



Collegio dei Geometri e dei Geometri Laureati Reggio Emilia 26 novembre 2010



- ***Edifici in muratura in zona sismica***
- ***Antonio Tralli , Dipartimento di Ingegneria Università di Ferrara***



Normative

Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008. *Norme tecniche per le costruzioni e relativi allegati A e B (G.U. n. 29 del 4.02.2008, suppl. ord. n° 30)*

Circolare illustrativa del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.*

O.P.C.M. 20/03/03 (3274) Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. G.U. 08/05/03 N. 105

L.R. 19 del 30.10.2008 e relativi atti di indirizzo in particolare la circolare esplicativa ai sensi dell'art. 12 dei contenuti del progetto esecutivo

Testi consigliati

C. Blasi, A. Borri, S. Di Pasquale, P. Malsani, G. Nigro, A. Parducci, G. Tampone *"Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica degli edifici (Regione Umbria)"*. DEI s.r.l. Tipografia del Genio Civile 1999

M. L. Scillone, M. Di Segni, *"Tecniche antisismiche per il recupero strutturale di fabbricati in muratura tradizionale"*. Edizioni Kappa 2000

A. Giuffrè, *Sicurezza e conservazione dei centri storici: Il caso di Ortigia*. Laterza Bari 1993.



Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 *Norme tecniche per le costruzioni e allegati A e B*

(G.U. n. 29 del 4.02.2008, suppl. ord. n° 30)



Capitolo 4.5 – Costruzioni in muratura

Materiali, Organizzazione strutturale, Analisi per carichi verticali, Metodo delle eccentricità, Verifiche, Coefficienti di sicurezza del materiale.

Capitolo 7.8 - Costruzioni in muratura (analisi sismica)

Materiali, Modalità costruttive, Fattori di struttura, Criteri di progetto, Requisiti geometrici, Metodi di analisi, Costruzioni semplici, Verifiche di sicurezza, Regole di dettaglio.

Capitolo 8 – Costruzioni esistenti

Criteri generali, valutazione della sicurezza, Classificazione degli interventi, Redazione dei progetti, Analisi storico-critica, Rilievo, Caratterizzazione meccanica dei materiali.

Capitolo 11 – Identificazione, Qualificazione, Accettazione dei materiali strutturali.

Capitolo 11.10 – Muratura portante:

Determinazione sperimentale delle resistenze, Moduli di elasticità.



- ***Il materiale muratura***



Il materiale muratura

- Introduzione
 - Capitolo 4.5 Costruzioni in muratura (zona non sismica)
 - Capitolo 7.8 Costruzioni in muratura (zona sismica)
 - Capitolo 11 materiale per uso strutturale
 - Capitolo 8 (C8A1.4) Le costruzioni esistenti
 - Le schede di valutazione della Regione Emilia-Romagna
-



Il materiale muratura



- Con il termine muratura si intende un materiale eterogeneo composto da più fasi solide
- La tipologia dell'apparato murario utilizzata in Italia è estremamente varia, si passa dalla muratura in laterizio con mattoni interi o forati alla muratura in sasso con elementi squadriati o meno
- Le caratteristiche meccaniche delle fasi componenti e del composito risultano molto diverse



Il materiale muratura



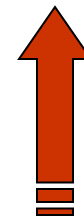
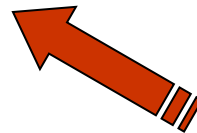
Muratura in mattoni di argilla e malta

I 3 ponti di Comacchio Ferrara

S. Francisco del Baron Valparaiso



Il materiale muratura



Esempi di muratura in sasso di cattiva qualità UMBRIA



Il materiale muratura nell'Aquilano



Nell'Aquilano sono presenti tipologie di muratura diverse:

- ***Murature di pietra grezza non lavorata con pietre di forma irregolare fissate con malta di calce di scarsa qualità o legate con terra cruda (tipiche dei fabbricati più vecchi sia nei paesi che nel capoluogo).***
- ***Murature in laterizi forati posati per fascia ricoperte da strati di intonaco spessi alcuni centimetri.***
- ***Murature di blocchetti di calcestruzzo posati per testa.***

In entrambi i casi i giunti sono di notevole spessore (2-3 cm) di malta cementizia o composta con inerti grossolani.



Poggio di Roio : centro storico





Il materiale muratura



Muratura di pietra grezza non lavorata con tessitura sub-orizzontale con malta di calce o terra cruda



Muratura in laterizi forati (“occhialoni”)

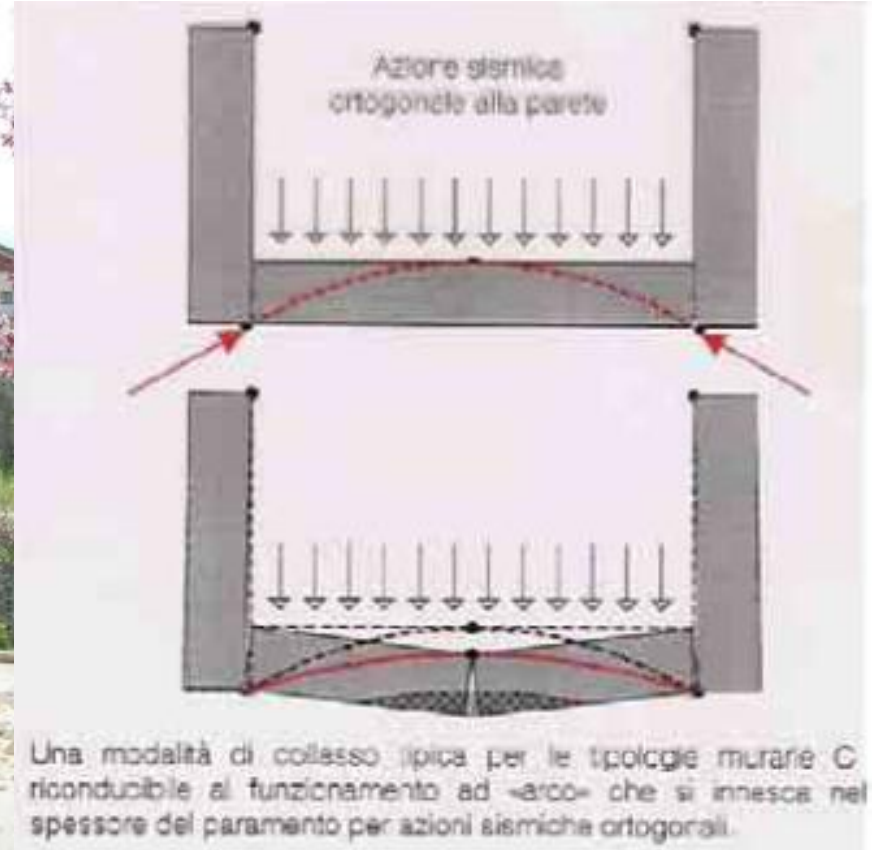


Il materiale muratura



Il pietrame irregolare è legato con malta di scarsa qualità.
I muri di questo tipo sono spesso formati da due paramenti
Villa Sant'Angelo

Il materiale muratura



Espulsione del paramento esterno di muratura irregolare : scuola elementare di Poggio di Roio



Il materiale muratura



Nell'edificio crollato è evidente la disomogeneità dei materiali utilizzati: all'originaria struttura verticale in muratura di pietra si sono aggiunti pilastri in muratura in laterizio e in c.a., pareti in blocchi di calcestruzzo forati e solaio di copertura in tavelloni e putrelle.

In molti edifici si è riscontrato un piano terra in muratura di pietrame non squadrato di notevole spessore (80-100cm),

Successivamente è stata realizzata una sopraelevazione in mattoni forati con solaio con putrelle e voltine e quindi (anni 80) un terzo piano in blocchetti in cls. e solai e copertura in laterocemento.



L'Aquila : Prefettura





L'Aquila : Prefettura



Anche in questo edificio la qualità della muratura di pietrame non squadrate era assai scarsa





Muratura di buona qualità



L'Aquila centro storico



I danni sono molto limitati, si osservi la Volta sostanzialmente integra

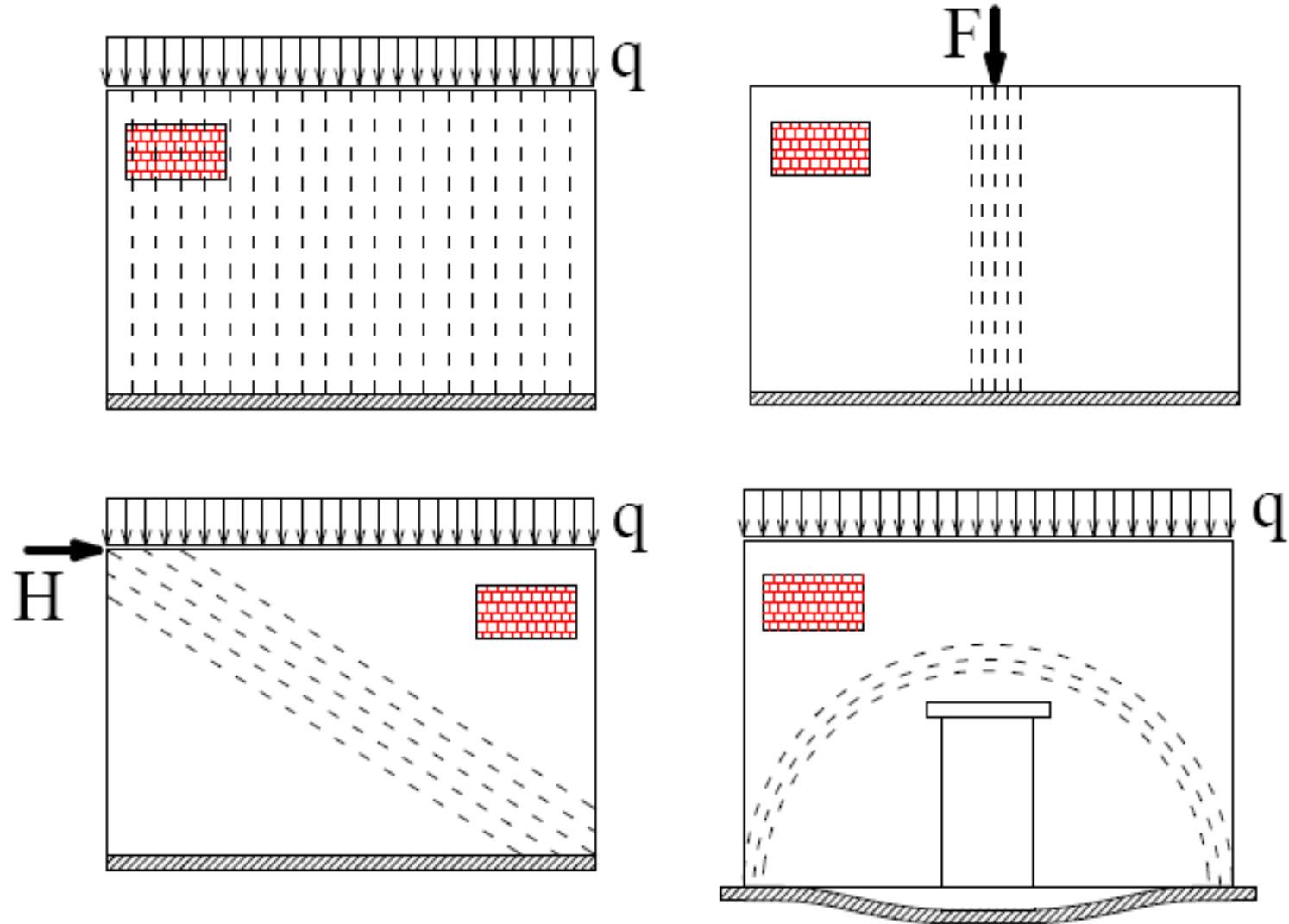


Il Materiale Muratura è in genere schematizzato con le seguenti caratteristiche:

- La resistenza a trazione è esigua e comunque non affidabile.
- La resistenza a compressione è molto varia come il modulo elastico
- ***La duttilità è in genere scarsa.***
- L'eterogeneità delle caratteristiche meccaniche e dei comportamenti strutturali degli edifici in muratura, anche formalmente simili, ***porta a prescrizioni normative assai diverse da quelle per le costruzioni in c.a. o metalliche.***
- Verifiche puntuali dello stato di tensione in una struttura in muratura sono ***prive di senso.***
- ***L'analisi elastica appare del tutto convenzionale.***
Le NTC08, il D.M. del 1987 e l'OPCM 3274 consentono un'analisi lineare solo al fine di valutare le caratteristiche della sollecitazione (N, M, T) nei vari elementi strutturali, mentre le verifiche sono di fatto agli stati limite.

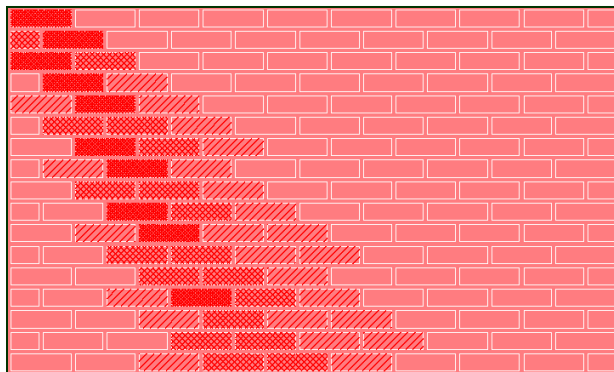


Lo schema resistente si modifica in funzione dei carichi e delle condizioni di vincolo

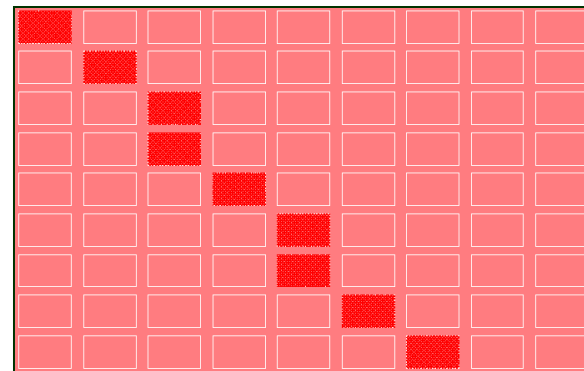




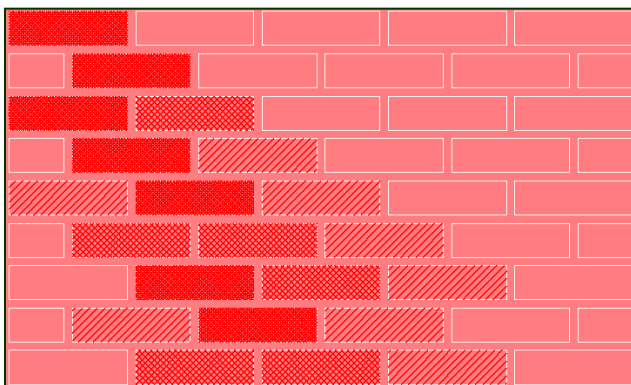
DISTRIBUZIONE DELLE FORZE IN PANNELLI MURARI A TESSITURA DIFFERENTE



Tessitura Fine a corsi verticali correttamente messi in opera



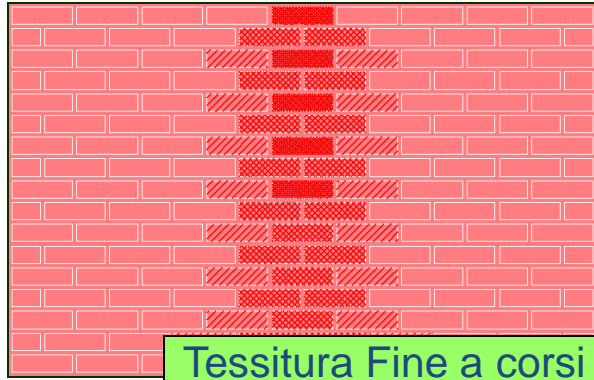
Tessitura Fine a corsi scorrettamente posti in opera



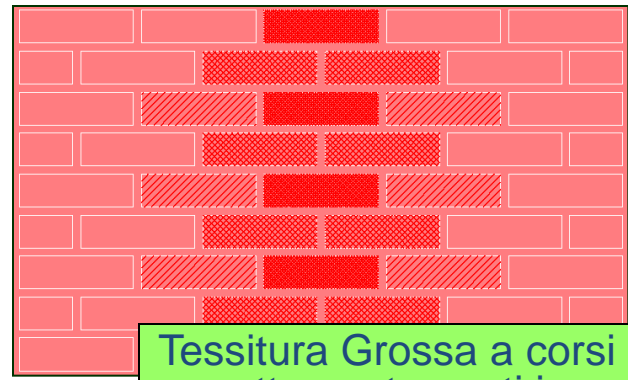
Tessitura Grossa a corsi correttamente posti in opera



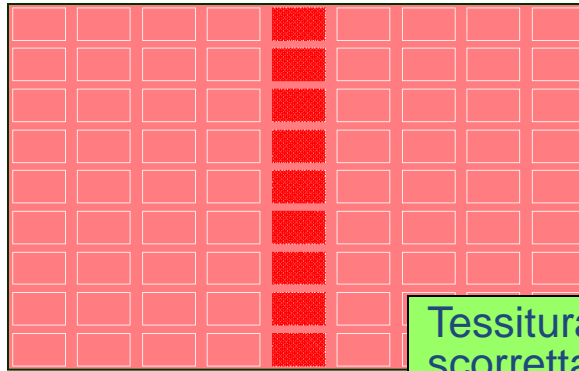
DISTRIBUZIONE DELLE FORZE IN PANNELLI MURARI A TESSITURA DIFFERENTE



Tessitura Fine a corsi verticali correttamente messi in opera



Tessitura Grossa a corsi correttamente posti in opera

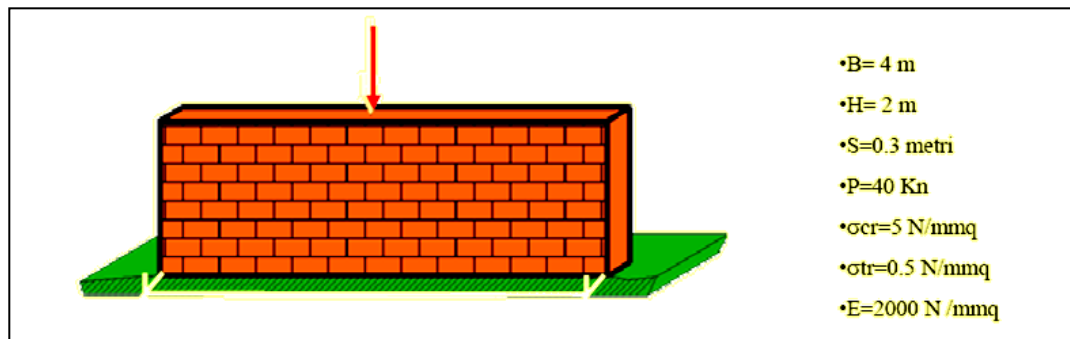


Tessitura Fine a corsi scorrettamente posti in opera



COMPORAMENTO MECCANICO DELLE MURATURE : CARATTERISTICHE GENERALI

Comportamento dei pannelli murari sottoposti a carichi verticali



Materiale elastico



**Materiale scarsamente
resistente a trazione**



Capitolo 4.5 – Costruzioni in muratura (in zona non sismica)



Capitolo 4.5 – Costruzioni in muratura



4.5.4 ORGANIZZAZIONE STRUTTURALE

L'edificio a muratura portante deve essere concepito come una **struttura tridimensionale**. I sistemi resistenti di pareti di muratura, gli orizzontamenti e le fondazioni *devono essere collegati* tra di loro in modo da resistere alle azioni **verticali ed orizzontali**.

*I pannelli murari sono considerati resistenti anche alle azioni orizzontali quando hanno una lunghezza non inferiore a **0,3 volte l'altezza di interpiano**; essi svolgono funzione portante, quando sono sollecitati prevalentemente da azioni verticali, e svolgono funzione di controvento, quando sollecitati prevalentemente da azioni orizzontali....*

L'organizzazione dell'intera struttura e il collegamento tra le sue parti devono essere tali da assicurare appropriata resistenza e stabilità, ed un **comportamento d'insieme "scatolare"**.

Per garantire un **comportamento scatolare**, muri ed orizzontamenti devono essere opportunamente collegati fra loro. **Tutte le pareti devono essere collegate al livello dei solai mediante cordoli di piano di calcestruzzo armato** e, tra di loro, mediante ammorsamenti lungo le intersezioni verticali. I cordoli di piano devono avere adeguata sezione ed armatura.



Capitolo 4.5 – Costruzioni in muratura



4.5.4 ORGANIZZAZIONE STRUTTURALE

Lo spessore dei muri portanti non può essere inferiore ai seguenti valori:

- muratura in elementi resistenti artificiali pieni	150 mm
- muratura in elementi resistenti artificiali semipieni	200 mm
- muratura in elementi resistenti artificiali forati	240 mm
- muratura di pietra squadrata	240 mm
- muratura di pietra listata	400 mm
- muratura di pietra non squadrata	500 mm

I fenomeni del secondo ordine possono essere controllati mediante la *snellezza convenzionale della parete*, definita dal rapporto:

$$\lambda = h_0 / t$$

Il valore della snellezza λ non deve risultare superiore a 20 (in zona sismica no superiore a 12)



Capitolo 4.5 – Costruzioni in muratura



4.5.5 ANALISI STRUTTURALE

La risposta strutturale è calcolata usando:

- analisi semplificate.
- analisi lineari, assumendo i valori secanti dei moduli di elasticità
- analisi non lineari

Le verifiche sono condotte con l'ipotesi di conservazione delle sezioni piane e trascurando la resistenza a trazione per flessione della muratura.

4.5.6 VERIFICHE → 4.5.6.1 Resistenze di progetto

Compressione - Pressoflessione - Carichi concentrati

$$f_d = f_k / \gamma_M$$

Taglio

$$f_{vd} = f_{vk} / \gamma_M \quad (f_{vk} = f_{vk0} + 0.4 \sigma_N)$$

γ_M → Coefficiente Parziale di Sicurezza (2.0 – 2.2 – 2.5 – 2.7 – 3.0)



Capitolo 7.8 - Costruzioni in muratura (in zona sismica)



7.8.1.2 Materiali

Gli elementi da utilizzare per costruzioni in muratura portante debbono essere tali da evitare rotture eccessivamente fragili.

- percentuale volumetrica degli eventuali vuoti non superiore al 45% del volume totale del blocco;
- le uniche interruzioni ammesse sono quelle in corrispondenza dei fori di presa o per l'alloggiamento delle armature;
- resistenza caratteristica a rottura nella direzione portante, calcolata sull'area al lordo delle forature, non inferiore a 5 MPa;
- resistenza caratteristica a rottura nella direzione perpendicolare a quella portante ossia nel piano di sviluppo della parete non inferiore a 1,5 MPa.

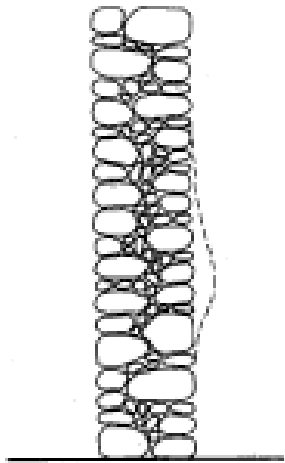
La malta di allettamento per la muratura ordinaria deve avere resistenza media non inferiore a 5 MPa e i **giunti verticali debbono essere riempiti con malta**.

Sono ammesse murature realizzate con elementi artificiali o elementi in pietra squadrata.

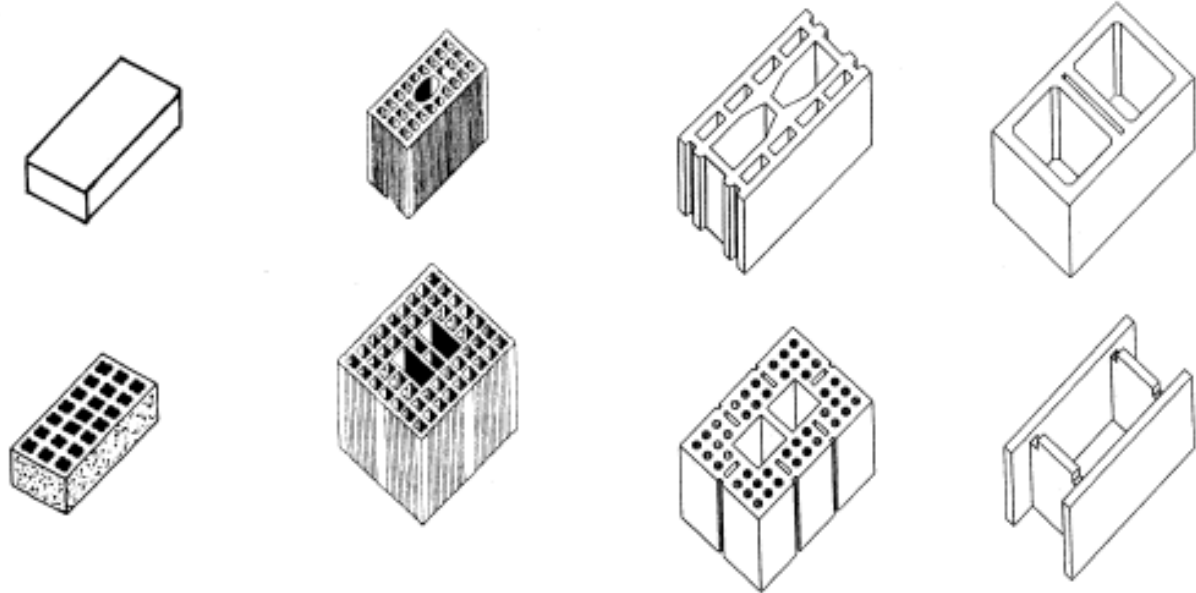
È consentito utilizzare la muratura di pietra non squadrata o la muratura listata solo nei siti ricadenti in zona 4.



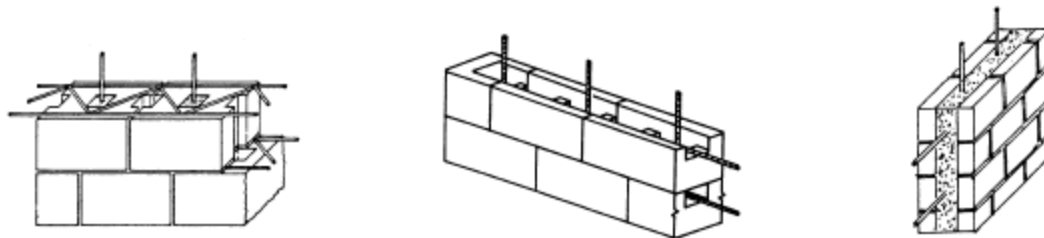
7.8.1.2 Materiali



Muratura a doppia cortina



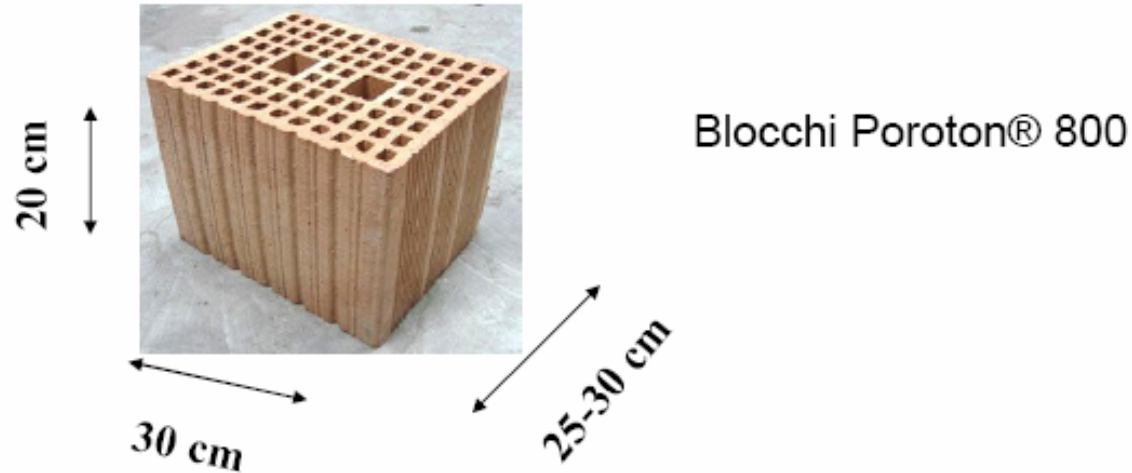
Tipologie di mattoni e laterizi



Tipologie di muratura armata



7.8.1.2 Materiali



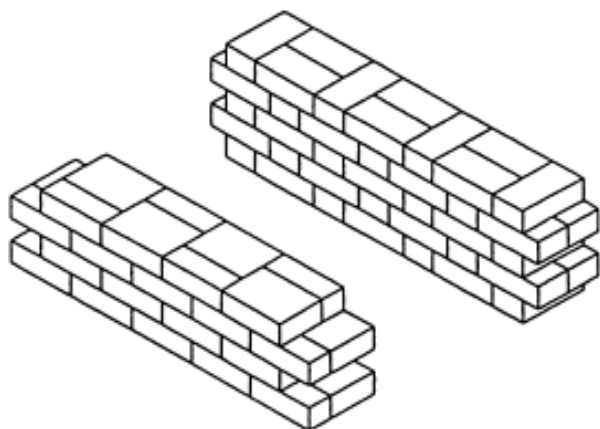
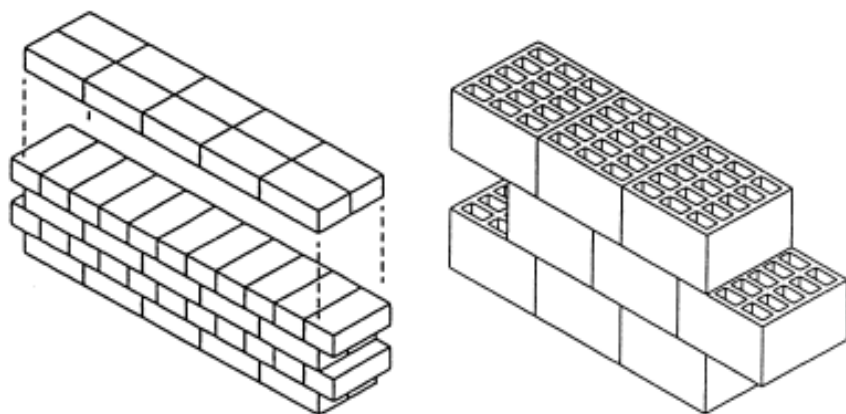
Blocco Poroton®800	Unità di misura	Valore
Tipologia del blocco	Tipo	semipieno
Percentuale foratura	%	≤ 45
Peso volumico impasto cotto	kN/m^3	$\approx 14,5$
Peso volumico del blocco	kN/m^3	≈ 8
Resistenza caratteristica f_{bk}	MPa	≥ 8
Resistenza caratteristica f_{vk0}	MPa	$\approx 0,2$
Resistenza caratteristica \bar{f}_{bk}	MPa	$\geq 1,5$



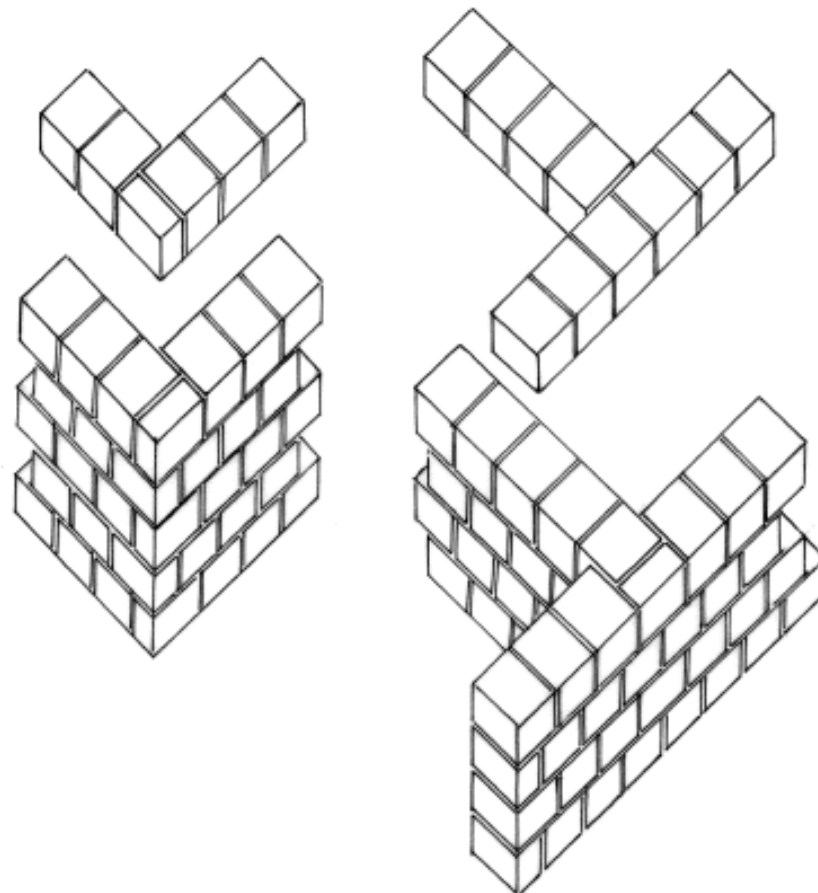
Capitolo 7.8 - Costruzioni in muratura (analisi sismica)



7.8.1.2 Materiali



Esempi di disposizione dei blocchi



Esempi di ammorsamenti d'angolo



Capitolo 7.8 - Costruzioni in muratura (analisi sismica)



7.8.1.3 Modalità costruttive e “fattori di struttura”

In funzione del tipo di tecnica costruttiva utilizzata, la costruzione può essere considerata in muratura ordinaria o in muratura armata.

I valori massimi q_0 del fattore di struttura con cui individuare lo spettro di progetto sono indicati nella seguente tabella.

Tabella 7.8.I - Valori di q_0 per le diverse tipologie strutturali.

TIPOLOGIA STRUTTURALE	q_0
Costruzioni in muratura ordinaria	$2,0 \alpha_u / \alpha_1$
Costruzioni in muratura armata	$2,5 \alpha_u / \alpha_1$
Costruzioni in muratura armata progettati secondo GR	$3,0 \alpha_u / \alpha_1$

- costruzioni in muratura ordinaria ad un piano $\alpha_u / \alpha_1 = 1,4$
- costruzioni in muratura ordinaria a due o più piani $\alpha_u / \alpha_1 = 1,8$
- costruzioni in muratura armata ad un piano $\alpha_u / \alpha_1 = 1,3$
- costruzioni in muratura armata a due o più piani $\alpha_u / \alpha_1 = 1,5$
- costruzioni in muratura armata progettate con la gerarchia delle resistenze $\alpha_u / \alpha_1 = 1,3$

Si ha $q = q_0 \times K_R$ ($K_R = 0.8 - 1.0$) $\max q = 3$



Capitolo 7.8 - Costruzioni in muratura (analisi sismica)



7.8.1.4 Criteri di progetto e requisiti geometrici

Le **piante** delle costruzioni debbono essere quanto più possibile **compatte e simmetriche rispetto ai due assi ortogonali**. Le pareti strutturali, **al lordo delle aperture**, debbono avere **continuità in elevazione fino alla fondazione**, evitando pareti in falso. Le strutture costituenti orizzontamenti e coperture non devono essere spingenti. Eventuali spinte orizzontali, valutate tenendo in conto l'azione sismica, devono essere assorbite per mezzo di idonei elementi strutturali.

I solai devono assolvere funzione di ripartizione delle azioni orizzontali tra le pareti strutturali, pertanto devono essere ben collegati ai muri e garantire un adeguato **funzionamento a diaframma**.

La distanza massima tra due solai successivi **non deve essere superiore a 5 m**.



Capitolo 7.8 - Costruzioni in muratura (analisi sismica)



7.8.1.4 Criteri di progetto e requisiti geometrici

La geometria delle pareti resistenti al sisma, deve rispettare i requisiti indicati nella Tab. 7.8.II

Tabella 7.8.II – *Requisiti geometrici delle pareti resistenti al sisma.*

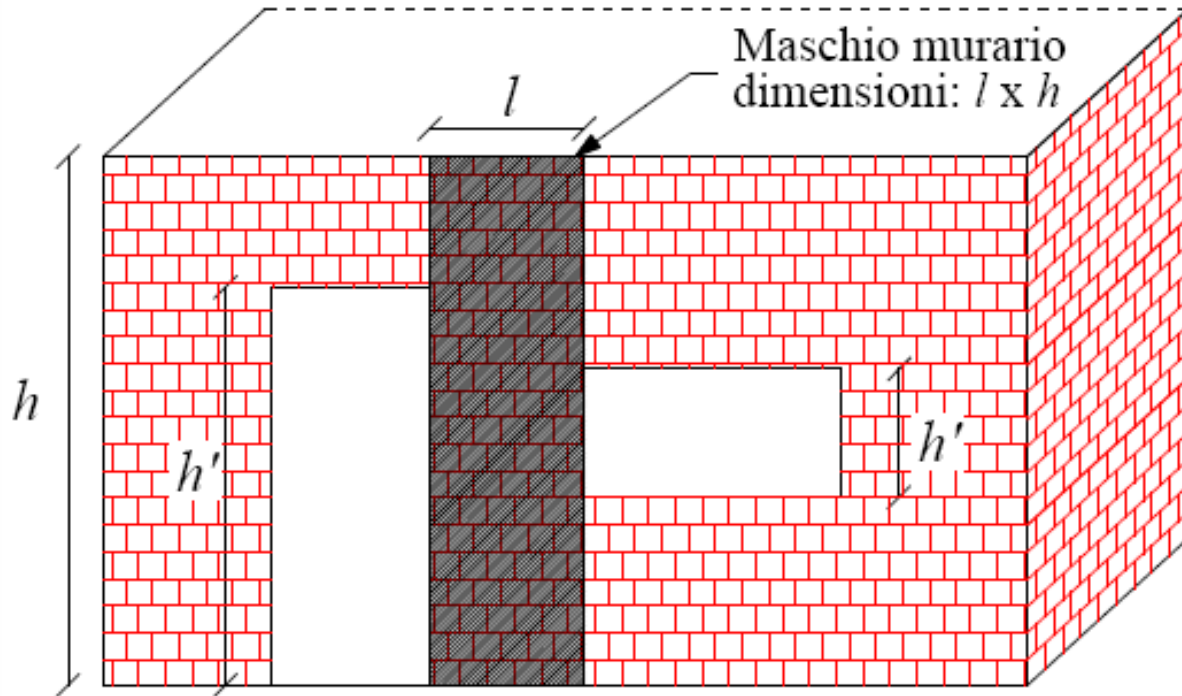
Tipologie costruttive	t_{\min}	$(\lambda=h_0/t)_{\max}$	$(l/h')_{\min}$
Muratura ordinaria, realizzata con elementi in pietra squadrata	300 mm	10	0,5
Muratura ordinaria, realizzata con elementi artificiali	240 mm	12	0,4
Muratura armata, realizzata con elementi artificiali	240 mm	15	Qualsiasi
Muratura ordinaria, realizzata con elementi in pietra squadrata, in siti ricadenti in zona 3 e 4	240 mm	12	0,3
Muratura realizzata con elementi artificiali semipieni, in siti ricadenti in zona 4	200 mm	20	0,3
Muratura realizzata con elementi artificiali pieni, in siti ricadenti in zona 4	150 mm	20	0,3



Capitolo 7.8 - Costruzioni in muratura (analisi sismica)



7.8.1.4 Criteri di progetto e requisiti geometrici



Se $l < 0,4 (h')_{max}$, ($l > 0,3h$) il maschio murario diviene “elemento secondario” ed ha funzione “portante” ma non ha funzione di “controvento”.



Capitolo 7.8 - Costruzioni in muratura (analisi sismica)

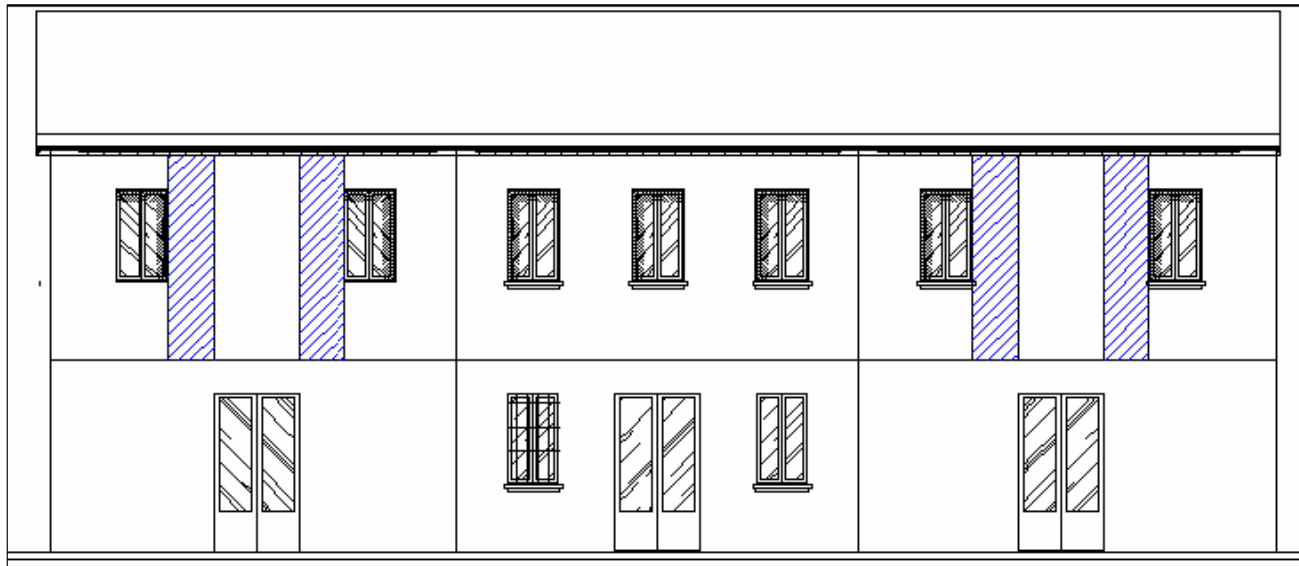


7.8.2 Costruzioni in muratura ordinaria

7.8.2.1 Criteri di progetto

Aperture verticalmente allineate

Se non allineate si considerano solo i maschi murari che lo sono



Al piano primo solo la parte tratteggiata è considerata resistente



Capitolo 11 – Materiale per uso strutturale



11.10 Muratura portante

11.10.1 Elementi per muratura

Gli elementi per muratura portante devono essere conformi alle norme europee armonizzate della serie UNI EN 771.

Specifica Tecnica Europea di riferimento	Categoria	Sistema di Attestazione della Conformità
Specifica per elementi per muratura - Elementi per muratura di laterizio, silicato di calcio, in calcestruzzo vibrocompresso (aggregati pesanti e leggeri), calcestruzzo aerato autoclavato, pietra agglomerata, pietra naturale UNI EN 771-1, 771-2, 771-3, 771-4, 771-5, 771-6	CATEGORIA I	2+
	CATEGORIA II	4

Gli elementi di **categoria I** hanno un controllo statistico, eseguito in conformità con le citate norme armonizzate, che fornisce resistenza caratteristica dichiarata a compressione riferita al **frattile 5%**.

Gli elementi di **categoria II** non soddisfano questi requisiti.

Categoria I o Categoria II ??



Scelta subordinata all'adozione di un appropriato coefficiente γ_M di sicurezza

Prove di accettazione



Capitolo 11 – Materiale per uso strutturale



11.10 Muratura portante

11.10.2 Malte per muratura

La malta per muratura portante deve garantire prestazioni adeguate al suo impiego in termini di durabilità e di prestazioni meccaniche e deve essere conforme alla norma armonizzata UNI EN 998-2

Specifica Tecnica Europea di riferimento	Uso Previsto	Sistema di Attestazione della Conformità
Malta per murature UNI EN 998-2	Usi strutturali	2+

Le prestazioni meccaniche di una malta sono definite mediante la sua resistenza media a compressione f_m . La categoria di una malta è definita da una sigla costituita dalla lettera M seguita da un numero che indica la resistenza f_m espressa in N/mm^2

Classe	M 2,5	M 5	M 10	M 15	M 20	M d
Resistenza a compressione N/mm^2	2,5	5	10	15	20	d
d è una resistenza a compressione maggiore di 25 N/mm^2 dichiarata dal produttore						

Non sono ammesse resistenze inferiori a 2.5 MPa



11.10 Muratura portante

11.10.3 Parametri meccanici della muratura

La **resistenza a compressione** della muratura “ f_k ” è determinata in funzione della resistenza a compressione dei blocchi (f_{bk}) e della malta.

Tabella 11.10.V - 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 N/mm^2	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	--



11.10 Muratura portante

11.10.3 Parametri meccanici della muratura

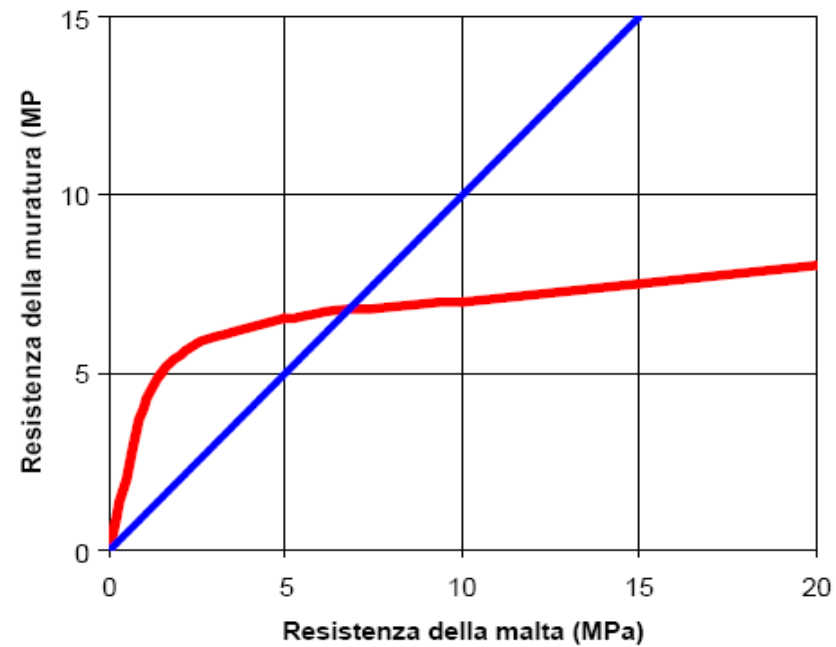
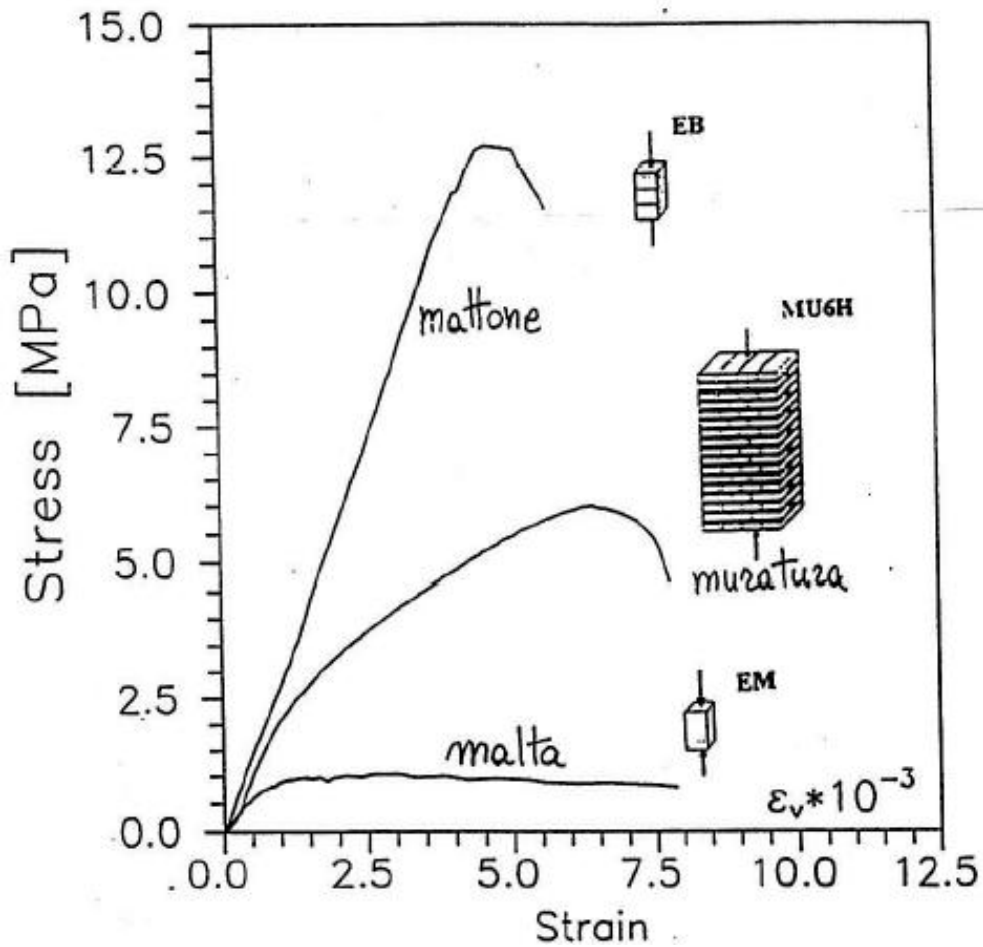
La **resistenza a taglio** della muratura “ f_{vk0} ” **in assenza di sforzo normale di compressione** è determinata in funzione della resistenza a compressione dei blocchi (f_{bk}) e della malta.

Tabella 11.10.VII- Resistenza caratteristica a taglio in assenza di tensioni normali f_{vk0} (valori in N/mm^2)

Tipo di elemento resistente	Resistenza caratteristica a compressione f_{bk} dell'elemento	Classe di malta	f_{vk0} (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



Capitolo 11 – Materiale per uso strutturale





Capitolo 11 – Materiale per uso strutturale



11.10 Muratura portante

11.10.3 Parametri meccanici della muratura

In sede di progetto, in assenza di prove sperimentali, è possibile adottare per i moduli di elasticità i seguenti valori:

Modulo di elasticità normale secante $E = 1000 f_k$

Modulo di elasticità tangenziale secante $G = 0.4 E$



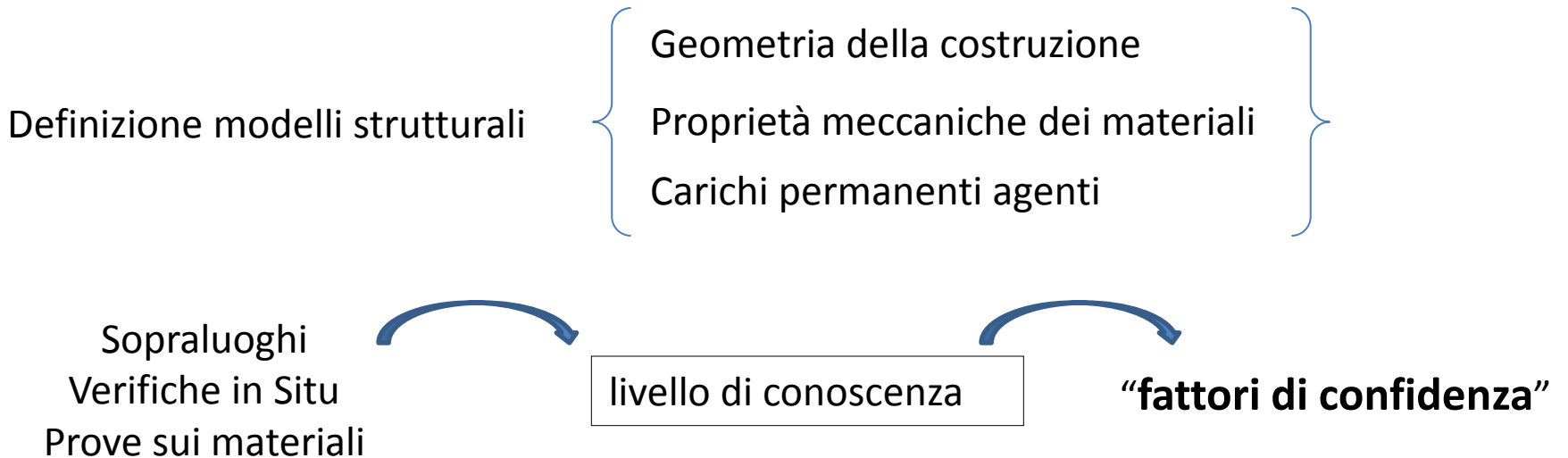
Capitolo 8 – Costruzioni esistenti



8.2 Criteri generali

Le disposizioni di carattere generale finora riportate **costituiscono il riferimento anche per le costruzioni esistenti**, se non diversamente specificato.

Nel caso di interventi non dichiaratamente strutturali (impiantistici, **di redistribuzione degli spazi**,...) dovrà essere valutata la loro possibile interazione con gli SLU e gli SLE della struttura.





(8.2 Criteri generali) Circolare NTC 2008

C8A.1.4 COSTRUZIONI IN MURATURA: LIVELLI DI CONOSCENZA

Con riferimento al livello di conoscenza acquisito, si possono definire i valori medi dei parametri meccanici ed i fattori di confidenza secondo quanto segue:

1. il **livello di conoscenza LC3** si intende raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ estese ed esaustive sui dettagli costruttivi, indagini in situ esaustive sulle proprietà dei materiali; il corrispondente **fattore di confidenza è FC=1**;
2. il **livello di conoscenza LC2** si intende raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ estese ed esaustive sui dettagli costruttivi ed indagini in situ estese sulle proprietà dei materiali; il corrispondente **fattore di confidenza è FC=1.2**;
3. il **livello di conoscenza LC1** si intende raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ limitate sui dettagli costruttivi ed indagini in situ limitate sulle proprietà dei materiali; il corrispondente **fattore di confidenza è FC=1.35**.



Capitolo 8 - Costruzioni esistenti



(8.2 Criteri generali) Circolare NTC 2008

C8A.1.4 COSTRUZIONI IN MURATURA: LIVELLI DI CONOSCENZA

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 C8B.1 per la tipologia muraria in considerazione;

Moduli elastici: i valori medi degli intervalli riportati nella tabella suddetta

LC2 - **Resistenze**: le medie degli intervalli riportati in Tabella C8B.1 per la tipologia muraria in considerazione;

Moduli elastici: i valori medi degli intervalli riportati nella tabella suddetta

LC3 – **Resistenze**: in funzione del numero di prove e delle medie dei risultati.....;

Moduli elastici: media delle prove o valori medi degli intervalli riportati nella Tabella C8B.1 per la tipologia muraria in considerazione



Capitolo 8 - Costruzioni esistenti

(8.2 Criteri generali) Circolare NTC 2008



C8A.1.4 COSTRUZIONI IN MURATURA: LIVELLI DI CONOSCENZA

Tabella C8B.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

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 sbazzati, 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	



Capitolo 8 - Costruzioni esistenti

(8.2 Criteri generali)

Circolare NTC 2008



C8A.1.4 COSTRUZIONI IN MURATURA: LIVELLI DI CONOSCENZA

Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140	2,8	900	300	16
	240	4,2	1260	420	
Muratura a blocchi lapidei squadrati	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 $\leq 40\%$)	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	



Capitolo 8 - Costruzioni esistenti

(8.2 Criteri generali)

Circolare NTC 2008



C8A.1.4 COSTRUZIONI IN MURATURA: LIVELLI DI CONOSCENZA

Coefficienti correttivi nel caso siano presenti alcuni fattori migliorativi per diverse tipologie di muratura

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 paramento 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 squadriati	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



Capitolo 8 - Costruzioni esistenti



8.3 Valutazione della sicurezza

La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguiti con riferimento ai soli SLU.

Le costruzioni esistenti devono essere sottoposte a valutazione della sicurezza quando ricorra anche una delle seguenti situazioni:

- Riduzione evidente della capacità portante;
- Deformazioni significative;
- Gravi errori di progetto;
- Cambio di destinazione d'uso che comporti una variazione dei carichi variabili di progetto e/o variazione della classe d'uso;
- Interventi non strutturali che interagiscono con le strutture;
-



Capitolo 8 - Costruzioni esistenti



8.4 Classificazione degli interventi Circolare NTC C8.4 Classificazione degli interventi

Si individuano le seguenti categorie di intervento:

Interventi di **adeguamento** atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalle presenti norme;

interventi di **miglioramento** atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalle norme vigenti;

riparazioni o **interventi locali** che interessino elementi isolati, e che comunque comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.



Capitolo 8 - Costruzioni esistenti

8.4 Classificazione degli interventi

Circolare NTC C8.4 Classificazione degli interventi

8.4.1 Adeguamento

È fatto obbligo di procedere alla valutazione della sicurezza e, qualora necessario, all'adeguamento della costruzione, a chiunque intenda:

1. Sopraelevare la costruzione;
2. Ampliare la costruzione con strutture connesse all'esistente;
3. Apportare variazioni di classe o destinazione d'uso che comportino variazione dei carichi globali in fondazione maggiori del 10%;
4. Effettuare interventi ed opere che rendano l'organismo edilizio diverso da quello originario

Una variazione dell'altezza dell'edificio, per la realizzazione di cordoli sommitali, sempre che resti immutato il numero di piani, **non è considerata sopraelevazione o ampliamento**, ai sensi dei punti 1) e 2).

In tal caso **non è necessario procedere all'adeguamento**, salvo che non ricorrano le condizioni di cui ai precedenti punti 3) o 4).



Capitolo 8 - Costruzioni esistenti



8.7.1 Valutazione e progettazione in presenza di azioni sismiche

L'analisi sismica dei meccanismi locali si può far ricorso ai metodi dell'analisi limite dell'equilibrio delle strutture murarie, tenendo conto, anche se in forma approssimata, della resistenza a compressione, della tessitura muraria, della qualità della connessione tra le pareti murarie, della presenza di catene e tiranti.

L'instaurarsi di meccanismi locali di ribaltamento fuori dal piano "meccanismi di 1° modo" è da evitare!!!

L'analisi sismica globale deve considerare, per quanto possibile, il sistema strutturale reale della costruzione, con particolare attenzione alla rigidezza e resistenza dei solai, e all'efficacia dei collegamenti degli elementi strutturali.

Nel caso di muratura irregolare, la resistenza a taglio di calcolo per azioni nel piano di un pannello in muratura potrà essere calcolata facendo ricorso a formulazioni alternative rispetto a quelle adottate per opere nuove, purché di comprovata validità.



Capitolo 8 - Costruzioni esistenti



8.4 Classificazione degli interventi

Circolare NTC C8.4 Classificazione degli interventi

8.4.2 Miglioramento

Rientrano negli interventi di miglioramento tutti gli interventi che siano comunque **finalizzati ad accrescere la capacità di resistenza delle strutture** esistenti alle azioni considerate.

È possibile eseguire interventi di miglioramento nei casi in cui non ricorrano le condizioni specificate al paragrafo 8.4.1.

Il progetto e la valutazione della sicurezza dovranno essere **estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento**, nonché alla struttura nel suo insieme.



Capitolo 8 - Costruzioni esistenti



8.7 Valutazione e progettazione in presenza di azioni sismiche

Nella valutazione della sicurezza o nella progettazione di interventi sulle costruzioni esistenti soggette ad azioni sismiche, particolare attenzione sarà posta agli aspetti che riguardano la **ductilità**.

Si dovranno quindi assumere le informazioni necessarie a valutare se i dettagli costruttivi, i materiali utilizzati e i meccanismi resistenti siano in grado di continuare a sostenere cicli di sollecitazioni o deformazioni anche dopo il superamento delle soglie di plasticizzazione o di frattura.

8.7.1 Valutazione e progettazione in presenza di azioni sismiche

Nelle **costruzioni esistenti in muratura** soggette ad azioni sismiche, particolarmente negli edifici, si possono manifestare meccanismi locali e meccanismi d'insieme.

I **meccanismi locali** interessano singoli pannelli murari o più ampie porzioni della costruzione, e sono favoriti dall'assenza o scarsa efficacia dei collegamenti tra pareti e orizzontamenti e negli incroci murari.

I **meccanismi globali** sono quelli che interessano l'intera costruzione e impegnano i pannelli murari prevalentemente nel loro piano.

La sicurezza dell'edificio deve essere valutata nei confronti di entrambi i tipi di meccanismo.



8.7.3 Edifici misti

Muratura – Muratura armata

Muratura – cemento armato

Muratura – acciaio

È necessario prevedere modellazioni che tengano conto delle particolarità strutturali che si identificano

L'interazione tra elementi strutturali di differente materiale e rigidezza deve, ove necessario, essere analizzata mediante

ANALISI DI TIPO NON LINEARE



La muratura esistente



Le Schede di valutazione della Regione Emilia-Romagna



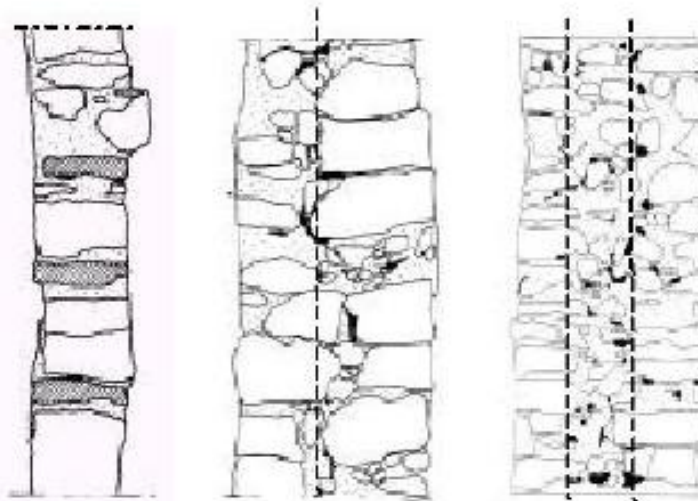
La muratura esistente



CARATTERIZZAZIONE DI MURATURE IN PIETRA
NELLE ZONE SISMICHE DELL'ITALIA
(Materiale ripreso dalle pubblicazioni di Binda ed altri)

Schedatura di murature e costituzione di un data-base

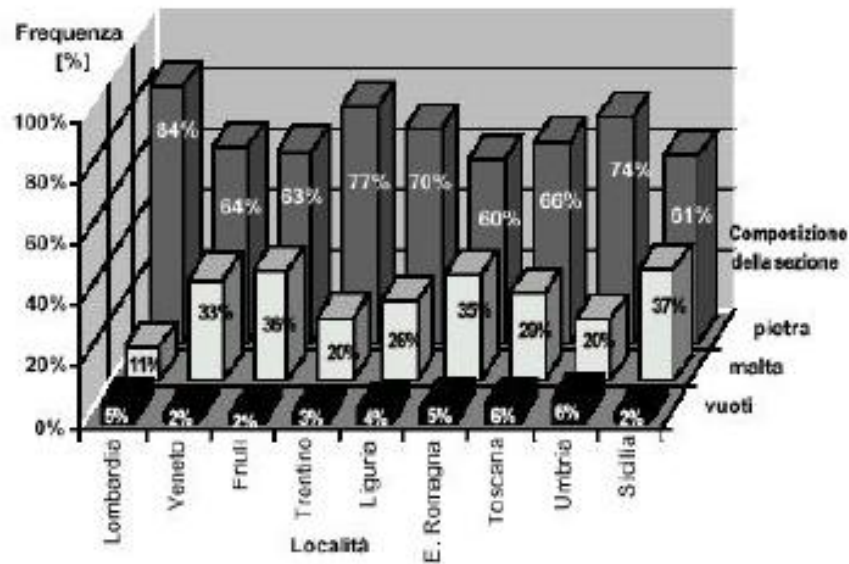
- Rilievo
- Prove sulle malte (composizione e granulometria)
- Prove su elementi
- Prove in situ - martinetti piatti (!)
- soniche



Tipologia di sezioni di muratura (1, 2 e 3 paramenti)



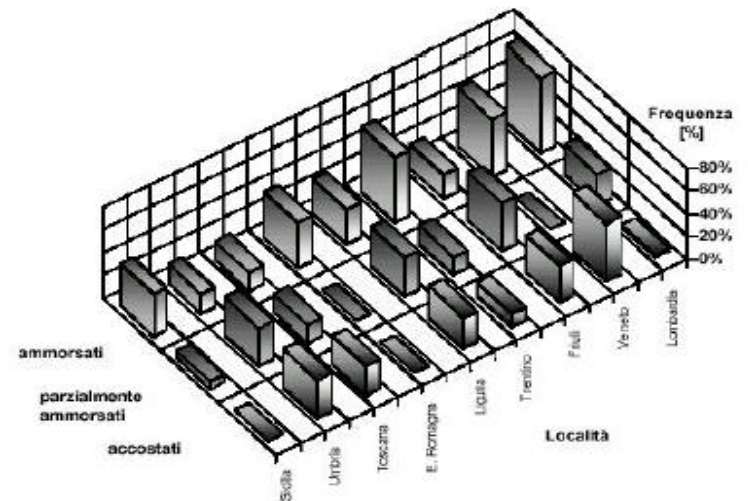
La muratura esistente



Costituzione della muratura (pietra, malta, vuoti)

Localita'	Sezioni murarie			Spessore medio [cm]
	Numero paramenti			
	1	2	3	
Lombardia	2%	96%	2%	55,2
Friuli	0%	96%	4%	81,5
Trentino	8%	84%	8%	48,6
Veneto	0%	100%	0%	81,5
Liguria	0%	94%	6%	N.R.
E. Romagna	0%	40%	60%	N.R.
Toscana	1%	58%	41%	51,7
Umbria	0%	83%	17%	64,1
Sicilia	38%	44%	19%	51,5

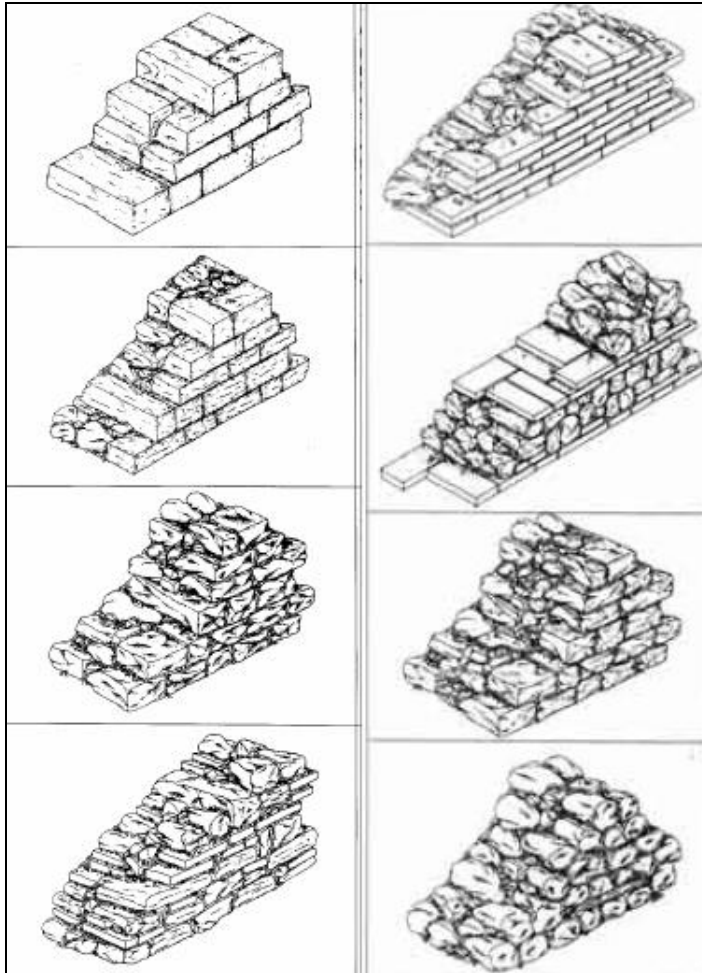
Spessori medi e incidenza del numero di paramenti



Frequenze delle caratteristiche di ammorsamento



VALUTAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA Regione UMBRIA



Tipologie murarie e
comportamento meccanico

**A. Borri Università di
Perugia**



3 Murature di pietra sbazzata in presenza di irregolarità. CLASSE C o D



DESCRIZIONE:
Costituita da elementi in pietra non lavorata e di varie dimensioni ottenuti da spezzoni di pietra e scapoli di cava.



DESCRIZIONE:
Costituita da elementi in pietra grezza di varie dimensioni disposte irregolarmente, con inserti in mattoni.



DESCRIZIONE:
Costituita da elementi in pietra non squadrate di varie dimensioni disposte in maniera caotica, in assenza di orizzontalità dei filari.



DESCRIZIONE:
Costituita da elementi in tufo, molto poroso, di pezzatura ed apparecchiatura irregolari.



DESCRIZIONE:
Costituita da elementi semilavorati pressoché lastriformi, con apparecchiatura muraria caotica.



DESCRIZIONE:
Costituita da elementi semilavorati pressoché lastriformi, con apparecchiatura muraria con filari orizzontali piuttosto regolari.

4 Murature di pietra sbazzata con spigoli mazzette e/o ricorsi in mattoni pieni e/o pietra squadrata. CLASSE B o C



DESCRIZIONE:
Presenza di ricorsi continui o discontinui in mattoni pieni, in presenza di pietrame discretamente squadrate.



DESCRIZIONE:
Presenza di ricorsi in conglomerato cementizio.



DESCRIZIONE:
Presenza di ricorsi continui o discontinui in mattoni pieni, in presenza di pietrame non squadrate o grossolanamente squadrate.



DESCRIZIONE:
Presenza di ricorsi in conglomerato cementizio non degradato (fascioni).



DESCRIZIONE:
Paramento di muratura in pietra sbazzata con mazzette in mattoni pieni.



DESCRIZIONE:
Paramento di muratura in pietra sbazzata con spigoli in mattoni pieni.



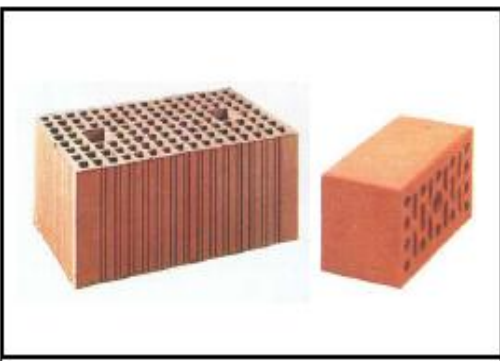
DESCRIZIONE:
Paramento di muratura in tufo con cantonale ben eseguito.



9 Muratura in laterizio, pieno e semipieno (% foratura $\leq 45\%$). CLASSE A, B o C



DESCRIZIONE:
Costituita da mattoni pieni in laterizio di dimensioni costanti di antica o recente posa in opera.



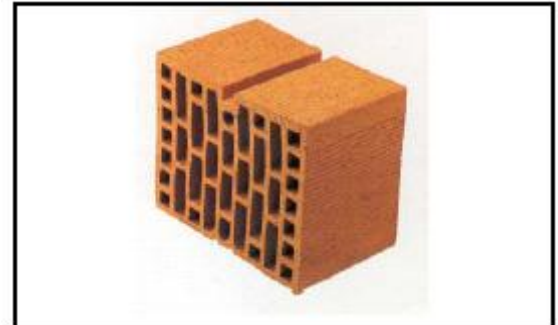
DESCRIZIONE:
Blocco artificiale e mattone semipieno in laterizio di dimensioni standard.



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



DESCRIZIONE:
Costituita da blocchi semipieni in laterizio di dimensioni costanti. In presenza di soli letti di malta orizzontali si assegni una classe inferiore.

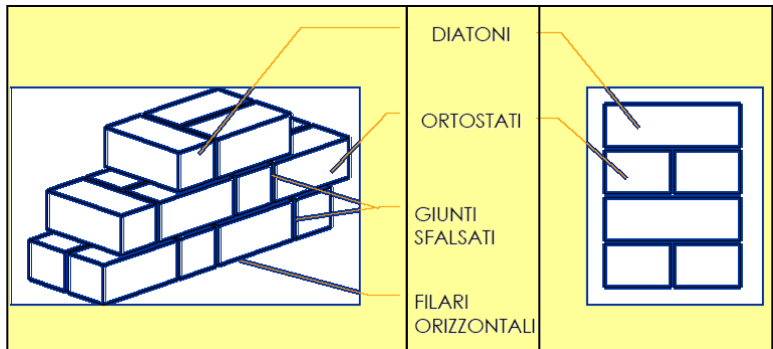


DESCRIZIONE:
Blocco artificiale forato in laterizio di dimensioni standard.



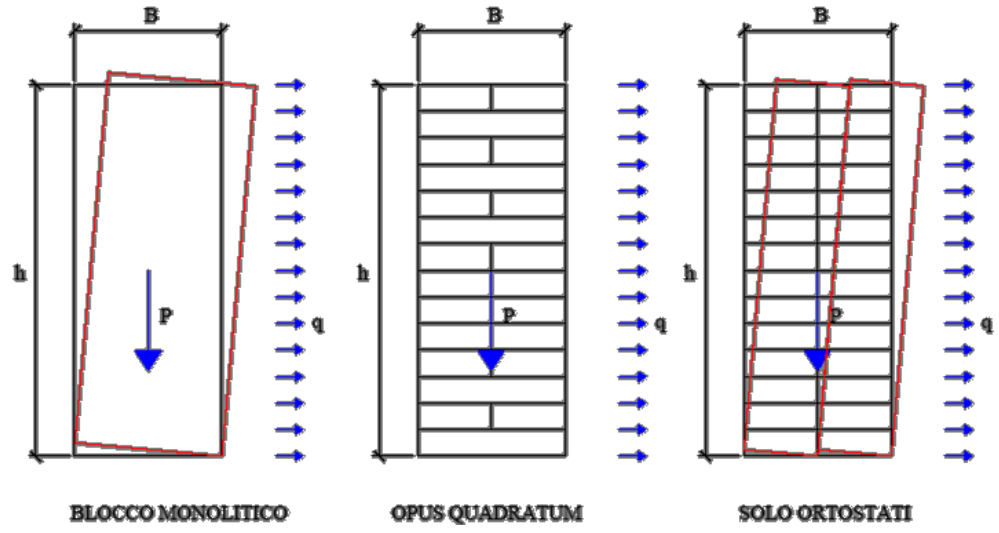
Elementi per la valutazione della qualità muraria

PRESENZA DI FILARI ORIZZONTALI	OR	Rispettati Parzialmente rispettati Non rispettati
SFALSAMENTO DEI GIUNTI VERTICALI	SF	Rispettati Parzialmente rispettati Non rispettati
FORMA E DIMENSIONE DELLE PIETRE	FD	Regolari – Grandi Regolari - Medie Parzialmente regolari – Medio piccole Irregolari – Medio piccole Irregolari - Piccole
PRESENZA DI DIATONI	PD	Presenti (o muratura ad 1 testa) Parzialmente presenti Non presenti
QUALITÀ DELLA MALTA	MA	Malta idraulica in buono stato Malta a base di calce in buono stato Malta scadente



Modello di muratura Isodoma per la compressione della meccanica muraria

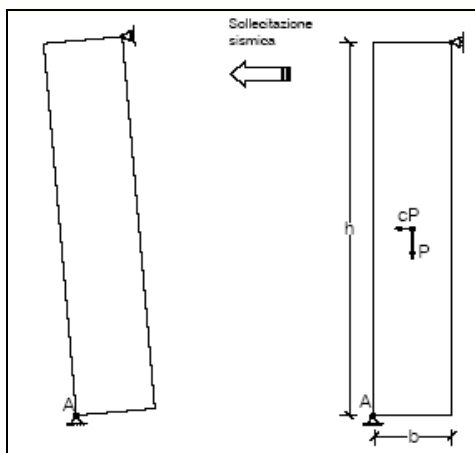
Influenza della tessitura del paramento murario sul comportamento meccanico



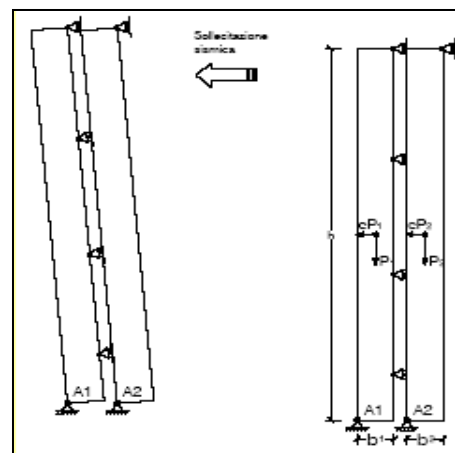


COMPORTAMENTO DEI PARAMETRI MURARI

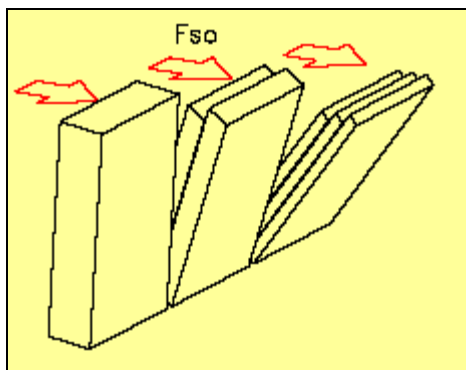
Azioni ortogonali al piano murario



Paramento singolo



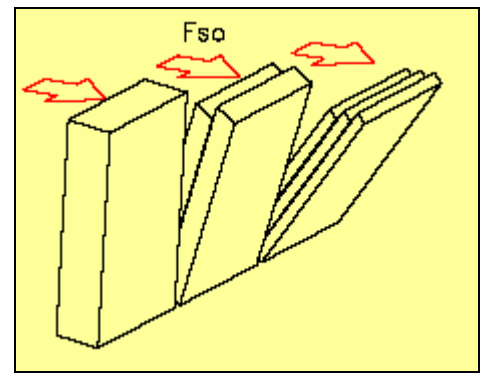
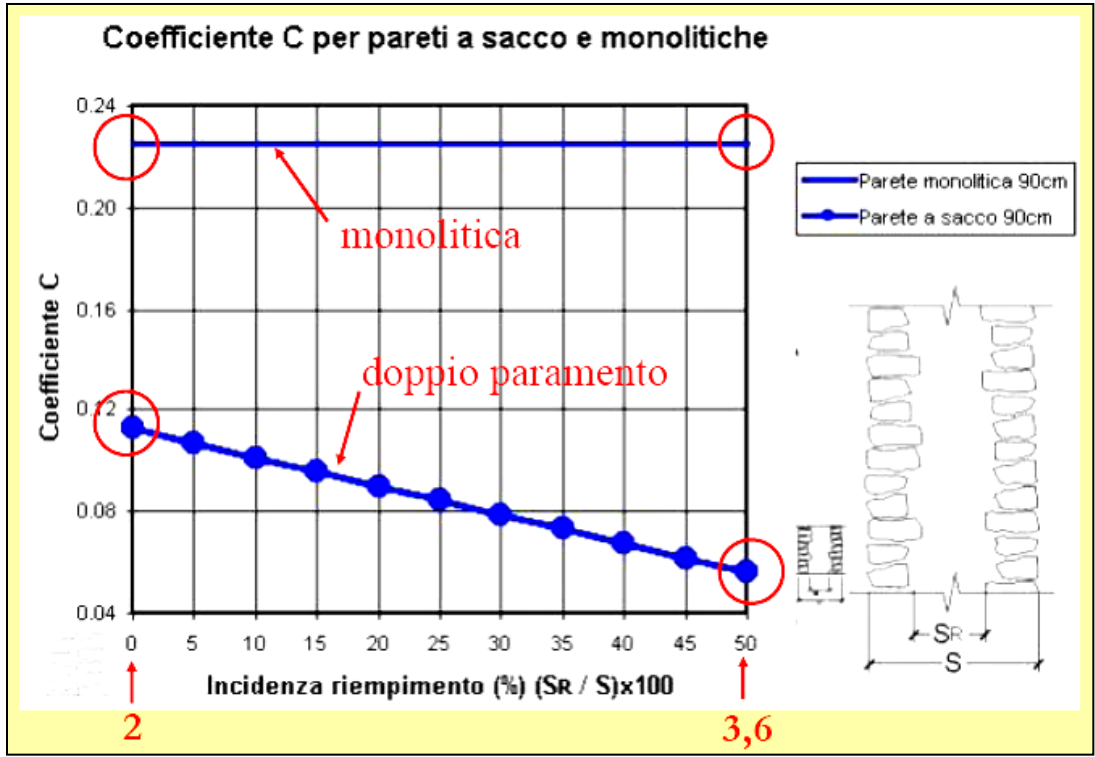
Paramento doppio



Rapporto tra i coefficienti di
collasso $\gg 50\%$



ATTRIBUZIONE DEL GIUDIZIO SULLA QUALITA' MURARIA



Rapporto tra i coefficienti di collasso $\gg 50\%$

Variation of the collapse coefficient for overturning as a function of the masonry typology



Allegato A1

ISTRUZIONI PER LA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA MURATURE



Sezione PARAMENTI

Tipologia e tessitura: l'abaco

L'abaco costituisce il riferimento per l'individuazione della tipologia muraria e della tessitura.

L'impostazione dell'abaco lascia la possibilità di individuare un tipo di muratura laddove essa è semplice (ad un paramento) attraverso l'espressione di un codice nella sezione paramento 1, oppure la possibilità di comporre la muratura a più paramenti secondo lo schema

[paramento1] – [connessione + nucleo] – [paramento2]

attraverso l'indicazione dei due codici identificativi relativi ai 2 paramenti ed alla compilazione delle sezioni relative alle caratteristiche di connessione e nucleo.

L'abaco illustra le principali e più ricorrenti forme ma non esclude la possibilità di implementazione di ulteriori tipologie che dovessero emergere nel corso delle attività; qualora il paramento rilevato non dovesse corrispondere a nessuno tra quelli illustrati è opportuno schematizzare graficamente la tessitura dello stesso, fornendo qualsiasi indicazione utile ad una eventuale nuova classificazione.

Per le murature a tre teste sono indicate le principali apparecchiature : deve tuttavia essere valutato se si tratti effettivamente di un sistema organizzato e tessuto a 3 teste o di paramenti, ad esempio, 2 teste + 1 testa. In questo caso si identifichino i 2 paramenti con le sigle rispettive.



Allegato A1

ISTRUZIONI PER LA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA MURATURE



Campo *finitura/rivestimento*: indicare il tipo di finitura del paramento. Tra i rivestimenti leggeri sono compresi: rivestimento tipo termocappotto, listelli e lastre sottili montati a colla. Tra i rivestimenti pesanti sono compresi: lastre con spessori elevati con sistemi di montaggio ad incastro, a zanche ecc; sono inoltre da intendersi rivestimenti pesanti le regolarizzazioni delle pareti realizzate con intonaci di alto spessore inglobanti frammenti lapidei e di laterizio di cui all'esempio successivo. Precisare nel campo "note" la tipologia di rivestimento.





Allegato A1

ISTRUZIONI PER LA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA MURATURE



Sfalsamento dei giunti verticali

1 - Rispettato	2 - Parzialmente rispettato	3 - Non rispettato



Stalsamento giunti verticali

	1	2	3
1			
2			
3			

Orizzontalità dei filari

1 - Rispettata	2 - Parzialmente rispettata	3 - Non rispettata



Stalsamento giunti verticali

	1	2	3
1			
2			
3			



Sfalsamento dei giunti verticali

1 - Rispettato	2 - Parzialmente rispettato	3 - Non rispettato



Stalsamento giunti verticali

	1	2	3
1			
2			
3			

Orizzontalità dei filari

1 - Rispettata	2 - Parzialmente rispettata	3 - Non rispettata

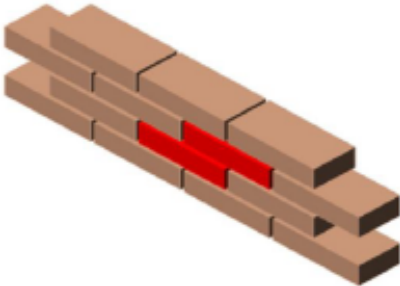
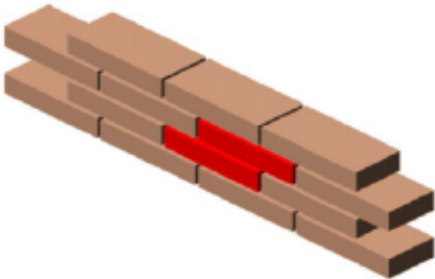


Stalsamento giunti verticali

	1	2	3
1			
2			
3			



1- Muratura/paramento in blocchi artificiali

TIPOLOGIA E SCHEMA TESSITURA	DESCRIZIONE	CODICE
	Tessitura ad una testa Sfalsamento dei giunti a $\frac{1}{2}$ della lunghezza del blocco.	A1a
	Tessitura ad una testa Sfalsamento dei giunti a circa $\frac{1}{3}$ della lunghezza del blocco.	A1b



Allegato A2
ABACO DELLE TIPOLOGIE MURARIE



	<p>Tessitura a due teste a soli diatoni</p>	<p>A2a</p>
	<p>Tessitura a due teste alla "gotica" (il filare tipico è sovrapposto e sfalsato)</p>	<p>A2b</p>
	<p>Tessitura a due teste alla "fiamminga" Il filare tipico è alternato a filari di soli diatoni</p>	<p>A2c</p>




Allegato A2
 ABACO DELLE TIPOLOGIE MURARIE




2- Muratura/paramento in blocchi naturali

TIPOLOGIA E SCHEMA TESSITURA	DESCRIZIONE	CODICE
	Murature in pietrame con elementi lavorati e perfettamente squadrate. molto regolare	L1a

	Muratura in pietra a spacco - elementi pseudo rettangolari regolare	P1a
--	--	-----


	Murature in pietrame con elementi lavorati regolare	L1b
---	--	-----

	Muratura in pietra a spacco Elementi pseudo rettangolari e cuneiformi organizzati in ricorsi	P1b
---	---	-----



Allegato A2
ABACO DELLE TIPOLOGIE MURARIE






	<p>Muratura in pietra a spacco Elementi pseudo rettangolari e cuneiformi non organizzati</p>	P1c		<p>Muratura in pietrame sbozzato a ricorsi regolari</p>	S1a
	<p>Muratura in pietra a spacco Elementi arrotondati</p> 	P1d		<p>Muratura in pietrame sbozzato con ricorsi di altezze differenti</p>	S1b



Allegato A2
ABACO DELLE TIPOLOGIE MURARIE



	Ciottoli organizzati in filari	C1a		Irregolare Pietrame irregolare, ciottoli e pietre erratiche	C1c
	Grossi ciottoli e pietre a spacco	C1b			



- ***Grazie per l'attenzione***