



PAT- DIP. LAV. PUB., TRASP. E RETI, UNITN – Dip. Ing. Meccanica e strutturale  
LE COSTRUZIONI DI MURATURA NUOVE ED ESISTENTI CON IL D.M. 14/01/2008



PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO  
DIPARTIMENTO LAVORI PUBBLICI, TRASPORTI E RETI

**TERZO EVENTO SULLE NORME TECNICHE 2008:  
LE COSTRUZIONI DI MURATURA NUOVE ED ESISTENTI CON IL D.M. 14/01/2008  
22 ottobre 2008**

**Istituto Agrario di San Michele all'Adige**

Progettazione delle nuove costruzioni di  
muratura secondo il D.M. 14 gennaio 2008



**Ing. Roberto TOMASI**  
DIMS-Dip.Ing.Mecc. e Strutt.  
Università degli Studi di Trento



22 ottobre 2008 - Istituto Agrario di San Michele all'Adige

Ing. Roberto Tomasi



PAT- DIP. LAV. PUB., TRASP. E RETI, UNITN – Dip. Ing. Meccanica e strutturale  
LE COSTRUZIONI DI MURATURA NUOVE ED ESISTENTI CON IL D.M. 14/01/2008



**D.M. 14/01/2008**

#### **4 COSTRUZIONI CIVILI E INDUSTRIALI**

...

4.5 COSTRUZIONI DI MURATURA  $\approx$  *D.M. '87*

#### **7 PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE**

...

7.8 COSTRUZIONI DI MURATURA  $\approx$  *O.P.C.M 3274*

#### **11 MATERIALI E PRODOTTI PER USO STRUTTURALE**

...

11.10 MURATURA PORTANTE

22 ottobre 2008 - Istituto Agrario di San Michele all'Adige

Ing. Roberto Tomasi



**D.M. 14/01/2008**

**BOZZA DI CIRCOLARE  
ESPLICATIVA**

**4. COSTRUZIONI CIVILI E  
INDUSTRIALI**

nessuna indicazione

**7. PROGETTAZIONE PER  
AZIONI SISMICHE**

alcuni chiarimenti sui metodi di  
analisi sismica

**11. MATERIALI E  
PRODOTTI PER USO  
STRUTTURALE**

alcuni chiarimenti sulle prove di  
accettazione in cantiere e sulla  
determinazione dei parametri meccanici



**4.5.2 MATERIALI E CARATTERISTICHE TIPOLOGICHE**

**Elementi  
costituenti  
le  
murature**

malte

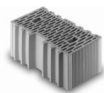


Le prescrizioni riguardanti le malte per  
muratura sono contenute nel § 11.10.2.

**11.10.2.1 Malte a prestazione garantita**

**11.10.2.2 Malte a composizione prescritta**

blocchi



artificiali

Laterizio normale o  
alleggerito

Cls. o normale o alleggerito

naturali → Materiale lapideo



#### 4.5.2 MATERIALI E CARATTERISTICHE TIPOLOGICHE

##### 11.10.2.1 Malte a prestazione garantita

Tabella 11.10.III - Classi di malte a prestazione garantita

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

##### 11.10.2.2 Malte a composizione prescritta

Tabella 11.10.IV - Classi di malte a composizione prescritta

Classe	Tipo di malta	Composizione				
		Cemento	Calce aerea	Calce idraulica	Sabbia	Pozzolana
M 2,5	Idraulica	--	--	1	3	--
M 2,5	Pozzolonica	--	1	--	--	3
M 2,5	Bastarda	1	--	2	9	--
M 5	Bastarda	1	--	1	5	--
M 8	Cementizia	2	--	1	8	--
M 12	Cementizia	1	--	--	3	--

22 ottobre 2008 - Istituto Agrario di San Michele all'Adige

Ing. Roberto Tomasi



#### 4.5.2.2 Elementi resistenti in muratura

##### Elementi artificiali

Tabella 4.5.Ia - Classificazione elementi in laterizio

Elementi	Percentuale di foratura $\varphi$	Area f della sezione normale del foro
Pieni	$\varphi \leq 15\%$	$f \leq 9 \text{ cm}^2$
Semipieni	$15\% < \varphi \leq 45\%$	$f \leq 12 \text{ cm}^2$
Forati	$45\% < \varphi \leq 55\%$	$f \leq 15 \text{ cm}^2$

Tabella 4.5.Ib - Classificazione elementi in calcestruzzo

Elementi	Percentuale di foratura $\varphi$	Area f della sezione normale del foro	
		$A \leq 900 \text{ cm}^2$	$A > 900 \text{ cm}^2$
Pieni	$\varphi \leq 15\%$	$f \leq 0,10 A$	$f \leq 0,15 A$
Semipieni	$15\% < \varphi \leq 45\%$	$f \leq 0,10 A$	$f \leq 0,15 A$
Forati	$45\% < \varphi \leq 55\%$	$f \leq 0,10 A$	$f \leq 0,15 A$

Non sono soggetti a limitazione i fori degli elementi in laterizio e calcestruzzo destinati ad essere riempiti di calcestruzzo o malta.

22 ottobre 2008 - Istituto Agrario di San Michele all'Adige

Ing. Roberto Tomasi



#### 4.5.3 CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLE MURATURE

Resistenza caratteristica a compressione

Resistenza caratteristica a taglio in assenza di carico assiale

Modulo di elasticità normale secante E

Modulo di elasticità tangenziale secante G

$f_k$   
 $f_{vk0}$   
E  
G

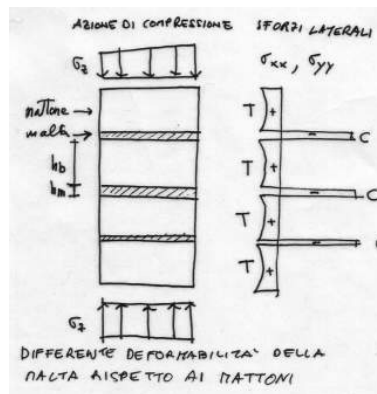
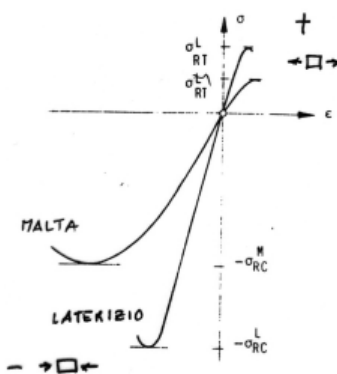
Le resistenze caratteristiche  $f_k$  e  $f_{vk0}$  sono determinate o per via sperimentale su campioni di muro o, con alcune limitazioni, in funzione delle proprietà dei componenti. Le modalità per determinare le resistenze caratteristiche sono indicate nel § 11.10.5, dove sono anche riportate le modalità per la valutazione dei moduli di elasticità.

In ogni caso i valori delle caratteristiche meccaniche utilizzate per le verifiche devono essere indicati nel progetto delle opere.

In ogni caso, quando è richiesto un valore di  $f_k$  maggiore o uguale a 8 MPa si deve controllare il valore di  $f_k$ , mediante prove sperimentali come indicato nel § 11.10.



#### 4.5.3 CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLE MURATURE



Teorie elastiche (Haller, Lenczner, Francis)



### 11.10.3.1.2 Stima della resistenza a compressione

In sede di progetto, per le murature formate da elementi artificiali pieni o semipieni il valore di  $f_k$  può essere dedotto dalla resistenza a compressione degli elementi e dalla classe di appartenenza della malta tramite la Tabella 11.10.V. La validità di tale tabella è limitata a quelle murature aventi giunti orizzontali e verticali riempiti di malta e di spessore compreso tra 5 e 15 mm. Per valori non contemplati in tabella è ammessa l'interpolazione lineare; in nessun caso sono ammesse estrapolazioni.

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	--

22 ottobre 2008 - Istituto Agrario di San Michele all'Adige

Ing. Roberto Tomasi



### 11.10.3.2.2 Stima della resistenza a taglio

In sede di progetto, per le murature formate da elementi artificiali pieni o semipieni ovvero in pietra naturale squadrata, il valore di  $f_{vk0}$  può essere dedotto dalla resistenza a compressione degli elementi tramite la Tabella 11.10.VII. La validità di tale tabella è limitata a quelle murature aventi giunti orizzontali e verticali riempiti di malta, le cui dimensioni sono comprese tra 5 e 15 mm. Per valori non contemplati in tabella è ammessa l'interpolazione lineare; in nessun caso sono ammesse estrapolazioni.

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



### 11.10.3.3 Resistenza caratteristica a taglio

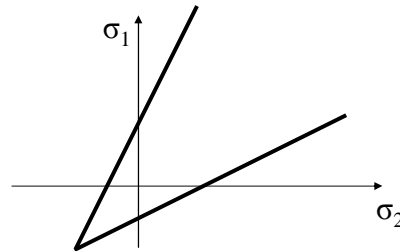
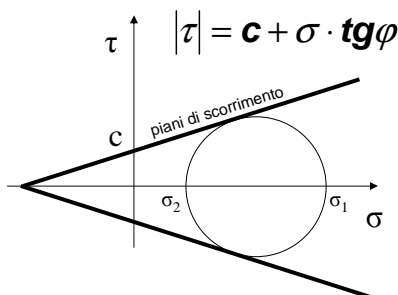
In presenza di tensioni di compressione, la resistenza caratteristica a taglio della muratura,  $f_{vk}$ , è definita come resistenza all'effetto combinato delle forze orizzontali e dei carichi verticali agenti nel piano del muro e può essere ricavata tramite la relazione

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \sigma_n$$

dove:

$f_{vk0}$ : resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali;

$\sigma_n$ : tensione normale media dovuta ai carichi verticali agenti nella sezione di verifica.



**criterio di Mohr - Coulomb**



### 11.10.3.3 Resistenza caratteristica a taglio

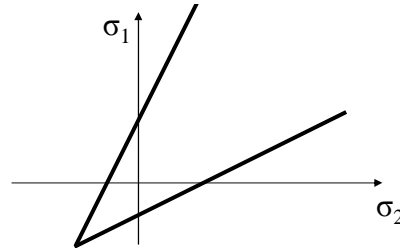
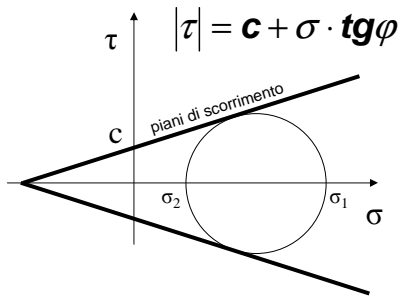
Per elementi resistenti artificiali semipieni o forati deve risultare soddisfatta la relazione

$$f_{vk} \leq f_{vk,lim} = 1,4 \bar{f}_{bk}$$

con

$f_{vk,lim}$ : valore massimo della resistenza caratteristica a taglio che può essere impiegata nel calcolo;

$\bar{f}_{bk}$ : valore caratteristico della resistenza degli elementi in direzione orizzontale e nel piano del muro, da ricavare secondo le modalità descritte nella relativa norma armonizzata della serie UNI EN 771.



**criterio di Mohr - Coulomb**



#### 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.

##### **Principali sistemi strutturali:**

- Muri portanti
- Muri di controvento
- Solai piani

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. Ai fini di un adeguato comportamento statico e dinamico dell'edificio, tutti le pareti devono assolvere, per quanto possibile, sia la funzione portante sia la funzione di controventamento.



#### 4.5.4 ORGANIZZAZIONE STRUTTURALE

##### **Prerequisiti per un buon comportamento strutturale**

- I muri devono avere, per quanto possibile, sia funzione portante che di controvento;
- L'organizzazione planimetrica deve essere il più possibile cellulare: *comportamento scatolare della struttura*.
- I tre sistemi devono essere il più possibile collegati lungo le intersezioni orizzontali e verticali (*ammorsamenti, cordoli e incatenamenti*);
- I solai devono essere in grado di ripartire le azioni orizzontali agli elementi di controvento (indeformabili nel piano);



#### 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:

$$\lambda = h_0 / t \quad (4.5.1)$$

dove  $h_0$  è la lunghezza libera di inflessione della parete valutata in base alle condizioni di vincolo ai bordi espresse dalla (4.5.6) e  $t$  è lo spessore della parete.

Il valore della snellezza  $\lambda$  non deve risultare superiore a 20.



#### 4.5.5 ANALISI STRUTTURALE

La risposta strutturale è calcolata usando:

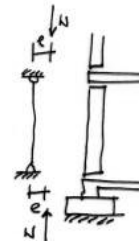
- analisi semplificate.
- analisi lineari, assumendo i valori secanti dei moduli di elasticità
- analisi non lineari

Per la valutazione di effetti locali è consentito l'impiego di modelli di calcolo relativi a parti isolate della struttura.

Per il calcolo dei carichi trasmessi dai solai alle pareti e per la valutazione su queste ultime degli effetti delle azioni fuori dal piano, è consentito l'impiego di modelli semplificati, basati sullo schema dell'articolazione completa alle estremità degli elementi strutturali.

##### Schema dell'articolazione

- Muri semplici appoggi per i solai
- Eccentricità calcolata convenzionalmente in funzione dei carichi, delle tolleranze di esecuzione, del vento







#### 4.5.6.1 Resistenze di progetto

Le resistenze di progetto da impiegare, rispettivamente, per le verifiche a compressione, pressoflessione e a carichi concentrati ( $f_d$ ), e a taglio ( $f_{vd}$ ) valgono:

$$f_d = f_k / \gamma_M \quad (4.5.2)$$

$$f_{vd} = f_{vk} / \gamma_M \quad (4.5.3)$$

dove

$f_k$  è la resistenza caratteristica a compressione della muratura;

$f_{vk}$  è la resistenza caratteristica a taglio della muratura in presenza delle effettive tensioni di compressione, valutata con

**Tabella 4.5.II.** Valori del coefficiente  $\gamma_M$  in funzione della classe di esecuzione e della categoria degli elementi resistenti

Materiale	Classe di esecuzione	
	1	2
Muratura con elementi resistenti di categoria I, malta a prestazione garantita	2,0	2,5
Muratura con elementi resistenti di categoria I, malta a composizione prescritta	2,2	2,7
Muratura con elementi resistenti di categoria II, ogni tipo di malta	2,5	3,0

22 ottobre 2008 - Istituto Agrario di San Michele all'Adige

Ing. Roberto Tomasi



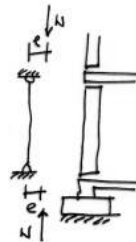
#### 4.5.6.2 Verifiche agli stati limite ultimi

Gli stati limite ultimi da verificare sono:

- presso flessione per carichi laterali (resistenza e stabilità fuori dal piano),
- presso flessione nel piano del muro,
- taglio per azioni nel piano del muro,
- carichi concentrati.
- flessione e taglio di travi di accoppiamento

Le verifiche vanno condotte con riferimento a normative di comprovata validità.

Per la verifica a presso flessione per carichi laterali, nel caso di adozione dell'ipotesi di articolazione completa delle estremità della parete (v. § 4.5.5), è consentito far riferimento al metodo semplificato di seguito riportato.



22 ottobre 2008 - Istituto Agrario di San Michele all'Adige

Ing. Roberto Tomasi



4.5.6.2 Verifiche agli stati limite ultimi

presso flessione (resistenza e stabilità fuori dal piano)

$$\sigma = N/A \leq \Phi f_d$$

$$\Phi = f(\lambda; e)$$

}

$e$  **eccentricità  
convenzionale**

$\lambda = \rho h/t$  **snellezza  
della parete**

Tabella 4.5.III - Valori del coefficiente  $\Phi$  con l'ipotesi della articolazione (a cerniera)

Snellezza $\lambda$	Coefficiente di eccentricità $m=6 e/t$				
	0	0,5	1,0	1,5	2,0
0	1,00	0,74	0,59	0,44	0,33
5	0,97	0,71	0,55	0,39	0,27
10	0,86	0,61	0,45	0,27	0,16
15	0,69	0,48	0,32	0,17	---
20	0,53	0,36	0,23	---	---



4.5.6.2 Verifiche agli stati limite ultimi

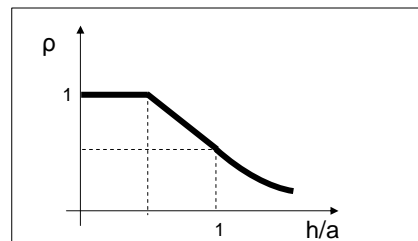
**Snellezza di una muratura**

$$\lambda = \rho h/t,$$

$$\lambda_{\max} = 20$$

Tabella 4.5.IV - Fattore laterale di vincolo

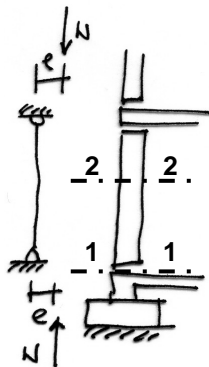
$h/a$	$\rho$
$h/a \leq 0,5$	1
$0,5 < h/a \leq 1,0$	$3/2 - h/a$
$1,0 < h/a$	$1/[1+(h/a)^2]$





4.5.6.2 Verifiche agli stati limite ultimi

**Calcolo dell'eccentricità convenzionale**



$e_s$  eccentricità totale dovuta ai carichi verticali  
 $e_a$  eccentricità di esecuzione  
 $e_v$  eccentricità dovuta al vento

←  $e_2 = e_1/2 + |e_v|$  VERIFICA SEZIONI DOVE E' MASSIMO IL MOMENTO  $M_v$  DOVUTO AL VENTO

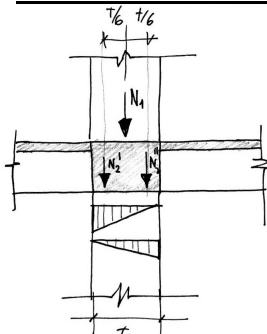
←  $e_1 = |e_s| + |e_a|$  VERIFICA SEZIONE ALLA BASE DELLA PARETE

In ogni caso la normativa prescrive che  $e_1/t; e_2/t \leq 0,33$



4.5.6.2 Verifiche agli stati limite ultimi

**Eccentricità dovuta ai carichi verticali  $e_s$**



$e_{s1} = N_1 * d_1 / (N_1 + \Sigma N_2)$  eccentricità dovuta alle riseghe dei muri

$e_{s2} = \Sigma N_2 * d_2 / (N_1 + \Sigma N_2)$  eccentricità dovuta alle reazioni di appoggio dei solai sovrastanti la sezione di verifica

$e_s = e_{s1} + e_{s2}$

$N_1$  Carico trasmesso dal muro sovrastante supposto centrato rispetto al muro stesso (ipotesi dell'articolazione alle estremità del muro)

$N_2$  Reazione di appoggio dei solai sovrastanti il muro da verificare, supposta agente a  $t/6$  dalla mezzeria del muro stesso



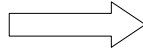
#### 4.5.6.2 Verifiche agli stati limite ultimi

### Eccentricità dovuta al vento $e_v$

$$e_v = M_v / N$$

### Eccentricità convenzionale $e_a$

$$e_a = h / 200$$



Dovuta a tolleranze di esecuzione

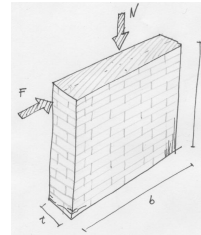


#### 4.5.6.2 Verifiche agli stati limite ultimi

- presso flessione nel piano del muro,
- taglio per azioni nel piano del muro,

$$\sigma = \frac{N}{(\Phi_t \cdot \Phi_b \cdot A)} \leq \sigma_m$$

$$\tau = \frac{V}{(\beta \cdot A)} \leq \frac{f_{v,k}}{\gamma_m}$$



- carichi concentrati

- flessione e taglio di travi di accoppiamento



#### 4.5.6.3 Verifiche agli stati limite di esercizio

Non è generalmente necessario eseguire verifiche nei confronti di stati limite di esercizio di strutture di muratura, quando siano soddisfatte le verifiche nei confronti degli stati limite ultimi.

#### 4.5.6.4 Verifiche alle tensioni ammissibili **EDIFICI SEMPLICI**

Per edifici semplici è consentito eseguire le verifiche, in via semplificativa, con il metodo delle tensioni ammissibili, adottando le azioni previste nelle presenti Norme Tecniche, con resistenza del materiale di cui al § 4.5.6.1, ponendo il coefficiente  $\gamma_M = 4,2$  ed utilizzando il dimensionamento semplificato di seguito riportato con le corrispondenti limitazioni:

- le pareti strutturali della costruzione siano continue dalle fondazioni alla sommità;
- nessuna altezza interpiano sia superiore a 3,5 ;
- il numero di piani non sia superiore a 3 (entro e fuori terra) per costruzioni in muratura ordinaria ed a 4 per costruzioni in muratura armata;
- la planimetria dell'edificio sia inscritta in un rettangolo con rapporti fra lato minore e lato maggiore non inferiore a 1/3;
- la snellezza della muratura, secondo l'espressione (4.5.1), non sia in nessun caso superiore a 12;
- il carico variabile per i solai non sia superiore a 3,00 kN/m<sup>2</sup>.

La verifica si intende soddisfatta se risulta:

$$\sigma = N/(0,65 A) \leq f_k / \gamma_M \quad (4.5.13)$$

in cui N è il carico verticale totale alla base di ciascun piano dell'edificio corrispondente alla somma dei carichi permanenti e variabili (valutati ponendo  $\gamma_G = \gamma_Q = 1$ ) della combinazione caratteristica e A è l'area totale dei muri portanti allo stesso piano.

isi



**D.M. 14/01/2008**

**4. COSTRUZIONI CIVILI E INDUSTRIALI**

**7. PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE**

**11. MATERIALI E PRODOTTI PER USO STRUTTURALE**

**BOZZA DI CIRCOLARE ESPLICATIVA**

nessuna indicazione

alcuni chiarimenti sui metodi di analisi sismica

alcuni chiarimenti sulle prove di accettazione in cantiere e sulla determinazione dei parametri meccanici



## 7.8 COSTRUZIONI DI MURATURA (ZONA SISMICA)

- 7.8.1 REGOLE GENERALI
- 7.8.2 COSTRUZIONI IN MURATURA ORDINARIA
- 7.8.3 COSTRUZIONI IN MURATURA ARMATA
- 7.8.4 STRUTTURE MISTE CON PARETI IN MURATURA ORDINARIA O ARMATA
- 7.8.5 REGOLE DI DETTAGLIO



### 7.8.1 REGOLE GENERALI

#### 7.8.1.1 Premessa

...

Il coefficiente parziale di sicurezza da utilizzare per il progetto sismico di strutture in muratura è pari a 2.

...

#### 7.8.1.3 Modalità costruttive e fattori di struttura

...

$$q = K_R \cdot \mu \cdot \alpha_u / \alpha_1$$

Si possono determinare attraverso una analisi statica non lineare oppure in funzione della tipologia strutturale e del numero di piani

In funzione della tipologia strutturale e del numero di piani

0,8 strutture non regolari in altezza

1 strutture regolari in altezza



### 7.8.1 REGOLE GENERALI

Fattore di struttura per edifici a un piano

a due o più piani

regolarità in elevazione

muratura ordinaria

armata

	SI	NO	SI	NO
muratura ordinaria	2,8	2,24	3,6	2,7
muratura armata	3,25	2,6	3,75	3

edifici in muratura ordinaria

$$q = 2,3 - 3,6$$

edifici in muratura armata

$$q = 2,6 - 3,75$$

Fattore di struttura in muratura armata progettati con il principio di gerarchia delle resistenze

$$q = 3,9$$



### 7.8.1.4 Criteri di progetto e requisiti geometrici

- piante delle costruzioni il più possibile compatte e simmetriche
- pareti strutturali, al lordo delle aperture, debbono avere continuità in elevazione fino alla fondazione, evitando pareti in falso
- strutture costituenti orizzontamenti e coperture non devono essere spingenti
- comportamento a diaframma dei solai ben collegati alle pareti
- distanza massima tra due solai successivi non superiore a 5 m.
- la geometria delle pareti resistenti al sisma, deve rispettare i requisiti indicati nella Tab. 7.8.II



#### 7.8.1.4 Criteri di progetto e requisiti geometrici

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

$h_0$  l'altezza della parete

$h'$  l'altezza massima delle aperture adiacenti alla parete

$h'$  lunghezza della parete



#### 7.8.1.5 Metodi di analisi

**7.8.1.5.2**      *Analisi lineare statica*

7.8.1.5.3      *Analisi dinamica modale*

7.8.1.5.4      *Analisi statica non lineare*

7.8.1.5.5      *Analisi dinamica non lineare*





7.8.1.5.2 *Analisi lineare statica*

È applicabile nei casi previsti al punto § 7.3.3.2. (edifici regolari in elevazione con  $T_1 < 2.5 T_C$ , oppure anche irregolari in altezza ponendo  $\lambda = 1$ )

$T_1$  può essere stimato utilizzando la formula seguente per  $H < 40$  m:

$$T_1 = C_1 H^{3/4}$$

$$C_1 = 0,05 \text{ (per edifici in muratura)}$$

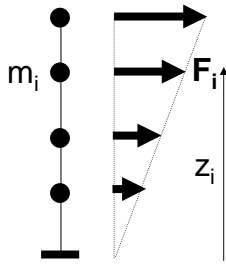
Si assume distribuzione lineare degli spostamenti (I modo)

Forza alla massa di quota  $z_i$

$$F_i = F_h \cdot (z_i \cdot W_i) / \sum (z_j \cdot W_j)$$

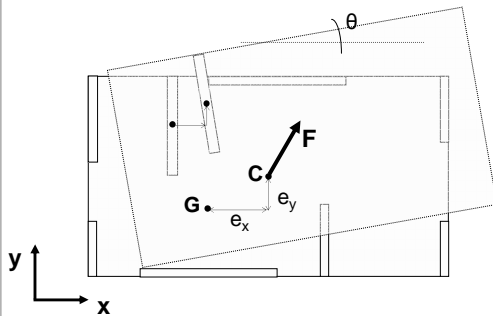
Taglio totale alla base

$$F_h = S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda / g$$



7.8.1.5.2 *Analisi lineare statica*

**Meccanismo di trasmissione delle forze ipotesi di piano rigido**



**Centro di rigidezza G**

$$x_R = \frac{\sum K_{yi} \cdot x_i}{\sum K_{yi}}; \quad y_R = \frac{\sum K_{xi} \cdot y_i}{\sum K_{xi}}$$

$$F_{ix} = \frac{K_{xi}}{K_{x,tot}} \cdot F_{tot,x} - \frac{K_{xi} \cdot (y_i - y_R)}{J_{p,tot}} \cdot M_{tot};$$

$$F_{iy} = \frac{K_{yi}}{K_{y,tot}} \cdot F_{tot,y} + \frac{K_{yi} \cdot (x_i - x_R)}{J_{p,tot}} \cdot M_{tot};$$

$$M_{tot} = F_{tot,y} \cdot e_x - F_{tot,x} \cdot e_y$$

$$J_{p,tot} = \sum_i K_{xi} \cdot (y_i - y_R)^2 + \sum_i K_{yi} \cdot (x_i - x_R)^2 \quad K_{x,tot} = \sum_i K_{xi}; \quad K_{y,tot} = \sum_i K_{yi}$$



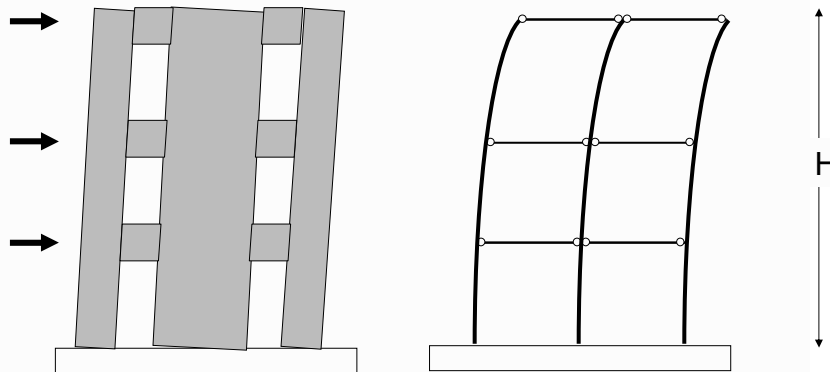
7.8.1.5.2 *Analisi lineare statica*

**MODELLI A MENSOLE**

**Rigidezza della singola parete**

$$K = \frac{3 \cdot E \cdot J}{H^3}$$

Nell'ipotesi di **infinita rigidezza nel piano dei solai**, il modello può essere costituito dai soli elementi murari continui dalle fondazioni alla sommità (**mensole**), collegati ai soli fini traslazionali alle quote dei solai.



22 ottobre 2008 - Istituto Agrario di San Michele all'Adige

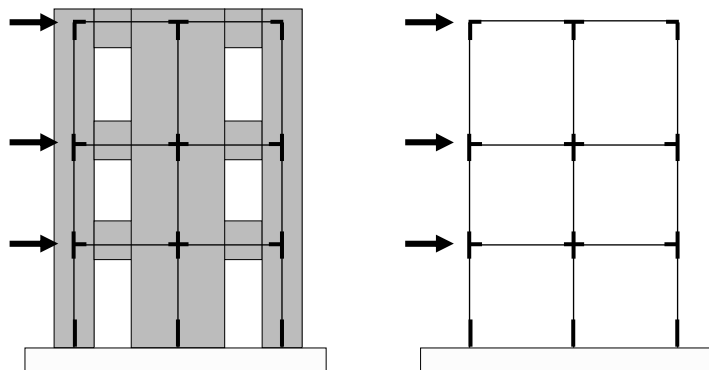
Ing. Roberto Tomasi



7.8.1.5.2 *Analisi lineare statica*

In alternativa, gli elementi di accoppiamento fra pareti diverse, quali travi o cordoli in cemento armato e travi in muratura (anche ordinaria in presenza di cordoli) possono essere considerati nel modello, a condizione che le verifiche di sicurezza vengano effettuate anche su tali elementi. In tale caso si utilizzando modelli a telaio, in cui le parti di intersezione tra elementi verticali e orizzontali possono essere considerate infinitamente rigide.

**MODELLI A TELAIO EQUIVALENTE**



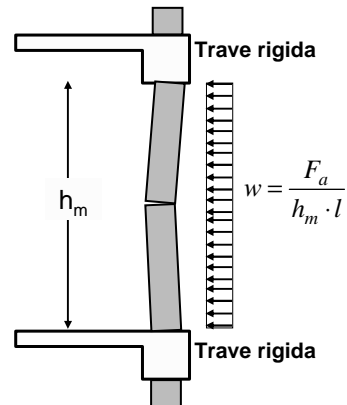
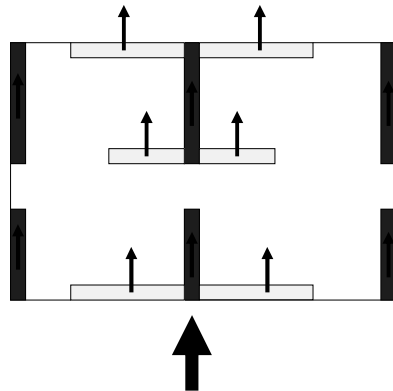
22 ottobre 2008 - Istituto Agrario di San Michele all'Adige

Ing. Roberto Tomasi



7.8.1.5.2 *Analisi lineare statica*

Le verifiche fuori piano possono essere effettuate separatamente, e possono essere adottate le forze equivalenti indicate al § 7.2.3 per gli elementi non strutturali, assumendo  $q_a = 3$ .



22 ottobre 2008 - Istituto Agrario di San Michele all'Adige

Ing. Roberto Tomasi



7.8.1.5.2 *Analisi lineare statica*

Le verifiche fuori piano possono essere effettuate separatamente, e possono essere adottate le forze equivalenti indicate al § 7.2.3 per gli elementi non strutturali, assumendo  $q_a = 3$ .

Forza risultante orizzontale da applicare alla parete valutata con Z quota del baricentro del muro rispetto alla base dell'edificio:

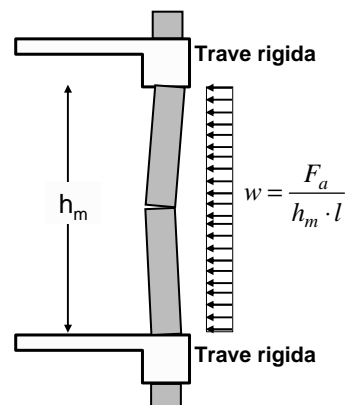
$$F_a = W_a S_a \gamma_1 / q_a$$

Peso complessivo del muro compreso tra i due solai:

$$W_a = p_g \cdot t \cdot l \cdot h_m$$

Spettro di progetto per elementi non strutturali

$$S_a = \frac{a_g S}{g} \left[ \frac{3(1+Z/H)}{1+(1-T_a/T_1)^2} - 0.5 \right] \geq \frac{a_g S}{g}$$



22 ottobre 2008 - Istituto Agrario di San Michele all'Adige

Ing. Roberto Tomasi



7.8.1.5 Metodi di analisi

*7.8.1.5.2 Analisi lineare statica*

*7.8.1.5.3 Analisi dinamica modale*

***7.8.1.5.4 Analisi statica non lineare***

*7.8.1.5.5 Analisi dinamica non lineare*



*7.8.1.5.4 Analisi statica non lineare*

L'analisi statica non lineare è applicabile agli edifici in muratura anche nei casi in cui la massa partecipante del primo modo di vibrare sia inferiore al 75% della massa totale ma comunque superiore al 60%.

Il modello geometrico della struttura può essere conforme a quanto indicato nel caso di analisi statica lineare ovvero essere ottenuto utilizzando modelli più sofisticati purché idonei e adeguatamente documentati.

I pannelli murari possono essere caratterizzati da un comportamento bilineare elastico perfettamente plastico, con resistenza equivalente al limite elastico e spostamenti al limite elastico e ultimo definiti per mezzo della risposta flessionale o a taglio di cui ai §§ 7.8.2.2 e 7.8.3.2.

Gli elementi lineari in c.a. (cordoli, travi di accoppiamento) possono essere caratterizzati da un comportamento bilineare elastico perfettamente plastico, con resistenza equivalente al limite elastico e spostamenti al limite elastico e ultimo definiti per mezzo della risposta flessionale o a taglio.



### 7.8.1.6 Verifiche di sicurezza

In caso di **analisi lineare**, al fine della verifica di sicurezza nei confronti dello stato limite ultimo, le verifiche strutturali sono:

- pressoflessione;
- taglio nel piano della parete;
- pressoflessione fuori piano.

In caso di applicazione di **principi di gerarchia delle resistenze** (muratura armata) l'azione da applicare per la verifica a taglio sarà derivata dalla resistenza a pressoflessione

Nel caso di **analisi statica non lineare**, la verifica di sicurezza consiste nel confronto tra la capacità di spostamento ultimo della costruzione e la domanda di spostamento



## COSTRUZIONI IN MURATURA ORDINARIA

### 7.8.2.2.1 Pressoflessione nel piano

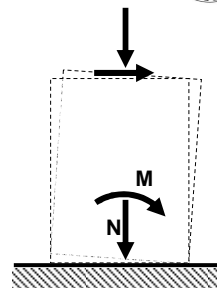
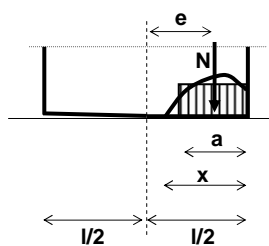
eq. a traslaz. verticale:

$$a = \frac{N}{\kappa f_u t} \quad \kappa = 0.85$$

eq. a rotazione:

$$M_u = Ne$$

$$M_u = N \left( \frac{l-a}{2} \right) = \frac{Nl}{2} \left( 1 - \frac{N}{\kappa f_u t} \right) = \frac{\sigma_0 l^2 t}{2} \cdot \left( 1 - \frac{\sigma_0}{\kappa f_u} \right)$$



In caso di **analisi statica non lineare**, la resistenza a pressoflessione può essere calcolata ponendo  $f_d$  pari al valore medio della resistenza a compressione della muratura, e lo spostamento ultimo può essere assunto pari allo 0,8% dell'altezza del pannello.



## COSTRUZIONI IN MURATURA ORDINARIA

### 7.8.2.2.2 Taglio

$$V_t = l' t f_{vd}$$

$l'$  è la lunghezza della parte compressa della parete

$t$  è lo spessore della parete

$f_{vd} = f_{vk} / \gamma_M$  è definito al § 4.5.6.1, calcolando la tensione normale media (indicata con  $\sigma_n$  nel paragrafo citato) sulla parte compressa della sezione ( $\sigma_n = P / (l't)$ ).

### 7.8.2.2.3 Pressoflessione fuori piano

Il valore del momento di collasso per azioni perpendicolari al piano della parete sarà calcolato assumendo un diagramma delle compressioni rettangolare, un valore della sollecitazione pari a 0.85  $f_d$  e trascurando la resistenza a trazione della muratura.

### 7.8.2.2.4 Travi in muratura

... in analogia a quanto previsto per i pannelli murari verticali.



## COSTRUZIONI IN MURATURA ORDINARIA

### 7.8.2.2.4 Travi in muratura

La verifica di travi di accoppiamento in muratura ordinaria, in presenza di azione assiale orizzontale nota, viene effettuata in analogia a quanto previsto per i pannelli murari verticali.

La resistenza a taglio  $V_t$  di travi di accoppiamento in muratura ordinaria

$$V_t = h t f_{vd0}$$

$h$  è l'altezza della sezione della trave

$f_{vd0} = f_{vk0} / \gamma_M$  è la resistenza di calcolo a taglio in assenza di compressione; nel caso di analisi statica non lineare può essere posta pari al valore medio ( $f_{vd0} = f_{vm0}$ ).



## COSTRUZIONI IN MURATURA ORDINARIA

### 7.8.2.2.4 Travi in muratura

La verifica di travi di accoppiamento in muratura ordinaria, in presenza di azione assiale orizzontale nota, viene effettuata in analogia a quanto previsto per i pannelli murari verticali.

Massimo momento resistente, associato al meccanismo di pressoflessione, sempre in presenza di elementi orizzontali resistenti a trazione in grado di equilibrare una compressione orizzontale nelle travi in muratura

$$M_u = H_p \cdot h / 2 \left[ 1 - H_p / (0,85 f_{hd} \cdot h \cdot t) \right]$$

$H_p$  è il minimo tra la resistenza a trazione dell'elemento teso disposto orizzontalmente ed il valore  $0,4 f_{hd} h t$

$f_{hd} = f_{hk} / \gamma_M$  è la resistenza di calcolo a compressione della muratura in direzione orizzontale (nel piano della parete). Nel caso di analisi statica non lineare essa può essere posta uguale al valore medio ( $f_{hd} = f_{hm}$ ).



## COSTRUZIONI IN MURATURA ORDINARIA

### 7.8.2.2.4 Travi in muratura

La verifica di travi di accoppiamento in muratura ordinaria, in presenza di azione assiale orizzontale nota, viene effettuata in analogia a quanto previsto per i pannelli murari verticali.

La resistenza a taglio, associata al meccanismo di pressoflessione

$$V_p = 2M_u / l$$

dove  $l$  è la luce libera della trave in muratura.

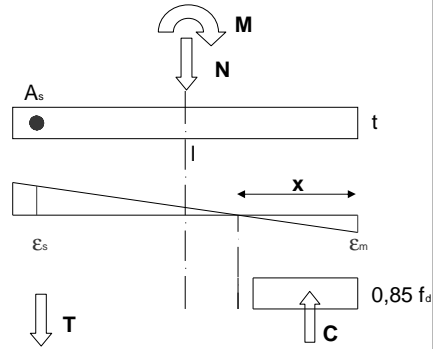
Il valore della resistenza a taglio per l'elemento trave in muratura ordinaria è assunto pari al minimo tra  $V_t$  e  $V_p$ .



## COSTRUZIONI IN MURATURA ARMATA

### 7.8.3.2.1 Pressoflessione nel piano

Per la verifica di sezioni pressoinflesse potrà essere assunto un **diagramma delle compressioni rettangolare**, con profondità  $0,8 x$ , dove  $x$  rappresenta la profondità dell'asse neutro, e sollecitazione pari a  $0,85 f_d$ . Le deformazioni massime da considerare sono pari a  $\epsilon_m = 0,0035$  per la muratura compressa e  $\epsilon_s = 0,01$  per l'acciaio teso.



Armatura verticale presente agli estremi



## COSTRUZIONI IN MURATURA ARMATA

### 7.8.3.2.1 Pressoflessione nel piano

La posizione limite dell'asse  $x$  vale:

$$x_{lim} : 0,0035 = d : 0,0035 + 0,01$$

$$x_{lim} = 0,2593 d$$

Ovviamente:

- per  $x > x_{lim}$ : rottura muratura

- per  $x < x_{lim}$ : rottura armatura

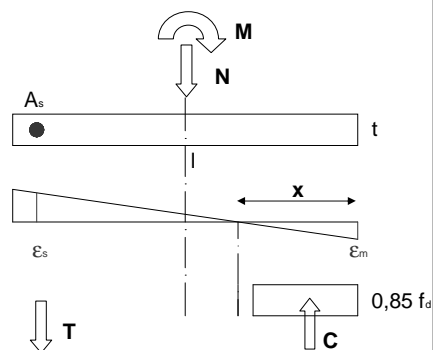
Si ha:

- equilibrio traslazione

$$N = C - T = 0,85 f_d 0,8 x t - A_s f_s$$

- equilibrio rotazione

$$M = C (l/2 - 0,4x) + A_s f_s (l/2 - c)$$



Armatura verticale presente agli estremi





## COSTRUZIONI IN MURATURA ARMATA

### 7.8.3.2.2 Taglio

La resistenza a taglio ( $V_t$ ) sarà calcolata come somma dei contributi della muratura ( $V_{t,M}$ ) e dell'armatura ( $V_{t,S}$ ), secondo le relazioni seguenti:

$$V_t = V_{t,M} + V_{t,S}$$

con:

$$V_{t,M} = d t f_{vd}$$

dove:

$d$  è la distanza tra il lembo compresso e il baricentro dell'armatura tesa

$t$  è lo spessore della parete

$f_{vd} = f_{vk} / \gamma_m$  è definito al punto 2.3.2.1 del DM 20.11.87, calcolando la tensione normale media (indicata con  $\sigma_n$  nel DM citato) sulla sezione lorda di larghezza  $d$  ( $\sigma_n = P / d t$ ).

Si ha:

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \sigma_n$$



## COSTRUZIONI IN MURATURA ARMATA

### 7.8.3.2.2 Taglio

$$V_{t,S} = (0,6 d A_{sw} f_{yd}) / s$$

dove:

$d$  è la distanza tra il lembo compresso e il baricentro dell'armatura tesa

$A_{sw}$  è l'area dell'armatura a taglio disposta in direzione parallela alla forza di taglio, con passo  $s$  misurato ortogonalmente alla direzione della forza di taglio

$f_{yd}$  è la tensione di snervamento di calcolo dell'acciaio

$s$  è la distanza tra i livelli di armatura.

Dovrà essere altresì verificato che il taglio agente non superi il seguente valore:

$$V_{t,c} = 0,3 f_d t d$$

dove:

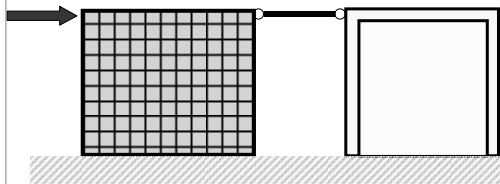
$t$  è lo spessore della parete

$f_d$  è la resistenza a compressione di progetto della muratura



#### 7.8.4 STRUTTURE MISTE CON PARETI IN MURATURA ORDINARIA O ARMATA

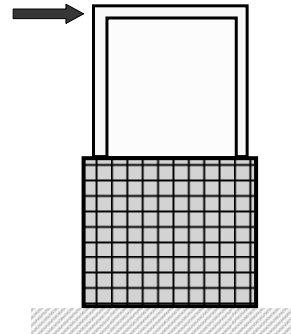
##### STRUTTURE MISTE



Gli elementi strutturali lavorano in parallelo

La ripartizione delle forze avviene in funzione della rigidezza del sistema

##### STRUTTURE NON MISTE



Gli elementi strutturali lavorano in serie

Le forze si trasmettono dall'elemento superiore a quello inferiore senza ripartizione

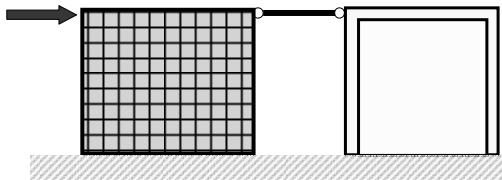
22 ottobre 2008 - Istituto Agrario di San Michele all'Adige

Ing. Roberto Tomasi



#### 7.8.4 STRUTTURE MISTE CON PARETI IN MURATURA ORDINARIA O ARMATA

Nell'ambito delle costruzioni in muratura è consentito utilizzare **strutture di diversa tecnologia per sopportare i carichi verticali**, purché la **resistenza all'azione sismica sia integralmente affidata agli elementi di identica tecnologia**.



Gli elementi strutturali lavorano in parallelo

La ripartizione delle forze avviene in funzione della rigidezza del sistema

22 ottobre 2008 - Istituto Agrario di San Michele all'Adige

Ing. Roberto Tomasi



#### 7.8.4 STRUTTURE MISTE CON PARETI IN MURATURA ORDINARIA O ARMATA

Nell'ambito delle costruzioni in muratura è consentito utilizzare **strutture di diversa tecnologia per sopportare i carichi verticali**, purché la **resistenza all'azione sismica sia integralmente affidata agli elementi di identica tecnologia**.

Nel caso in cui si affidi **integralmente la resistenza alle pareti in muratura**, per esse debbono risultare rispettate le prescrizioni di cui ai punti precedenti. Nel caso si affidi **integralmente la resistenza alle strutture di altra tecnologia** (ad esempio pareti in c.a.), debbono essere seguite le regole di progettazione riportate nei relativi capitoli della presente norma.

In casi in cui si ritenesse necessario considerare la collaborazione delle pareti in muratura e dei sistemi di diversa tecnologia nella resistenza al sisma, quest'ultima deve essere verificata utilizzando i metodi di **analisi non lineare**.

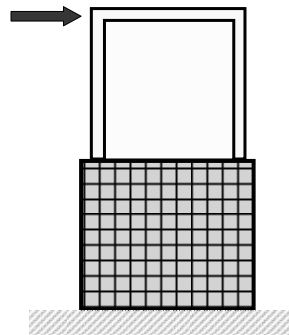


#### 7.8.4 STRUTTURE MISTE CON PARETI IN MURATURA ORDINARIA O ARMATA

E' consentito altresì realizzare costruzioni costituite da struttura muraria nella parte inferiore e sormontate da un piano con struttura in cemento armato o acciaio o legno o altra tecnologia, **alle seguenti condizioni**:

**Gli elementi strutturali lavorano in serie**

**Le forze si trasmettono dall'elemento superiore a quello inferiore senza ripartizione**





#### 7.8.4 STRUTTURE MISTE CON PARETI IN MURATURA ORDINARIA O ARMATA

E' consentito altresì realizzare costruzioni costituite da struttura muraria nella parte inferiore e sormontate da un piano con struttura in cemento armato o acciaio o legno o altra tecnologia, **alle seguenti condizioni:**

i **limiti all'altezza** delle costruzioni previsti per le strutture in muratura si intendono comprensivi delle parti in muratura e di quelle in altra tecnologia;

la parte superiore di diversa tecnologia sia **efficacemente ancorata al cordolo** di coronamento della parte muraria

nel caso di metodo di analisi lineare, l'uso **dell'analisi statica** (nei limiti di applicabilità riportati al § 7.8.1.5.2) è consentito a patto di utilizzare una distribuzione di forze compatibile con la prima forma modale elastica in ciascuna direzione, calcolata con metodi sufficientemente accurati che tengano conto della distribuzione irregolare di rigidezza in elevazione. A tal fine, in assenza di metodi più accurati, la prima forma modale può essere stimata dagli spostamenti ottenuti applicando staticamente alla costruzione la distribuzione di forze definita nel § 7.3.3.2;



#### 7.8.5 REGOLE DI DETTAGLIO

##### 7.8.5.1 Costruzioni in muratura ordinaria

Ad ogni piano deve essere realizzato un cordolo continuo all'intersezione tra solai e pareti. I cordoli debbono avere altezza minima pari all'altezza del solaio e larghezza almeno pari a quella del muro; è consentito un arretramento massimo di 6 cm dal filo esterno.

L'armatura corrente non deve essere inferiore a 8 cm<sup>2</sup>, le staffe debbono avere diametro non inferiore a 6 mm ed interasse non superiore a 25 cm.

Travi metalliche o prefabbricate costituenti i solai debbono essere prolungate nel cordolo per almeno la metà della sua larghezza e comunque per non meno di 12 cm ed adeguatamente ancorate ad esso.

In corrispondenza di incroci d'angolo tra due pareti perimetrali sono prescritte, su entrambe le pareti, zone di parete muraria di lunghezza non inferiore a 1 m, compreso lo spessore del muro trasversale.

Al di sopra di ogni apertura deve essere realizzato un architrave resistente a flessione efficacemente ammortato alla muratura.



### 7.8.5 REGOLE DI DETTAGLIO

#### 7.8.5.2 Costruzioni in muratura armata

Gli architravi soprastanti le aperture possono essere realizzati in muratura armata.

Le barre di armatura debbono essere esclusivamente del tipo ad aderenza migliorata e debbono essere ancorate in modo adeguato alle estremità mediante piegature attorno alle barre verticali. In alternativa possono essere utilizzate, per le armature orizzontali, armature a traliccio o conformate in modo da garantire adeguata aderenza ed ancoraggio.

La percentuale di armatura orizzontale, calcolata rispetto all'area lorda della muratura, non può essere inferiore allo 0,04 %, né superiore allo 0,5%.

...

Agli incroci delle pareti perimetrali è possibile derogare dal requisito di avere su entrambe le pareti zone di parete muraria di lunghezza non inferiore a 1 m.



#### 7.8.1.9 Costruzioni semplici

Si definiscono "costruzioni semplici" quelli che rispettano le condizioni di cui al 4.5.6.4 integrate con le caratteristiche descritte nel seguito, oltre a quelle di regolarità in pianta ed in elevazione definite al § 7.2.2 e quelle definite ai successivi § 7.8.3.1, 7.8.5.1, rispettivamente per le costruzioni in muratura ordinaria, e in muratura armata. Per le costruzioni semplici ricadenti in zona 2, 3 e 4 non è obbligatorio effettuare alcuna analisi e verifica di sicurezza.

Le condizioni integrative richieste alle costruzioni semplici sono:

- in ciascuna delle due direzioni siano previsti almeno due sistemi di pareti di lunghezza complessiva, al netto delle aperture, ciascuno non inferiore al 50% della dimensione della costruzione nella medesima direzione. Nel conteggio della lunghezza complessiva possono essere inclusi solamente setti murari che rispettano i requisiti geometrici della Tab. 7.8.II. La distanza tra questi due sistemi di pareti in direzione ortogonale al loro sviluppo longitudinale in pianta sia non inferiore al 75 % della dimensione della costruzione nella medesima direzione (ortogonale alle pareti). Almeno il 75 % dei carichi verticali sia portato da pareti che facciano parte del sistema resistente alle azioni orizzontali;
- in ciascuna delle due direzioni siano presenti pareti resistenti alle azioni orizzontali con interasse non superiore a 7 m, elevabili a 9 m per costruzioni in muratura armata;
- per ciascun piano il rapporto tra area della sezione resistente delle pareti e superficie lorda del piano non sia inferiore ai valori indicati nella tabella 7.8.III, in funzione del numero di piani della costruzione e della sismicità del sito, per ciascuna delle due direzioni ortogonali:



### 7.8.1.9 Costruzioni semplici

Tabella 7.8.III – Area pareti resistenti in ciascuna direzione ortogonale per costruzioni semplici.

Accelerazione di picco del terreno $a_g \cdot S$		$\leq 0,07$ g	$\leq 0,1$ g	$\leq 0,15$ g	$\leq 0,20$ g	$\leq 0,25$ g	$\leq 0,30$ g	$\leq 0,35$ g	$\leq 0,40$ g	$\leq 0,45$ g	$\leq 0,4725$ g
Tipo di struttura	Numero piani										
Muratura ordinaria	1	3,5 %	3,5 %	4,0 %	4,5 %	5,0 %	5,5 %	6,0 %	6,0 %	6,0 %	6,5 %
	2	4,0 %	4,0 %	4,5 %	5,0 %	5,5 %	6,0 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	7,0 %
	3	4,5 %	4,5 %	5,0 %	5,5 %	6,0 %	6,5 %	7,0 %			
Muratura armata	1	2,5 %	3,0 %	3,0 %	3,0 %	3,5 %	3,5 %	4,0 %	4,0 %	4,5 %	4,5 %
	2	3,0 %	3,5 %	3,5 %	3,5 %	4,0 %	4,0 %	4,5 %	5,0 %	5,0 %	5,0 %
	3	3,5 %	4,0 %	4,0 %	4,0 %	4,5 %	5,0 %	5,5 %	5,5 %	6,0 %	6,0 %
	4	4,0 %	4,5 %	4,5 %	5,0 %	5,5 %	5,5 %	6,0 %	6,0 %	6,5 %	6,5 %

<sup>(1)</sup>  $S_T$  si applica solo nel caso di strutture di Classe d'uso III e IV (v. § 2.4.2)



### 7.8.1.9 Costruzioni semplici

È implicitamente inteso che per le costruzioni semplici il numero di piani non può essere superiore a 3 per le costruzioni in muratura ordinaria e a 4 per costruzioni in muratura armata.

Deve inoltre risultare, per ogni piano:

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq 0,25 \frac{f_k}{\gamma_M} \quad (7.8.1)$$

in cui N è il carico verticale totale alla base di ciascun piano dell'edificio corrispondente alla somma dei carichi permanenti e variabili (valutati ponendo  $\gamma_G = \gamma_Q = 1$ ). A è l'area totale dei muri portanti allo stesso piano e  $f_k$  è la resistenza caratteristica a compressione in direzione verticale della muratura.

Il dimensionamento delle fondazioni può essere effettuato in modo semplificato tenendo conto delle tensioni normali medie e delle sollecitazioni sismiche globali determinate con l'analisi statica lineare.