



Università degli Studi di Firenze

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale



Ordine degli Ingegneri della Provincia di Pistoia

ANALISI E INTERVENTI STRUTTURALI SU EDIFICI IN MURATURA secondo le NTC 2008

CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA MURATURA

Ing. BARBARA ORTOLANI
ortolani@dicea.unifi.it

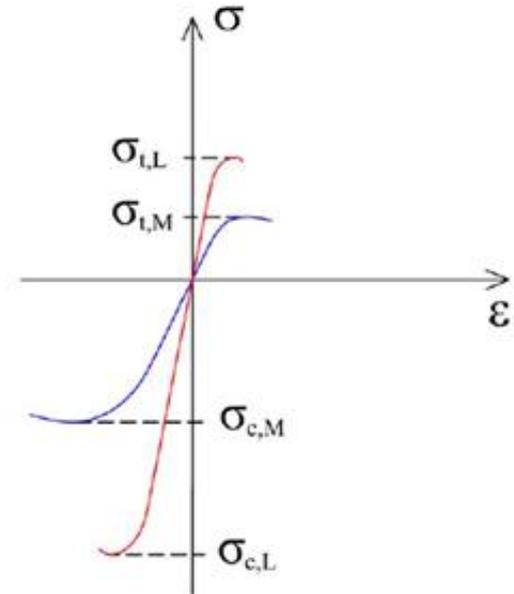
PISTOIA 28/09/2012

ASPETTI GENERALI

La muratura è un materiale disomogeneo, per la presenza di:

- blocchi pieni o perforati;
- giunti (letti) di malta continui;
- giunti di testa discontinui o continui

possiamo comunque schematizzarlo come materiale globalmente omogeneo ma anisotropo per resistenza e deformabilità.



Un “maschio murario” presenta dunque un comportamento strettamente legato alla risposta degli elementi costituenti: malta e mattone.

Il laterizio è caratterizzato da un comportamento elasto–fragile sia a trazione che a compressione: all’aumentare del tempo di cottura, i laterizi sono più resistenti ma diventano fragili.

Il comportamento della malta è fortemente influenzato dal legante impiegato e dal dosaggio.

Malta: acqua – inerte – legante.

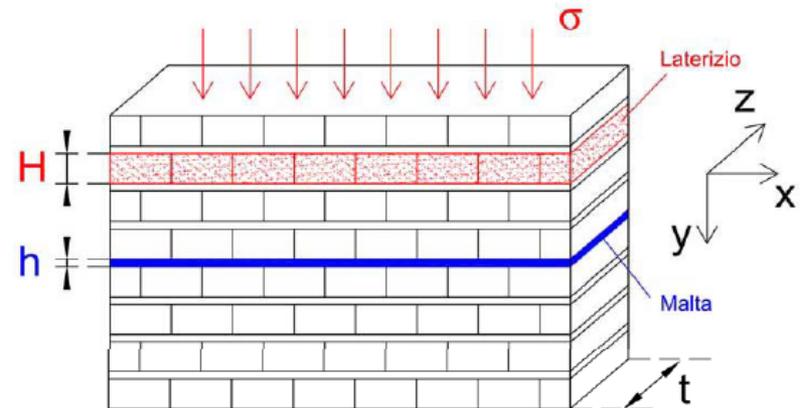
ASPETTI GENERALI

Il materiale “muratura” risente ovviamente delle caratteristiche dei materiali componenti ma nel suo complesso NON manifesta un comportamento medio tra i due, quanto piuttosto alcune specificità:

- innanzitutto la diversa deformabilità di malta e laterizio sono responsabili di stati tensionali in genere pluri-assiali che ne rendono complesso il comportamento.
- in secondo luogo la presenza di direzioni preferenziali nel materiale (corsi di malta, foratura del laterizio) conferiscono alla muratura un carattere fortemente ORTOTROPO per cui la resistenza non dipende solo dall'entità dei carichi applicati ma anche dalla loro direzione.

CASO STUDIO

Per comprendere la complessità del problema si può considerare il caso di una semplice compressione su un pannello murario costituito da mattoni e corsi di malta solo orizzontali:



ASPETTI GENERALI

Si supponga piccolo lo spessore t del pannello in modo che si possa considerare $\sigma_z^L = \sigma_z^M = 0$
in questa ipotesi si può allora ammettere che sulla muratura si instauri uno stato piano di tensione

Equilibrio alla traslazione in direzione y :

$$\sigma_y^L = \sigma_y^M = \sigma$$

Equilibrio alla traslazione in direzione x :

$$\sigma_x^M \cdot h + \sigma_x^L \cdot H = 0$$

$$\sigma_x^M + \gamma \cdot \sigma_x^L = 0 \quad \text{con } \gamma = \frac{H}{h}$$

Per la congruenza secondo x si ha:

$$\varepsilon^L = \frac{1}{E^L} (\sigma_x^L - \nu^L \sigma_y^L) = \varepsilon^M = \frac{1}{E^M} (\sigma_x^M - \nu^M \sigma_y^M)$$

dove: ε è la deformazione in direzione x
 E è il modulo elastico
 ν è il coeff. di Poisson

Posto

$$\alpha = \frac{E^L}{E^M} \cdot \frac{\nu^M}{\nu^L} \quad \beta = \frac{E^L}{E^M}$$

sostituendo si ottiene

$$\sigma_x^L = \frac{1-\alpha}{1+\beta \cdot \gamma} \cdot \sigma \quad \sigma_x^M = -\gamma \cdot \frac{1-\alpha}{1+\beta \cdot \gamma} \cdot \sigma$$

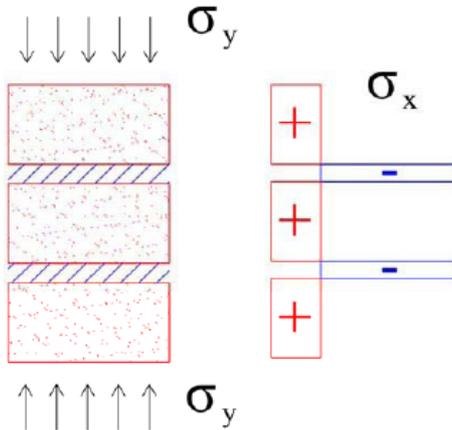
ASPETTI GENERALI

assumendo ad esempio
si ha:

$$\alpha = 2,$$

$$\beta = 1.5,$$

$$\gamma = 10$$



$$\sigma_x^L = -\frac{1}{16}\sigma \quad (\text{trazione})$$

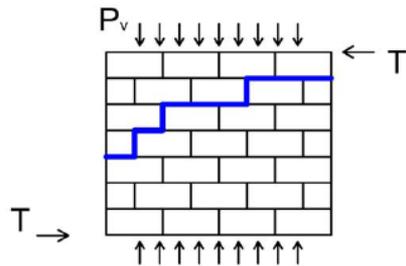
$$\sigma_x^M = +\frac{1}{1.6}\sigma \quad (\text{compressione})$$

$$\sigma_y^M = \sigma_y^L = \sigma \quad (\text{compressione})$$

La malta risulta quindi maggiormente sollecitata, ma è soggetta ad una compressione tri-assiale. La presenza della compressione tri-assiale sulla malta ne aumenta la resistenza ed evita il suo collasso prematuro per schiacciamento.

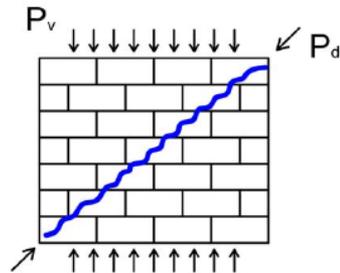
- In genere si può affermare che su un muro compresso la rottura avviene per trazione del complesso mattone – malta.
- Il miglioramento della qualità della malta NON apporta in genere variazioni importanti del carico di collasso.
- Uno spessore eccessivo dei giunti di malta riduce notevolmente la resistenza della muratura.

MECCANISMI DI COLLASSO



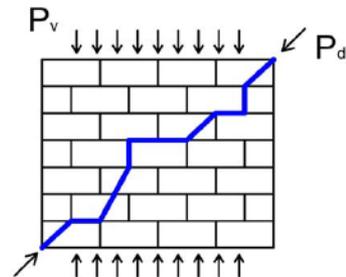
Scorrimento dei giunti

Questa rottura è frequente nelle murature di mattoni resistenti e giunti relativamente deboli. In genere si verifica se il valore della componente P_v risulta limitata.



Fessurazione dei blocchi

Questa rottura è causata dal cedimento per trazione del blocco. Generalmente coinvolge la parte centrale del pannello. L'inclinazione α dipende dal rapporto tra le componenti verticali ed orizzontali dei carichi applicati. Interessa in genere i laterizi forati con l'uso di malte ad alta resistenza.

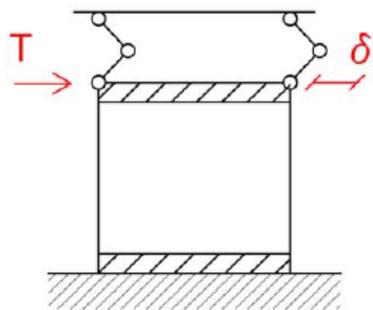


Meccanismo combinato

La lesione segue in generale la diagonale del pannello. Essa interessa sia il giunto che il mattone. È un collasso che in genere si verifica quando la malta ed il mattone hanno resistenze paragonabili. È un tipo di rottura che interessa in genere le murature per un'ampia variabilità di combinazioni di carico.

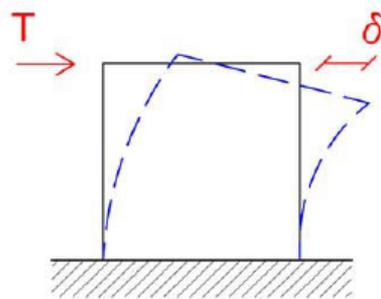
CARATTERISTICHE MECCANICHE

Le tipiche prove sperimentali eseguite su pannelli murari, macro-elementi costituiti da almeno 3 corsi di “mattoni”, sono le seguenti:



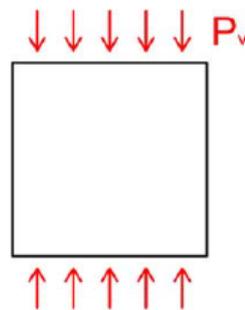
a) Prova a taglio puro
(le facce rimangono parallele)

**Resistenza a Taglio
per Scorrimento**



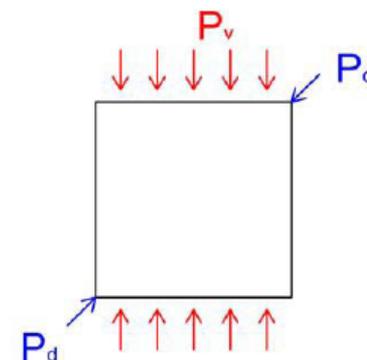
b) Prova a taglio e
flessione

**Modulo di Elasticità Tangenziale
Resistenza a Taglio-Compressione**



c) Prova a
compressione
semplice

**Modulo di Elasticità
Resistenza a Compressione**



d) Prova a
compressione
diagonale

**Modulo di Elasticità Tangenziale
Resistenza a Taglio
per Fessurazione Diagonale**

CARATTERISTICHE MECCANICHE

Le difficoltà di tipo teorico, connesse all'interpretazione ed alla generalizzazione dei dati sperimentali, sono legate:

- alla forte dispersione dei dati,
- alla forte variazione con la forma e la dimensione del provino,
- al tipo di carico (concentrato, distribuito),
- alla sua direzione
- alla sua modalità di applicazione (statica, dinamica).

La prova a compressione diagonale viene usualmente assunta come prova base per la caratterizzazione delle caratteristiche taglianti della muratura in base alla sua semplicità di esecuzione e conoscenza sulla distribuzione tensionale interna al pannello.

La prova a compressione semplice evidenzia invece il comportamento del pannello sotto carichi verticali.

Per estendere i risultati ad un caso generico di sforzo normale e taglio sul pannello sono in genere necessari dei criteri di resistenza opportuni, in grado di cogliere la risposta in tutte le combinazioni possibili.

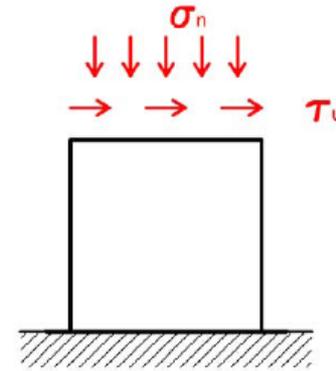


CARATTERISTICHE MECCANICHE

1) CRITERIO DI MOHR-COULOMB

È il criterio utilizzato sia dalla normativa italiana che dall'Eurocodice 6, e prevede:

$$\begin{cases} \tau_u = \frac{T_u}{A} \\ \tau_u = \tau_0 + \mu \cdot \sigma_n \end{cases}$$



dove: τ_0 è la resistenza a taglio in assenza dello sforzo normale;
 μ è un coefficiente di attrito, assunto pari a 0.4 (D.M. 20/11/1987);

I valori di τ_0 e μ vengono desunti dalle prove sperimentali su pannelli murari variando lo stato di sollecitazione sul pannello stesso.

Questo criterio NON è quindi da intendersi come rappresentativo del comportamento qualitativo (modalità di collasso) e quantitativo di una determinata muratura, bensì costituisce una stima della resistenza di un determinato solido murario, opportunamente ridotta per tenere conto della dispersione dei dati sperimentali.

Il vantaggio di questo approccio sta nella semplicità.

CARATTERISTICHE MECCANICHE

2) CRITERI BASATI SUL RAGGIUNGIMENTO DELLO STATO DI CRISI NEL CENTRO DEL PANNELLO

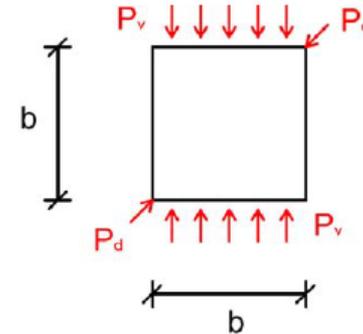
[2a] *Criterio di Yokel-Fattal*

Questo criterio fa riferimento solitamente a sforzi nominali sul pannello:

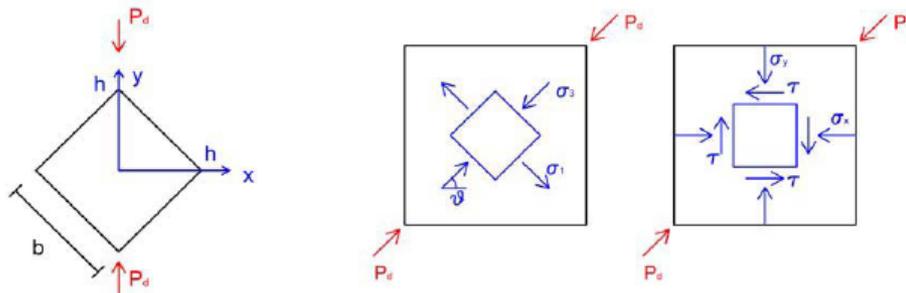
$$\bar{\tau} = \frac{P_d}{b \cdot t \sqrt{2}} = \frac{T}{b \cdot t}$$

$$\bar{\sigma}_y = -\frac{P_v}{b \cdot t} - \frac{P_d}{b \cdot t \sqrt{2}} = \frac{(P_v + N)}{b \cdot t}$$

con t = spessore del pannello



Froeth ha proposto una soluzione in forma chiusa per il caso della lastra piana caricata con il solo carico diagonale P_d , nell'ipotesi di un materiale plastico lineare con $\nu = 0.2$:



dove:

σ_1 è la tensione principale di trazione;

σ_3 è la tensione principale di compressione

CARATTERISTICHE MECCANICHE

3) MODELLO DI TURNSEK-CACOVIC (alla base del metodo di verifica POR)

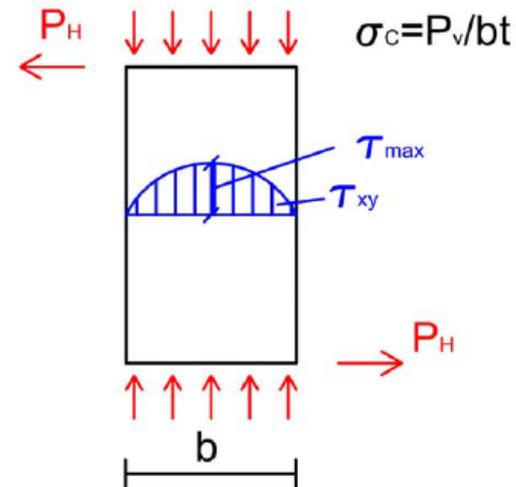
Questo modello è valido nel caso rottura diagonale ed è basato sulla prova sperimentale di tipo b, cioè quando l'elemento in muratura è soggetto all'azione combinata di taglio e flessione.

Si consideri un “maschio murario” soggetto ad un'azione verticale P_V ed una orizzontale P_H applicata sulla sommità dell'elemento, come da figura.

Nell'ipotesi che le tensioni tangenziali τ abbiamo un andamento secondo la teoria di Jourawsky, si ha:

$$\bar{\sigma}_v = \frac{P_V}{b \cdot t} \quad \bar{\tau}_{xy} = \frac{P_H}{b \cdot t}$$

dove: $\bar{\tau}_{xy}$ si definisce sforzo tagliante medio o sforzo convenzionale.



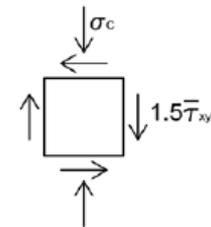
Analogamente al Criterio di Yokel e Fattal, la verifica viene condotta al centro del pannello dove si suppone che lo stato di tensione sia caratterizzato da $(\sigma_c, \tau_{xy,max})$:

una tensione di compressione verticale pari a

$$\sigma_c = \sigma_v = \frac{P_V}{b \cdot t}$$

una tensione tangenziale massima pari a

$$\tau_{xy,max} = 1.5 \bar{\tau}_{xy} = 1.5 \frac{P_H}{b \cdot t}$$

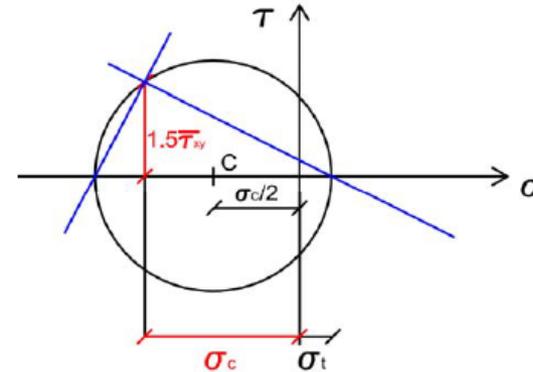


CARATTERISTICHE MECCANICHE

La tensione principale di trazione risulta quindi pari a

$$\sigma_t = -\frac{\sigma_c}{2} + \sqrt{\left(1.5\bar{\tau}_{xy}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_c}{2}\right)^2} = f_m$$

Si ha collasso quando σ_t è pari ad f_m .



Nel caso di taglio puro ($P_v = 0$, quindi $\sigma_c = 0$ e con il cerchio di Mohr centrato nell'origine) si raggiunge il collasso per $\sigma_t = 1.5 \tau_{xy0}$, cioè $f_m = 1.5 \tau_{xy0}$ e sostituendo nella relazione precedente si ha

$$-\frac{\sigma_c}{2} + \sqrt{\left(1.5\bar{\tau}_{xy}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_c}{2}\right)^2} = 1.5 \tau_{xy0}$$

In questo caso il criterio di Turnsek-Cacovic si esprime con la relazione seguente, che per la sua semplicità è stata adottata da molte normative

$$\bar{\tau}_{xy} = \tau_{xy0} \sqrt{1 + \frac{\sigma_c}{1.5\tau_{xy0}}}$$

CARATTERISTICHE MECCANICHE

La normativa italiana prescrive che la resistenza caratteristica a compressione della muratura f_k debba essere determinata sperimentalmente.

Ammette però una deroga nel caso di murature costituite da elementi artificiali pieni o semipieni (o elementi naturali) con giunti di malta orizzontale e verticale. In tal caso, note le caratteristiche di resistenza degli elementi e della malta, si deduce la resistenza caratteristica a compressione dalle seguenti tabelle:

Valori di f_k per murature in elementi artificiali pieni e semipieni (valori in N/mm^2)

Resistenza caratteristica a compressione f_{bk} dell'elemento	Tipo di malta			
	M15	M10	M5	M2.5
2.0	1.2	1.2	1.2	1.2
3.0	2.2	2.2	2.2	2.0
5.0	3.5	3.4	3.3	3.0
7.5	5.0	4.5	4.1	3.5
10.0	6.2	5.3	4.7	4.1
15.0	8.2	6.7	6.0	5.1
20.0	9.7	8.0	7.0	6.1
30.0	12.0	10.0	8.6	7.2
40.0	14.3	12.0	10.4	--

D.M. 14.01.2008



CARATTERISTICHE MECCANICHE

Nel caso di murature costituite da elementi naturali si assume convenzionalmente la resistenza caratteristica a compressione dell'elemento pari a:

$$f_{bk} = 0.75f_{bm}$$

dove

f_{bm} è la resistenza media a compressione degli elementi in pietra squadrata.

Valori di f_k per murature in elementi naturali di pietra squadrata (valori in N/mm^2)

Resistenza caratteristica a compressione f_{bk} dell'elemento	Tipo di malta			
	M15	M10	M5	M2.5
2.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3.0	2.2	2.2	2.2	2.0
5.0	3.5	3.4	3.3	3.0
7.5	5.0	4.5	4.1	3.5
10.0	6.2	5.3	4.7	4.1
15.0	8.2	6.7	6.0	5.1
20.0	9.7	8.0	7.0	6.1
30.0	12.0	10.0	8.6	7.2
≥ 40.0	14.3	12.0	10.4	--

D.M. 14.01.2008



UNIFI

ANALISI E INTERVENTI STRUTTURALI SU EDIFICI IN MURATURA secondo le NTC 2008
CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA MURATURA

Ing. BARBARA ORTOLANI



CARATTERISTICHE MECCANICHE

La resistenza caratteristica a taglio f_{vk} in presenza di tensioni di compressione è così definita:

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0.4\sigma_n$$

dove

f_{vk0} è la resistenza a taglio in assenza di tensioni normali;

σ_n è la tensione normale dovuta ai carichi verticali agente sulla sezione di verifica

Nel caso di elementi artificiali deve essere: $f_{vk} \leq f_{vk,lim} = 1.4f_{bk}$

Tabella 11.10.VII- Resistenza caratteristica a taglio in assenza di tensioni normali f_{vko} (valori in N/mm^2)

Tipo di elemento resistente	Resistenza caratteristica a compressione f_{bk} dell'elemento	Classe di malta	f_{vko} (N/mm^2)
Laterizio pieno e semipieno	$f_{bk} > 15$	$M10 \leq M \leq M20$	0,30
	$7,5 < f_{bk} \leq 15$	$M5 \leq M < M10$	0,20
	$f_{bk} \leq 7,5$	$M2,5 \leq M < M5$	0,10
Calcestruzzo; Silicato di calcio; Cemento autoclavato; Pietra naturale squadrata.	$f_{bk} > 15$	$M10 \leq M \leq M20$	0,20
	$7,5 < f_{bk} \leq 15$	$M5 \leq M < M10$	0,15
	$f_{bk} \leq 7,5$	$M2,5 \leq M < M5$	0,10

CARATTERISTICHE MECCANICHE

Le resistenze di progetto si ottengono attraverso la nota relazione:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m}$$

con γ_m pari a:

$\gamma_m = 5$ verifica alle Tensioni Ammissibili

$\gamma_m = 3$ verifica agli S.L.U.

Per quanto riguarda i parametri di deformabilità, il D.M. 14/01/2008 e D.M. 20/11/1987 considerano i seguenti moduli elastici secanti ai fini delle analisi e delle verifiche di sicurezza:

- modulo di elasticità normale secante $E = 1000 f_k$
- modulo di elasticità tangenziale secante $G = 0.4 E$

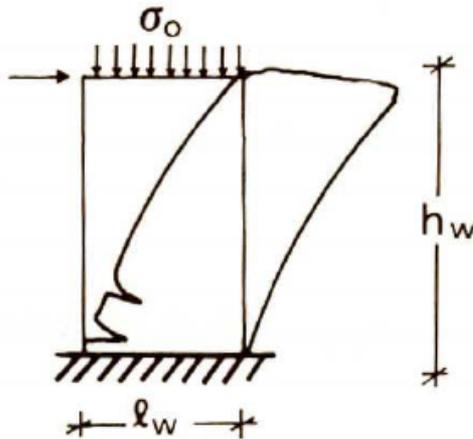


USO DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE

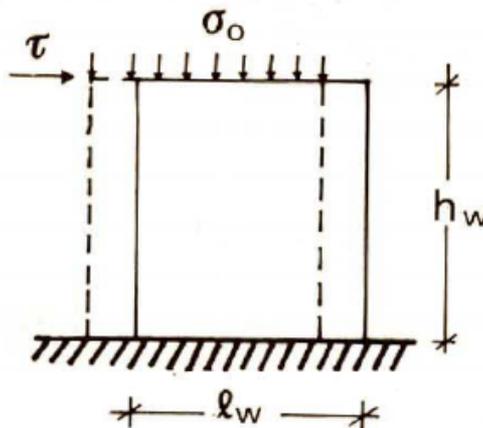
Le modalità di rottura di un pannello murario dipendono sia dalle sue dimensioni che dal carico applicato, e si distinguono in

- Rottura per pressoflessione $V_{Rd,p}$ (si verifica per valori di $h/b > 2$ – elementi snelli)
- Rottura per scorrimento $V_{Rd,s}$ (si verifica per bassi valori dell'azione assiale)
- Rottura per fessurazione diagonale $V_{Rd,f}$ (si verifica per valori di $h/b < 1.5$ – elementi tozzi)

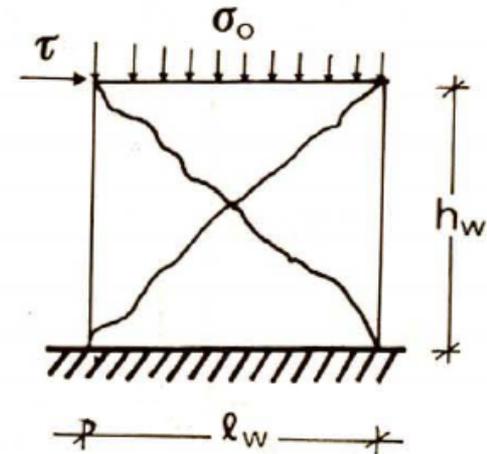
Il taglio resistente risulta pari a: $V_{Rd} = \min (V_{Rd,p}; V_{Rd,s}; V_{Rd,f})$



a) Rottura per pressoflessione



b) Rottura per scorrimento



c) Rottura per fessurazione diagonale

USO DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE

Rottura per pressoflessione

Nel caso di rottura per pressoflessione, il valore resistente del taglio V_{Rd} è definito dalla condizione di schiacciamento della muratura compressa alla base inferiore del pannello, secondo quanto già visto al § 4.7.6.:

$$V_{Rd,p} \cdot h_0 = N_{Sd} \cdot e_{inf} = M_{Rd}$$

$$V_{Rd,p} = \frac{N_{Sd} \cdot b}{2h_0} \left(1 - \frac{N_{Sd}}{\alpha \cdot b \cdot t \cdot f_d} \right) = \frac{\sigma_0 \cdot b^2 \cdot t}{2 \cdot h_0} \left(1 - \frac{\sigma_0}{\alpha \cdot f_d} \right)$$

dove:

- N_{Sd} è l'azione assiale sollecitante di progetto;
- t è lo spessore della parete;
- b è la lunghezza complessiva della parete;
- f_d è la resistenza di progetto a compressione;
- h_0 altezza del punto in cui si annulla il momento (vedi figura al § 4.7.6.) ;
- α è un coefficiente che tiene conto del riempimento del diagramma delle tensioni nella sezione reagente. Comunque deve essere $\alpha \leq 0.85$.

USO DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE

Rottura per scorrimento

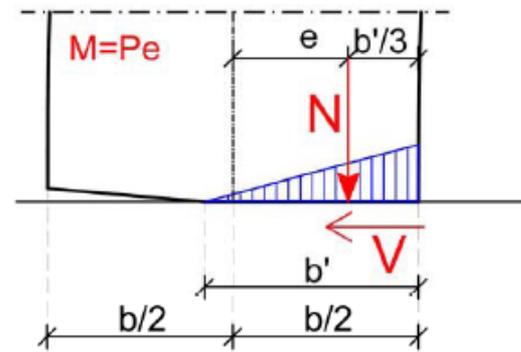
Nel caso in cui il carico verticale sia basso, si può verificare la rottura per scorrimento nei giunti di malta assumendo un comportamento del materiale “alla Coulomb”

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0.4\sigma_0$$

Le più recenti normative fanno riferimento a questo modello valutando la resistenza della muratura come prodotto della resistenza unitaria per l'area reagente del muro (zona compressa)

$$b' = \left(\frac{3}{2} - \frac{3e}{b} \right) b \quad e = \frac{V \cdot h_0}{P} \quad \sigma_0 = \frac{P}{b \cdot t}$$

$$V = f_{vd} b' \cdot t = \left[\left(\frac{3}{2} - \frac{3Vh_0}{Pb} \right) f_{vk0} + 0.4\sigma_0 \right] \frac{b \cdot t}{\gamma_m}$$



$$V_{Rd,s} = \frac{1.5f_{vk0} + 0.4\sigma_0}{1 + \frac{3h_0}{b\sigma_0}} \frac{b \cdot t}{\gamma_m}$$

USO DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE

La normativa ([D.M. 14/01/2008](#)) prevede in questo caso la seguente espressione per la verifica:

$$V_{sd} \leq V_{Rd,s} = \beta \cdot A \cdot f_{vd}$$

dove:

V_{sd} è la forza tagliante di progetto;

$V_{Rd,s}$ è la forza resistente a taglio di progetto per scorrimento;

A è l'area trasversale della parete nella sezione di verifica;

f_{vd} è la resistenza di progetto a taglio;

β è il coefficiente di parzializzazione della sezione della parete generata dal momento esterno M_{sd} , dipendente quindi dall'eccentricità $e_b = M_{sd}/N_{sd}$.

In accordo con il D.M. 20/11/1987, vale:

$$\beta = \begin{cases} 1 & \text{se } \frac{6e_b}{b} \leq 1 \\ \frac{3}{2} - \frac{3e_b}{b} & \text{se } 1 < \frac{6e_b}{b} \leq 1.3 \end{cases}$$

USO DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE

Rottura per fessurazione diagonale (O.P.C.M. 3274/2003)

Si ipotizza che la rottura per taglio avvenga quando lo sforzo principale (macroscopico) di trazione raggiunge il valore limite, assunto come resistenza a trazione convenzionale della muratura secondo la relazione proposta da Turnsek e Cacovic (1971)

$$V_{Rd,f} = b \cdot t \frac{1.5\tau_{0d}}{\xi} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1.5\tau_{0d}}} = b \cdot t \frac{f_{td}}{\xi} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_{td}}}$$

dove:

$V_{Rd,f}$

è la forza resistente a taglio di progetto per fessurazione diagonale;

f_{td}

è la resistenza di progetto resistenza a trazione per fessurazione diagonale ($f_{td} = 1.5\tau_{0d}$);

τ_{0d}

è la corrispondente resistenza a taglio di riferimento della muratura, pari a f_{vd0} ;

ξ

è un coefficiente correttivo legato alla distribuzione degli sforzi sulla sezione, dipendente dalla snellezza della parete. Si può assumere:

$$\xi = \begin{cases} 1.0 & \text{se } \frac{h}{b} \leq 1.0 \\ \frac{h}{b} & \text{se } 1.0 < \frac{h}{b} < 1.5 \\ 1.5 & \text{se } \frac{h}{b} \geq 1.5 \end{cases}$$



- Particolare attenzione è riservata alla valutazione della qualità muraria, con riferimento agli aspetti legati al rispetto o meno della “regola dell’arte”.
- L’esame della qualità muraria e l’eventuale valutazione sperimentale delle caratteristiche meccaniche hanno come finalità principale quella di stabilire se la muratura in esame è capace di un comportamento strutturale idoneo a sostenere le azioni statiche e dinamiche prevedibili per l’edificio in oggetto.
- Di particolare importanza risulta la presenza o meno di elementi di collegamento trasversali (es. diatoni), la forma, tipologia e dimensione degli elementi, la tessitura, l’orizzontalità delle giaciture, il regolare sfalsamento dei giunti, la qualità e consistenza della malta.
- Di rilievo risulta anche la caratterizzazione di malte (tipo di legante, tipo di aggregato, rapporto legante/aggregato, livello di carbonatazione), e di pietre e/o mattoni (caratteristiche fisiche e meccaniche) mediante prove sperimentali. Malte e pietre sono prelevate in situ, avendo cura di prelevare le malte all’interno (ad almeno 5-6 cm di profondità nello spessore murario).

NTC 2008 – CM 2009

Tipologia di muratura	f_m	τ_0	E	G	w
	(N/cm ²)	(N/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN/m ³)
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100	2,0	690	230	19
	180	3,2	1050	350	
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200	3,5	1020	340	20
	300	5,1	1440	480	
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260	5,6	1500	500	21
	380	7,4	1980	660	
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140	2,8	900	300	16
	240	4,2	1260	420	
Muratura a blocchi lapidei squadriati	600	9,0	2400	780	22
	800	12,0	3200	940	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240	6,0	1200	400	18
	400	9,2	1800	600	
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500	24	3500	875	15
	800	32	5600	1400	
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400	30,0	3600	1080	12
	600	40,0	5400	1620	
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300	10,0	2700	810	11
	400	13,0	3600	1080	
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150	9,5	1200	300	12
	200	12,5	1600	400	
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300	18,0	2400	600	14
	440	24,0	3520	880	

Tabella C8A.2.1

Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura, riferiti alle seguenti condizioni:

**malta di caratteristiche scarse
assenza di ricorsi (listature)
paramenti semplicemente accostati
o mal collegati
muratura non consolidata
tessitura (nel caso di elementi regolari) a regola d'arte**

f_m = resistenza media a compressione della muratura

τ_0 = resistenza media a taglio della muratura,

E = valore medio del modulo di elasticità normale,

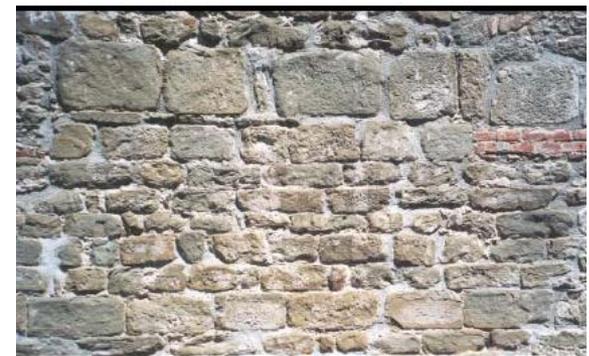
G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale,

w = peso specifico medio della muratura.



NTC 2008 – CM 2009

Tipologia di muratura	f_m	τ_0	E	G	w
	(N/cm ²)	(N/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN/m ³)
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadriati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2700 3600	810 1080	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	1200 1600	300 400	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300 440	18,0 24,0	2400 3520	600 880	14



NTC 2008 – CM 2009

Tipologia di muratura	f_m	τ_0	E	G	w
	(N/cm ²)	(N/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN/m ³)
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadrati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2700 3600	810 1080	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	1200 1600	300 400	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300 440	18,0 24,0	2400 3520	600 880	14



UNIFI

ANALISI E INTERVENTI STRUTTURALI SU EDIFICI IN MURATURA secondo le NTC 2008
CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA MURATURA

Ing. BARBARA ORTOLANI



NTC 2008 – CM 2009

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con parametro di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

Nel caso in cui la muratura presenti caratteristiche migliori rispetto ai suddetti elementi di valutazione, le caratteristiche meccaniche saranno ottenute, a partire dai valori di Tabella C8A.2.1, applicando coefficienti migliorativi fino ai valori indicati nella Tabella C8A.2.2, secondo le seguenti modalità:

- **malta di buone caratteristiche:** si applica il coefficiente indicato in Tabella C8A.2.2, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza (f_m e τ_0), sia ai moduli elastici (E e G);

NTC 2008 – CM 2009

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con parametro di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

- **giunti sottili (< 10 mm)**: si applica il coefficiente, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza (f_m e τ_0), sia ai moduli elastici (E e G); nel caso della resistenza a taglio l'incremento percentuale da considerarsi è metà rispetto a quanto considerato per la resistenza a compressione; nel caso di murature in pietra naturale è opportuno verificare che la lavorazione sia curata sull'intero spessore del paramento;

NTC 2008 – CM 2009

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con parametro di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

- **presenza di ricorsi (o listature):** si applica il coefficiente indicato in tabella ai soli parametri di resistenza (f_m e τ_0); tale coefficiente ha significato solo per alcune tipologie murarie, in quanto nelle altre non si riscontra tale tecnica costruttiva;



NTC 2008 – CM 2009

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con parametro di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

- **presenza di elementi di collegamento trasversale tra i paramenti**: si applica il coefficiente indicato in tabella ai soli parametri di resistenza (f_m e τ_0); tale coefficiente ha significato solo per le murature storiche, in quanto quelle più recenti sono realizzate con una specifica e ben definita tecnica costruttiva ed i valori in Tabella C8A.2.1 rappresentano già la possibile varietà di comportamento.

NTC 2008 – CM 2009

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessioni trasversali	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con parametro di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

Le diverse tipologie di Tabella C8A.2.1 assumono che la muratura sia costituita da due paramenti accostati, o con un nucleo interno di limitato spessore (inferiore allo spessore del paramento); fanno eccezione il caso della muratura a conci sbozzati, per la quale è implicita la presenza di un nucleo interno (anche significativo ma di discrete caratteristiche), e quello della muratura in mattoni pieni, che spesso presenta un nucleo interno con materiale di reimpiego reso coeso. Nel caso in cui il nucleo interno sia ampio rispetto ai paramenti e/o particolarmente scadente, è opportuno ridurre opportunamente i parametri di resistenza e deformabilità, attraverso una omogeneizzazione delle caratteristiche meccaniche nello spessore. In assenza di valutazioni più accurate è possibile penalizzare i suddetti parametri meccanici attraverso il coefficiente indicato in Tabella C8A.2.2.



NTC 2008 – CM 2009

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con parametro di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

In presenza di murature consolidate, o nel caso in cui si debba valutare la sicurezza dell'edificio rinforzato, è possibile valutare le caratteristiche meccaniche per alcune tecniche di intervento, attraverso i coefficienti indicati in Tabella C8A.2.2, secondo le seguenti modalità:

- **consolidamento con iniezioni di miscele leganti:** si applica il coefficiente indicato in tabella, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza (f_m e τ_0), sia ai moduli elastici (E e G); nel caso in cui la muratura originale fosse stata classificata con malta di buone caratteristiche, il suddetto coefficiente va applicato al valore di riferimento per malta di scadenti caratteristiche, in quanto il risultato ottenibile attraverso questa tecnica di consolidamento è, in prima approssimazione, indipendente dalla qualità originaria della malta (in altre parole, nel caso di muratura con malta di buone caratteristiche, l'incremento di resistenza e rigidezza ottenibile è percentualmente inferiore);

NTC 2008 – CM 2009

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscela leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con parametro di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

- **consolidamento con intonaco armato:** per definire parametri meccanici equivalenti è possibile applicare il coefficiente indicato in tabella, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza (f_m e τ_0), sia ai moduli elastici (E e G); per i parametri di partenza della muratura non consolidata non si applica il coefficiente relativo alla connessione trasversale, in quanto l'intonaco armato, se correttamente eseguito collegando con barre trasversali uncinata i nodi delle reti di armatura sulle due facce, realizza, tra le altre, anche questa funzione; nei casi in cui le connessioni trasversali non soddisfino tale condizione, il coefficiente moltiplicativo dell'intonaco armato deve essere diviso per il coefficiente relativo alla connessione trasversale riportato in tabella;

NTC 2008 – CM 2009

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con parametro di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

In presenza di murature consolidate, o nel caso in cui si debba valutare la sicurezza dell'edificio rinforzato, è possibile valutare le caratteristiche meccaniche per alcune tecniche di intervento, attraverso i coefficienti indicati in Tabella C8A.2.2, secondo le seguenti modalità:

- **consolidamento con diafani artificiali:** in questo caso si applica il coefficiente indicato per le murature dotate di una buona connessione trasversale.

I valori sopra indicati per le murature consolidate possono essere considerati come riferimento nel caso in cui non sia comprovata, con opportune indagini sperimentali, la reale efficacia dell'intervento e siano quindi misurati, con un adeguato numero di prove, i valori da adottarsi nel calcolo.



PRIMO ABACO REGIONALE DELLE MURATURE

REGIONE TOSCANA
DIREZIONE GENERALE DELLE POLITICHE TERRITORIALI E AMBIENTALI
SETTORE – SERVIZIO SISMICO REGIONALE

**EDIFICI IN MURATURA IN ZONA SISMICA
RILEVAMENTO DELLE CARENZE STRUTTURALI**

MANUALE PER LA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA DELLE CARENZE

1 Muratura a sacco formata da pietre di pezzature molto varie, male intessuta e priva di collegamento tra i due fogli. CLASSE D

DESCRIZIONE:
Sezione muraria con nucleo incoerente priva di elementi di collegamento (diatoni) tra i due paramenti.

DESCRIZIONE:
Sezione muraria con ricorsi in pietra squadrata o mattoni pieni che non attraversano tutto lo spessore murario.

DESCRIZIONE:
Sezione muraria con nucleo non degradato con scarso numero di collegamenti (diatoni) tra i due paramenti.

DESCRIZIONE:
Sezione muraria con nucleo parzialmente vuoto o fortemente degradato.

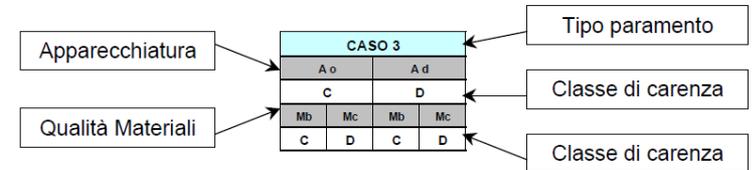
DESCRIZIONE:
Paramento di muratura a sacco in pietrame con elementi di pezzatura disomogenea, parzialmente sbazzati.

DESCRIZIONE:
Paramento di muratura a sacco in pietrame non squadrato con apparecchiatura disorganizzata ed irregolare.

CASO 1			
Ao		Ad	
D		D	
Mb	Mc	Mb	Mc
D	D	D	D

ASPETTI GENERALI

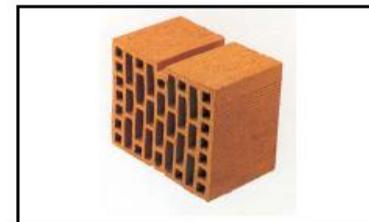
Regione Toscana Abaco delle Tipologie di Muratura	
1	muratura a sacco formata da pietre di pezzature molto varie male intessuta e priva di collegamento tra i due paramenti
2	muratura a sacco formata da pietre di pezzatura più regolare bene intessuta e con collegamento tra i due paramenti oppure con spigoli, mazzette e/o ricorsi in mattoni pieni e/o pietra squadrata
3	muratura di pietra sbazzata in presenza di irregolarità
4	muratura di pietra sbazzata con spigoli, mazzette e/o ricorsi in mattoni pieni e/o pietra squadrata
5	muratura di pietra arrotondata o ciottoli di fiume di pezzatura varia senza spigoli, mazzette e/o ricorsi in mattoni pieni e/o pietra squadrata
6	muratura di pietra arrotondata o ciottoli di fiume di pezzatura varia con spigoli, mazzette e/o ricorsi in mattoni pieni e/o pietra squadrata
7	muratura ad un paramento in blocchetti di tufo o pietra da taglio di dimensioni costanti
8	muratura in blocchetti di calcestruzzo prefabbricati con inerti ordinari o leggeri (argilla espansa) omogenei in tutta la sua estensione
9	muratura in laterizio pieno e semipieno (percentuale foratura $\leq 45\%$)
10	muratura in blocchi di laterizio con foratura $> 45\%$



10 Muratura in blocchi di laterizio con foratura $> 45\%$. CLASSE D



DESCRIZIONE:
Costituita da blocchi artificiali in laterizio di dimensioni standard.



DESCRIZIONE:
Blocco artificiale forato in laterizio di dimensioni standard.



DESCRIZIONE:
Costituita da elementi artificiali in laterizio di dimensioni costanti di vecchia produzione (occhialoni).

CASO 10			
A o	A d		
D	D		
Mc	Mc	Mb	Mc
D	D	D	D



UNIFI

ANALISI E INTERVENTI STRUTTURALI SU EDIFICI IN MURATURA secondo le NTC 2008 **CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA MURATURA**

Ing. BARBARA ORTOLANI



INDICE DI QUALITÀ MURARIA

Parametri della regola dell'arte:

MA. = qualità della malta / efficace contatto fra elementi / zeppe;

P.D. = ingranamento trasversale / presenza dei diatoni;

F.EL. = forma degli elementi resistenti;

D.EL. = dimensione degli elementi resistenti;

S.G. = sfalsamento dei giunti verticali / ingranamento nel piano della parete;

OR. = orizzontalità dei filari;

RE.EL. = resistenza degli elementi.

Giudizio sul rispetto dei parametri della regola dell'arte:

R. = parametro rispettato;

P.R. = parametro parzialmente rispettato;

N.R. = parametro non rispettato.

QUALITÀ DELLA MALTA / EFFICACE CONTATTO FRA ELEMENTI / ZEPPE ² (MA.)	
<p>RISPETTATA</p> <p>a) Malta in buono stato e ben conservata, con giunti di dimensione non eccessiva rispetto alle pietre o ai mattoni oppure con giunti ampi ma di malta di ottima qualità (es. murature romane o bizantine);</p> <p>b) Muratura con grandi elementi squadrati e priva di malta o con strato di malta sottilissimo. In tal caso si intende "rispettato" il requisito di un efficace contatto fra le pietre.</p>	
<p>PARZIALMENTE RISPETTATA</p> <p>a) Malta di qualità intermedia, con giunti non eccessivamente erosi.</p> <p>b) Murature con elementi irregolari e malta degradata ma con zeppe efficacemente inserite negli spazi fra gli elementi.</p>	
<p>NON RISPETTATA</p> <p>a) Malta scadente o degradata e polverulenta e del tutto priva di coesione.</p> <p>b) Malta assente (escluso il caso di muratura di grossi elementi squadrati).</p> <p>c) Giunti di malta di dimensioni eccessive, paragonabili a quelle degli elementi se la malta non è di ottima qualità.</p> <p>d) Muratura di elementi porosi (es. tufo) con scarsa aderenza fra la malta e gli stessi elementi.</p>	

INDICE DI QUALITÀ MURARIA

PRESENZA DI DIATONI / INGRANAMENTO TRASVERSALE (P.D.) (VALUTAZIONE "CONVENZIONALE" SVOLTA SENZA OSSERVARE L'INTERA SEZIONE MURARIA)	
RISPETTATA Paramento ben tessuto; blocchi o pietre di dimensione paragonabile a quella dello spessore della parete; presenza sistematica di pietre disposte di testa.	
PARZIALMENTE RISPETTATA Situazione intermedia fra il rispetto ed il non rispetto di tale parametro. Paramento ben tessuto ed ordinato almeno su una faccia; alcune pietre sono disposte di testa; spessore del muro non eccessivo rispetto alle dimensioni delle pietre (orientativamente: pietre di lunghezza massima almeno pari ai 2 / 3 dello spessore della parete).	
NON RISPETTATA Pietre piccole rispetto allo spessore del muro; assenza di pietre palesemente disposte in senso trasversale alla parete (di testa).	

PRESENZA DI DIATONI / INGRANAMENTO TRASVERSALE (P.D.) (VALUTAZIONE TRAMITE LA LMT ³ TRASVERSALE - SEZIONE INTERAMENTE OSSERVABILE)	
RISPETTATA LMT maggiore di 155 cm	<p>LMT = 160 cm LMT = 176 cm</p>
PARZIALMENTE RISPETTATA LMT compresa fra 155 cm e 125 cm	<p>LMT = 145 cm LMT = 126 cm</p>
NON RISPETTATA LMT inferiore a 125 cm Pietre di piccole dimensioni qualunque sia il valore di LMT (es. parete con sacco interno)	<p>LMT = 110 cm LMT = 120 cm</p>

* LMT Linea di Minimo Tracciato sezione verticale



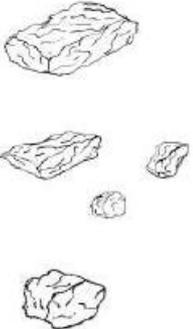
UNIFI

ANALISI E INTERVENTI STRUTTURALI SU EDIFICI IN MURATURA secondo le NTC 2008
CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA MURATURA

Ing. BARBARA ORTOLANI

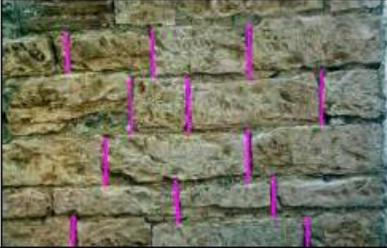
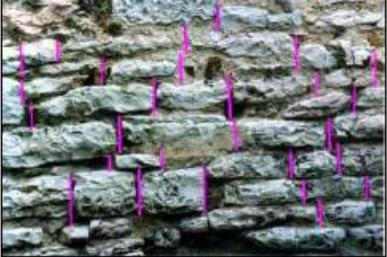


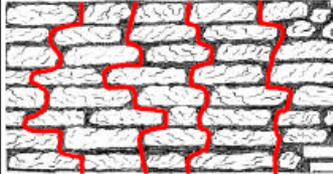
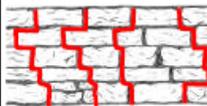
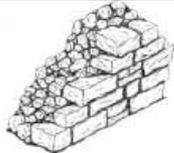
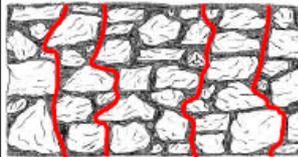
INDICE DI QUALITÀ MURARIA

FORMA DEGLI ELEMENTI RESISTENTI (F.EL.)		
<p>RISPETTATA</p> <p>Prevalenza di elementi di forma squadrata o sbazzata oppure mattoni o laterizi di forma parallelepipedica su entrambe le facce della parete.</p>	 <p>Blocchi squadrati</p> <p>Blocchi sbazzati</p>	
<p>PARZIALMENTE RISPETTATA</p> <p>Compresenza di elementi irregolari o ciottoli e blocchi di forma squadrata o mattoni.</p> <p>Pareti con una faccia di blocchi di forma regolare o mattoni e l'altra faccia di ciottoli od elementi di forma irregolare.</p> <p>Elementi arrotondati o irregolari ma con interstizi riempiti di zeppe ben inserite.</p>	 <p>Blocchi di forma irregolare, arrotondata o ciottoli.</p>	
<p>NON RISPETTATA</p> <p>Prevalenza di elementi di forma irregolare o arrotondata oppure ciottoli su entrambe le facce della parete.</p>		

DIMENSIONE DEGLI ELEMENTI RESISTENTI (D.EL.)	
<p>RISPETTATA</p> <p>Prevalenza di elementi con la loro dimensione maggiore sopra i 40 cm.</p> <p>In tali pareti i blocchi solitamente sono così grossi da interessare gran parte dello spessore della parete e quindi essi possono svolgere anche la funzione di diatoni.</p>	
<p>PARZIALMENTE RISPETTATA</p> <p>Prevalenza di elementi con la loro dimensione maggiore fra 20 e 40 cm.</p> <p>Compresenza di elementi di dimensione variabile.</p>	
<p>NON RISPETTATA</p> <p>Prevalenza di elementi con la loro dimensione maggiore sotto i 20 cm.</p> <p>Parete di soli diatoni in mattoni pieni.</p>	

INDICE DI QUALITÀ MURARIA

SFALSAMENTO FRA I GIUNTI VERTICALI / INGRANAMENTO NEL PIANO (S.G.) (VALUTAZIONE QUALITATIVA)	
RISPETTATO Giunti verticali in corrispondenza della zona centrale dell'elemento inferiore. Va escluso il caso di parete in mattoni pieni disposti solo a diatoni.	
PARZIALMENTE RISPETTATO Giunto verticale in posizione intermedia tra zona centrale dell'elemento inferiore e il suo bordo.	
NON RISPETTATO Giunti verticali allineati. Giunti allineati verticalmente su due o più elementi in ampie porzioni della parete. Parete di soli diatoni di mattoni pieni, anche con giunti verticali sfalsati ⁴ . Evidente assenza di ingranamento nel piano della parete.	

SFALSAMENTO FRA I GIUNTI VERTICALI (S.G.) (VALUTAZIONE QUANTITATIVA TRAMITE LA LMT ⁵ NELLE FACCE DELLA PARETE)	
RISPETTATO Parete a paramento unico: LMT > 160 Parete a doppio paramento: LMT > 160 su entrambe le facce.	 LMT = 166 ; h muro = 1 m. Paramento unico.
PARZIALMENTE RISPETTATO Parete a paramento unico: LMT fra 140 e 160. Parete a doppio paramento: a) entrambi i paramenti con LMT fra 140 e 160. b) LMT rispettato su una faccia e non rispettato sull'altra faccia. c) LMT rispettato su una faccia e parzialmente rispettato sull'altra faccia.	 LMT = 158 su entrambe le facce h muro = 1 m.
NON RISPETTATO Parete a paramento unico: LMT < 140 Parete a doppio paramento: LMT < 140 su una faccia e LMT < 160 sull'altra faccia. Parete di soli diatoni di mattoni pieni, qualunque sia il valore di LMT. Parete con pietre di piccole dimensioni qualunque sia il valore di LMT. Evidente assenza d'ingranamento su una o più linee verticali della parete qualunque sia il valore di LMT ⁶ .	  LMT faccia esterna = 146 ; LMT faccia interna < 140 → SG non è rispettato. h muro = 1 m  LMT = 113 - h muro = 1 m.

* LMT Linea di Minimo Tracciato prospetto



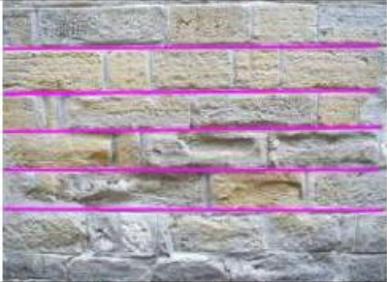
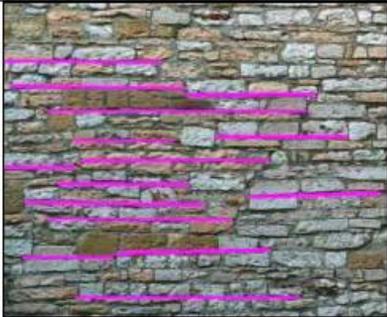
UNIFI

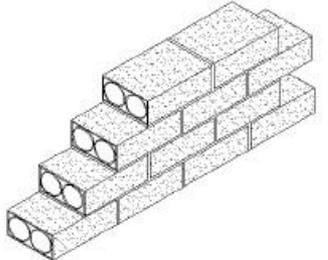
ANALISI E INTERVENTI STRUTTURALI SU EDIFICI IN MURATURA secondo le NTC 2008
CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA MURATURA

Ing. BARBARA ORTOLANI



INDICE DI QUALITÀ MURARIA

PRESENZA DI FILARI ORIZZONTALI (OR.)	
<p>ORIZZONTALITÀ RISPETTATA</p> <p>Filari orizzontali su gran parte della parete, senza presentare interruzioni di continuità e su entrambe le facce della parete.</p> <p>Murature listate con listature a interasse inferiore a 60 cm.</p>	
<p>PARZIALMENTE RISPETTATA</p> <p>Situazioni intermedie fra il rispetto e il non rispetto, compreso il caso di filari orizzontali solo su una faccia della parete.</p>	
<p>NON RISPETTATA</p> <p>I tratti orizzontali sono interrotti o con evidenti falsamenti sull'intera facciata muraria.</p>	

QUALITÀ DEGLI ELEMENTI RESISTENTI (RE.EL.)	
<p>RISPETTATA</p> <p>Pietre non degradate o poco degradate</p> <p>Muratura con pochi elementi degradati (orientativamente meno del 10%)</p> <p>Mattoni pieni cotti</p> <p>Elementi di tufo duro vulcanico</p> <p>Elementi laterizi con foratura < 45%</p> <p>Blocchi in calcestruzzo (anche forati)</p>	
<p>PARZIALMENTE RISPETTATA</p> <p>Alcuni elementi della muratura sono degradati (orientativamente fra il 10% ed il 50%)</p> <p>Elementi laterizi con foratura fra 70% e 45%</p> <p>Elementi in tufo tenero (calcarenite)</p>	
<p>NON RISPETTATA</p> <p>Elementi degradati in misura superiore al 50%.</p> <p>Elementi laterizi con percentuale di foratura > 70%</p> <p>Mattoni in fango o argilla non cotta</p>	

INDICE DI QUALITÀ MURARIA

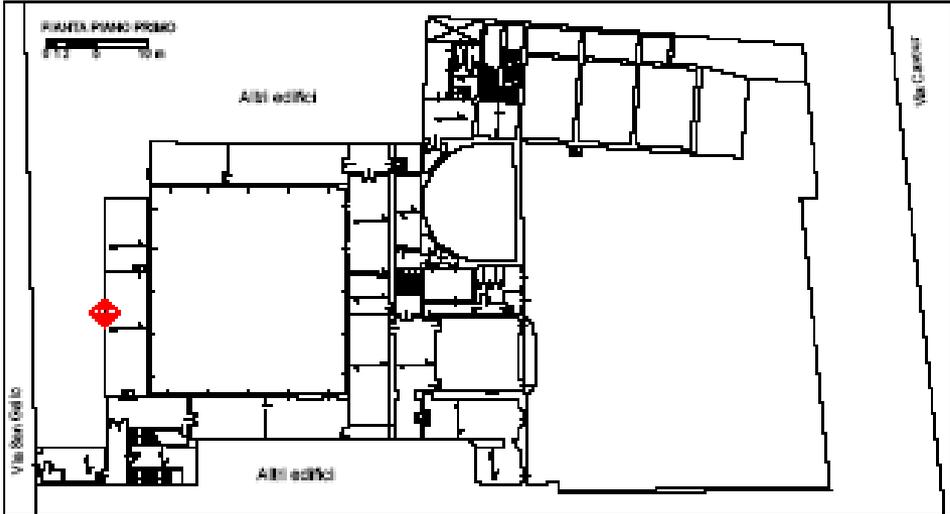
Parametro	AZIONI VERTICALI			AZIONI ORIZZONTALI FUORI PIANO			AZIONI ORIZZONTALI NEL PIANO		
	R	PR	NR	R	PR	NR	R	PR	NR
MA.	0	0.5	2	0	0.5	1	0	1	2
P.D.	0	1	1	0	1.5	3	0	1	2
F.EL.	0	1.5	3	0	1	2	0	1	2
D.EL.	0	0.5	1	0	0.5	1	0	0.5	1
S.G.	0	0.5	1	0	0.5	1	0	1	2
OR.	0	1	2	0	1	2	0	0.5	1
RE.EL.	0.3	0.7	1	0.5	0.7	1	0.3	0.7	1

$$IQM = RE.EL. \times (OR. + P.D. + F.EL. + S.G. + D.EL. + MA.)$$

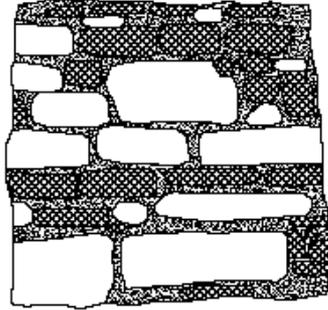
Metodo dei punteggi				
Tipo di azione \ Categoria muratura	C	B	A	
	Azioni verticali	$0 \leq IQ < 2,5$	$2,5 \leq IQ < 5$	$5 \leq IQ \leq 10$
Azioni ortogonali	$0 \leq IQ \leq 4$	$4 < IQ < 7$	$7 \leq IQ \leq 10$	
Azioni orizz. complanari	$0 \leq IQ \leq 3$	$3 < IQ \leq 5$	$5 < IQ \leq 10$	



INDICE DI QUALITÀ MURARIA – SCHEDA DICeA

PARTE PRIMA COLLOCAZIONE DELLA MURATURA OGGETTO DI ANALISI	
1. DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO IN CUI E' COLLOCATA LA MURATURA Liceo Artistico Leon Battista Alberti, Via San Gallo, 68 Firenze	
1.1 DENOMINAZIONE Mu-11	1.5 PIANTE DELL'EDIFICIO (con indicazione della muratura considerata) 
1.2 UBICAZIONE Piano primo, muratura interna di separazione tra il laboratorio di pittura e l'edificio adiacente alla scuola.	
1.3 DATA RILIEVO	
1.4 NOME DEL RILEVATORE	
OSSERVAZIONI	

INDICE DI QUALITÀ MURARIA – SCHEDA DICEa

PARTE SECONDA RILIEVO DELLA TIPOLOGIA MURARIA					
2. TESSITURA DEL PARAMENTO					
FOTOGRAFIA DEL PARAMENTO	RESTITUZIONE GRAFICA DEL PARAMENTO				
					
<p>Legenda</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;"> Pietre</td> <td style="text-align: center;"> Mattoni</td> <td style="text-align: center;"> Malta</td> <td style="text-align: center;"> Intonaco</td> </tr> </table>		 Pietre	 Mattoni	 Malta	 Intonaco
 Pietre	 Mattoni	 Malta	 Intonaco		

PARTE SECONDA RILIEVO DELLA TIPOLOGIA MURARIA																													
2. TESSITURA DEL PARAMENTO																													
<p>2.1 RUOLO STRUTTURALE</p> <input type="checkbox"/> MURATURA D'AMBITO <input type="checkbox"/> TAMPONAMENTO <input type="checkbox"/> MURATURA DI SPINA <input checked="" type="checkbox"/> MURATURA INTERNA tra edifici adiacenti <input type="checkbox"/> FILASTRO <p>2.2 TIPOLOGIA</p> <input type="checkbox"/> IN PIETRA <input type="checkbox"/> IN MATTONI <input type="checkbox"/> IN BLOCCHI DI CLS <input type="checkbox"/> IN BLOCCHI DI TUFO <input checked="" type="checkbox"/> MISTA <p>2.3 RICORSI</p> <input checked="" type="checkbox"/> PRESENTI a distanza variabile in base agli elementi presenti <input type="checkbox"/> IN MATTONI <input type="checkbox"/> DI EL.PIU' GRANDI <input type="checkbox"/> IN CLS <input type="checkbox"/> ASSENTI <p>2.4 ORIZZONTAMENTI/LISTATURE</p> <input checked="" type="checkbox"/> ASSENTI <input type="checkbox"/> PRESENTI <p>2.5 ZEPPE</p> <input type="checkbox"/> ASSENTI <input checked="" type="checkbox"/> IN COTTO <input type="checkbox"/> IN PIETRA	<p>2.6 APPARECCHIATURA/ORIZZONTALITA' DEI FILARI (O.R.)</p> <input type="checkbox"/> IRREGOLARE <input checked="" type="checkbox"/> A CORSI SUB-ORIZZONTALI <input type="checkbox"/> A CORSI ORIZZONTALI <p>2.7 SFALSAmento DEI GIUNTI VERTICALI (S.G.)</p> <input type="checkbox"/> NON RISPETTATO PARZIALMENTE <input checked="" type="checkbox"/> RISPETTATO PARZIALMENTE <input type="checkbox"/> RISPETTATO <p>2.8 PRESENZA DI DIATONI O LEGAMENTI (P.D.)</p> <input checked="" type="checkbox"/> NON RISPETTATO PARZIALMENTE <input type="checkbox"/> RISPETTATO PARZIALMENTE <input type="checkbox"/> RISPETTATO	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">PUNTEGGIO</th> </tr> <tr> <th>A. VERT.</th> <th>A. ORT.</th> <th>A. COMP.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">0.5</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">PUNTEGGIO</th> </tr> <tr> <th>A. VERT.</th> <th>A. ORT.</th> <th>A. COMP.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">0.5</td> <td style="text-align: center;">0.5</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">PUNTEGGIO</th> </tr> <tr> <th>A. VERT.</th> <th>A. ORT.</th> <th>A. COMP.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> </tbody> </table>	PUNTEGGIO			A. VERT.	A. ORT.	A. COMP.	1	1	0.5	PUNTEGGIO			A. VERT.	A. ORT.	A. COMP.	0.5	0.5	1	PUNTEGGIO			A. VERT.	A. ORT.	A. COMP.	0	0	0
PUNTEGGIO																													
A. VERT.	A. ORT.	A. COMP.																											
1	1	0.5																											
PUNTEGGIO																													
A. VERT.	A. ORT.	A. COMP.																											
0.5	0.5	1																											
PUNTEGGIO																													
A. VERT.	A. ORT.	A. COMP.																											
0	0	0																											

PARTE SECONDA RILIEVO DELLA TIPOLOGIA MURARIA																				
3. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI DEL PARAMENTO																				
<p>3.1 ELEMENTI LAPIDEI</p> <p>3.1.1 TIPO DI ELEMENTO LAPIDEO</p> <input checked="" type="checkbox"/> ARENARIA <input checked="" type="checkbox"/> TRAVERTINO <input type="checkbox"/> TUFO <input type="checkbox"/> ALTRI <input type="checkbox"/> CALCARE <input checked="" type="checkbox"/> MATTONI CRUDI <input type="checkbox"/> MATTONI COTTI <input checked="" type="checkbox"/> SCAVO LOCALE <input checked="" type="checkbox"/> GRETO DEL FINE <input type="checkbox"/> CAVA <p>3.1.3 LAVORAZIONE</p> <input type="checkbox"/> ASSENTE <input checked="" type="checkbox"/> APPENA SBIZZATA <input type="checkbox"/> SPIGOLI FINITI E FACCE A VISTA NON LAVORATE <input type="checkbox"/> SPIGOLI FINITI E FACCE A VISTA SPIANATE <p>3.1.4 STATO DI CONSERVAZIONE</p> <input checked="" type="checkbox"/> BUONO <input type="checkbox"/> MEDIOCRE <input type="checkbox"/> CATTIVO <input type="checkbox"/> PESSIMO	<p>3.1.5 FORMA DEGLI ELEMENTI (F.EL.)</p> <input type="checkbox"/> NON RISPETTATA <input checked="" type="checkbox"/> PARZIALMENTE RISPETTATA <input type="checkbox"/> RISPETTATA <p>3.1.6 DIMENSIONE DEGLI ELEMENTI (D.EL.)</p> <input type="checkbox"/> NON RISPETTATA <input checked="" type="checkbox"/> PARZIALMENTE RISPETTATA <input type="checkbox"/> RISPETTATA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">PUNTEGGIO</th> </tr> <tr> <th>A. VERT.</th> <th>A. ORT.</th> <th>A. COMP.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1.5</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">PUNTEGGIO</th> </tr> <tr> <th>A. VERT.</th> <th>A. ORT.</th> <th>A. COMP.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">0.5</td> <td style="text-align: center;">0.5</td> <td style="text-align: center;">0.5</td> </tr> </tbody> </table>	PUNTEGGIO			A. VERT.	A. ORT.	A. COMP.	1.5	1	1	PUNTEGGIO			A. VERT.	A. ORT.	A. COMP.	0.5	0.5	0.5
PUNTEGGIO																				
A. VERT.	A. ORT.	A. COMP.																		
1.5	1	1																		
PUNTEGGIO																				
A. VERT.	A. ORT.	A. COMP.																		
0.5	0.5	0.5																		
<p>3.2 MALTA</p> <p>3.2.1 FUNZIONE</p> <input checked="" type="checkbox"/> ALLETTAMENTO <input type="checkbox"/> INCOERENTE <input type="checkbox"/> STILATURA <input type="checkbox"/> FRIBILE <input type="checkbox"/> REMPIMENTO <input checked="" type="checkbox"/> COMPATTA <input type="checkbox"/> TENACE <p>3.2.3 COLORE MALTA: biancastro 3.2.4 COLORE AGGREGATO: grigio 3.2.5 TIPO DI AGGREGATO: SABBIA <input checked="" type="checkbox"/> SABBIA <input type="checkbox"/> GHIAIA <input type="checkbox"/> GHIAIETTO</p> <p>3.2.2 CONSISTENZA</p> <input type="checkbox"/> INCOERENTE <input checked="" type="checkbox"/> COMPATTA <input type="checkbox"/> TENACE <p>3.2.6 FORMA DELL'AGGREGATO</p> <input checked="" type="checkbox"/> ARROTONDATA <input type="checkbox"/> SPIGOLOSA	<p>3.2.7 QUALITA' DELLA MALTA/STATO DI CONSERVAZIONE/ADERENZA AL SUPPORTO (MAL.)</p> <input type="checkbox"/> NON RISPETTATA <input checked="" type="checkbox"/> PARZIALMENTE RISPETTATA <input type="checkbox"/> RISPETTATA																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">PUNTEGGIO</th> </tr> <tr> <th>A. VERT.</th> <th>A. ORT.</th> <th>A. COMP.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">0.5</td> <td style="text-align: center;">0.5</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </tbody> </table>			PUNTEGGIO			A. VERT.	A. ORT.	A. COMP.	0.5	0.5	1									
PUNTEGGIO																				
A. VERT.	A. ORT.	A. COMP.																		
0.5	0.5	1																		



NTC 2008 – EDIFICI ESISTENTI

Gli edifici esistenti si distinguono da quelli di nuova progettazione per gli aspetti seguenti:

- il progetto riflette lo stato delle conoscenze al tempo della loro costruzione;
- il progetto può contenere difetti di impostazione progettuale e di realizzazione non immediatamente visibili;
- spesso l'esecuzione dell'opera non è preceduta da una fase di progettazione degli elementi strutturali (edilizia popolare);

Tali edifici possono essere stati soggetti a terremoti passati e ad altre azioni accidentali che non sono manifesti.

Di conseguenza la valutazione della sicurezza ed il progetto degli interventi sono normalmente affetti da un grado di incertezza diverso da quello degli edifici nuovi.

E' quindi necessario utilizzare **coefficienti di sicurezza parziali adeguatamente modificati** in funzione dell'informazione disponibile.



NTC 2008 – EDIFICI ESISTENTI

La valutazione della sicurezza consiste nelle operazioni necessarie per stabilire se un edificio esistente è in grado o meno di resistere alla combinazione sismica di progetto delle norme vigenti.

In generale gli stessi metodi previsti dalle norme di progetto per le nuove costruzioni valgono per la valutazione degli edifici esistenti, tenendo conto del diverso grado di incertezza

Al fine della scelta del tipo di analisi e dei coefficienti di sicurezza parziali vengono definiti **tre livelli di conoscenza**:

- LC1 – Conoscenza limitata
- LC2 – Conoscenza Adeguata
- LC3 – Conoscenza Accurata

Gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono:

- Geometria (rilievo, disegni originali, indagine storica, ecc.)
- Dettagli costruttivi (rilievo visivo organizzazione strutturale)
- Materiali (indagini visive, prove sperimentali, ecc.)



NTC 2008 – EDIFICI ESISTENTI

Livello di Conoscenza	Geometria	Dettagli costruttivi	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Rilievo muratura, volte, solai, scale. Individuazione carichi gravanti su ogni elemento di parete Individuazione tipologia fondazioni. Rilievo eventuale quadro fessurativo e deformativo.	verifiche in situ limitate	Indagini in situ limitate Resistenza: valore minimo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1	Tutti	1.35
LC2			Indagini in situ estese Resistenza: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1		1.20
LC3		verifiche in situ estese ed esaustive	Indagini in situ esaustive -caso a) (disponibili 3 o più valori sperimentali di resistenza) Resistenza: media dei risultati delle prove Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 -caso b) (disponibili 2 valori sperimentali di resistenza) Resistenza: se valore medio sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, valore medio dell'intervallo di Tabella C8A.2.1; se valore medio sperimentale maggiore di estremo superiore intervallo, quest'ultimo; se valore medio sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore medio sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a). -caso c) (disponibile 1 valore sperimentale di resistenza) Resistenza: se valore sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, oppure superiore, valore medio dell'intervallo; se valore sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a).		1.00



Indagini in-situ limitate

Servono a completare le informazioni sulle proprietà dei materiali ottenute dalla letteratura, o dalle regole in vigore all'epoca della costruzione, e per individuare la tipologia della muratura. **Sono basate su esami visivi della superficie muraria.** Tali esami visivi sono condotti dopo la rimozione di una zona di intonaco di almeno 1m x 1m, al fine di individuare forma e dimensione dei blocchi di cui è costituita, eseguita preferibilmente in corrispondenza degli angoli, al fine di verificare anche le ammorsature tra le pareti murarie. E' da valutare, anche in maniera approssimata, la compattezza della malta. Importante è anche valutare la capacità degli elementi murari di assumere un comportamento monolitico in presenza delle azioni, tenendo conto della qualità della connessione interna e trasversale attraverso saggi localizzati, che interessino lo spessore murario.



Indagini in-situ estese

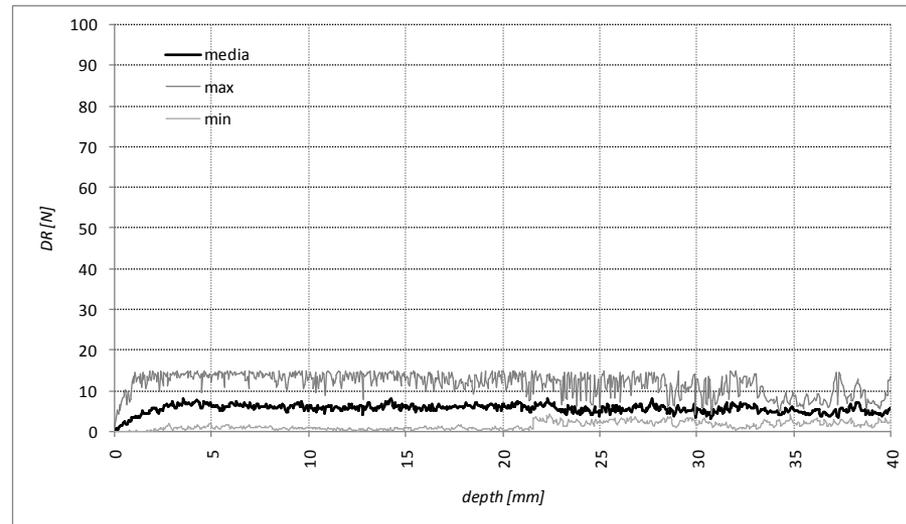
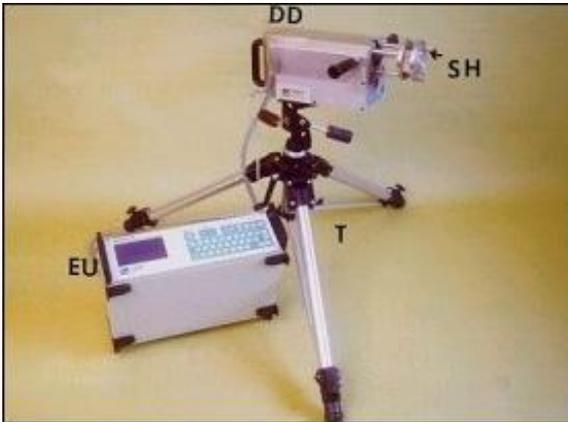
Le indagini limitate sono effettuate in maniera estesa e sistematica, con saggi superficiali ed interni per ogni tipo di muratura presente. **Prove con martinetto piatto doppio e prove di caratterizzazione della malta** (tipo di legante, tipo di aggregato, rapporto legante/aggregato, etc.), e eventualmente di pietre e/o mattoni (caratteristiche fisiche e meccaniche) consentono di individuare la tipologia della muratura. **È opportuna una prova per ogni tipo di muratura presente.** Metodi di prova non distruttivi (prove soniche, prove sclerometriche, penetrometriche per la malta, etc.) possono essere impiegati a complemento delle prove richieste.



SISTEMA DRMS

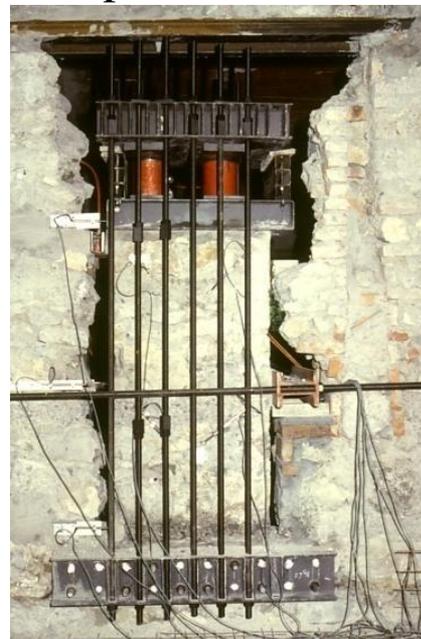


$0.0 \text{ N} < D_R < 3.5 \text{ N}$	$0.0 \text{ MPa} < R_c < 2.5 \text{ MPa}$	mediocre
$3.6 \text{ N} < D_R < 6.5 \text{ N}$	$2.5 \text{ MPa} < R_c < 5.0 \text{ MPa}$	scarsa
$6.6 \text{ N} < D_R < 12.5 \text{ N}$	$5.0 \text{ MPa} < R_c < 10.0 \text{ MPa}$	buona
$D_R > 12.6 \text{ N}$	$R_c > 10.0 \text{ MPa}$	eccellente



Indagini in-situ esaustive

Servono per ottenere informazioni quantitative sulla resistenza del materiale. In aggiunta alle verifiche visive, ai saggi interni ed alle prove di cui ai punti precedenti, si effettua una ulteriore serie di prove sperimentali che, per numero e qualità, siano tali da consentire di valutare le caratteristiche meccaniche della muratura. La misura delle caratteristiche meccaniche della muratura si ottiene mediante esecuzione di prove, in situ o in laboratorio (su elementi non disturbati prelevati dalle strutture dell'edificio). Le prove possono in generale comprendere prove di compressione diagonale su pannelli o prove combinate di compressione verticale e taglio.



- ✓ Metodi di prova non distruttivi possono essere impiegati in combinazione, ma non in completa sostituzione di quelli sopra descritti. **Qualora esista una chiara, comprovata corrispondenza tipologica per materiali, pezzatura dei conci, dettagli costruttivi, in sostituzione delle prove sulla costruzione oggetto di studio possono essere utilizzate prove eseguite su altre costruzioni presenti nella stessa zona.**
- ✓ **Le Regioni potranno, tenendo conto delle specificità costruttive del proprio territorio, definire zone omogenee a cui riferirsi a tal fine.**
- ✓ I risultati delle prove sono esaminati e considerati nell'ambito di un quadro di riferimento tipologico generale, che **tenga conto dei risultati delle prove sperimentali disponibili in letteratura** sino a quel momento per le tipologie murarie in oggetto e che consenta di valutare, anche in termini statistici, la effettiva rappresentatività dei valori trovati. I risultati delle prove sono utilizzati in combinazione con quanto riportato nella Tabella C8A.2.1, secondo quanto riportato al § C8A.1.A.4.

DETERMINAZIONE DEI VALORI MEDI

Per i diversi livelli di conoscenza, per ogni tipologia muraria, i **valori medi dei parametri meccanici** possono essere definiti come segue:

LC1

- **Resistenze: i minimi degli intervalli riportati in Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione.**
- **Moduli elastici: i valori medi degli intervalli riportati nella tabella suddetta.**

Tipologia di muratura	f_m	τ_0	E	G
	(N/cm ²)	(N/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100	2.0	690	230
	140	2.6	870	290
	180	3.2	1050	350

DETERMINAZIONE DEI VALORI MEDI

Per i diversi livelli di conoscenza, per ogni tipologia muraria, i **valori medi dei parametri meccanici** possono essere definiti come segue:

LC2

- **Resistenze:** medie degli intervalli riportati in Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione.
- **Moduli elastici:** valori medi degli intervalli riportati nella tabella suddetta.

Tipologia di muratura	f_m (N/cm ²)	τ_0 (N/cm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)
muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100	2.0	690	230
	140	2.6	870	290
	180	3.2	1050	350

DETERMINAZIONE DEI VALORI MEDI

Per i diversi livelli di conoscenza, per ogni tipologia muraria, i **valori medi dei parametri meccanici** possono essere definiti come segue:

LC3 – caso a), nel caso siano disponibili tre o più valori sperimentali R_i M_i $i \geq 3$

- **Resistenze: media dei risultati delle prove.**
- **Moduli elastici: media delle prove o valori medi degli intervalli riportati nella Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione.**

$$R_s = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \quad M_s = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{n}$$

Tipologia di muratura	f_m	τ_0	E	G
	(N/cm ²)	(N/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100	2.0	690	230
	140	2.6	870	290
	180	3.2	1050	350

DETERMINAZIONE DEI VALORI MEDI

Per i diversi livelli di conoscenza, per ogni tipologia muraria, i **valori medi dei parametri meccanici** possono essere definiti come segue:

LC3 – caso b), nel caso siano disponibili due valori sperimentali di resistenza R_1 e R_2

- **Resistenze:** se il valore medio delle resistenze è compreso nell'intervallo riportato nella Tabella C8A.2.1 si assumerà il valore medio dell'intervallo, se è maggiore dell'estremo superiore dell'intervallo si assume quest'ultimo come resistenza, se è inferiore al minimo dell'intervallo, si utilizza come valore medio il valore medio sperimentale.
- **Moduli elastici:** vale quanto indicato per il caso LC3 – caso a).

$$R_{\min} \leq R_s \leq R_{\max} \quad M_s = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{n}$$

Tipologia di muratura	f_m (N/cm ²)	τ_0 (N/cm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	
muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100	2.0	690	230	R_{\min}
	140	2.6	870	290	R_{med}
	180	3.2	1050	350	R_{\max}

$$R_s < R_{\min} \quad R_m = R_s$$

$$R_s > R_{\max}$$



DETERMINAZIONE DEI VALORI MEDI

Per i diversi livelli di conoscenza, per ogni tipologia muraria, i **valori medi dei parametri meccanici** possono essere definiti come segue:

LC3 – caso c), nel caso sia disponibile un valore sperimentale di resistenza R_1

- **Resistenze:** se il valore di resistenza è compreso nell'intervallo riportato nella Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione, oppure superiore, si assume il valore medio dell'intervallo, se il valore di resistenza è inferiore al minimo dell'intervallo, si utilizza come valore medio il valore sperimentale.
- **Moduli elastici:** vale quanto indicato per il caso LC3 – caso a).

$$R_1 \geq R_{\min}$$

Tipologia di muratura	f_m	τ_0	E	G	
	(N/cm ²)	(N/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	
muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100	2.0	690	230	R_{\min}
	140	2.6	870	290	R_{med}
	180	3.2	1050	350	R_{\max}

$$R_1 < R_{\min} \quad R_m = R_1$$

VALORI DI CALCOLO

Tipologia di muratura	f_m	τ_0	E	G	w
	(N/cm ²)	(N/cm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN/m ³)
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100	2,0	690	230	19
	180	3,2	1050	350	
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200	3,5	1020	340	20
	300	5,1	1440	480	
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260	5,6	1500	500	21
	380	7,4	1980	660	
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140	2,8	900	300	16
	240	4,2	1260	420	
Muratura a blocchi lapidei squadriati	600	9,0	2400	780	22
	800	12,0	3200	940	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240	6,0	1200	400	18
	400	9,2	1800	600	
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500	24	3500	875	15
	800	32	5600	1400	
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400	30,0	3600	1080	12
	600	40,0	5400	1620	
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300	10,0	2700	810	11
	400	13,0	3600	1080	
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150	9,5	1200	300	12
	200	12,5	1600	400	
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300	18,0	2400	600	14
	440	24,0	3520	880	

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_m} = \frac{R_m}{FC \cdot \gamma_m}$$

$\gamma_m = 3$ CARICHI VERTICALI

$\gamma_m = 2$ AZIONE SISMICA





Università degli Studi di Firenze

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale



Ordine degli Ingegneri della Provincia di Pistoia

ANALISI E INTERVENTI STRUTTURALI SU EDIFICI IN MURATURA secondo le NTC 2008

CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA MURATURA

Ing. BARBARA ORTOLANI
ortolani@dicea.unifi.it

PISTOIA 28/09/2012