{ N/mm}^2$
- tensione car. di rottura a trazione ($40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$) $f_{tk} \geq 410 \text{ N/mm}^2$
- tensione caratteristica di snervamento ($40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$) $f_{yk} \geq 255 \text{ N/mm}^2$

2. tipo “**S 355**” (UNI EN 10025-2) avente le seguenti caratteristiche:

- tensione caratteristica di rottura a trazione ($t \leq 40 \text{ mm}$) $f_{tk} \geq 510 \text{ N/mm}^2$
- tensione caratteristica di snervamento ($t \leq 40 \text{ mm}$) $f_{yk} \geq 355 \text{ N/mm}^2$
- tensione car. di rottura a trazione ($40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$) $f_{tk} \geq 470 \text{ N/mm}^2$
- tensione caratteristica di snervamento ($40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$) $f_{yk} \geq 335 \text{ N/mm}^2$

Protezione strutture metalliche: zincatura

3.5 Acciaio per armature c.a.

Si utilizzeranno barre ad aderenza migliorata del tipo **B450C** controllate in stabilimento, pertanto nelle valutazioni di resistenza con il metodo degli stati limite si assumono i seguenti parametri:

Caratteristiche meccaniche:

- $E = 210000 \text{ N/mm}^2$
- $f_{tk(min)} = 540 \text{ N/mm}^2$
- $f_{yk(min)} = 450 \text{ N/mm}^2$
- $A_{gtk} = 7,5\%$ (allungamento)
- $f_t/f_y = 1,15$
- $f_t/f_y = 1,35$

Resistenze di progetto agli SLU:

- $\gamma_s = 1,15$
- $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 391,3 \text{ N/mm}^2$

Resistenze agli SLE (combinazione rara):

- $\gamma_s = 1,00$
- $0,8 \cdot f_{yk} = 360 \text{ N/mm}^2$

Le armature da porre in opera non dovranno presentare tracce di ossidazione, corrosione e di qualsiasi altra sostanza che possa ridurne l'aderenza al conglomerato, dovranno inoltre presentare sezione integra e priva di qualsiasi difetto di fusione.

Le barre per le cuciture sulle pareti in muratura saranno in acciaio inossidabile.

3.6 Calcestruzzo per solette e cordoli

Per le solette di rinforzo dei solai ai vari piani e per i cordoli in sommità delle murature si prevede l'impiego di un calcestruzzo alleggerito tipo "Leca 1800" con classe di consistenza **S4** e di resistenza LC40/44.

3.7 Legno

Per le nuove strutture in legno si adotta il legno lamellare del tipo GL32h.

3.8 Malta strutturale

Per la ripresa delle lesioni, il consolidamento della muratura, la chiusura di nicchie e la realizzazione delle nuove aperture si utilizza una malta M15 a base di calce idraulica NHL5 con:

- Resistenza a compressione a 28 gg $\geq 15 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a taglio iniziale $f_{vk0} \geq 0,15 \text{ N/mm}^2$

3.9 Mattoni per nuove pareti

Le nuove pareti verranno realizzate a due teste in mattoni pieni nuovi di Categoria I con malta M15, e dovranno avere le seguenti caratteristiche:

- Resistenza a compressione a 28 gg $f_{bk} \geq 6,7 - 8 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a taglio iniziale $f_{vk0} \geq 0,30 \text{ N/mm}^2$

3.10 Miscele consolidanti per iniezioni

Per le iniezioni di riempimento delle cavità all'interno delle pareti è prevista una malta superfluida di classe M15 a base di calce idraulica naturale NHL5 tipo "MapeWall Inietta&Consolida".

La miscela da utilizzare per le iniezioni risulta compatibile con il carattere storico-monumentale del bene, in quanto costituita calce idraulica naturale e composti inorganici a bassissima emissione di sostanze organiche volatili.

3.11 Intonaco armato

Per il rinforzo delle pareti è prevista la realizzazione di intonaco armato tipo "Ruregold CRM", costituito dai seguenti elementi:

- Rete preformata in fibra di vetro alcali resistente "G-MESH 490";
- Sistema di connessione trasversale costituito da barre elicoidali in acciaio inossidabile "CONNETTORI ELICOIDALI";
- Fazzoletti di infittimento "G-MESH FAZZOLETTO" per la ripartizione degli sforzi ed elementi angolari "G-MESH ANGOLARE" per la formazione degli angoli interni ed esterni;
- Malta da intonaco strutturale a base di legante idraulico ad alta pozzolanicità "MX-RW Alte Prestazioni".

3.11.1 Rete preformata tipo "G-MESH 490"

La rete preformata tipo "G-MESH 490" è realizzata con fibra di vetro alcali resistente impregnata con resina epossidica, avente le seguenti caratteristiche:

- Grammatura 490 g/m^2

- | | |
|--------------------------------------|----------------------------|
| - Resistenza a trazione della rete | 60 kN/m in trama ed ordito |
| - Modulo elastico a trazione | ≥ 25 GPa |
| - Dimensioni della maglia della rete | 80x80 mm |

3.11.2 Barre elicoidali tipo "CONNETTORE ELICOIDALE"

Barra elicoidale in acciaio inox fortemente incrudito e di elevata durezza avente le seguenti caratteristiche:

- | | |
|------------------------------------|----------------------|
| - Diametro nominale | 9 mm |
| - Sezione equi-pesante della barra | 14,9 mm ² |
| - Carico di rottura a trazione | >16 kN |
| - Carico di rottura a taglio | >8 kN |
| - Modulo elastico della barra | >160 GPa |
| - Deformazione a rottura | 0,56 % |

3.11.3 Elementi di completamento tipo "G-MESH FAZZOLETTO" e "G-MESH ANGOLARE"

Elementi realizzati in rete preformata in fibra di vetro alcali resistente aventi le seguenti caratteristiche:

- | | |
|--------------------------------------|----------------------------|
| - Grammatura | 490 g/m ² |
| - Resistenza a trazione della rete | 60 kN/m in trama ed ordito |
| - Modulo elastico a trazione | ≥ 25 GPa |
| - Dimensioni della maglia della rete | 80x80 mm |

3.11.4 Malta tipo "MX-RW Alte Prestazioni"

Malta strutturale premiscelata, ad alta pozzolanicità e basso contenuto di sali (Sali solubili, solfati, cloruri, nitriti/nitrati), tixotropica, monocomponente, fibrorinforzata con fibre di polipropilene, conforme alla UNI EN 998-2, traspirabile e fortemente adesiva, avente le seguenti caratteristiche:

- | | |
|-------------------------------------|-----------------|
| - Resistenza a compressione a 28 gg | $\geq 49,5$ MPa |
| - Resistenza a flessione a 28 gg | $\geq 5,5$ MPa |
| - Modulo elastico a 28 gg | ≥ 15 GPa |
| - Adesione al supporto | $\geq 0,6$ MPa |

La malta utilizzata per l'intonaco armato risulta compatibile con il carattere storico-monumentale del bene, in quanto costituita da legante idraulico ad alta pozzolanicità e a basso contenuto di Sali

e da inerti selezionati. Pertanto, la sua particolare composizione esclude la possibilità di reazioni chimiche con Sali presenti nelle murature degli edifici storici.

3.12 Barre elicoidali per cuciture a secco

Il collegamento trasversale di paramenti non ammorsati è realizzato con cuciture a secco con barre elicoidali in acciaio inox AISI 304 o AISI 316 tipo “Kimisteel INOX-X-BAR” aventi le seguenti caratteristiche:

- | | |
|--------------------------------------|----------------------|
| - Diametro nominale | 12 mm |
| - Area nominale della barra | 27,5 mm ² |
| - Carico di rottura a trazione | >24,25 kN |
| - Tensione di rottura a trazione | >882 MPa |
| - Carico di rottura a taglio | >12,5 kN |
| - Tensione di snervamento | >718 kN |
| - Deformazione a rottura della barra | >2,8 % |
| - Modulo elastico | >140 GPa |