

[illegible]

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	4
3.1. Stato di fatto	4
3.2. Destinazione d'uso, classe d'uso e periodo di riferimento dell'azione sismica	5
4. INDAGINI CONOSCITIVE.....	8
4.1. Indagini sulle strutture	8
5. MATERIALI.....	9
5.1. Materiali esistenti	9
5.1.1. Muratura.....	9
5.1.1.1. Livello di conoscenza e fattore di confidenza	11
5.1.1.2. Valori da utilizzare nelle verifiche	12
5.1.2. Acciaio d'armatura.....	14
5.1.3. Acciaio da carpenteria metallica esistente	14
5.1.4. Calcestruzzo	15
5.2. Materiali elementi nuova realizzazione.....	15
5.2.1. Elementi in calcestruzzo	15
5.2.2. Elementi in acciaio	15
5.2.3. Legno per travi nuovi solai.....	16
5.2.3.1. Classe di durata del carico	16
5.2.3.2. Classi di servizio.....	17
5.2.3.3. Resistenze di progetto.....	17
5.2.4. Elementi in muratura	19

1. PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione sui materiali del **progetto esecutivo per la ristrutturazione ed il miglioramento sismico della Palazzina del prefetto del complesso "Caserma Reginato", sita in via Pracchiuss n. 16 a Udine.**

Il compendio denominato Ex "Caserma Reginato" è destinato ad ospitare i nuovi uffici della Prefettura – Ufficio territoriale del Governo di Udine. Inoltre, sempre nell'ambito dello stesso compendio, è previsto di allocare, nella palazzina adiacente al chiostro, il nuovo alloggio del Prefetto di Udine.

Oggetto del presente progetto è il recupero della palazzina da adibire ad abitazione del Prefetto - allibrato alla Scheda Patrimoniale **UDB0164**. Nella sua globalità il recupero del complesso storico è stato organizzato in una fase relativa alla ristrutturazione del chiostro destinato ad ospitare gli uffici della Prefettura ed una la seconda fase, oggetto del presente progetto, volta a completare la riconversione definitiva del compendio comprendendo i lavori necessari alla realizzazione del nuovo alloggio del Prefetto.

Descrizione sintetica degli interventi – Gli interventi previsti riguardano il consolidamento delle strutture, l'efficientamento energetico, la ristrutturazione completa degli interni e degli esterni nonché la realizzazione completa dei nuovi impianti al fine di adibire la palazzina ad uso residenziale.

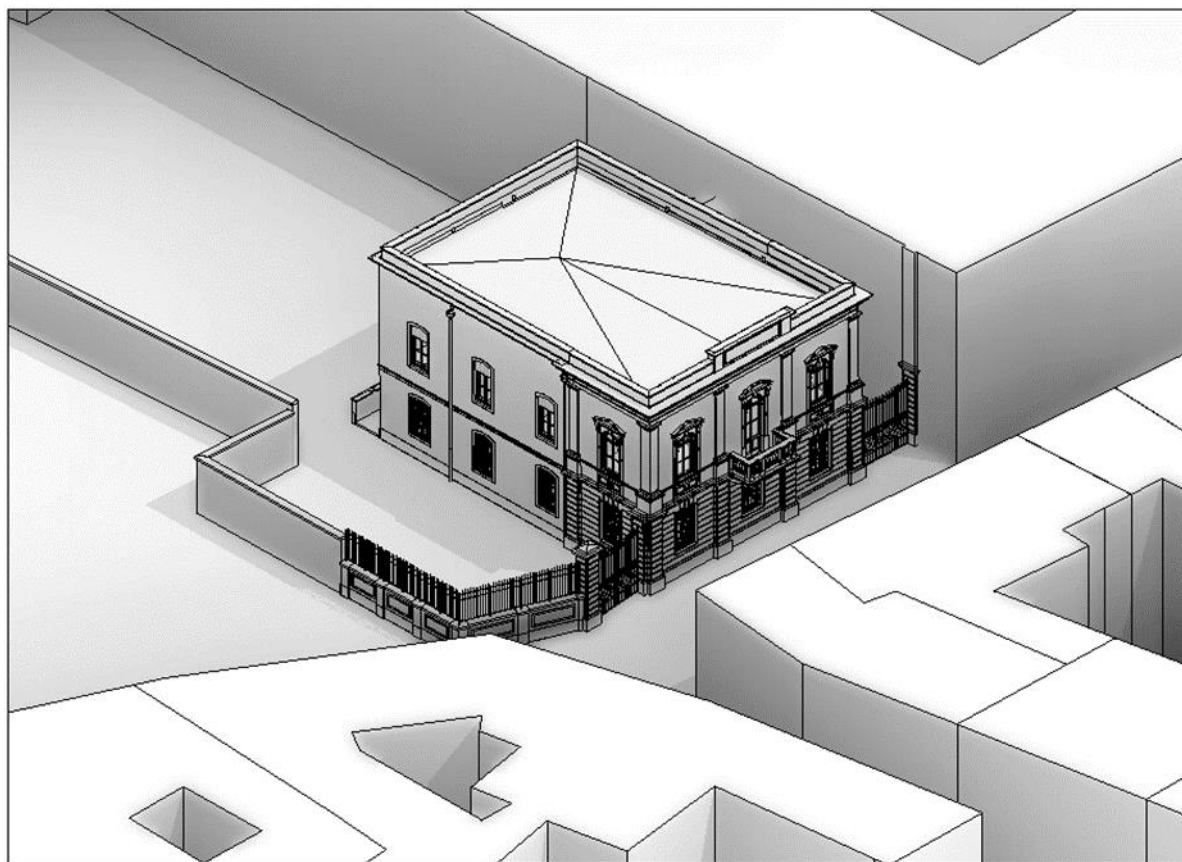


Figura1 - Veduta tridimensionale del progetto

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI di cui al D.M. 17/01/2018 (NTC 2018).
- CIRCOLARE 21 Gennaio 2019
- Ministero per i Beni e le Attività Culturali. Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni. Luglio 2006
- DM 14/01/2011: Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008

Nell'edificio in esame non è stato eseguito rilievo geometrico – strutturale ne sono stati indagati i materiali di alcuni elementi, come balcone, scale e tunnel di collegamento, oppure le informazioni sono parzialmente mancanti ai fini dell'esecuzione delle verifiche. Al fine di confermarne o meno l'idoneità statica viene fatto riferimento alla *"Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 9 febbraio 2011: Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008"*, norma specifica per la tutela degli edifici storici di interesse culturale in zona sismica. La norma in particolare consente di scegliere gli interventi più opportuni per il rispetto del bene culturale senza fare riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018).

3. DESCRIZIONE DELL'OPERA

3.1. Stato di fatto

La palazzina, in ultima destinazione d'uso come desunto dalla documentazione ricevuta in fase di gara, pare essere stata residenziale ad entrambi i piani.

La facciata principale (sud) su via Pracchiuso si presenta con aspetto 'classico', ripropone la tripartizione planimetrica tramite uno schema prospettico segnato da bugnati e lesene verticali. È arricchita da fregi e cornici a decoro dei fori finestrati, dei marcapiani e del terrazzo a servizio della finestra centrale al primo piano. I lati est ed ovest riportano per la prima campata finestrata la medesima finitura a fregio bugnato verticale (circa 1/3 della lunghezza), mentre il restante sviluppo fino al fronte nord, è più modesto e trattato di semplice intonaco con cromia che lascia distinguere la parte basamentale dal primo piano nobile. I fori finestra sono di ampia dimensione, presentano serramenti lignei con tapparelle di chiusura (al primo piano) mentre al piano terra sono installate delle inferriate di protezione.

Un cornicione ad aggetto sporge dai fronti e disegna l'attacco tra facciate e copertura. Il tetto è piano e finito perimetralmente da una fascia muraria di chiusura. I pluviali sono installati a vista nei prospetti est, ovest e nord lasciando libero il fronte principale. Caratteristico è il volume della ex passerella che collegava al primo piano est la residenza all'ex-ospedale militare. La passerella è oggi chiusa come è possibile vedere dalla documentazione fotografica.



Figura 2: Collegamento tra edificio oggetto di intervento e la Caserma

L'edificio è composto da due piani fuori terra, ha sviluppo planimetrico con forma rettangolare irregolare delle dimensioni di 18,7 x 13,7 mt ed ha copertura piana. La struttura portante dell'immobile è data dai muri portanti perimetrali e dai muri di spina al cui interno, e talvolta in spessore, si trovano strutture verticali in mattoni piani con distribuzione ad intervalli abbastanza regolari. La planimetria si presenta pressoché identica al piano terra e primo, l'impianto è di tipo tripartito con corridoio centrale di distribuzione ai vari ambienti che si aprono sui lati.



Figura 3: Grado di commistione della tessitura muraria

Tessiture in mattone pieno definiscono anche spallette ed architravi delle finestre, delle porte interne ed esterne, degli spigoli dell'edificio al piano terra fino alla copertura. Il resto dei muri portanti è costituito da sassi di piccole e medie dimensioni intervallati da corsi di mattoni pieni con funzione di collegamento strutturale.

I solai sono realizzati da profili in acciaio tipo IPE160 ad interasse di 100 cm ed interposte voltine in laterizio forato in appoggio ai profili e al laterizio orizzontale agganciato all'ala del profilo che realizza la soffittatura orizzontale. Spessore solaio del primo piano è di ca. 30 cm, 40 cm per il solaio di copertura.

Le altezze dei locali sono generose: 3,57 mt al piano terra (al controsoffitto esistente) e 3,84 mt al piano primo.

Sono minimi gli impianti presenti, pressoché nulle le tracce per impianti termici e sanitari ed elettrici, decisamente vetusti.

3.2. Destinazione d'uso, classe d'uso e periodo di riferimento dell'azione sismica

La vita nominale V_N dell'opera strutturale in oggetto è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

L'effettiva durata della costruzione non è valutabile in sede progettuale, venendo a dipendere da eventi futuri fuori dal controllo del progettista. Di fatto, la grande maggioranza delle costruzioni ha avuto ed ha, anche attraverso successivi interventi di ripristino manutentivo, una durata effettiva molto maggiore della vita nominale quantificata nelle NTC.

La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella indicata nella Tab. 2.4.I del D.M.18 di seguito riportata.

Tabella 2.4.I – Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Tabella 1 - Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

Con riferimento alla tabella precedente si evidenzia che, ai sensi e per gli effetti del Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 3685 del 21 ottobre 2003 il carattere strategico di un'opera o la sua rilevanza per le conseguenze di un eventuale collasso, sono definiti dalla classe d'uso.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso, come definite nel D.M. 18.

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Tale valore riveste notevole importanza in quanto, assumendo che la legge di ricorrenza dell'azione sismica sia un processo Poissoniano, è utilizzato per valutare, fissata la probabilità di superamento P_{VR} corrispondente allo stato limite considerato (Tabella 3.2.1 della NTC), il periodo di ritorno T_R dell'azione sismica cui fare riferimento per la verifica.

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Valori del coefficiente d'uso

Nello specifico si considera quanto segue:

► VITA NOMINALE DI PROGETTO (TAB. 2.4.I §2.4.1 NTC 2018)

Tipo di costruzione

Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari

Valore minimo vita nominale di progetto V_N (anni)

50

► **CLASSI D'USO (§2.4.2 NTC 2018)**

Classe d'uso dell'opera

Classe II

Descrizione:

Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

► **PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA (TAB. 2.4.II §2.4.3 NTC 2018)**

Classe d'uso dell'opera

Classe II

Coefficiente d'uso C_u

1

Periodo di riferimento V_R (anni)

50

4. INDAGINI CONOSCITIVE

4.1. Indagini sulle strutture

Nell'ambito della campagna di indagini per la valutazione di vulnerabilità sismica dell' "ex Caserma Reginato", sono state eseguite le seguenti prove ed indagini:

- N° 2 saggi localizzati per il rilievo delle strutture di fondazione;
- N° 1 prove con martinetti piatti doppi su paramenti in muratura;
- N° 15 saggi per la verifica degli ammorsamenti murari o della tessitura;
- N° 9 indagini endoscopiche su paramenti murari;
- N° 6 indagini endoscopiche su orizzontamenti;
- N° 4 rimozioni di intonaco per il rilievo geometrico degli architravi;
- N° 11 rimozioni di intonaco per la verifica dell'orditura e tipologia di solaio;
- N° 6 saggi su muratura per la verifica della lunghezza di appoggio di profili metallici;
- N° 5 prove con durometro portatile su elementi metallici;
- N° 2 prove di infissione su malta di allattamento;
- N° 2 prelievi di malta di allattamento e studio petrografico di analisi in sezione sottile;

La campagna di indagine, pianificata in accordo con la Committenza e la Soprintendenza competente, prevede principalmente attività non distruttive o scarsamente distruttive da eseguirsi in situ.

L'area oggetto di indagine comprende la palazzina esistente di due piani fuori terra che volge il prospetto SUD verso via Pracchiussio e ubicata ad EST del chiostro dell'ex ospedale.

5. MATERIALI

5.1. Materiali esistenti

5.1.1. Muratura

Con riferimento al livello di conoscenza riportato nel seguito, in base a quanto riportato nel §C8.5.4.1, si adotteranno i valori dei parametri meccanici definiti di seguito:

resistenze: medie degli intervalli riportati nella Tabella C.8.5.I della CNTC18 per la tipologia muraria in considerazione;

moduli elastici: valori medi degli intervalli riportati nella tabella suddetta.

Nel caso in cui la muratura presenti caratteristiche migliori rispetto ai suddetti elementi di valutazione, le caratteristiche meccaniche saranno ottenute, a partire dai valori riportati nella tabella suddetta, applicando i coefficienti indicati nella Tabella C8.5.II, secondo le seguenti modalità:

malta di buone caratteristiche: il coefficiente indicato in Tabella C8.5.II della CNTC18, diversificato per le varie tipologie, si può applicare sia ai parametri di resistenza (f_m, τ_0, f_{v0}), sia ai moduli elastici (E e G);

presenza di ricorsi (o listature): il coefficiente di tabella si può applicare ai soli parametri di resistenza (f_m, τ_0); tale coefficiente ha significato solo per alcune tipologie murarie, in cui si riscontra tale tecnica costruttiva;

presenza sistematica di elementi di collegamento trasversale tra i paramenti: il coefficiente indicato in tabella si può applicare ai soli parametri di resistenza (f_m, τ_0, f_{v0}).

Per quanto riguarda gli elementi in muratura, in base a quanto riportato nel §7.8.1.1 delle NTC18, il coefficiente parziale di sicurezza da utilizzare per il progetto sismico di strutture in muratura è pari a 2.

Con riferimento a quanto riportato nel §C8.7.1.3.1.1 della CNTC18, nel caso di analisi elastica con il fattore di comportamento q , il valore di calcolo del generico parametro di resistenza $[R_{m,d}]$ del materiale da utilizzare nelle verifiche si ricava dividendo il valore medio $[R_m]$ per il fattore di confidenza (FC) e per il coefficiente parziale di sicurezza del materiale γ_m :

$$R_{m,d} = \frac{R_m}{FC \cdot \gamma_m}$$

Nel caso di analisi non lineari, i valori di calcolo delle resistenze da utilizzare sono ottenuti dividendo i valori medi per i rispettivi fattori di confidenza ($\gamma_m = 1$):

$$R_{m,d} = \frac{R_m}{FC}$$

Relativamente all'opera in oggetto, si differenziano i seguenti materiali:

- Strutture in elevazione: Muratura
 - Fondazioni: Muratura
- Solai: Putrelle in acciaio e tavelloni

Grazie ai microcarotaggi e ai martinetti doppi è stato possibile appurare la natura costruttiva delle murature, sia perimetrali che di spina. Si individuano le seguenti tipologie murarie in riferimento alla Tabella C8.5.:

- Le murature perimetrali sono costituite da Muratura in pietrame disordinata.



Figura 4: Muratura esterna

- Le murature interne invece sono costituite da muratura in mattoni pieni con malta di calce.

Tabella C8.5.I -Valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura, da usarsi nei criteri di resistenza di seguito specificati (comportamento a tempi brevi), e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura. I valori si riferiscono a: f = resistenza media a compressione, τ_0 = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3), f_{v0} = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3), E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio.

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 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.

Figura 5: Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura

Si considera il coefficiente migliorativo per la presenza di connessioni trasversali, da applicarsi ai soli parametri meccanici della muratura in mattoni pieni e malta di calce:

Tabella C8.5.II -Coefficienti correttivi massimi da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato; ristilatura armata con connessione dei paramenti.

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 2 - Coefficienti correttivi dei parametri meccanici per le diverse tipologie di muratura

5.1.1.1. Livello di conoscenza e fattore di confidenza

Ai fini della scelta del tipo di analisi e dei valori dei fattori di confidenza (§C8.5.IV – Circolare Esplicativa 21.01.2019 n.7/C.S.LL.PP.) vengono definiti i tre livelli di conoscenza seguenti (§C8.5.IV - Circolare Esplicativa 21.01.2019 n.7/C.S.LL.PP.):

- LC1: Conoscenza Limitata;
- LC2: Conoscenza Adeguata;
- LC3: Conoscenza Accurata.

Gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono:

- *geometria*, ossia le caratteristiche geometriche degli elementi strutturali;
- *dettagli strutturali*, ossia la quantità e disposizione delle armature, la consistenza degli elementi non strutturali collaboranti;
- *materiali*, ossia le proprietà meccaniche dei materiali.

Nel caso in esame:

- essendo stata effettuata l'analisi storico critica ai sensi del §8.5.1 NTC 18, finalizzata a comprendere le vicende costruttive, i dissesti, i fenomeni di degrado, i cedimenti subiti dall'edificio e le trasformazioni operate dall'uomo che possono aver prodotto cambiamenti nell'assetto statico originario. In particolare essendo noti:
 1. l'epoca di costruzione;
 2. le tecniche, le regole costruttive e le norme tecniche dell'epoca di costruzione;
 3. la forma originaria e le successive modifiche;
 4. i traumi subiti e le alterazioni delle condizioni al contorno;
 5. le deformazioni, i dissesti e i quadri fessurativi;
 6. gli interventi di consolidamento pregressi.
- essendo, ai sensi del §8.5.2 NTC 18, la geometria della struttura nota in base al rilievo geometrico-strutturale completo ed essendo i dettagli costruttivi noti sia da un'estesa verifica in-situ che da disegni costruttivi. In particolare essendo noti:
 1. la tipologia dei materiali impiegati;
 2. la presenza o meno di un buon grado di ammorsamento tra i diversi elementi strutturali;
 3. l'organizzazione strutturale;
 4. la posizione e le dimensioni di pareti, travi, pilastri e scale;
 5. la tipologia, orditura e sezione verticale degli orizzontamenti;
 6. la tipologia e dimensione degli elementi non strutturali.
- 7. essendo, ai sensi del §8.5.2 NTC 18, state eseguite *prove estese* sulle caratteristiche meccaniche dei materiali (vedasi a tal proposito l'apposito elaborato).

Si intende raggiunto un Livello di Conoscenza **LC2**, a cui corrisponde un Fattore di Confidenza **FC=1.2**.

5.1.1.2. Valori da utilizzare nelle verifiche

Nella tabella seguente si elencano le caratteristiche meccaniche medie adottate per le diverse parti rilevate nell'opera.

Muratura

Descrizione: (circ. 617 C8A.2) Muratura in mattoni pieni e malta di calce LC2 Connessione trasversale

E daN/cm^2 32000 ν 0.25 α $^{\circ}\text{C}^{-1}$ 0.000006 γ daN/cm^3 0.0018

D.M. 14-01-08 / D.M. 17-01-18 (N.T.C.)
Livello di conoscenza LC2 (FC = 1.2)

D.M. 20/11/1987 CIRC. 21745 30/07/1981 OPCM 3431 / N.T.C. 2005 D.M. 14-01-08 D.M. 17-01-18

Blocchi
Tipo di blocchi Laterizio
Categoria blocchi II
fbk_ daN/cm^2 12
fbk daN/cm^2 60

Malta
fm daN/cm^2 25
Tipo malta Composizione prescritta
Tipo di malta per fv0 Ordinaria
Giunti verticali a secco ☐

Classe di esecuzione 2 γ_M 3
Curva Bilineare (4 punti) Modifica

Muratura
Tessitura Regolare μ 0.4 ϕ Default (0.767) μ Default (0.577)

Nuovo Esistente

Tipologia di muratura
Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Tipologia di miglioramento
☒ Malta buona
☒ Connessione trasversale
☐ Iniezione di miscele leganti
☐ Intonaco armato
☐ Ristilatura armata con connessione dei paramenti
☐ Giunti con spessore maggiore di 13 mm

Esistente
f medio daN/cm^2 Default (44.85)
 τ_0 medio daN/cm^2 Default (1.17)
fv0 medio daN/cm^2 Default (2.6)
fh medio daN/cm^2 Default (22.43)
Pushover
E medio daN/cm^2 Default (15000)
G medio daN/cm^2 Default (5000)

Tabella C8.5.I - Tabella C8.5.II (Circolare 7 21-01-19)

Descrizione o nome assegnato all'elemento. OK Annulla

Figura 6: Caratteristiche meccaniche di progetto per le pareti interne in muratura di mattoni pieni

Muratura

Descrizione: (circ. 617 C8A.2) Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari) LC2

E daN/cm^2 8000 ν 0.25 α $^{\circ}\text{C}^{-1}$ 0.000006 γ daN/cm^3 0.0019

D.M. 14-01-08 / D.M. 17-01-18 (N.T.C.)
Livello di conoscenza LC2 (FC = 1.2)

D.M. 20/11/1987 CIRC. 21745 30/07/1981 OPCM 3431 / N.T.C. 2005 D.M. 14-01-08 D.M. 17-01-18

Blocchi
Tipo di blocchi Altro
Categoria blocchi II
fbk_ daN/cm^2 5
fbk daN/cm^2 25

Malta
fm daN/cm^2 25
Tipo malta Composizione prescritta
Tipo di malta per fv0 Ordinaria
Giunti verticali a secco ☐

Classe di esecuzione 2 γ_M 3
Curva Bilineare (4 punti) Modifica

Muratura
Tessitura Irregolare μ 0.2 ϕ Default (3.27) μ Default (0.577)

Nuovo Esistente

Tipologia di muratura
Muratura in pietrame disordinata

Tipologia di miglioramento
☐ Malta buona
☐ Ricorsi o listature
☐ Connessione trasversale
☐ Iniezione di miscele leganti
☐ Intonaco armato
☐ Ristilatura armata con connessione dei paramenti

Esistente
f medio daN/cm^2 Default (15)
 τ_0 medio daN/cm^2 Default (0.25)
fv0 medio daN/cm^2 Non presente
fh medio daN/cm^2 Default (7.5)
Pushover
E medio daN/cm^2 Default (8700)
G medio daN/cm^2 Default (2900)

Tabella C8.5.I - Tabella C8.5.II (Circolare 7 21-01-19)

Descrizione o nome assegnato all'elemento. OK Annulla

Figura 7: Caratteristiche meccaniche di progetto per le pareti perimetrali esterne in muratura di pietrame disordinata

5.1.2. Acciaio d'armatura

Per quanto riguarda l'acciaio d'armatura si assume acciaio AQ50 ($f_{yk} = 270$ MPa, $f_{yd} = 174$ MPa), come in uso all'epoca di costruzione.

Tabella 1 - Evoluzione temporale delle principali indicazioni normative relative alla classificazione degli acciai di armatura

Normativa	R.D.L. n°2229/1939			LL.PP. n°1472/1957				D.M.30/05/1972					D.M. 30/05/1974			
Tipologia	liscio			liscio			a.m.	liscio			aderenza migliorata (a.m.)		liscio		a.m.	
Denominazione	Dolce	Semi duro	Duro	Aq42	Aq50	Aq60		FeB22	FeB32	A38	A41	FeB44	FeB22	FeB32	FeB38	FeB44
Snervamento (kgf/mm ²)	≥ 23	≥ 27	≥ 31	≥ 23	≥ 27	≥ 31	/	≥22	≥32	≥38	≥41	≥44	≥22	≥32	≥38	≥44
Rottura (kgf/mm ²)	42-50	50-60	60-70	42 - 50	50 - 60	60-70	/	≥34	≥50	≥46	≥50	≥55	≥34	≥50	≥46	≥55
Allungamento (%)	≥ 20	≥ 16	≥ 14	≥ 20	≥ 16	≥ 14	≥ 12	≥24	≥23	≥14	≥14	≥12	≥24	≥23	≥14	≥12

Di conseguenza, non essendo state eseguite prove di rottura a trazione sulle barre, si ha **LC1, FC = 1.35**.

5.1.3. Acciaio da carpenteria metallica esistente

Non essendo state eseguite prove sull'acciaio si fa riferimento alle consuetudini progettuali dell'epoca di costruzione dell'edificio, nonché su esperienze pregresse su edifici di tipologia analoga e ricerche bibliografiche approfondite (cfr. Reluis, Resistenza sperimentale di acciai e calcestruzzi nel periodo 1926-1950, B. Dal Lago, N. Cefis, M. Beltrame, A. Coppolino, M. Rubia).

L'acciaio tipicamente utilizzato per gli elementi di carpenteria era caratterizzato da valori medi di resistenza a trazione compresi tra 500 e 800 MPa, valori in linea con le categorie di maggior qualità degli acciai impiegati oggi per medesime applicazioni (corrispondenti all'incirca alla fascia S355-S450).

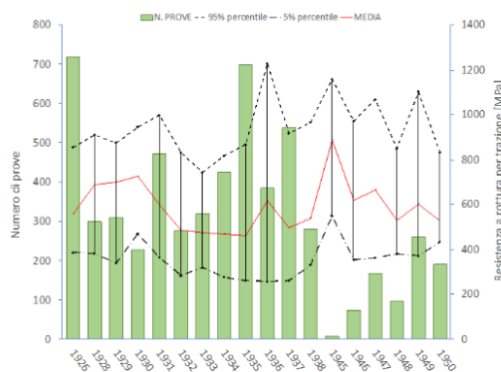


Figure 5. Population-strength graph related to carpentry in the period 1926-1950 / Grafico popolosità-resistenza relativo alla carpenteria nel periodo 1926-1950

Per il caso in esame, a favore di sicurezza, si assume cautelativamente acciaio con resistenza a snervamento sensibilmente minore rispetto a quanto riportato sopra, e pari ad un S235 odierno.

Si utilizza **LC1, FC = 1.35** per le strutture in acciaio del tunnel, che vengono recuperate.

Per i solai esistenti si utilizza invece **LC3, FC = 1**, dimostrando che i solai non sono verificati, e quindi l'intervento di sostituzione previsto è giustificato, pur nell'eventualità di porsi nelle condizioni normative più favorevoli.

5.1.4. Calcestruzzo

I soli elementi in calcestruzzo per il caso in esame sono presenti nel tunnel di collegamento e nella scala. Non essendo state eseguite prove sul calcestruzzo si fa riferimento alle consuetudini progettuali dell'epoca di costruzione dell'edificio, nonché su esperienze pregresse su edifici di tipologia analoga e ricerche bibliografiche approfondite (cfr. Reluis, Resistenza sperimentale di acciai e calcestruzzi nel periodo 1926-1950, B. Dal Lago, N. Cefis, M. Beltrame, A. Coppolino, M. Rubia).

In base alle conoscenze e tecnologie dell'epoca è lecito supporre che le resistenze dei conglomerati fossero mediamente più scarse rispetto alle attuali. In particolare per il caso in esame si assume, a favore di sicurezza, che sia stato utilizzato un calcestruzzo di media resistenza per gli standard dell'epoca e quindi corrispondente ad un calcestruzzo di bassa resistenza odierno, quale il C20/25..

Di conseguenza, si ha **LC1, FC = 1.35**.

Si fa notare in ogni caso come la resistenza delle sezioni inflesse sia scarsamente influenzata dalla resistenza a compressione del calcestruzzo utilizzato.

5.2. Materiali elementi nuova realizzazione

5.2.1. Elementi in calcestruzzo

► Caratteristiche del calcestruzzo (§3.1 EN 1992-1-1:2005, §11.2.10 NTC 2018)

Classe di resistenza		C25/30	
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck} =$	30	MPa
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} =$	25	MPa
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$	14.17	MPa
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione media	$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	33	MPa
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} =$	1.80	MPa
Resistenza di progetto a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.20	MPa
Resistenza media a trazione	$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} =$	2.56	MPa
Resistenza a trazione per flessione	$f_{ctm} = 1.2 \cdot f_{ctm} =$	3.08	MPa
Modulo elastico medio	$E_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	31476	N/mm ²
Coefficiente di Poisson (calcestruzzo fessurato)	$\nu =$	0	-
Coefficiente di Poisson (calcestruzzo non fessurato)	$\nu =$	0.2	-
Peso specifico	$\gamma_{c.a.} =$	25	kN/m ³
Coefficiente di dilatazione termica	$\alpha =$	0.00001	°C ⁻¹

► Classe di resistenza minima raccomandata (Prospetto 4.3N EN 1992-1-1:2005)

Corrosione indotta da carbonatazione

Classe di esposizione (prospetto 4.1 EN 1992-1-1:2005)	XC1
Classe di resistenza minima	C25/30
Rapporto massimo a/c	0.6
Contenuto minimo di cemento (kg/m ³)	300
Contenuto minimo di aria (%)	-
Altri requisiti	-

5.2.2. Elementi in acciaio

► Classe di resistenza acciaio (EN 1993-1-1:2005+A1:2014, EN 10025-2:2019)

Classe di resistenza	S355JR	
Spessore dell'elemento	$t =$	$t \leq 40$ mm

Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} =$	355	MPa
Tensione caratteristica a rottura	$f_u =$	490	MPa
Spessore dell'elemento	$t =$	$40 \text{ mm} \leq t \leq 80 \text{ mm}$	mm
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} =$	335	MPa
Tensione caratteristica a rottura	$f_u =$	470	MPa

► **Modulo elastico, coefficiente di Poisson**

Modulo elastico:	$E_s =$	210000	
Coefficiente di Poisson:	$\nu =$	0.3	
Coefficiente di dilatazione termica:	$\alpha =$	1.2×10^{-5}	$^{\circ}\text{C}^{-1}$

► **Coefficienti di sicurezza**

Resistenza sezioni (cl. 1+4):	$\gamma_{s,M0} =$	1.05
Resistenza instabilità membrature:	$\gamma_{s,M1} =$	1.05
Resistenza sezioni indebolite dai fori:	$\gamma_{s,M2} =$	1.25
Resistenza a fatica, rispetto a D_{SD} e D_{TD} :	$\gamma_{M,f} =$	1.35

5.2.3. Legno per travi nuovi solai

5.2.3.1. Classe di durata del carico

Le azioni di progetto devono essere assegnate ad una delle classi di durata del carico elencate nella Tab. 4.4.I delle NTC18.

Tab. 4.4.I - Classi di durata del carico

Classe di durata del carico	Durata del carico
Permanente	più di 10 anni
Lunga durata	6 mesi - 10 anni
Media durata	1 settimana - 6 mesi
Breve durata	meno di 1 settimana
Istantaneo	--

Classi di durata del carico

Le classi di durata del carico si riferiscono a un carico costante attivo per un certo periodo di tempo nella vita della struttura. Ai fini del calcolo in genere si può assumere quanto segue:

- il peso proprio e i carichi non rimovibili durante il normale esercizio della struttura, appartengono alla classe di durata permanente;
- i carichi permanenti suscettibili di cambiamenti durante il normale esercizio della struttura e i carichi variabili relativi a magazzini e depositi, appartengono alla classe di lunga durata;
- i carichi variabili degli edifici, ad eccezione di quelli relativi a magazzini e depositi, appartengono alla classe di media durata;
- il sovraccarico da neve riferito al suolo q_{sk} , calcolato in uno specifico sito ad una certa altitudine, è da attribuire ad una classe di durata del carico da considerarsi in funzione delle caratteristiche del sito per altitudini di riferimento a_s inferiori a 1000 m, mentre è da considerarsi almeno di media durata per altitudini a_s superiori o uguali a 1000 m;
- l'azione del vento medio appartiene alla classe di breve durata;

l'azione di picco del vento e le azioni eccezionali in genere appartengono alla classe di durata istantanea.

Per la struttura in esame abbiamo:

- classe di durata del carico "permanente" – più di 10 anni per i carichi permanenti;
- classe di durata del carico "media durata" – 1 settimana/6 mesi per i carichi variabili;

- classe di durata del carico “media durata” – 1 settimana/6 mesi per il sovraccarico da neve;
- classe di durata del carico “breve durata” – meno di 1 settimana per l’azione del vento.

Se una combinazione di carico comprende azioni appartenenti a differenti classi di durata del carico si dovrà scegliere un valore di k_{mod} che corrisponde all’azione di minor durata.

5.2.3.2. Classi di servizio

Le strutture lignee (o parti di esse) devono essere assegnate ad una delle 3 classi di servizio elencate nella Tab. 4.4.II delle Norme Tecniche. Il sistema delle classi di servizio ha lo scopo di definire la dipendenza delle resistenze di progetto e dei moduli elastici del legno e materiali da esso derivati dalle condizioni ambientali.

Tab. 4.4.II - Classi di servizio

Classe di servizio 1	È caratterizzata da un’umidità del materiale in equilibrio con l’ambiente a una temperatura di 20 °C e un’umidità relativa dell’aria circostante che non superi il 65%, se non per poche settimane all’anno.
Classe di servizio 2	È caratterizzata da un’umidità del materiale in equilibrio con l’ambiente a una temperatura di 20 °C e un’umidità relativa dell’aria circostante che superi l’85% solo per poche settimane all’anno.
Classe di servizio 3	È caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2.

In particolare per il caso in esame le travi in legno lamellare sono di classe 1, essendo interne.

5.2.3.3. Resistenze di progetto

La durata del carico e l’umidità del legno influiscono sulle proprietà resistenti del legno. Il valore di calcolo X_d di una proprietà del materiale (o della resistenza di un collegamento) viene calcolato mediante la relazione ricavata nel §4.4.6 delle NTC18:

$$X_d = \frac{k_{mod} X_k}{\gamma_M}$$

dove:

- X_k è il valore caratteristico della proprietà del materiale;
- γ_M è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al materiale;
- k_{mod} è un coefficiente correttivo che tiene conto dell’effetto, sui parametri di resistenza, sia della durata del carico sia dell’umidità della struttura, elencato nella seguente tabella:

Tab. 4.4.IV - Valori di k_{mod} per legno e prodotti strutturali a base di legno

Materiale	Riferimento	Classe di servizio	Classe di durata del carico				
			Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantanea
Legno massiccio	UNI EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
Legno lamellare incollato (*)	UNI EN 14080	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
LVL	UNI EN 14374, UNI EN 14279	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Compensato	UNI EN 636:2015	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Pannello di scaglie orientate (OSB)	UNI EN 300:2006	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85
		OSB/3	1	0,40	0,50	0,70	0,90
		OSB/4	2	0,30	0,40	0,55	0,70
Pannello di particelle (truciolare)	UNI EN 312:2010	Parti 4, 5	1	0,30	0,45	0,65	0,85
		Parte 5	2	0,20	0,30	0,45	0,60
		Parti 6, 7	1	0,40	0,50	0,70	0,90
		Parte 7	2	0,30	0,40	0,55	0,70
Pannello di fibre, pannelli duri	UNI EN 622-2:2005	HB.LA	1	0,30	0,45	0,65	0,85
		HB.HLA 1 o 2	2	0,20	0,30	0,45	0,60
		MBH.LA 1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80
Pannello di fibre, pannelli semiduri	UNI EN 622-3:2005	MBH.HLS 1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80
		2	-	-	-	0,45	0,80
Pannello di fibra di legno, ottenuto per via secca (MDF)	UNI EN 622-5:2010	MDF.LA	1	0,20	0,40	0,60	0,80
		MDF.HLS	2	-	-	-	0,45
		MDF.HLS	2	-	-	-	0,45

Per i materiali non compresi nella Tabella si potrà fare riferimento ai pertinenti valori riportati nei riferimenti tecnici di comprovata validità indicati nel Capitolo 12, nel rispetto dei livelli di sicurezza delle presenti norme.

(*) I valori indicati si possono adottare anche per i pannelli di tavole incollate a strati incrociati, ma limitatamente alle classi di servizio 1 e 2.

Valori di k_{mod} per legno

Il coefficiente γ_M è stato valutato secondo la colonna A della tabella 4.4.III delle NTC2018.

Tab. 4.4.III - Coefficienti parziali γ_M per le proprietà dei materiali

Stati limite ultimi	Colonna A γ_M	Colonna B γ_M
combinazioni fondamentali		
legno massiccio	1,50	1,45
legno lamellare incollato	1,45	1,35
pannelli di tavole incollate a strati incrociati	1,45	1,35
pannelli di particelle o di fibre	1,50	1,40
LVL, compensato, pannelli di scaglie orientate	1,40	1,30
unioni	1,50	1,40
combinazioni eccezionali	1,00	1,00
Per i materiali non compresi nella Tabella si potrà fare riferimento ai pertinenti valori riportati nei riferimenti tecnici di comprovata validità indicati nel Capitolo 12, nel rispetto dei livelli di sicurezza delle presenti norme.		

Coefficiente parziale di sicurezza per gli elementi lignei

► Caratteristiche di rigidezza e resistenza legno lamellare incollato omogeneo (Tab. 5 §5.1.4.3, EN 14080:2013)

	GL 24h
Classe di resistenza	
Resistenza a flessione	$f_{m,k} = 24$ MPa
Resistenza a trazione parallela alla fibratura	$f_{t0,k} = 19,2$ MPa
Resistenza a trazione perpendicolare alla fibratura	$f_{t90,k} = 0,5$ MPa
Resistenza a compressione parallela alla fibratura	$f_{c0,k} = 24$ MPa
Resistenza a compressione perpendicolare alla fibratura	$f_{c90,k} = 2,5$ MPa
Resistenza a taglio	$f_{v,k} = 3,5$ MPa
Resistenza a rolling shear	$f_{r,k} = 1,2$ MPa
Modulo di elasticità long. medio in direzione parallela alla fibratura	$E_{0,m} = 11500$ N/mm ²
Modulo di elasticità long. caratteristico in direzione parallela alla fibratura	$E_{0,0.05} = 9600$ N/mm ²
Modulo di elasticità long. medio in direzione perpendicolare alla fibratura	$E_{90,m} = 300$ N/mm ²
Modulo di elasticità long. caratt. in direzione perpendicolare alla fibratura	$E_{90,0.05} = 250$ N/mm ²
Modulo a taglio medio	$G_m = 650$ N/mm ²
Modulo a taglio caratteristico	$G_{0.05} = 540$ N/mm ²
Rolling shear modulus	$G_{r,m} = 65$ N/mm ²
Modulo a rolling shear caratteristico	$G_{r,0.05} = 54$ N/mm ²
Densità caratteristica	$\rho_k = 385$ kg/m ³

Densità media

 $\rho_m =$
 420
 kg/m³

5.2.4. Elementi in muratura

- Categoria elementi resistenti: cat. I - Malta Prest. gar.
- Elementi per muratura portante conformi alla norma UNI EN 771
- Sistema di attestazione di conformità: 2+
- Classe malta: M 5
- Malta conforme alla norma UNI EN 998-2
- Resistenza caratteristica a taglio della muratura f_{vk} limitata
- Tipologia elemento: Laterizio semipieno

$\gamma_{m,stat}$	$\gamma_{m,din}$	f_{bk} [MPa]	f_{bkh} [MPa]	f_k [MPa]	f_{vk0} [MPa]	$f_{vk,lim}$ [MPa]	f_b [MPa]	E_{mur} [MPa]	G_{mur}	ν_{mur} [MPa]
2.00	2.00	6.00	6.00	3.62	0.10	0.39	6.00	3620.00	1448.00	0.25