

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



Edifici in muratura in zona sismica

Dott. Ing. Nicola GAMBETTI, Libero Professionista

EDIFICI IN MURATURA IN ZONA SISMICA

2

Argomenti:

tratteremo **solo** di edifici in muratura di **nuova costruzione**, in **zona sismica**, **regolari in pianta e in altezza**, non occupandoci delle verifiche relative alle azioni da carichi verticali, vento, ecc...

- ❖ **riferimenti normativi**
- ❖ i materiali
- ❖ concezione edificio
- ❖ determinazione dell'azione sismica
- ❖ edificio semplice
- ❖ criteri di modellazione
- ❖ metodi di analisi
- ❖ verifiche di resistenza e stabilità dei componenti
- ❖ dettagli costruttivi
- ❖ risultati di verifiche di edifici reali

RIFERIMENTI NORMATIVI

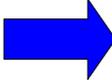
Evoluzione delle norme tecniche per le murature

3

	1987	DM 09.01.1987 DM 20.11.1987	introduce le regole per il calcolo della muratura portante (ordinaria) corregge i limiti di foratura per blocchi in calcestruzzo
	1996	DM 16.01.1997	regole per zona sismica; introduce la muratura armata
	2003	ORDINANZA 3274 ORDINANZA 3316 ORDINANZA 3379	nuove regole di calcolo delle azioni: non si riesce più a verificare la muratura ordinaria
	2005	ORDINANZA 3431 ORDINANZA 3452 ORDINANZA 3467	introduce la sovraresistenza: ritorna possibile la progettazione in muratura ordinaria
	2005	NTC 2005	recepiscono completamente l'ordinanza 3431
	2005	Eurocodice 8	la muratura ordinaria è praticamente non
	2006	Eurocodice 6 (4)	Circolare 05 Agosto 2009 – Su G.U. 13.08.09 – cessazione del regime transitorio
	2008	NTC 2008	attinge dal DM 1987, dall'Ordinanza 3431 e dall'EC6
	2009	ISTRUZIONI	poche precisazioni ...
	2009	Appendici nazionali EC6-8	in lavorazione ... ancora da pubblicare

RIFERIMENTI NORMATIVI

Riferimenti utilizzati

 <p>L.24.06.09 n.77 di conversione del D.L. 28.04.09 n. 39 ("decreto Abruzzo")</p>	<p>Decreto Ministero Infrastrutture 14 Gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni"</p> <p>su S.O. della G.U. del 04.02.2008 n. 29</p>	 NTC '08
<p>dal 01.07.2009 la normativa di riferimento è solamente :</p>	<p>Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008</p> <p>su s.O. della G.U. del 26.02.2009 n. 47</p>	 CIRC '09

RIFERIMENTI NORMATIVI

5

In quali capitoli sono trattate le murature portanti e non portanti :

- ❖ le **NTC '08** trattano la **muratura portante (ordinaria ed armata)** ai seguenti punti:
 - ❑ capitolo 4.5 – Costruzioni di muratura
 - ❑ capitolo 7.8 – Costruzioni di muratura (zona sismica)
 - ❑ capitolo 11.10 – Muratura Portante (requisiti dei materiali)

- ❖ le **NTC '08** trattano le **tramezzature interne** (spessore > 10 cm) e i **tamponamenti** esterni (**in zona sismica**) ai seguenti punti:
 - ❑ paragrafo 7.2.3 – Criteri di progettazione di elementi strutturali “secondari” ed elementi non strutturali

oltre, logicamente, ad essere interessate dalle parti generali trattate nei capitoli 2, 3, 7 e 11

RIFERIMENTI NORMATIVI

6

In quali capitoli sono trattate le murature portanti e non portanti :

- ❖ la **CIRC '09** tratta la muratura portante ai seguenti punti:
 - ❑ paragrafo C.4.5.6.2 – Verifiche agli stati limite ultimi
 - ❑ paragrafo C.4.5.6.4 – Verifiche alle tensioni ammissibili
 - ❑ paragrafo C.7.8.1.5 – Metodi di analisi (zona sismica)
 - ❑ paragrafo C.7.2.3 – Criteri di progettazione di elementi strutturali “secondari” ed elementi non strutturali
 - ❑ paragrafo C.7.8.4 – Strutture miste con pareti in muratura ordinaria o armata
 - ❑ paragrafo C. 11.10.1 – Elementi per muratura
 - ❑ paragrafo C.11.10.3 – Determinazione dei parametri meccanici della muratura

RIFERIMENTI NORMATIVI

7

Quali novità per le murature

Ci sono novità rilevanti se facciamo riferimento al DM 1987 e a quelli del 1996, anche se, in gran parte, queste novità sono già state anticipate dalle “Ordinanze”, specie **l’ordinanza OPCM 3431 per le murature**

Inoltre, in generale, le NTC’08+CIRC’09 sono aggiornate per tenere conto di:

- ❖ le norme armonizzate di prodotto, la **marcatura CE**, il sistema di attestazione di conformità dei materiali da costruzione strutturali
- ❖ gli **Eurocodici**
- ❖ il **nuovo approccio alla sismica** avviatosi con le “Ordinanze”
- ❖ l’opportunità di redigere un “**testo unico**” per le strutture
- ❖ l’**approccio prestazionale** della normativa cogente
- ❖ il passaggio al **metodo di verifica agli stati limite**

EDIFICI IN MURATURA IN ZONA SISMICA

8

Argomenti:

- ❖ riferimenti normativi
- ❖ **i materiali**
- ❖ concezione edificio
- ❖ determinazione dell'azione sismica
- ❖ edificio semplice
- ❖ criteri di modellazione
- ❖ metodi di analisi
- ❖ verifiche di resistenza e stabilità dei componenti
- ❖ dettagli costruttivi
- ❖ risultati di verifiche di edifici reali

I MATERIALI

Per tutti i materiali strutturali le NTC '08 prevedono:

I materiali e prodotti per uso strutturale devono essere:

- identificati univocamente a cura del produttore, secondo le procedure applicabili;
- qualificati sotto la responsabilità del produttore, secondo le procedure applicabili;
- accettati dal Direttore dei lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di qualificazione, nonché mediante eventuali prove sperimentali di accettazione.

ad esempio per i blocchi si ha:

Produttore	identifica	marcatura CE → UNI EN 771-3	
	qualifica	controllo di produzione di stabilimento (FPC) → UNI EN 771-3	
Direttore Lavori	accetta	acquisisce e verifica	documentazione identificazione
			documentazione qualificazione
		fa eseguire prove sperimentali	identifica con certezza il campione

I MATERIALI - Blocchi

Le prescrizioni per i blocchi, raffrontate con la normativa precedente, sono:

Spessore minimo delle murature portanti

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
pieni : 12 cm semipieni : 20 cm forati : 25 cm	edificio semplificato : 24 cm	pieni : 15 cm semipieni : 20 cm forati : 24 cm	resistenti all'azione del sisma: m.o. e m. a.: 24 cm (in Z4 pieni Z4 : 15 cm e semipieni 20 cm)	

Allineamento dei setti dei blocchi paralleli al piano della muratura

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
			allineati continui e rettilinei	

I MATERIALI - Blocchi

Limite massimo dimensione fori da riempire con calcestruzzo

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
		nessun limite		

Sistema di attestazione di conformità

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
		EN 771 -3 2+ per I categoria 4 per II categoria		

Controllo resistenza a compressione

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
laboratori ufficiali L. 1086 almeno 1 volta/anno		secondo FPC della norma di prodotto		

I MATERIALI - Blocchi

Differenza tra blocchi di I e di II categoria :

definizione della UNI EN 771-3:

elemento per muratura di Categoria I: Elementi con una resistenza a compressione dichiarata con una probabilità di non raggiungerla non maggiore del 5%. Questa può essere determinata tramite la media o il valore caratteristico.

elemento per muratura di Categoria II: Elementi non destinati ad essere conformi al livello di confidenza degli elementi di Categoria I.

[...] Per la resistenza a compressione degli elementi di Categoria I utilizzare un **frattile al 50%** ($P=0,50$) per i valori medi o un **frattile al 5%** ($P=0,05$) per i valori caratteristici e un **livello di confidenza del 95%**.

Le NTC'08 e la CIRC'09 riportano delle definizioni meno chiare, meglio fare direttamente riferimento alle norme di prodotto.

In ogni caso è il Produttore che in etichetta di marcatura CE deve dichiarare se il blocco è di I o II categoria.

Da notare che in verifica sismica non si ha più differenziazione dei coefficienti parziali di sicurezza γ_M tra murature in blocchi di I o di II categoria ($\gamma_M = 2$ sempre)

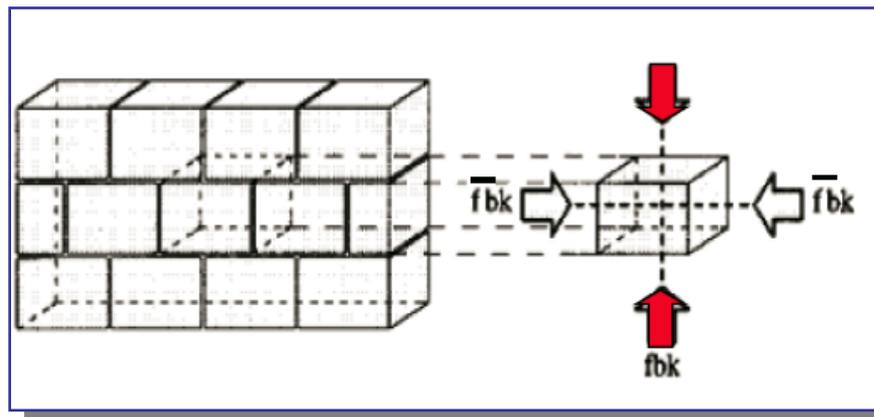
I MATERIALI - Blocchi

Resistenza minima a compressione "verticale" f_{bk} dei blocchi

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
non specificato, ma la tabella inizia con $f_{bk} = 2 \text{ N/mm}^2$	pieni : 7 N/mm ² semipieni: 5 N/mm ²	non specificato, ma la tabella inizia con $f_{bk} = 2 \text{ N/mm}^2$	tutti : 5 N/mm ²	

Resistenza minima a compressione "orizzontale" \bar{f}_{bk} dei blocchi

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
	$f_{bk} \Rightarrow 1,5 \text{ N/mm}^2$		$\bar{f}_{bk} \Rightarrow 1,5 \text{ N/mm}^2$	



I MATERIALI - Blocchi

14

Resistenza minima a compressione "verticale" f_{bk} ed "orizzontale" \bar{f}_{bk} dei blocchi

Prove sperimentali per f_{bk} :

$$f_{bk} = f_{bm} (1 - 1,64 \delta) \quad \text{su almeno } \mathbf{30} \text{ blocchi}$$

dove:

f_{bm} = media aritmetica delle resistenze dei singoli blocchi

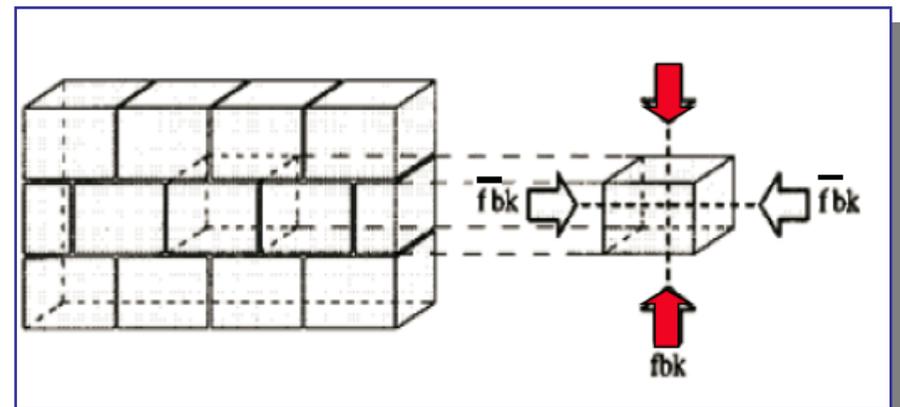
$\delta = s / f_{bm}$ coefficiente di variazione

s = stima dello scarto quadratico medio

deve essere $\delta > 0,2$

Prove sperimentali per \bar{f}_{bk} :

$$\bar{f}_{bk} = 0,7 \bar{f}_{bm} \quad \text{su almeno } \mathbf{6} \text{ blocchi}$$



I MATERIALI - Blocchi

Prove di accettazione in cantiere dei blocchi

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
a discrezione D.L.		<p>obbligatorio con prove c/o laboratorio autorizzato art. 50 del DPR 380/2001 secondo UNI EN 772-1:2002.</p> <p>3 blocchi: $f_1 < f_2 < f_3$</p> <p>$(f_1 + f_2 + f_3) / 3 > 1,2 f_{bk}$</p> <p>$f_1 > 0,9 f_{bk}$</p>		

... ma non è specificato ogni quanti m³ di fornitura deve essere effettuato il prelievo a discrezione del D.L. ?

I MATERIALI - Malte

Legante previsto per i giunti

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
malta	malta	malta		

Giunti da riempire con malta

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
verticali ed orizzontali (con spessore compreso tra 5 e 15 mm) per uso tabelle convenzionali resistenza a compressione e tagli delle murature a partire da f_{bk} e malta	verticali ed orizzontali per muratura armata	verticali ed orizzontali (con spessore compreso tra 5 e 15 mm) per uso tabelle convenzionali resistenza a compressione e tagli delle murature a partire da f_{bk} e malta	verticali ed orizzontali per tutti	

I MATERIALI - Malte

Classificazione delle malte per resistenza (media) a compressione

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
M1 = 12 N/mm ² M2 = 8 N/mm ² M3 = 5 N/mm ² M4 = 2,5 N/mm ²	almeno M1 o M2 per muratura armata	Md > 25 N/mm ² M20 = 20 N/mm ² M15 = 15 N/mm ² M10 = 10 N/mm ² M5 = 5 N/mm ² M2,5 = 2,5 N/mm ²		

Resistenza (media) minima richiesta alla malta

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
M4 = 2,5 N/mm ²	M2 = 8 N/mm ² per per edificio semplice M2 = 8 N/mm ² per muratura armata	M2,5 = 2,5 N/mm ² per muratura ordinaria M10 = 10 N/mm ² per muratura armata	M5 per muratura ordinaria M10 per muratura armata	

I MATERIALI - Malte

Malte preconfezionate a prestazione garantita

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC '09
il produttore dichiara: - gruppo malta - tipo e quantità leganti oppure dichiara: - resistenza comprex con prove in laboratori ufficiali		conformi alla UNI EN 998-2 con sistema di attestazione di conformità 2+		

Metodo di prova a compressione malte

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC '09
DM 03.06.1968		UNI EN 1015-11		

I MATERIALI - Malte

Malte a composizione prescritta

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
tabella con corrispondenza, in funzione dei dosaggi di legante, alle malte M1- M4		tabella con corrispondenza, in funzione dei dosaggi di legante, alle malte M2,5- M12		

Metodo di prova malte a composizione prescritta e diverso mix

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
		UNI EN 1015-11:2007		

I MATERIALI – Acciaio e calcestruzzo per m. a.

Tipo di acciaio per muratura armata

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
	solo barre aderenza migliorata	acciaio al carbonio o inox o con rivestimento speciale	solo barre aderenza migliorata o traliccio	

Resistenza a compressione calcestruzzo per getti in muratura armata

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
	15 N/mm ² cubica	C 12/15		

I MATERIALI - Muratura

Resistenza caratteristica a compressione della muratura f_k

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
Sperimentale 0 Tabella: $f_k = f_k$ (Malta, f_{bk})		Sperimentale 0 Tabella: $f_k = f_k$ (Malta, f_{bk})		

Resistenza caratteristica a taglio della muratura f_{vk0} e f_{vk}

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
Sperimentale 0 Tabella: f_{vk0} funzione di malta, materiale blocchi e f_{bk} $f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \sigma_n$ $f_{vk} \leq 1,4 f_{bk}$		Sperimentale 0 Tabella: f_{vk0} funzione di malta, materiale blocchi e f_{bk} $f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \sigma_n$ $f_{vk} \leq 1,4 f_{bk}$		

I MATERIALI - Muratura

Resistenza caratteristica a compressione della muratura f_k

Il valore della resistenza caratteristica a compressione della muratura, se valutato sperimentalmente si ricava dall' espressione:

$$f_k = f_m - k_s$$

dove:

f_m = resistenza media di almeno 6 campioni

s = stima dello scarto

k coefficiente da tabella in funzione del numero di campioni n

n	6	8	10	12	20
k	2.33	2.19	2.10	2.05	1.93

I MATERIALI - Muratura

Moduli di elasticità secanti

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
Sperimentale o modulo di elasticità normale secante $E = 1000 f_k$ modulo di elasticità tangenziale secante $G = 0,4 E$		Sperimentale secondo UNI EN 1052-1:2001 o modulo di elasticità normale secante $E = 1000 f_k$ modulo di elasticità tangenziale secante $G = 0,4 E$		

Ne segue che il coefficiente di Poisson è $\nu = E/2G - 1 = 0,25$

I MATERIALI - Muratura

24

Resistenza caratteristica a compressione della muratura **in direzione parallela al letto di malta** f_{hk}

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09

E' necessaria per la verifica delle fasce murarie quando il modello considerato le contempla.

Non è trattata dalla nostra normativa, pertanto o si ha il dato **sperimentale** oppure: **Eurocodice 6**

$$f_k = K f_b^{0,7} f_m^{0,3}$$

dove:

f_b = resistenza media a compressione dei blocchi nella direzione di applicazione considerata (cioè f_{bk} o $\overline{f_{bk}}$)

f_m = resistenza media a compressione della malta

k = costante tabellata in funzione di:

- gruppo dei blocchi (raggruppamento secondo EC6: G1, G2, G3, G4)
- tipo di malta (usi generali, sottile, leggera, ...)
- materiale dei blocchi (calcestruzzo, laterizio, ...)

I MATERIALI - Muratura

Coefficienti di sicurezza dei materiali agli Stati Limite

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
$\gamma_M = 3,0^*$		$\gamma_M = 2,0 - 2,5$ per blocchi di I categoria e malta a prestazione garantita $\gamma_M = 2,2 - 2,7$ per blocchi di I categoria e malta a composizione prescritta $\gamma_M = 2,5 - 3,0$ per blocchi di II categoria in funzione delle classi di esecuzione	$\gamma_M = 2,0$	
* sono però un po' cambiate anche le combinazioni di carico				

EDIFICI IN MURATURA IN ZONA SISMICA

26

Argomenti:

- ❖ riferimenti normativi
- ❖ i materiali
- ❖ **concezione edificio**
- ❖ determinazione dell'azione sismica
- ❖ edificio semplice
- ❖ criteri di modellazione
- ❖ metodi di analisi
- ❖ verifiche di resistenza e stabilità dei componenti
- ❖ dettagli costruttivi
- ❖ risultati di verifiche di edifici reali

CONCEZIONE DELL'EDIFICIO

Ovviamente anche per gli edifici in **muratura in zona sismica** valgono i **criteri generali** utili per le costruzioni **in muratura portante**

Criteri per tutti gli edifici in muratura	concezione strutturale	<ul style="list-style-type: none">❖ struttura tridimensionale❖ pareti, orizzontamenti e fondazioni collegati per resistere ad azioni verticali ed orizzontali❖ lunghezza delle pareti resistenti non inferiore a 0,3 volte l'altezza❖ possibilmente tutte le pareti sia portanti i carichi verticali che di controvento❖ i solai piani assicurano, per resistenza e rigidezza, la distribuzione delle azioni orizzontali tra le pareti❖ comportamento "scatolare"
	collegamenti	<ul style="list-style-type: none">❖ il comportamento "scatolare" è assicurato tramite:<ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> cordoli in c.a. a livello di solaio<input type="checkbox"/> ammorsamento alle intersezioni verticali delle pareti<input type="checkbox"/> incatenamenti a livello dei solai per collegare muri paralleli ancorati ai cordoli<input type="checkbox"/> cordolo di collegamento alle fondazioni
	effetti del 2° ordine	<ul style="list-style-type: none">❖ spessori minimi❖ snellezza massima

CONCEZIONE DELL'EDIFICIO

28

Comportamento globale o "scatolare" dell'edificio in muratura

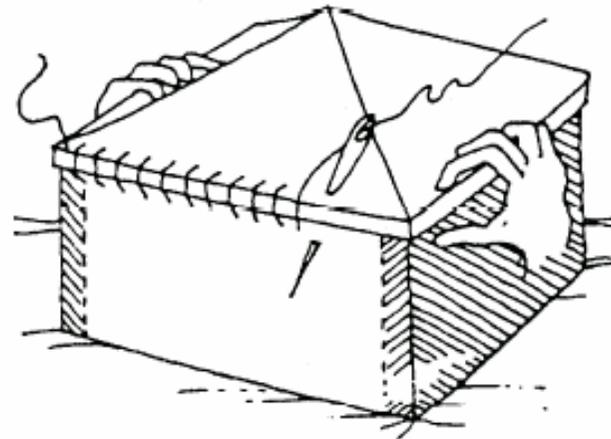
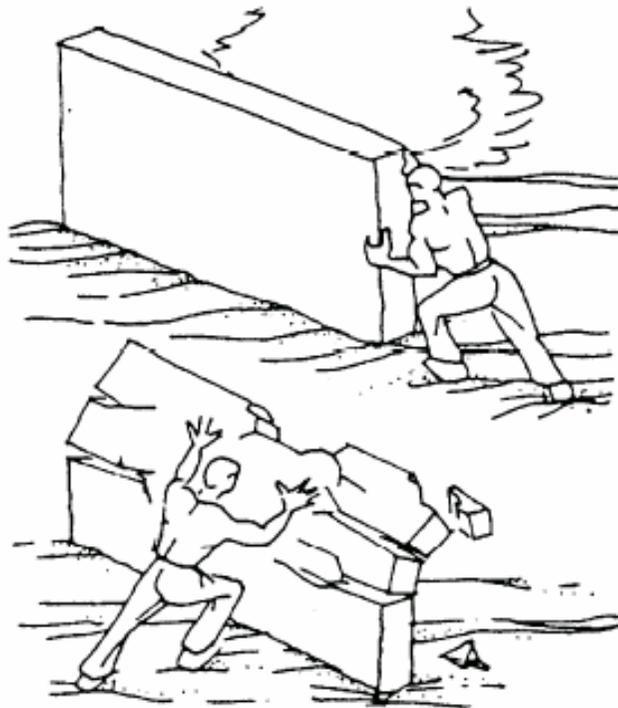
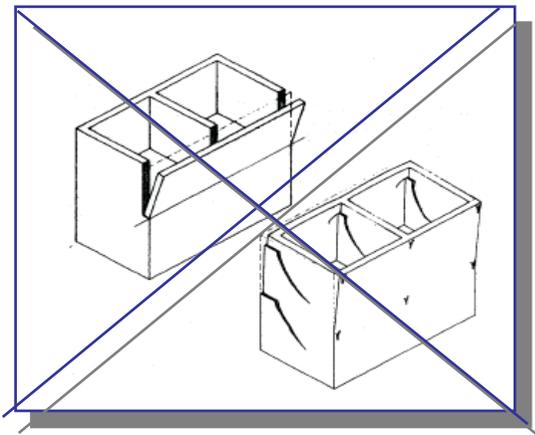


figura da Touliatos, 1996

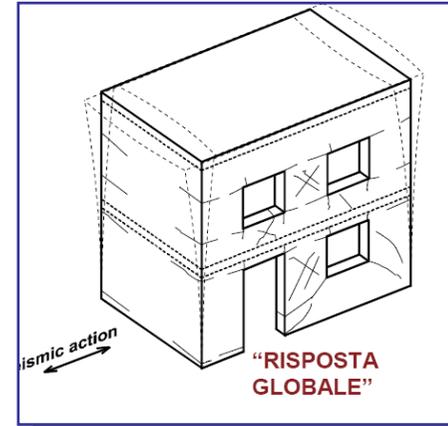
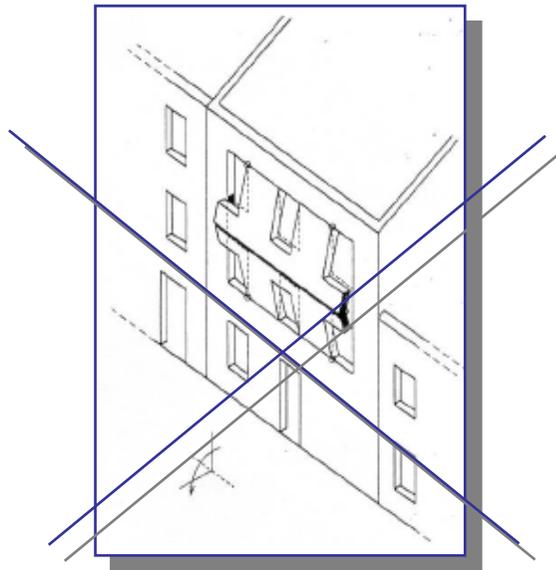
In generale la muratura ha **buona resistenza a compressione**, trascurabile resistenza a trazione, **lavora bene quando è sollecitata nel suo piano** e meno bene quando è sollecitata fuori dal suo piano, per questo i muri devono essere adeguatamente **"cuciti"** tra loro e con gli altri elementi strutturali

CONCEZIONE DELL'EDIFICIO

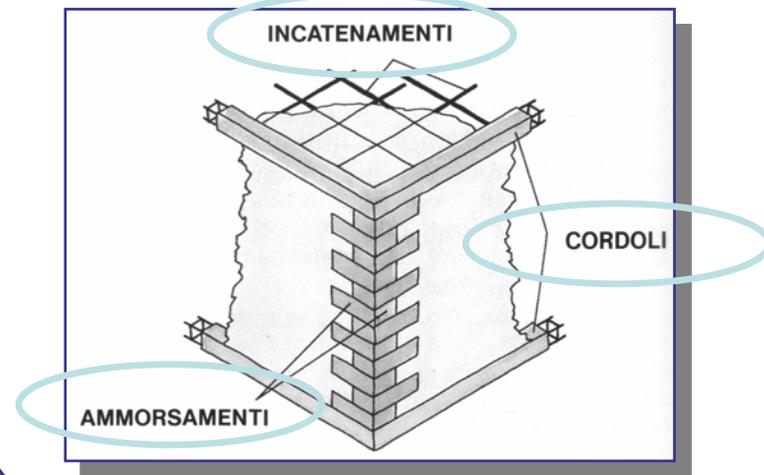
Comportamento globale o "scatolare" dell'edificio in muratura



comportamento "locale"



comportamento "globale"

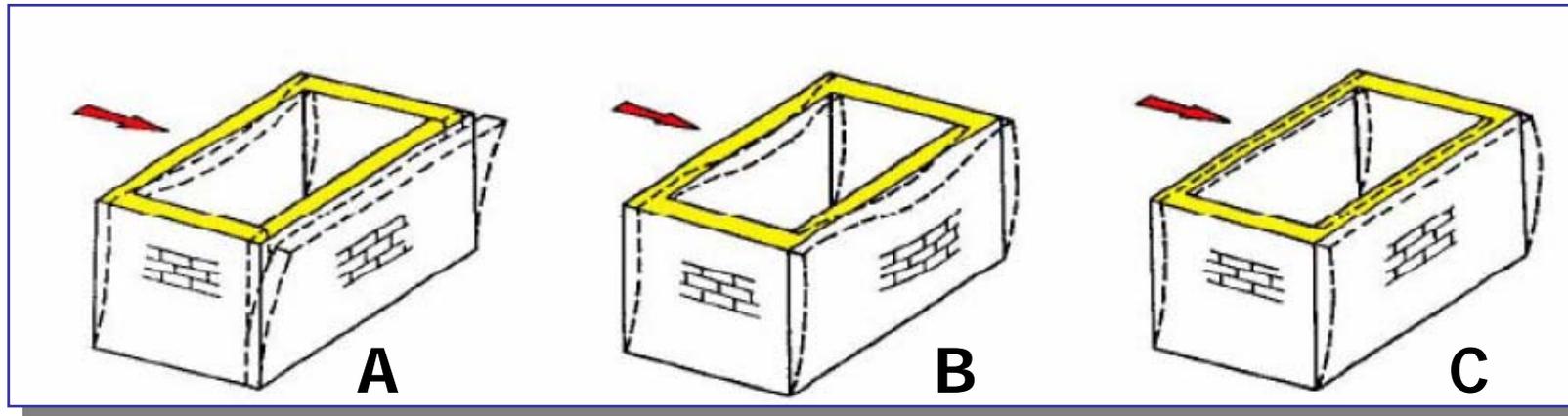


CONCEZIONE DELL'EDIFICIO

30

Comportamento globale o "scatolare" dell'edificio in muratura

Effetto dei ammorsamenti, cordoli e incatenamenti



Caso A – i muri perpendicolari alla azione orizzontale **non sono legati dal cordolo né dall'ammorsamento** e si ribaltano con comportamento locale (1° modo)

Caso B – i muri perpendicolari all'azione orizzontale **sono ammorsati** a quelli contigui di controvento, ma **non legati dal cordolo**, l'edificio non risponde globalmente

Caso C - i muri perpendicolari all'azione orizzontale **sono ammorsati** a quelli contigui di controvento **e legati dal cordolo**, l'edificio risponde globalmente

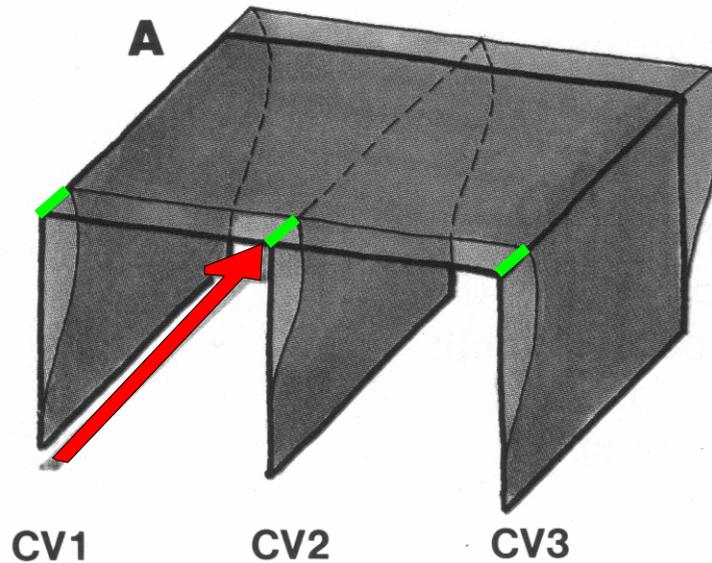
CONCEZIONE DELL'EDIFICIO

Criteria di regolarità validi per tutti gli edifici in zona sismica	regolarità in pianta	<ul style="list-style-type: none">❖ pianta compatta, approssimativamente simmetrica in due direzioni ortogonali❖ rapporto lati rettangolo circoscritto max 1:4❖ dimensioni rientri e sporgenze limitata al 25% della dimensione corrente❖ orizzontamenti considerabili infinitamente rigidi nel loro piano e resistenti
	regolarità in altezza	<ul style="list-style-type: none">❖ tutti i sistemi resistenti continui in elevazione❖ masse e rigidzze costanti o con variazione graduale da base a sommità❖ limiti sui restringimenti di sezione orizzontale da un piano all'altro
	distanza tra le costruzioni contigue	<ul style="list-style-type: none">❖ per evitare martellamenti
	limitazione dell'altezza in funzione della larghezza stradale	<ul style="list-style-type: none">❖ secondo strumenti urbanistici

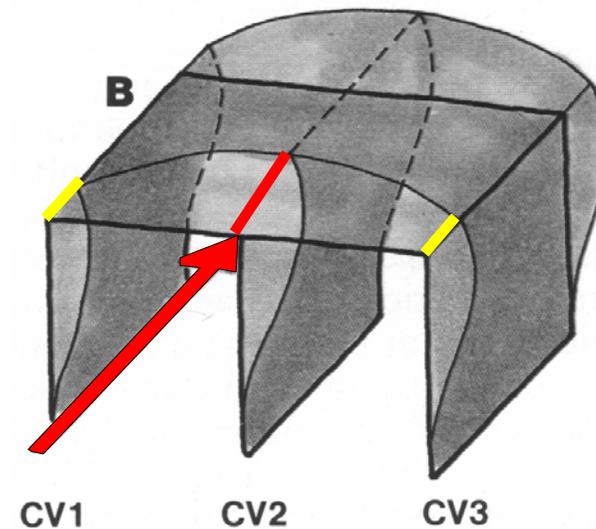
CONCEZIONE DELL'EDIFICIO

32

Solai considerabili infinitamente rigidi nel loro piano



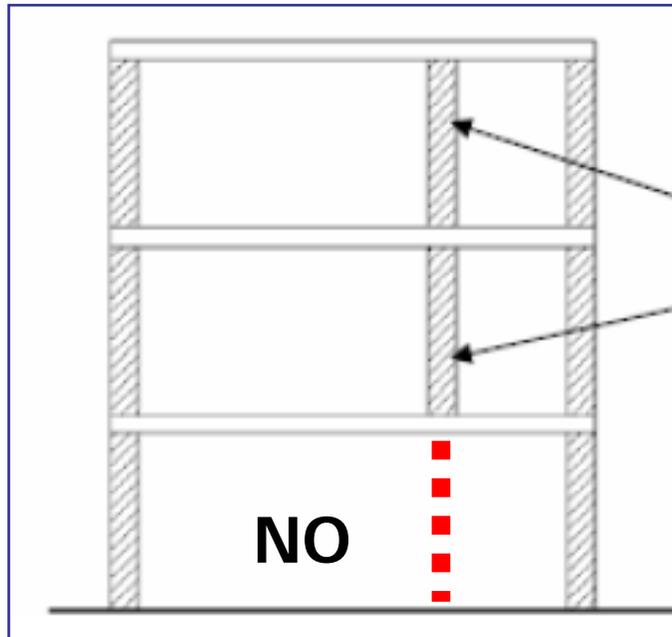
A – il solaio è rigido e in grado di ripartire le azioni orizzontali fra i muri di controvento (supposti qui uguali)



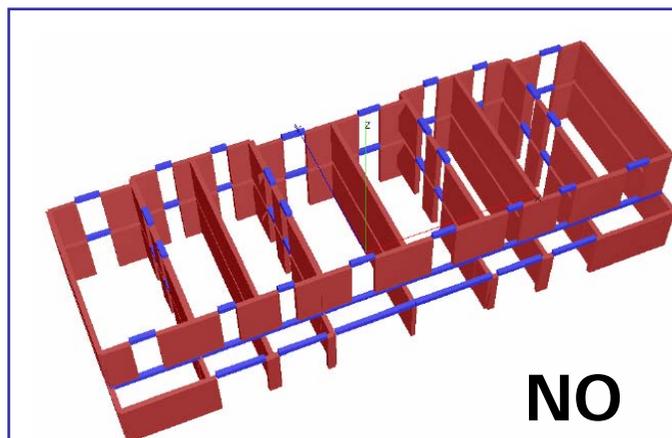
B – il solaio è sufficientemente rigido e ripartisce le azioni orizzontali fra i muri di controvento in modo non congruente (supposti qui uguali)

CONCEZIONE DELL'EDIFICIO

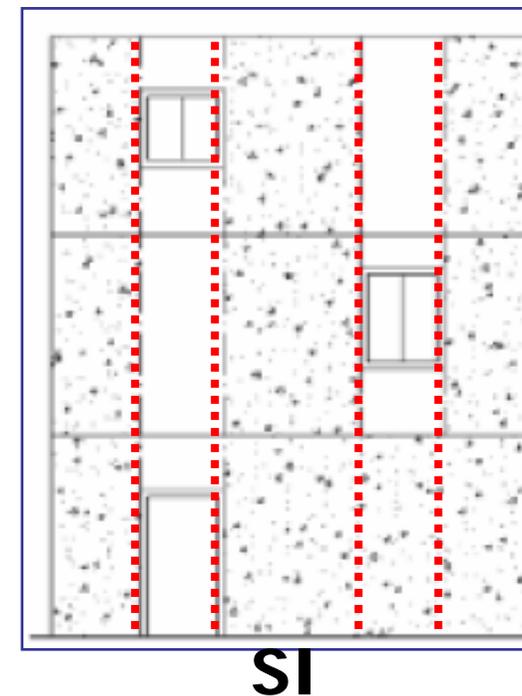
Sistemi resistenti continui dalla base alla sommità : no muri in falso



muri portanti in falso



sistemi resistenti dalla base alla sommità e aperture allineate

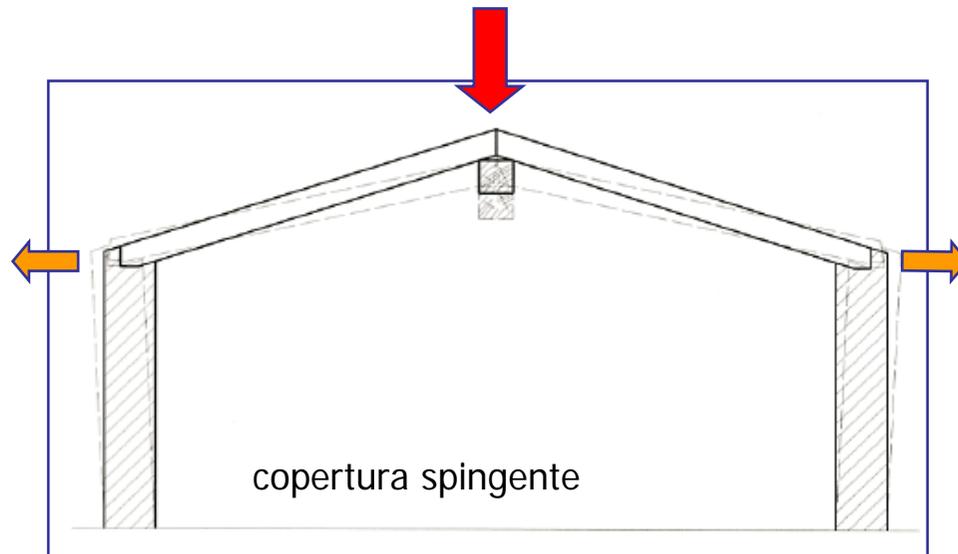


CONCEZIONE DELL'EDIFICIO

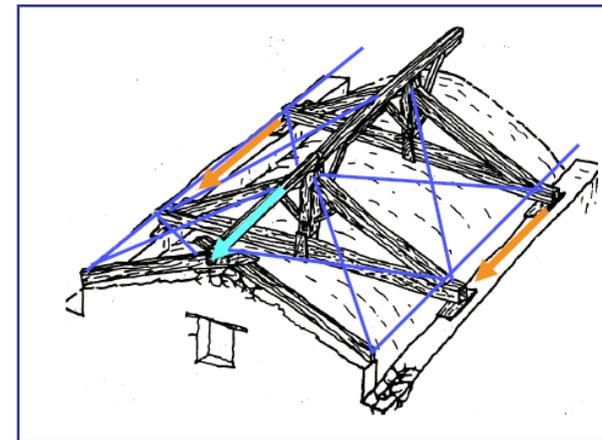
Criteria di regolarità validi per gli edifici in muratura in zona sismica	regolarità in pianta	<ul style="list-style-type: none"> ❖ pianta compatta, approx simmetrica in due direzioni ortogonali
	regolarità in altezza	<ul style="list-style-type: none"> ❖ pareti strutturali al lordo delle aperture debbono avere continuità dalla base alla sommità (muratura ordinaria: aperture allineate in verticale o considerare nel modello solo la parte continua della parete da base a sommità) ❖ no pareti in falso
	orizzontamenti e coperture	<ul style="list-style-type: none"> ❖ non spingenti o se spingenti con spinta assorbita da idonei elementi strutturali ❖ solai ben collegati ai muri ❖ max interpiano tra i solai : 5 m
	altezza massima	<ul style="list-style-type: none"> ❖ muratura ordinaria: in Z1 che non accede alle riserve anelastiche : 2 piani dal piano campagna ❖ in generale: "opportunamente limitata in funzione delle capacità deformative e dissipative e della classificazione sismica del territorio"
	pareti resistenti	<ul style="list-style-type: none"> ❖ minimo spessore ❖ massima snellezza ❖ minimo rapporto altezza/lunghezza

CONCEZIONE DELL'EDIFICIO

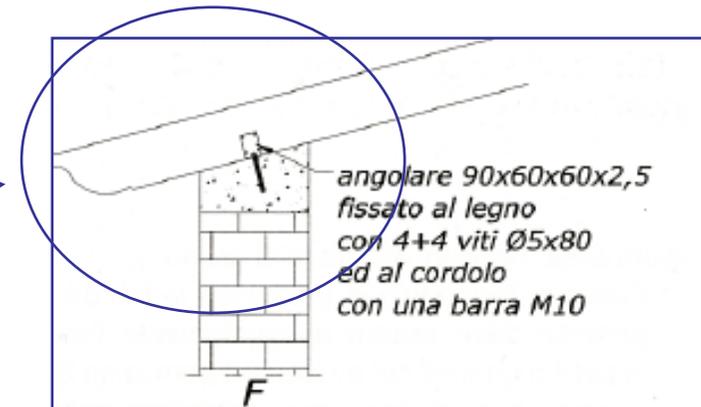
Coperture non spingenti o spinta riassorbita



collasso fuori dal piano



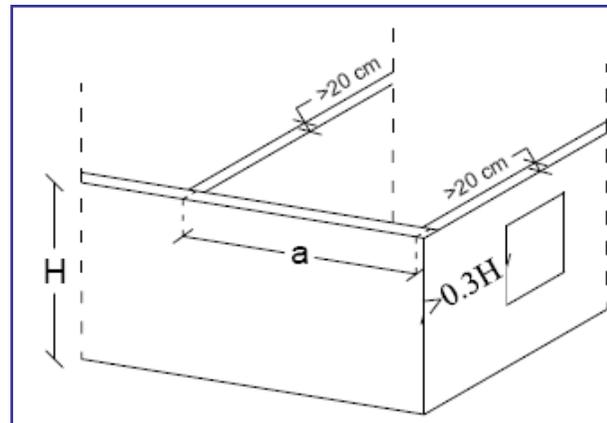
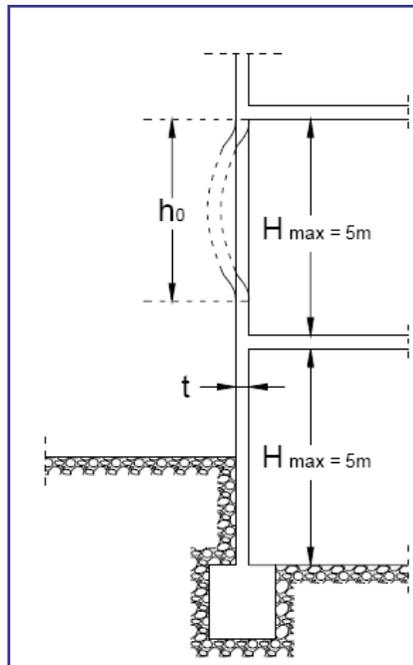
ancoraggio al cordolo



CONCEZIONE DELL'EDIFICIO

Condizioni geometriche di base delle pareti resistenti al sisma

tipologia costruttiva	spessore minimo t min (mm)	snellezza convenzionale massima $\lambda = h_0/t$
muratura ordinaria in blocchi artificiali	240	12*
muratura armata in blocchi artificiali	240	15*



snellezza convenzionale: $\lambda = h_0/t$

dove:

h_0 = altezza di libera infless. $h_0 = \rho H$

con

H = altezza effettiva interpiano

ρ : tiene conto delle condizioni di vincolo laterali della parete

condizione parete laterale	ρ
$H/a \leq 0,5$	1
$0,5 < H/a \leq 1$	$3/2 - H/a$
$H/a > 1$	$1,7 (1 + (H/a)^2)$

* λ massima è 20 in zona non sismica

CONCEZIONE DELL'EDIFICIO

37

Condizioni geometriche di base delle pareti resistenti al sisma

tipologia costruttiva	spessore minimo t min (mm)	lungh/altezza max aperture l/h'
muratura ordinaria in blocchi artificiali	240	0,4
muratura armata in blocchi artificiali	240	qualsiasi
muratura ordinaria in blocchi semipieni e Z4	200	0,3
muratura ordinaria in blocchi pieni e Z4	150	0,3



EDIFICI IN MURATURA IN ZONA SISMICA

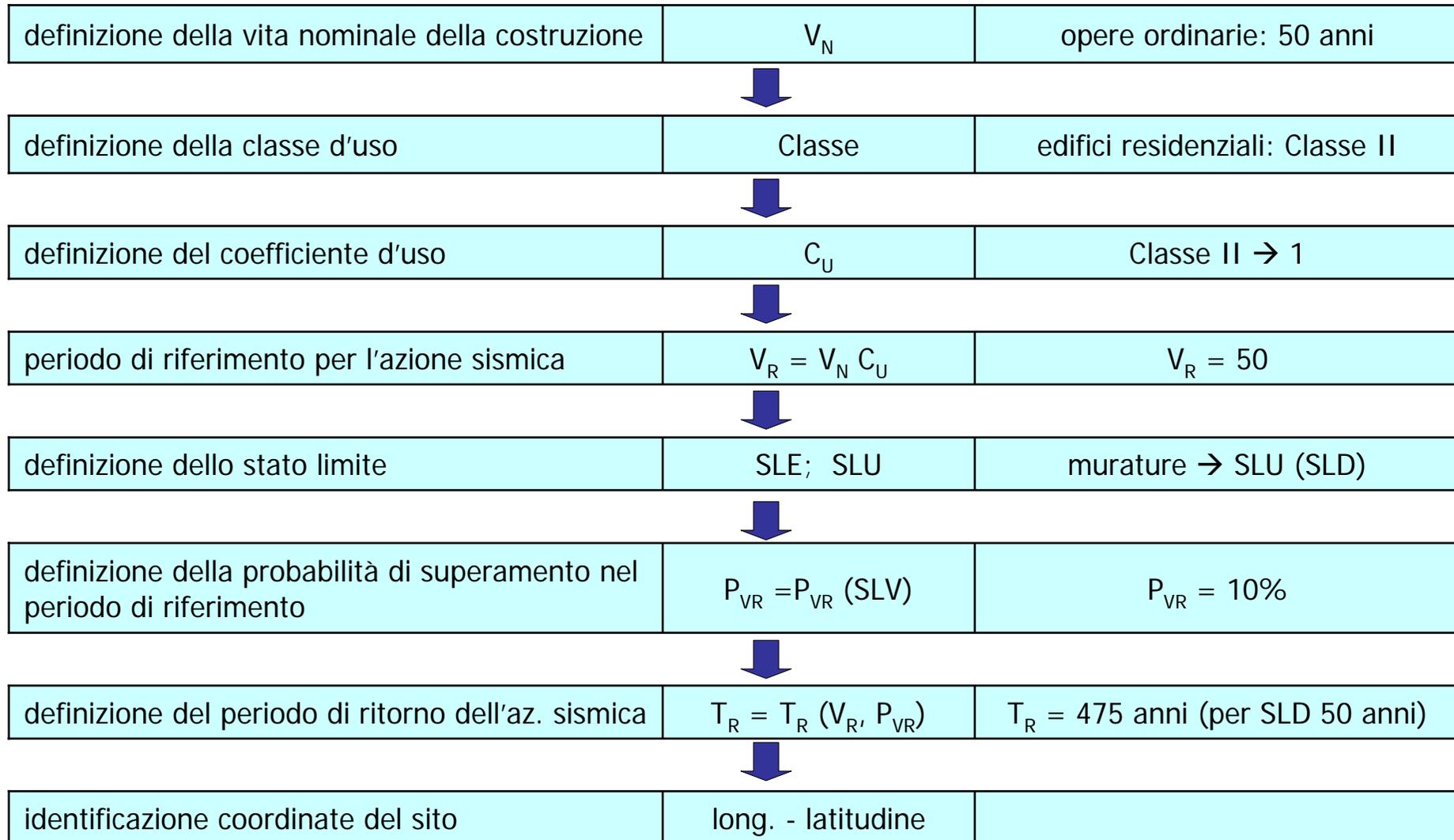
38

Argomenti:

- ❖ riferimenti normativi
- ❖ i materiali
- ❖ concezione edificio
- ❖ **determinazione dell'azione sismica**
- ❖ edificio semplice
- ❖ criteri di modellazione
- ❖ metodi di analisi
- ❖ verifiche di resistenza e stabilità dei componenti
- ❖ dettagli costruttivi
- ❖ risultati di verifiche di edifici reali

DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

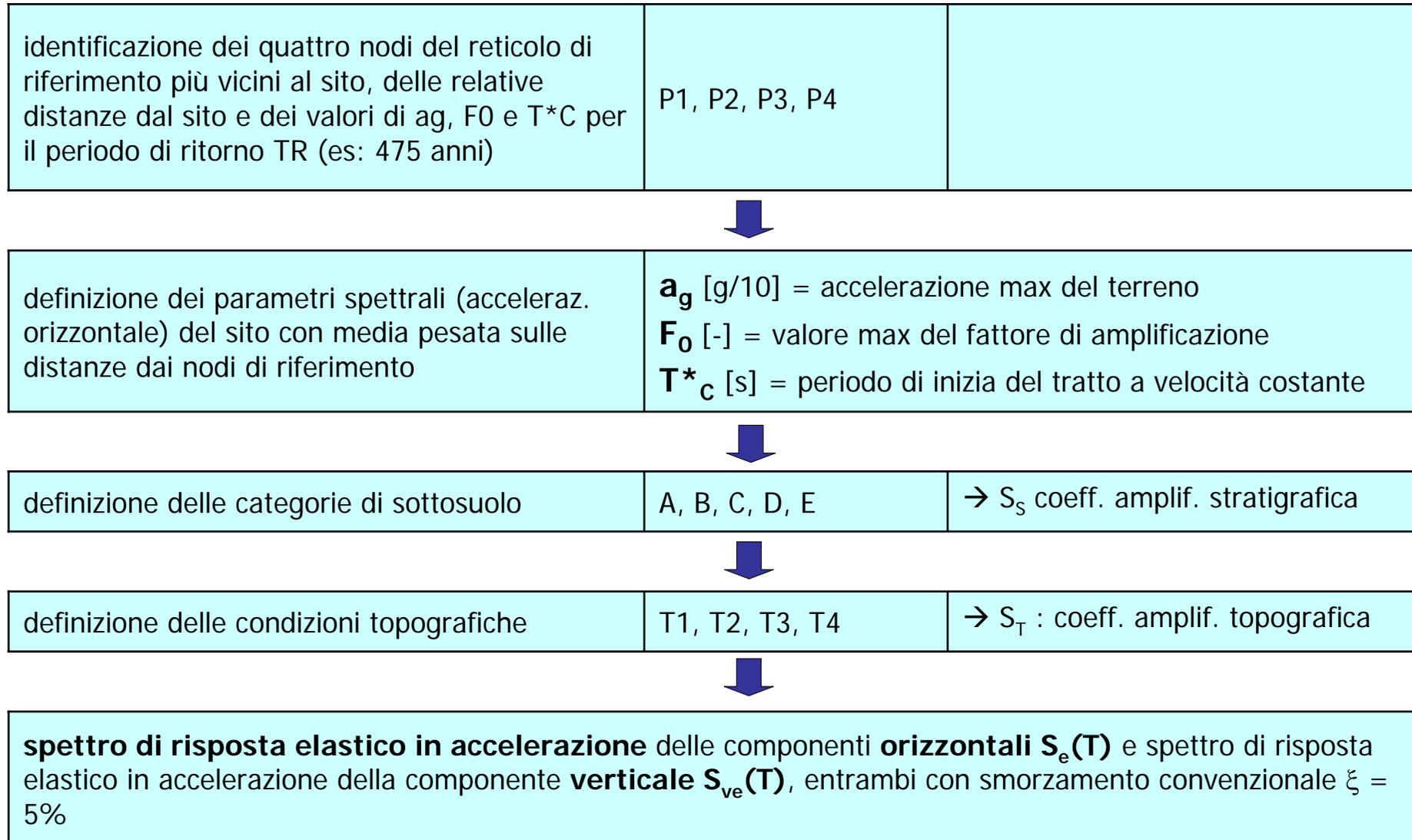
Determinazione dello spettro di risposta elastico in accelerazione orizzontale **in funzione del sito**



DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

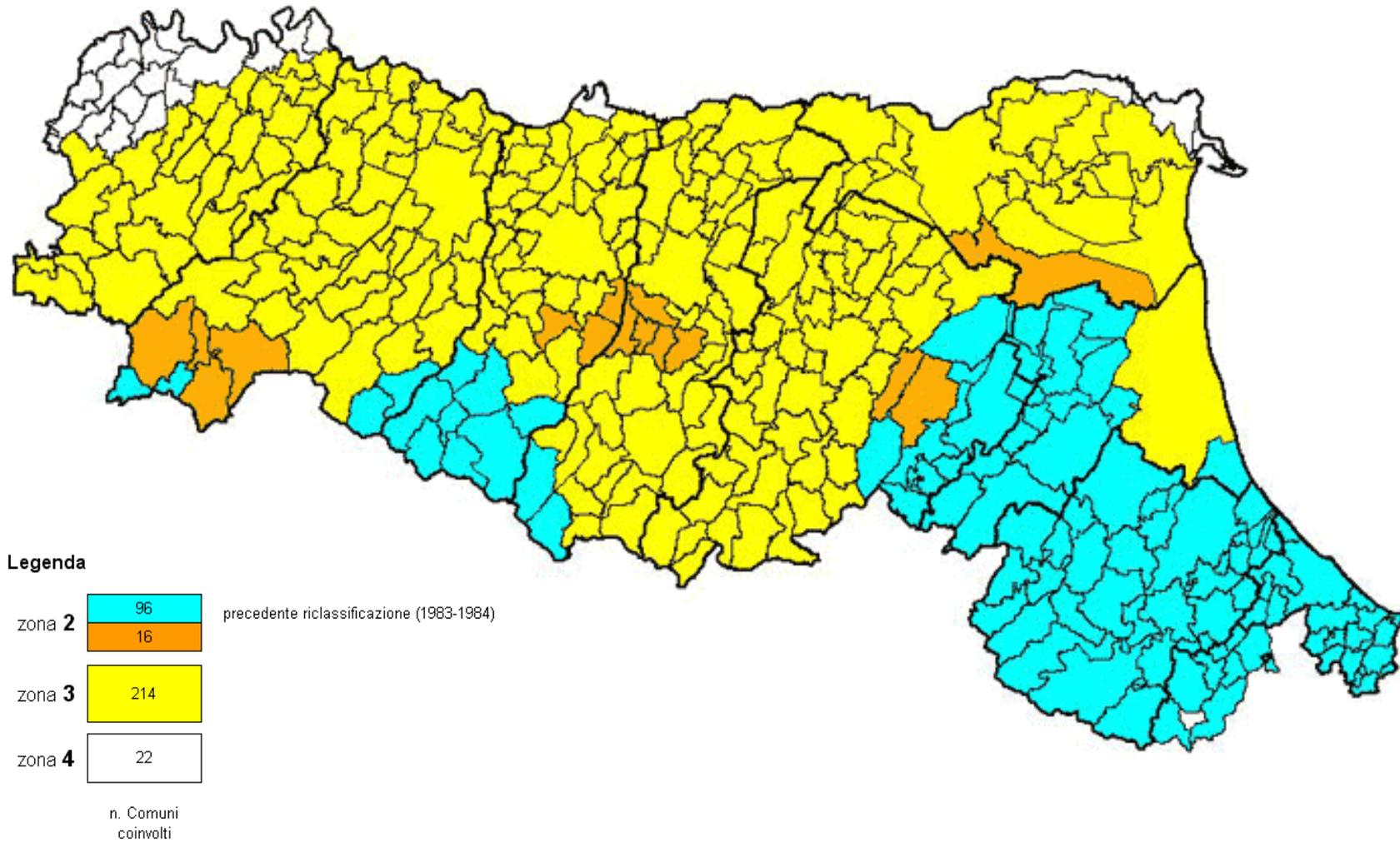
40

Determinazione dello spettro di risposta elastico in accelerazione orizzontale in **funzione del sito**



DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Classificazione sismica attuale della Regione Emilia-Romagna: ZONE SISMICHE



DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Dal sito del Consiglio Superiore del LL.PP. è scaricabile il SW per ottenere i parametri dello spettro in funzione della località, dello SL e del T_R

CIRCOLARE 5 AGOSTO 2009
 Circolare 5 agosto 2009 "Nuove norme tecniche per le costruzioni approvate con decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 - Cessazione del regime transitorio di cui all'articolo 26, comma 1, del decreto-legge 31 dicembre 2007, n. 248." Sulla Gazzetta Ufficiale n.187 del 13 agosto 2009 è stata pubblicata la circolare... [leggi tutto...](#)

Azioni sismiche - Spettri di risposta ver. 1.03
 È in linea ed è possibile scaricare la **NUOVA VERSIONE 1.03** del programma sperimentale "Spettri di risposta" che fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticali) delle azioni sismiche di progetto per il terreno nazionale.

INTRO
 D.M. 14 gennaio 2008 - Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni
Spettri di risposta ver. 1.03

Il documento Excel **SPETTRI-NTC** fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticali) delle azioni sismiche di progetto per il terreno nazionale. La delimitazione degli spettri di risposta relativi ad uno Stato Limite è articolata in 3 fasi, ciascuna delle quali prevede la scelta dei valori di alcuni parametri da parte dell'utente.

FASE 1 Individuazione della pericolosità del sito (sulla base dei risultati del progetto S1 - INGV);
FASE 2 Scelta della strategia di progettazione;
FASE 3 Determinazione dell'azione di progetto.

Programma ottimizzato per una visualizzazione schermo 1024 x 768

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate: LONGITUDINE 9.1963, LATITUDINE 44.8244
 Ricerca per comune: REGIONE Lombardia, PROVINCIA Pavia, COMUNE VIGEVANO

Elaborazioni grafiche: Grafico spettri di risposta, Tabella parametri

La "Ricerca per comune" applica la coordinate A1747 del Comune per individuare il sito. Si controlla che l'indirizzo del Comune coincida con quello sismico (provincia e comune) e, eventualmente, anche da quello dell'indirizzo e di consegna, quindi la "Ricerca per coordinate".

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_n : 100
 Coefficiente d'uso della costruzione - c_u : 2
 Valori di progetto: Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_e : 200

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R :
 Stati limite di esercizio - SL-E: $SLO - P_{0.1} = 81\%$ (100)
 Stati limite utili - SL-U: $SLO - P_{10} = 63\%$ (201)
 Stati limite ultimi - SL-L: $SLO - P_{10} = 5\%$ (1998, 2475)

Strategia di progettazione: Grafico T_R (anni) vs T_R (anni) showing curves for SLO, SLD, SLV, and SLC.

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite: Stato Limite considerato: SLV
 Riposta sismica locale: Categoria di sottosuolo: C, Categoria topografica: T1

Componi orizzontale: Spettro di progetto sismico (SLS), Spettro di progetto mezzogiorno (SLM)
 Componi verticale: Spettro di progetto

Elaborazione: Grafico spettri di risposta, Parametri e punti spettri di risposta. Grafico showing spectral acceleration vs period T (s).

Argomenti:

- ❖ riferimenti normativi
- ❖ i materiali
- ❖ concezione edificio
- ❖ determinazione dell'azione sismica
- ❖ **edificio semplice**
- ❖ criteri di modellazione
- ❖ metodi di analisi
- ❖ verifiche di resistenza e stabilità dei componenti
- ❖ dettagli costruttivi
- ❖ risultati di verifiche di edifici reali

EDIFICIO SEMPLICE

Se l'edificio è "semplice" non è necessaria alcuna verifica di resistenza, deve, però, soddisfare alcuni requisiti aggiuntivi:

Condizioni integrative richieste alle costruzioni semplici	regole generali	<ul style="list-style-type: none">❖ rispetta tutte le condizioni per la regolarità in pianta❖ rispetta tutte le condizioni per la regolarità in altezza❖ rispetta tutti i criteri per gli edifici in muratura❖ rispetta tutti i criteri per gli edifici in zona sismica❖ rispetta tutti i criteri per gli edifici in muratura in zona sismica
	zona sismica	esclusa la zona 1
	regole geometriche	per la disposizione pareti e distribuzione del carico verticale, del numero massimo di piani, di altezza massima di interpiano, di posizione delle aperture
	murature resistenti	rispetto di una densità muraria minima per ogni piano in ognuna delle due direzioni ortogonali, disposizione delle murature resistenti al sisma
	carichi verticali	limite massimo al carico variabile, rispetto di un livello massimo di compressione media al carico verticale alla base di ciascun piano

EDIFICIO SEMPLICE

Le principali prescrizioni sono :

Numero massimo di piani entro e fuori terra

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
max 3 piani	per muratura ordinaria: S = 12 max 4 piani S = 6 max 5 piani	per muratura ordinaria: max 3 piani per muratura armata max 4 piani	per muratura ordinaria: max 3 piani per muratura armata max 4 piani	

EDIFICIO SEMPLICE

Le principali prescrizioni sono :

Allineamento verticale aperture

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
	considerare solo porzioni muro continue da fondaz. a sommità	considerare solo porzioni muro continue da fondaz. a sommità	considerare solo porzioni muro continue da fondaz. a sommità	

Altezza massima interpiano

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
	5 m	3,5 m	3,5 m	

EDIFICIO SEMPLICE

Le principali prescrizioni sono :

Distribuzione del sistema di muri resistenti alle azioni orizzontali

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
			<p>in ognuna delle 2 direzioni ortogonali:</p> <ul style="list-style-type: none">-2 sistemi di pareti al netto aperture > 50% dimensione dell'edificio nella medesima direzione,- a distanza non inferiore al 75% della dimensione edificio ortogonale al sistema di pareti	

EDIFICIO SEMPLICE

Le principali prescrizioni sono :

Interasse max intersezione tra muri portanti

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
	muratura ordinaria: 7 m muratura armata: 9 m		muratura ordinaria: 7 m muratura armata: 9 m	

Limiti ai carichi verticali e distribuzione del carico

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
	max sovraccarico 4 kN/m ²	max carico variabile 3 kN/m ²	almeno il 75% del carico verticale sia portato da pareti del sistema resistente alle azioni orizzontali	

EDIFICIO SEMPLICE

Le principali prescrizioni sono :

Densità muraria minima di muratura resistente nelle due direzioni

accelerazione di picco del terreno $a_g S$		$\leq 0,07g$	$\leq 0,1g$	$\leq 0,15g$	$\leq 0,20g$	$\leq 0,25g$	$\leq 0,30g$	$\leq 0,35g$	$\leq 0,40g$	$\leq 0,45g$	$\leq 0,4725g$
tipo di struttura	n° piani										
mur. ordin.	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			
mur. 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	4,5	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

Esprime il rapporto (in %) tra l'area complessiva delle sezioni resistenti in ognuna delle due direzioni ortogonali e la superficie lorda del piano

EDIFICIO SEMPLICE

Le principali prescrizioni sono :

Limiti alla sollecitazione da carico permanente e variabile

($\gamma_G = \gamma_Q = 1$), ad ogni piano

DM 20.11.87	DM 16.01.96	NTC '08 CAP 4 e 11	NTC '08 CAP 7 (SISMICA)	CIRC 09
$\sigma = N / (0,65A) < \sigma_m$	per muratura ordinaria: $\sigma = N / (0,50A) < \sigma_m$ per muratura armata: $\sigma = N / (0,60A) < \sigma_m$	$\sigma = N / (0,65A) < f_d / \gamma_M$	$\sigma = N / A < 0,25 f_d / \gamma_M$	

Argomenti:

- ❖ riferimenti normativi
- ❖ i materiali
- ❖ concezione edificio
- ❖ determinazione dell'azione sismica
- ❖ edificio semplice
- ❖ **criteri di modellazione**
- ❖ metodi di analisi
- ❖ verifiche di resistenza e stabilità dei componenti
- ❖ dettagli costruttivi
- ❖ risultati di verifiche di edifici reali

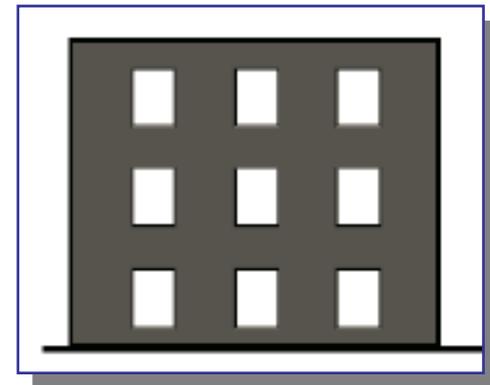
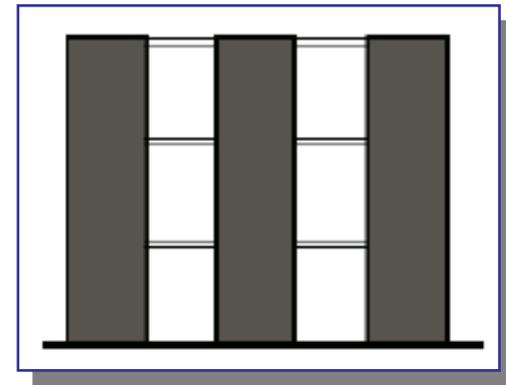
CRITERI DI MODELLAZIONE

Scelta del modello

La modellazione della struttura resistente al sisma dell'edificio è funzione di vari aspetti, anche dei dettagli esecutivi dell'edificio, del tipo di analisi prescelto e del relativo grado di affinamento/complicazione ritenuto opportuno, nonché del livello di informazione sui materiali disponibile

I modelli più generalmente utilizzati nel caso delle costruzioni di cui ci occupiamo sono due:

- ❖ **A** - modello costituito dai soli maschi murari continui dalla base alla sommità collegati ai fine della traslazione a livello dei solai (considerati infinitamente rigidi nel loro piano)
- ❖ **B** - modello che considera anche cordoli e travi in muratura (elementi di accoppiamento) e solai infinitamente rigidi nel loro piano



CRITERI DI MODELLAZIONE

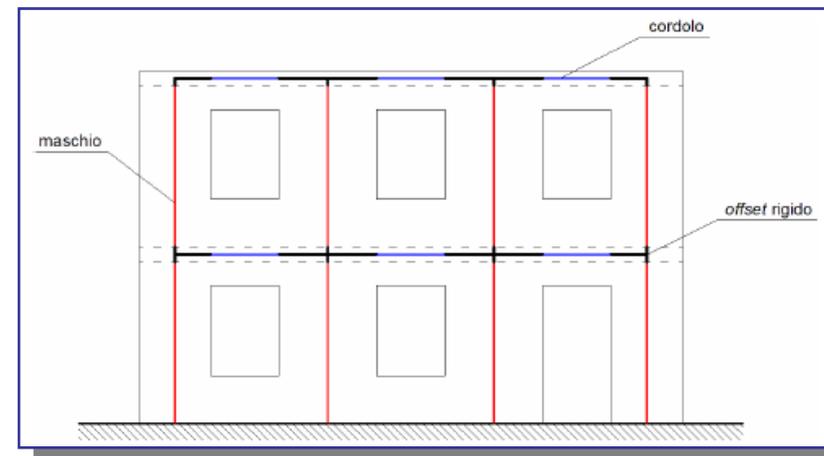
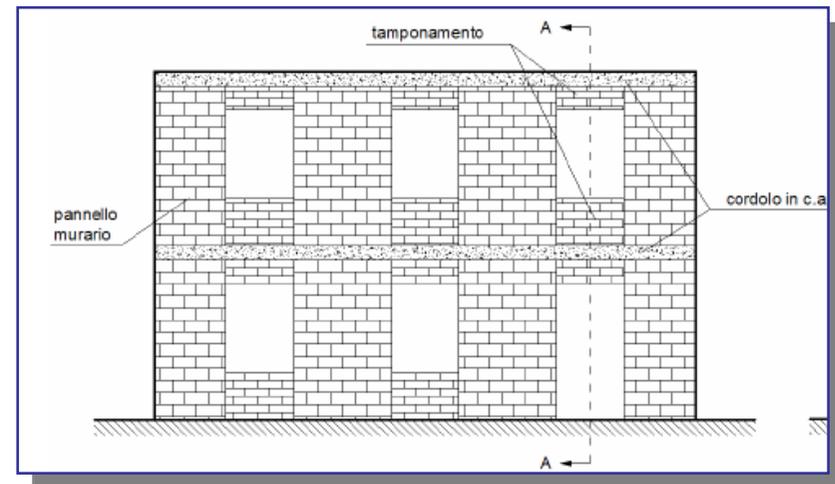
53

Scelta del modello

A - modello costituito dai soli maschi murari continui dalla base alla sommità collegati ai fine della traslazione a livello dei solai (considerati infinitamente rigidi nel loro piano)

tipicamente ove i pannelli orizzontali sopra e sotto finestra sono ridotti, ad esempio per l'alloggiamento del radiatore o per gli avvolgibili delle chiusure esterne

non è possibile fare affidamento sulle fasce di muratura e quindi la schematizzazione è a telaio equivalente i cui unici elementi orizzontali sono i cordoli



CRITERI DI MODELLAZIONE

Scelta del modello

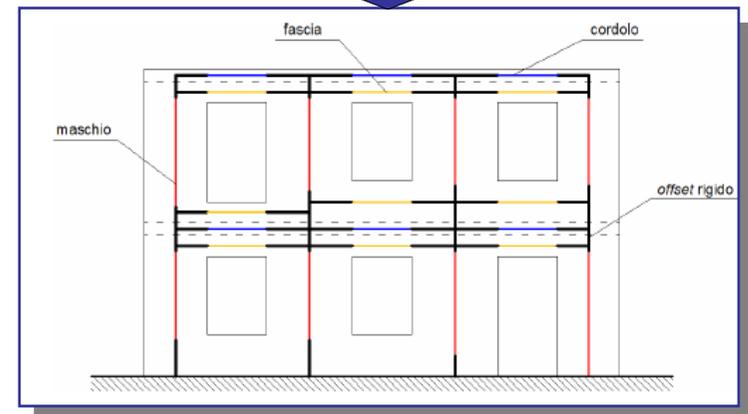
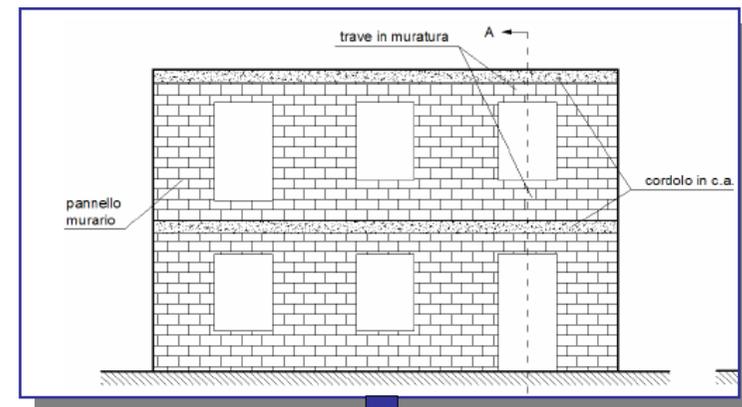
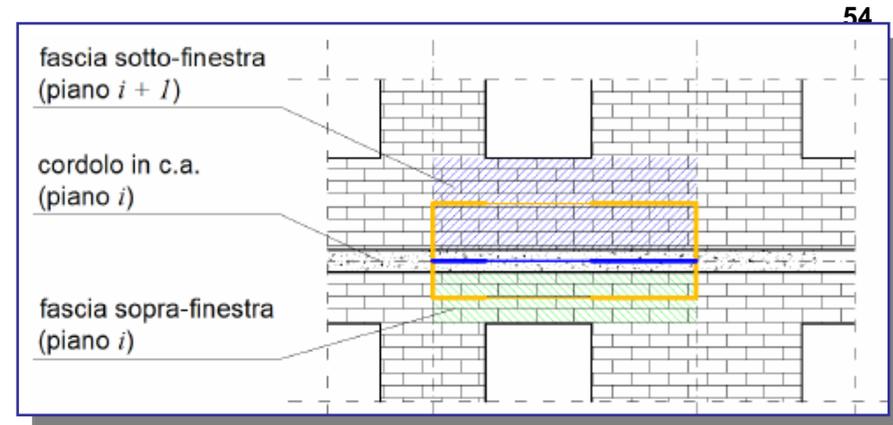
B - modello che considera anche cordoli e travi in muratura (elementi di accoppiamento)

gli elementi di accoppiamento devono avere caratteristiche strutturali e devono poi essere verificati singolarmente

devono inoltre essere efficacemente ammortati alla muratura e rispettare prescrizioni specifiche;

è ammesso il modello a telaio con con intersezioni tra elementi verticali ed orizzontali infinitamente rigide

in genere le fasce sono modellate come infinitamente rigide con un tratto (quello in corrispondenza delle aperture) deformabile



Argomenti:

- ❖ riferimenti normativi
- ❖ i materiali
- ❖ concezione edificio
- ❖ edificio semplice
- ❖ determinazione dell'azione sismica del sito
- ❖ criteri di modellazione
- ❖ **metodi di analisi**
- ❖ verifiche di resistenza e stabilità dei componenti
- ❖ dettagli costruttivi
- ❖ risultati di verifiche di edifici reali

METODI DI ANALISI

56

I metodi di analisi previsti dalle **NTC '08** sono:

- ❖ **analisi statica lineare**
- ❖ **analisi statica non lineare**
- ❖ analisi dinamica lineare
- ❖ analisi dinamica non lineare

per le costruzioni in muratura che rispettino i criteri generali imposti i due metodi comunemente adottati sono **l'analisi statica lineare** e **l'analisi statica non lineare**

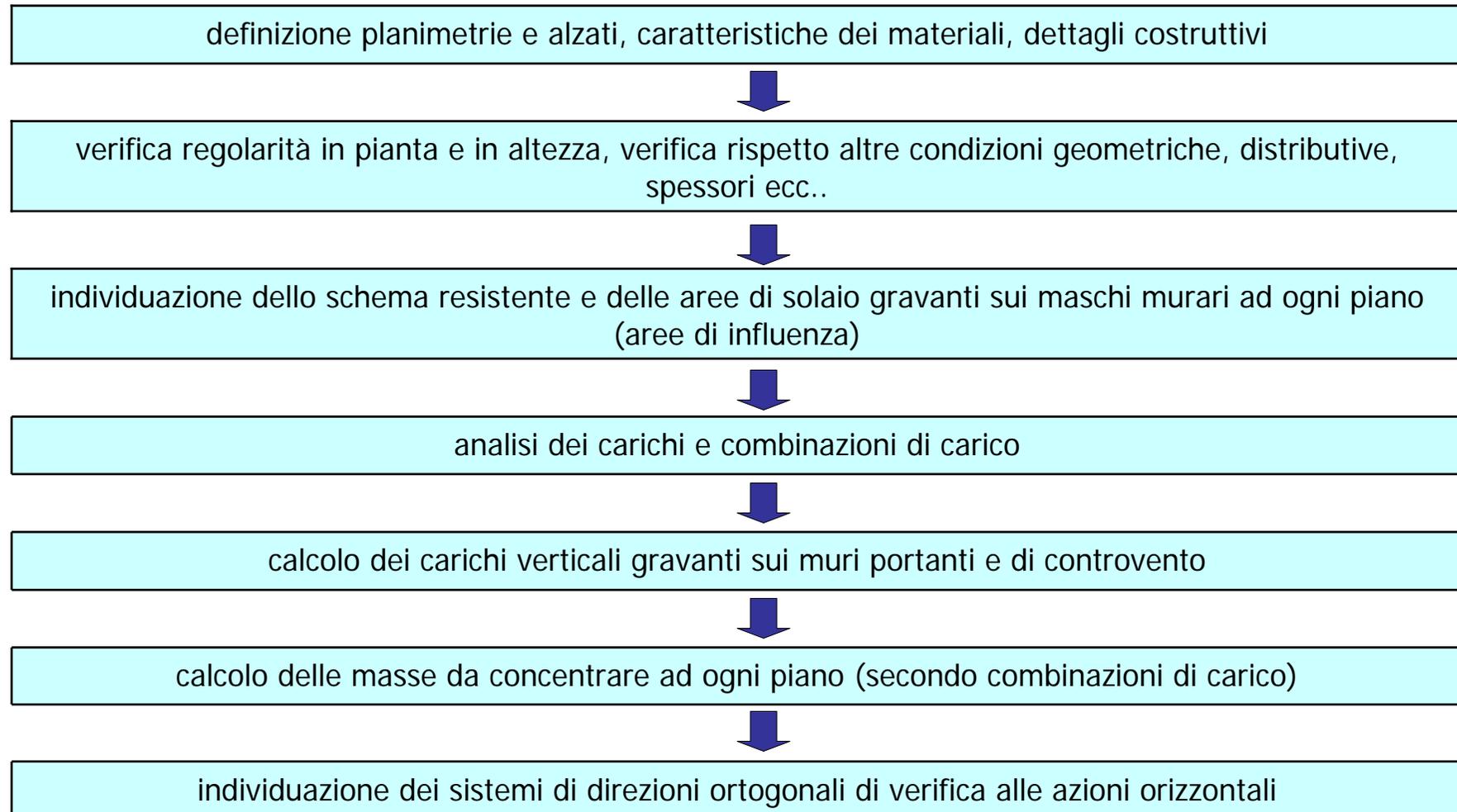
vediamo sinteticamente le relative caratteristiche e, soprattutto, negli edifici verificati vedremo i differenti risultati, sia con muratura ordinaria che con muratura armata

METODI DI ANALISI

57

Analisi statica lineare e analisi statica non lineare

Operazioni preliminari e comuni ai due metodi:



METODI DI ANALISI – analisi statica lineare

Analisi statica lineare

E' applicabile a condizione che il periodo del modo di vibrare principale (T_1) nella direzione in esame non superi $2,5 T_c$ o T_D

Dallo **spettro di risposta elastico** $S_e(T)$ si ricava lo **spettro di progetto** $S_d(T)$, in funzione dello SL in considerazione :

- ❖ **SLE** (sistemi non dissipativi): spettro di progetto, **sia orizzontale che verticale**, $S_d(T)$ coincide con quello di risposta elastico $S_e(T)$, cioè si adotta un fattore di struttura $q = 1$
- ❖ **SLU** (sistemi dissipativi): spettro di progetto $S_d(T)$ in accelerazione **orizzontale** si ricava da quello elastico dividendo le ordinate per un **fattore di struttura**, pari, per costruzioni regolari in altezza e in pianta a:

muratura	n° piani	$q = K_R q_o \alpha_u / \alpha_1$
ordinaria	1	2.80
	≥ 2	3.60
armata	1	3.25
	≥ 2	3.75
armata GR		3.90

per **componente verticale** $q = 1,5$ sempre

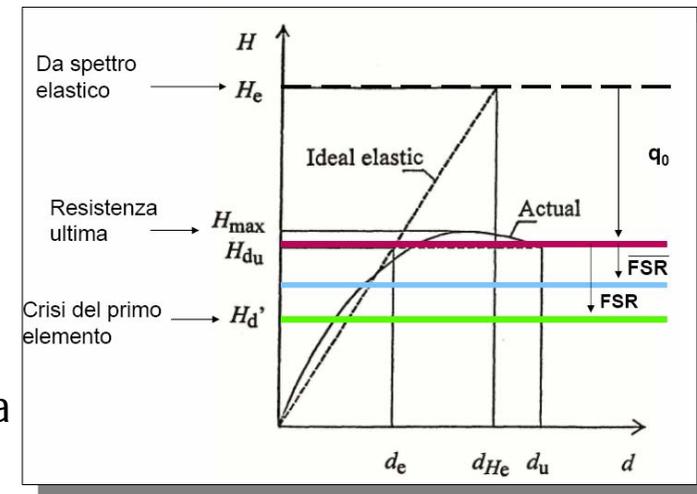
METODI DI ANALISI – analisi statica lineare

59

Fattore di struttura q

Esprime il comportamento dissipativo della struttura, quindi la capacità di resistenza oltre il limite elastico, è composto da più termini ed è “prestimato”:

- ❖ q_0 : è il fattore di struttura e dipende da tipo di muratura: $q_0 = 2,0$ per muratura ordinaria, $q_0 = 2,5$ per muratura armata, $q_0 = 3,0$ per muratura armata con gerarchia delle resistenze
- ❖ α_u / α_1 : fattore di sovraresistenza dove:
 - ❑ α_1 : è il moltiplicatore della forza sismica orizzontale per il quale il primo pannello murario raggiunge la sua resistenza ultima (a taglio o pressoflessione)
 - ❑ α_u : è il 90% del moltiplicatore della forza sismica per il quale la costruzione raggiunge la massima forza resistente
- ❖ K_R : pari a 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per quelle non regolari in altezza



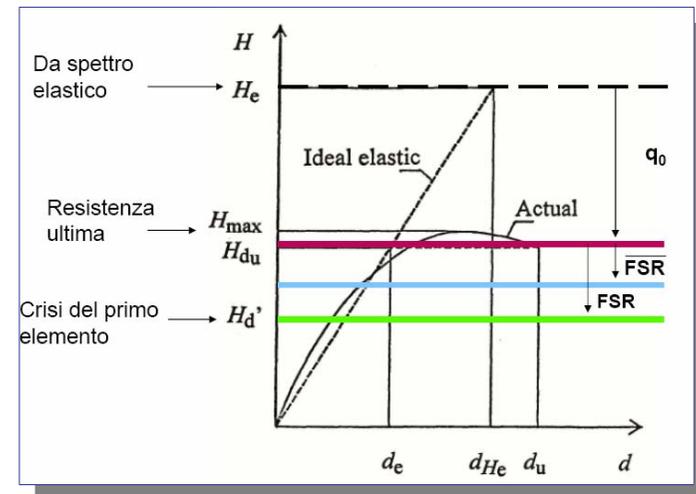
METODI DI ANALISI – analisi statica lineare

Fattore di struttura q : il principio di gerarchia delle resistenze

Il principio di gerarchia delle resistenza si applica solo nel caso di muratura armata

Previene il collasso a taglio del pannello anticipandolo col collasso a flessione.

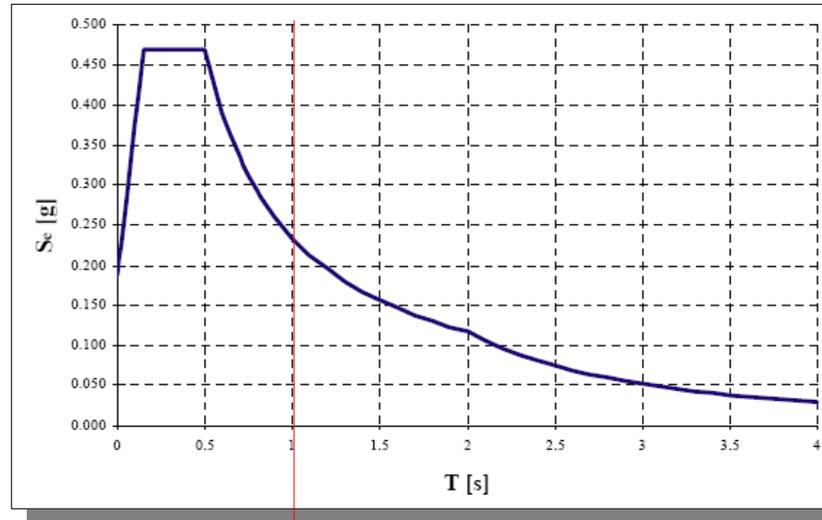
Il pannello deve essere verificato a flessione sotto le azioni agenti e a taglio sotto il taglio che deriva dal suo collasso a flessione amplificato di 1,5 volte (γ_{Rd})



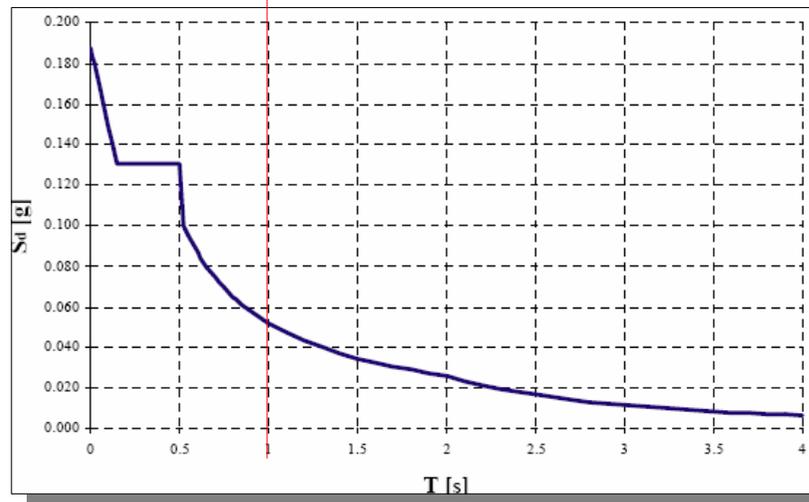
METODI DI ANALISI – analisi statica lineare

Spettro di progetto

Spettro elastico di risposta in accelerazione del sito



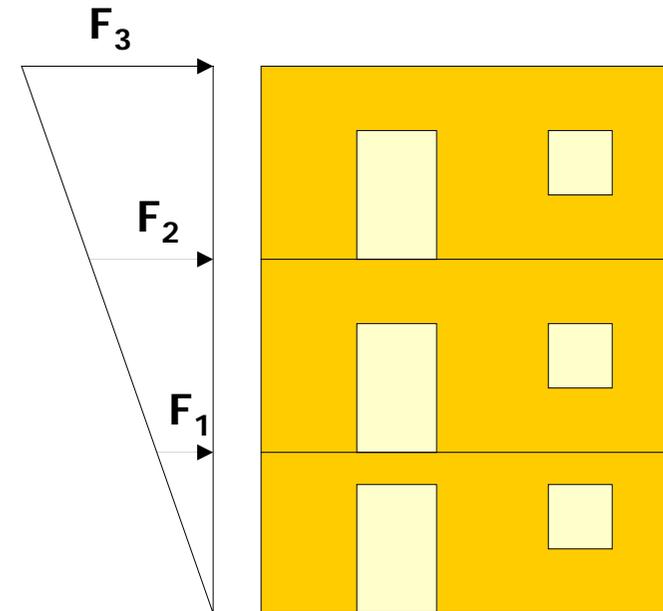
Spettro di progetto per $q = 3,6$



Distribuzione delle forze di inerzia

si applicano al modello :

- ❑ carichi gravitazionali
- ❑ sistema di forze (in ogni direzione e verso considerati) **orizzontali proporzionale alle forze di inerzia** distribuite ad ogni livello della costruzione con risultante alla base pari a F_h ; la distribuzione segue la forma del modo principale di vibrare valutata in modo approssimato (lo spostamento cresce al crescere della quota dal piano di fondazione approx 1° modo di vibrare, : "distribuzione triangolare inversa"), per calcolare F_h :
 - il periodo T_1 è calcolato in modo approssimato con la formula $T_1 = 0,050 H^{3/4}$
 - dallo spettro di progetto si ricava $S_d(T_1)$
 - $F_h = S_d(T_1) W \lambda / g$
 - $F_i = F_h z_i W_i / \sum z_j W_j$



se la costruzione è irregolare in altezza si pone $\lambda = 1,0$, altrimenti se l'edificio ha almeno 3 orizzontamenti e se $T_1 < 2T_D$, λ è pari a 0,85

Ripartizione delle azioni

Si effettua quindi la ripartizione delle sollecitazioni in base alle rigidità dei muri di controvento e si svolgono le verifiche di resistenza di ogni elemento

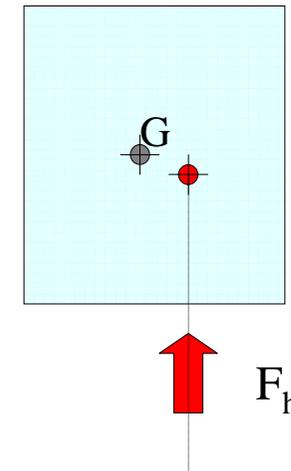
L'**eccentricità accidentale dell'azione sismica orizzontale** è messa in conto, per edifici regolari in pianta come amplificazione delle sollecitazioni su ogni elemento resistente, calcolate con la distribuzione fornita dal fattore δ :

$$\delta = 1 + 0,6 \times x / L_e$$

dove:

- x = distanza dell'elemento resistente dal baricentro geometrico di piano (perpendic. alla direzione sisma)
- L_e = distanza tra i due elementi resistenti più lontani

con la condizione di solai rigidi nel proprio piano **è ammessa la redistribuzione del taglio piano per piano** a condizione che sia rispettato l'equilibrio globale di piano (modulo e posizione della risultante di piano inalterati) e che per ogni pannello $\Delta V \leq \max(0,25 V; 0,1 V_{\text{piano}})$



Ridistribuzione del taglio

Con la condizione di solai rigidi nel proprio piano è **ammessa la ridistribuzione del taglio piano per piano** a condizione che:

- ❖ sia rispettato l'equilibrio globale di piano:
 - ❑ modulo della risultante di piano inalterato
 - ❑ posizione della risultante di piano inalterata

- ❖ per ogni pannello $\Delta V \leq \max(0,25 |V|; 0,1 |V_{\text{piano}}|)$

dove V è il taglio nel pannello e V_{piano} è il taglio totale al piano nella direzione parallela al pannello

in pratica si deve avere :

$\sum \Delta V_i = 0$ dove ΔV_i è l'incremento o la diminuzione del taglio del singolo pannello

$\sum (V_i + \Delta V_i) d_i = V_{\text{piano}} * d_G$ dove d_G è la distanza della risultante di piano dal baricentro e d_i è la distanza dal baricentro di ogni pannello

METODI DI ANALISI - analisi statica lineare

Ridistribuzione del taglio

prima della redistribuzione

PRIMA DELLA RIDISTRIBUZIONE

Parete	Msd [KNm]	Mu [KNm]		Vsd [KN]	Vt [KN]	
X01	69	65	Mu NON VER.	14	14	OK
X02	227	245	OK	45	62	OK
X03	91	145	OK	18	76	OK
X04	159	207	OK	32	75	OK
X05	720	927	OK	143	172	OK
X06	19	41	OK	4	48	OK
X07	19	41	OK	4	48	OK
X08	19	56	OK	4	58	OK
X09	445	468	OK	89	87	Taglio NON VER.
X10	69	65	Mu NON VER.	14	14	OK
X11	227	245	OK	45	62	OK
X12	91	145	OK	18	76	OK
X13	159	207	OK	32	75	OK
X14	720	927	OK	143	172	OK
X15	19	41	OK	4	48	OK
X16	19	41	OK	4	48	OK
X17	19	56	OK	4	58	OK
X18	445	468	OK	89	87	Taglio NON VER.

ridistribuzione

RIDISTRIBUZIONE

	$\delta_{ridi}(V_{base})$	$\delta_{ridi}(V_{parete})$	ΔV [KN]
X01	-0.001	-0.07	-1
X02	0.000	0.00	0
X03	0.001	0.06	1
X04	0.000	0.00	0
X05	0.000	0.00	0
X06	0.000	0.00	0
X07	0.000	0.00	0
X08	0.001	0.27	1
X09	-0.001	-0.01	-1
X10	-0.001	-0.07	-1
X11	0.000	0.00	0
X12	0.001	0.06	1
X13	0.000	0.00	0
X14	0.000	0.00	0
X15	0.000	0.00	0
X16	0.000	0.00	0
X17	0.001	0.27	1
X18	-0.001	-0.01	-1

dopo la redistribuzione

DOPO LA RIDISTRIBUZIONE

Parete	Msd [KNm]	Mu [KNm]		Vsd [KN]	Vt [KN]	
X01	64	65	OK	13	23	OK
X02	227	245	OK	45	62	OK
X03	96	145	OK	19	73	OK
X04	159	207	OK	32	75	OK
X05	720	927	OK	143	172	OK
X06	19	41	OK	4	48	OK
X07	19	41	OK	4	48	OK
X08	24	56	OK	5	58	OK
X09	440	468	OK	88	89	OK
X10	64	65	OK	13	23	OK
X11	227	245	OK	45	62	OK
X12	96	145	OK	19	73	OK
X13	159	207	OK	32	75	OK
X14	720	927	OK	143	172	OK
X15	19	41	OK	4	48	OK
X16	19	41	OK	4	48	OK
X17	24	56	OK	5	58	OK
X18	440	468	OK	88	89	OK

Effetti del 2° ordine e valutazione degli spostamenti (SLD)

Le non linearità geometriche sono prese in conto, quando necessario, attraverso il fattore θ appresso definito. In particolare, per le costruzioni civili ed industriali esse possono essere trascurate nel caso in cui ad ogni orizzontamento risulti:

$$\theta = \frac{P \cdot d_r}{V \cdot h} \leq 0,1 \quad (7.3.2)$$

dove:

P è il carico verticale totale della parte di struttura sovrastante l'orizzontamento in esame

d_r è lo spostamento orizzontale medio d'interpiano, ovvero la differenza tra lo spostamento orizzontale dell'orizzontamento considerato e lo spostamento orizzontale dell'orizzontamento immediatamente sottostante;

V è la forza orizzontale totale in corrispondenza dell'orizzontamento in esame;

h è la distanza tra l'orizzontamento in esame e quello immediatamente sottostante.

Quando θ è compreso tra 0,1 e 0,2 gli effetti delle non linearità geometriche possono essere presi in conto incrementando gli effetti dell'azione sismica orizzontale di un fattore pari a $1/(1-\theta)$; θ non può comunque superare il valore 0,3.

METODI DI ANALISI - analisi statica lineare

Effetti della deformazione degli elementi strutturali (SLD)

Si calcola lo spostamento interpiano d_E in rapporto all'altezza di piano h e si verifica che sia inferiore al limite fissato in:

$$d_E < 0,003 h \text{ per muratura ordinaria}$$

$$d_E < 0,004 h \text{ per muratura armata}$$

Per la valutazione degli spostamenti la norma prevede:

7.3.3.3 Valutazione degli spostamenti

Gli spostamenti d_E della struttura sotto l'azione sismica di progetto allo SLV si ottengono moltiplicando per il fattore μ_d i valori d_{Ee} ottenuti dall'analisi lineare, dinamica o statica, secondo l'espressione seguente:

$$d_E = \pm \mu_d \cdot d_{Ee} \quad (7.3.8)$$

dove

$$\begin{aligned} \mu_d &= q & \text{se } T_1 \geq T_C \\ \mu_d &= 1 + (q - 1) \cdot T_C / T_1 & \text{se } T_1 < T_C \end{aligned} \quad (7.3.9)$$

In ogni caso $\mu_d \leq 5q - 4$.

METODI DI ANALISI – analisi statica non lineare

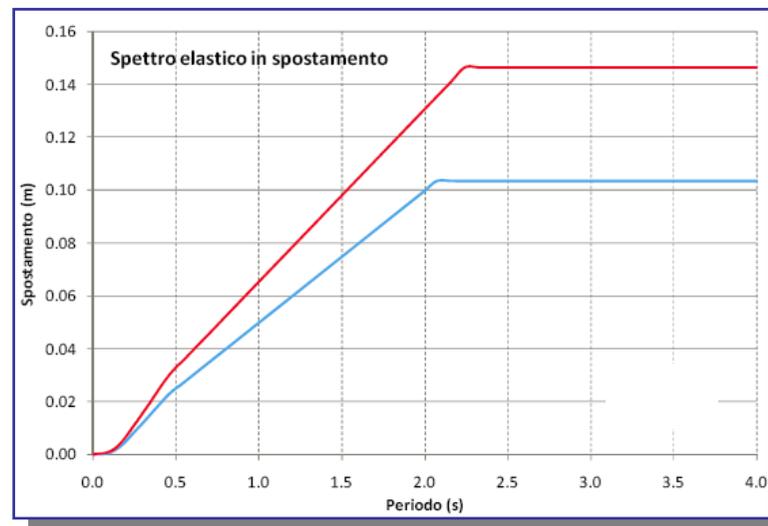
68

Analisi statica non lineare

Applicabile, nel caso di edifici in muratura, anche nei casi in cui la massa partecipante del primo modo di vibrare sia inferiore al 75%, ma superiore al 60%

Dallo spettro di risposta elastico in accelerazione si ricava lo **spettro di risposta elastico in spostamento**, in funzione dello SL in considerazione, con la relazione :

$$S_{De} (T_o, \xi) = S_a (T_o, \xi) \cdot T_o^2 / 4\pi^2$$

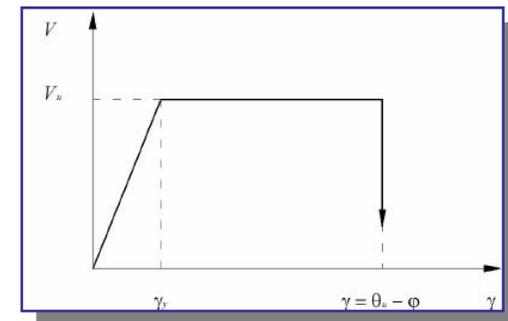
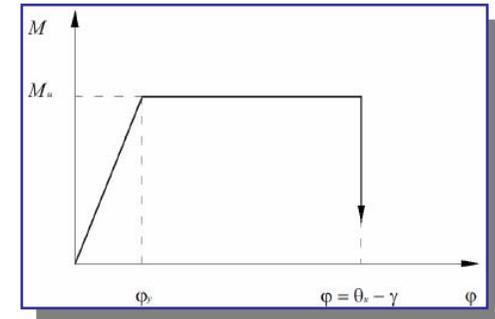


Comportamento degli elementi

In generale il comportamento dei vari elementi è così ipotizzato:

- ❖ **pannelli murari** comportamento bilineare perfettamente elasto-plastico con resistenza equivalente al limite elastico e spostamenti al limite elastico ed ultimo definiti dalla risposta flessionale (0,8% dell'altezza del pannello) o a taglio (0,4% dell'altezza del pannello)

- ❖ **gli elementi in calcestruzzo armato** ipotizzati con comportamento bilineare perfettamente elasto-plastico con resistenza equivalente al limite elastico e spostamenti al limite elastico ed ultimo definiti dalla risposta flessionale o a taglio (vedi c.a.)



METODI DI ANALISI – analisi statica non lineare

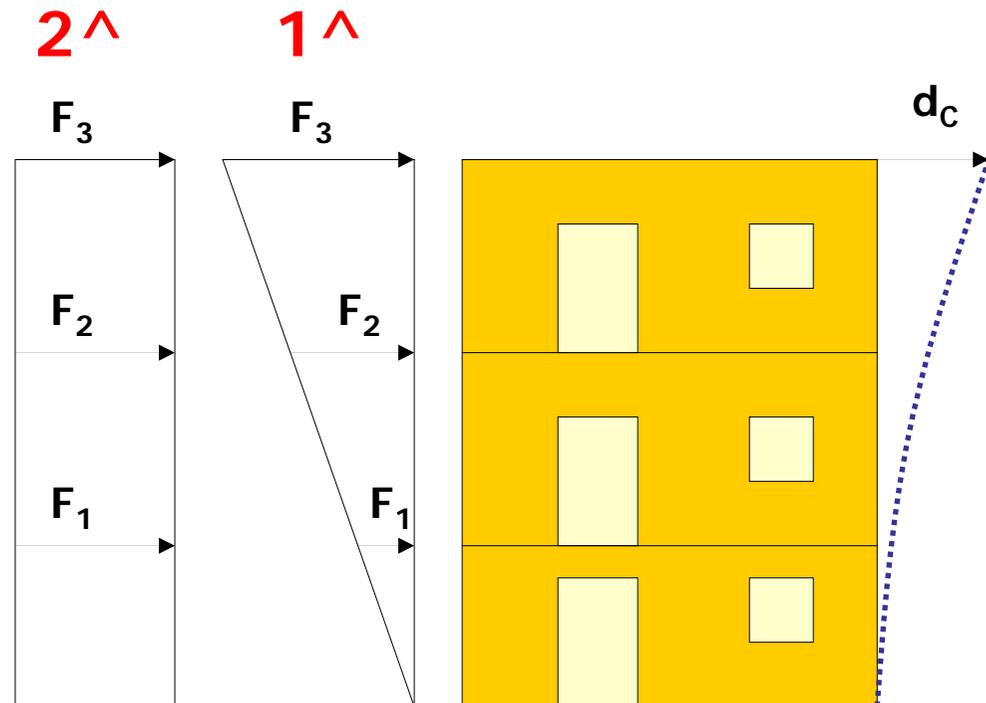
70

Distribuzione delle forze

si applicano al modello :

1[^] distribuzione delle forze di inerzia

- ❑ carichi gravitazionali
- ❑ sistema di forze (in ogni direzione e verso considerati) orizzontali proporzionale alle forze di inerzia distribuite ad ogni livello della costruzione con risultante alla base pari a F_b monotonamente crescenti; la distribuzione **segue la forma del modo principale di vibrare** valutata in modo approssimato (lo spostamento cresce al crescere della quota dal piano di fondazione, approx 1° modo di vibrare, :“distribuzione triangolare inversa”)
$$F_i = F_b z_i W_i / \sum z_j W_j$$



2[^] distribuzione delle forze di inerzia

- ❑ carichi gravitazionali
- ❑ sistema di forze (in ogni direzione e verso considerati) orizzontali **proporzionale alle masse** e risultante alla base pari a F_b (taglio alla base) (“distribuzione uniforme”)

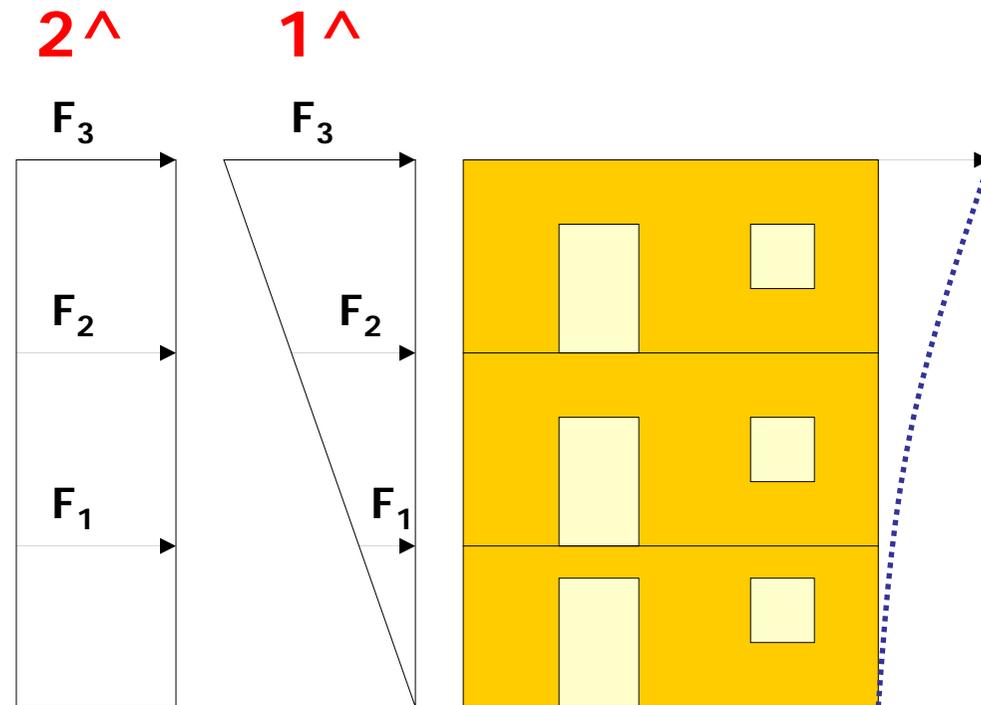
METODI DI ANALISI – analisi statica non lineare

71

Distribuzione delle forze

2[^] distribuzione delle forze di inerzia proporzionale alle masse :

simula meglio il **comportamento della struttura con deformazioni più ampie**



1[^] distribuzione delle forze di inerzia proporzionale al 1° modo di vibrare :

simulano meglio la risposta dinamica finché la struttura è in campo elastico; si adotta in sostanza la stessa distribuzione della analisi statica lineare

METODI DI ANALISI – analisi statica non lineare

Curva generalizzata F_b-d_c e bilineare del sistema equivalente a 1GDL

si fanno crescere monotonamente ed uniformemente le forze orizzontali fino al raggiungimento del collasso locale o globale



si controlla lo spostamento progressivo, dovuto all'incremento delle forze orizzontali, di un punto di riferimento o "di controllo (d_c)" della struttura (baricentro del solaio più alto)



si costruisce la curva F_b-d_c , definita come curva generalizzata (capacità di spostamento della struttura)

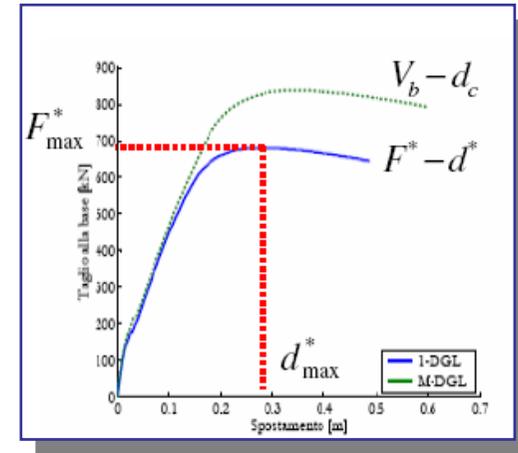


si definisce la curva di capacità di un sistema bilineare equivalente elastico perfettamente plastico ad 1 grado di libertà tramite il coefficiente di partecipazione

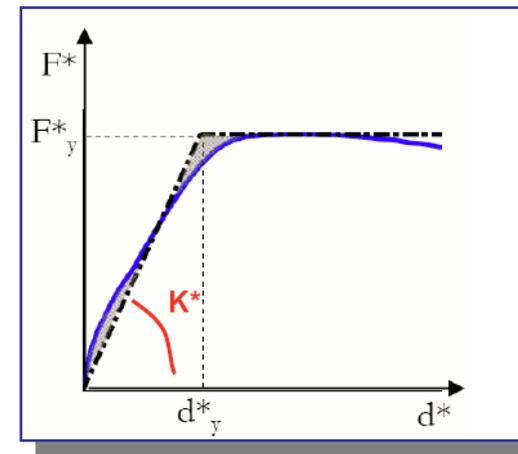
$$\Gamma = \frac{\sum m_i \Phi_{1i}}{\sum m_i \Phi_{1i}^2}$$

per cui si ha:

$$F^* = F_b / \Gamma$$

$$d^* = d_c / \Gamma$$


$$\Gamma = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \cdot \Phi_i}{\sum_{i=1}^N m_i \cdot \Phi_i^2} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \cdot \left(\frac{z_i}{z_N}\right)}{\sum_{i=1}^N m_i \cdot \left(\frac{z_i}{z_N}\right)^2}$$



METODI DI ANALISI – analisi statica non lineare

73

Spostamento massimo effettivo del punto di controllo

il sistema bilineare ha coordinate fissate tramite:
 $F_y^* = 0,7 F_{bu} / \Gamma$ dove F_{bu} è la resistenza massima dell'edificio (taglio massimo alla base)
 k^* = rigidezza secante del sistema equivalente ottenuta dall'uguaglianza delle aree
 $d_y^* = F_y^* / k^*$



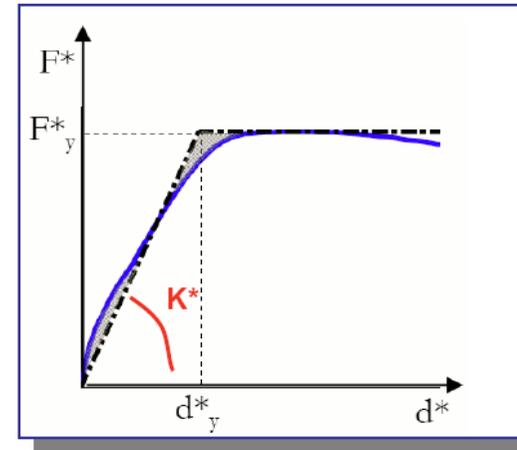
si definisce il periodo del sistema bilineare equivalente T^*



si determina sullo spettro di risposta elastico in spostamento orizzontale S_{De} la risposta in spostamento massimo d^* (con tutte le opportune limitazioni e casistiche)



si determina la **risposta in spostamento massimo effettivo del punto di controllo dell'edificio** convertendo quella del sistema bilineare equivalente : $d_c = \Gamma d_{max}^*$



$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^*}{k^*}}; T^* = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{1,i}}{\frac{F_y^*}{d_y^*}}}$$

METODI DI ANALISI – analisi statica non lineare

74

attenzione: per gli edifici in muratura c'è un limite al rapporto

$$q^* = S_e (T^*) m^* / F_y^* \leq 3$$

salvo che si tratti di muratura armata con GR



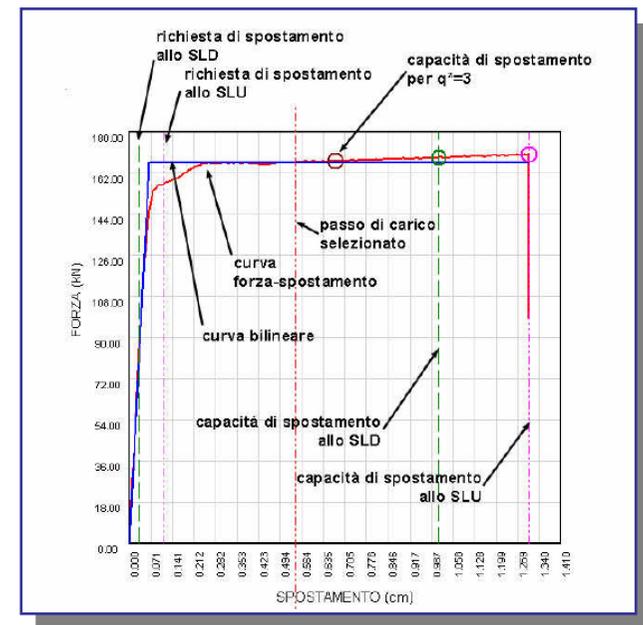
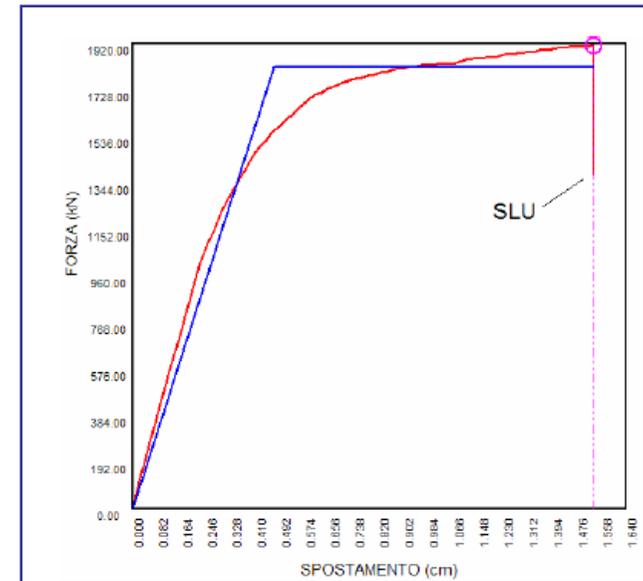
si confronta la risposta (richiesta) di spostamento $d_c = \Gamma d_{max}^*$ alla capacità di spostamento della struttura sia allo SLU che allo SLD



si determina il taglio alla base effettivo



si procede alle verifiche di scurezza degli elementi strutturali fuori piano



Argomenti:

- ❖ riferimenti normativi
- ❖ i materiali
- ❖ concezione edificio
- ❖ determinazione dell'azione sismica
- ❖ edificio semplice
- ❖ criteri di modellazione
- ❖ metodi di analisi
- ❖ **verifiche di resistenza e stabilità dei componenti**
- ❖ dettagli costruttivi
- ❖ risultati di verifiche di edifici reali

Verifiche di resistenza e stabilità dei componenti

76

in funzione del tipo di verifica e del modello adottati devono eseguirsi le verifiche di sicurezza dei singoli componenti, in generale per si ha:

❖ VERIFICHE FUORI PIANO (sia ASL che ASNL)

- Pressoflessione: da carichi verticali, da carichi orizzontali (vento), da sisma
- Stabilità
- Taglio

❖ VERIFICHE NEL PIANO (solo ASL)

- Pressoflessione
- Taglio
- Deformazione

❖ VERIFICHE LOCALI (sia ASL che ASNL)

- Carichi concentrati

verifiche di resistenza e stabilità dei componenti

77

ELEMENTI IN MURATURA - VERIFICHE NEL PIANO

Resistenza a pressoflessione di pannello non armato

$$M_u = (l^2 t \sigma_o / 2) (1 - \sigma_o / 0,85 f_d)$$

dove:

M_u = momento al collasso per pressoflessione

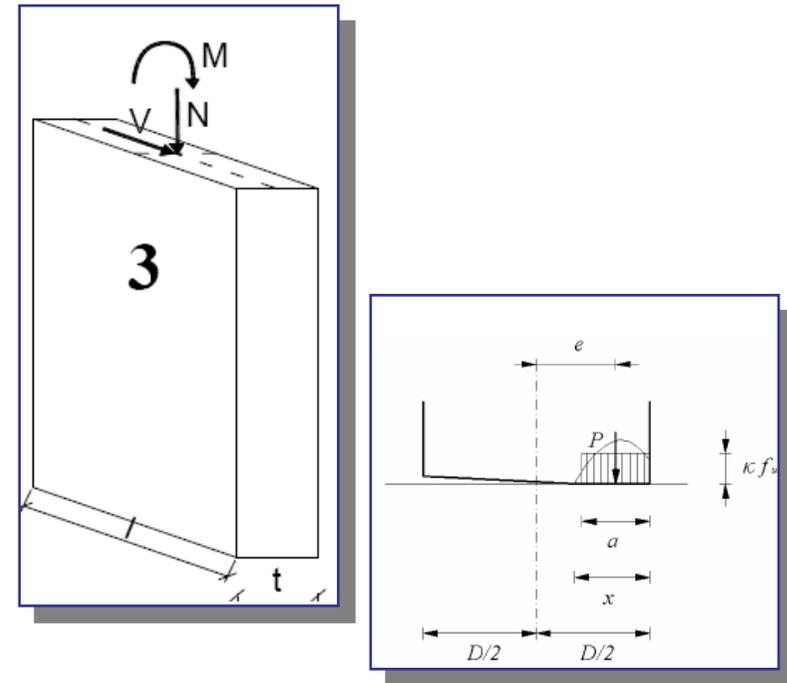
l = lunghezza complessiva parete

t = spessore della zona compressa

σ_o = tensione normale media ($P/l t$)

$f_d = f_k / \gamma_M$ resistenza a compressione della muratura

Con **ASNL** f_d = resistenza media a compressione della muratura



deformabilità per pressoflessione di pannello non armato

$$\delta_u \leq 0,8\% h$$

dove:

h = altezza efficace del pannello

verifiche di resistenza e stabilità dei componenti

78

ELEMENTI IN MURATURA - VERIFICHE NEL PIANO

Resistenza a taglio di pannello non armato

$$V_t = l' t f_{vd} \quad (\text{rottura a scorrimento: murature nuove})$$

dove:

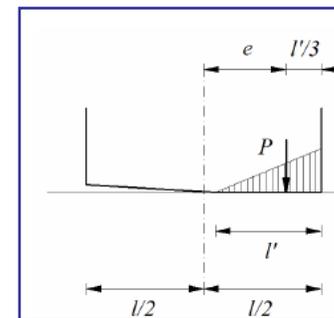
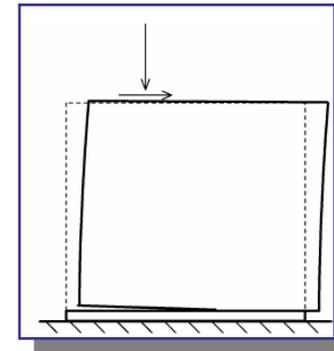
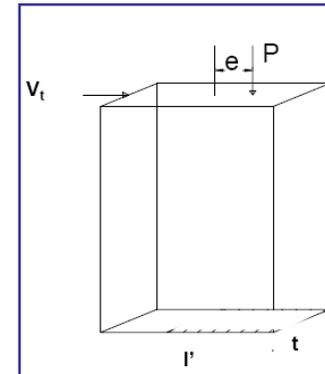
l' = lunghezza della parte compressa della parete con

$$l' = [3 (1/2 - e/l)] l$$

t = spessore della zona compressa

f_{vd} = resistenza a taglio di calcolo

Con ASNL $f_{vd} = f_{vm}$ resistenza media a taglio della muratura e $f_{vm} = f_{vm0} + 0,4 \sigma_n$ (con limitazioni)



Deformabilità per taglio di pannello non armato

$$\delta_u \leq 0,4\% h$$

dove:

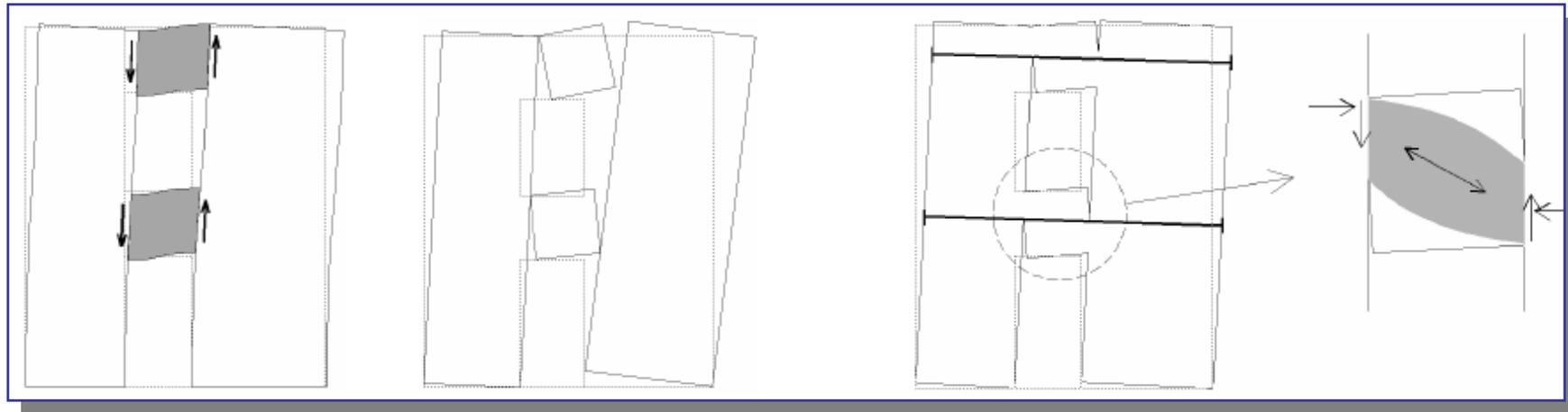
h = altezza efficace del pannello

verifiche di resistenza e stabilità dei componenti

79

ELEMENTI IN MURATURA - VERIFICHE NEL PIANO

Resistenza di trave di muratura non armata



Il comportamento di travi in muratura è determinante al fine dell'accoppiamento tra pareti verticali

Se le travi in muratura possono essere studiate come pannelli murari con la differenza che hanno i letti di malta paralleli all'asse dell'elemento (e all'azione assiale)

In questo caso quindi la compressione assiale, che nel caso di pannelli murari verticali incrementa la resistenza al taglio, è trascurabile e non porta grande aiuto

La compressione orizzontale invece è fondamentale per fornire la resistenza flessionale che è quella che assicura l'accoppiamento tra i maschi murari

Poiché la resistenza a trazione della muratura è praticamente nulla occorrono cordoli o catene

verifiche di resistenza e stabilità dei componenti

80

ELEMENTI IN MURATURA - VERIFICHE NEL PIANO

Resistenza a pressoflessione di trave di muratura non armata

la rottura può quindi avvenire per pressoflessione (compressione del puntone) o per taglio.

per la verifica a pressoflessione, se è nota l'azione assiale si tratta "come" un pannello murario, altrimenti:

$$M_u = H_p h / 2 [1 - H_p / \kappa f_{hd} h t]$$

h = altezza della sezione della trave

t = spessore della trave

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

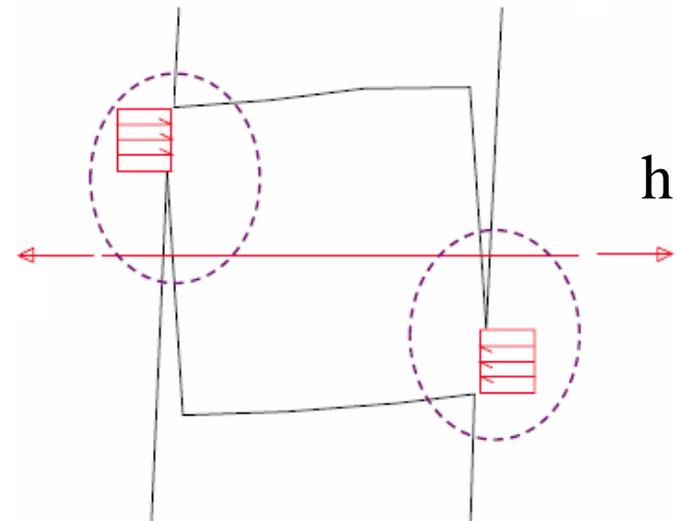
f_{hd} = resistenza a compressione di calcolo della muratura in direzione parallela ai letti di malta e nel piano

$$\kappa = 0,85$$

Con ASNL $f_{hd} = f_{hm}$ resistenza media a compressione della muratura nella direzione orizzontale

f_{hk} può essere ricavata sperimentalmente o dall'EC 6 con l'espressione:

$$f_k = K f_b^{0,7} f_m^{0,3} \text{ --> vedi EC 6}$$



verifiche di resistenza e stabilità dei componenti

81

ELEMENTI IN MURATURA - VERIFICHE NEL PIANO

Resistenza a taglio di trave in muratura non armata

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

dove:

h = altezza della sezione della trave

t = spessore della trave

f_{vd0} = resistenza a taglio di calcolo della muratura in assenza di compressione

Con ASNL $f_{vd0} = f_{vm0}$ resistenza media a taglio della muratura



verifiche di resistenza e stabilità dei componenti

82

CORDOLO

Resistenza a pressoflessione e taglio

la resistenza **pressoflessione** M_u si determina analogamente al caso non sismico facendo riferimento ai valori medi di resistenza dell'acciaio e del calcestruzzo, e considerando per il calcestruzzo il coefficiente κ di riduzione delle resistenze per carichi ciclici

per la resistenza al **taglio** si valuta in analogia alle situazioni non sismiche come elemento con armatura trasversale resistente al taglio resistenza associata alla rottura delle bielle in calcestruzzo, con l'espressione:

$$V \leq 0,30 f_{cm} b_w d / \gamma_c$$

dove :

f_{cm} = resistenza media a compressione del calcestruzzo

γ_c = coefficiente parziale di sicurezza del calcestruzzo

b_w larghezza della membratura resiste al taglio

d = altezza utile della sezione

si verifica poi l'armatura

verifiche di resistenza e stabilità dei componenti

83

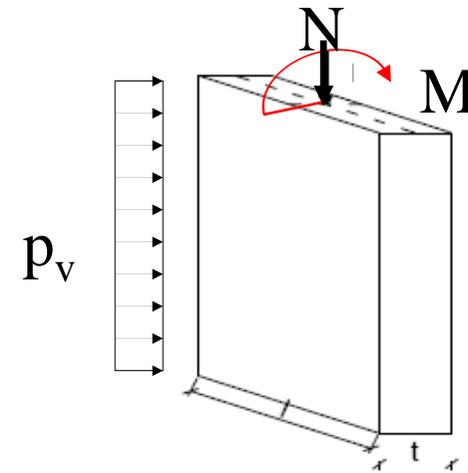
ELEMENTI IN MURATURA - VERIFICHE FUORI PIANO

Resistenza a pressoflessione di pannello non armato

Il muro è soggetto a pressoflessione fuori piano dovuta ai carichi gravitazionali (con relative eccentricità) e al vento. Questa verifica si conduce nell'analisi non sismica della struttura.

Il metodo semplificato previsto dalla norma introduce una resistenza ridotta a compressione per valutare congiuntamente l'effetto delle eccentricità del carico e gli effetti geometrici del 2° ordine (coeff. Φ).

La Circ. '09 re-introduce anche la possibilità di considerare anche l'eccentricità longitudinale tramite un ulteriore coefficiente Φ_1 .



verifiche di resistenza e stabilità dei componenti

84

ELEMENTI IN MURATURA - VERIFICHE FUORI PIANO

Azione fuori piano del sisma ed espulsione delle tamponature

Nell'analisi sismica il muro **quando è perpendicolare alla direzione dell'azione sismica** in considerazione è soggetto ad una azione orizzontale, posta nel suo baricentro ed ortogonale al piano medio, di intensità pari a:

$$F_a = S_a W_a / q_a$$

dove :

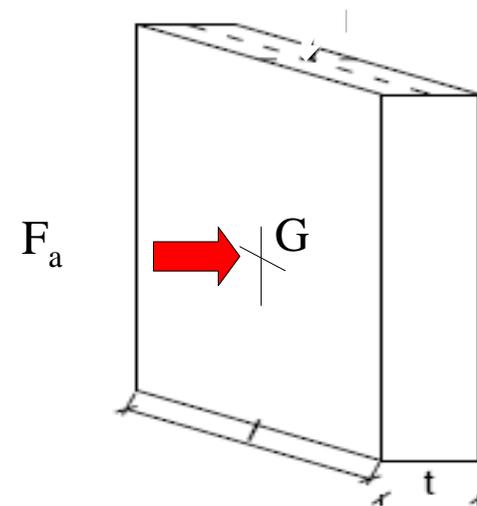
W_a = peso dell'elemento

q_a = fattore di struttura dell'elemento (2 per i muri)

S_a = accelerazione max adimensionalizzata rispetto a g che l'elemento subisce durante in funzione dello SL

questa verifica va condotta anche per tamponamenti e tramezze con $t > 10$ cm

reti leggere da intonaco sui due lati collegate tra loro e alle strutture laterali a distanza < 500 mm sia in verticale che in orizzontale o armatura orizzontale nei letti di malta ogni 500 mm (2 corsi) evitano l'espulsione dei tamponamenti



Argomenti:

- ❖ riferimenti normativi
- ❖ i materiali
- ❖ concezione edificio
- ❖ determinazione dell'azione sismica
- ❖ edificio semplice
- ❖ criteri di modellazione
- ❖ metodi di analisi
- ❖ verifiche di resistenza e stabilità dei componenti
- ❖ **dettagli costruttivi**
- ❖ risultati di verifiche di edifici reali

Muratura ordinaria - Prescrizioni

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^2 , 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 ammorsato alla muratura.

Muratura armata - Prescrizioni

7.8.5.2 Costruzioni in muratura armata

Quanto indicato al § 7.8.2 per la muratura ordinaria si applica anche alla muratura armata, con le seguenti eccezioni e le pertinenti prescrizioni di cui al § 4.5.7.

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.

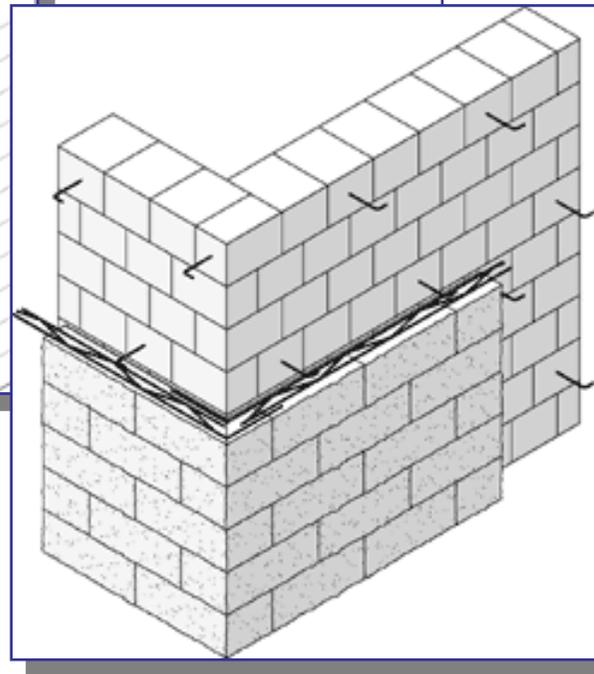
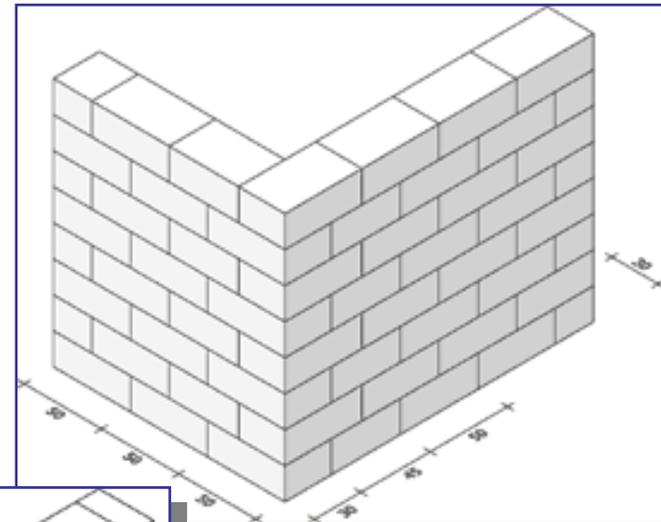
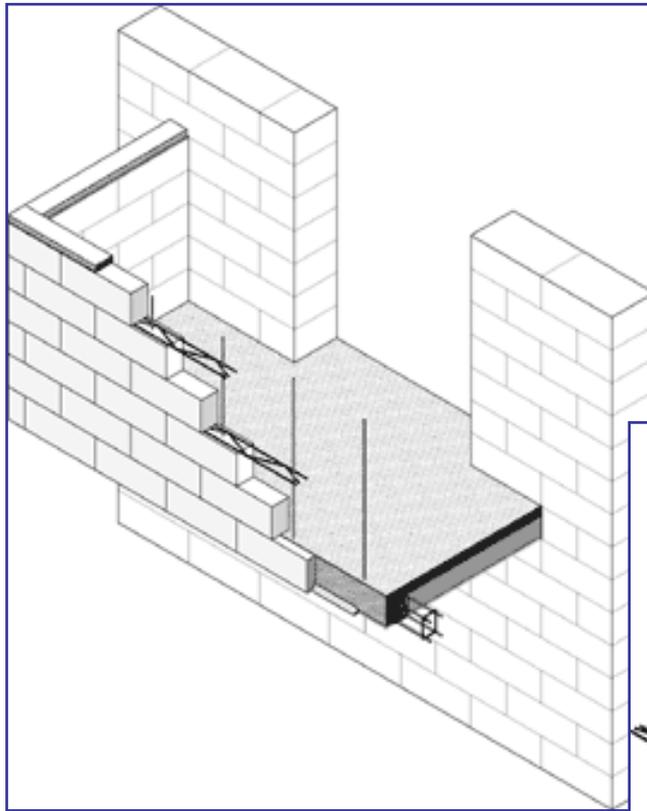
La percentuale di armatura orizzontale, calcolata rispetto all'area lorda della muratura, non può essere inferiore allo 0,04 %, né superiore allo 0,5%.

Parapetti ed elementi di collegamento tra pareti diverse debbono essere ben collegati alle pareti adiacenti, garantendo la continuità dell'armatura orizzontale e, ove possibile, di quella verticale.

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.

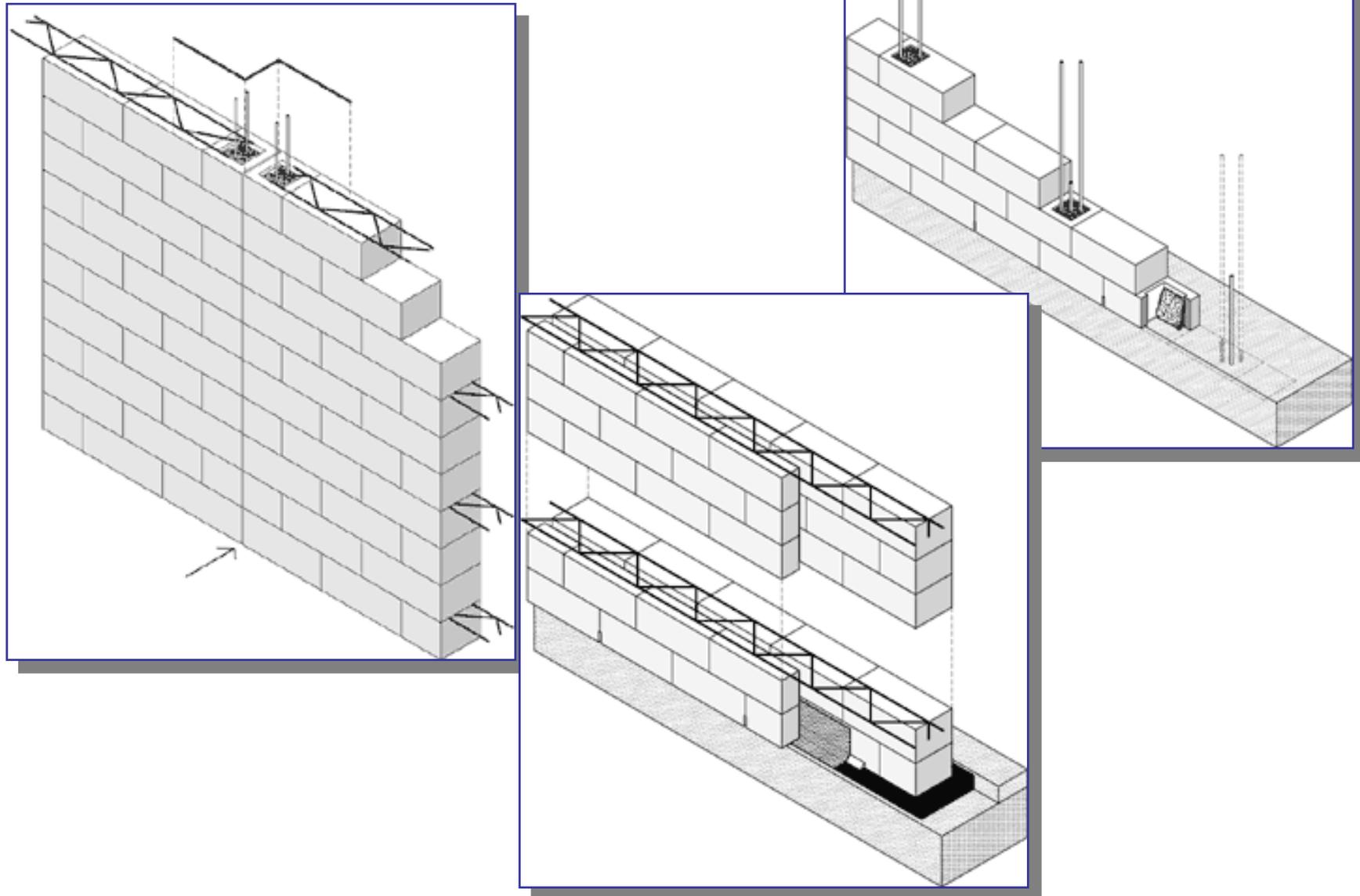
DETTAGLI COSTRUTTIVI

Muratura ordinaria - Suggerimenti



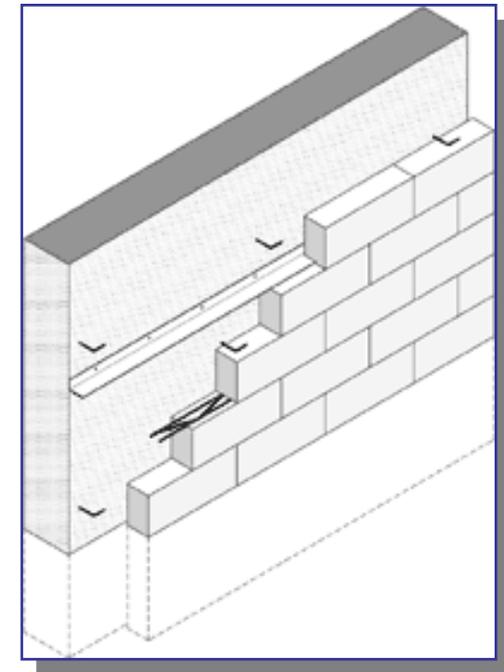
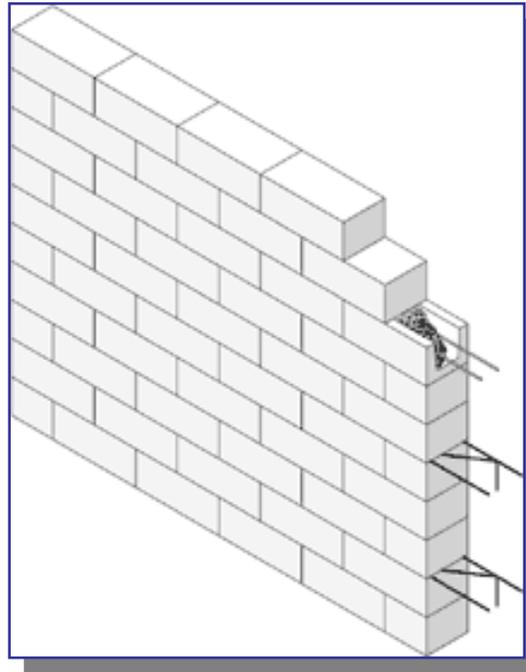
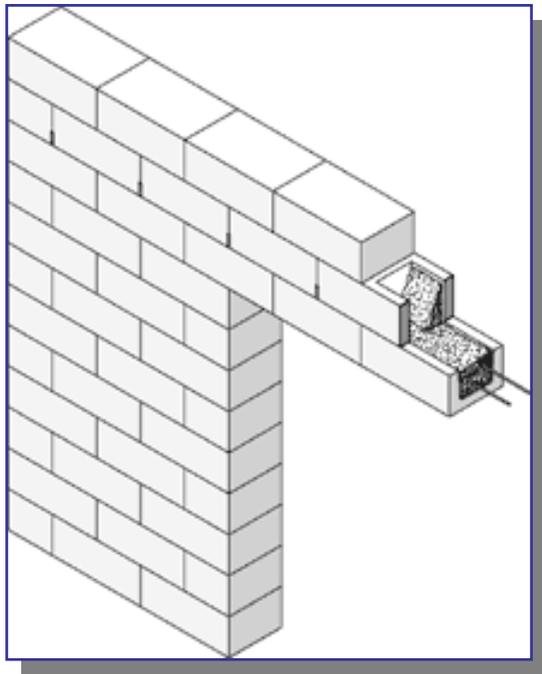
DETTAGLI COSTRUTTIVI

Muratura ordinaria - Suggerimenti



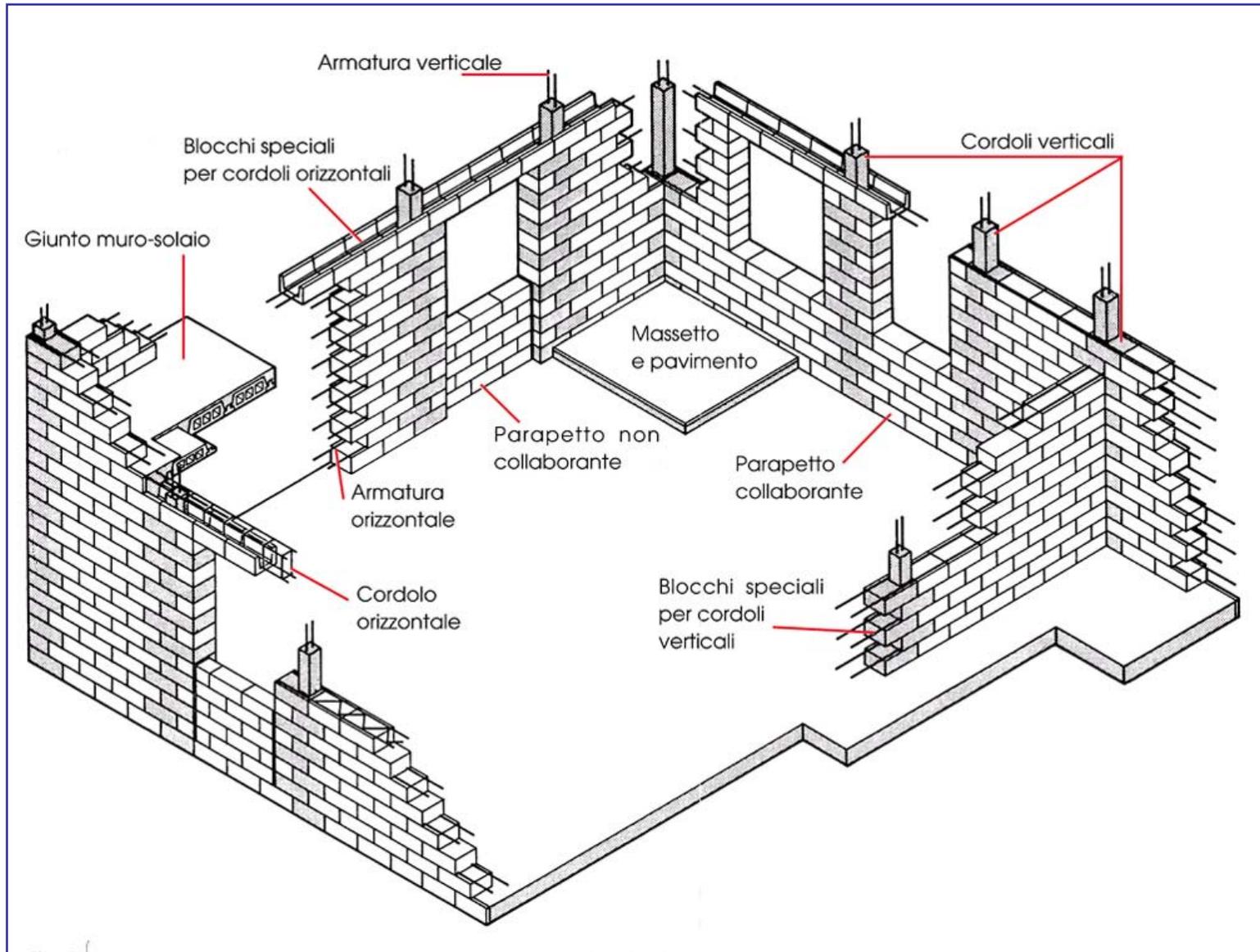
DETTAGLI COSTRUTTIVI

Muratura ordinaria - Suggerimenti



DETTAGLI COSTRUTTIVI

Muratura armata - Suggerimenti



EDIFICI IN MURATURA IN ZONA SISMICA

92

Argomenti:

- ❖ riferimenti normativi
- ❖ i materiali
- ❖ concezione edificio
- ❖ determinazione dell'azione sismica
- ❖ edificio semplice
- ❖ criteri di modellazione
- ❖ metodi di analisi
- ❖ verifiche di resistenza e stabilità dei componenti
- ❖ dettagli costruttivi
- ❖ **risultati di verifiche di edifici reali**

RISULTATI DI VERIFICHE DI EDIFICI REALI

93

Sono state eseguite alcune verifiche su edifici reali in muratura portante, **ordinaria** ed **armata**, di Lecablocchi, sia con **analisi statica lineare** che con **analisi statica non lineare**.



Le verifiche sono state eseguite in riferimento a **tutti i tipi di sottosuolo** e con spettri correlati alle **quattro zone sismiche**, gli edifici sono a destinazione **residenziali**

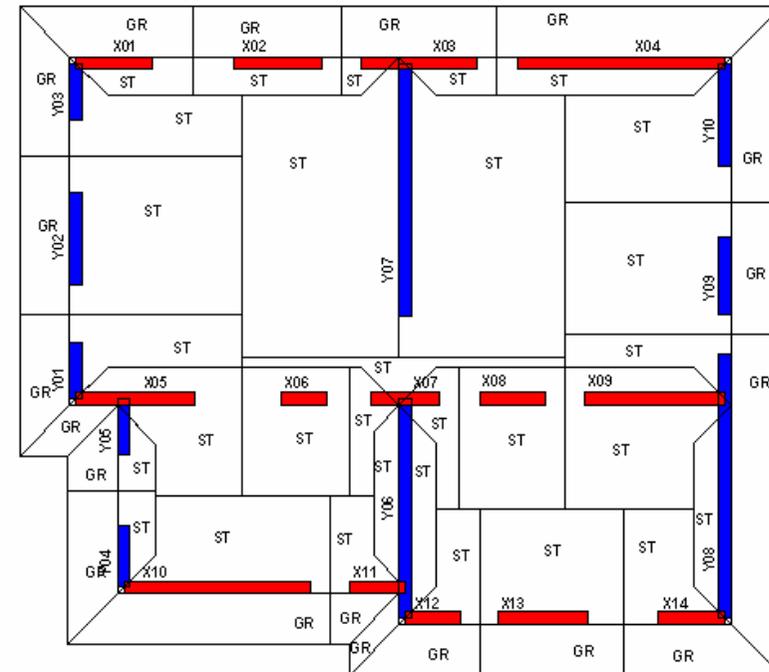
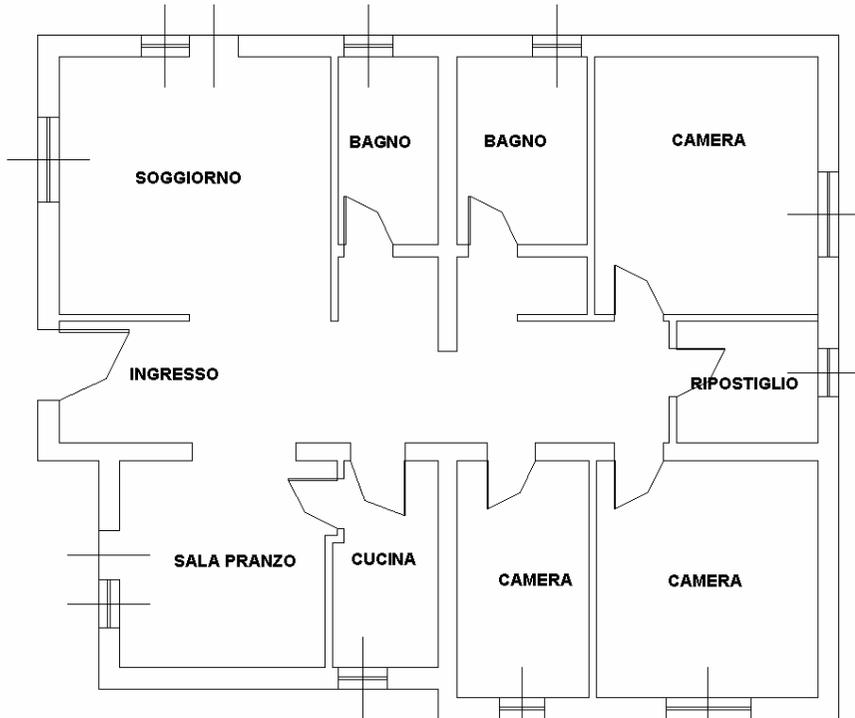
Nel caso di analisi statica lineare **non si è fatto ricorso alla redistribuzione del taglio nei pannelli murari**.

Nel caso di **muratura armata** è stato impiegato il **minimo obbligatorio di armatura**.

Il **software utilizzato è il SAM II** sviluppato presso l'Università di Pavia e l'Eucentre, le verifiche sono state effettuate dal **prof. Magenes e collaboratori**

RISULTATI DI VERIFICHE DI EDIFICI REALI

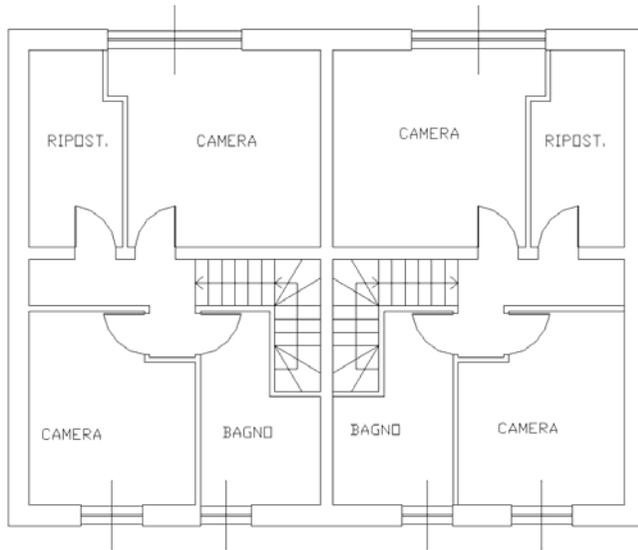
EDIFICIO 1



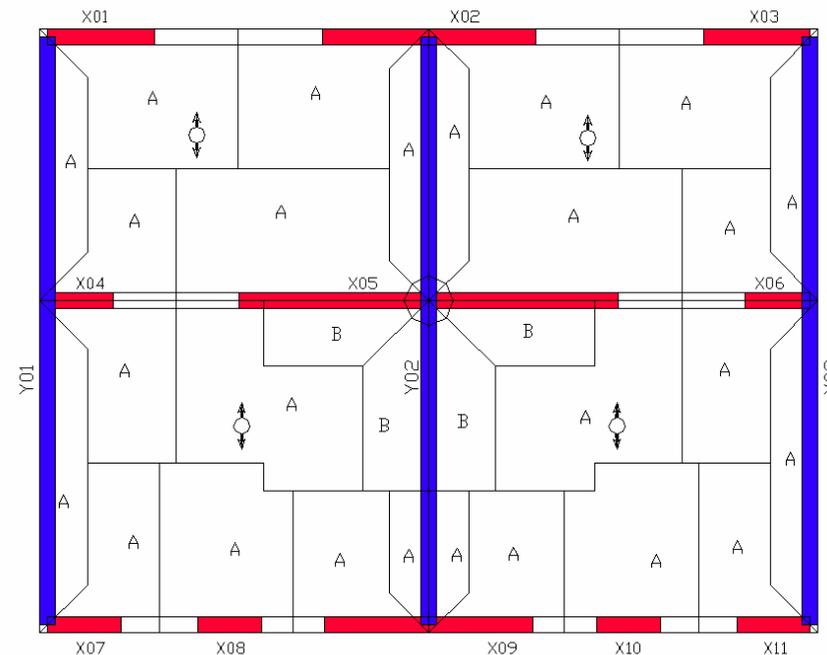
- 1 PIANO FUORI TERRA IN MURATURA
- SPESSORE 25 CM

n° piani	muratura	spess	% muratura	analisi	ZONA 4			ZONA 3			ZONA 2		
					A 0,05 g	BCE 0,06 g	D 0,07 g	A 0,15 g	BCE 0,19 g	D 0,20 g	A 0,25 g	BCE 0,31 g	D 0,34 g
1	ord	25	4,37	lin									
				n.lin									
				NTC '08	3,5 %	3,5 %	3,5 %	4,0 %	4,5 %	4,5 %	5,0 %	6,0 %	6,0 %

RISULTATI DI VERIFICHE DI EDIFICI REALI



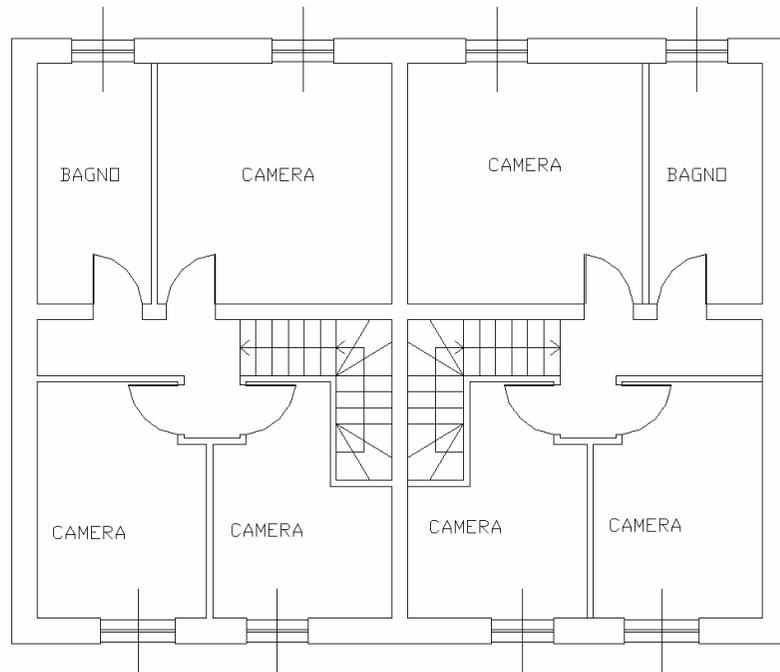
EDIFICIO 2A



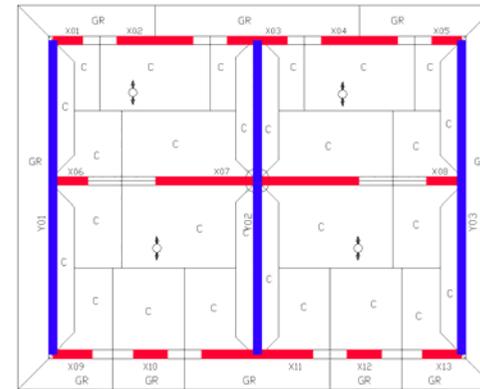
- 1 PIANO INTERRATO IN C.A.
- 2 PIANI FUORI TERRA IN MURATURA
- SPESSORE 25 CM

n° piani	muratura	spess	% muratura	analisi	ZONA 4			ZONA 3			ZONA 2		
					A 0,05 g	BCE 0,06 g	D 0,07 g	A 0,15 g	BCE 0,19 g	D 0,20 g	A 0,25 g	BCE 0,31 g	D 0,34 g
2	ord	25	4,80	lin									
				n.lin									
				NTC '08	4,0 %	4,0 %	4,0 %	4,5 %	5,0 %	5,0 %	5,5 %	6,5 %	6,5 %

RISULTATI DI VERIFICHE DI EDIFICI REALI



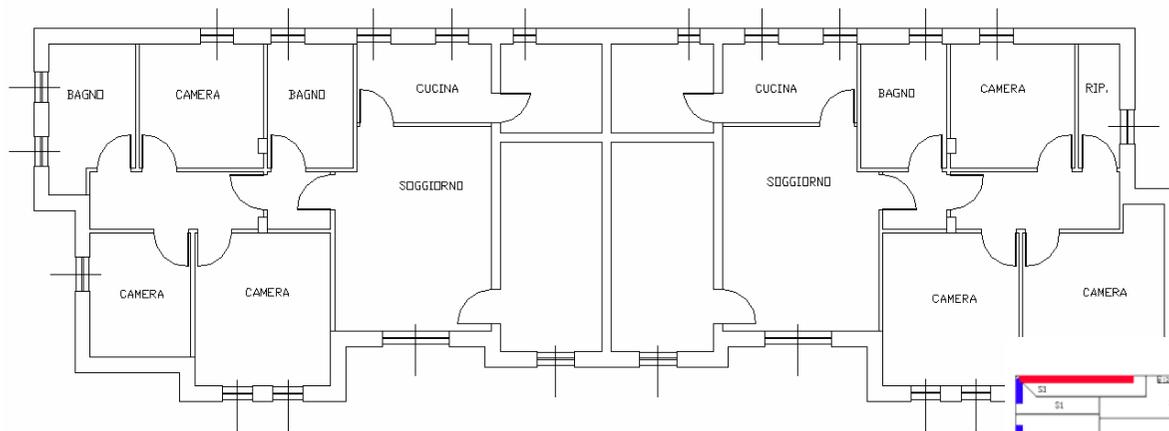
EDIFICIO 2B



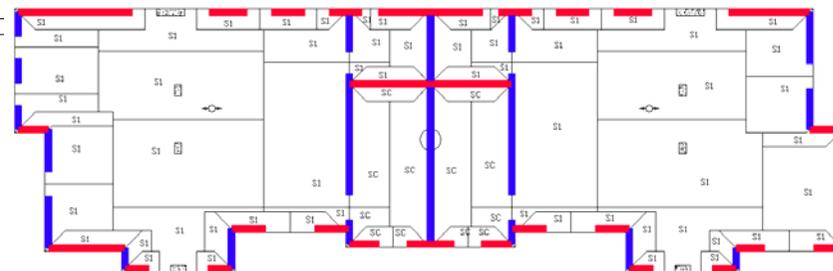
- 1 PIANO INTERRATO IN C.A.
- 2 PIANI FUORI TERRA IN MURATURA Ordinaria e armata
- SPESSORE 25 CM

n° piani	muratura	spess	% muratura	analisi	ZONA 4			ZONA 3			ZONA 2		
					A 0,05 g	BCE 0,06 g	D 0,07 g	A 0,15 g	BCE 0,19 g	D 0,20 g	A 0,25 g	BCE 0,31 g	D 0,34 g
2	ord	25	5,10	lin	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow			
				n.lin	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	
				NTC '08	4,0 %	4,0 %	4,0 %	4,5 %	5,0 %	5,0 %	5,5 %	6,5 %	6,5 %
	arm	25	5,10	lin	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
				n.lin	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue
				NTC '08	3,0 %	3,0 %	3,0 %	3,5 %	3,5 %	3,5 %	4,0 %	4,5 %	4,5 %

RISULTATI DI VERIFICHE DI EDIFICI REALI



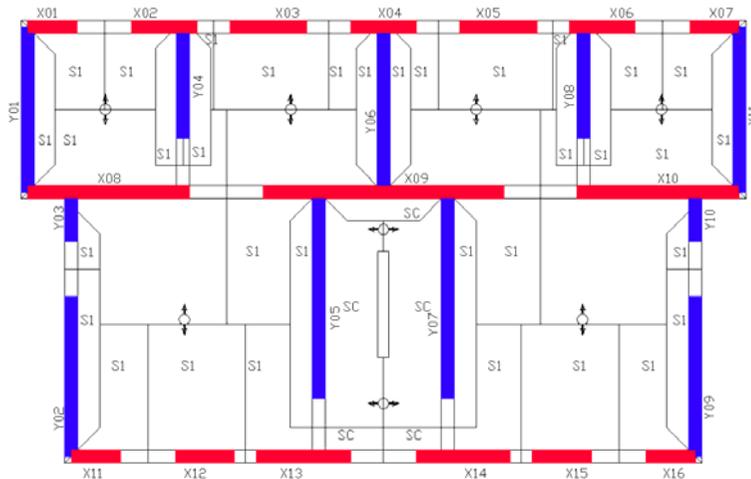
EDIFICIO 3A



- 1 PIANO INTERRATO IN C.A.
- 2 PIANI FUORI TERRA IN MURATURA Ordinaria e armata
- SPESSORE 25 CM

n° piani	muratura	spes. s.	% muratura	analisi	ZONA 4			ZONA 3			ZONA 2		
					A 0,05 g	BCE 0,06 g	D 0,07 g	A 0,15 g	BCE 0,19 g	D 0,20 g	A 0,25 g	BCE 0,31 g	D 0,34 g
2	ord	25	4,04	lin									
				n.lin									
				NTC '08	4,0 %	4,0 %	4,0 %	4,5 %	5,0 %	5,0 %	5,5 %	6,5 %	6,5 %
	Arm	25	4,04	lin									
				n.lin									
				NTC '08	3,0 %	3,0 %	3,0 %	3,5 %	3,5 %	3,5 %	4,0 %	4,5 %	4,5 %

RISULTATI DI VERIFICHE DI EDIFICI REALI



EDIFICIO 3B

- 1 PIANO INTERRATO IN C.A.
- 3 PIANI FUORI TERRA IN MURATURA
- SPESSORE 30 CM – 35 CM – 40 CM

n° piani	muratura	spess.	% muratura	analisi	ZONA 4			ZONA 3			ZONA 2		
					A 0,05 g	BCE 0,06 g	D 0,07 g	A 0,15 g	BCE 0,19 g	D 0,20 g	A 0,25 g	BCE 0,31 g	D 0,34 g
3	Ord	30	6,30	lin									
				n.lin									
				NTC '08	4,5 %	4,5 %	4,5 %	5,0 %	5,5 %	5,5 %	6,0 %	7,0 %	7,0 %
	Ord	35	7,35	Lin									
				n.Lin									
				NTC '08	4,5 %	4,5 %	4,5 %	5,0 %	5,5 %	5,5 %	6,0 %	7,0 %	7,0 %
	Ord	40	8,40	Lin									
				n.Lin									
				NTC '08	4,5 %	4,5 %	4,5 %	5,0 %	5,5 %	5,5 %	6,0 %	7,0 %	7,0 %

Considerazioni complessive

L'analisi statica lineare senza redistribuzione del taglio e l'analisi statica non lineare costituiscono un po' i due estremi del campo di variazione dei risultati dei vari metodi di verifica, essendo ovviamente più penalizzante la prima

Densità murarie come da tabella per edificio semplice consentono di avere verifiche positive con l'analisi statica non lineare anche per edifici "non-semplici" e non sempre del tutto "regolari"

Nel caso di muratura armata il divario tra i risultati dell'analisi lineare e dell'analisi non lineare tende a diminuire in quanto in questo caso i muri risultano meno sensibili all'effetto dell'azione assiale nella pressoflessione grazie alla presenza dell'armatura, mentre la stessa azione assiale è infatti determinata nella definizione della resistenza ultima dei muri non armati.

Aumentare lo spessore dei muri in caso di verifica negativa è poco produttivo (tra l'altro fa aumentare le masse) mentre la soluzione è una migliore distribuzione dei muri di controvento: lunghezza in pianta, posizione ed ampiezza delle aperture ed eventualmente un diverso orientamento dell'orditura dei solai