



*ing. angelo
biondi*



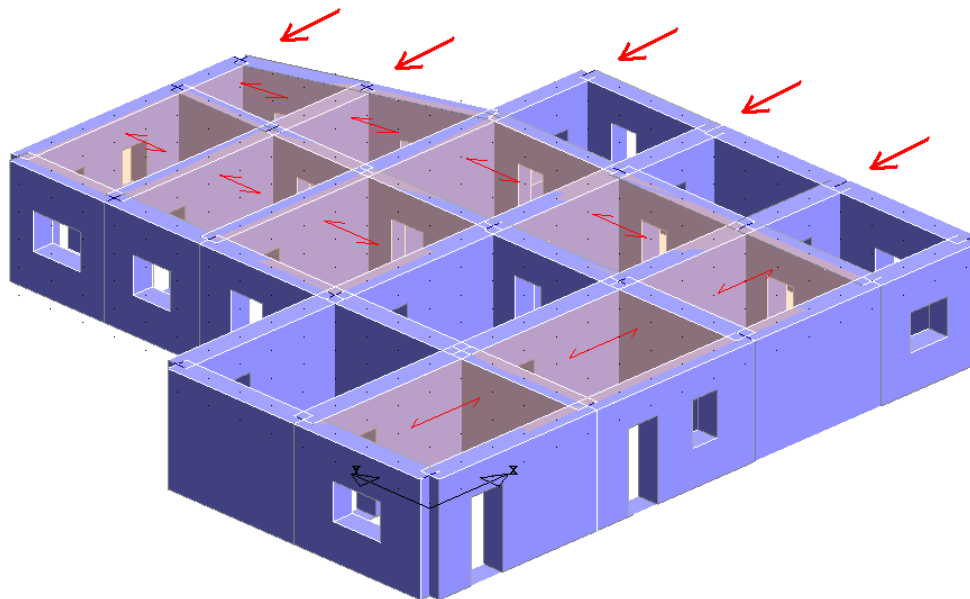
Strutture in Muratura

WWW.ANGELOBIONDI.COM

4.5.4. ORGANIZZAZIONE STRUTTURALE

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

I pannelli murari, di muratura non armata, sono considerati resistenti anche alle azioni orizzontali quando hanno una lunghezza non inferiore a 0,3 volte l'altezza di interpiano; i pannelli murari 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.



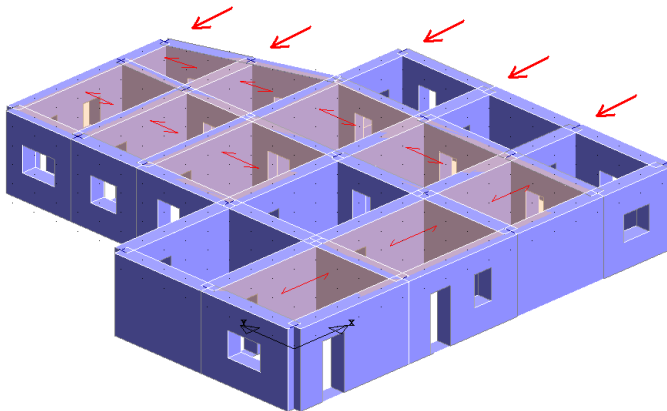
4.5.4. ORGANIZZAZIONE STRUTTURALE

Gli **orizzontamenti** sono generalmente solai piani, o con falde inclinate in copertura, che **devono assicurare**, per resistenza e rigidezza, **la ripartizione delle azioni orizzontali** fra i muri di controventamento.

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

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

Devono inoltre essere previsti opportuni **incatenamenti al livello dei solai**, aventi lo scopo di collegare tra loro i muri paralleli della scatola muraria. Tali incatenamenti devono essere realizzati per mezzo di armature metalliche o altro materiale resistente a trazione, le cui estremità devono essere efficacemente ancorate ai cordoli. Per il collegamento nella direzione di tessitura del solaio possono essere omessi gli incatenamenti quando il collegamento è assicurato dal solaio stesso. Per il collegamento in direzione normale alla tessitura del solaio, si possono adottare opportuni accorgimenti che sostituiscano efficacemente gli incatenamenti costituiti da tiranti estranei al solaio.

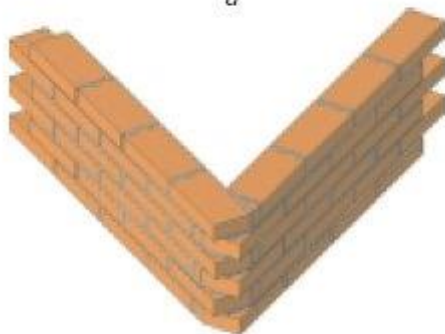


STRUTTURE IN MURATURA

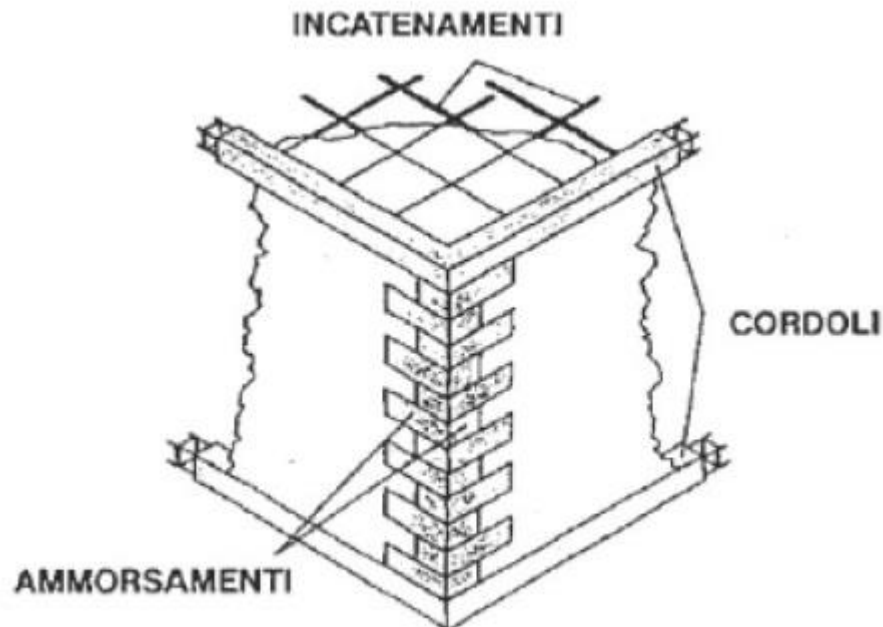
Un primo tipo di **connessione** è quello che si ha o si può avere tra muro e muro, in corrispondenza degli spigoli e degli incroci. In dipendenza del tipo di realizzazione, ad esempio, ci può essere una piena compenetrazione tra i due, frutto di una **costruzione contemporanea**, oppure un semplice accostamento, dovuto ad esempio ad una realizzazione successiva. La connessione può essere anche dovuta all'eventuale presenza di un **cordolo** di cemento armato in testa alle pareti, purché sia stato realizzato con un efficace ammorsamento al muro sottostante.



a

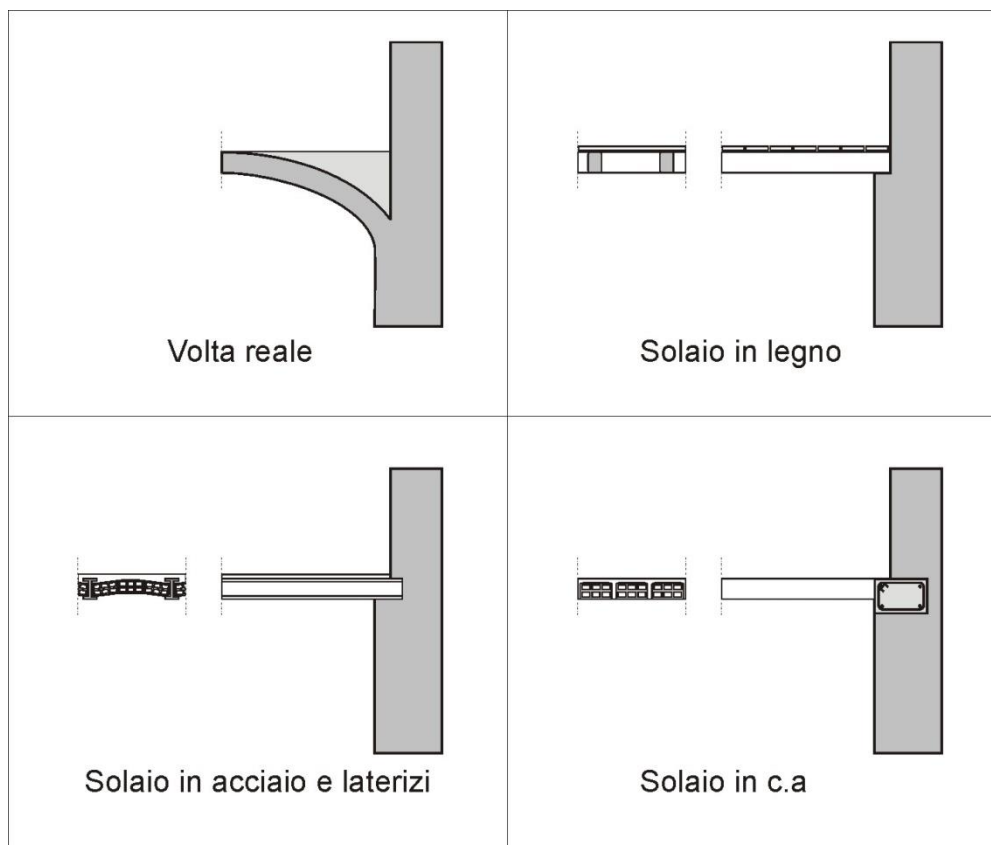


b



STRUTTURE IN MURATURA

Un altro tipo molto importante di **collegamento** è quello che viene affidato agli **orizzontamenti** (solai, coperture). Questi ultimi, oltre ad avere la funzione di assorbire e ripartire i carichi verticali, possono anche essere in grado di ripartire le azioni orizzontali. Perché ciò possa avvenire è necessario che siano verificate **due condizioni**: che il solaio **sia sufficientemente rigido** nel suo piano (quindi abbia un valido comportamento a lastra) e che il **collegamento tra la testa dei muri ed il solaio** stesso sia idoneo a garantire il trasferimento degli sforzi che si possono generare.



STRUTTURE IN MURATURA

Le **volte reali**, che possono pur avere diverse tipologie geometriche (volte a botte, a padiglione, a crociera e variamente ribassate), le si può spesso considerare con buona approssimazione degli **orizzontamenti rigidi e ben ammassati**, anche se ovviamente questa non può essere una regola da osservare indiscriminatamente. Per quanto riguarda invece i **solai in legno** bisogna effettivamente verificare il grado di rigidità dell'impalcato e soprattutto il grado di vincolo di questo alle murature, ma in generale **non è il caso di considerare un solaio in legno come impalcato rigido**. La situazione è più favorevole, cioè si è più vicini al comportamento a lastra, se le volte o i solai in legno sono muniti di tiranti idoneamente disposti nel piano dell'orizzontamento.

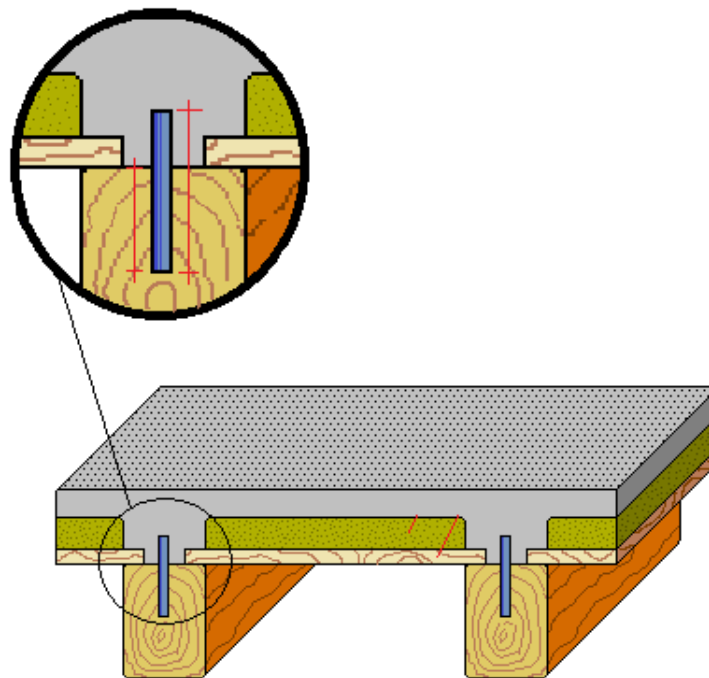
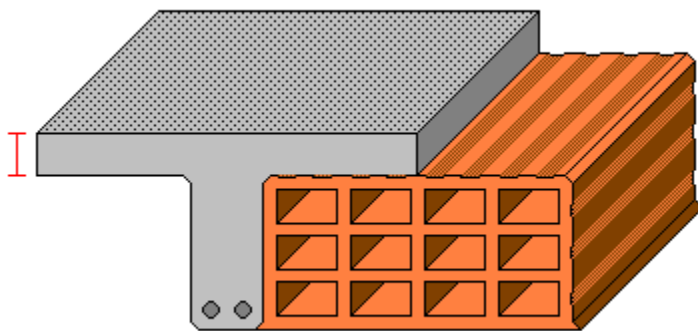


MODELLI DI CALCOLO STRUTTURALE

IMPALCATI RIGIDI O DEFORMABILI

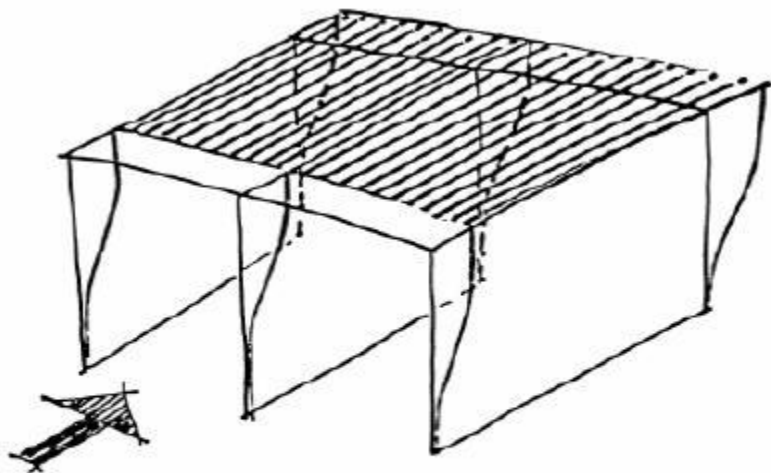
I **solai** potranno essere considerati **infinitamente rigidi** nel loro piano, a condizione che le aperture presenti non ne riducano significativamente la rigidezza, **se sono realizzati in c.a.**, oppure in latero-cemento con **soletta in c.a. di almeno 40 mm di spessore** o in struttura mista con **soletta in c.a. di almeno 50 mm di spessore** collegata da **connettori a taglio opportunamente dimensionati** agli **elementi strutturali di solaio in acciaio e legno**. Nel caso di altre soluzioni costruttive, l'ipotesi di infinita rigidezza dovrà essere valutata e giustificata dal progettista.

Spessore
soletta

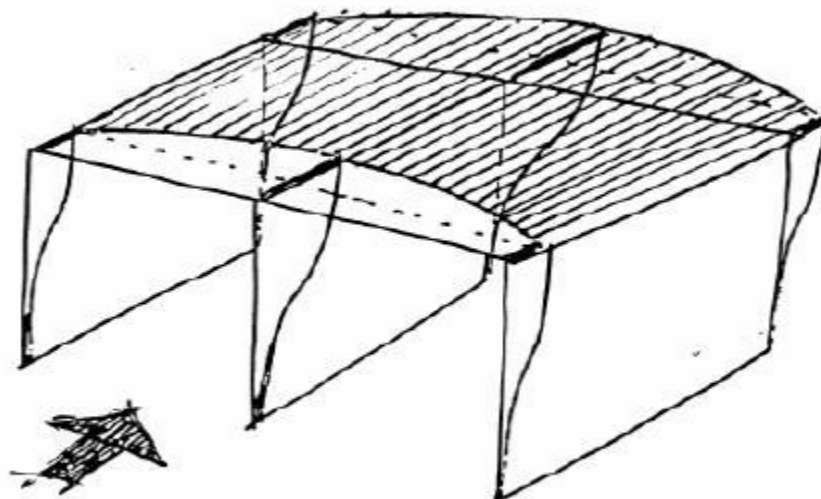


STRUTTURE IN MURATURA

I **solai** potranno essere considerati **infinitamente rigidi** nel loro piano, a condizione che le aperture presenti non ne riducano significativamente la rigidezza, **se sono realizzati in c.a.**, oppure in latero-cemento con **soletta in c.a. di almeno 40 mm di spessore** o in **struttura mista con soletta in c.a. di almeno 50 mm di spessore collegata da connettori a taglio opportunamente dimensionati agli elementi strutturali di solaio in acciaio e legno**. Nel caso di altre soluzioni costruttive, l'ipotesi di infinita rigidezza dovrà essere valutata e giustificata dal progettista.



Impalcato Rigido



Impalcato Deformabile

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.**

N.T.C. 2018

7.8.1.9 Costruzioni semplici

Si definiscono “costruzioni semplici” quelle 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 e in elevazione definite al § 7.2.1 e quelle definite ai successivi § 7.8.6.1, 7.8.6.2 e 7.8.6.3, rispettivamente per le costruzioni di muratura ordinaria, di muratura armata e di muratura confinata. **Per le costruzioni semplici aventi, allo SLV, $agS \leq 0,35g$ non è obbligatorio eseguire alcuna analisi e verifica di sicurezza, ma è richiesto il soddisfacimento delle seguenti condizioni integrative:**

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

Tab. 7.8.I – Requisiti geometrici delle pareti resistenti al sisma.

Tipologie costruttive	$t_{\min}$	$(\lambda=ho/t)_{\max}$	$(l/h')_{\min}$
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 confinata	240 mm	15	0,3
Muratura ordinaria, realizzata con elementi in pietra squadrata, in siti caratterizzati, allo <i>SLV</i> , da $a_g S \leq 0.15g$	240 mm	12	0,3
Muratura realizzata con elementi artificiali semipieni, in siti caratterizzati, allo <i>SLV</i> , da $a_g S \leq 0.075 g$	200 mm	20	0,3
Muratura realizzata con elementi artificiali pieni, in siti caratterizzati, allo <i>SLV</i> , da $a_g S \leq 0.075 g$	150 mm	20	0,3

7.8.1.9 Costruzioni semplici

- 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 Tab. 7.8.II, in funzione del numero di piani della costruzione e della sismicità del sito, per ciascuna delle due direzioni ortogonali:

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

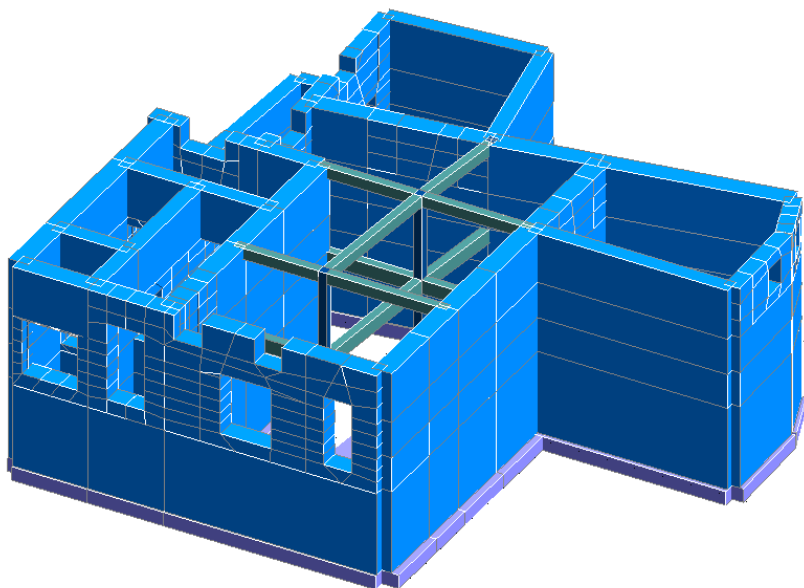
Accelerazione di picco del terreno $a_g S^{(1)}$		$\leq 0,07g$	$\leq 0,10g$	$\leq 0,15g$	$\leq 0,20g$	$\leq 0,25g$	$\leq 0,30g$	$\leq 0,35g$	$\leq 0,40g$	$\leq 0,45g$	$\leq 0,50g$
Tipo di struttura	Numero piani										
Muratura ordinaria	1	3,5%	3,5%	4,0%	4,5%	5,5%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,5%
	2	4,0%	4,0%	4,5%	5,0%	6,0%	6,5%	6,5%	6,5%	6,5%	7,0%
	3	4,5%	4,5%	5,0%	6,0%	6,5%	7,0%	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%	5,5%	6,0%	6,5%	6,5%

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

STRUTTURE MISTE

7.8.5. STRUTTURE MISTE

Nell'ambito delle costruzioni di 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 devono essere 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.), devono 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.**



MURATURA ARMATA

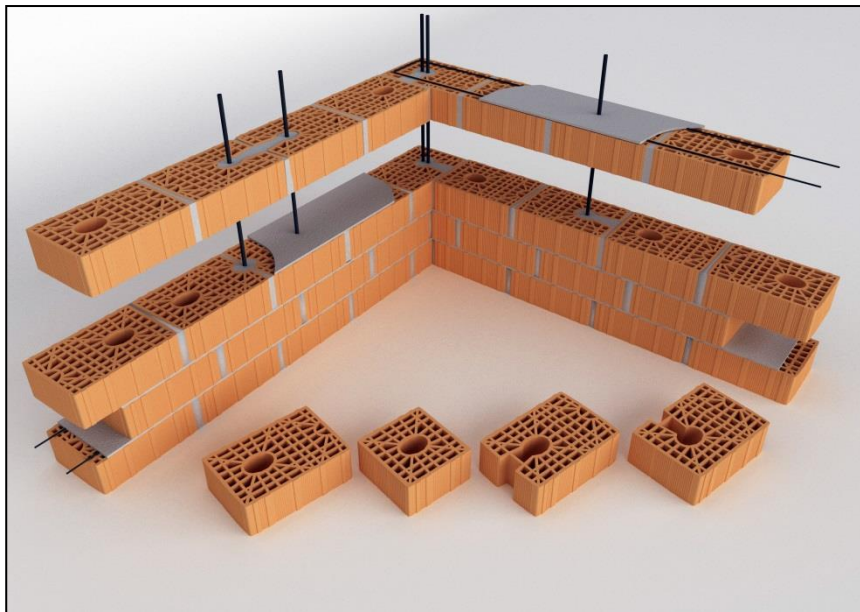
4.5.7 MURATURA ARMATA

La muratura armata è costituita da elementi resistenti artificiali pieni e semipieni idonei alla realizzazione di pareti murarie incorporanti apposite armature metalliche verticali e orizzontali, annegate nella malta o nel conglomerato cementizio.

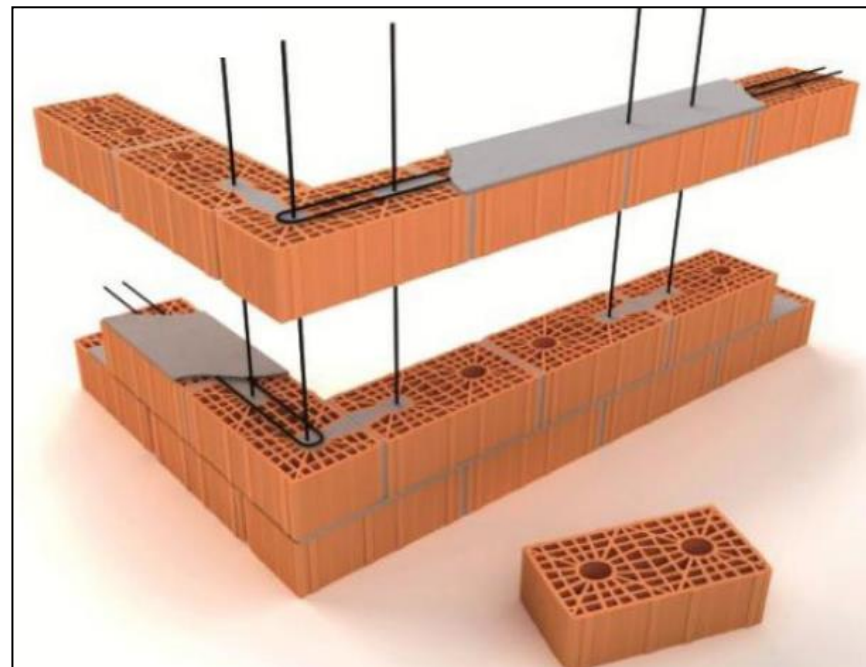
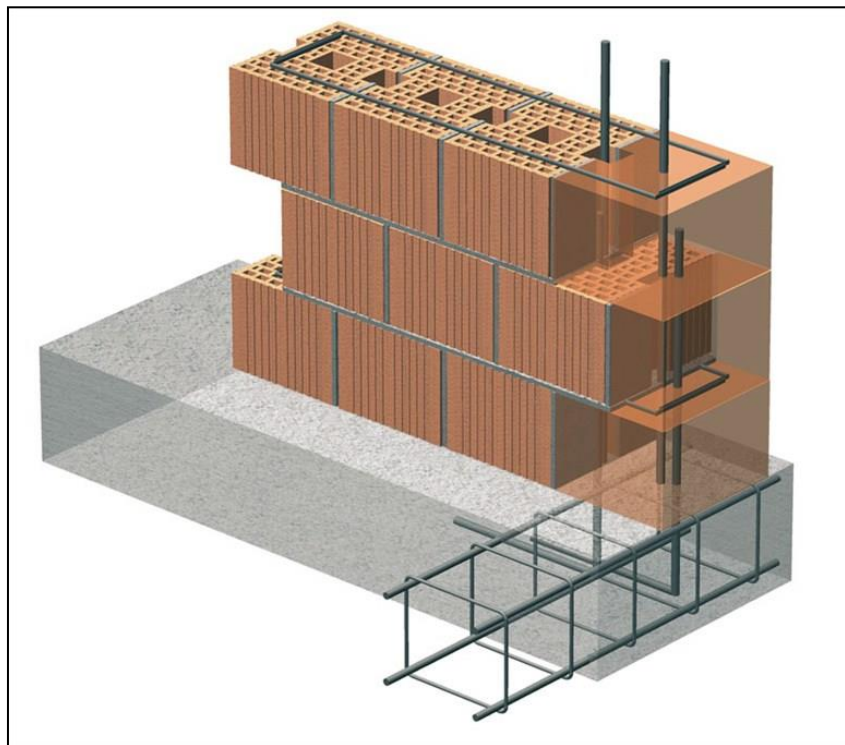
Le barre di armatura possono essere costituite da acciaio al carbonio, o da acciaio inossidabile o da acciaio con rivestimento speciale, conformi alle pertinenti indicazioni di cui al § 11.3.

È ammesso, per le armature orizzontali, l'impiego di armature a traliccio elettrosaldato o l'impiego di altre armature conformate in modo da garantire adeguata aderenza ed ancoraggio, nel rispetto delle pertinenti normative di comprovata validità.

In ogni caso dovrà essere garantita una adeguata protezione dell'armatura nei confronti della corrosione.



MURATURA ARMATA



MURATURA CONFINATA

7.8.4. COSTRUZIONI DI MURATURA CONFINATA

La progettazione e la realizzazione di costruzioni di muratura confinata deve essere eseguita in accordo con i criteri e le regole date nella UNI EN 1998-1, con le precisazioni riportate negli Annessi tecnici nazionali agli Eurocodici ed applicando le regole di dettaglio di cui al § 7.8.6.3.

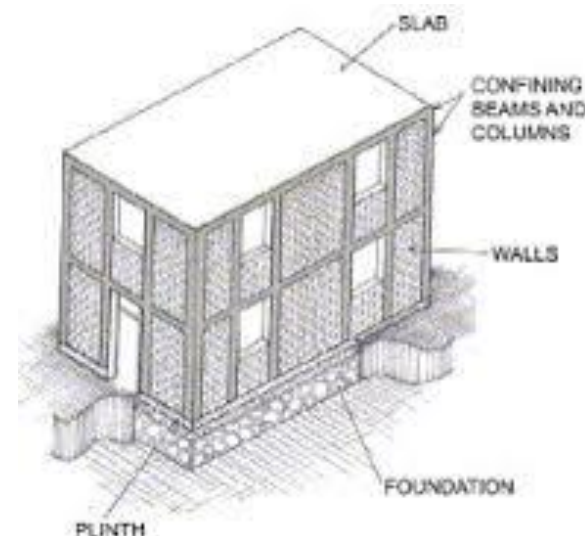


MURATURA CONFINATA

7.8.4. COSTRUZIONI DI MURATURA CONFINATA

Le costruzioni di muratura confinata dovranno essere progettate rispettando i seguenti requisiti:

- gli elementi di confinamento orizzontale e verticali dovranno essere collegati fra loro e ancorati agli elementi del sistema strutturale principale;
- per garantire un collegamento efficace fra gli elementi di confinamento e la muratura, il calcestruzzo degli elementi di confinamento dovrà essere gettato dopo la realizzazione della muratura;
- la minima dimensione trasversale degli elementi di confinamento orizzontali e verticali non dovrà essere inferiore a 150 mm. Nelle pareti a doppio foglio lo spessore degli elementi di confinamento deve garantire la connessione dei due fogli ed il loro confinamento;
- gli elementi di confinamento verticali dovranno essere posizionati:
 - a) lungo i bordi liberi di ogni parete strutturale,
 - b) su entrambi i lati delle aperture aventi area maggiore di 1,5 m²,
 - c) all'interno delle pareti con passo non maggiore di 5 m,
 - d) alle intersezioni delle pareti strutturali, in tutti i casi in cui gli elementi di confinamento più vicini siano ad una distanza superiore a 1,5 m;
- gli elementi di confinamento orizzontali dovranno essere posizionati nel piano della parete ad ogni piano e, in ogni caso, ad un passo non maggiore di 4 m;
- l'armatura longitudinale degli elementi di confinamento deve avere un'area non inferiore a 300 mm² o all'1% della sezione dell'elemento di confinamento;
- le staffe dovranno avere diametro non inferiore a 5 mm e passo non maggiore di 15 cm;
- le lunghezze di sovrapposizione delle barre longitudinali non dovranno essere minori di 60 diametri.



MURATURA CONFINATA



MURATURA CONFINATA



FATTORE DI COMPORTAMENTO PER LE STRUTTURE IN MURATURA

$$q = q_0 \times K_R$$

Tab. 7.3.II – Valori massimi del valore di base q_0 del fattore di comportamento allo SLV per diverse tecniche costruttive ed in funzione della tipologia strutturale e della classe di duttilità CD

Costruzioni di muratura (§ 7.8.1.3)	
Costruzioni di muratura ordinaria	$1,75 \alpha_u/\alpha_1$
Costruzioni di muratura armata	$2,5 \alpha_u/\alpha_1$
Costruzioni di muratura armata con progettazione in capacità	$3,0 \alpha_u/\alpha_1$
Costruzioni di muratura confinata	$2,0 \alpha_u/\alpha_1$
Costruzioni di muratura confinata con progettazione in capacità	$3,0 \alpha_u/\alpha_1$

- | | |
|---|---------------------------|
| – costruzioni di muratura ordinaria | $\alpha_u/\alpha_1 = 1,7$ |
| – costruzioni di muratura armata | $\alpha_u/\alpha_1 = 1,5$ |
| – costruzioni di muratura armata progettate con la progettazione in capacità | $\alpha_u/\alpha_1 = 1,3$ |
| – costruzioni di muratura confinata | $\alpha_u/\alpha_1 = 1,6$ |
| – costruzioni di muratura confinata progettate con la progettazione in capacità | $\alpha_u/\alpha_1 = 1,3$ |

7.8.1.3 Modalità costruttive e fattori di struttura

[...]

Il valore di α_u/α_1 può essere calcolato per mezzo di un'analisi statica non lineare (§ 7.3.4.1) e non può in ogni caso essere assunto superiore a 2,5.

Qualora non si proceda ad una analisi non lineare, possono essere adottati i seguenti valori di α_u/α_1 :

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



7.8.1.3 MODALITÀ COSTRUTTIVE E FATTORI DI COMPORTAMENTO

[...]

Il valore di α_u/α_1 può essere calcolato per mezzo di un'analisi statica non lineare (§ 7.3.4.2) e non può in ogni caso essere assunto superiore a 2,5.

Qualora non si proceda a un'analisi non lineare, possono essere adottati i seguenti valori di α_u/α_1 :

- costruzioni di muratura ordinaria $\alpha_u/\alpha_1 = 1,7$
- costruzioni di muratura armata $\alpha_u/\alpha_1 = 1,5$
- costruzioni di muratura armata progettate con la progettazione in capacità $\alpha_u/\alpha_1 = 1,3$
- costruzioni di muratura confinata $\alpha_u/\alpha_1 = 1,6$
- costruzioni di muratura confinata progettate con la progettazione in capacità $\alpha_u/\alpha_1 = 1,3$

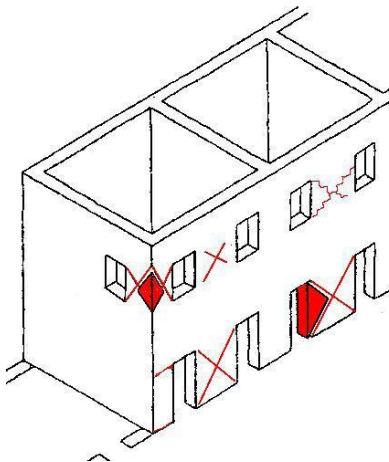


STRUTTURE IN MURATURA

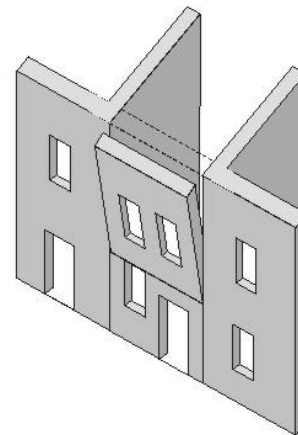
TIPI DI ROTTURA

Si possono manifestare meccanismi locali e meccanismi d'insieme, da verificare entrambi:

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



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





STRUTTURE IN MURATURA

- Meccanismi di Rottura Globali -

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

STRUTTURE IN MURATURA

- Meccanismi di Rottura Globali -

1) **PRESSOFLESSIONE FUORI DAL PIANO** - Nel CDS la trovate come VERIFICA A SISMA ORTOGONALE, si tratta di quel tipo di collasso che la bibliografia chiama “meccanismi di I modo” che sono assolutamente da evitare affinché la struttura attivi i meccanismi di II modo, secondo i quali è “generalmente” più resistente.





STRUTTURE IN MURATURA

- Meccanismi di Rottura Globali -

PRESSOFLESSIONE FUORI DAL PIANO

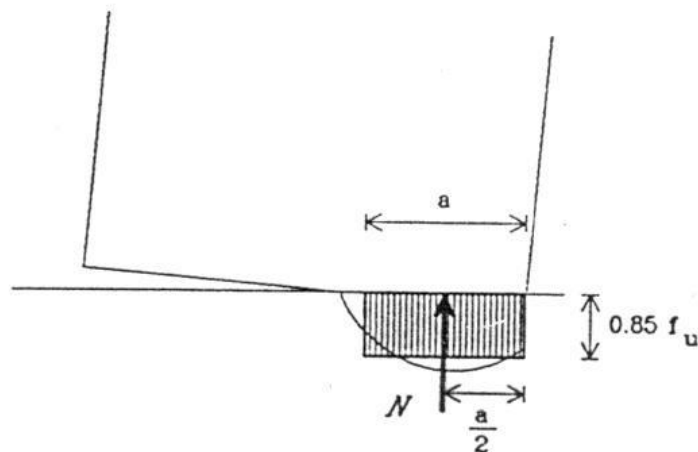
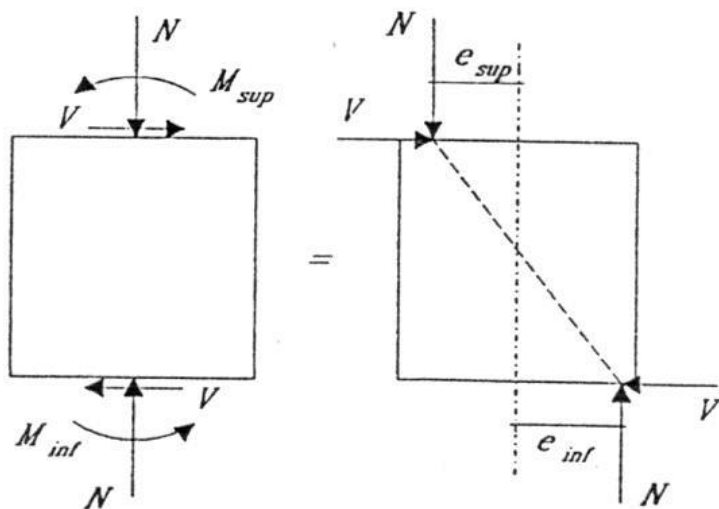
COME SI FA PER AUMENTARE IL MOMENTO RESISTENTE ULTIMO A SISMA ORTOGONALE DI UN MASCHIO MURARIO?

- 1) Aumentando il valore di N ;
- 2) Inserendo intonaco armato, CAM, FRP;
- 3) Inserendo piani sismici;
- 4) Inserendo PLACAGGI (shell) oppure TIRANTI (aste) se non ho piano sismico in testa (schema a mensola);
- 5) Adottando i rinforzi proposti dalla normativa che migliorano direttamente le caratteristiche meccaniche della muratura.

STRUTTURE IN MURATURA

- Meccanismi di Rottura Globali -

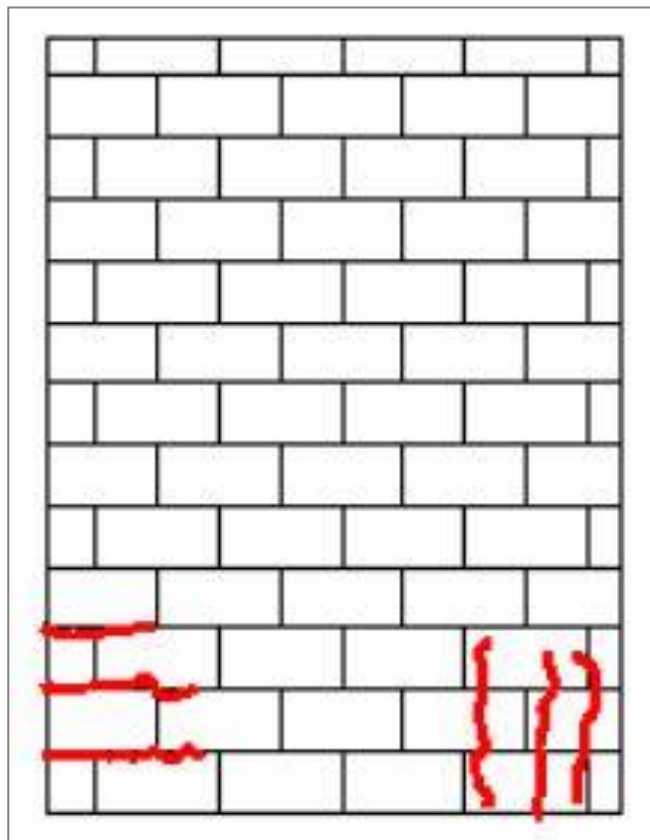
2) **PRESSOFLESSIONE NEL PIANO** - E' la verifica sismica dei maschi murari sottoposti ad una forza orizzontale. La rottura per "pressoflessione o ribaltamento" avviene quando il momento di "design" raggiunge il valore ultimo, corrispondente allo schiacciamento della zona compressa. Questo tipo di rottura fa parte dei "meccanismi di II modo".



STRUTTURE IN MURATURA

- Meccanismi di Rottura Globali -

Meccanismo di collasso per flessione





STRUTTURE IN MURATURA

- Meccanismi di Rottura Globali -

PRESSOFLESSIONE NEL PIANO

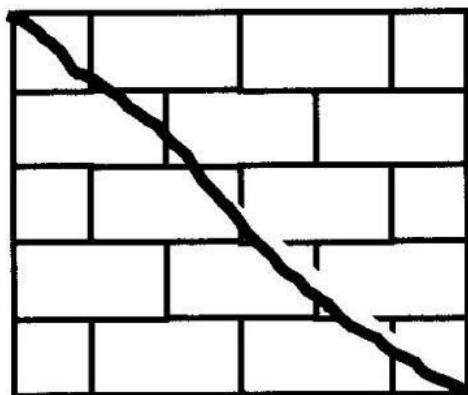
COME SI FA PER AUMENTARE IL MOMENTO RESISTENTE ULTIMO DI UN MASCHIO MURARIO?

- 1) Aumentandone la lunghezza (ad es. eliminando aperture);
- 2) Aumentandone lo spessore;
- 3) Inserendo intonaco armato, CAM, Fibre di carbonio;
- 4) Adottando i rinforzi proposti dalla normativa che migliorano direttamente le caratteristiche meccaniche della muratura;
- 5) Aumentando il valore di N.

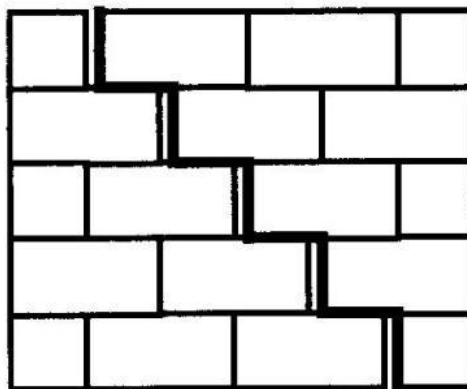
STRUTTURE IN MURATURA

- Meccanismi di Rottura Globali -

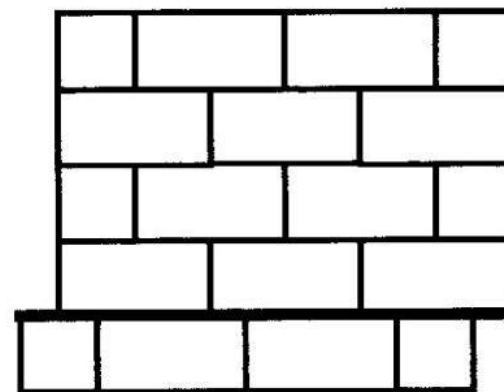
3) **TAGLIO NEL PIANO** - E' necessaria la valutazione di un doppio fenomeno: Rottura per fessurazione diagonale (rottura del concio o rottura del giunto) e Rottura per scorrimento lungo i letti di malta. Le fessurazioni ad X che vediamo dopo il sisma localizzate sui maschi murari sono dovute al sopraggiungere del limite di resistenza secondo il primo modo. Questo tipo di rottura fa parte dei "meccanismi di II modo".



(a)



(b)

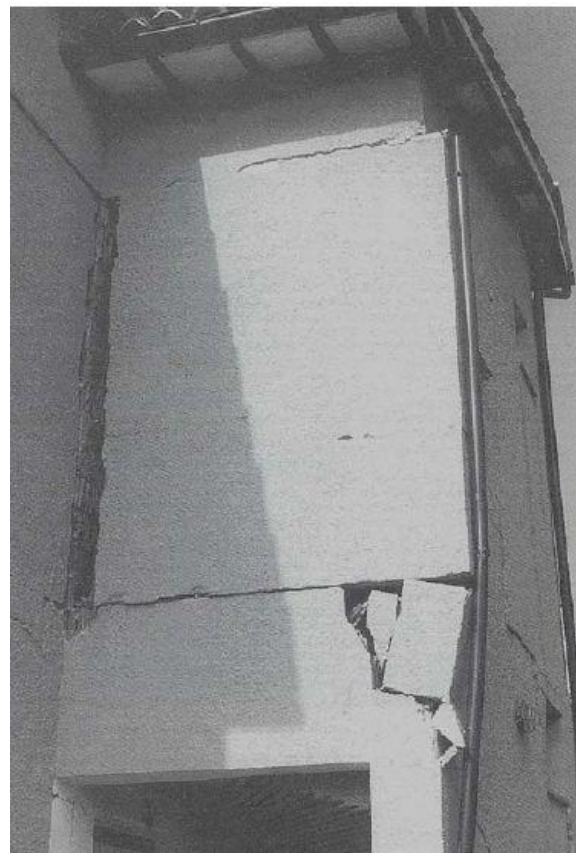
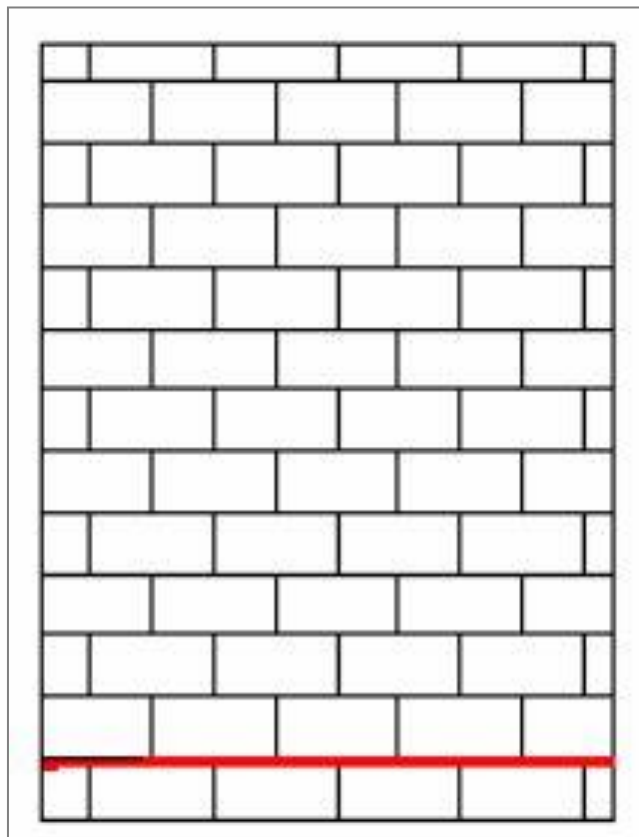


(c)

STRUTTURE IN MURATURA

- Meccanismi di Rottura Globali -

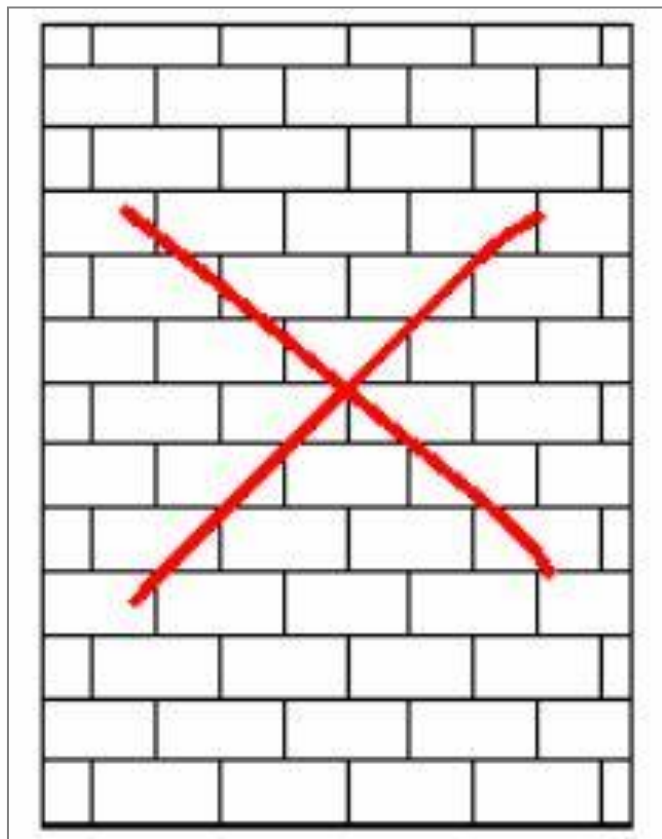
Meccanismo di collasso per scorrimento



STRUTTURE IN MURATURA

- Meccanismi di Rottura Globali -

Meccanismo di collasso per fessurazione diagonale





STRUTTURE IN MURATURA

- Meccanismi di Rottura Globali -

TAGLIO NEL PIANO

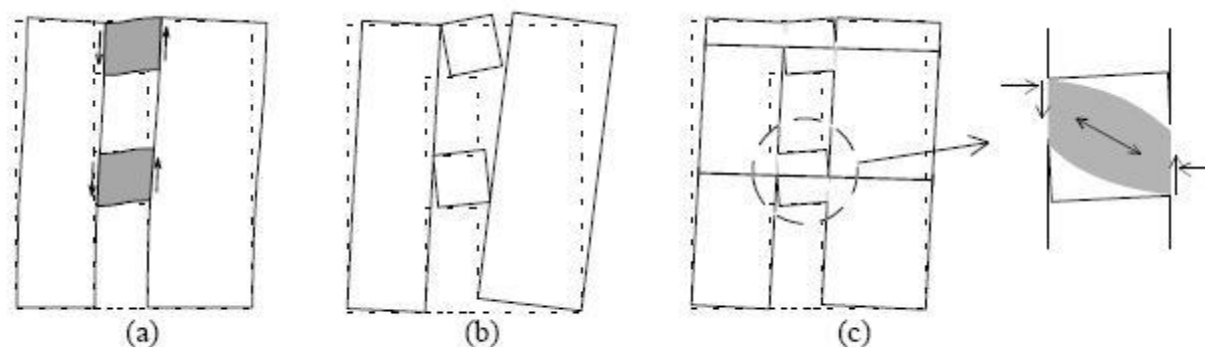
COME SI FA PER AUMENTARE IL TAGLIO RESISTENTE ULTIMO DI UN MASCHIO MURARIO?

- 1) Aumentandone lo spessore;
- 2) Adottando i rinforzi proposti dalla normativa che migliorano direttamente le caratteristiche meccaniche della muratura;
- 3) Aumentando il valore di N .

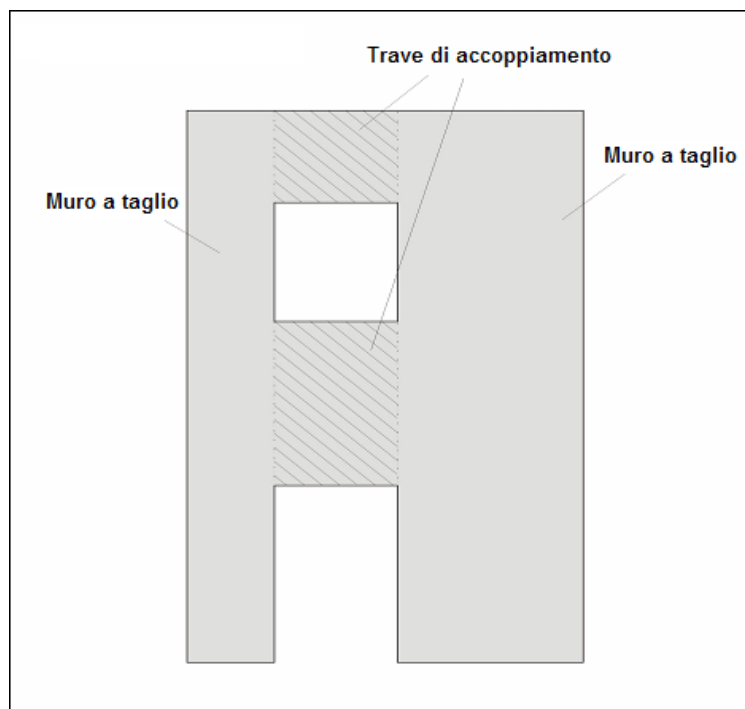
STRUTTURE IN MURATURA

- Meccanismi di Rottura Globali -

4) **FLESSIONE E TAGLIO DI TRAVI DIACCOPPIAMENTO** - Le travi di accoppiamento altrimenti dette fasce di piano forniscono l'accoppiamento tra i maschi murari. Si possono avere rotture per eccessiva compressione del puntone compresso (pressoflessione nel maschio) o per taglio analogo al maschio.



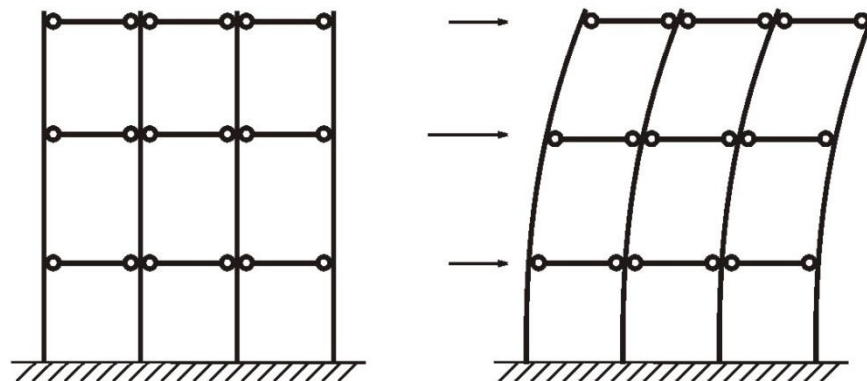
STRUTTURE IN MURATURA



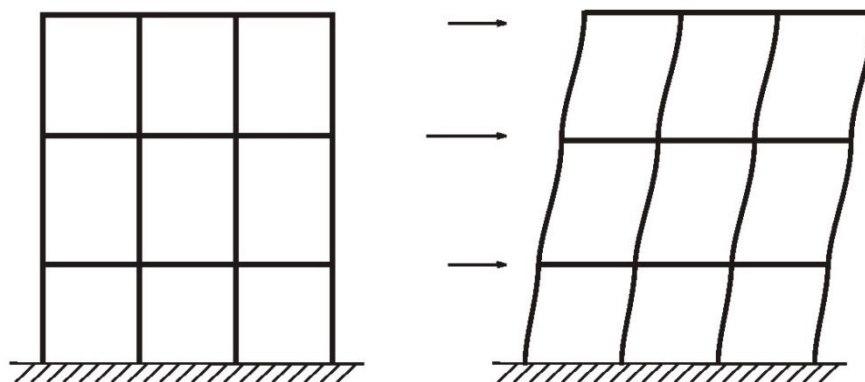
Gli **elementi di accoppiamento** fra pareti diverse, quali travi o cordoli in c.a. e/o travi in muratura (qualora efficacemente ammorsate alle pareti), potranno essere considerati nel modello, a condizione che le verifiche di sicurezza vengano effettuate anche su tali elementi (Modello a Telai Equivalenti).

Gli elementi di accoppiamento in c.a. saranno considerati efficaci solo se aventi un'altezza pari ad almeno lo spessore del solaio. **Gli elementi di accoppiamento in muratura ordinaria invece potranno essere considerate nel modello di calcolo solo se sorrette da un cordolo di piano e/o da un architrave resistente a flessione efficacemente ammorsato alle estremità.**

STRUTTURE IN MURATURA



Schema con elementi di accoppiamento non efficaci

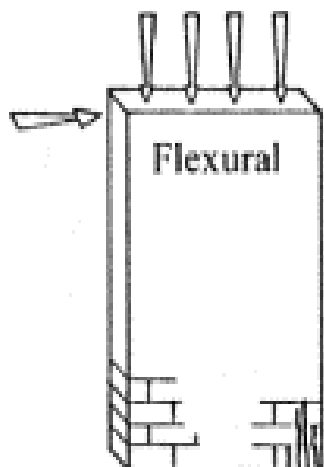


Schema con elementi di accoppiamento efficaci

STRUTTURE IN MURATURA

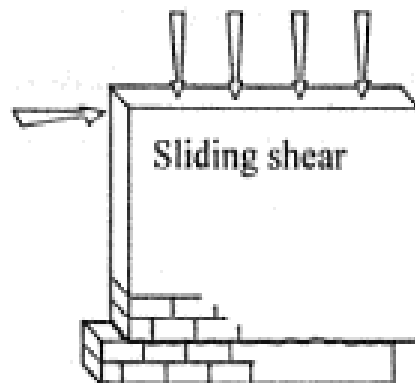
- Meccanismi di Rottura Globali -

Rottura per Flessione



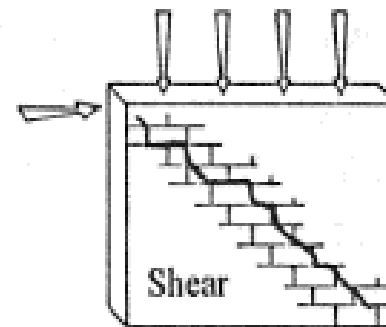
$$\delta_u = 0.010 \cdot h$$

Rottura per Scorrimento



$$\delta_u = 0.005 \cdot h$$

Rottura per Taglio



$$\delta_u = 0.005 \cdot h$$



STRUTTURE IN MURATURA

- Meccanismi di Rottura Globali -

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.

Nel caso della muratura armata, e per particolari situazioni della muratura non armata, si farà riferimento a norme tecniche di comprovata validità.

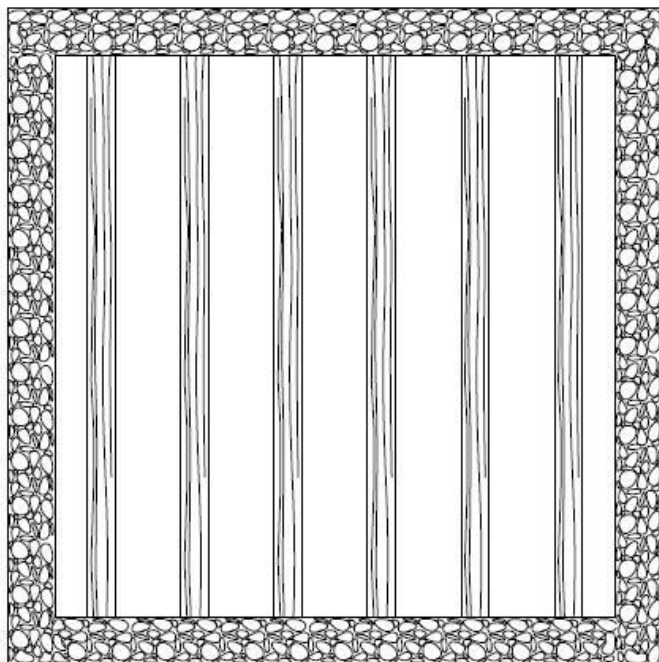
STRUTTURE IN MURATURA

- Meccanismi di Collasso Locali -

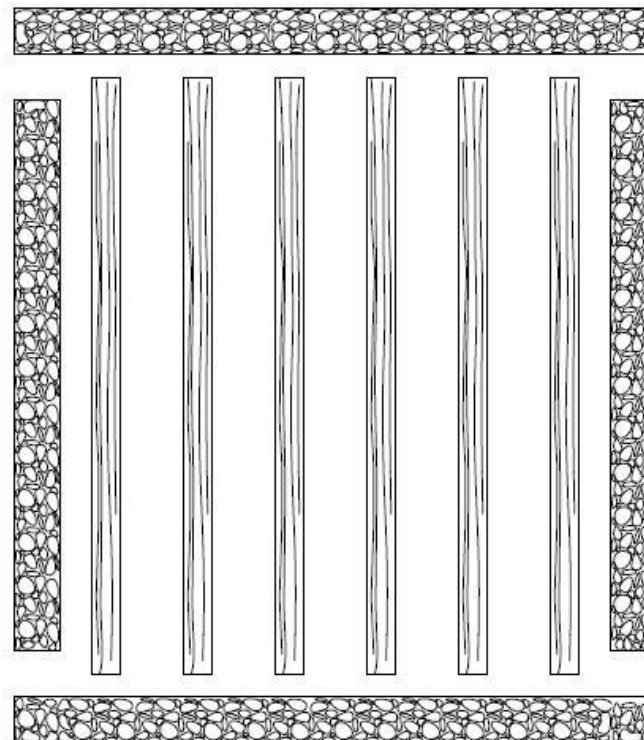


STRUTTURE IN MURATURA

- Meccanismi di Collasso Locali -



Corretto Ammorsamento



Mancato Ammorsamento

Distacco delle pareti di facciata
Sfilamento delle travi ortogonali alla facciata

STRUTTURE IN MURATURA

- Meccanismi di Collasso Locali -



Scarso ammorsamento fra le pareti

STRUTTURE IN MURATURA

- Meccanismi di Collasso Locali -



Scarso ammorsamento fra solai e pareti

STRUTTURE IN MURATURA

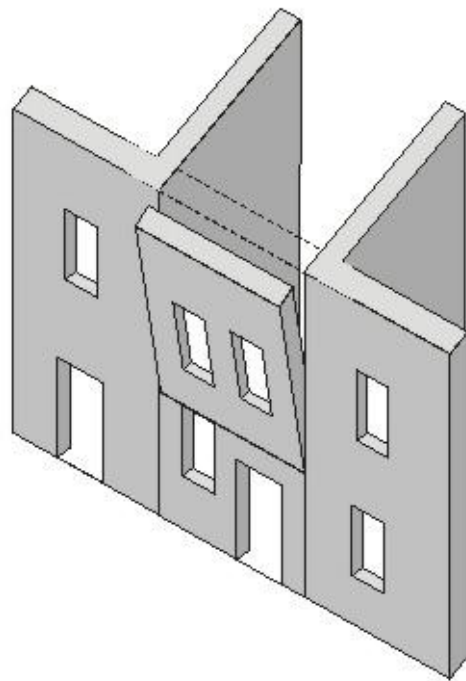
- Meccanismi di Collasso Locali -



Scarso ammorsamento fra solai e pareti

STRUTTURE IN MURATURA

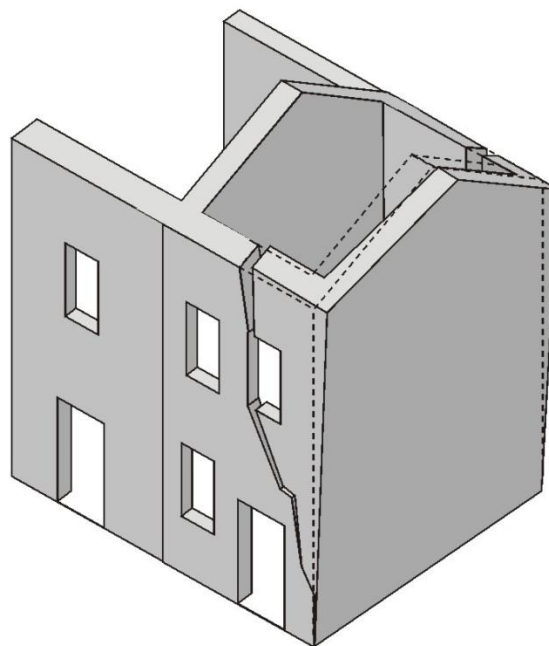
RIBALTAMENTO GLOBALE



Questo meccanismo è fortemente condizionato dalle condizioni di ammassamento alle estremità delle pareti. Se, ad esempio per ragioni costruttive, la parete in oggetto fosse stata realizzata successivamente rispetto agli edifici contermini, senza alcun ammassamento, si avrà un ribaltamento globale, cioè che interesserà tutta l'estensione della parete. Il meccanismo sarà favorito dalla presenza di una copertura di tipo spingente.

STRUTTURE IN MURATURA

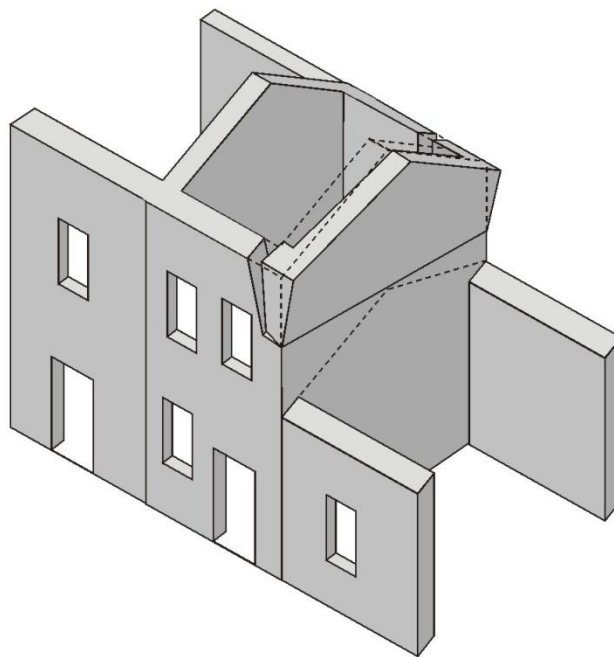
RIBALTAMENTO GLOBALE



Questo tipo di meccanismo può interessare edifici posizionati all'estremità di una sequenza di costruzioni fra di loro in contatto. Le modalità di formazione del meccanismo sono legate alle condizioni di ammassamento fra la parete di testata e quelle ortogonali. In presenza di un collegamento scadente la lesione principale di distacco avrà andamento pressoché verticale e sarà molto prossima alla zona di connessione. Con un buon collegamento invece la lesione sarà inclinata e coinvolgerà una cospicua parte della parete laterale. La vicinanza di aperture all'angolata farà sì che l'andamento della lesione le coinvolga in quanto punti di debolezza intrinseca.

STRUTTURE IN MURATURA

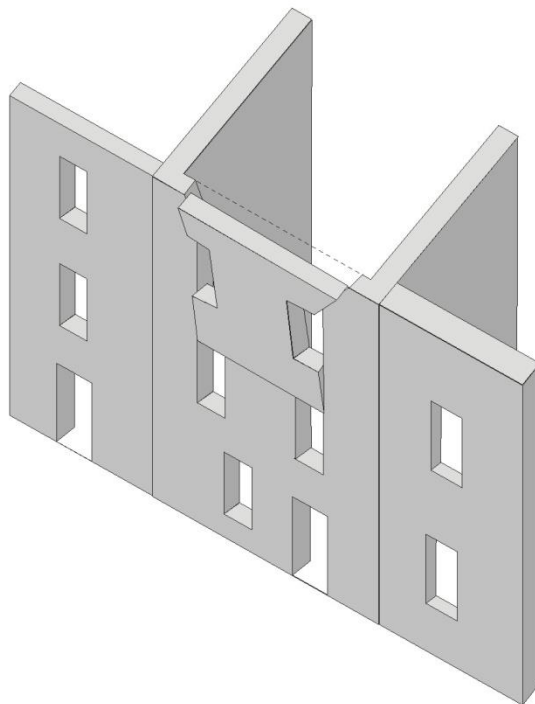
RIBALTAMENTO GLOBALE



Si tratta di un meccanismo analogo a quello di rotazione globale e ne costituisce una variante nel caso in cui vi sia un corpo addossato di altezza inferiore che ne limita il completo sviluppo.

STRUTTURE IN MURATURA

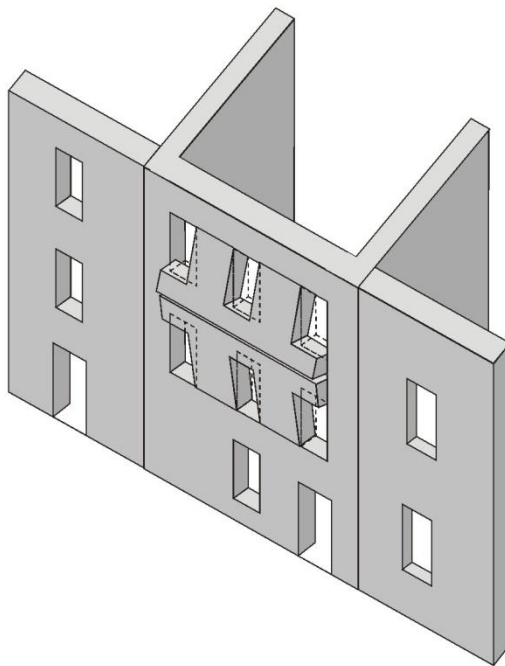
RIBALTAMENTO PARZIALE



Si tratta di una variante del meccanismo di ribaltamento globale in presenza di un buon ammorsamento alle pareti ortogonali e di aperture vicine alle estremità. Può interessare uno o più piani in relazione alla qualità del collegamento della parete ai solai intermedi. Il meccanismo è favorito da una copertura di tipo spingente.

MECCANISMI DI ROTTURA

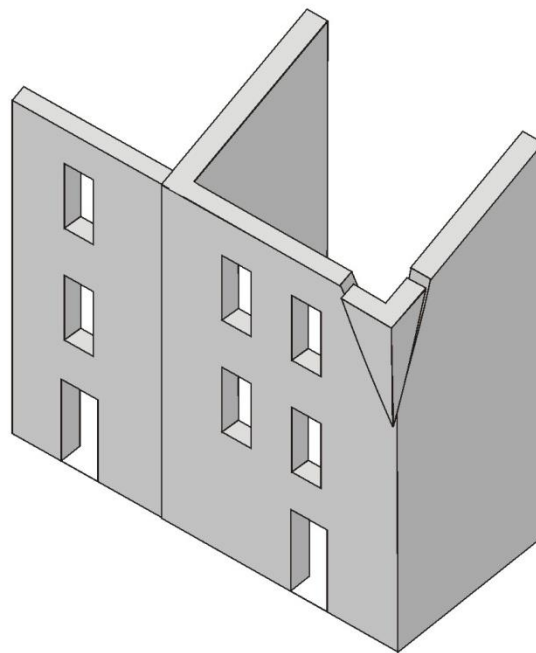
RIBALTAMENTO PARZIALE



Il meccanismo rappresentato è una variante di quello di ribaltamento globale in presenza di un trattenimento (vincolo) alla sommità quale ad esempio un cordolo di notevoli dimensioni. Il meccanismo sarà favorito dall'assenza di collegamento efficace della parete ai solai intermedi e dalla qualità scadente della muratura che la rende instabile.

MECCANISMI DI ROTTURA

MECCANISMI LOCALIZZATI



Si tratta di un meccanismo provocato dall'azione combinata delle forze agenti sui pannelli murari ortogonali formanti l'angolata. Il blocco ruota verso l'esterno con formazione di una cerniera nella parte bassa. Il meccanismo sarà favorito dalla presenza di un puntone spingente che poggia sull'angolata.

STRUTTURE IN MURATURA

Meccanismo Locale



STRUTTURE IN MURATURA

Meccanismo Locale



STRUTTURE IN MURATURA

Meccanismo Locale



STRUTTURE IN MURATURA

Meccanismo Locale



STRUTTURE IN MURATURA

Meccanismo Locale





STRUTTURE IN MURATURA

TIPI DI ANALISI

ANALISI LINEARI: Statiche o dinamiche. Le analisi lineari **non sono mai adatte ai problemi di verifica** ma **funzionano bene esclusivamente per i problemi di progetto**. Questo è vero **in particolare per le murature**.

ANALISI NON LINEARI STATICHE: Sono le analisi più efficienti in ambito tecnico-professionale in quanto sono abbastanza raffinate da modellare la capacità sismica degli edifici tenendo in conto della risposta anelastica e nel contempo robuste dal punto di vista numerico. Hanno inoltre il vantaggio di modellare la domanda in termini di spettri dello spostamento.

ANALISI NON LINEARI DINAMICHE: In teoria sono le analisi più corrette ma nella pratica presentano ancora varie **difficoltà applicative** tra cui: modelli numerici molto complessi, difficoltà di reperire modelli efficienti e realistici per la muratura, modellazione della domanda sismica legata alla scelta degli accelerogrammi. Tali analisi vanno condotte da specialisti.



STRUTTURE IN MURATURA

TIPI DI ANALISI

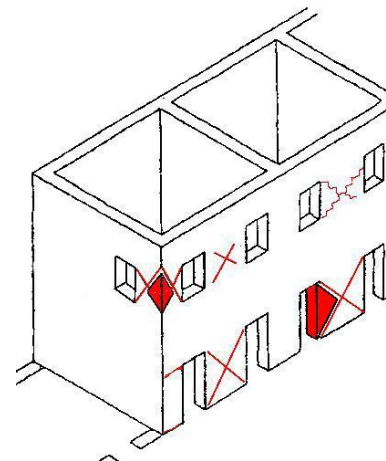
Nel caso di edifici in muratura non è ancora stata messa a punto una tecnica di modellazione che ne consenta di descrivere il comportamento ciclico non lineare

La verifica sismica non lineare di edifici in muratura deve essere necessariamente condotta tramite analisi **push-over**

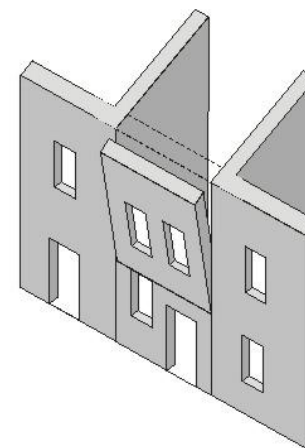
Anche in campo statico la **modellazione non lineare** del sistema strutturale risulta essere decisamente più complessa rispetto alle strutture intelaiate

STRUTTURE IN MURATURA

Le strutture in muratura essendo caratterizzate da un comportamento non lineare risultano, in ogni caso, più significativamente rappresentate attraverso un'analisi statica non lineare.

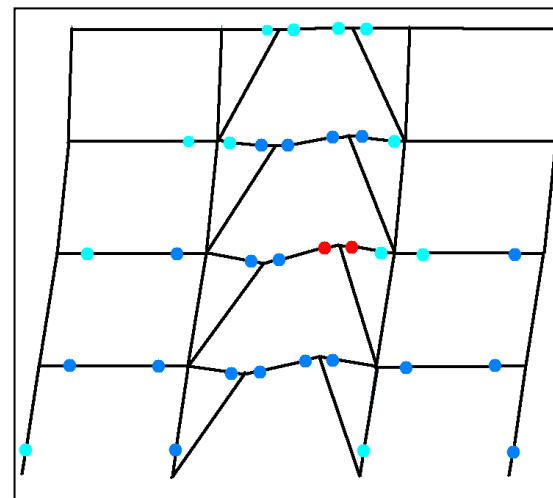
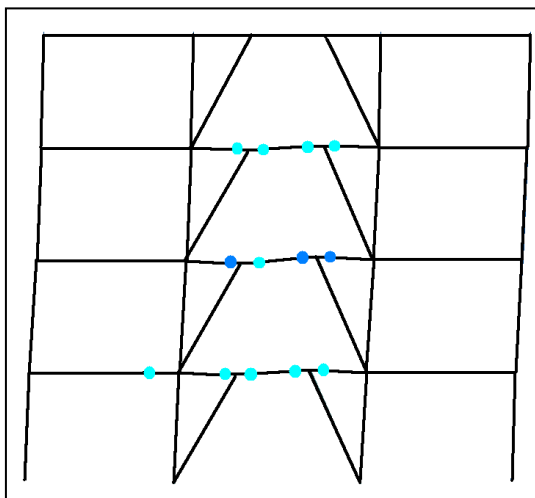
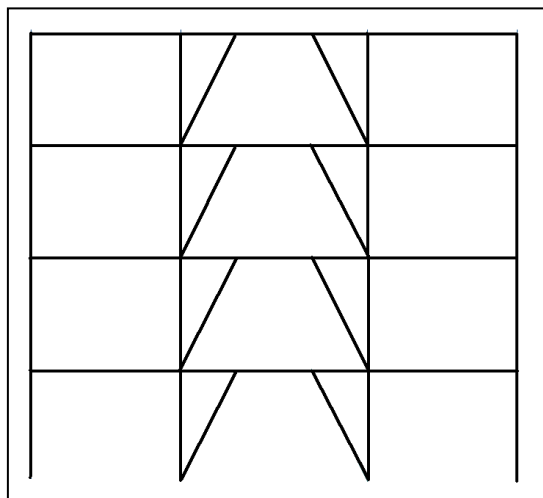


Tale metodo prevede, in ogni caso, solo una verifica globale in spostamento e non le verifiche nei singoli elementi. Le **verifiche fuori piano** potranno, invece, essere effettuate separatamente secondo le procedure indicate per l'analisi statica lineare.



ANALISI SISMICA STATICA NON LINEARE PUSH-OVER

L'analisi viene condotta utilizzando tecniche di tipo statiche incrementali quali ad esempio la tecnica **event by event**. In pratica si tratta di caricare la struttura con forze orizzontali via via crescenti e di determinare per ogni incremento di carico la risposta della struttura prendendo in considerazione eventuali plasticizzazioni, rotture fragili, effetti P-Delta, rotture locali dei nodi ed aggiornando di conseguenza il modello strutturale.

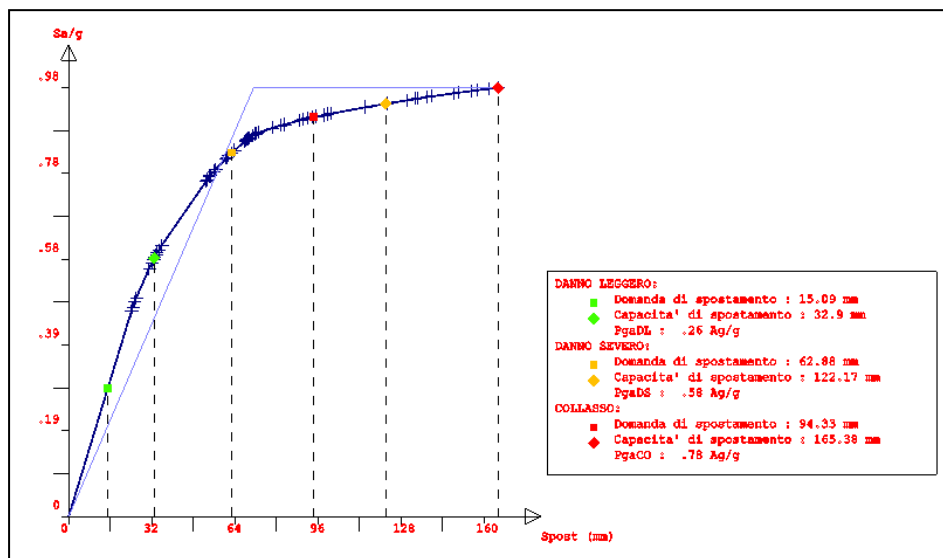


ANALISI SISMICA STATICA NON LINEARE PUSH-OVER

Nell'analisi statica non lineare le verifiche vengono effettuate come confronto tra la domanda di spostamento e la capacità in spostamento.

SLD stato limite di danno: dello spostamento minore tra quello corrispondente al raggiungimento della massima forza e quello per il quale lo spostamento relativo fra due punti sulla stessa verticale appartenenti a piani consecutivi eccede i valori riportati al punto 4.11.2 (0.3%);

SLU stato limite ultimo: dello spostamento corrispondente ad una riduzione delle forze non superiore al 20% del massimo. Il valore di q^* calcolato secondo quanto indicato al punto 4.5.4.4 **non potrà comunque eccedere 3.0** per gli edifici in muratura ordinaria e per gli edifici in muratura armata in cui non si sia applicato il criterio di gerarchia delle resistenze. La rigidezza elastica del sistema bilineare equivalente verrà individuata tracciando la secante alla curva di capacità nel punto corrispondente ad un taglio alla base pari a 0.7 volte il valore massimo (taglio massimo alla base). Il tratto orizzontale della curva bilineare verrà individuato tramite l'uguaglianza delle aree sottese dalle curve tracciate fino allo spostamento ultimo del sistema.

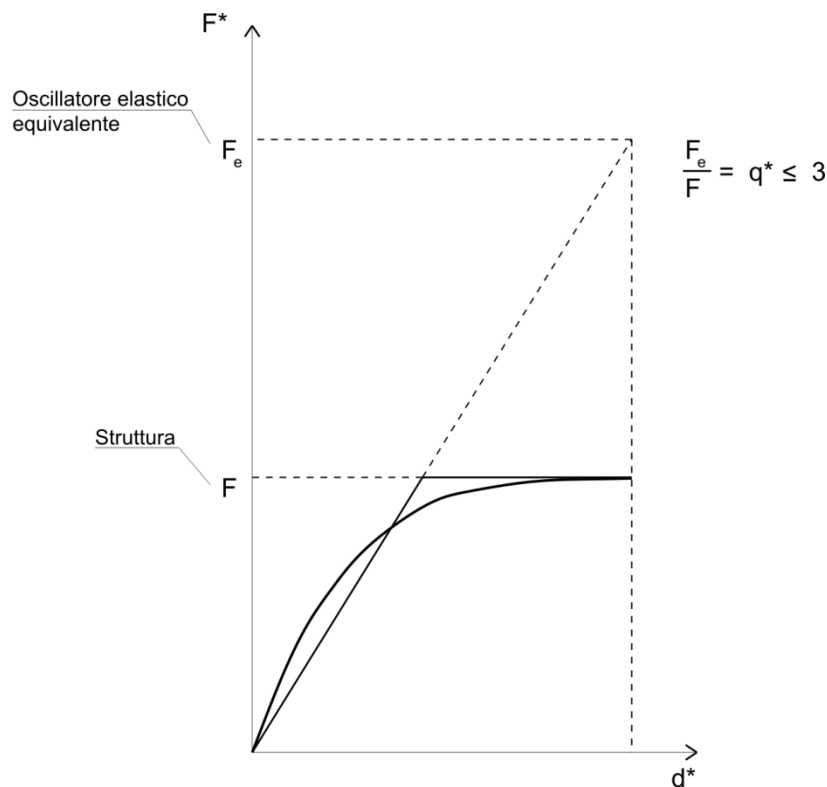


ANALISI SISMICA STATICA NON LINEARE PUSH-OVER

N.T.C. 2008

7.8.1.6 Verifiche di sicurezza

[...] In ogni caso, per le costruzioni in muratura ordinaria, e per le costruzioni in muratura armata in cui non si sia applicato il criterio di gerarchia delle resistenze, nelle quali il rapporto tra il taglio totale agente sulla base del sistema equivalente ad un grado di libertà calcolato dallo spettro di risposta elastico e il taglio alla base resistente del sistema equivalente ad un grado di libertà ottenuto dall'analisi non lineare ecceda il valore **3,0**, la verifica di sicurezza deve ritenersi non soddisfatta.

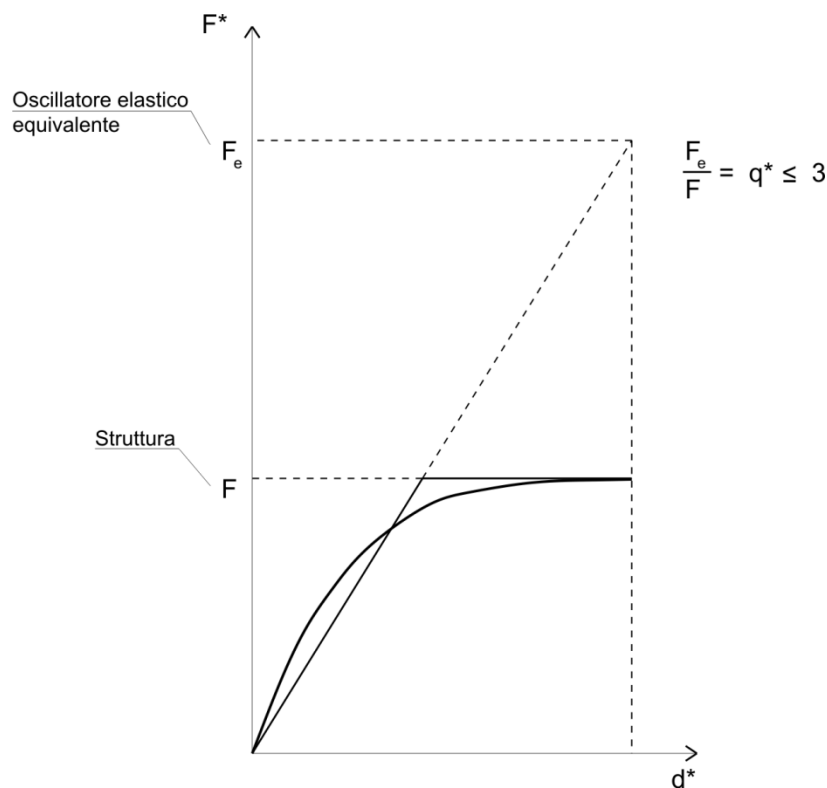


ANALISI SISMICA STATICA NON LINEARE PUSH-OVER

N.T.C. 2018

7.8.1.6 Verifiche di sicurezza

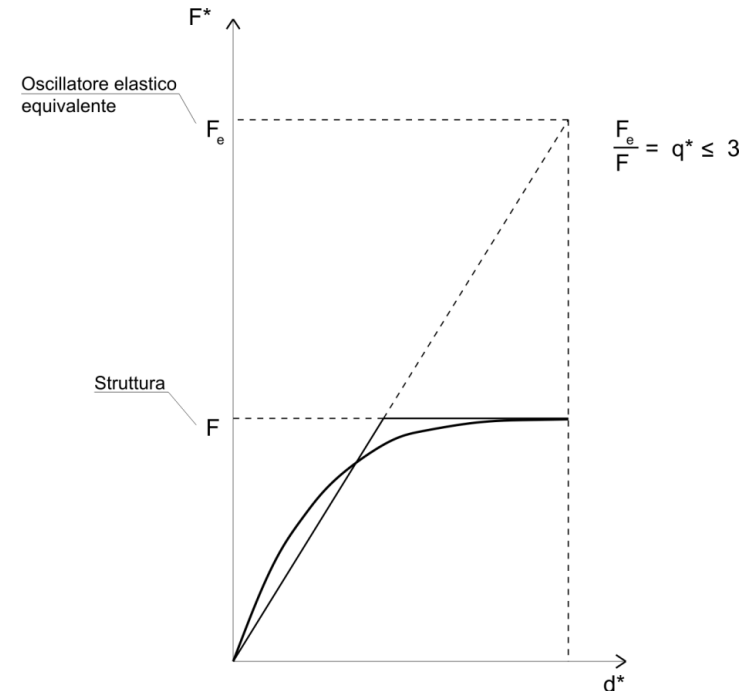
[...] In ogni caso, sia per le costruzioni in muratura ordinaria sia per le costruzioni in muratura armata senza progettazione in capacità, la verifica di sicurezza non è soddisfatta qualora il rapporto tra taglio totale agente alla base del sistema equivalente a un grado di libertà, calcolato con lo spettro di risposta elastico, e taglio alla base resistente del sistema equivalente a un grado di libertà ottenuto dall'analisi non lineare, ecceda il valore **4,0**.



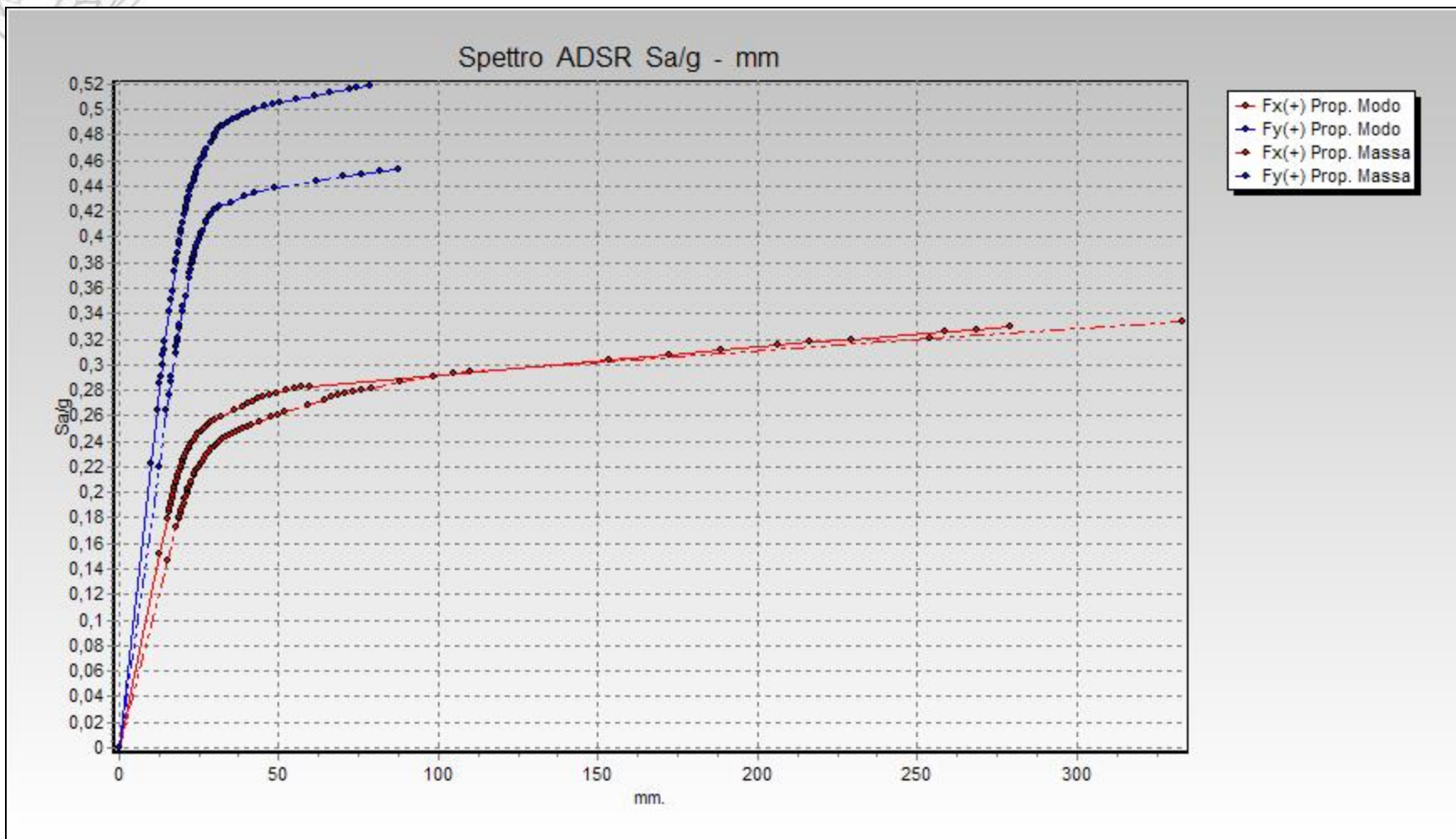
ANALISI SISMICA STATICA NON LINEARE PUSH-OVER

Le principali cause che portano ad ottenere un valore di $q^* > 4$, sulle quali si deve intervenire al fine di rendere valide le Pushover sviluppate, sono le seguenti:

1. ridotta rigidezza della struttura, possibilmente legata anche allo scarso livello di conoscenza raggiunto (LC1), dato che in questa condizione si deve adottare un fattore di confidenza pari a 1,35, che va quindi ad abbattere il valore della rigidezza ipotizzata per i materiali;
2. ridotta resistenza complessiva della muratura;
3. presenza di un piano significativamente più deformabile degli altri (ad esempio: impalcato di sottotetto avente pareti di gronda che, nel modello ad aste equivalente, risentono della presenza di aperture ai piani inferiori);
4. presenza di masse significative sull'ultima quota, nel caso in cui questa sia un impalcato di interpiano.

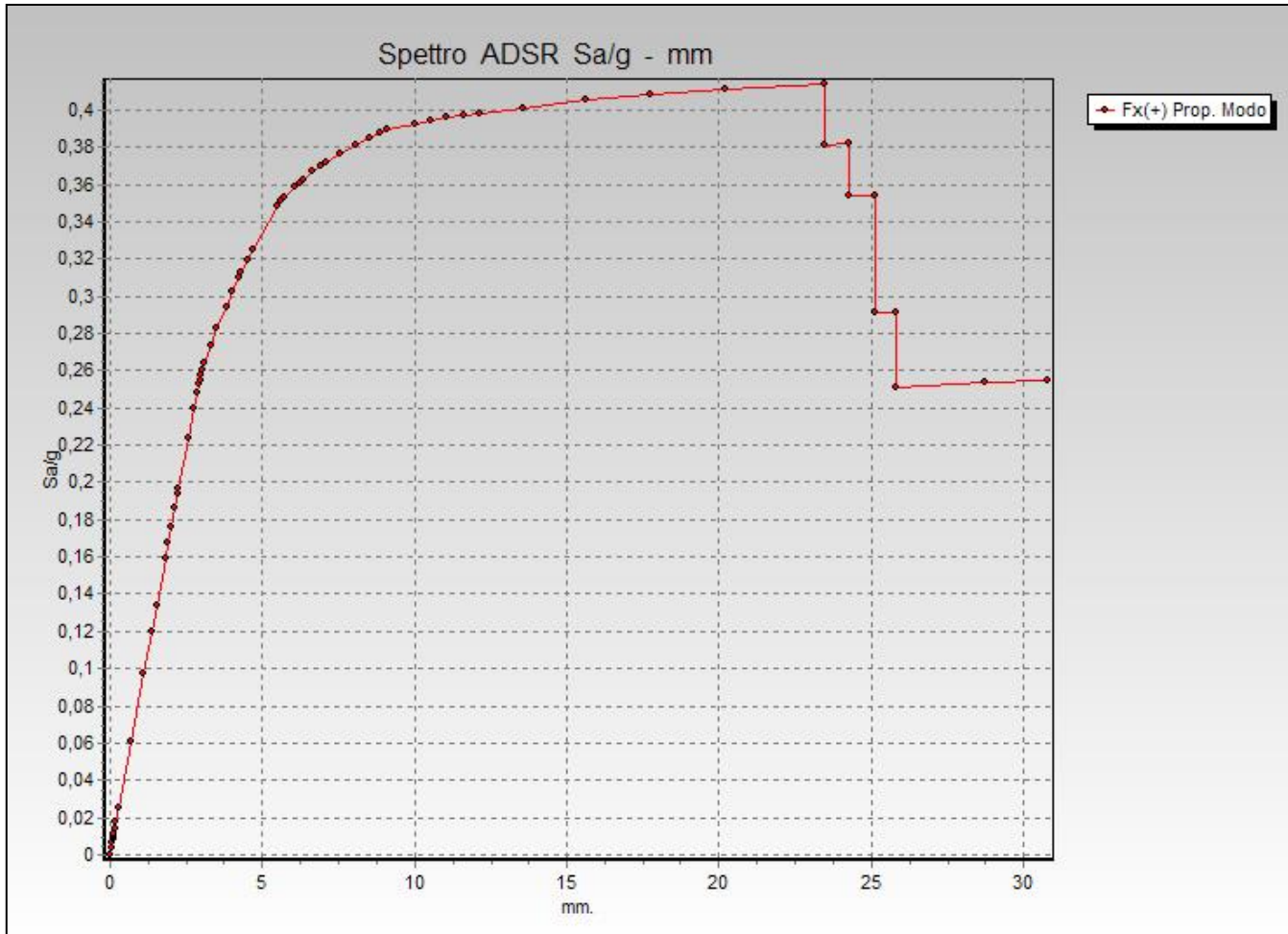


ANALISI SISMICA STATICA NON LINEARE PUSH-OVER





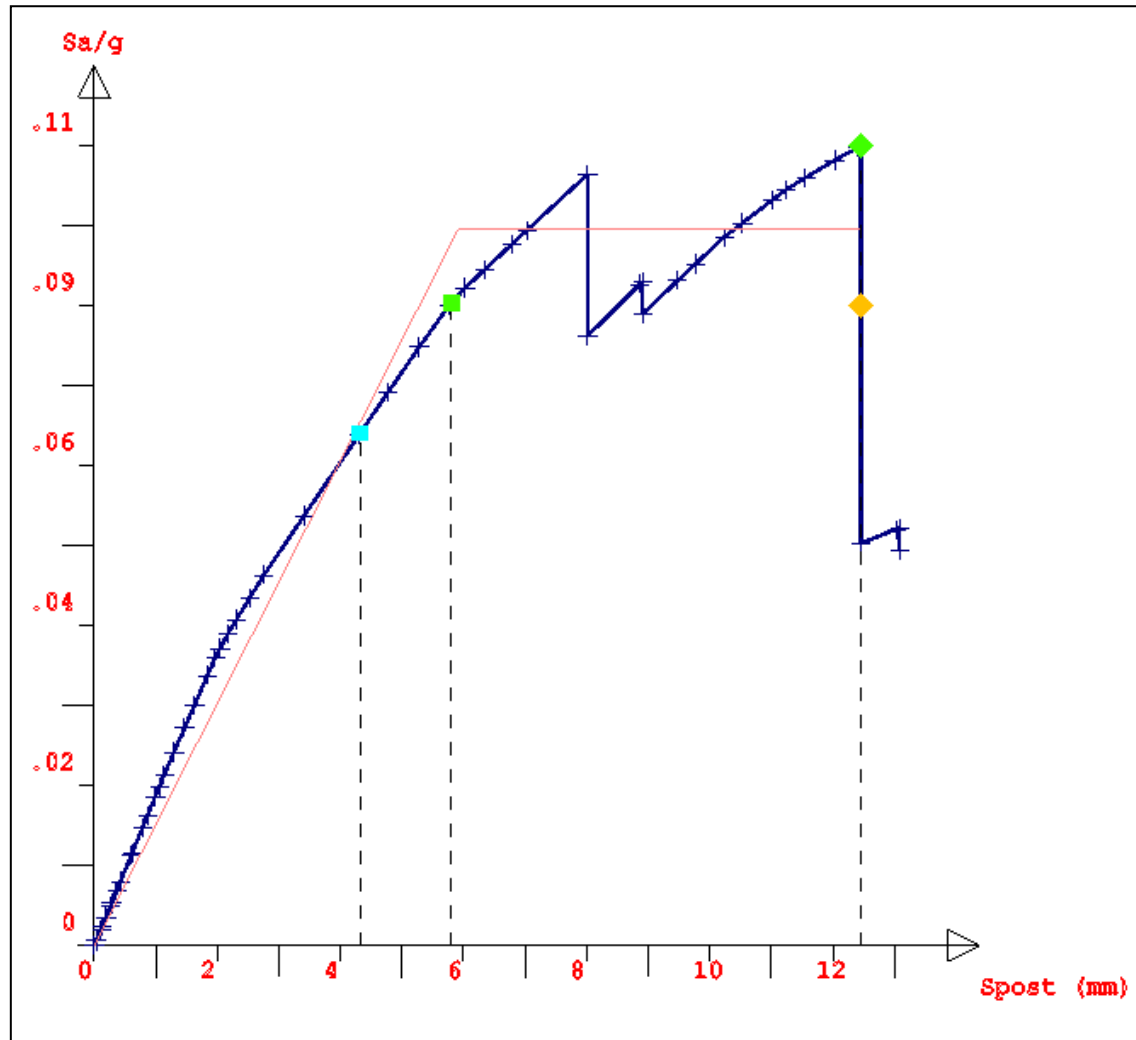
ANALISI SISMICA STATICA NON LINEARE PUSH-OVER



Curva di capacità multicollasso per gli edifici in muratura



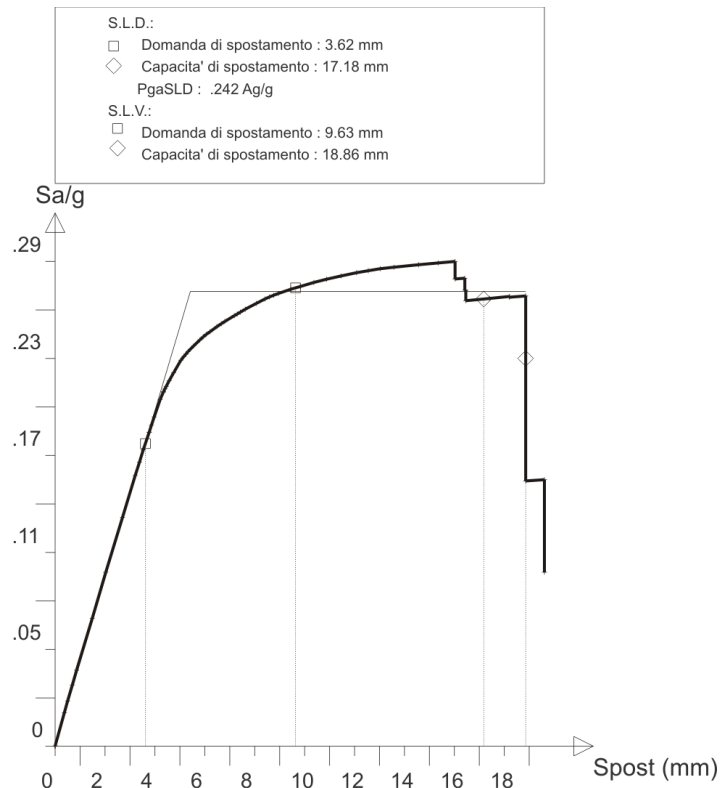
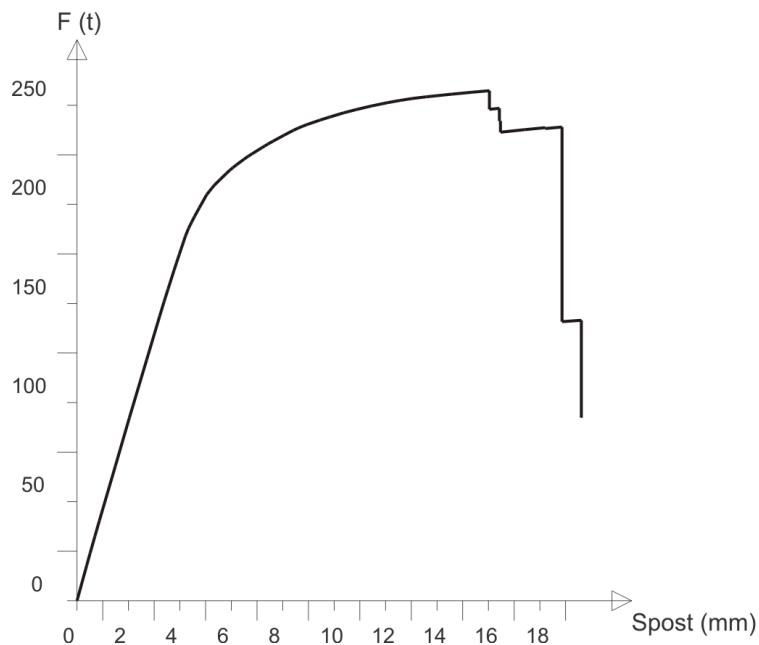
ANALISI SISMICA STATICA NON LINEARE PUSH-OVER



“Softening” del 20% della resistenza per gli edifici in muratura



ANALISI SISMICA STATICA NON LINEARE PUSH-OVER

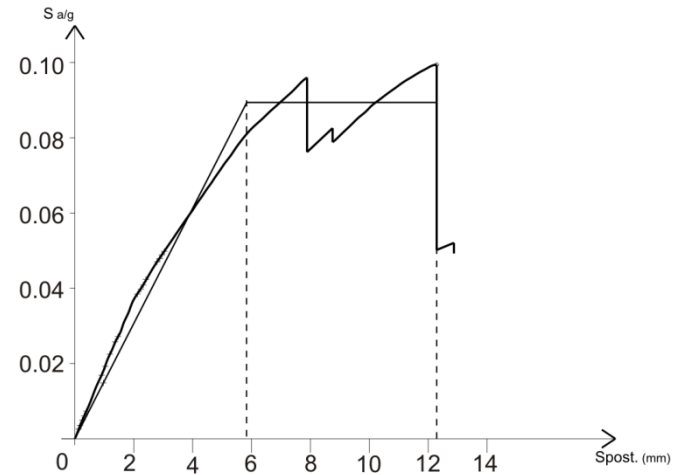


“Softening” del 20% della resistenza per gli edifici in muratura

ANALISI SISMICA STATICA NON LINEARE PUSH-OVER

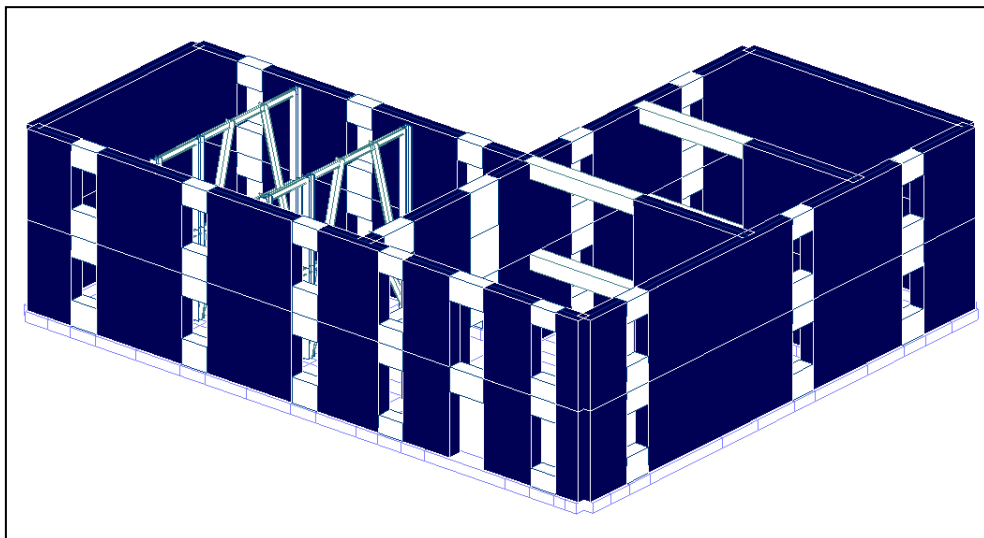
Interruzione dell'analisi Pushover

- raggiungimento del numero massimo di collassi che il tecnico ha deciso di fissare, a monte del calcolo di verifica, ad esempio per garantire all'opera un livello di sicurezza maggiore;
- raggiungimento del valore massimo della deformazione del punto di controllo, che il solito tecnico ha fissato in maniera un po' troppo conservativa (in generale infatti tale valore va impostato in modo da non limitare il normale svolgimento dell'analisi Pushover, ma bloccarne lo sviluppo quando un'evidente anomalia deformativa si sta verificando, ad esempio per un'errata modellazione strutturale);
- la struttura, o una parte di essa, è diventata labile. A causa della formazione di diverse cerniere plastiche in una porzione concentrata del fabbricato (ad esempio sulle estremità di tutti maschi murari dello stesso piano), lo stesso potrebbe generare un cinematismo che ne rende impossibile lo studio sotto l'azione incrementale che la Pushover prevede;
- raggiungimento del "softening" pari al 20% della resistenza massima.

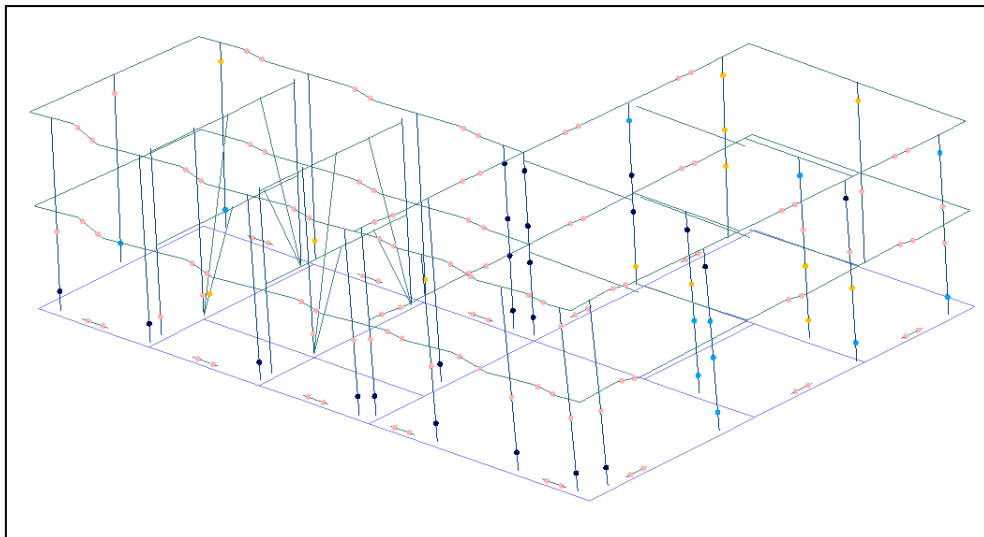


STRUTTURE IN MURATURA

- ANALISI SISMICA STATICA NON LINEARE PUSH-OVER -

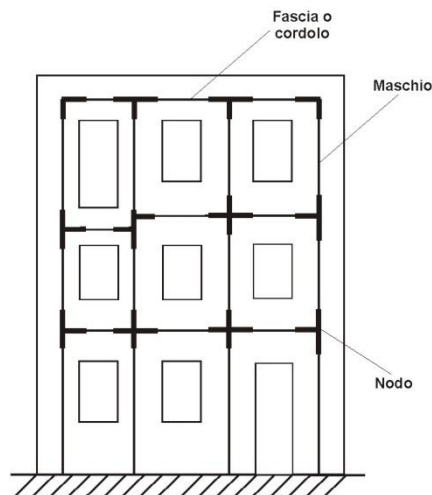


Schematizzazione del modello di calcolo per l'analisi Push-Over di un edificio in muratura



STRUTTURE IN MURATURA

- ANALISI NON LINEARE -



Modello SAM a telai equivalenti (MAGENES - CALVI)

- La modellazione della muratura risulta essere un problema estremamente complesso che deve essere affrontato, per ottenere risultati realistici, con analisi in campo non lineare. Un modello che può essere utilmente adottato è quello del telaio equivalente ad esempio nella formulazione denominata **SAM (Magenes e Calvi - 1996)**. La formulazione originaria bidimensionale del metodo è stata estesa nel caso tridimensionale.
- E' semplice ed affidabile la modellazione con elementi beam anelastici anche di strutture di tipo misto, il modello è infatti in grado di simulare l'interazione tra i diversi materiali.
- Il metodo SAM prevede di **schematizzare una parete forata usando elementi beam non lineari a plasticità concentrata deformabili sia a flessione che a taglio.**

STRUTTURE IN MURATURA

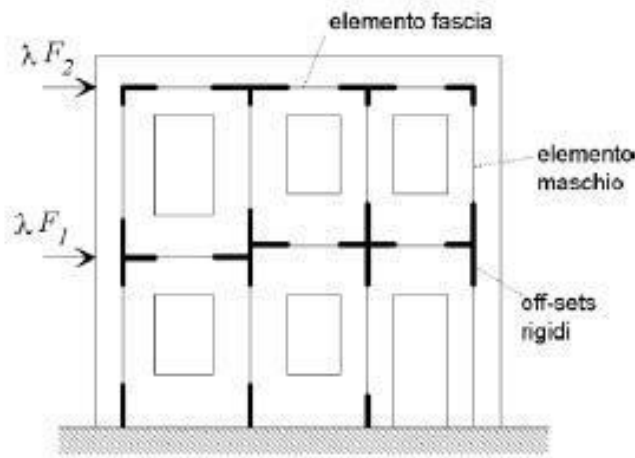


Fig. 13 - Schematizzazione a telaio equivalente di una parete caricata nel piano.

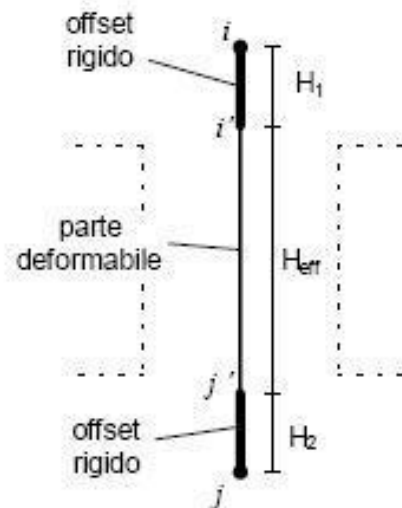


Fig. 14 - L'elemento maschio murario.

Questo modello ha immediato e costante riscontro nelle N.T.C. 2008

8.1.5.2 - Analisi statica lineareOmissis In presenza di elementi di accoppiamento l'analisi potrà essere effettuata utilizzando modelli a telaio, in cui le parti di intersezione tra elementi verticali e orizzontali potranno essere considerate infinitamente rigide.

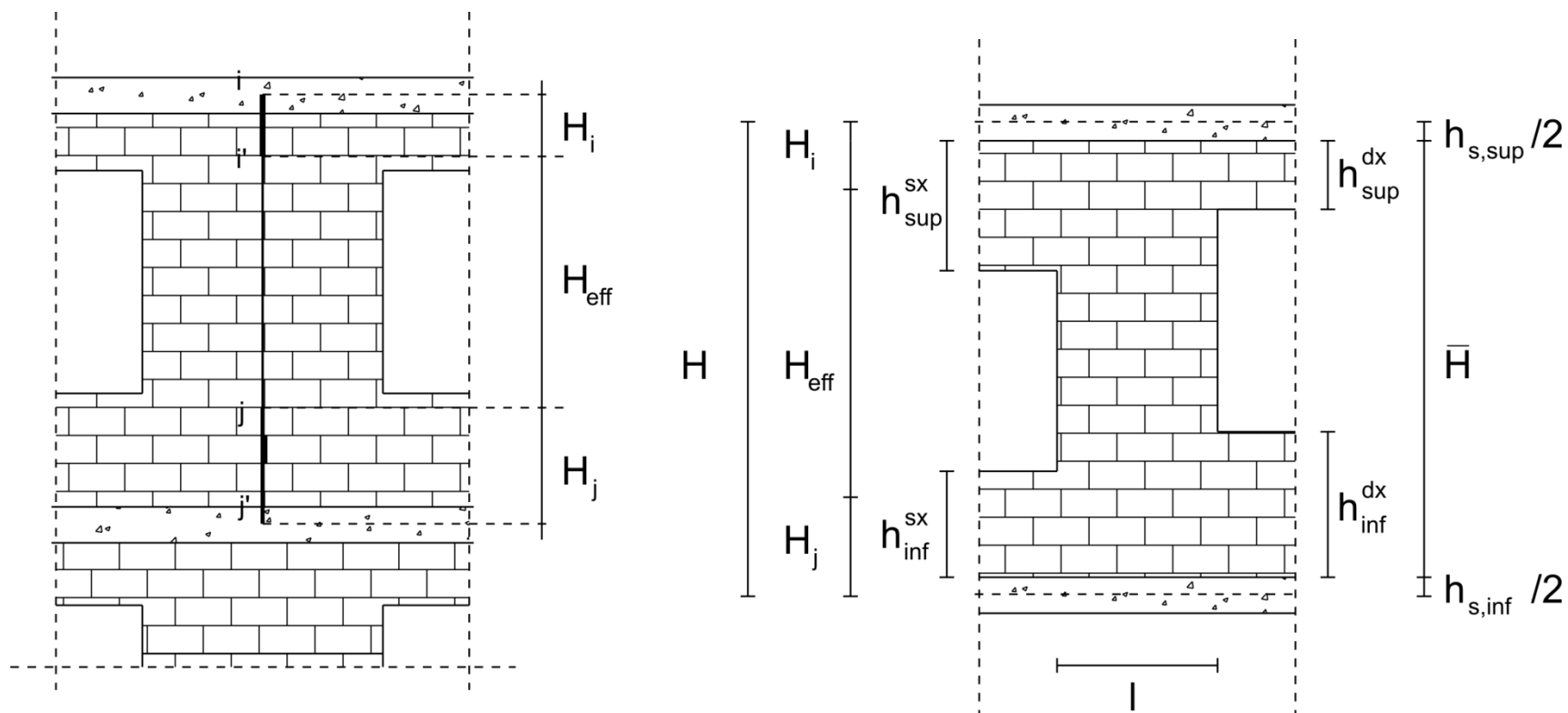
8.1.5.3 - Analisi dinamica modale ...Omissis vale quando riportato per la statica

8.1.5.4 - Analisi statica non lineare Il modello geometrico della struttura potrà essere conforme a quanto indicato nel caso di analisi statica lineare ovvero utilizzando modelli più sofisticati purché idonei e adeguatamente documentati.

STRUTTURE IN MURATURA

Schematizzazione strutturale tramite il

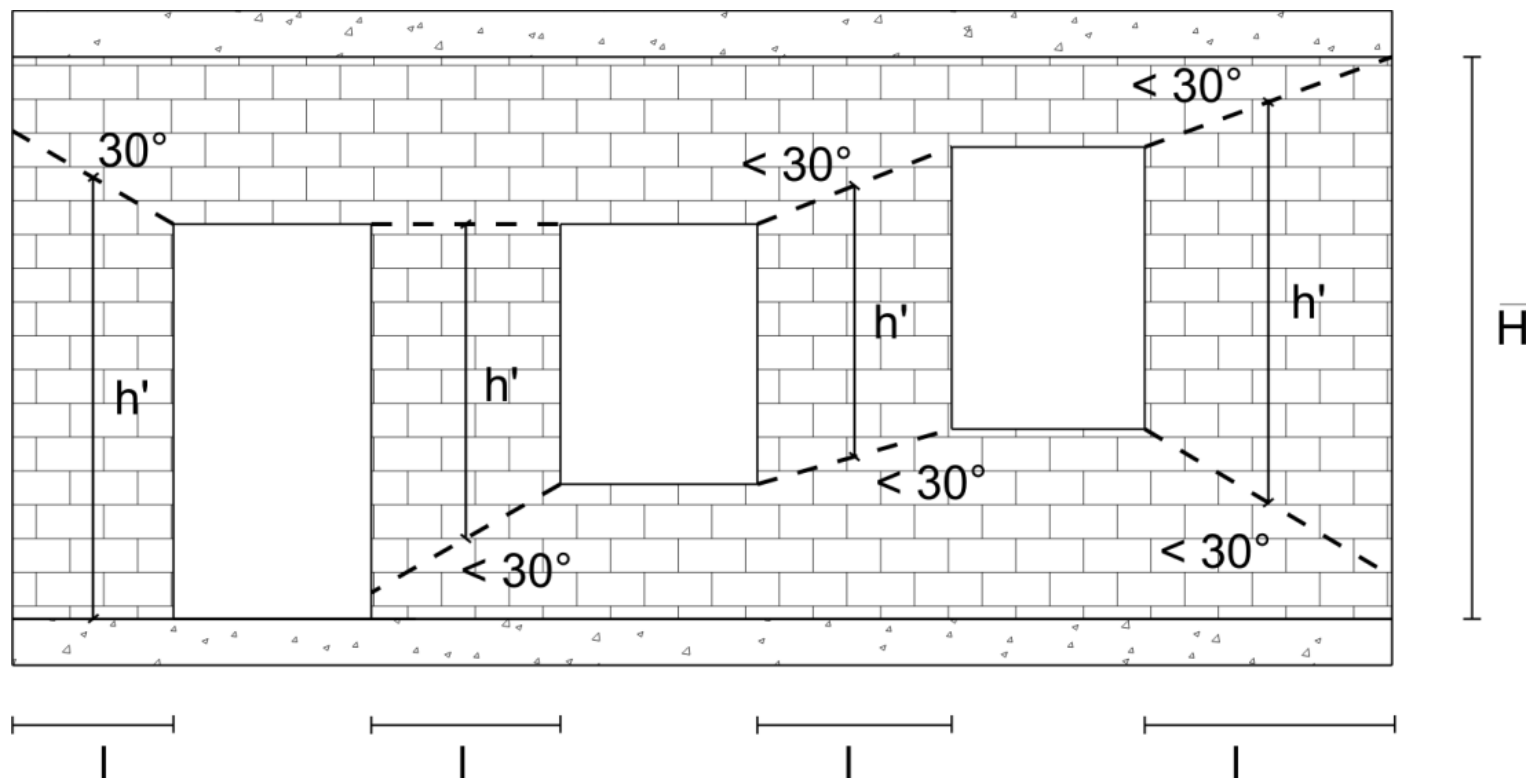
Metodo SAM (Simplified Analysis Method)



STRUTTURE IN MURATURA

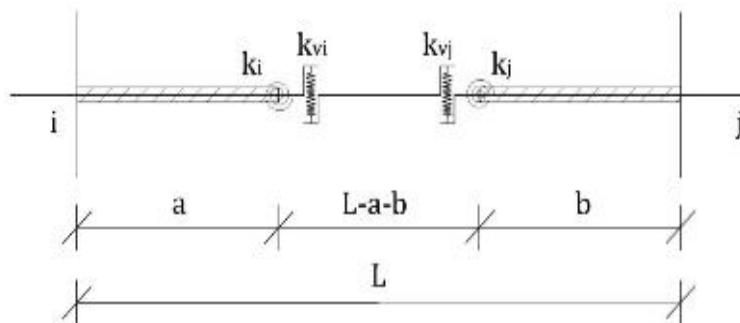
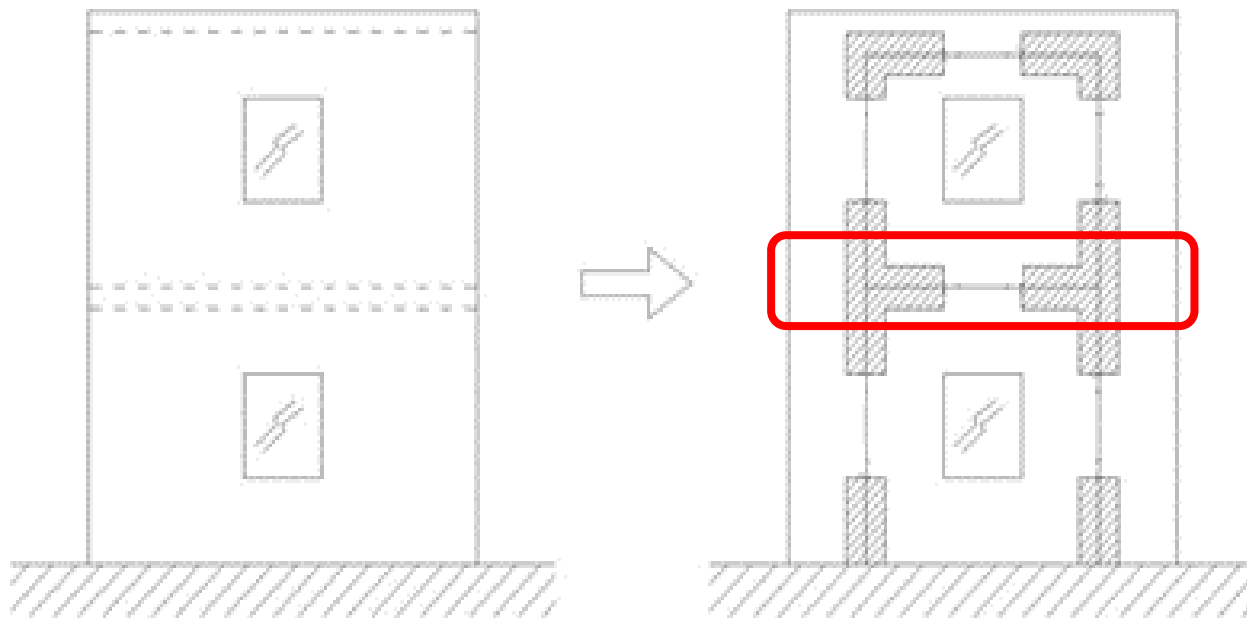
Schematizzazione strutturale tramite il

Metodo SAM (Simplified Analysis Method)



STRUTTURE IN MURATURA

Modello ad Aste



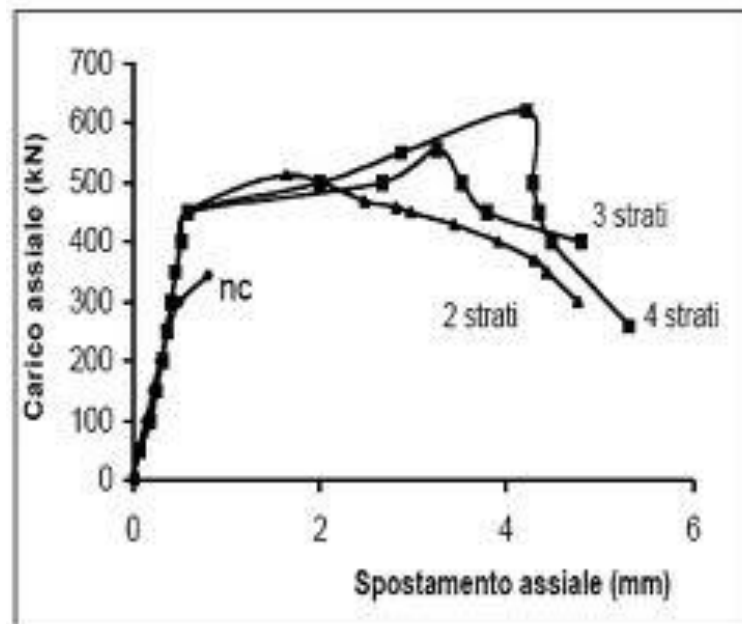
STRUTTURE IN MURATURA



Disposizione irregolare delle aperture.

STRUTTURE IN MURATURA

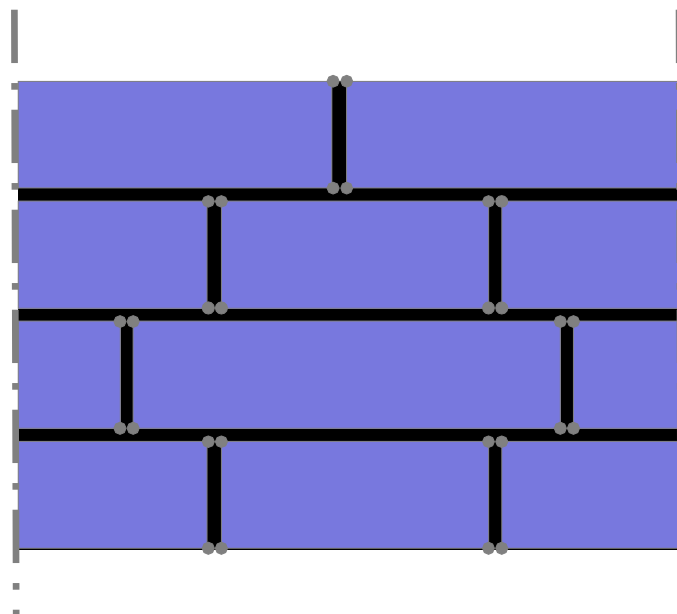
La modellazione di edifici in muratura è un problema particolarmente complesso a causa delle peculiari caratteristiche del materiale muratura che risulta essere fortemente non omogeneo e manifesta comportamento anisotropo e meccanicamente non lineare



STRUTTURE IN MURATURA

Tecnica di micro-modellazione

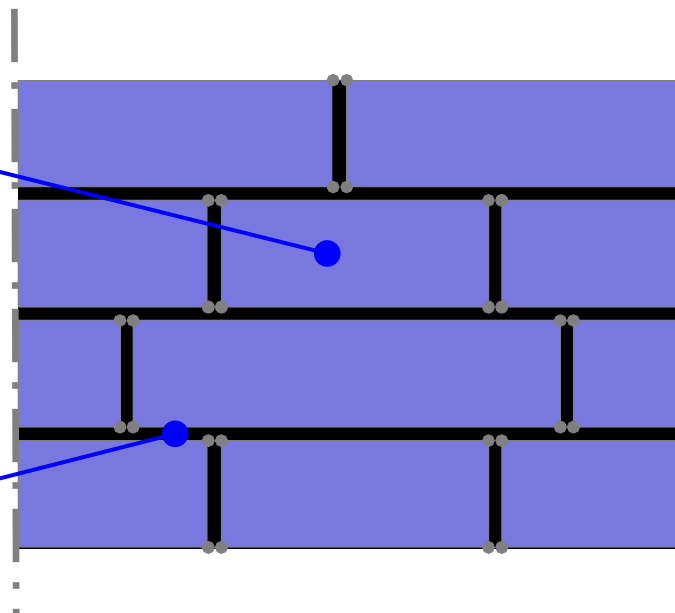
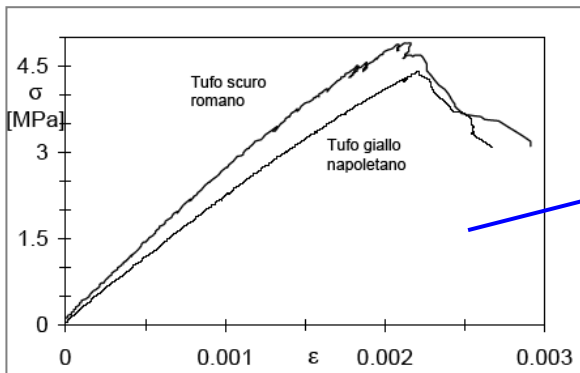
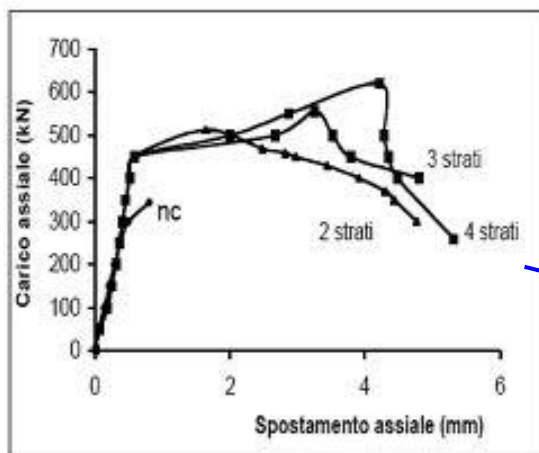
Si discretizza il complesso strutturale in elementi finiti (piani o tridimensionali) differenziando gli elementi blocco da quelli malta



STRUTTURE IN MURATURA

Tecnica di micro-modellazione

Si associa ad ogni elemento finito il competente legame costitutivo





STRUTTURE IN MURATURA

Tecnica di micro-modellazione

Nell'applicazione del metodo agli elementi finiti si utilizzano usualmente modelli semplificati nei quali il materiale è idealizzato come un **continuo omogeneo equivalente** trascurando anche l'anisotropia

Dovranno essere definite le grandezze meccaniche macroscopiche della muratura a partire dalle corrispondenti grandezze dei materiali componenti e dalle caratteristiche dell'interfaccia

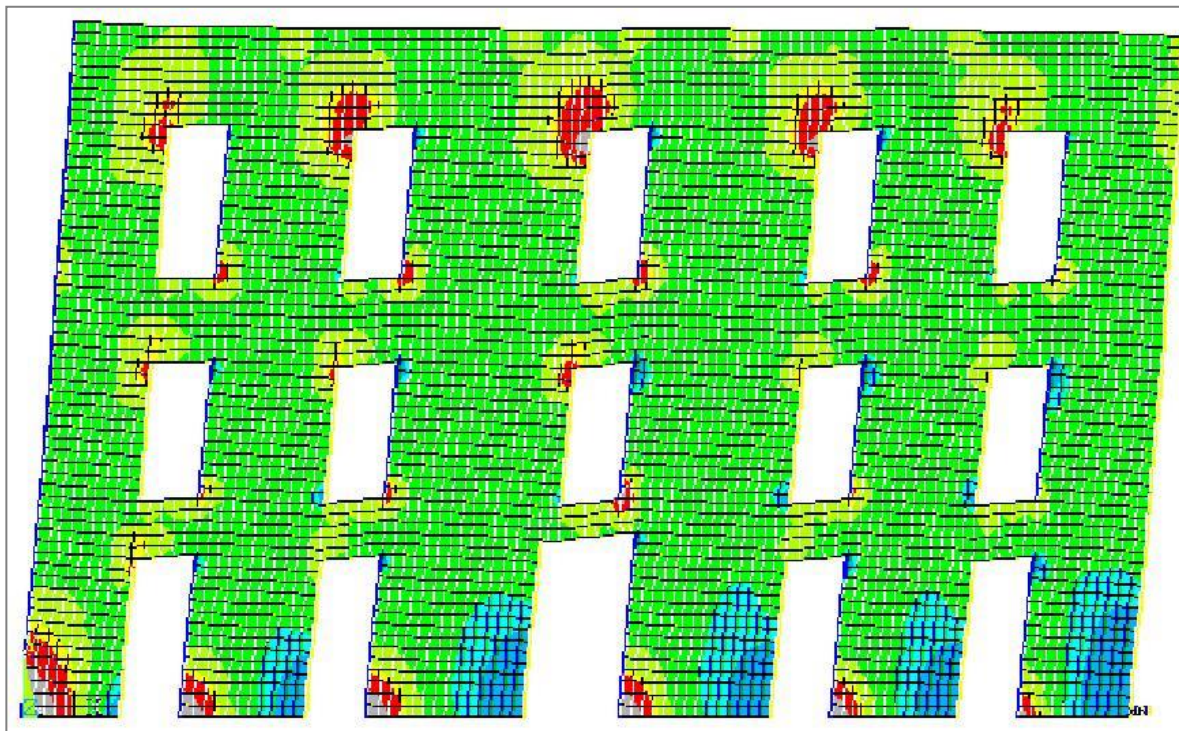
Si tratta di un problema di complessa risoluzione che richiede l'applicazione di **tecniche di omogeneizzazione**

La definizione di un materiale omogeneo equivalente ha senso quando le dimensioni del sistema sono sufficientemente grandi rispetto alle dimensioni dei singoli componenti

STRUTTURE IN MURATURA

Tecnica di micro-modellazione

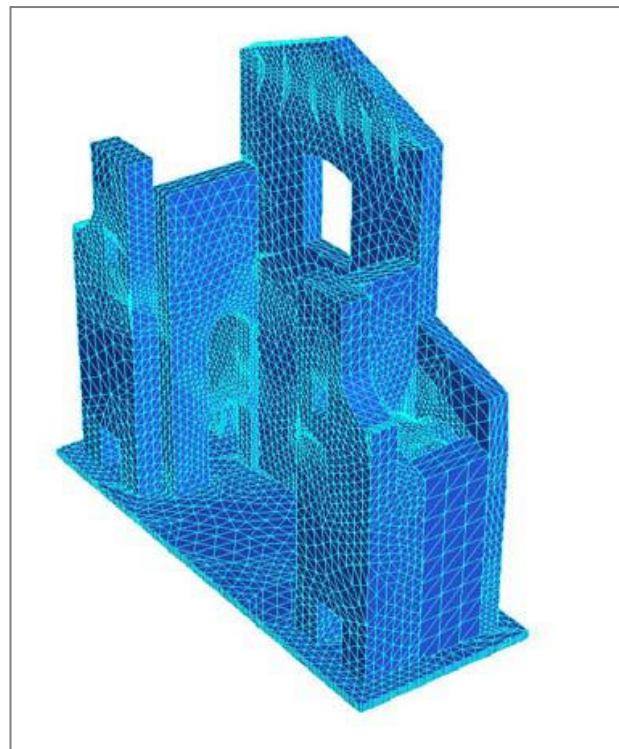
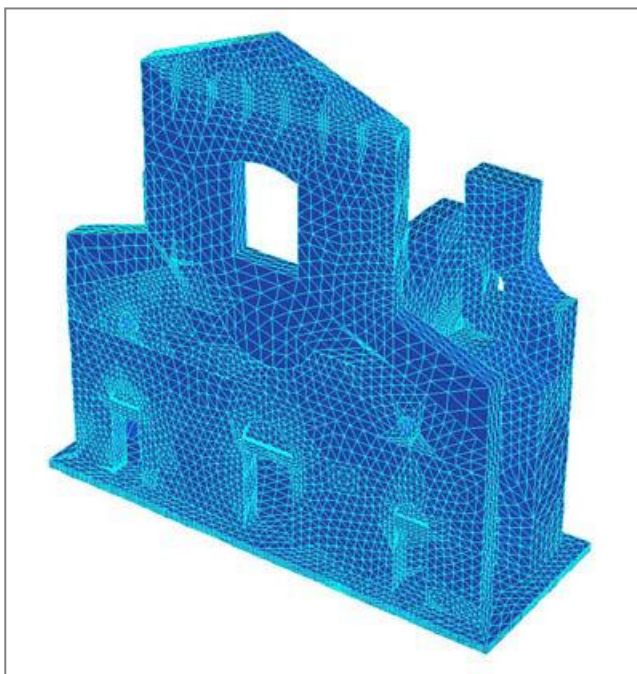
Nella modellazione a continuo equivalente la discretizzazione agli elementi finiti esclusivamente dipende dalla geometria del sistema strutturale



STRUTTURE IN MURATURA

Tecnica di micro-modellazione

Nella modellazione a continuo equivalente la discretizzazione agli elementi finiti esclusivamente dipende dalla geometria del sistema strutturale

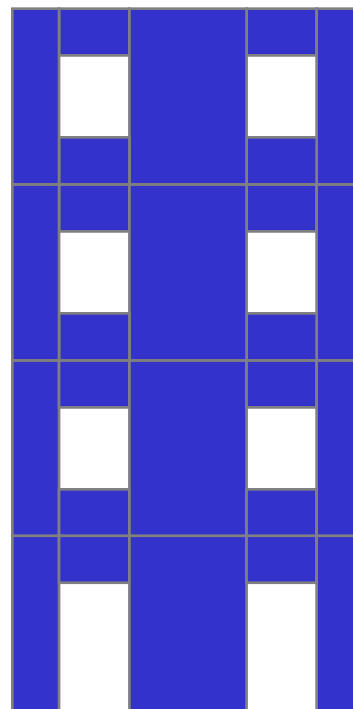


STRUTTURE IN MURATURA

Schematizzazione strutturale tramite

Macro Elementi

Si procede alla definizione di macro-elementi che siano in grado di cogliere il comportamento non lineare di interi maschi murari

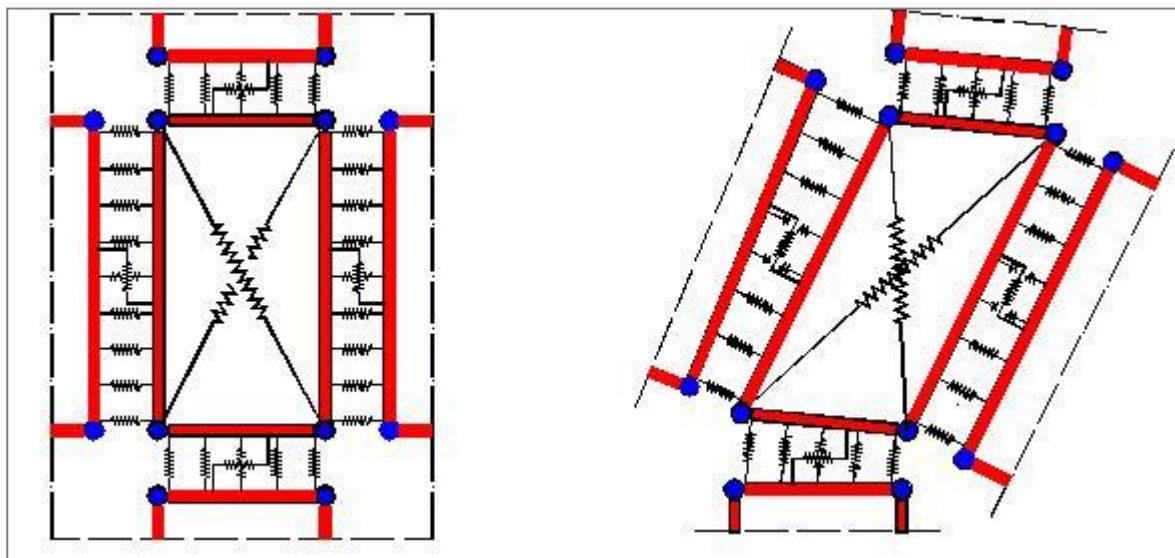


STRUTTURE IN MURATURA

Schematizzazione strutturale tramite

Macro Elementi

Consiste in un elemento a 4 nodi (24 g.d.l.) formato da rettangolo articolato e da una serie di molle a comportamento non lineare poste al suo interno e sull'interfaccia

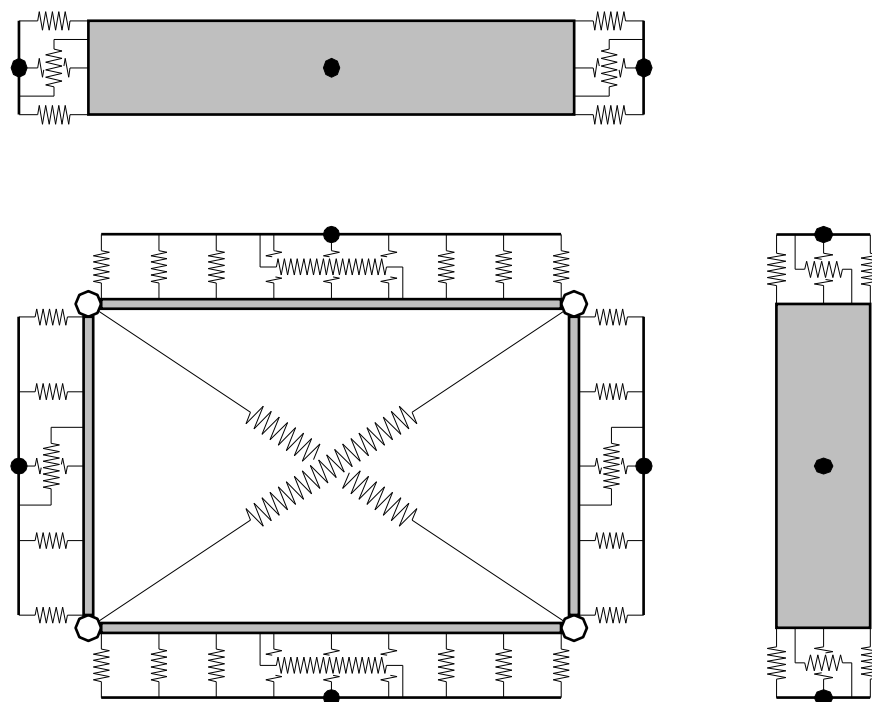


STRUTTURE IN MURATURA

Schematizzazione strutturale tramite

Macro Elementi

A molle diverse sono affidati i diversi meccanismi di comportamento non lineare propri dei maschi murari



STRUTTURE IN MURATURA

Schematizzazione strutturale tramite

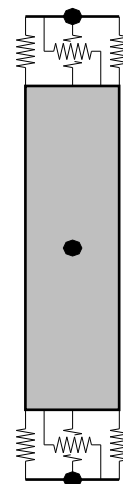
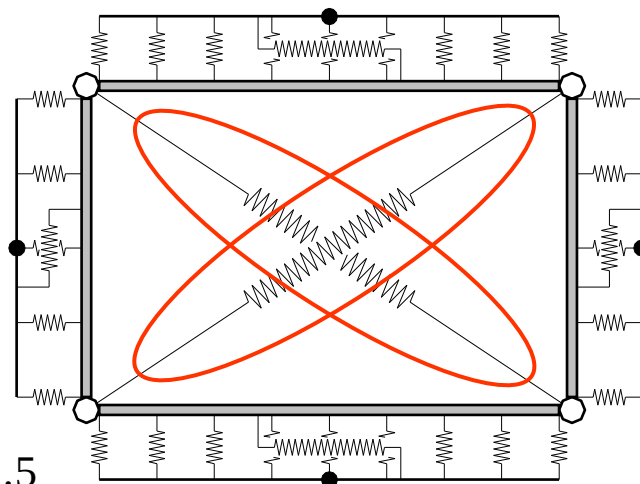
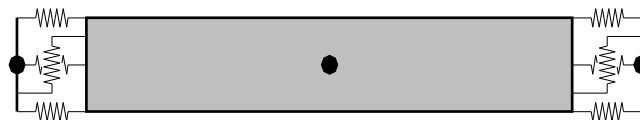
Macro Elementi

Alle **molle diagonali** è affidato il compito di descrivere il comportamento non lineare dovuto alla di fessurazione diagonale

La rigidezza iniziale è definita a partire dalla deformabilità a taglio del pannello

La forza di limite elastico è determinata dal valore del taglio per fessurazione diagonale

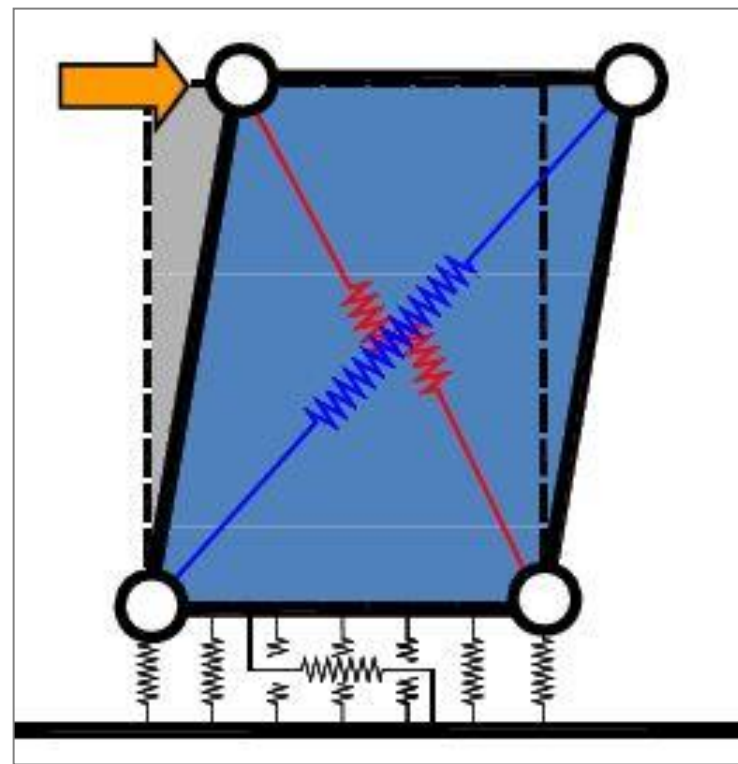
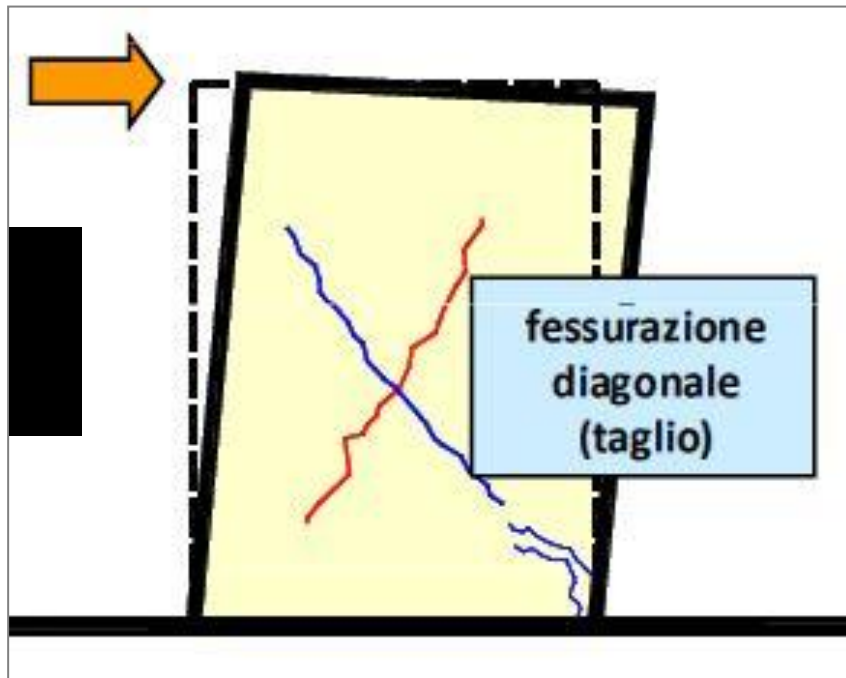
$$V_{u,f} = l \cdot t \cdot \frac{1.5 \cdot f_{vd}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1.5 \cdot f_{vd}}} \quad ; \quad b = \frac{h}{l} \leq 1.5$$



STRUTTURE IN MURATURA

Schematizzazione strutturale tramite

Macro Elementi



STRUTTURE IN MURATURA

Schematizzazione strutturale tramite

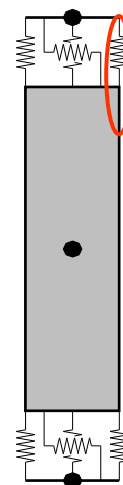
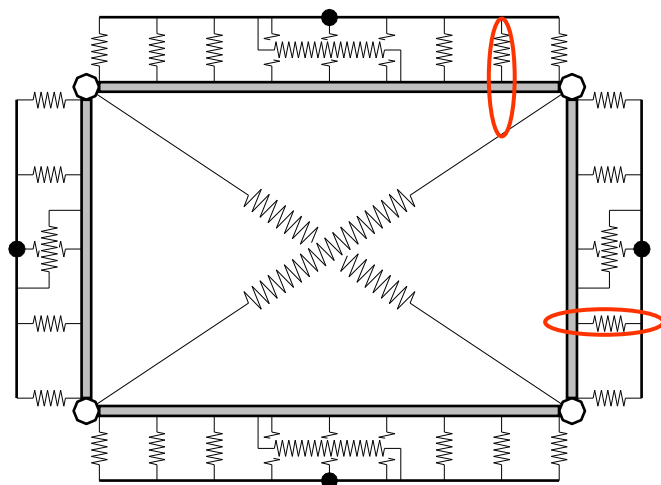
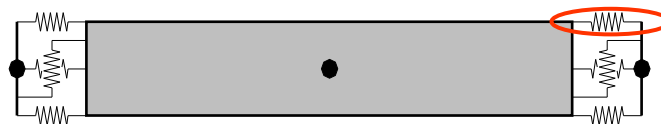
Macro Elementi

Alle **molle normali al contorno** è affidato il compito di descrivere il comportamento non lineare dovuto al collasso per flessione

La rigidezza iniziale è definita a partire dalla deformabilità a flessione del pannello

La forza di limite elastico è determinata dal valore del momento ultimo

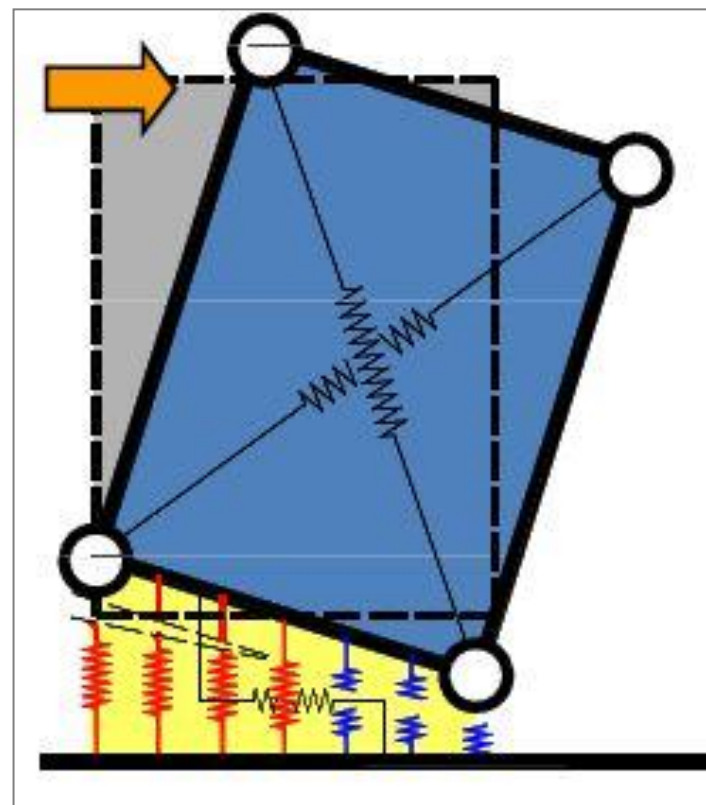
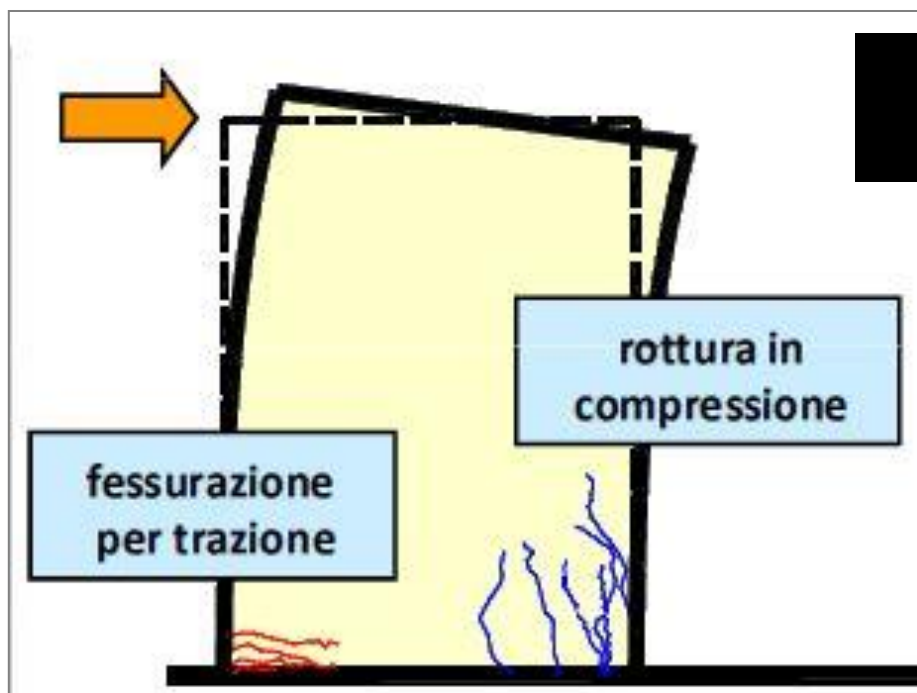
$$M_u = l^2 \cdot t \cdot \frac{\sigma_0}{2} \cdot \left(1 - \frac{\sigma_0}{0.8 \cdot f_d} \right)$$



STRUTTURE IN MURATURA

Schematizzazione strutturale tramite

Macro Elementi



STRUTTURE IN MURATURA

Schematizzazione strutturale tramite

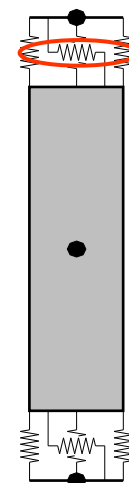
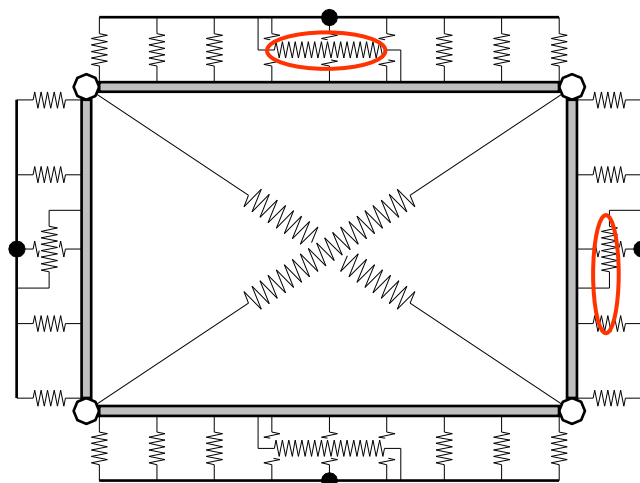
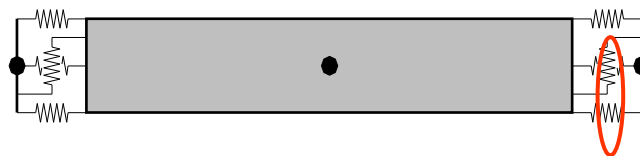
Macro Elementi

Alle **molle parallele al contorno** è affidato il compito di descrivere il comportamento non lineare dovuto allo scorrimento sui letti di malta

Il comportamento iniziale è infinitamente rigido

La forza di limite elastico è determinata dal valore del taglio per scorrimento

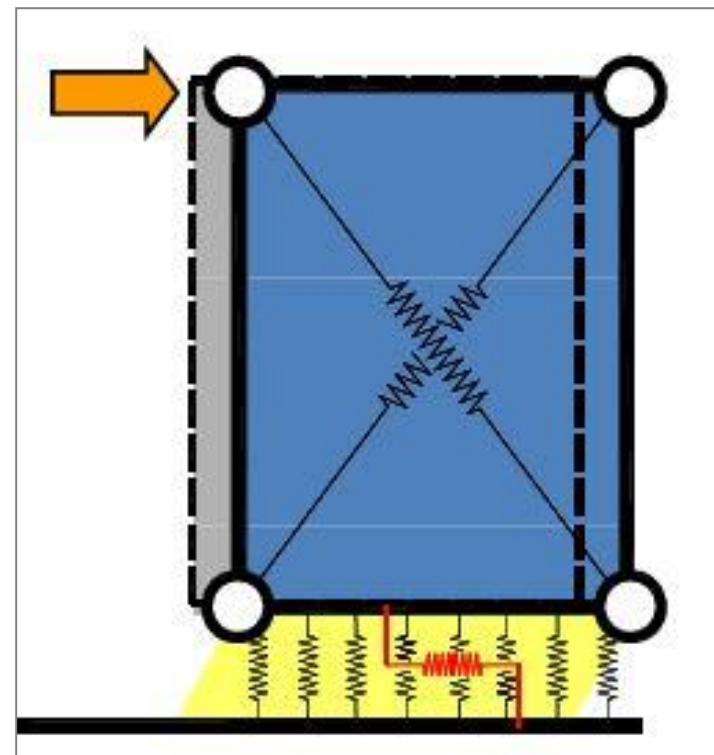
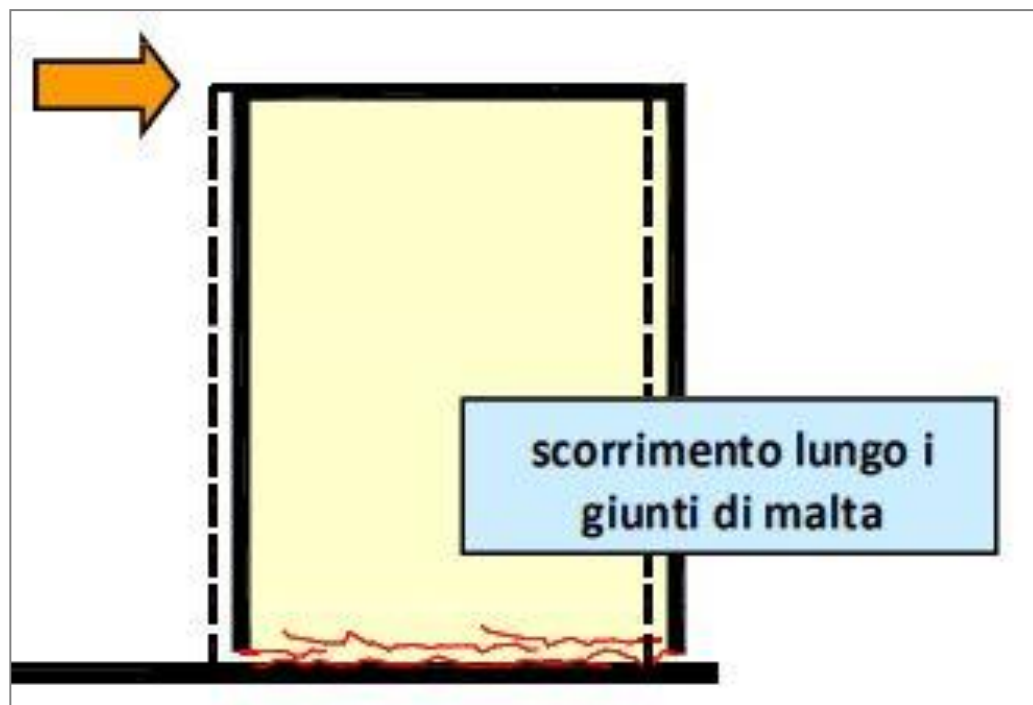
$$V_{u,s} = l' \cdot t \cdot (f_{vd} + 0.4 \cdot \sigma_0)$$



STRUTTURE IN MURATURA

Schematizzazione strutturale tramite

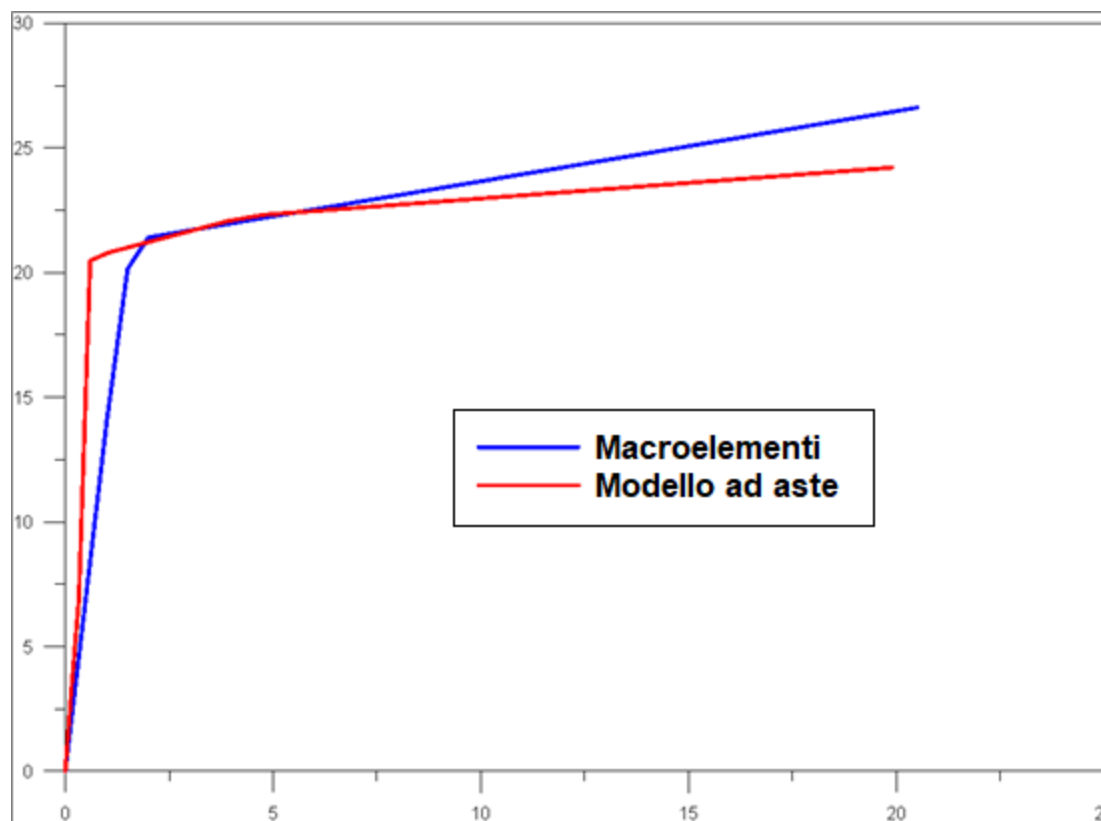
Macro Elementi



STRUTTURE IN MURATURA

Confronti fra modelli a macroelementi e ad aste

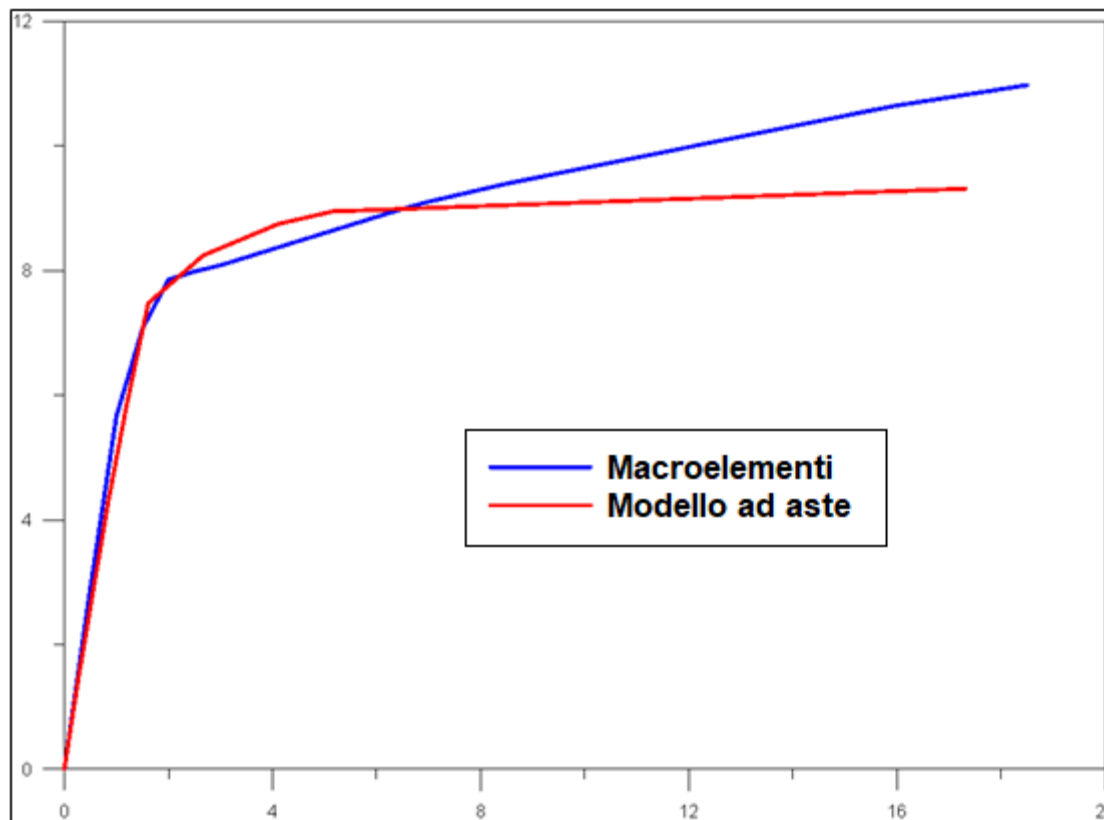
Prova 1: Struttura perfettamente regolare



STRUTTURE IN MURATURA

Confronti fra modelli a macroelementi e ad aste

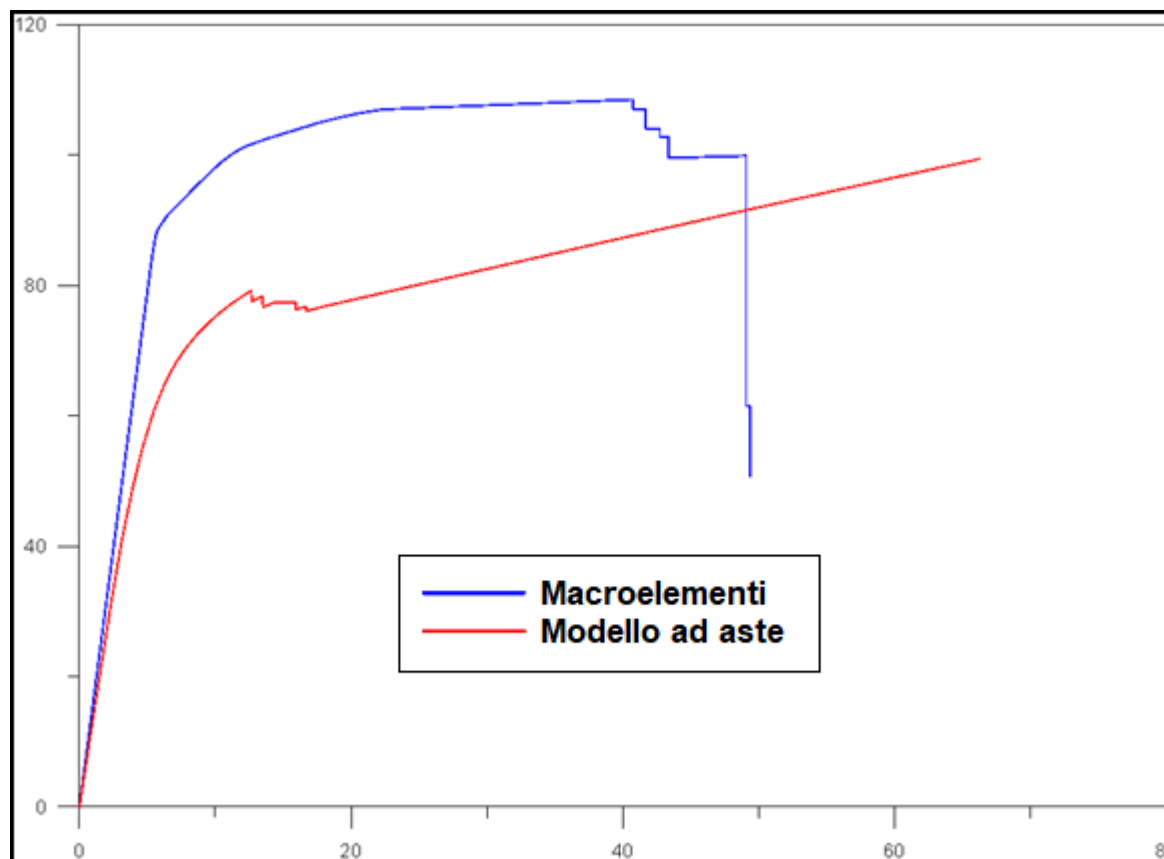
Prova 2: Struttura con aperture



STRUTTURE IN MURATURA

Confronti fra modelli a macroelementi e ad aste

Prova 3: Struttura reale



STRUTTURE IN MURATURA

GLI AGGREGATI EDILIZI



STRUTTURE IN MURATURA

GLI AGGREGATI EDILIZI

C8A.3.1 VERIFICA GLOBALE SEMPLIFICATA PER GLI EDIFICI IN AGGREGATI EDILIZI

Nel caso di solai sufficientemente rigidi, la verifica convenzionale allo Stato limite di salvaguardia della vita e allo Stato limite di esercizio di un edificio (unità strutturale) in aggregato può essere svolta, anche per edifici con più di due piani, mediante l'analisi statica non lineare analizzando e verificando separatamente ciascun interpiano dell'edificio, e trascurando la variazione della forza assiale nei maschi murari dovuta all'effetto dell'azione sismica. Con l'esclusione di unità strutturali d'angolo o di testata, così come di parti di edificio non vincolate o non aderenti su alcun lato ad altre unità strutturali (es. piani superiori di un edificio di maggiore altezza rispetto a tutte le US adiacenti), l'analisi potrà anche essere svolta trascurando gli effetti torsionali, ipotizzando che i solai possano unicamente traslare nella direzione considerata dell'azione sismica.



VERIFICA DI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA



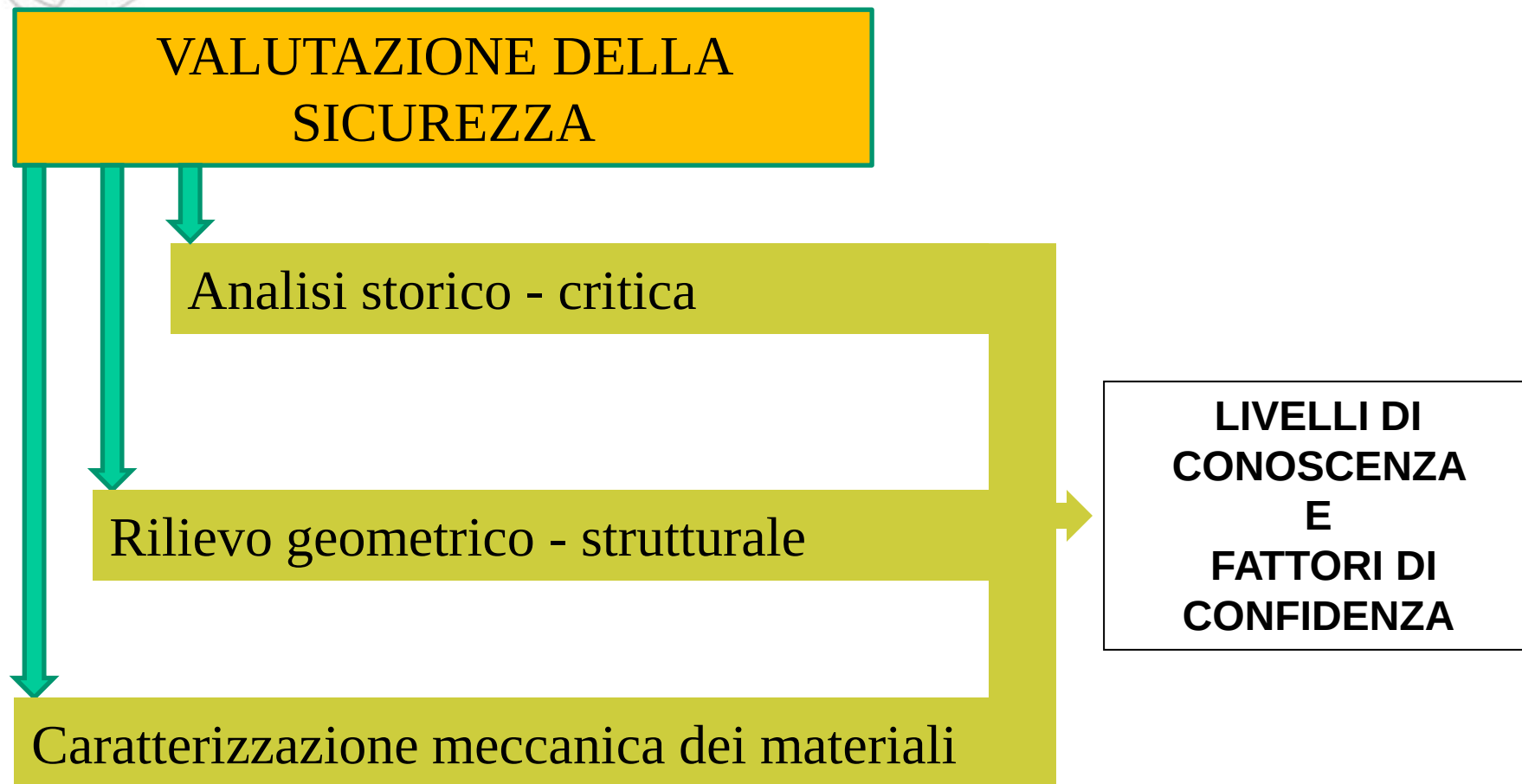


LIVELLI DI CONOSCENZA (MURATURA)

conoscenza		Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	limitata	Da rilievo strutturale	Limitate verifiche in situ	Limitate indagini in situ	tutti	1.35
LC2	adeguata		Estese ed esaustive verifiche in situ	Estese indagini in situ		1.20
LC3	accurata			Esaustive indagini in situ		1.00



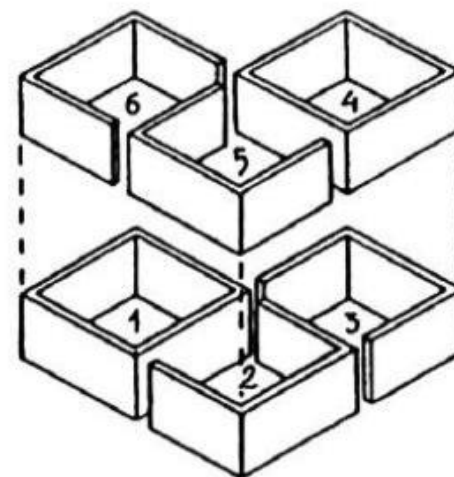
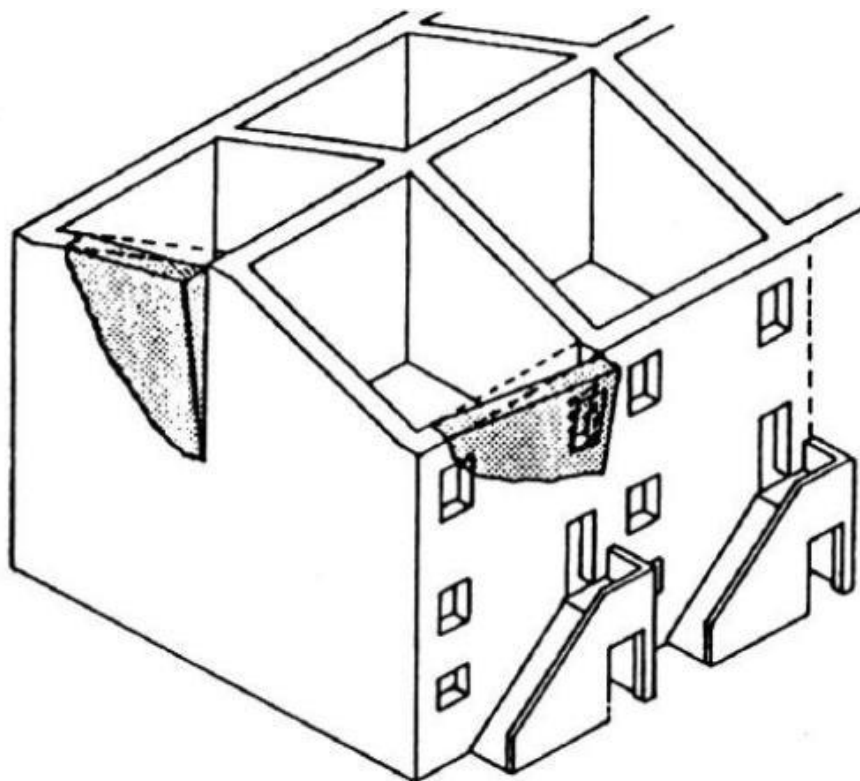
LIVELLI DI CONOSCENZA (MURATURA)



STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Analisi Storico-Critica -

L'individuazione dell'origine e delle possibili evoluzioni delle problematiche strutturali dell'edificio, e più in generale il comportamento dell'edificio, sono strettamente legati anche alla **successione delle fasi costruttive**.



1.....cellula originaria
2,3...aggregazioni
4.....prima sopraelevazione
5,6...sopraelevazioni successive

STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: *Analisi Storico-Critica* -

L'individuazione dell'origine e delle possibili evoluzioni delle problematiche strutturali dell'edificio, e più in generale il comportamento dell'edificio, sono strettamente legati anche alla **successione delle fasi costruttive**.



STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: *Analisi Storico-Critica* -

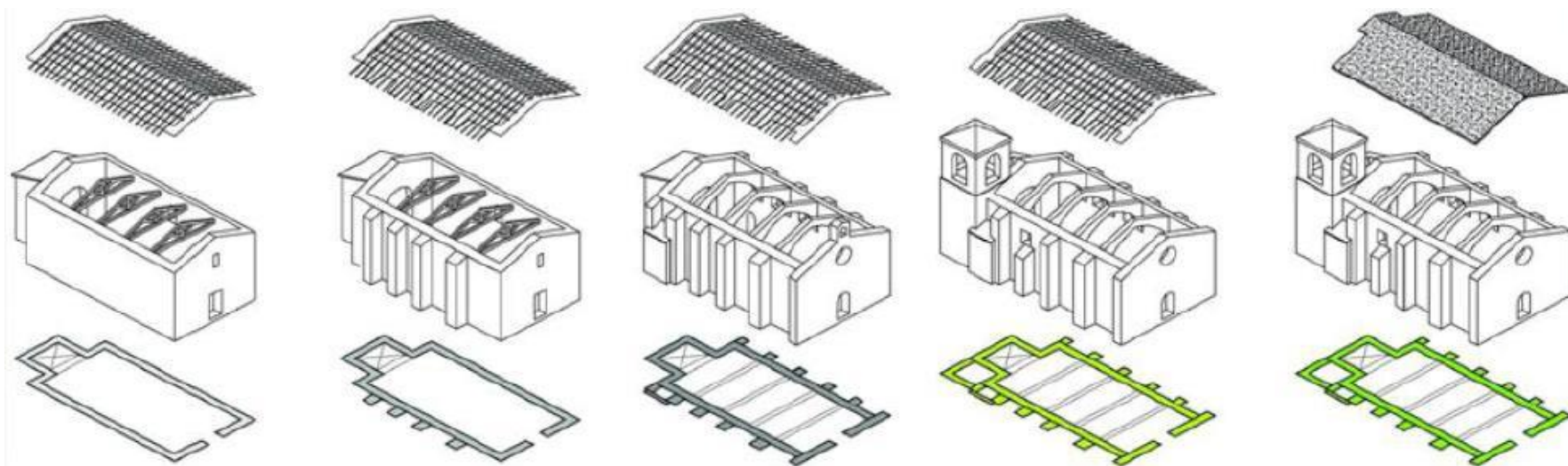
L'individuazione dell'origine e delle possibili evoluzioni delle problematiche strutturali dell'edificio, e più in generale il comportamento dell'edificio, sono strettamente legati anche alla **successione delle fasi costruttive**.



STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Analisi Storico-Critica -

Inoltre talvolta la **storia sismica** diviene strumento di comprensione della **storia edilizia**.



STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Rilievo -

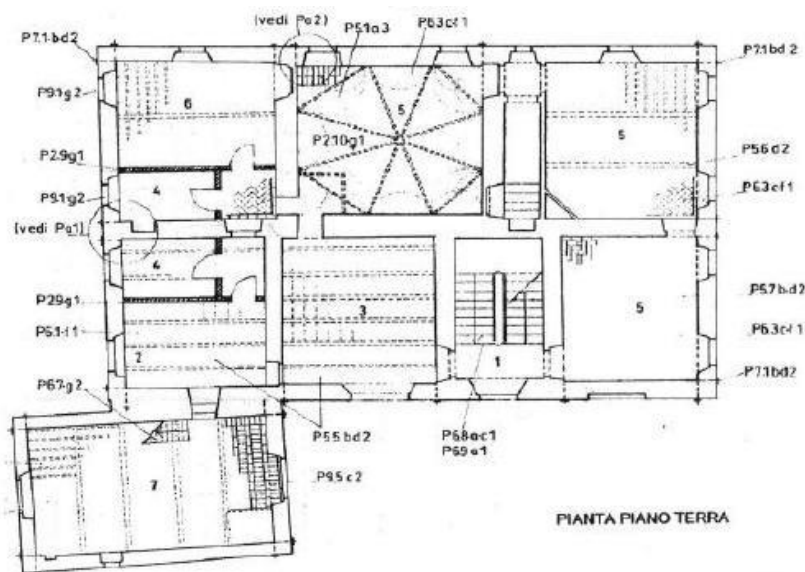
Il rilievo geometrico-strutturale dovrà essere riferito:

- Alla geometria complessiva dell'organismo
- Alla geometria degli elementi costruttivi (Comprendendo i rapporti con le eventuali strutture in aderenza)

Il rilievo deve individuare:

- **L'organismo resistente** della costruzione
- La qualità e lo **stato di conservazione** dei **materiali** e degli elementi costitutivi

Dovranno essere rilevati i **dissesti**, in atto o stabilizzati, con attenzione all'individuazione dei **quadri fessurativi** e dei **meccanismi di danno**.

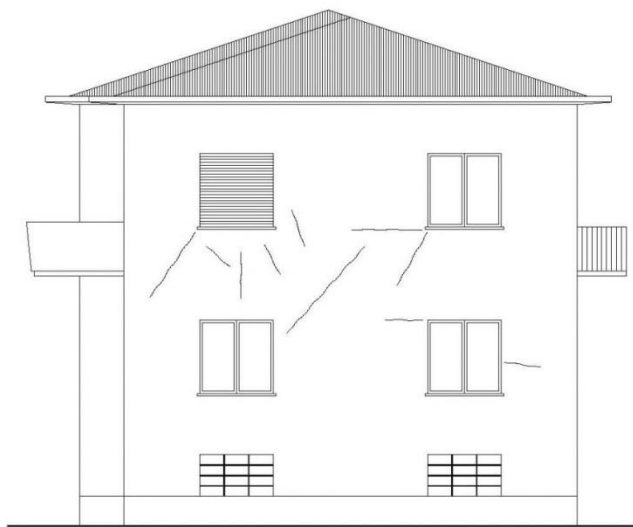


STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Rilievo -

Il rilievo geometrico-strutturale consiste anche nel rilievo del:

- **quadro fessurativo**, classificando possibilmente ciascuna lesione secondo la tipologia del meccanismo associato (distacco, rotazione, scorrimento, spostamenti fuori del piano, etc.);
- **quadro deformativo** (evidenti fuori piombo, rigonfiamenti, depressioni nelle volte, etc.).



Quadro fessurativo



Fuori piombo

STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Rilievo geometrico-strutturale -

Consiste nel rilievo geometrico per ogni piano di:

- tutti gli elementi in muratura incluse eventuali **nicchie**, **cavità**, **canne fumarie**;
- delle **volte** (spessore e profilo);
- dei **solai** e della copertura (tipologia e orditura);
- delle **scale** (tipologia strutturale);
- individuazione dei **carichi** gravanti su ogni elemento di parete e la tipologia delle fondazioni.



STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Rilievo geometrico-strutturale -

- **quadro fessurativo**, classificando possibilmente ciascuna lesione secondo la tipologia del meccanismo associato (distacco, rotazione, scorrimento, spostamenti fuori del piano, etc.);
- **quadro deformativo** (evidenti fuori piombo, rigonfiamenti, depressioni nelle volte, etc.).



STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

La caratterizzazione meccanica dei materiali dovrà essere basata sui seguenti punti:

- Documentazione già disponibile
- Verifiche visive in situ
- Indagini sperimentali.



STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

Le indagini dovranno essere motivate, per tipo e quantità, dal loro effettivo uso nelle verifiche.

Nel caso di **beni culturali** e nel recupero di centri storici, dovrà esserne considerato **l'impatto in termini di conservazione del bene**.



STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

Le indagini dovranno essere motivate, per tipo e quantità, dal loro effettivo uso nelle verifiche.

Nel caso di **beni culturali** e nel recupero di centri storici, dovrà esserne considerato **l'impatto in termini di conservazione del bene**.



Martinetto piatto doppio



Penetrometro

STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

Prove con n.1 martinetto piatto

La misura della **tensione di esercizio** della muratura, è effettuata con martinetto piatto oleodinamico sulla base della variazione dello stato deformativo di una parte della struttura per effetto di un taglio piano eseguito in direzione normale alla superficie della muratura.

La variazione dello stato tensionale determina una certa chiusura del taglio rilevata attraverso misure di convergenza fra coppie di punti in posizione simmetrica rispetto al taglio stesso. Un martinetto piatto viene inserito all'interno del taglio e portato gradualmente in pressione fino ad annullare la convergenza in precedenza misurata. In queste condizioni **la pressione all'interno del martinetto è pari alla sollecitazione preesistente nella parte di muratura** in esame a meno di una costante (K_a) che tiene conto del rapporto tra l'area reagente del martinetto (pari al prodotto dell'area del martinetto per una costante K_m , caratteristica del martinetto, che tiene conto della rigidità del bordo di saldatura) e quella del taglio.



Martinetto piatto singolo

STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

Prove con n.2 martinetti piatti

Per la determinazione del **modulo di elasticità** e la valutazione delle caratteristiche di **resistenza meccanica** viene eseguito un secondo taglio parallelo al primo a distanza di circa 50-60 cm nel quale viene introdotto un secondo martinetto piatto.

La parte di muratura compresa tra i due tagli, adeguatamente strumentata, è sottoposta a prova di compressione in sito eseguendo più cicli di carico-scarico.



Martinetto piatto doppio

STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -



Preparazione della parete per l'inserimento dei martinetti

STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

Tabella C.8A.2.1 delle N.T.C. 2008

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

STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

Tabella C8A.2.2 - Coefficienti correttivi dei parametri meccanici (indicati in Tabella C8A.2.1) da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone o ottime; giunti sottili; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; nucleo interno particolarmente scadente e/o ampio; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato.

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

* Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

Tabella C.8.5.I delle N.T.C. 2018

Tipologia di muratura	f (N/mm ²)	τ_0 (N/mm ²)	f_{v0} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	- -	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	- -	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	- -	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,4-2,2	0,028-0,042	- -	900-1260	300-420	13 ÷ 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadrati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

Nel caso di murature di blocchi artificiali di tecnologia moderna, i parametri da utilizzare per le verifiche possono essere derivati dalle indicazioni per la progettazione di nuove costruzioni in muratura (§11.10 delle NTC).



STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

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

Tipologia di muratura	Stato di fatto			Interventi di consolidamento			
	Malta buona	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Iniezione di miscele leganti (*)	Intonaco armato (**)	Ristilatura armata con connessione dei paramenti (**)	Massimo coefficiente complessivo
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	1,3	1,5	2	2,5	1,6	3,5
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo	1,4	1,2	1,5	1,7	2,0	1,5	3,0
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5	1,4	2,4
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,5	1,2	1,3	1,4	1,7	1,1	2,0
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,6	-	1,2	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1,2	-	1,2	1,2	1,2	-	1,4
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	(***)	-	1,3 (****)	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura $\leq 40\%$)	1,2	-	-	-	1,3	-	1,3

(*) I coefficienti correttivi relativi alle iniezioni di miscele leganti devono essere commisurati all'effettivo beneficio apportato alla muratura, riscontrabile con verifiche sia nella fase di esecuzione (iniettabilità) sia a-posteriori (riscontri sperimentali attraverso prove soniche o similari).

(**) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(***) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione f_m superiore a 2 N/mm^2 . In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a $f_m^{0.35}$ (f_m in N/mm^2).

(****) Nel caso di muratura di mattoni si intende come muratura trasversalmente connessa quella apparecchiata a regola d'arte.

STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

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

Tipologia di muratura	Stato di fatto			Interventi di consolidamento			
	Malta buona	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Iniezione di miscele leganti (*)	Intonaco armato (**)	Ristilatura armata con connessione dei paramenti (**)	Massimo coefficiente complessivo
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	1,3	1,5	2	2,5	1,6	3,5
Muratura a conci sbazzati, con paramenti di spessore disomogeneo	1,4	1,2	1,5	1,7	2,0	1,5	3,0
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5	1,4	2,4
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,5	1,2	1,3	1,4	1,7	1,1	2,0
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,6	-	1,2	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1,2	-	1,2	1,2	1,2	-	1,4
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	(***)	-	1,3 (****)	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	1,2	-	-	-	1,3	-	1,3

(*) I coefficienti correttivi relativi alle iniezioni di miscele leganti devono essere commisurati all'effettivo beneficio apportato alla muratura, riscontrabile con verifiche sia nella fase di esecuzione (iniettabilità) sia a-posteriori (riscontri sperimentali attraverso prove soniche o similari).

(**) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(***) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione f_m superiore a 2 N/mm². In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a $f_m^{0.35}$ (f_m in N/mm²).

(****) Nel caso di muratura di mattoni si intende come muratura trasversalmente connessa quella apparecchiata a regola d'arte.

Relativamente allo Stato di Fatto, i suddetti coefficienti migliorativi possono essere applicati in combinazione tra loro, in forma moltiplicativa, considerando la concomitanza al più dei due effetti che hanno i coefficienti moltiplicativi più alti.



STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

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

Tipologia di muratura	Stato di fatto			Interventi di consolidamento			
	Malta buona	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Iniezione di miscele leganti (*)	Intonaco armato (**)	Ristilatura armata con connessione dei paramenti (**)	Massimo coefficiente complessivo
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	1,3	1,5	2	2,5	1,6	3,5
Muratura a conci sbazzati, con paramenti di spessore disomogeneo	1,4	1,2	1,5	1,7	2,0	1,5	3,0
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5	1,4	2,4
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,5	1,2	1,3	1,4	1,7	1,1	2,0
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,6	-	1,2	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1,2	-	1,2	1,2	1,2	-	1,4
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	(***)	-	1,3 (****)	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	1,2	-	-	-	1,3	-	1,3

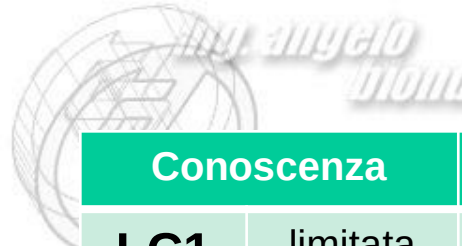
(*) I coefficienti correttivi relativi alle iniezioni di miscele leganti devono essere commisurati all'effettivo beneficio apportato alla muratura, riscontrabile con verifiche sia nella fase di esecuzione (iniettabilità) sia a-posteriori (riscontri sperimentali attraverso prove soniche o similari).

(**) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(***) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione f_m superiore a 2 N/mm². In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a $f_m^{0,35}$ (f_m in N/mm²).

(****) Nel caso di muratura di mattoni si intende come muratura trasversalmente connessa quella apparecchiata a regola d'arte.

Relativamente agli interventi di consolidamento, nel caso di uso combinato di diverse tecniche di consolidamento, i coefficienti possono essere applicati in forma moltiplicativa; il valore del coefficiente complessivo non può superare il coefficiente massimo indicato nell'ultima colonna della tabella.



LIVELLI DI CONOSCENZA (MURATURA)

Conoscenza		Proprietà materiali
LC1	limitata	Resistenza: valore minimo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1
LC2	adeguata	Resistenza: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1
LC3	accurata	-caso a) (disponibili 3 o più valori sperimentali di resistenza) Resistenza: media dei risultati delle prove Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 -caso b) (disponibili 2 valori sperimentali di resistenza) Resistenza: se valore medio sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, valore medio dell'intervallo di Tabella C8A.2.1; se valore medio sperimentale maggiore di estremo superiore intervallo, quest'ultimo; se valore medio sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore medio sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a). -caso c) (disponibile 1 valore sperimentale di resistenza) Resistenza: se valore sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, oppure superiore, valore medio dell'intervallo; se valore sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a).

STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

Tabella C8A.1.2 – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>limitate</i> verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>limitate</i> prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2		Disegni costruttivi incompleti con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure estese verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con <i>limitate</i> prove in-situ oppure estese prove in-situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure esaustive verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in situ oppure esaustive prove in-situ	Tutti	1.00

STRUTTURE IN MURATURA

- EDIFICI ESISTENTI: Caratterizzazione Meccanica dei Materiali -

Tabella C8A.1.1 – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti valori dei fattori di confidenza per edifici in muratura

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

www.angelobiondi.com