



Università degli Studi  
*Guglielmo Marconi* - Roma



*Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata*  
Commissione Strutture e Geotecnica

# **COSTRUZIONI ESISTENTI**

## **scelta e progettazione degli interventi**

seminario di aggiornamento professionale – venerdì 25 marzo 2022

---

# **RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE**



prof.ing. Ernesto GRANDE  
Università degli Studi Guglielmo Marconi – Roma  
email: [e.grande@unimarconi.it](mailto:e.grande@unimarconi.it)



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma

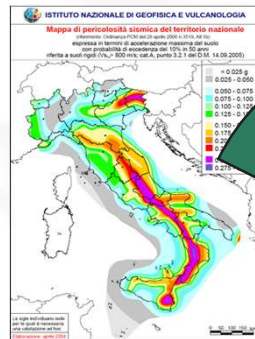


Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

Il **RISCHIO SISMICO** rappresenta la misura dei danni che ci si può attendere in un dato intervallo di tempo in base a: tipo di sismicità, antropizzazione (natura, qualità e quantità dei beni esposti), resistenza delle costruzioni.

- **pericolosità**
- **esposizione**
- **vulnerabilità**





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

**PERICOLOSITA'**: è una misura della potenzialità distruttiva del terremoto atteso in un territorio

- La pericolosità sismica di un territorio può essere definita sulla base della **frequenza e energia (magnitudo)** associate ai terremoti che caratterizzano il territorio ed attribuendo un valore di **probabilità al verificarsi di un evento sismico di una certa magnitudo.**



***pericolosità sismica di un territorio è tanto più elevata quanto più probabile risulta, a parità di intervallo di tempo considerato, il verificarsi di un terremoto di una certa magnitudo.***





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma

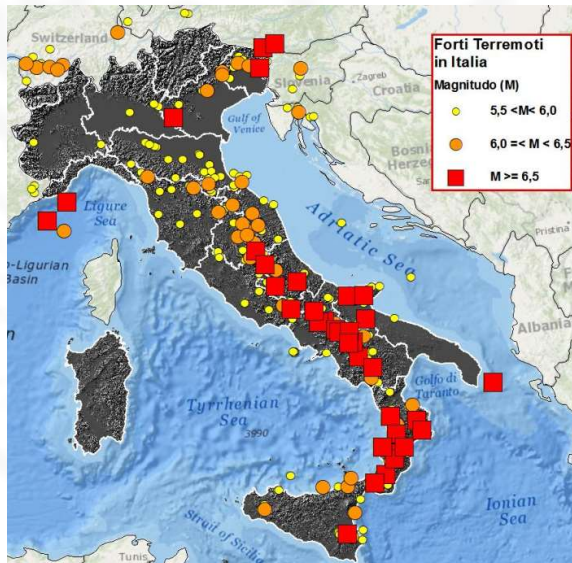


Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

**PERICOLOSITA'**: è una misura della potenzialità distruttiva del terremoto atteso in un territorio

- L'Italia è caratterizzata da una **pericolosità sismica medio-alta** a causa della frequenza dei terremoti che ne hanno colpito il territorio e per l'intensità che alcuni di essi hanno raggiunto



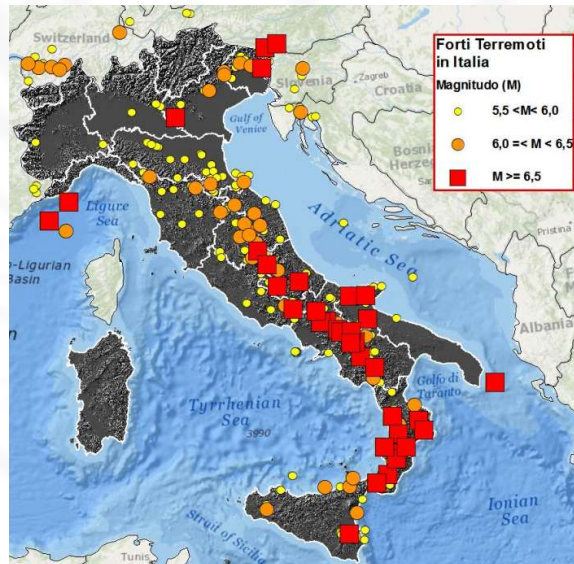




## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

**PERICOLOSITA'**: è una misura della potenzialità distruttiva del terremoto atteso in un territorio

- L'Italia è caratterizzata da una **pericolosità sismica medio-alta** a causa della frequenza dei terremoti che ne hanno colpito il territorio e per l'intensità che alcuni di essi hanno raggiunto



Data	Area	Intensità	Magnitudo $M_w$
08.09.1905	Calabria	X - XI	7.1
23.10.1907	Calabria	IX	5.9
28.12.1908	Stretto di Messina (Calabria, Sicilia)	XI	7.2
07.06.1910	Irpinia (Basilicata)	IX	5.9
27.10.1914	Garfagnana (Toscana)	VII	5.8
13.01.1915	Avezzano (Abruzzo)	XI	7.0
17.05.1916	Mar Adriatico settentrionale	VIII	5.9
16.08.1916	Mar Adriatico settentrionale	VIII	5.9
26.04.1917	Monterchi - Citerna (Toscana - Umbria)	IX - X	5.8
10.11.1918	Appennino forlivese (Emilia Romagna)	VIII	5.8
29.06.1919	Mugello (Toscana)	IX	6.2
07.09.1920	Garfagnana (Toscana)	X	6.5
07.03.1928	Capo Vaticano (Calabria)	VIII	5.9
23.07.1930	Irpinia (Campania)	X	6.7
30.10.1930	Senigallia (Marche)	VIII - IX	5.9
18.10.1936	Bosco Cansiglio (Veneto)	IX	5.9
03.10.1943	Ascolano (Marche)	IX	5.8
21.08.1962	Irpinia (Campania)	IX	6.2
15.01.1968	Valle del Belice (Sicilia)	X	6.1
06.05.1976	Friuli	IX - X	6.4
15.09.1976	Friuli	VIII - IX	5.9
15.04.1978	Golfo di Patti (Sicilia)	VIII	6.1
19.09.1979	Valnerina (Umbria)	VIII - IX	5.9
23.11.1980	Irpinia (Campania, Basilicata)	X	6.9
07.05.1984	Lazio - Abruzzo	VIII	5.9
05.05.1990	Potentino (Basilicata)	VII - VIII	5.8
26.09.1997	Umbria - Marche	IX	6.0
31.10.2002	Molise	VIII - IX	5.8
06.04.2009	Abruzzo	IX - X	6.1*
20.05.2012	Pianura Padana Emiliana (Emilia Romagna)	VIII*	5.8*
29.05.2012			5.6*

\* Dati: iside.rm.ingv.it  
\* Cumulo degli effetti della sequenza

30 terremoti con  
 $M_w > 5.8$







Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

**PERICOLOSITA'**: è una misura della potenzialità distruttiva del terremoto atteso in un territorio

- primi studi sulla classificazione sismica del territorio in base alle caratteristiche geomorfologiche di una zona dopo il terremoto del Friuli del 1976
- studio geologico e individuazione delle faglie: determinazione della **magnitudo** e della **ricorrenza** degli eventi sismici
- studio dell'attenuazione delle onde sismiche con la **distanza dall'epicentro**



Friuli, 1976



Amatrice, 2016







Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



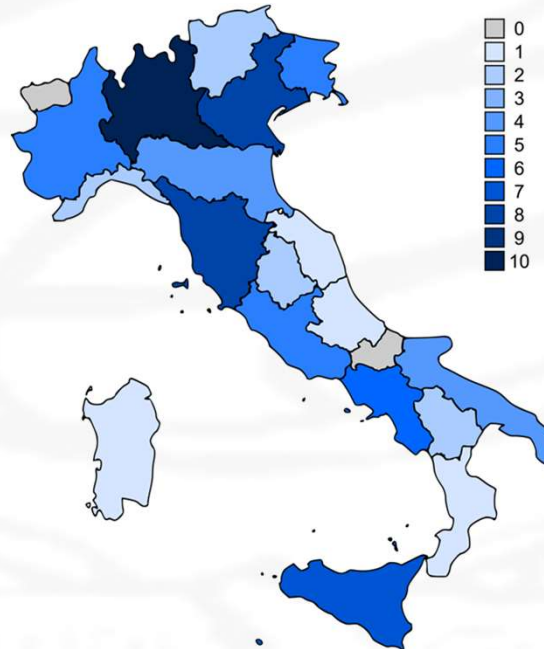
Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

**ESPOSIZIONE:** è una misura della perdita economica e di vite umane relativa ad un certo livello di danno



**Livello ELEVATO** di esposizione



Distribuzione dei siti in Italia  
patrimoni dell'UNESCO per  
Regione (2019).





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



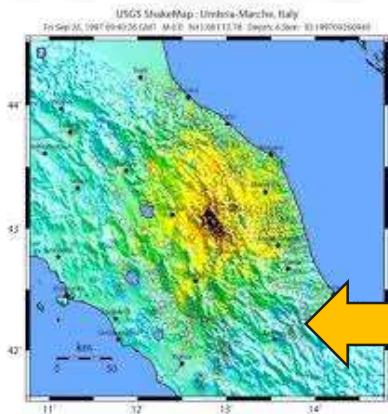
Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

**PERICOLOSITA' - ESPOSIZIONE:** da sole non giustificano però gli elevati livelli di rischio sismico del costruito italiano!

**danni prodotti dai terremoti / energia rilasciata nel corso degli eventi**

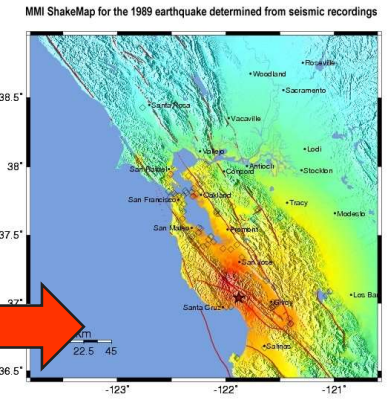
è molto più alto rispetto a quello che si verifica normalmente in altri Paesi ad elevata sismicità (California, Giappone)



terremoto Umbria-  
Marche 1997 (Mw 6.0)



terremoto California  
1989 (Mw 6.9)



**danni  
confrontabili**

**maggiore rilascio  
di energia!**





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

**VULNERABILITA'**: è una misura della propensione dell'edificio a subire danni per assegnati livelli dell'accelerazione sismica



molto elevata







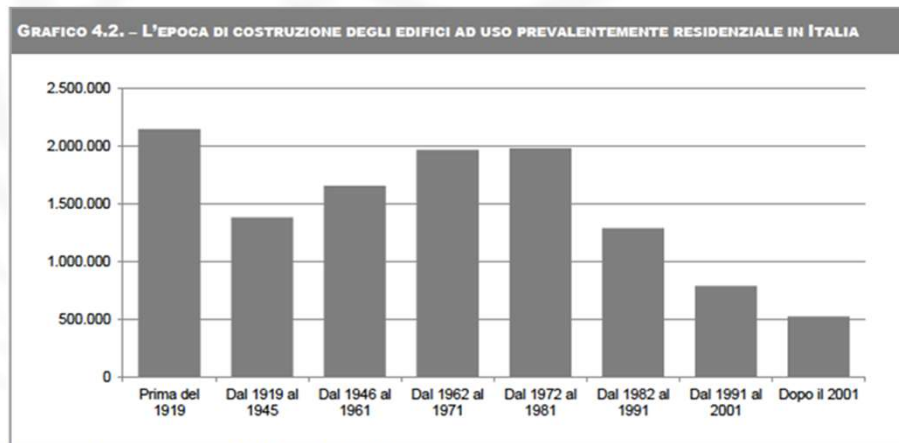
Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



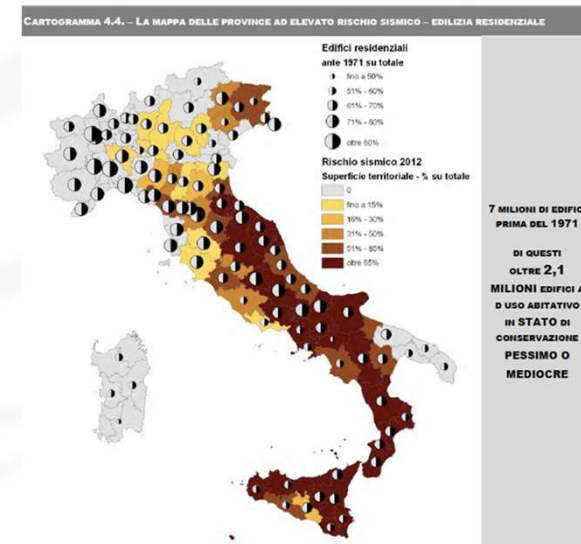
Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### VULNERABILITA': elevata vulnerabilità del costruito esistente



Fonte: elaborazione e stima CRESME su dati ISTAT



Fonte: elaborazione CRESME su dati ISTAT e Dipartimento di Protezione Civile 2012

- Circa il 60% degli edifici (circa 7 milioni) è stato costruito prima del 1971
- Circa 2 milioni è in condizioni mediocri o pessime.



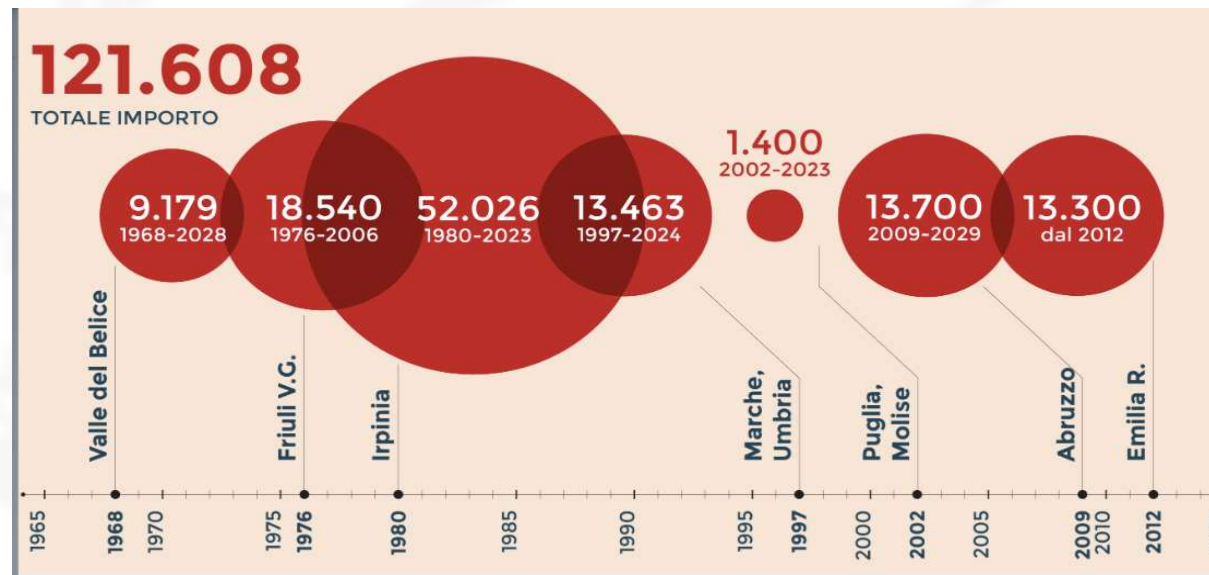
Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

**VULNERABILITA':** elevata vulnerabilità del costruito esistente



- Negli ultimi 40 anni 3 miliardi euro/anno per ricostruzione post-sisma



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI (DM\_65 - 07-03-2017)



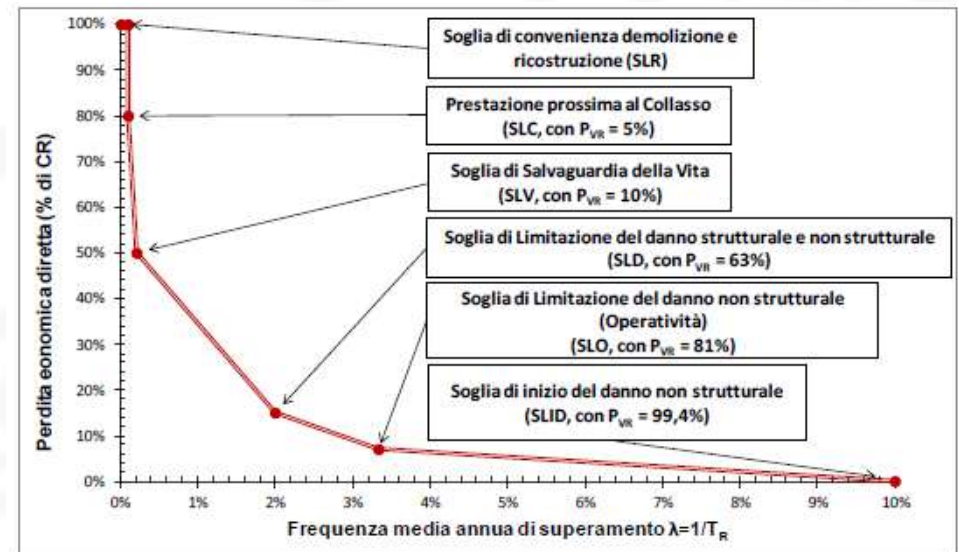
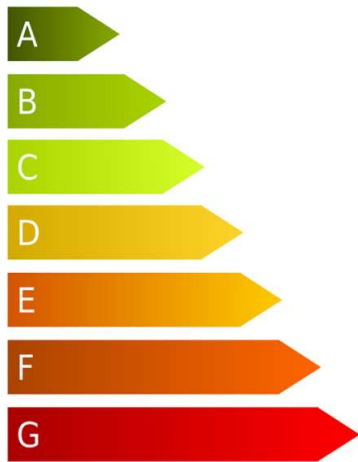
- sono definite otto **Classi di Rischio**, con rischio crescente dalla lettera A+ alla lettera G.
- due metodi di calcolo: metodo convenzionale e metodo semplificato





## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI

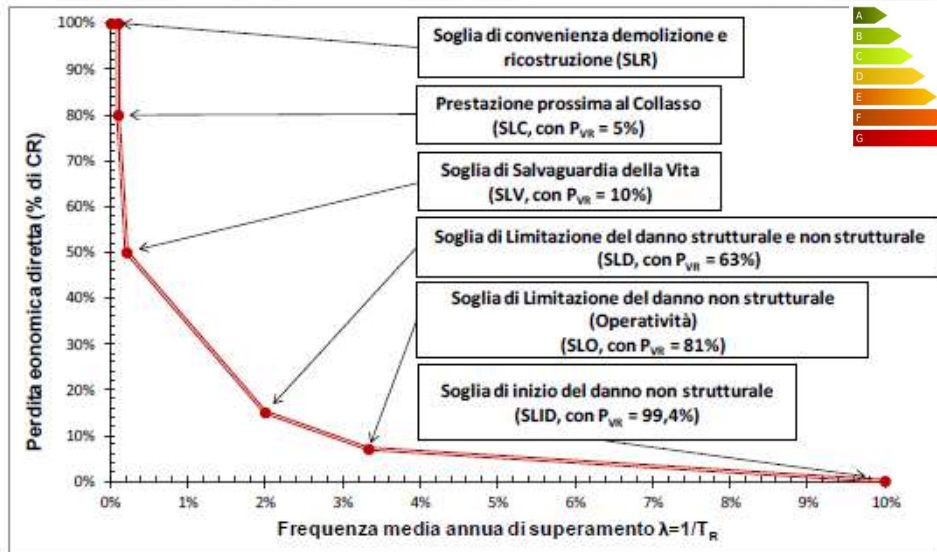


- **PAM (Perdita Annuale Media attesa)**: tiene in considerazione le **perdite economiche** associate ai danni agli elementi, strutturali e non, e riferite al costo di ricostruzione (CR) dell'edificio privo del suo contenuto.



## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI



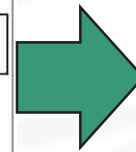
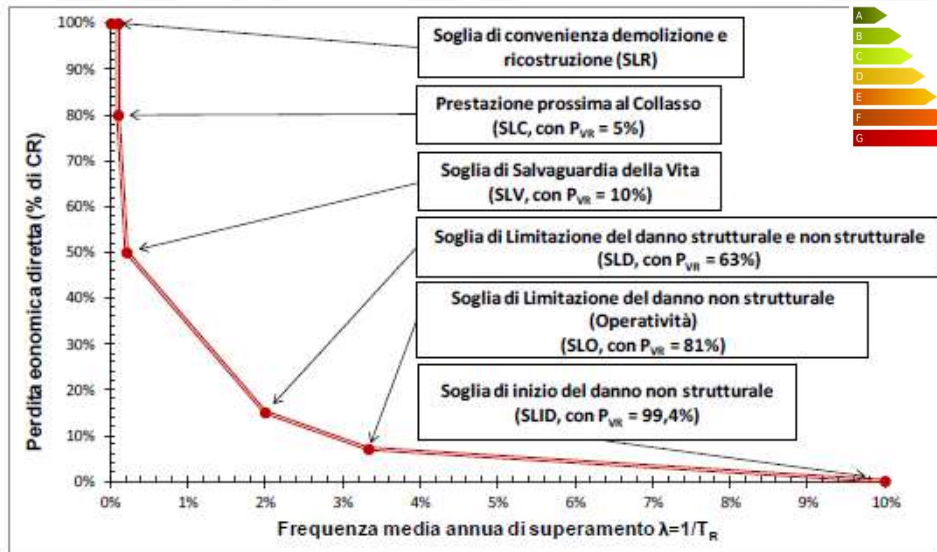
(metodo convenzionale)  
area sottesa alla curva rappresentante le perdite economiche dirette, in funzione della frequenza media annua di superamento degli eventi che provocano il raggiungimento di uno stato limite per la struttura.

- **PAM (Perdita Annuale Media attesa):** può essere assimilato al costo di riparazione dei danni prodotti dagli eventi sismici che si manifesteranno nel corso della vita della costruzione, ripartito annualmente ed espresso come percentuale del costo di ricostruzione.



## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI



Perdita Media Annuale attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	$A^+_{PAM}$
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	$A_{PAM}$
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	$B_{PAM}$
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	$C_{PAM}$
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	$D_{PAM}$
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	$E_{PAM}$
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	$F_{PAM}$
$7,5\% \leq PAM$	$G_{PAM}$

- **PAM (Perdita Annuale Media attesa):** può essere assimilato al costo di riparazione dei danni prodotti dagli eventi sismici che si manifesteranno nel corso della vita della costruzione, ripartito annualmente ed espresso come percentuale del costo di ricostruzione.





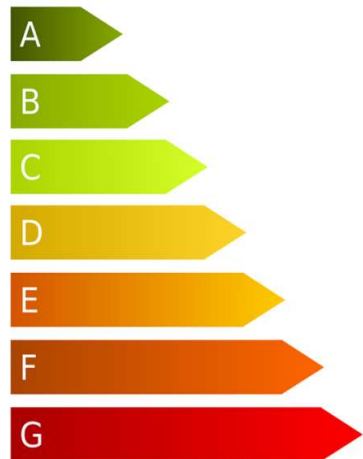
Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI



#### Metodo Convenzionale

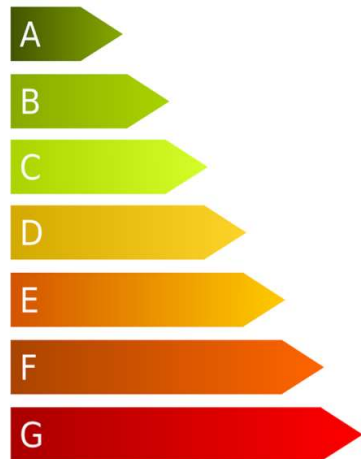
- analisi strutturale:  $PGA_c(SLV) / PGA_D(SLV)$

- indice di sicurezza della struttura (IS-V):** rapporto tra l'accelerazione di picco al suolo che determina il raggiungimento dello SLV e la PGA che la norma indica, nello specifico sito in cui si trova la costruzione e per lo stesso stato limite, come riferimento per la progettazione di un nuovo edificio (**CAPACITA' / DOMANDA**)



## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI



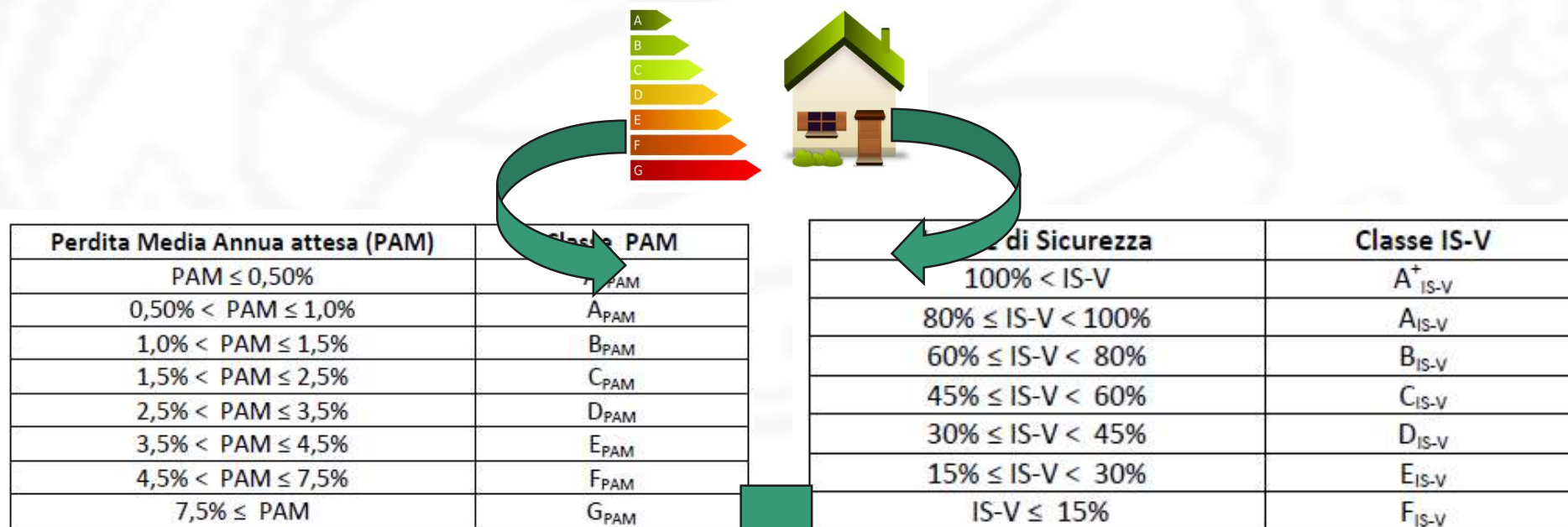
Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < IS-V$	$A_{IS-V}^+$
$80\% \leq IS-V < 100\%$	$A_{IS-V}$
$60\% \leq IS-V < 80\%$	$B_{IS-V}$
$45\% \leq IS-V < 60\%$	$C_{IS-V}$
$30\% \leq IS-V < 45\%$	$D_{IS-V}$
$15\% \leq IS-V < 30\%$	$E_{IS-V}$
$IS-V \leq 15\%$	$F_{IS-V}$

- **indice di sicurezza della struttura (IS-V):** rapporto tra l'accelerazione di picco al suolo che determina il raggiungimento dello SLV e la PGA che la norma indica, nello specifico sito in cui si trova la costruzione e per lo stesso stato limite, come riferimento per la progettazione di un nuovo edificio (**CAPACITA' / DOMANDA**)



## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI



classe di rischi sismico della costruzione – metodo convenzionale





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI

#### passi del metodo convenzionale

- 1) analisi della struttura e determinazione dei valori delle accelerazioni al suolo di capacità, che inducono il raggiungimento degli stati limite indicati dalla norma (SLC, SLV, SLD, SLO).
- 2) determinazione dei corrispondenti periodi di ritorno,  $T_{rc}$ .
- 3) determinazione del valore della frequenza media annua di superamento  $\lambda = 1/T_{rc}$ .
- 4) definizione dello Stato Limite di Inizio Danno (SLID)
- 5) definizione dello Stato Limite di Ricostruzione (SLR)
- 6) Per ciascuno degli stati limite considerati si associa al corrispondente valore di  $\lambda$  il valore della percentuale di costo di ricostruzione
- 7) valutazione del PAM (in valore percentuale),
- 8) individuazione della Classe PAM
- 9) determinazione dell'indice di sicurezza per la vita IS-V
- 10) individuazione della Classe IS-V
- 11) individuazione della Classe di Rischio

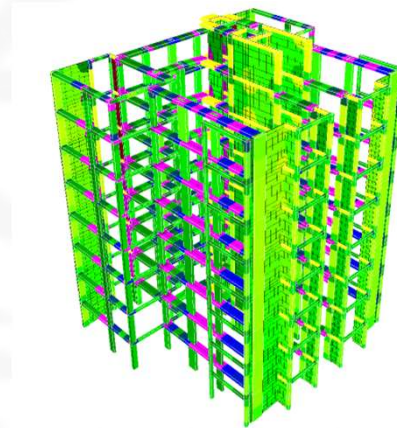
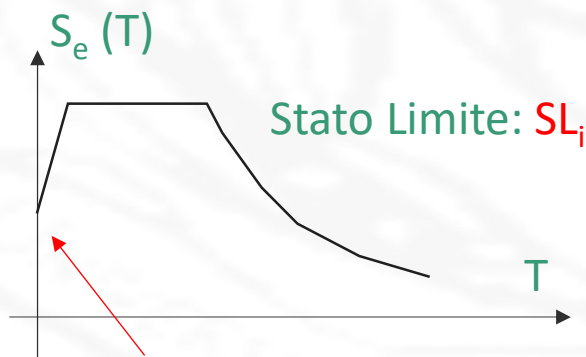


## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI

#### passi del metodo convenzionale

- 1) analisi della struttura e determinazione dei valori delle accelerazioni al suolo di capacità, che inducono il raggiungimento degli stati limite indicati dalla norma (SLC, SLV, SLD, SLO).



analisi strutturale/verifica



$PGA_C(SL_i)$

capacità



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI

#### passi del metodo convenzionale

2) determinazione dei corrispondenti periodi di ritorno,  $T_{rc}$ .

$$T_{rc}(SL_i) = T_{rD}(SL_i) \times (PGA_c / PGA_D)^\eta$$

$$\eta = 1/0.41$$

La relazione fornita è media sull'intero territorio nazionale; per riferirsi più puntualmente all'intensità sismica di appartenenza si possono utilizzare le formule appresso riportate, con riferimento all'accelerazione massima su roccia  $a_g$ . I valori sono:  $\eta = 1/0,49$  per  $a_g \geq 0,25g$ ;  $\eta = 1/0,43$  per  $0,25g \geq a_g \geq 0,15g$ ;  $\eta = 1/0,356$  per  $0,15g \geq a_g \geq 0,05g$ ;  $\eta = 1/0,34$  per  $0,05g \geq a_g$





## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI

#### passi del metodo convenzionale

- 3) determinazione del valore della frequenza media annua di superamento  $\lambda = 1/ T_{rc}$ .
- 4) definizione dello Stato Limite di Inizio Danno (SLID)  $\longrightarrow \lambda=0.1$
- 5) definizione dello Stato Limite di Ricostruzione (SLR)  $\longrightarrow \lambda(SLC)$
- 6) Per ciascuno degli stati limite considerati si associa al corrispondente valore di  $\lambda$  il valore della percentuale di costo di ricostruzione

Stato Limite	CR(%)
SLR	100%
SLC	80%
SLV	50%
SLD	15%
SLO	7%
SLID	0%

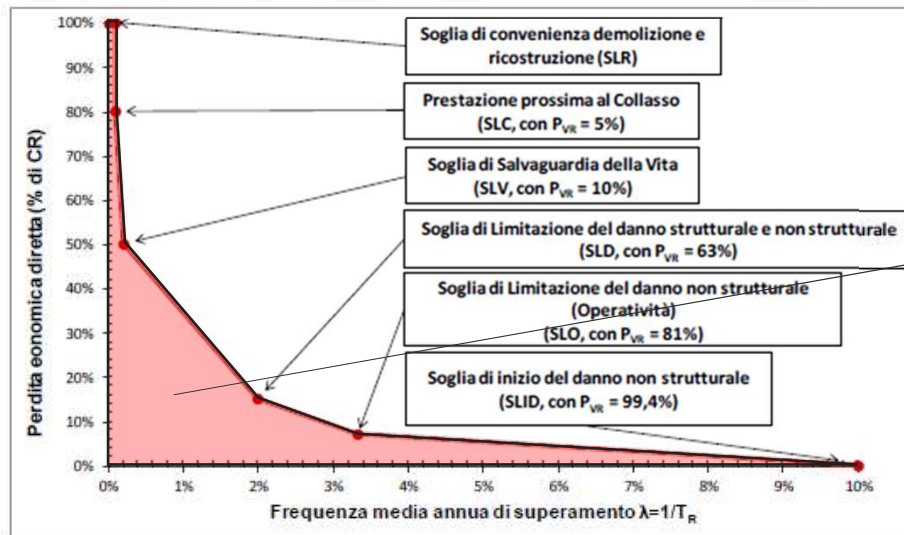


## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI

passi del metodo convenzionale

7) valutazione del PAM (in valore percentuale)



$$PAM = \sum_{i=2}^5 [\lambda(SL_i) - \lambda(SL_{i-1})] * [CR(SL_i) + CR(SL_{i-1})] / 2 + \lambda(SLC) * CR(SLR)$$



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



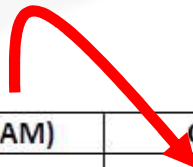
Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI

passi del metodo convenzionale

8) individuazione della Classe PAM



Perdita Media Annuale attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	$A^+_{PAM}$
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	$A_{PAM}$
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	$B_{PAM}$
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	$C_{PAM}$
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	$D_{PAM}$
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	$E_{PAM}$
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	$F_{PAM}$
$7,5\% \leq PAM$	$G_{PAM}$





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



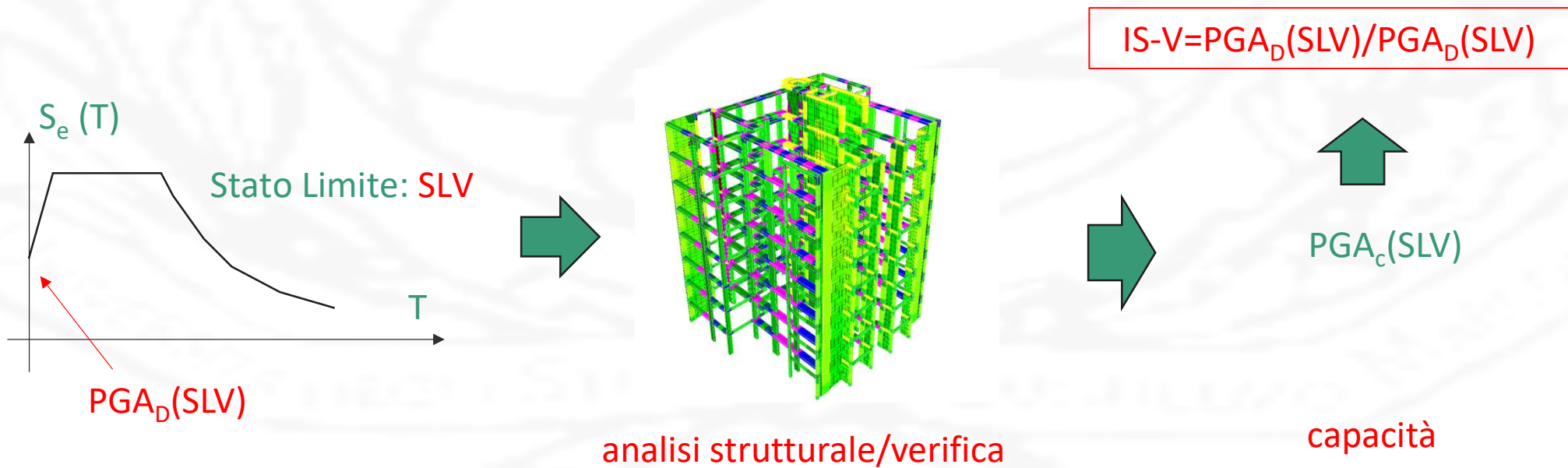
Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI

passi del metodo convenzionale

9) determinazione dell'indice di sicurezza per la vita IS-V



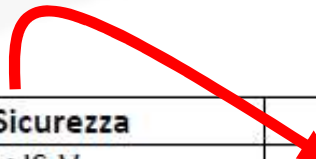


## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI

passi del metodo convenzionale

10) individuazione della Classe IS-V



Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < IS-V$	$A_{IS-V}^+$
$80\% \leq IS-V < 100\%$	$A_{IS-V}$
$60\% \leq IS-V < 80\%$	$B_{IS-V}$
$45\% \leq IS-V < 60\%$	$C_{IS-V}$
$30\% \leq IS-V < 45\%$	$D_{IS-V}$
$15\% \leq IS-V < 30\%$	$E_{IS-V}$
$IS-V \leq 15\%$	$F_{IS-V}$



## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI

passi del metodo convenzionale

11) individuazione della Classe di Rischio

Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM	Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$PAM \leq 0,50\%$	$A_{PAM}^+$	$100\% < IS-V$	$A_{IS-V}^+$
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	$A_{PAM}$	$80\% \leq IS-V < 100\%$	$A_{IS-V}$
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	$B_{PAM}$	$60\% \leq IS-V < 80\%$	$B_{IS-V}$
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	$C_{PAM}$	$45\% \leq IS-V < 60\%$	$C_{IS-V}$
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	$D_{PAM}$	$30\% \leq IS-V < 45\%$	$D_{IS-V}$
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	$E_{PAM}$	$15\% \leq IS-V < 30\%$	$E_{IS-V}$
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	$F_{PAM}$	$IS-V \leq 15\%$	$F_{IS-V}$
$7,5\% \leq PAM$	$G_{PAM}$		

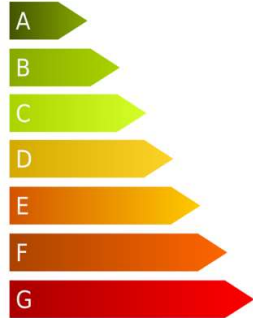
come la peggiore tra la Classe PAM e la Classe IS-V





## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI



Tipologia di struttura	Classe di vulnerabilità					
	V <sub>6</sub> (=A <sub>EMS</sub> )	V <sub>5</sub> (=B <sub>EMS</sub> )	V <sub>4</sub> (=C <sub>EMS</sub> )	V <sub>3</sub> (=D <sub>EMS</sub> )	V <sub>2</sub> (=E <sub>EMS</sub> )	V <sub>1</sub> (=F <sub>EMS</sub> )
MURATURA						
Muratura di pietra senza legante (a secco)	○					
Muratura di mattoni di terra cruda (adobe)	○	—				
Muratura di pietra sbazzata	—	○				
Muratura di pietra massiccia per costruzioni monumentali		—	○	—		
Muratura di mattoni e pietra lavorata	—	○	—			
Muratura di mattoni e solai di rigidità elevata		—	○	—		
Muratura rinforzata e/o confinata			—	○	—	

- metodo semplificato (...limitatamente alle tipologie in muratura...): determinazione della **CLASSE DI VULNERABILITA'** dalla scala Macro Sismica Europea



## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI



Tipologia di struttura	Classe di vulnerabilità					
	V <sub>6</sub> (≡A <sub>EMS</sub> )	V <sub>5</sub> (≡B <sub>EMS</sub> )	V <sub>4</sub> (≡C <sub>EMS</sub> )	V <sub>3</sub> (≡D <sub>EMS</sub> )	V <sub>2</sub> (≡E <sub>EMS</sub> )	V <sub>1</sub> (≡F <sub>EMS</sub> )
MURATURA Muratura di pietra senza legante (a secco)	○					
Muratura di mattoni di terra cruda (adobe)	○	—				
Muratura di pietra sbozzata	—	○				
Muratura di pietra massiccia per costruzioni monumentali		—	○	—		
Muratura di mattoni e pietra lavorata	—	○	—			
Muratura di mattoni e solai di rigidezza elevata		—	○	—		
Muratura rinforzata e/o confinata			—	○	—	

- 1) determinazione della tipologia strutturale;
- 2) valutazione dell'eventuale scostamento dalla classe media

- **metodo semplificato (...limitatamente alle tipologie in muratura...):** determinazione della **CLASSE DI VULNERABILITA'** dalla scala Macro Sismica Europea



## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI

TIPOLOGIA STRUTTURALE		PECULIARITÀ CARATTERISTICHE DELLA TIPOLOGIA STRUTTURALE	CLASSE MEDIA DI VULNERABILITÀ GLOBALE	POSSIBILI MECCANISMI LOCALI	PECULIARITÀ NEGATIVE PER LA VULNERABILITÀ LOCALE/GLOBALE	PASSAGGIO DI CLASSE
INERTI / MAGLIA MURARIA						
MURATURA	pietra grezza	<ul style="list-style-type: none"> <li>Legante di cattiva qualità e/o assente</li> <li>Orizzontamenti di legno o comunque caratterizzati da scarsa rigidità e/o resistenza nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti</li> </ul>	V <sub>6</sub>			
	mattoni di terra cruda (adobe)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Orizzontamenti di legno o di mattoni ma comunque caratterizzati da scarsa rigidità e/o resistenza nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti</li> <li>Eventuale presenza di telai di legno</li> </ul>	V <sub>6</sub>			
	pietra sbazzata	<ul style="list-style-type: none"> <li>Accorgimenti per aumentare la resistenza (ad es. listature).</li> <li>Orizzontamenti di legno o comunque caratterizzati da scarsa rigidità e/o resistenza nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti</li> </ul>	V <sub>5</sub>	Ribaltamento delle pareti	<ul style="list-style-type: none"> <li>Scarsa qualità costruttiva</li> <li>Elevato degrado e/o danneggiamento</li> <li>Spinte orizzontali non contrastate</li> <li>Pannelli murari male ammorsati tra loro</li> <li>Orizzontamenti male ammorsati alle pareti</li> <li>Aperture di elevate dimensioni intervallate da maschi di ridotte dimensioni</li> <li>Presenza di numerose nicchie che riducono significativamente l'area resistente della muratura</li> <li>Pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza) non controventate a sufficienza</li> </ul>	da V <sub>5</sub> a V <sub>6</sub>
	mattoni o pietra lavorata	<ul style="list-style-type: none"> <li>Orizzontamenti di mattoni o di legno caratterizzati da scarsa rigidità nel proprio piano medio e scarsamente collegati con le pareti portanti</li> </ul>	V <sub>5</sub>			
	pietra massiccia per costruzioni monumentali	<ul style="list-style-type: none"> <li>Orizzontamenti a volta o di legno caratterizzati da scarsa rigidità e/o resistenza nel proprio piano medio</li> </ul>	V <sub>4</sub>	Meccanismi parziali o di piano		da V <sub>4</sub> a V <sub>5</sub>

- classe media e passaggio di classe





## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DELLE COSTRUZIONI

Classe di Rischio	PAM	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
A+*	$PAM \leq 0,50\%$				$V_1 \div V_2$
A*	$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$			$V_1 \div V_2$	$V_3 \div V_4$
B*	$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	$V_1$	$V_1 \div V_2$	$V_3$	$V_5$
C*	$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_6$
D*	$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	$V_3$	$V_4$	$V_5 \div V_6$	
E*	$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	$V_4$	$V_5$		
F*	$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	$V_5$	$V_6$		
G*	$7,5\% \leq PAM$	$V_6$			



- individuazione della classe di rischio in funzione della classe di vulnerabilità e la pericolosità sismica



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CONSIDERAZIONI SULLA PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI

*possono interessare elementi strutturali e/o elementi non strutturali, in relazione alle carenze specifiche della singola costruzione.*

- metodo convenzionale

- valutazione della Classe di Rischio della costruzione in esame nella situazione pre-intervento e post-intervento
- analisi globale della costruzione anche in presenza di interventi locali!
- *si avrà la facoltà di eseguire un numero di indagini inferiore a quello previsto dalle Norme per il rispettivo livello di conoscenza adottato*



## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CONSIDERAZIONI SULLA PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI

- metodo semplificato

– passaggio alla Classe di Rischio immediatamente superiore solo quando siano soddisfatte:

TIPOLOGIA STRUTTURALE		INTERVENTI DI RAFFORZAMENTO LOCALE	FINALITÀ DELL'INTERVENTO	PASSAGGIO DI CLASSE DI VULNERABILITÀ
INERTI/MAGLIA MURARIA				
MURATURA	mattoni o pietra lavorata	ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITÀ STRUTTURALE <ul style="list-style-type: none"> <li>Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate</li> <li>Messa in sicurezza di elementi non strutturali</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perseguire un comportamento "regolare" e "scatolare".<sup>(9)</sup></li> <li>Ridurre al minimo il rischio di danno agli elementi non strutturali</li> </ul>	da V <sub>4</sub> a V <sub>3</sub>
	mattoni + solai di elevata rigidità nel proprio piano	ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITÀ STRUTTURALE <ul style="list-style-type: none"> <li>Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate</li> <li>Eliminazione delle spinte a vuoto</li> <li>Stabilizzazione fuori piano delle pareti di elevate dimensioni (larghezza e altezza)</li> <li>Stabilizzazione del paramento interno dei pannelli murari con camera d'aria</li> </ul> INTERVENTI AUSPICATI MA NON OBBLIGATORI <ul style="list-style-type: none"> <li>Riduzione delle aperture di elevate dimensioni (soprattutto se intervallate da maschi di ridotte dimensioni)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perseguire un comportamento "regolare" e "scatolare".<sup>(10)</sup></li> <li>Garantire un'adeguata redistribuzione dell'azione orizzontale tra i pannelli murari</li> <li>Posticipare i meccanismi locali e/o fuori del piano, rispetto all'attivazione dei meccanismi globali</li> </ul>	da V <sub>5</sub> a V <sub>4</sub>
		ESECUZIONE DEI SEGUENTI INTERVENTI SULL'INTERA UNITÀ STRUTTURALE <ul style="list-style-type: none"> <li>Ripristino delle zone danneggiate e/o degradate</li> <li>Messa in sicurezza di elementi non strutturali</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perseguire un comportamento regolare della struttura.<sup>(10)</sup></li> <li>Minimizzare il danno agli elementi non strutturali</li> </ul>	da V <sub>4</sub> a V <sub>3</sub>





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CONSIDERAZIONI SULLA PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI

- metodo semplificato
  - *L'entità degli interventi deve essere tale da non produrre sostanziali modifiche al comportamento della struttura nel suo insieme e da consentire quindi l'inquadramento come **interventi locali**, con riferimento alle murature.*



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CONSIDERAZIONI SULLA PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI

- metodo semplificato

**EDIFICI IN CALCESTRUZZO ARMATO**: è prevista la possibilità di ritenere valido il passaggio alla Classe di Rischio immediatamente superiore, eseguendo solamente interventi locali di rafforzamento ed anche in assenza di una preventiva attribuzione della Classe di Rischio.



Università degli Studi  
*Guglielmo Marconi* - Roma



*Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata*  
Commissione Strutture e Geotecnica

## RISCHIO SISMICO DEL COSTRUITO ESISTENTE

### CONSIDERAZIONI SULLA PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI

- metodo semplificato

### EDIFICI IN CALCESTRUZZO ARMATO:

- soltanto se la struttura è stata originariamente concepita con la presenza di telai in entrambe le direzioni
- se saranno eseguiti tutti gli interventi seguenti:
  - confinamento di tutti i nodi perimetrali non confinati dell'edificio;
  - opere volte a scongiurare il ribaltamento delle tamponature, compiute su tutte le tamponature perimetrali presenti sulle facciate;
  - eventuali opere di ripristino delle zone danneggiate e/o degradate.





Università degli Studi  
*Guglielmo Marconi* - Roma



*Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata*  
Commissione Strutture e Geotecnica

# **COSTRUZIONI ESISTENTI**

## **scelta e progettazione degli interventi**

seminario di aggiornamento professionale – venerdì 25 marzo 2022

---

# **VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA**



**prof.ing. Ernesto GRANDE**  
Università degli Studi Guglielmo Marconi – Roma  
email: [e.grande@unimarconi.it](mailto:e.grande@unimarconi.it)



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma

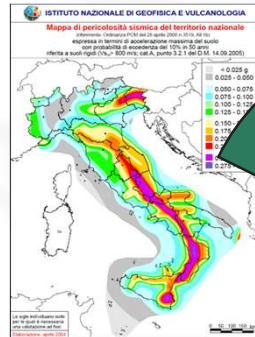


Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## PREMESSA

Il **RISCHIO SISMICO** rappresenta la misura dei danni che ci si può attendere in un dato intervallo di tempo in base a: tipo di sismicità, antropizzazione (natura, qualità e quantità dei beni esposti), resistenza delle costruzioni.

- **pericolosità**
- **esposizione**
- **vulnerabilità**





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

**edifici con struttura in muratura portante**



- Tipologia strutturale molto diffusa nei centri storici





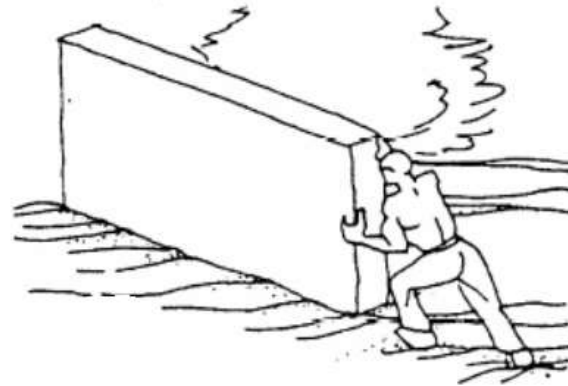
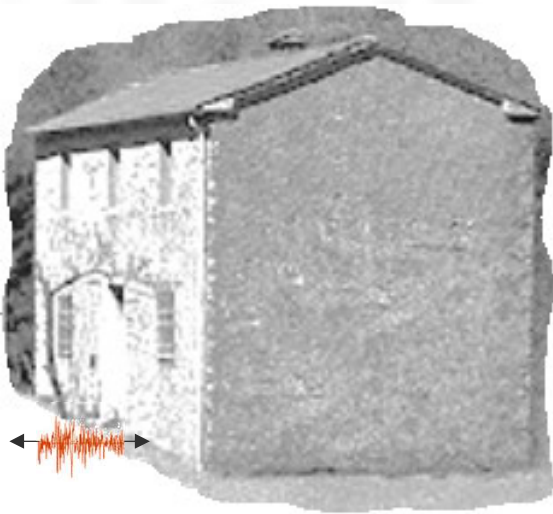
Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



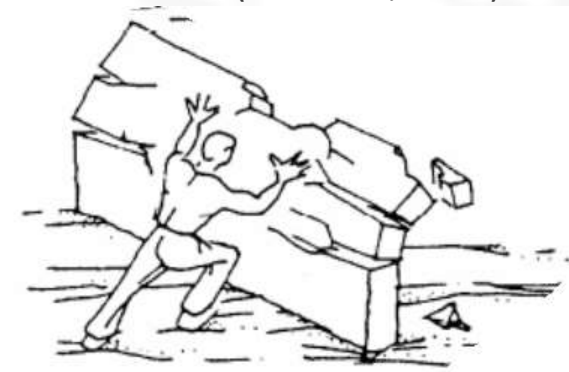
Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

**edifici con struttura in muratura portante**



*nel piano*



*fuori dal piano*

(Touliatos, 1996)

- Meccanismi resistenti nel piano e fuori dal piano



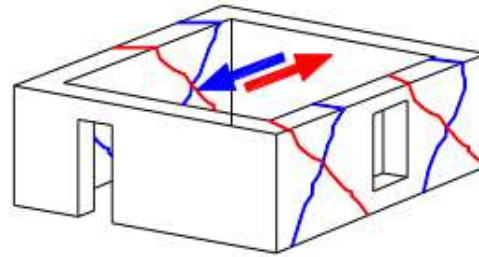
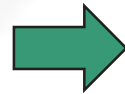
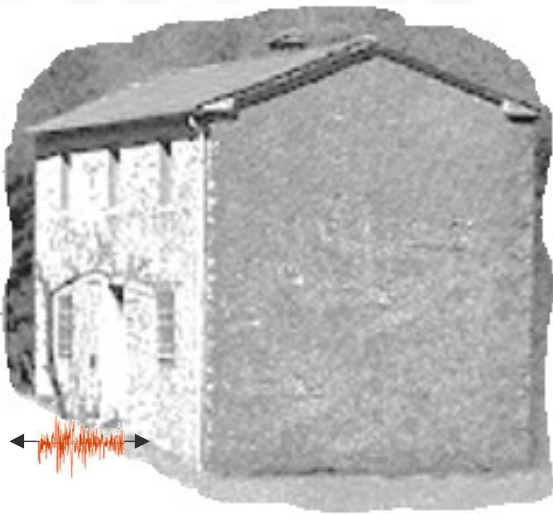
Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



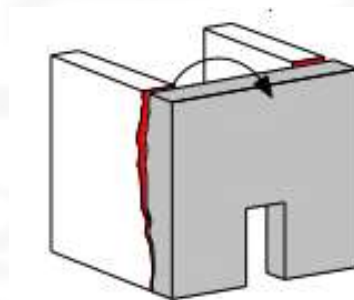
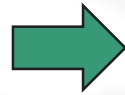
Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

**edifici con struttura in muratura portante**



meccanismo nel piano (**II modo**)



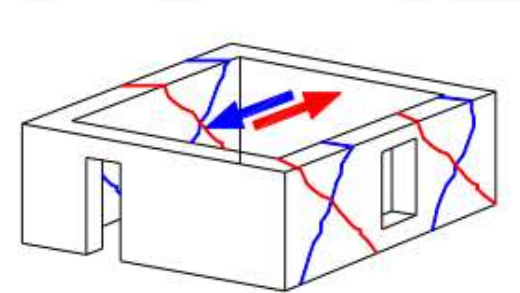
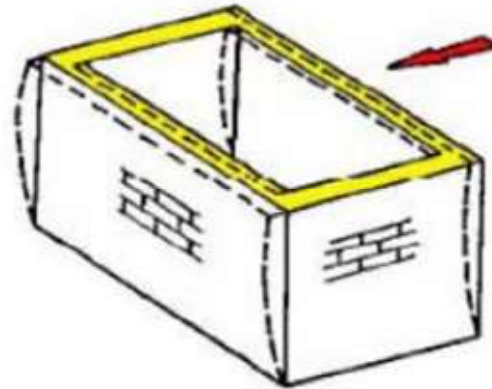
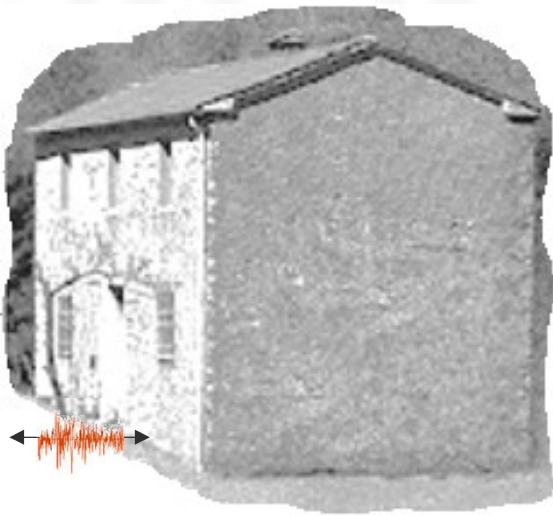
meccanismo fuori piano (**I modo**)

- Meccanismi resistenti nel piano e fuori dal piano



## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

**edifici con struttura in muratura portante**



- buon ammorsamento tra le pareti – presenza di cordoli → **comportamento scatolare**

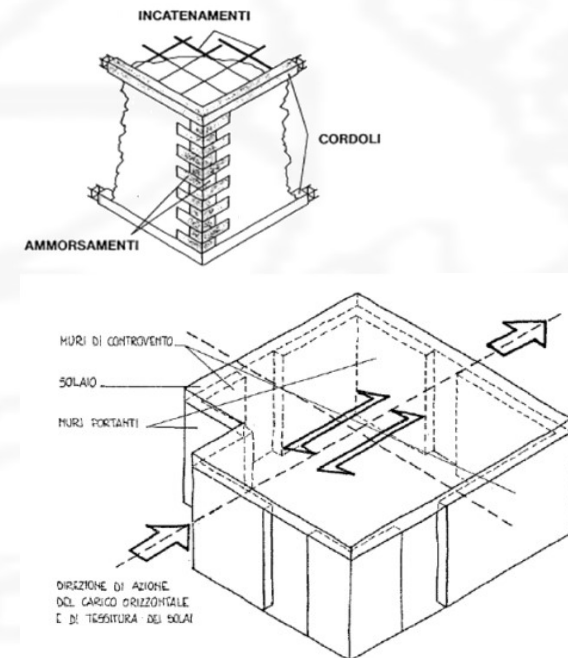




## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

- L'edificio a muratura portante deve essere concepito come una **struttura tridimensionale**.
- 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"**.

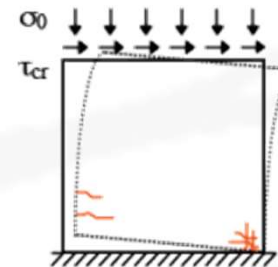
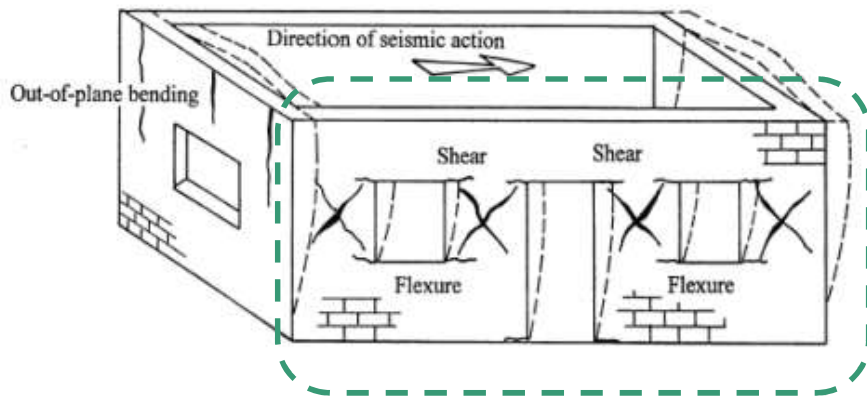


- questo concetto è alla base della **progettazione** in zona sismica degli edifici in muratura

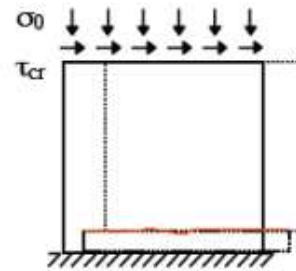


## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

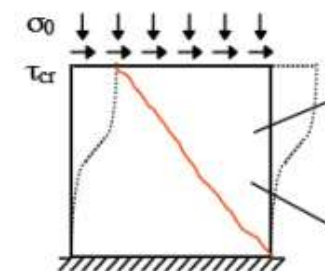
### edifici con struttura in muratura portante



pressoflessione



taglio-scorrimento



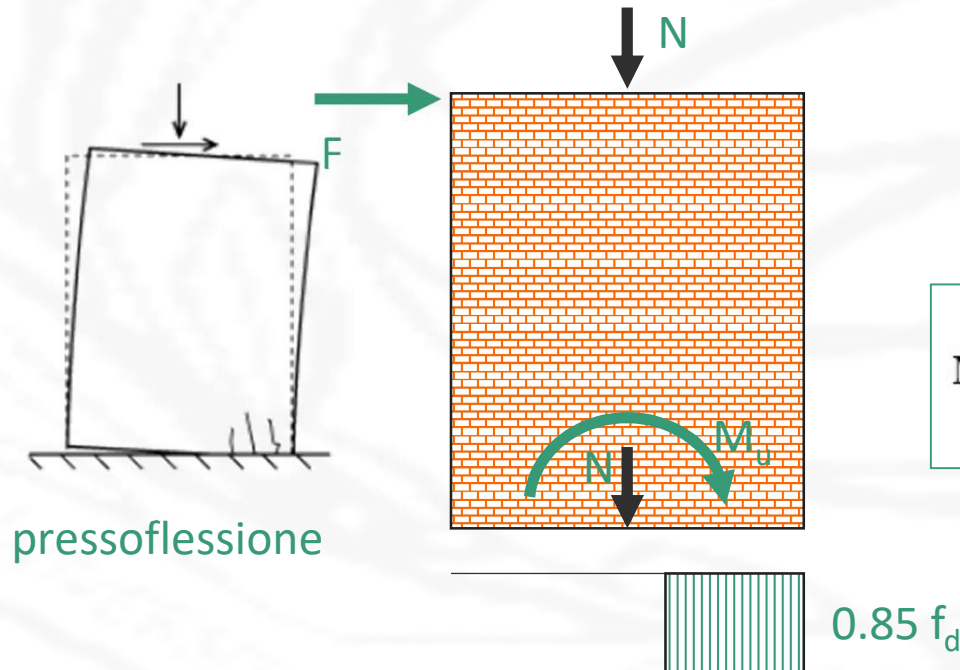
taglio-diagonale

- meccanismi di danneggiamento nel piano dei pannelli murari



## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

edifici con struttura in muratura portante



in condizioni ultime

$$M_u = \left( l^2 \cdot t \cdot \frac{\sigma_0}{2} \right) \left( 1 - \frac{\sigma_0}{0.85 f_d} \right)$$

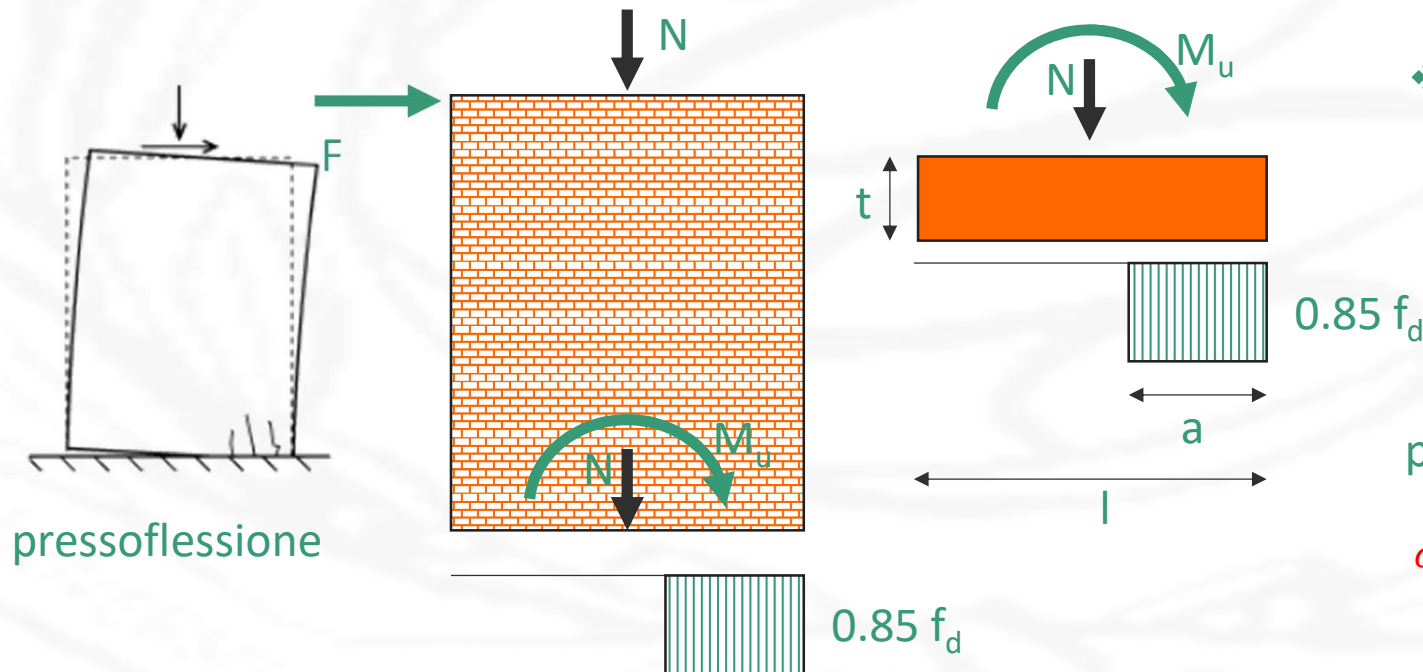


- ...assumendo la muratura non reagente a trazione e un'opportuna distribuzione non lineare delle compressioni.



## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

edifici con struttura in muratura portante



❖ equilibrio alla traslazione

$$0.85 \cdot f_d \cdot a \cdot t = N$$



$$a = \frac{N}{0.85 \cdot f_d \cdot t}$$

posto:

$$\sigma_0 = \frac{N}{l \cdot t}$$

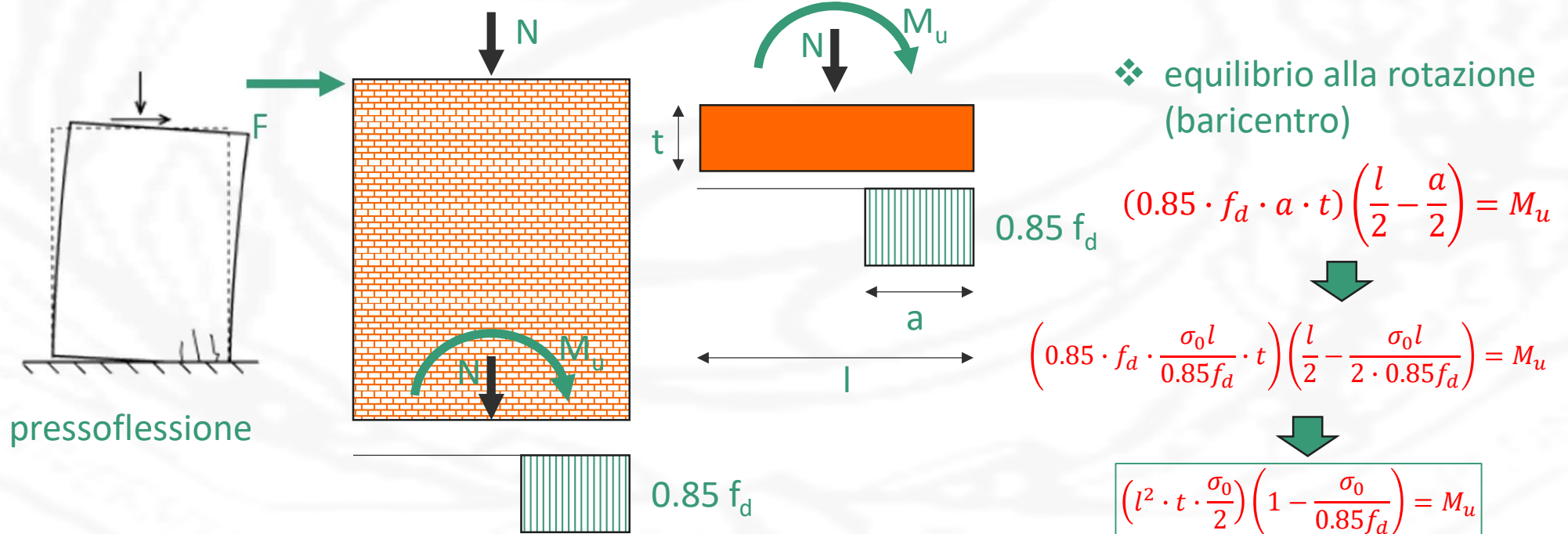
segue:

$$a = \frac{\sigma_0 \cdot l}{0.85 \cdot f_d}$$

- ...assumendo la muratura non reagente a trazione e un'opportuna distribuzione non lineare delle compressioni.

## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

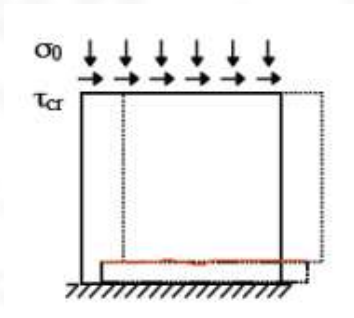


- ...assumendo la muratura non reagente a trazione e un'opportuna distribuzione non lineare delle compressioni.



## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante



taglio-scorrimento

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



si verifica in genere per bassi valori dell'azione assiale

- l' parte compressa della parete ottenuta sulla base di un **diagramma lineare delle compressioni** ed in assenza di resistenza a trazione.

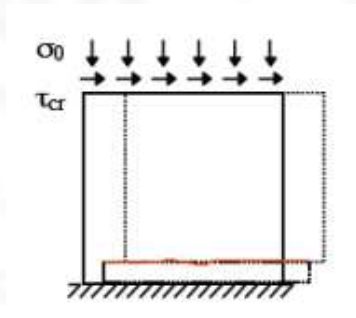




## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

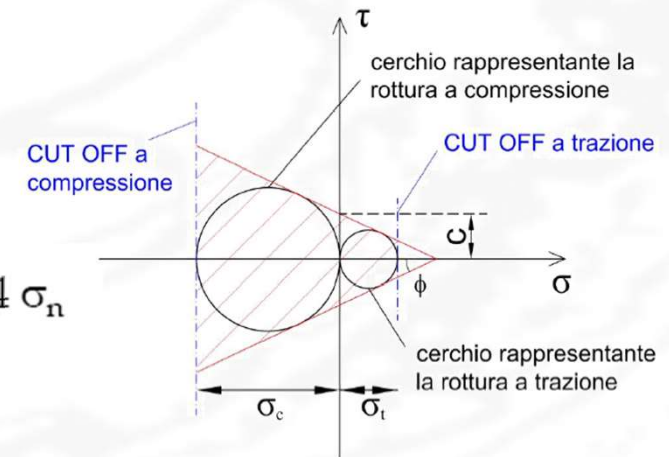
assumendo il dominio di Mohr-Coulomb (costituisce una stima della resistenza di un solido murario, opportunamente ridotta per tenere conto della dispersione dei dati sperimentali)



taglio-scorrimento

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

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



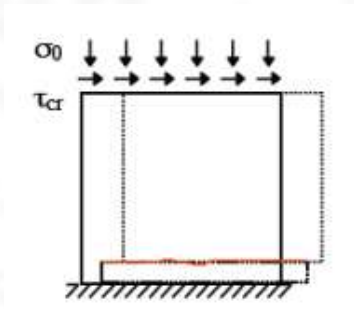
- l' parte compressa della parete ottenuta sulla base di un **diagramma lineare delle compressioni** ed in assenza di resistenza a trazione.



## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

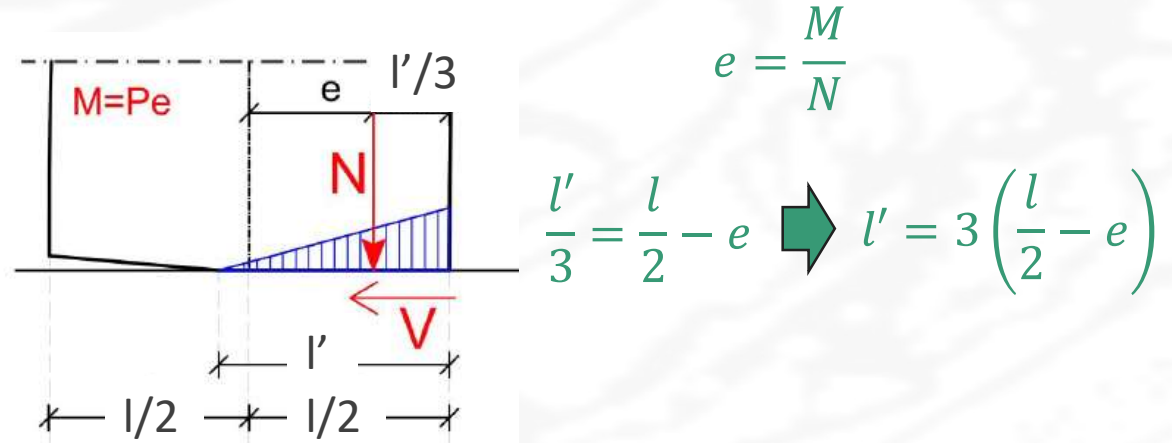
### edifici con struttura in muratura portante

assumendo il dominio di Mohr-Coulomb (costituisce una stima della resistenza di un solido murario, opportunamente ridotta per tenere conto della dispersione dei dati sperimentali)



taglio-scorrimento

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



- $l'$  parte compressa della parete ottenuta sulla base di un **diagramma lineare delle compressioni** ed in assenza di resistenza a trazione.

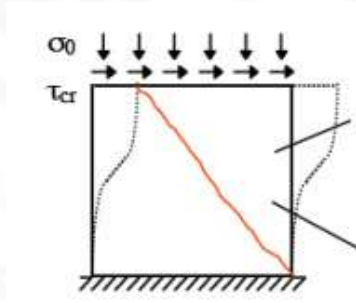


## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

muratura irregolare/muratura regolare

$$V_t = l \cdot t \frac{1.5\tau_{0d}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1.5\tau_{0d}}} = l \cdot t \frac{f_{td}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_{td}}}$$



taglio-diagonale

muratura regolare

$$V_t = \frac{l \cdot t}{b} (\tilde{f}_{v0d} + \tilde{\mu}\sigma_0) = \frac{l \cdot t}{b} \left( \frac{f_{v0d}}{1 + \mu\phi} + \frac{\mu}{1 + \mu\phi} \sigma_0 \right) \leq V_{t,lim}$$

$$V_{t,lim} = \frac{lt}{b} \frac{f_{btd}}{2.3} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_{btd}}}$$



- influenzato dalla tipologia di tessitura muraria.

si verifica in genere per elementi  
tozzi:  $h/l < 1.5$

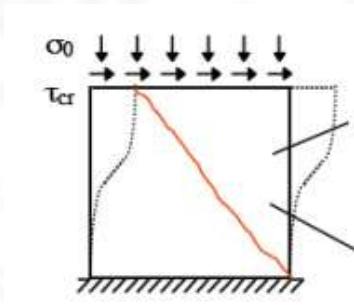




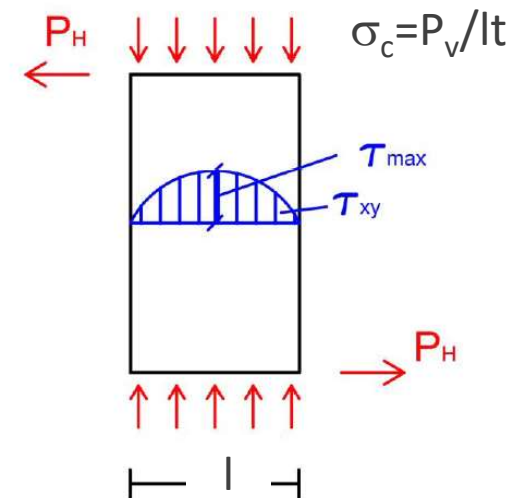
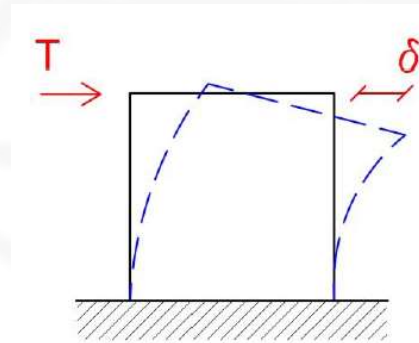
## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

si considera il modello di Turnsek-Cacovic valido nel caso rottura diagonale e basato su una prova che vede la contemporanea presenza di taglio e flessione.



taglio-diagonale

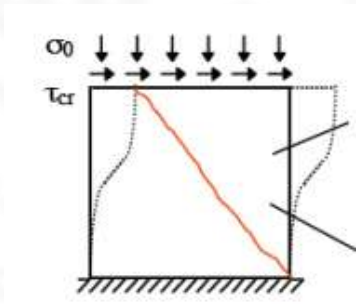


- influenzato dalla tipologia di tessitura muraria.

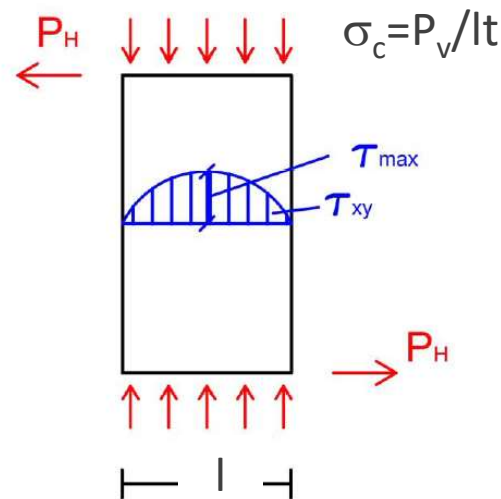
## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

si considera il modello di Turnsek-Cacovic valido nel caso rottura diagonale e basato su una prova che vede la contemporanea presenza di taglio e flessione.



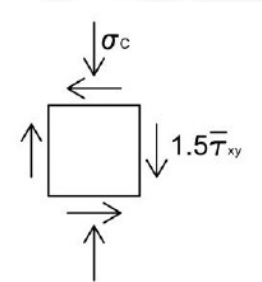
taglio-diagonale



effettuando la verifica al centro del pannello:

$$\sigma_c = P_v / lt$$

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

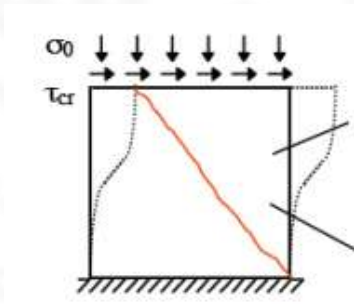


- influenzato dalla tipologia di tessitura muraria.

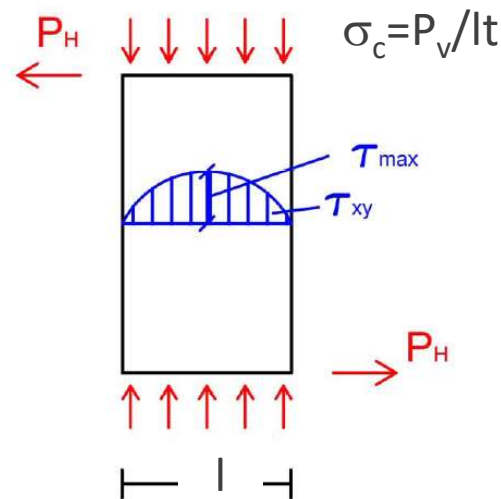
## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

si considera il modello di Turnsek-Cacovic valido nel caso rottura diagonale e basato su una prova che vede la contemporanea presenza di taglio e flessione.

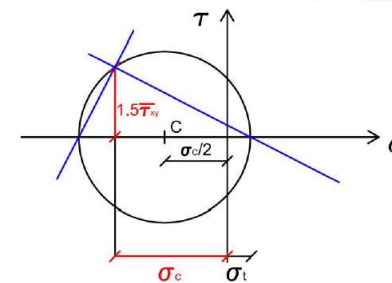


taglio-diagonale



la tensione principale di trazione risulta pari a:

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



- influenzato dalla tipologia di tessitura muraria.

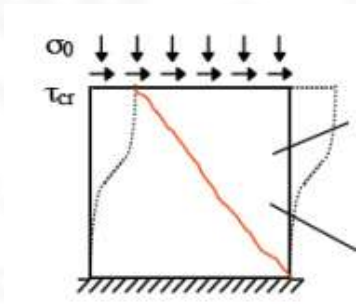




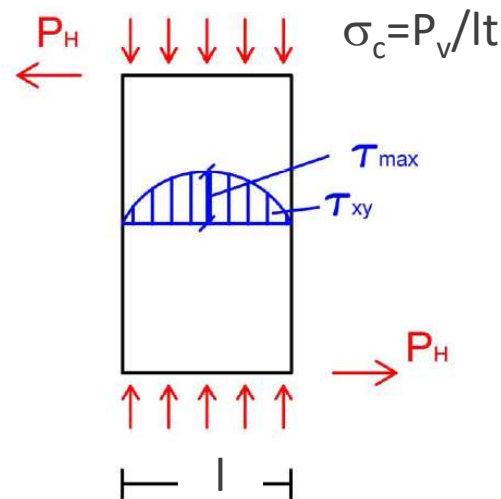
## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

si considera il modello di Turnsek-Cacovic valido nel caso rottura diagonale e basato su una prova che vede la contemporanea presenza di taglio e flessione.



taglio-diagonale



il collasso avviene quando:

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

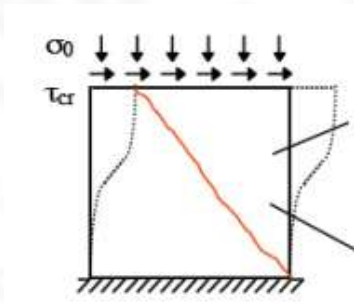
- influenzato dalla tipologia di tessitura muraria.



## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

si considera il modello di Turnsek-Cacovic valido nel caso rottura diagonale e basato su una prova che vede la contemporanea presenza di taglio e flessione.



taglio-diagonale

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



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

$$\bar{\tau}_{xy} = \frac{1}{1.5^2} f_t \sqrt{1 + \frac{\sigma_c}{f_t}}$$



$$V = \bar{\tau}_{xy} l \cdot t = l \cdot t \frac{1}{1.5^2} f_t \sqrt{1 + \frac{\sigma_c}{f_t}}$$

- influenzato dalla tipologia di tessitura muraria.



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

**edifici con struttura in muratura portante**



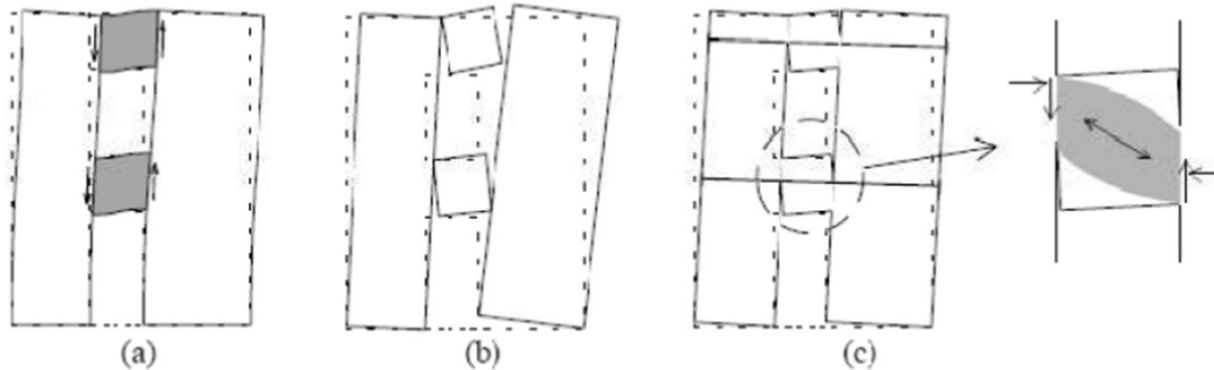
- Il ruolo delle **fasce di piano**: elemento di collegamento tra le porzioni verticali di parete (maschi) responsabile del trasferimento delle sollecitazioni.





## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

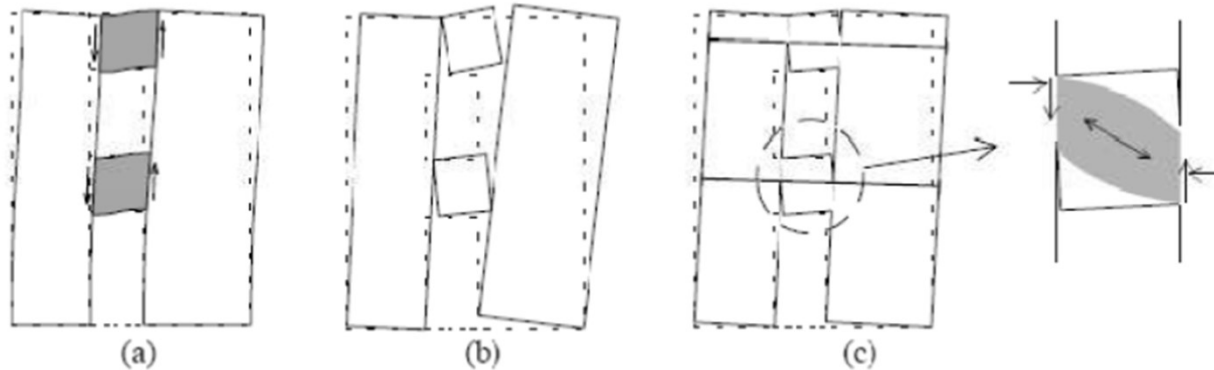


- L'accoppiamento fornito dalle fasce è particolarmente influenzato dal **grado di compressione cui sono soggette in direzione orizzontale**: esso infatti contribuisce a fornire la resistenza flessionale atta ad opporsi al meccanismo di ribaltamento generato dalla risposta deformativa globale della parete



## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante



- La compressione assiale all'interno delle fasce, che contribuisce all'attivazione del meccanismo a puntone, si sviluppa solo in presenza di elementi di ritegno resistenti a trazione quali catene o cordoli in c.a. di piano, disposti in accoppiamento alla fascia



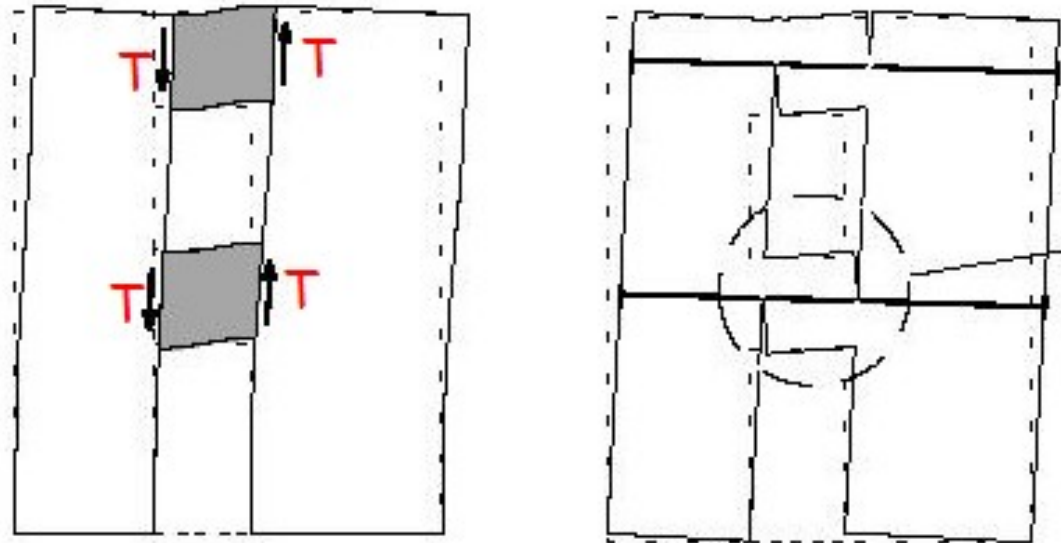
Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

edifici con struttura in muratura portante → comportamento in presenza di azioni sismiche



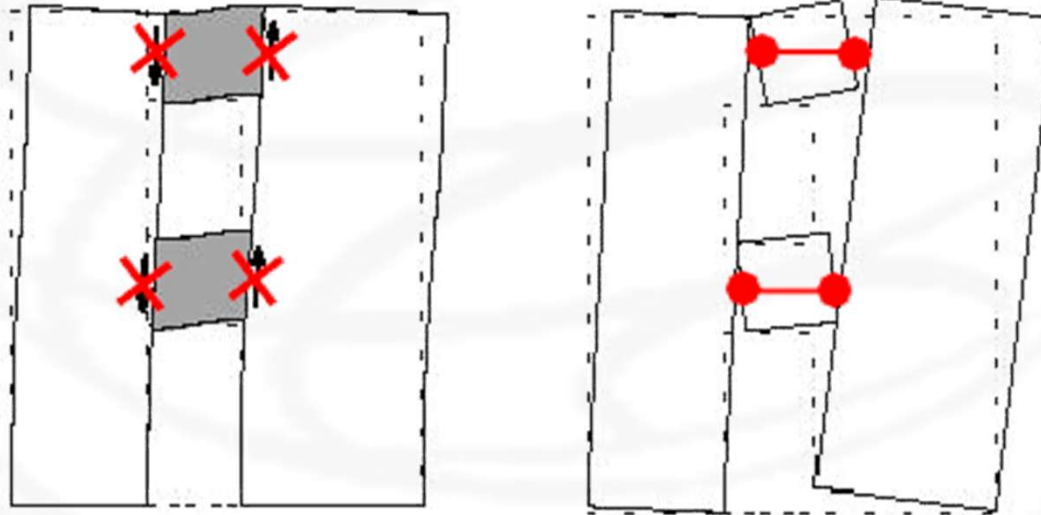
- Fasce di piano resistenti a taglio: maschi murari accoppiati (parete = telaio)





## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante



- Fasce di piano non resistenti a taglio: maschi murari non accoppiati (parete = mensole accoppiate)



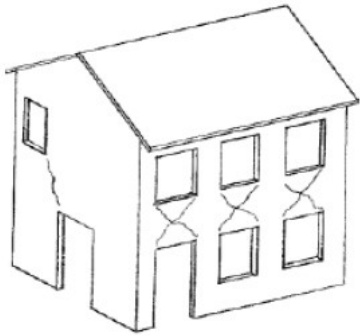
Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

**edifici con struttura in muratura portante**

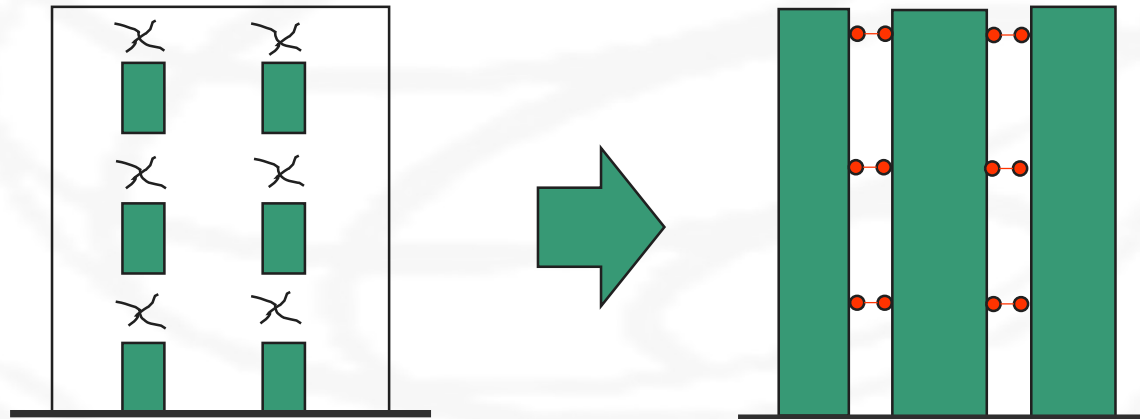


- danni esibiti dalle fasce di piano



## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

**edifici con struttura in muratura portante**



- il collasso delle fasce di piano conduce ad uno schema resistente della parete particolarmente vulnerabile nei confronti delle azioni sismiche (face deboli)





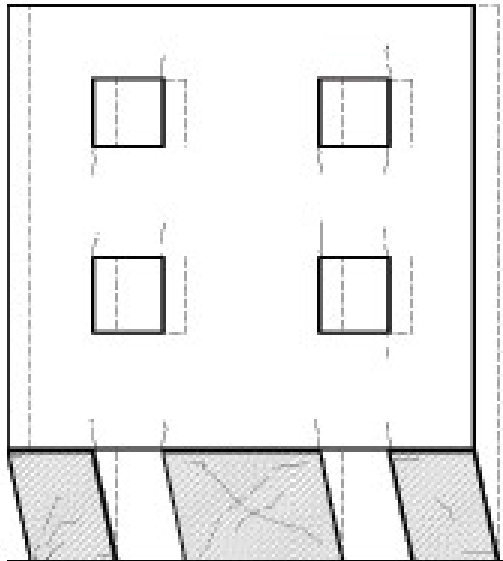
Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

**edifici con struttura in muratura portante**



- la tipologia di fascia influenza la risposta della parete



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma

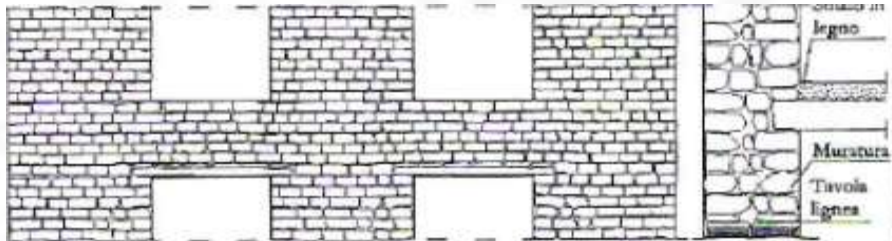


Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

**FASCIA DI PIANO DEBOLE:** Assenza di elementi tenso-resistenti; le piattabande, in legno o in ferro, sono semplicemente appoggiate, senza ancoraggi, alle spalle dei vani e non possono quindi svolgere la funzione di efficaci tiranti



- Il meccanismo resistente delle fasce di piano è fortemente dipendente non solo dalla geometria della fascia (tozza o snella) ma soprattutto dalla sua tipologia.



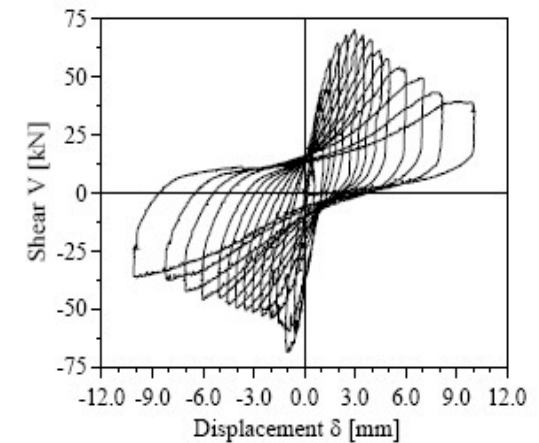
## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

#### FASCIA DI PIANO DEBOLE



[Gattesco, Clemente, 2008]



- Meccanismo di rottura caratterizzato da lesioni sub-verticali in corrispondenza delle zone di intersezione con i maschi murari
- Degrado molto rapido della resistenza a taglio

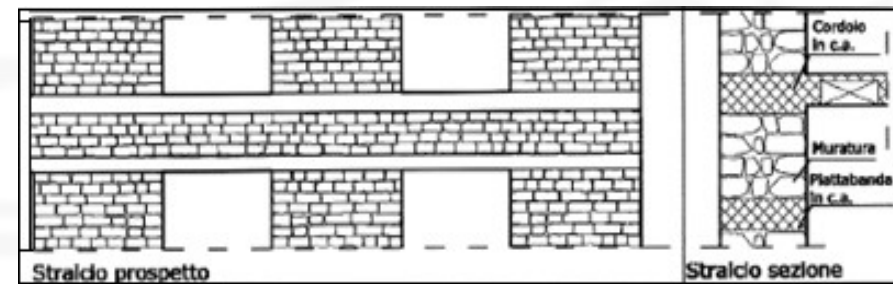
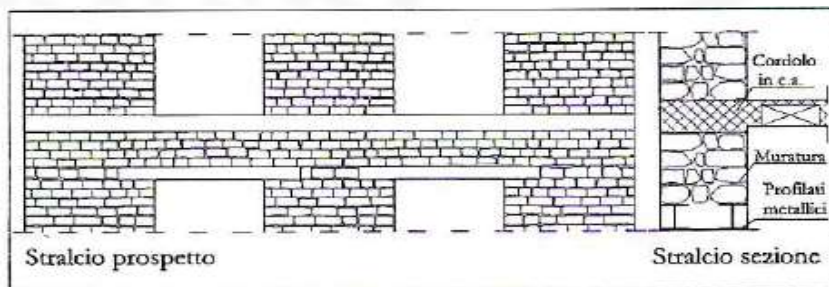




## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

**FASCIA DI CONFINATA:** presenza di un cordolo continuo in c.a. in corrispondenza del solaio; presenza di un cordolo continuo in c.a. in corrispondenza del solaio e al di sopra dei vani “fascia trave”



- Il meccanismo resistente delle fasce di piano è fortemente dipendente non solo dalla geometria della fascia (tozza o snella) ma soprattutto dalla sua tipologia.





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma

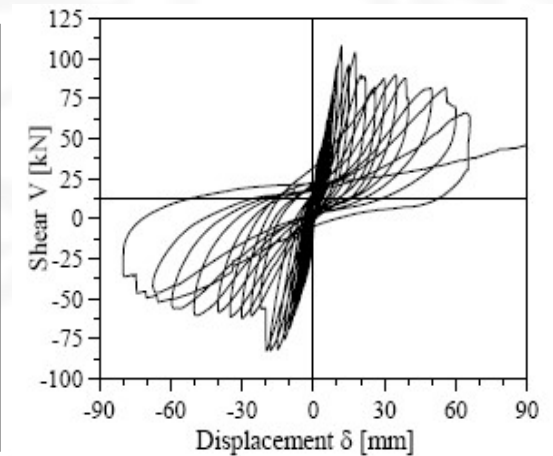


Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

edifici con struttura in muratura portante

### FASCIA DI PIANO CONFINATA



- Incremento della resistenza globale e riduzione del degrado
- Fessurazione diagonale: attivazione di un puntone resistente



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

**edifici con struttura in muratura portante**

### FASCIA DI PIANO CONFINATA



- Taglio (assorbito dalla muratura)
- Trazione (associata all'elemento tenso-resistente)




## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

#### FASCIA DI PIANO CONFINATA

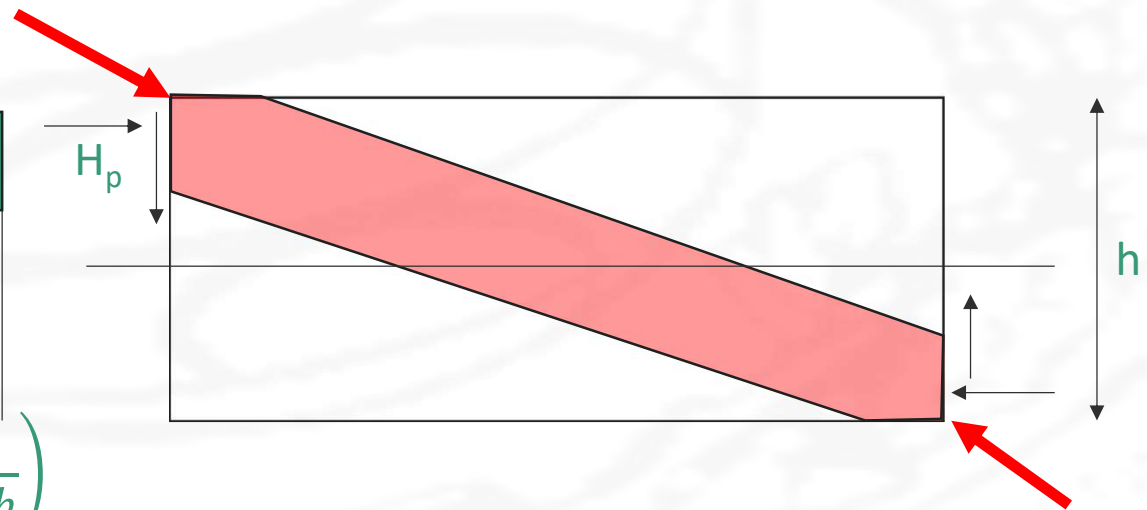
- **pressoflessione**

$$a = \frac{H_p}{0.85 f_{hd} t}$$


equilibrio alla rotazione:

$$M_u = H_p \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) = H_p \frac{h}{2} \left( 1 - \frac{H_p}{0.85 f_{hd} t h} \right)$$

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





## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

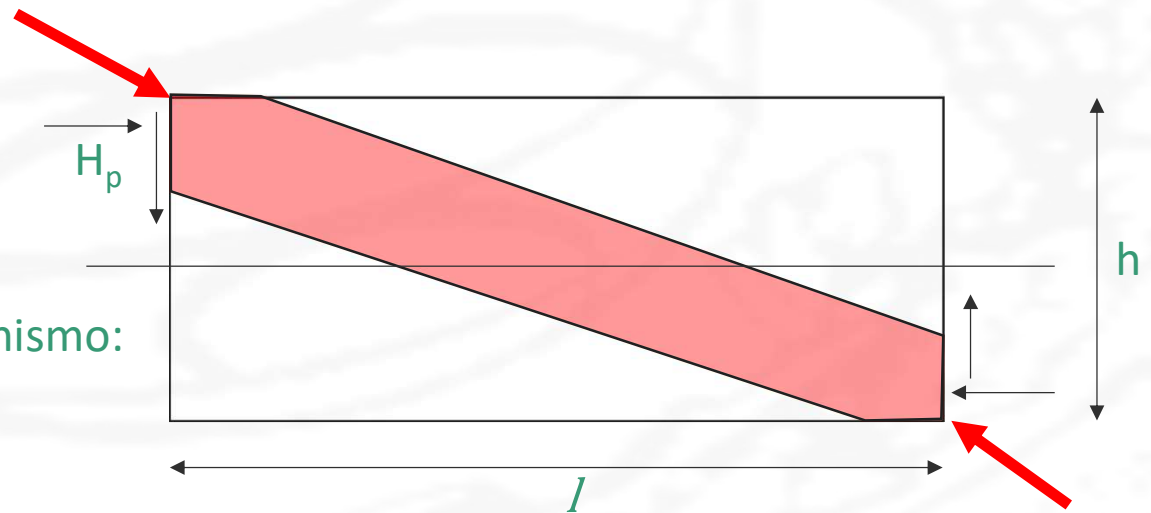
#### FASCIA DI PIANO CONFINATA

- pressoflessione

capacità a taglio associata a questo meccanismo:

$$V = \frac{2M_u}{l}$$

oppure:  $V = h \cdot t \cdot f_{vd0}$







Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

#### FASCIA DI PIANO CONFINATA

- taglio diagonale

$$V_t = l \cdot t \frac{1.5\tau_{0d}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1.5\tau_{0d}}} = l \cdot t \frac{f_{td}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_{td}}}$$

*...nella quale la tensione media di compressione  $\sigma_0$ , che può essere usualmente trascurata, è la maggiore tra quella orizzontale, se nota in maniera affidabile dal modello di calcolo, e quella verticale, valutabile a partire dai carichi eventualmente trasmessi dai solai e dalla diffusione delle tensioni verticali nei maschi murari adiacenti.*



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma

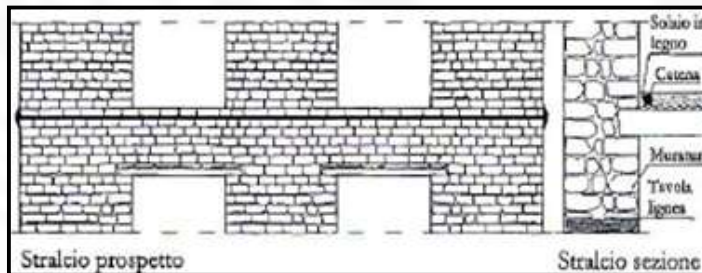


Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

**FASCIA DI CONSOLIDATA:** Adozione di una catena metallica; Placcaggio del pannello di fascia con reti metalliche ;  
Utilizzo di materiali del tipo fibrorinforzati



- Il meccanismo resistente delle fasce di piano è fortemente dipendente non solo dalla geometria della fascia (tozza o snella) ma soprattutto dalla sua tipologia.



Università degli Studi  
*Guglielmo Marconi* - Roma



**Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata**  
Commissione Strutture e Geotecnica

# VULNERABILITÀ DELLE COSTRUZIONI ESISTENTI IN MURATURA

comportamento nel piano ed aspetti legati alla  
modellazione



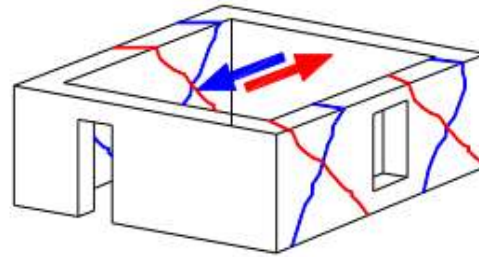
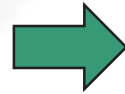
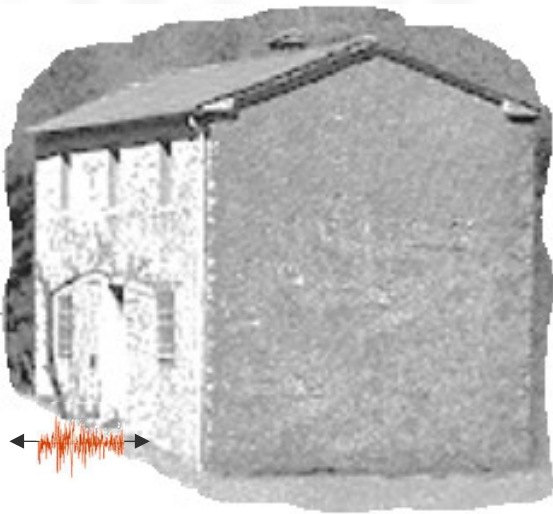
Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



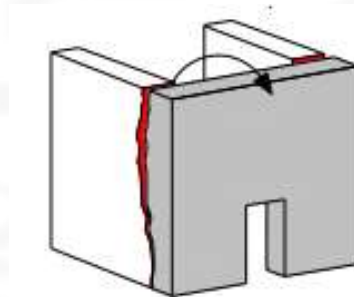
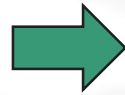
Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## PREMESSA

**edifici con struttura in muratura portante**



meccanismo nel piano (**II modo**)



meccanismo fuori piano (**I modo**)

- Meccanismi resistenti nel piano e fuori dal piano





Università degli Studi  
*Guglielmo Marconi* - Roma



*Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata*  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

**edifici con struttura in muratura portante**

**Modellazione delle strutture in muratura (comportamento nel piano)**

dalla complessità del **materiale** alla complessità della **struttura**



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



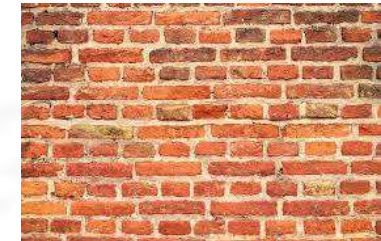
Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

La muratura è un materiale composito costituito dall'assemblaggio di elementi naturali o artificiali, aventi forma regolare o irregolare, messi in opera senza o con interposizione di una sostanza legante o cementante.

- blocchi
- disposizione (tessitura muraria)
- giunti



Variabilità in termini di materiali di base e di tecniche costruttive: influenza sui parametri meccanici.

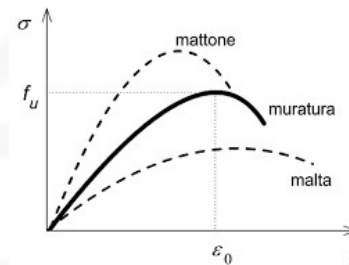


## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

#### □ la muratura – caratteristiche meccaniche

proprietà meccaniche dipendenti da: proprietà meccaniche dei singoli componenti; geometria e tessitura dell'organismo murario.



- i blocchi hanno un comportamento elasto-fragile, con una resistenza a trazione minore rispetto a quella a compressione, ma comunque significativa.
- la malta ha un comportamento di tipo elasto-plastico, con notevoli deformazioni anelastiche: in compressione e a taglio il suo comportamento è duttile e fortemente non lineare



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma

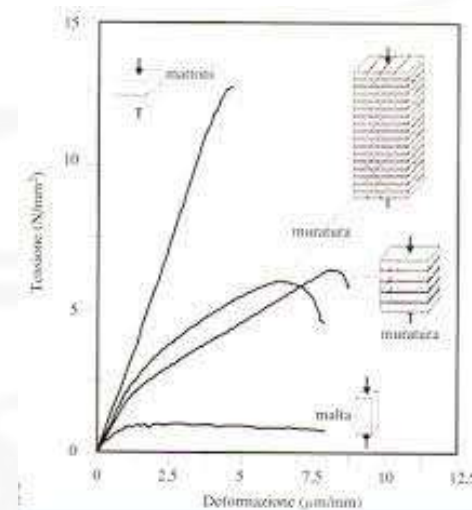


Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

La tessitura muraria, ossia l'assemblaggio dei vari blocchi tra loro per formare un contino, è l'aspetto più rilevante nello studio di un manufatto murario.







Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

In generale, i blocchi sono posizionati su filari successivi, alternati da letti di malta:

- giunti principali (orizzontali, tra due successive stese di mattoni)
- giunti secondari (verticali, tra due elementi contigui)



Una delle regole del “buon costruire” consiste appunto nell’orientare i letti di malta perpendicolarmente al flusso di tensioni dovuto alle sollecitazioni prevalenti (si pensa ai carichi verticali appunto).



Università degli Studi  
*Guglielmo Marconi* - Roma



*Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata*  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

Tuttavia, i giunti di malta costituiscono dei potenziali piani di rottura per un elemento murario

- la loro presenza può penalizzare fortemente la resistenza globale di un elemento murario, soprattutto in presenza di azioni orizzontali.





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



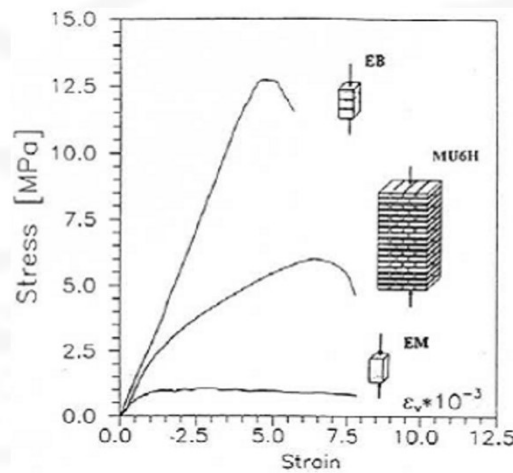
Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

**edifici con struttura in muratura portante**

### caratteristiche meccaniche

Il comportamento non lineare della muratura nel suo complesso deriva sia dalle caratteristiche dei singoli costituenti, sia dall'interazione tra blocchi e malta.







Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

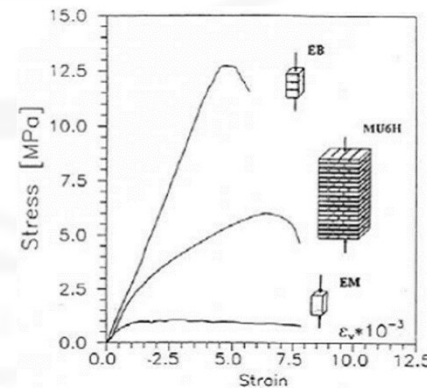
## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

#### caratteristiche meccaniche

Durante una prova di compressione monoassiale la malta è confinata dai blocchi e, di conseguenza, essa sarà soggetta ad uno stato di compressione triassiale.

Per questo motivo la muratura può resistere a sforzi di compressione maggiori rispetto alla resistenza monoassiale della malta.





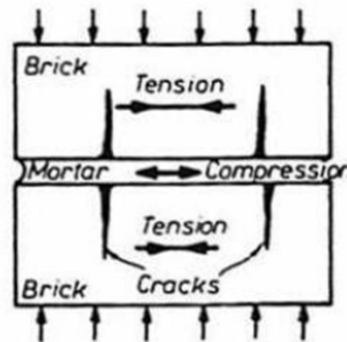


## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

#### caratteristiche meccaniche

- blocchi e malta si dilatano lateralmente in ragione dei rispettivi moduli di Poisson: tale deformazione è maggiore nella malta
- segue che nella zona di interfaccia nascono delle tensioni tangenziali che inducono trazione nei blocchi e compressione nella malta





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



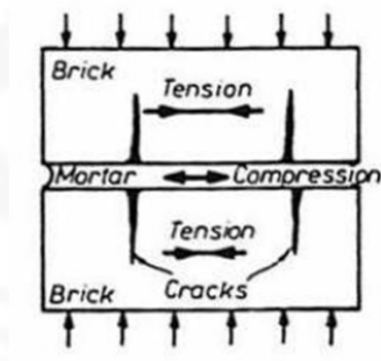
Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

**edifici con struttura in muratura portante**

### caratteristiche meccaniche

- Le trazioni sui blocchi sono quelle che portano alla rottura del composito murario.





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

#### □ la muratura – caratteristiche meccaniche

È fondamentale analizzare il comportamento meccanico della muratura quale unico elemento.

Le sue principali caratteristiche sono:

- disomogeneità
- anisotropia
- asimmetria di comportamento (bassa resistenza a trazione)
- non linearità del legame sforzi-deformazioni



Università degli Studi  
*Guglielmo Marconi* - Roma



*Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata*  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

- nella valutazione della sicurezza sismica globale delle costruzioni in muratura, la stessa circolare esplicativa delle NTC2018 pone particolare attenzione alla modellazione:



MODELLAZIONE – ANALISI - VERIFICA





Università degli Studi  
*Guglielmo Marconi* - Roma



**Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata**  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### **edifici con struttura in muratura portante**

- La complessità a livello di materiale si ripercuote sulla modellazione delle strutture in muratura (specialmente nel caso di quella storica)
- si ricorre a semplificazioni: più chiara lettura dei risultati che per un minor onere computazionale:
  - scelta del modello di materiale
  - Discretizzazione del pannello murario
  - Schematizzazione strutturale.



Università degli Studi  
*Guglielmo Marconi* - Roma



*Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata*  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

#### scelta del modello di materiale

- la muratura è caratterizzata da:
  - una resistenza a trazione notevolmente più bassa di quella a compressione
  - una resistenza a taglio che dipende dalla compressione agente sui giunti
  - una risposta di tipo elastico (lineare) solo per sollecitazioni molto basse.

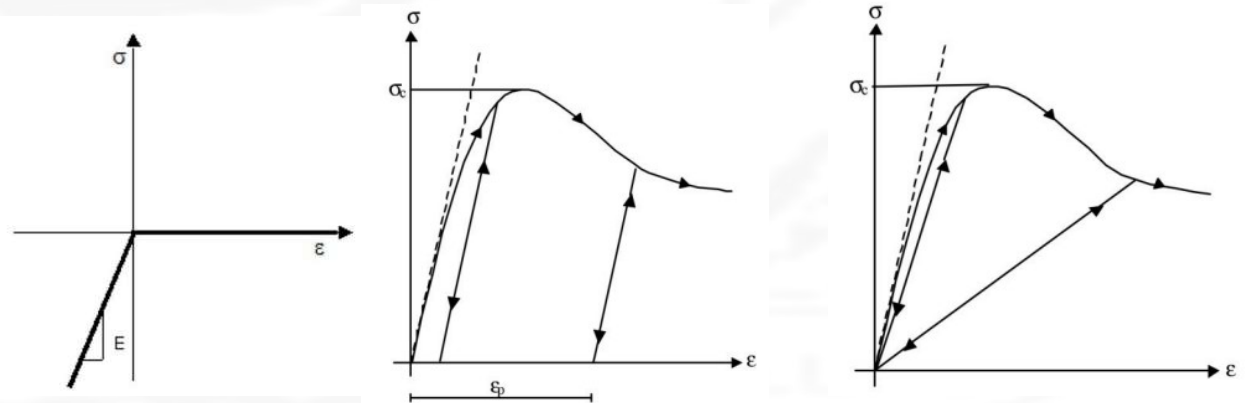


## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

#### scelta del modello di materiale

- principali categorie di legami costitutivi per rappresentare il comportamento della muratura :
  - Legami NRT (Non Resistenti a Trazione)
  - Legami plastici
  - Legami a danneggiamento





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma

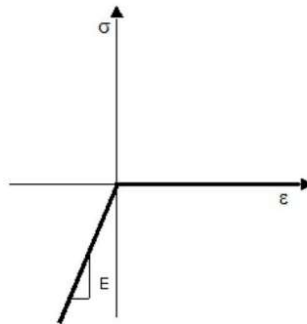


Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

- Legami NRT (Non Resistenti a Trazione)
  - La resistenza a compressione può essere di tipo elastico.
  - il comportamento è descritto solamente dalla matrice di rigidezza e dal dominio limite di resistenza: due elementi che non subiscono variazioni nel corso della storia di carico.





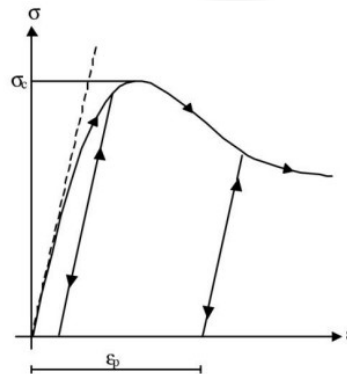


## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

- Legami plastici

- raggiunto un certo valore di resistenza del materiale definito di “snervamento”, si attivano delle deformazioni anelastiche irreversibili.
- la deformazione totale è data dalla somma delle deformazioni elastiche reversibili con quelle anelastiche irreversibili

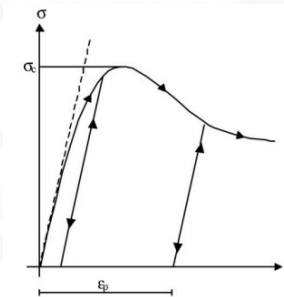




## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

- **Legami plastici**
  - la matrice di deformazione non subisce variazioni durante la fase di carico pre-snervamento
  - per il tratto plastico invece si assumono opportune leggi di scorrimento in grado di definire il legame tra tensione e deformazione di uno stato tensionale posto in corrispondenza della superficie di snervamento: sono definite “associate” se la direzione dello scorrimento è ortogonale alla superficie, oppure “non associate”, in caso contrario.





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma

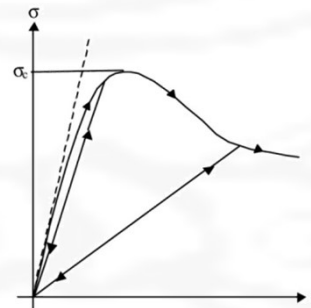


Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

- Legami a danneggiamento
  - Il comportamento fragile della muratura comporta che la sua deformazione è dovuta principalmente al danno.
  - Quando il danno si manifesta attraverso la formazione di fessure si ha una riduzione della rigidezza elastica e, dunque, una riduzione della pendenza del ramo di scarico (minore rispetto al tratto elastico iniziale)





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

- Legami a danneggiamento
  - scelta della rappresentazione delle fessure nel modello: **discreta o continua (detta anche diffusa)**.
  - **fessurazione discreta**: discontinuità geometrica che implica la separazione dei lembi degli elementi (continua variazione del numero dei nodi della mesh e vincola il fenomeno fessurativo a seguire un percorso predefinito lungo i bordi degli elementi).
  - **fessurazione diffusa**: il processo di fessurazione è distribuito su una banda di elementi, dove vi è una concentrazione della deformazione: l'iniziale legame isotropo viene sostituito da una legge ortotropa in seguito alla formazione del fenomeno fessurativo. Modifica della matrice di elasticità, degradando dunque le proprietà meccaniche, senza aumentare il numero dei nodi





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



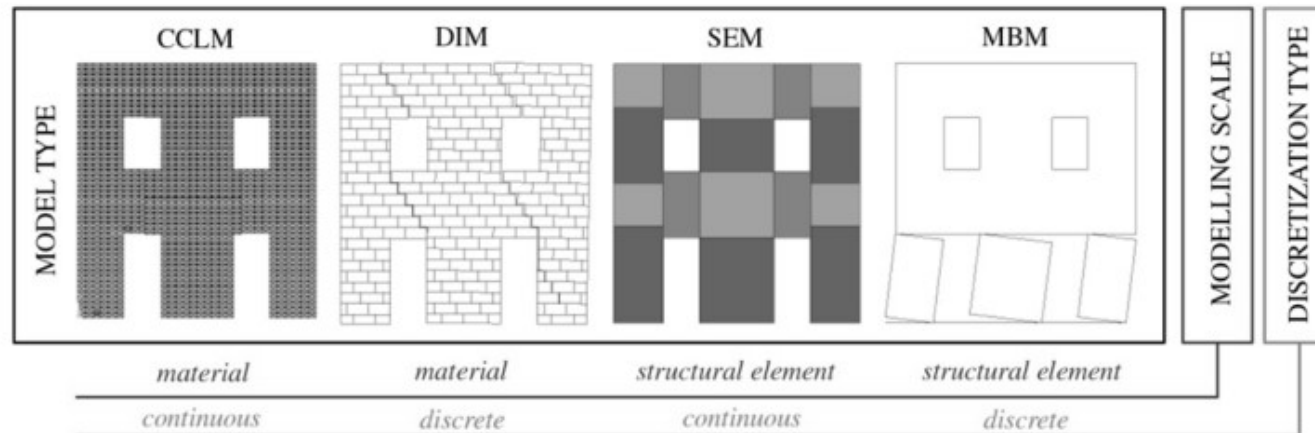
Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

#### Discretizzazione del pannello murario

La discretizzazione del pannello murario può essere continua (omogenea) o discreta, e può interessare il materiale o gli elementi strutturali



(Lagomarsino, 2015)

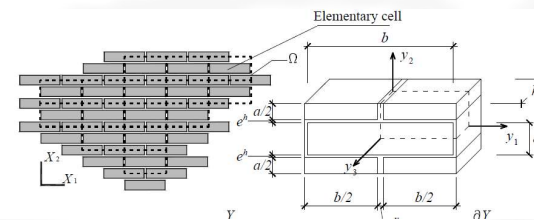
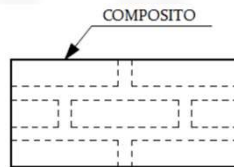
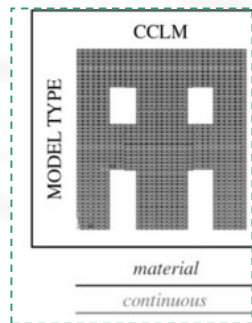


## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

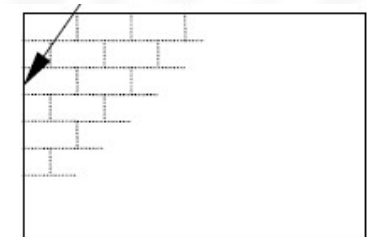
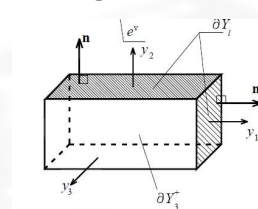
### edifici con struttura in muratura portante

#### Discretizzazione del pannello murario

- **CCLM - Continuous Constitutive Law Models:** modellazione in cui la muratura è considerata come omogenea e il legame costitutivo è definito con approcci fenomenologici o con tecniche di omogeneizzazione.



Omogeneizzazione



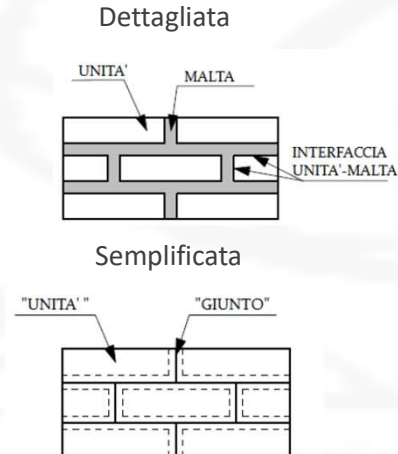
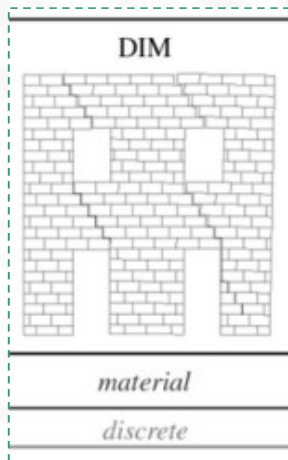


## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

#### Discretizzazione del pannello murario

**DIM - Discrete Interface Models:** modellazione discreta di blocchi ed interfacce





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



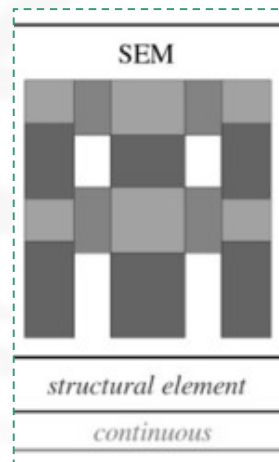
Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

Discretizzazione del pannello murario

**SEM - Structural Elements Models:** modellazione con discretizzazione in termini di maschi, fasce e altri elementi lineari o non lineari





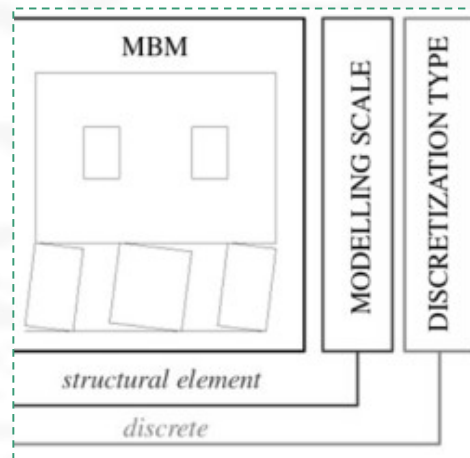


## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

#### Discretizzazione del pannello murario

- **MBM - Macro-Blocks Models**: analisi limite di un predefinito meccanismo di collasso di un blocco rigido, sotto ipotesi compatibili con il comportamento della struttura in muratura

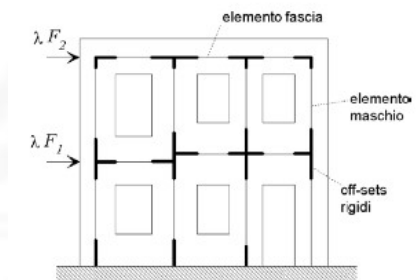
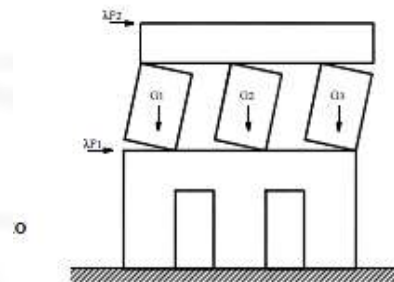
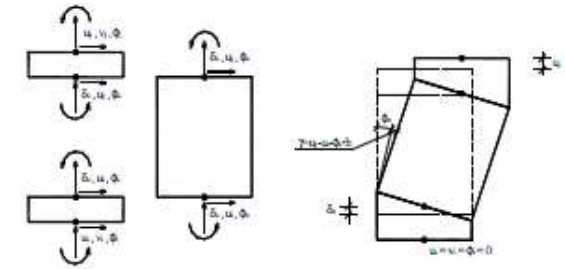
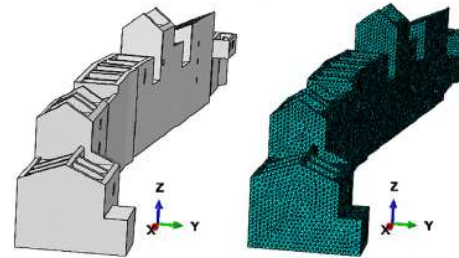




## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

- **MODELLAZIONE F.E.M.**
- **MACROMODELLI**
- **ANALISI LIMITE A ROTTURA**
- **MODELLO A TELAIO EQUIVALENTE**



approcci di modellazione della struttura



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



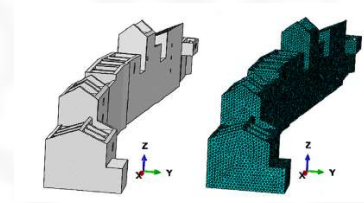
Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

#### MODELLAZIONE F.E.M.

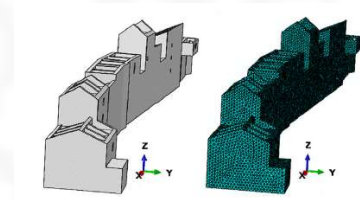
- analisi lineare: la risposta del singolo maschio in campo elastico è fortemente influenzata da una serie di scelte di modellazione:
  - considerando il contributo delle fasce, nascono sollecitazioni anomale e poco realistiche (fasi costruttive)
  - considerando la perfetta connessione tra maschi ortogonali (cantonali e martelli) alcuni elementi vanno irrealisticamente in trazione (effetto flangia)
  - alcuni maschi risultano poco caricati (e all'ultimo piano addirittura scarichi), quindi con resistenza nulla a taglio e pressoflessione





## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante



### MODELLAZIONE F.E.M.

- analisi lineare:
  - la verifica conduce a livelli di sicurezza molto bassi rispetto a quelli che si ottengono con una analisi statica non lineare
- analisi non lineare:
  - definizione dei legami costitutivi calibrare i parametri liberi del legame costitutivo su alcuni pannelli murari analoghi per dimensione e sforzo normale applicato a quelli presenti nell'edificio, al fine di riprodurre i criteri di resistenza delle NTC
  - controllare i livelli deformativi raggiunti dai pannelli murari



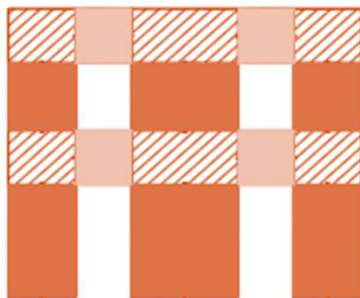


## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

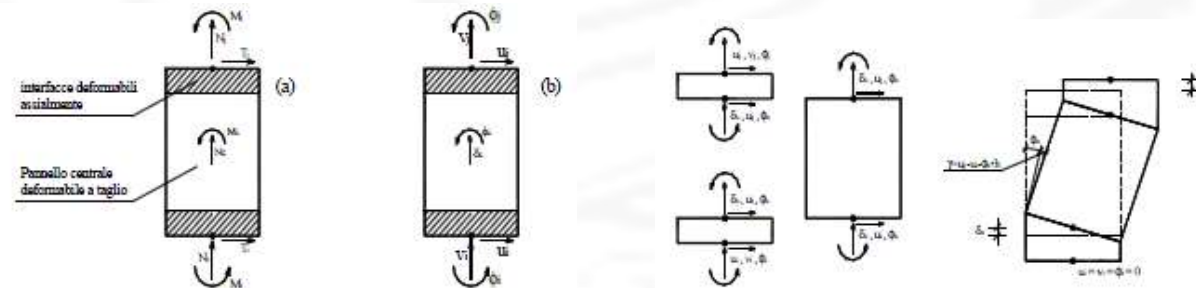
### edifici con struttura in muratura portante

#### MACROMODELLI

- è un modello meccanico equivalente pensato per descrivere il comportamento non lineare di una porzione di muratura



- nodi del modello
- ▨ zone rigide
- maschi murari
- ▨ fasce di piano

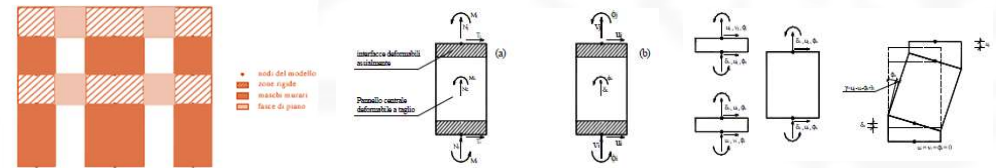




## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

#### MACROMODELLI



- i maschi murari e le fasce di piano vengono modellati tramite macro-elementi con un numero ridotto di g.d.l. in grado di simularne i diversi comportamenti
- Si riducono le 'dimensioni' del problema rispetto all'approccio agli Elementi Finiti
- La decomposizione del sistema in macro-elementi risulta fortemente influenzata dalla distribuzioni delle aperture
- I differenti macro-elementi formulati in letteratura sono spesso di difficile calibrazione e riescono a tenere in conto solo alcuni dei comportamenti peculiari dei maschi murari

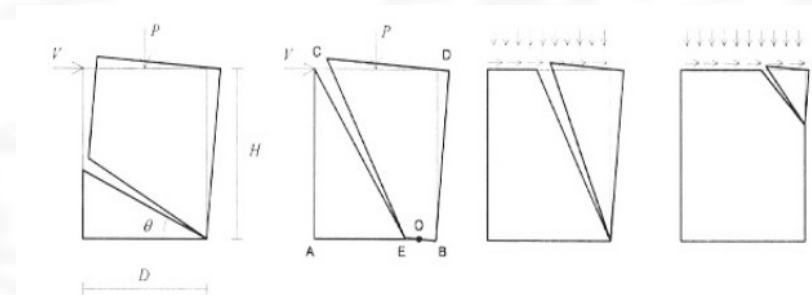
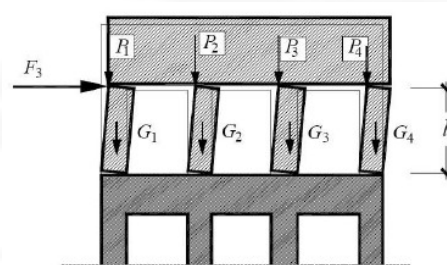
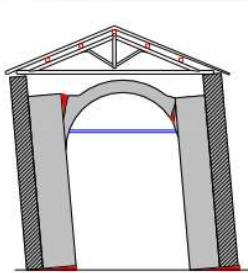


## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

#### ANALISI LIMITE A ROTTURA

- modellazione della muratura come un insieme di corpi rigidi, liberi di ruotare attorno a delle cerniere cilindriche che si possono formare all'interno della muratura
- L'insieme dei centri di rotazione assoluti e relativi definiscono il meccanismo di collasso.



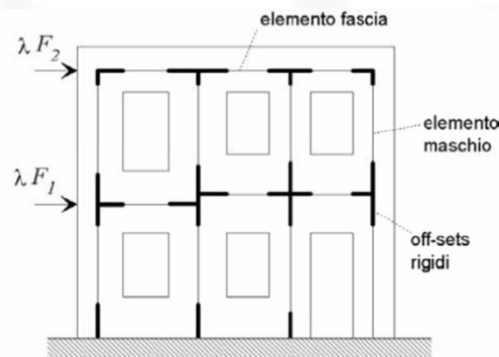


## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

#### MODELLO A TELAIO EQUIVALENTE

- Sia i maschi murari che le fasce di piano vengono modellati con elementi monodimensionali, alle estremità di ogni elemento si prevedono delle zone rigide che modellano la muratura di collegamento.







Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



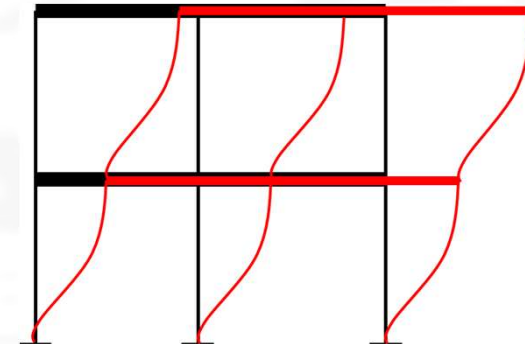
Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

**edifici con struttura in muratura portante**

### MODELLO A TELAIO EQUIVALENTE

- Il primo approccio basato sulla modellazione a telaio è il metodo POR
  - si tiene conto solo del contributo resistente degli elementi murari verticali (maschi murari)
  - le fasce di piano vengono assunte infinitamente rigide e resistenti
  - modello di telaio a traversi infinitamente rigidi flessionalmente



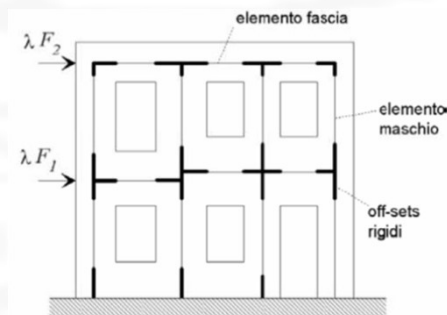


## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

#### MODELLO A TELAIO EQUIVALENTE

- Più recente, e ampiamente utilizzato, è il metodo SAM
  - si tiene conto sia del contributo resistente dei maschi murari che delle fasce di piano
  - il telaio equivalente è costituito sia da elementi deformabili flessionalmente, sia da link rigidi per i nodi



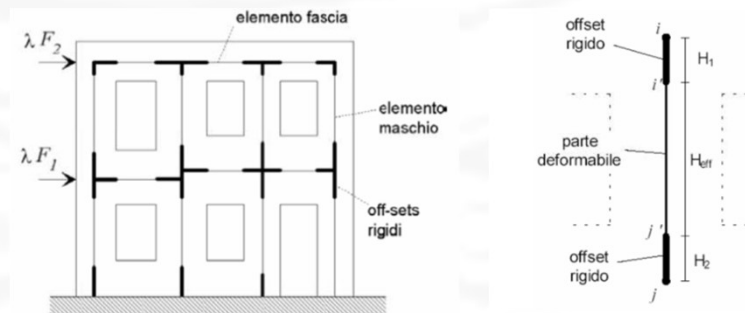


## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

#### MODELLO A TELAIO EQUIVALENTE

- Si suppone che:
  - gli elementi nodo (intersezione maschi - fasce) siano infinitamente rigidi e resistenti
  - si adottano opportuni bracci rigidi (offsets) alle estremità degli elementi maschio e fascia.



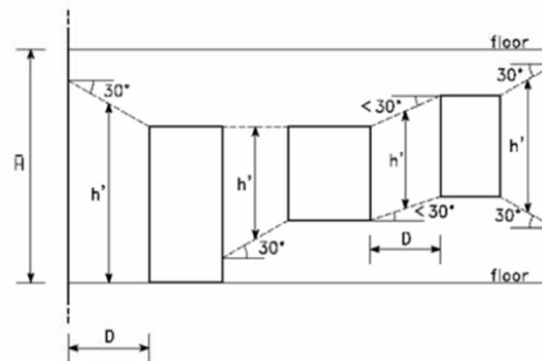


## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

#### MODELLO A TELAIO EQUIVALENTE

- L'altezza della parte deformabile o «altezza efficace» del maschio viene definita secondo quanto proposto da Dolce (1989) per tenere conto in modo approssimato della deformabilità della muratura nelle zone di nodo.







Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

Il modello globale è fortemente influenzato dai collegamenti verticali tra le pareti (ammorsamenti) e dai collegamenti orizzontali (impalcati)

- **impalcati:**
  - infinitamente rigidi;
  - di rigidezza finita (in grado di vincolare le pareti e di creare una qualche ripartizione delle sollecitazioni sismiche);
  - di rigidezza trascurabile (inadeguati a trasmettere e ripartire azioni orizzontali tra le pareti).

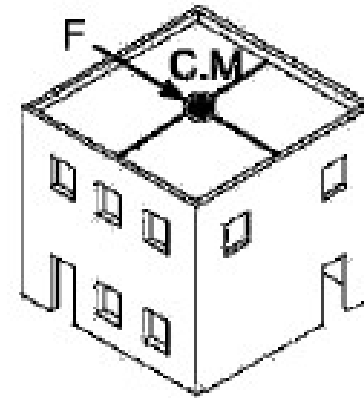
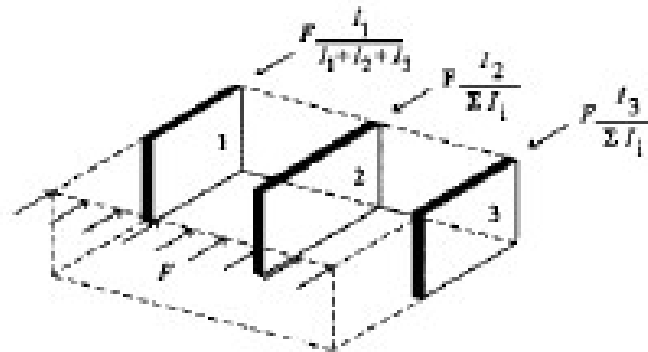
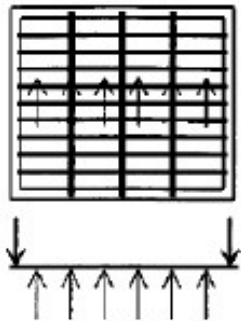


## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

Nel caso di impalcati rigidi:

- ripartizione iperstatica delle forze orizzontali tra i pannelli murari



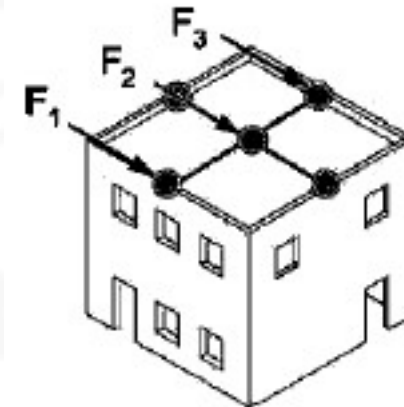
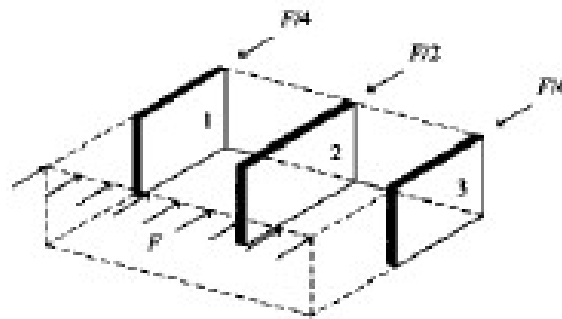
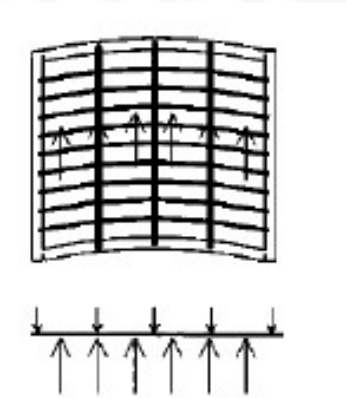


## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

Nel caso di impalcati deformabili:

- ripartizione isostatica delle forze orizzontali tra i pannelli murari





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma

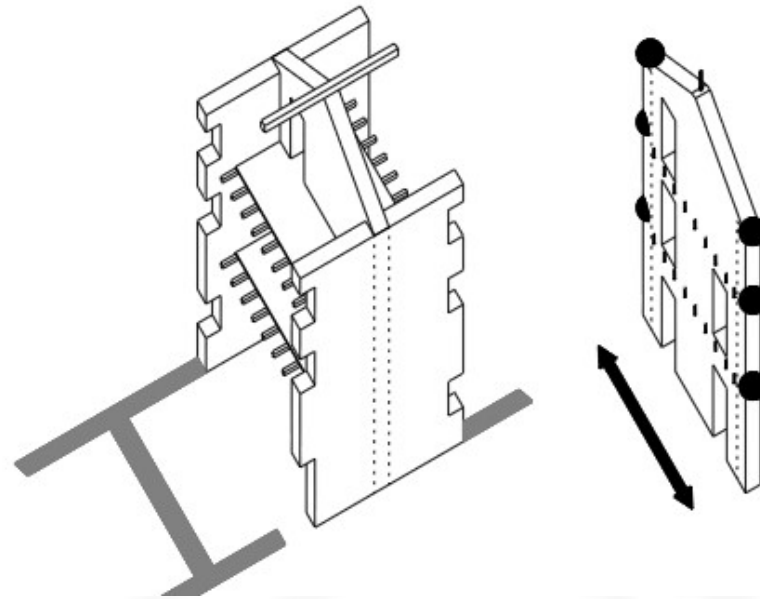


Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MODELLAZIONE NEL PIANO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

### edifici con struttura in muratura portante

nel caso di solai di rigidezza trascurabile si esegue un'analisi per pareti soggette ai carichi di competenza







Università degli Studi  
*Guglielmo Marconi* - Roma



**Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata**  
Commissione Strutture e Geotecnica

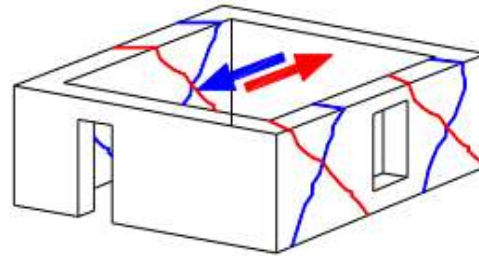
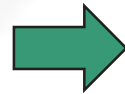
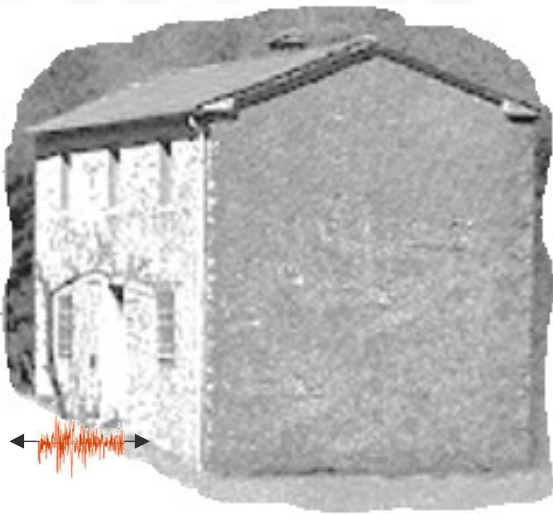
# VULNERABILITÀ DELLE COSTRUZIONI ESISTENTI IN MURATURA

meccanismi locali

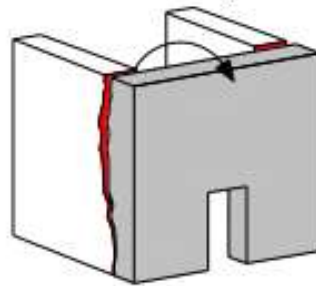
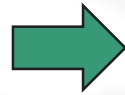


## PREMESSA

### edifici con struttura in muratura portante



meccanismo nel piano (**II modo**)



meccanismo fuori piano (**I modo**)

- Meccanismi resistenti nel piano e fuori dal piano



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

**edifici con struttura in muratura portante**



- meccanismi di collasso locale esibiti dalle costruzioni in muratura durante i terremoti





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

**edifici con struttura in muratura portante**



- meccanismi di collasso locale esibiti dalle costruzioni in muratura durante i terremoti





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

**edifici con struttura in muratura portante**



- meccanismi di collasso locale esibiti dalle costruzioni in muratura durante i terremoti



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

**edifici con struttura in muratura portante**



- muratura di qualità scadente: fessurazioni diffuse, disgregazione del paramento murario





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

**edifici con struttura in muratura portante**

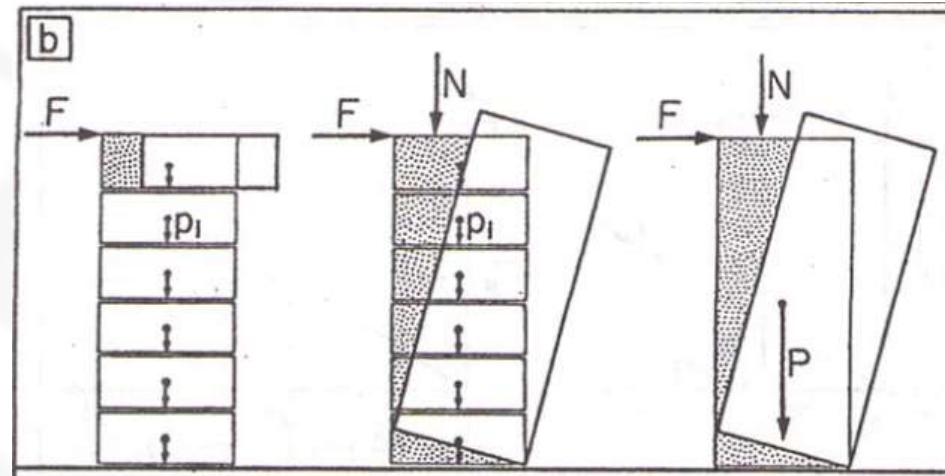


- muratura di buona qualità: **formazione di fessure concentrate, comportamento a blocchi rigidi**



## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

### edifici con struttura in muratura portante



- effetti legati alle azioni fuori piano della parete (Giuffré,1991): in assenza di scorrimenti il pannello si comporta come un corpo rigido soggetto ad azioni fuori piano (ribaltamento)





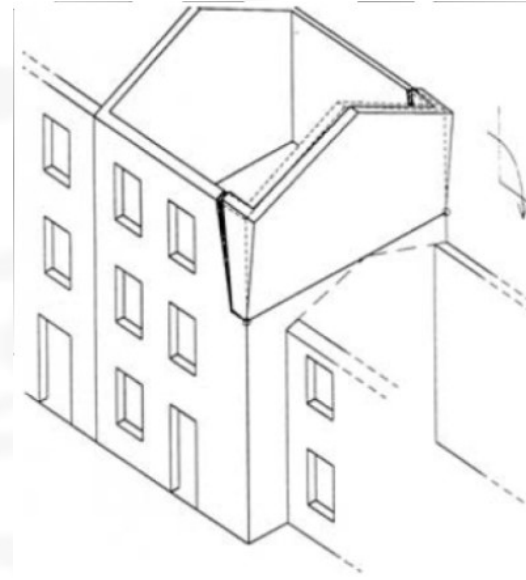
Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

**edifici con struttura in muratura portante**



- carenze strutturali come ad esempio l'assenza di un adeguato ammorsamento tra le pareti.



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma

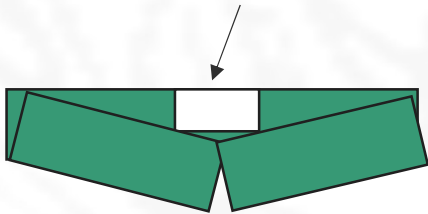


Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

**edifici con struttura in muratura portante**

riduzione locale  
della sezione della  
parete



- peculiarità strutturali responsabili dell'attivazione dei meccanismi: **canne fumarie nello spessore dei muri.**



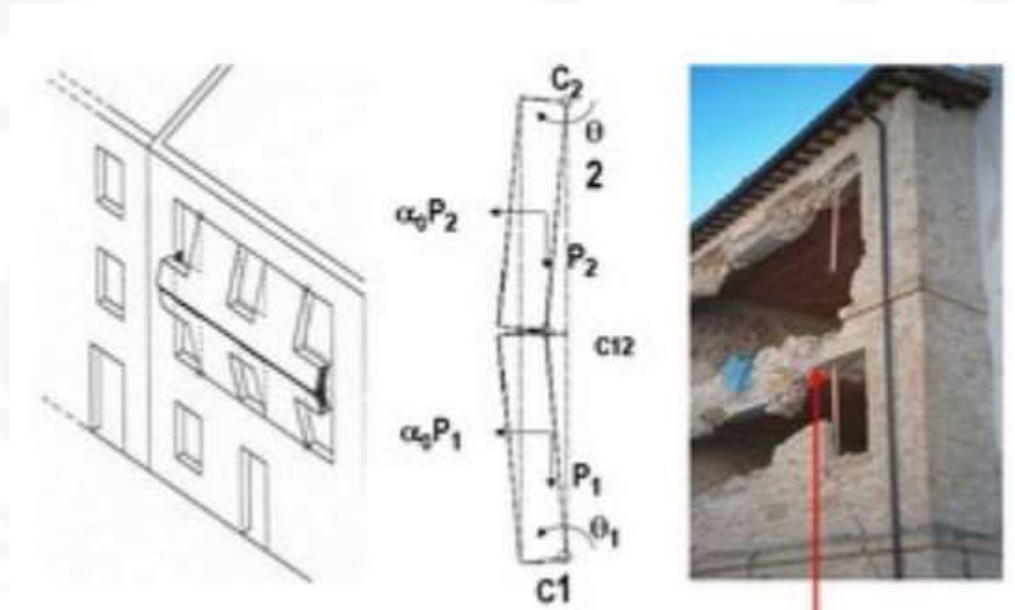
Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

edifici con struttura in muratura portante



- peculiarità strutturali responsabili dell'attivazione dei meccanismi: **martellamento solai**.





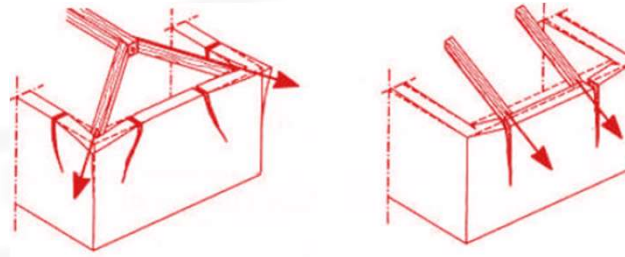
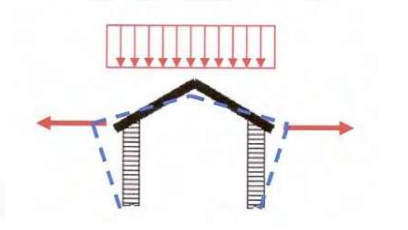
Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

**edifici con struttura in muratura portante**



- peculiarità strutturali responsabili dell'attivazione dei meccanismi: **spinta delle coperture.**





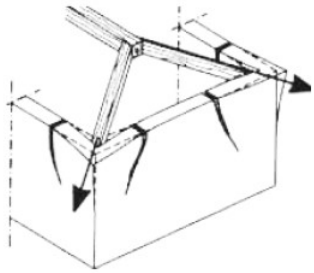
Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

**edifici con struttura in muratura portante**



- peculiarità strutturali responsabili dell'attivazione dei meccanismi: **spinta delle coperture.**



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

**edifici con struttura in muratura portante**



- peculiarità strutturali responsabili dell'attivazione dei meccanismi: **problematiche catene**



Università degli Studi  
*Guglielmo Marconi* - Roma



*Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata*  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

### edifici con struttura in muratura portante

I principali meccanismi di collasso locale esibiti dalle costruzioni in muratura sono i seguenti:

- **ribaltamento semplice**
- **flessione orizzontale**
- **flessione verticale**
- **ribaltamento composto**





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma

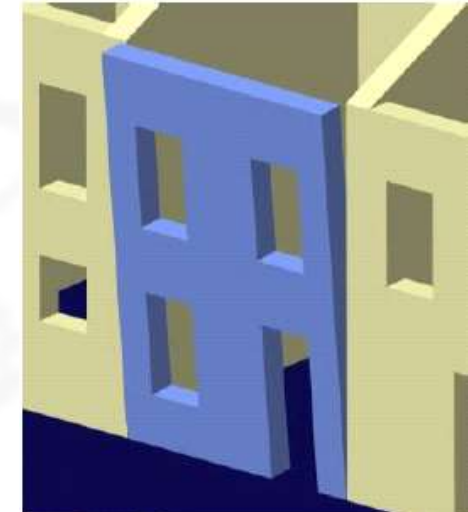


Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

**edifici con struttura in muratura portante**

**meccanismo di ribaltamento semplice**



(MEDEA- Zuccaro, Papa, 2003-DPC)

- A causa di azioni fuori piano si verifica una rotazione rigida dell'intera facciata o porzioni di essa rispetto ad un asse orizzontale alla base





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

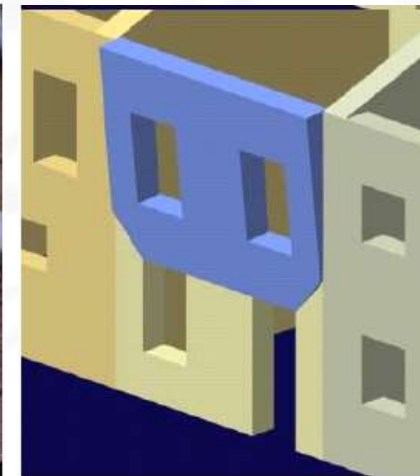
## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

**edifici con struttura in muratura portante**

**meccanismo di ribaltamento semplice**



(MEDEA- Zuccaro, Papa, 2003-DPC)



- A causa di azioni fuori piano si verifica una rotazione rigida dell'intera facciata o **porzioni di essa** rispetto ad un asse orizzontale alla base



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

### edifici con struttura in muratura portante

#### meccanismo di ribaltamento semplice

quali sono i fattori (ovvero le carenze strutturali) che ne determinano il verificarsi?

- assenza di vincolo in sommità
- assenza di collegamento alle pareti ortogonali
- assenza di cordoli o catene ai piani
- orizzontamenti deformabili e/o mal collegati
- intersezioni murarie di cattiva qualità
- presenza di spinte non contrastate sulla parete
- muratura a sacco o paramenti mal collegati.



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

### edifici con struttura in muratura portante

#### meccanismo di ribaltamento semplice

quali sono i sintomi che ne evidenziano l'attivazione?

- fessure verticali in corrispondenza delle intersezioni murarie
- fuori piombo della parete ribaltante
- sfilamento delle travi degli orizzontamenti.





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma

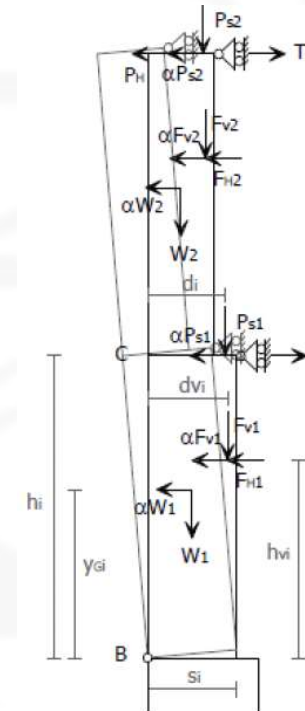
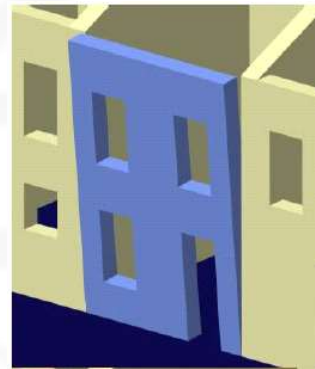


Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

edifici con struttura in muratura portante

meccanismo di ribaltamento semplice



- analisi considerando un cinematismo di corpo rigido





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

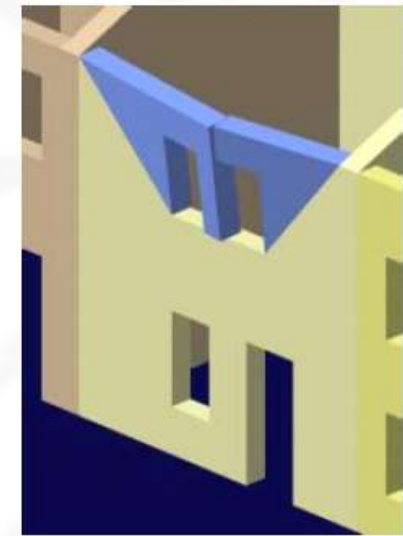
## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

**edifici con struttura in muratura portante**

**meccanismo di flessione orizzontale**



(MEDEA- Zuccaro, Papa, 2003-DPC)



- per effetto della presenza di azioni fuori piano si ha l'espulsione di materiale dalla zona sommitale della parete e il distacco di corpi cuneiformi accompagnato dalla formazione di cerniere cilindriche oblique e verticali



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

### edifici con struttura in muratura portante

#### meccanismo di flessione orizzontale



(MEDEA- Zuccaro, Papa, 2003-DPC)

questo meccanismo può coinvolgere:

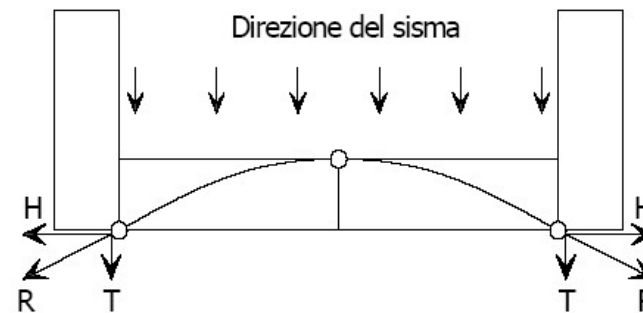
- l'intero spessore del muro o il solo paramento esterno
- diverse geometrie della parete, in relazione alla presenza di discontinuità o di aperture ed alla qualità della muratura



## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

### edifici con struttura in muratura portante

#### meccanismo di flessione orizzontale



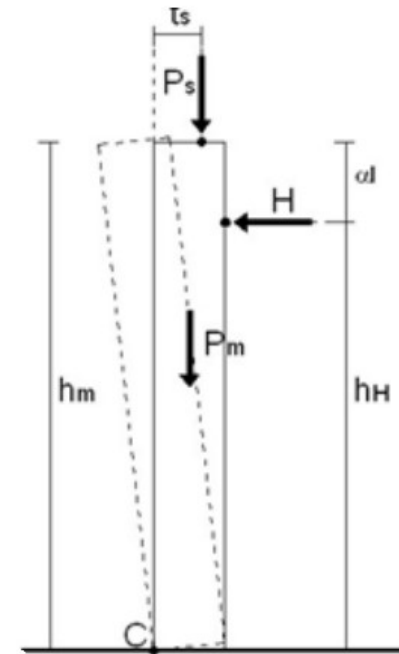
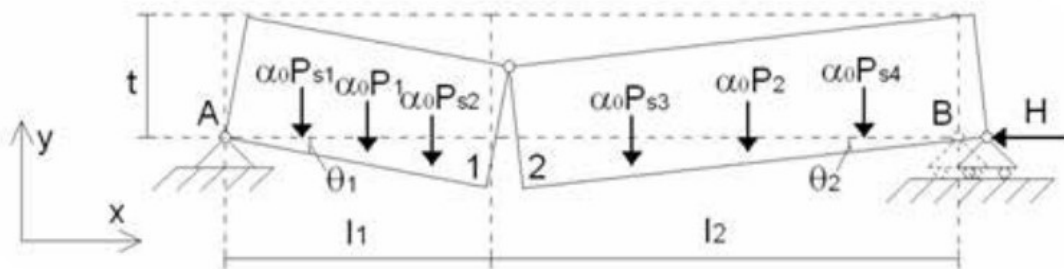
- arco orizzontale nello spessore del muro: nella condizione limite si formano tre cerniere
- la spinta H dell'arco può o meno essere assorbita dalle pareti ortogonali: collasso del materiale (schiacciamento) o instabilità della porzione di parete.



## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

edifici con struttura in muratura portante

meccanismo di flessione orizzontale



- è necessario valutare la forza di spinta H dall'equilibrio limite delle pareti ortogonali





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

### edifici con struttura in muratura portante

#### meccanismo di flessione orizzontale

quali sono i fattori (ovvero le carenze strutturali) che ne determinano il verificarsi?

- solaio di copertura mal collegato alla muratura
- presenza di coperture spingenti
- presenza di aperture ricavate nello spessore murario (nicchie, canne fumarie, ecc.)
- muratura a sacco o paramenti mal collegati
- muri di spina distanti (parete snella)



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

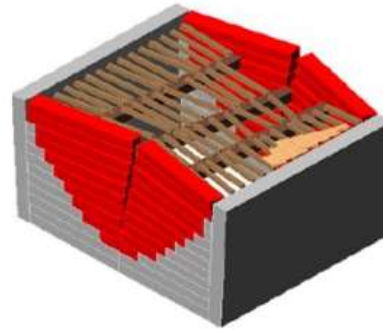
## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

**edifici con struttura in muratura portante**

**meccanismo di flessione orizzontale**

quali sono i sintomi che ne evidenziano l'attivazione?

- lesioni verticali ed oblique sulla facciata esterna ed interna della parete
- rigonfiamenti della porzione di parete interessata
- sfilamento delle travi del tetto





Università degli Studi  
*Guglielmo Marconi* - Roma



*Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata*  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

**edifici con struttura in muratura portante**

**meccanismo di flessione orizzontale**

quali sono i sintomi che ne evidenziano l'attivazione?

- lesioni verticali ed oblique sulla facciata esterna ed interna della parete
- rigonfiamenti della porzione di parete interessata
- sfilamento delle travi del tetto



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma

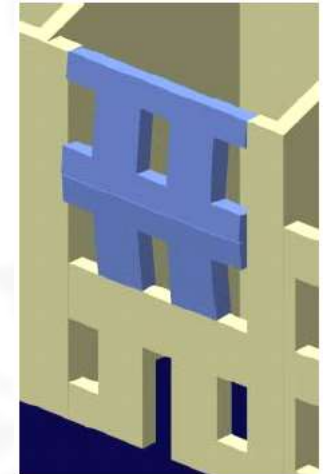
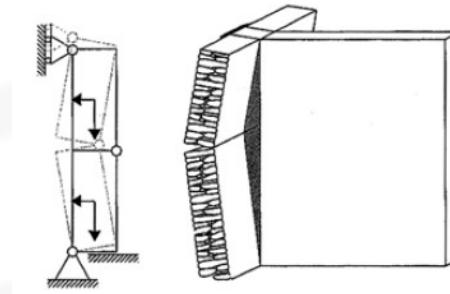


Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

### edifici con struttura in muratura portante

#### meccanismo di flessione verticale



(MEDEA- Zuccaro, Papa, 2003-DPC)

- per effetto della presenza di azioni fuori piano si manifesta un meccanismo con formazione di una cerniera cilindrica orizzontale che divide la parete in due blocchi dovuto alla rotazione reciproca degli stessi attorno a tale asse





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

### edifici con struttura in muratura portante

#### meccanismo di flessione verticale

questo tipo di meccanismo può coinvolgere:

- uno o più livelli della parete
- l'intero spessore del muro o il solo paramento esterno
- diverse geometrie della parete (presenza di discontinuità o di aperture e spinte localizzate)



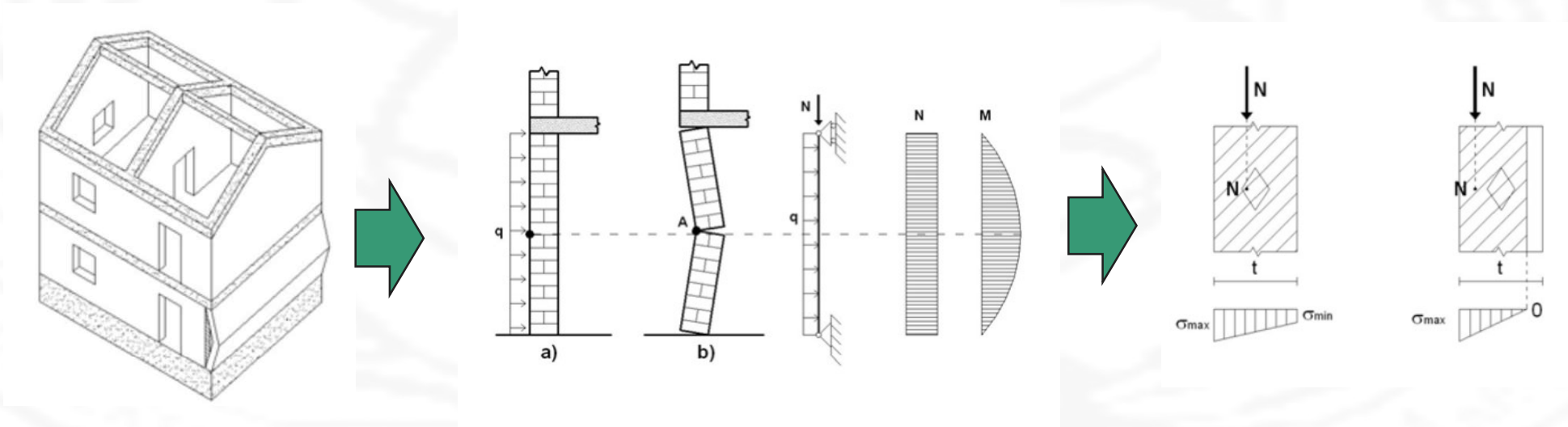
(MEDEA- Zuccaro, Papa, 2003-DPC)



## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

**edifici con struttura in muratura portante**

**meccanismo di flessione verticale**



questo tipo di meccanismo può coinvolgere:



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

### edifici con struttura in muratura portante

#### meccanismo di flessione verticale

quali sono i sintomi che ne evidenziano l'attivazione?

- spanciamento della parete interessata
- fuori piombo della parete interessata
- lesioni orizzontali e verticali
- sfilamento delle travi degli orizzontamenti intermedi



(MEDEA- Zuccaro, Papa, 2003-DPC)



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

**edifici con struttura in muratura portante**

**meccanismo di ribaltamento composto**



(MEDEA- Zuccaro, Papa, 2003-DPC)

- per effetto della presenza di azioni fuori piano si manifesta un meccanismo si manifesta che vede la rotazione rigida di intere facciate o porzioni di pareti rispetto ad assi in prevalenza orizzontali accompagnata dal trascinarsi di parti delle strutture murarie appartenenti alle pareti ortogonali





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma

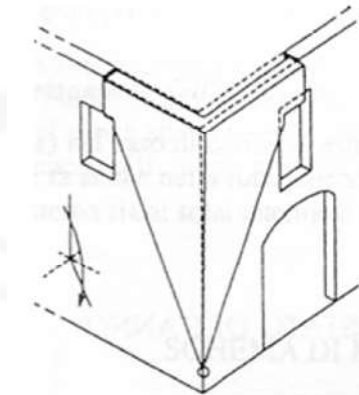
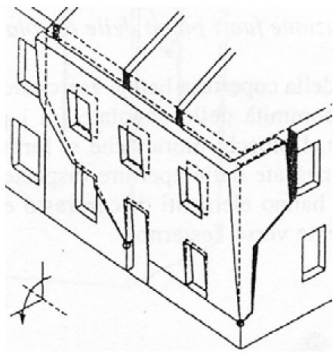


Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

**edifici con struttura in muratura portante**

**meccanismo di ribaltamento composto**



questo meccanismo può coinvolgere:

- uno o più livelli della parete
- diverse geometrie del macro-elemento



## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

edifici con struttura in muratura portante

meccanismo di ribaltamento composto

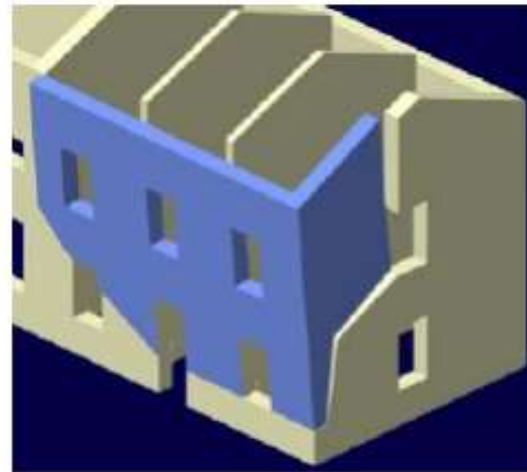
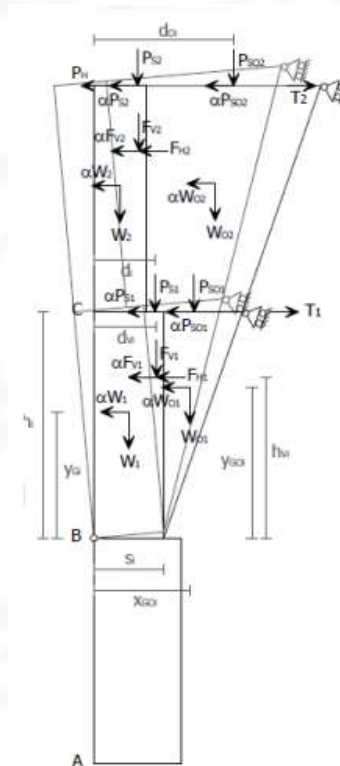


Foto: Arch. Fot. Vice Comm. Del.  
Beni Culturali - Sisma Abruzzo 2009

- si tiene conto del distacco del cuneo di parete ortogonale

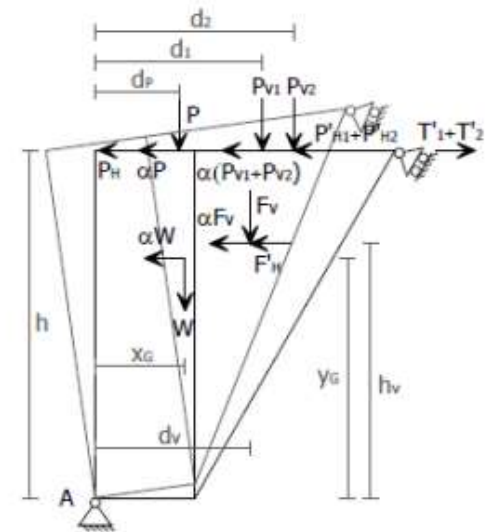
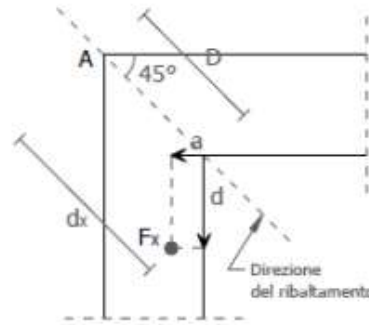
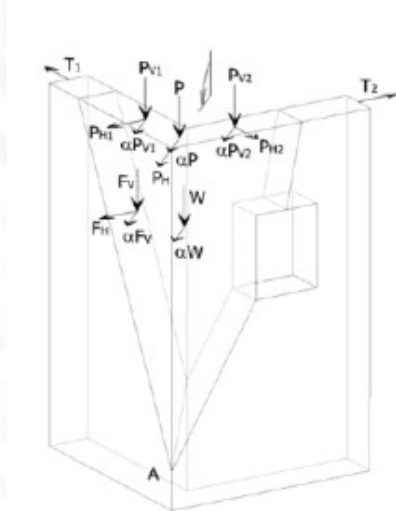




## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

edifici con struttura in muratura portante

meccanismo di ribaltamento composto



- ribaltamento del cantonale



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

### edifici con struttura in muratura portante

#### meccanismo di ribaltamento composto

quali sono i fattori (ovvero le carenze strutturali) che ne determinano il verificarsi?

- assenza di vincolo in sommità ma efficace connessione con le murature ortogonali
- assenza di cordoli o catene ai piani
- orizzontamenti deformabili e/o mal collegati
- presenza di spinte non contrastate sulla parete
- bucatore localizzate in prossimità delle intersezioni murarie (angolate e martelli murari)
- muratura con ridotte proprietà meccaniche





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## MECCANISMI FUORI DAL PIANO

### edifici con struttura in muratura portante

#### meccanismo di ribaltamento composto

quali sono i sintomi che ne evidenziano l'attivazione?

- lesioni diagonali sulle pareti di controvento
- fuori piombo della parete ribaltante
- sfilamento delle travi degli orizzontamenti.





Università degli Studi  
*Guglielmo Marconi* - Roma



*Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata*  
Commissione Strutture e Geotecnica

# **COSTRUZIONI ESISTENTI**

## **scelta e progettazione degli interventi**

seminario di aggiornamento professionale – venerdì 25 marzo 2022

---

# **VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.**



**prof.ing. Ernesto GRANDE**  
Università degli Studi Guglielmo Marconi – Roma  
email: [e.grande@unimarconi.it](mailto:e.grande@unimarconi.it)



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

edifici con struttura intelaiata in c.a.



- Tipologia strutturale molto diffusa





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

edifici con struttura intelaiata in c.a.



- iniziano a caratterizzare il patrimonio edilizio nei primi anni del '900 con una larga diffusione dopo la seconda guerra mondiale.
- quelli presenti sul territorio italiano sono il frutto di una evoluzione degli edifici con struttura in muratura





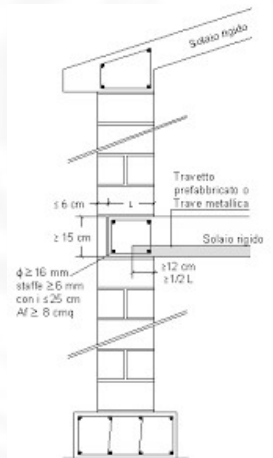
Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

edifici con struttura intelaiata in c.a.



- impiego del c.a. per la sola realizzazione dei solai latero-cementizi e alle piattebande dei vani



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

edifici con struttura intelaiata in c.a.



pareti murarie responsabili per l'equilibrio delle forze  
orizzontali

fabbricato realizzato a inizio anni '20 (P. Lenza)

- impiego di esili pilastri in c.a. inseriti in asole della muratura e destinati a sostenere i soli carichi verticali



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

edifici con struttura intelaiata in c.a.



le murature assumono un ruolo secondario: la normativa del 1962 escludeva la possibilità di tenerne conto ai fini della valutazione del loro contributo.

- telaio 'flessionale' in grado di assorbire le azioni orizzontali





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

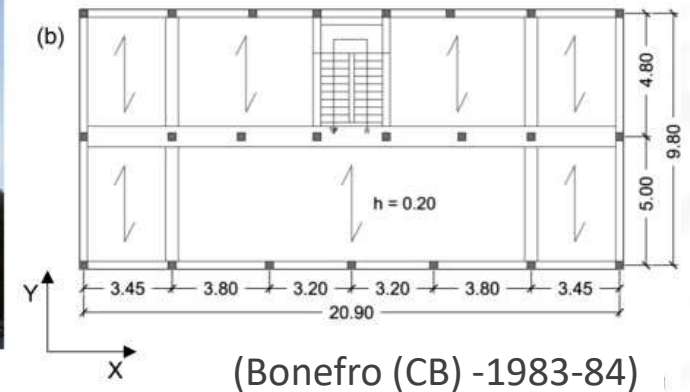
## VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

edifici con struttura intelaiata in c.a.

### CONCEZIONE STRUTTURALE

- l'impostazione della carpenteria dei vecchi edifici con struttura intelaiata in c.a. rispecchia scelte legate ai soli carichi verticali.
- percorso di trasmissione dei carichi:

**solai → travi → pilastri → fondazioni**



La struttura può essere vista come un insieme di telai piani destinati a sostenere i soli carichi verticali (al più le azioni da vento)





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

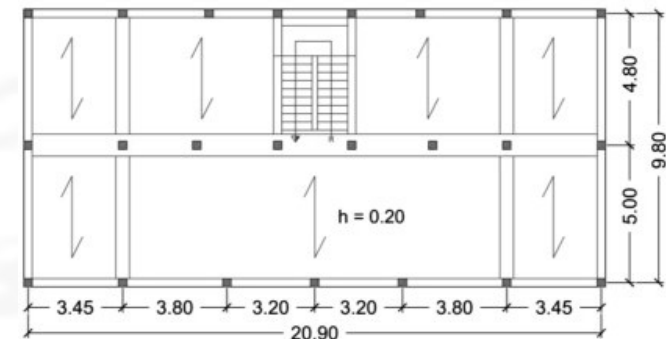
## VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

edifici con struttura intelaiata in c.a.

### CONCEZIONE STRUTTURALE

criteri generali per l'impostazione della carpenteria:

- fortemente condizionata dalla suddivisione degli ambienti e dalla presenza della scala.
- non si ha allineamento dei pilastri
- campate più lunghe dove sono presenti travi emergenti



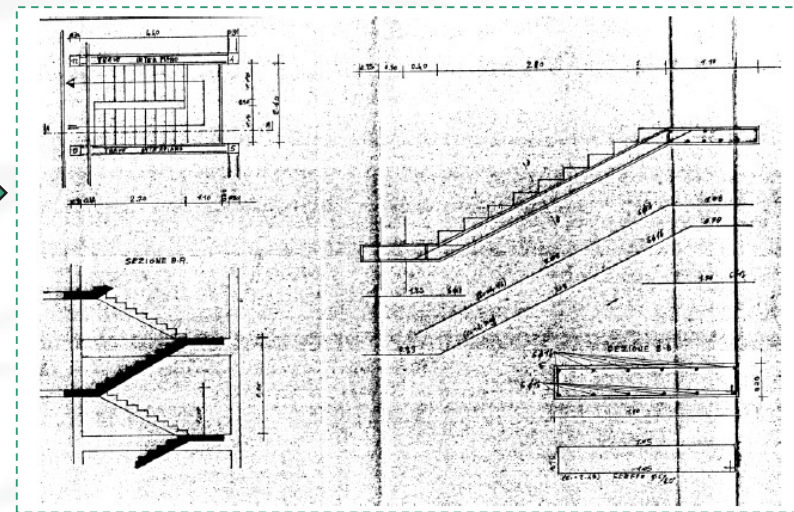
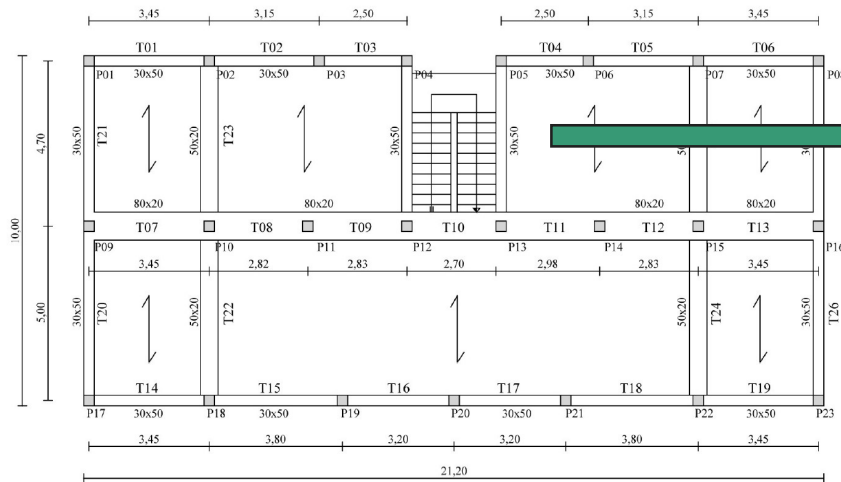


## VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

edifici con struttura intelaiata in c.a.

### CONCEZIONE STRUTTURALE

criteri generali per l'impostazione della carpenteria:



- scala in genere realizzata con struttura a trave a ginocchio

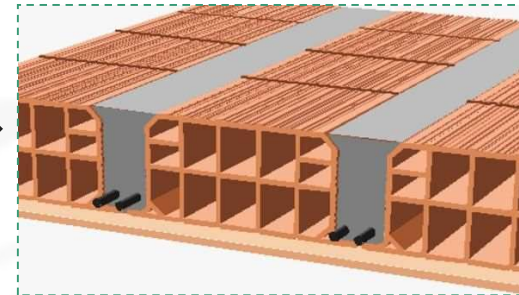
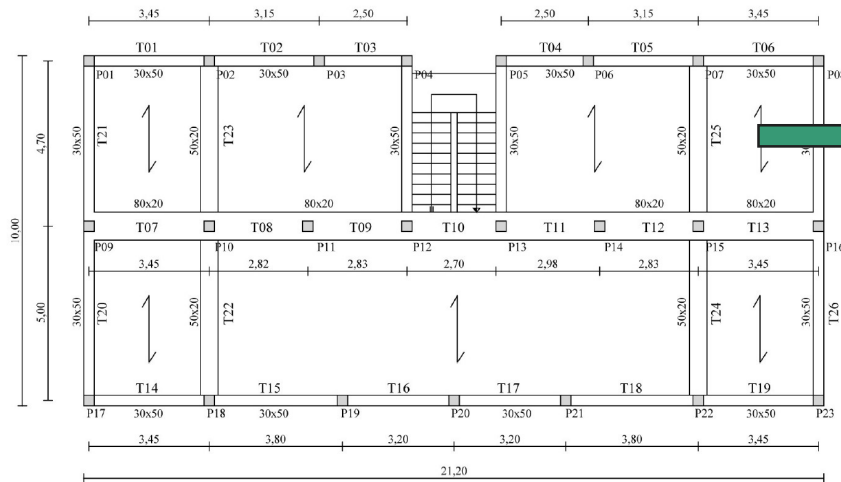


## VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

edifici con struttura intelaiata in c.a.

### CONCEZIONE STRUTTURALE

criteri generali per l'impostazione della carpenteria:



- SOLAI: in latero-cemento con o senza soletta collaborante; calcolo eseguito come quello che si esegue attualmente (trave continua).

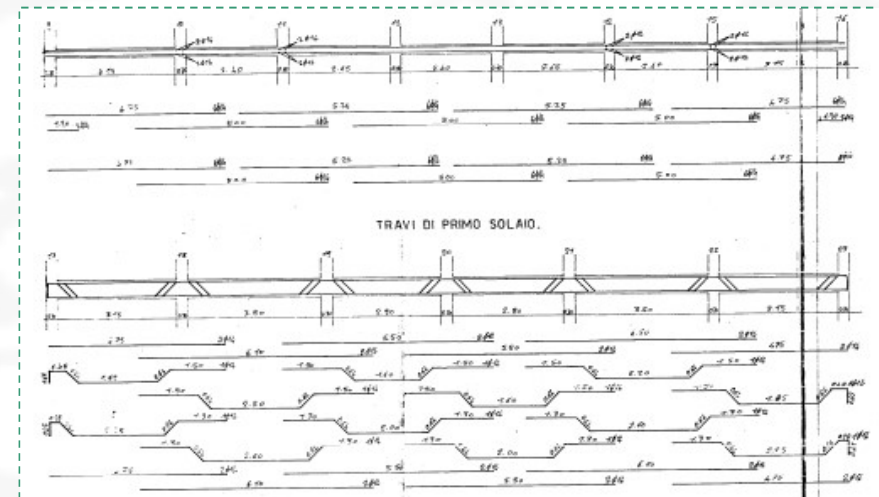
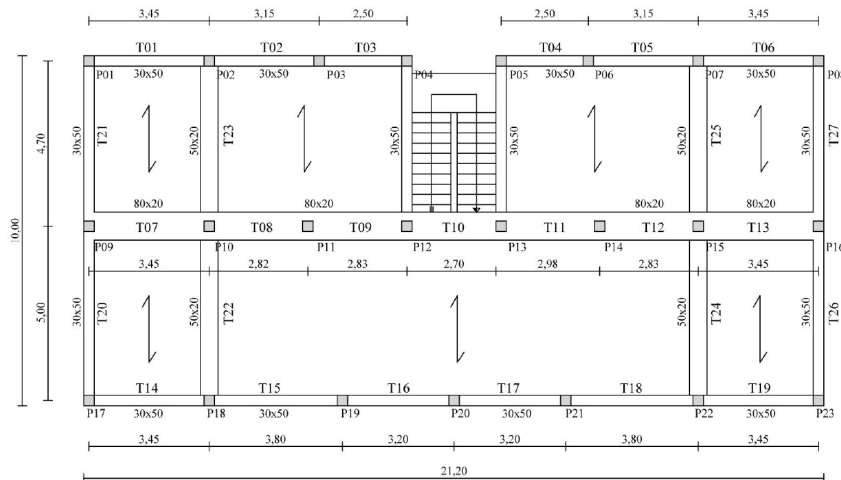


## VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

edifici con struttura intelaiata in c.a.

### CONCEZIONE STRUTTURALE

criteri generali per l'impostazione della carpenteria:



- **TRAVI:** emergenti o a spessore caratterizzate dalla stessa sezione lungo l'altezza (luci 4-6m; sezioni tipiche: 20x60-30x50-30x60; armature a taglio con staffe e ferri piegati).



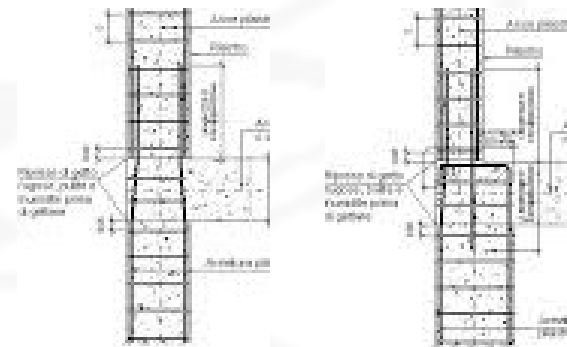
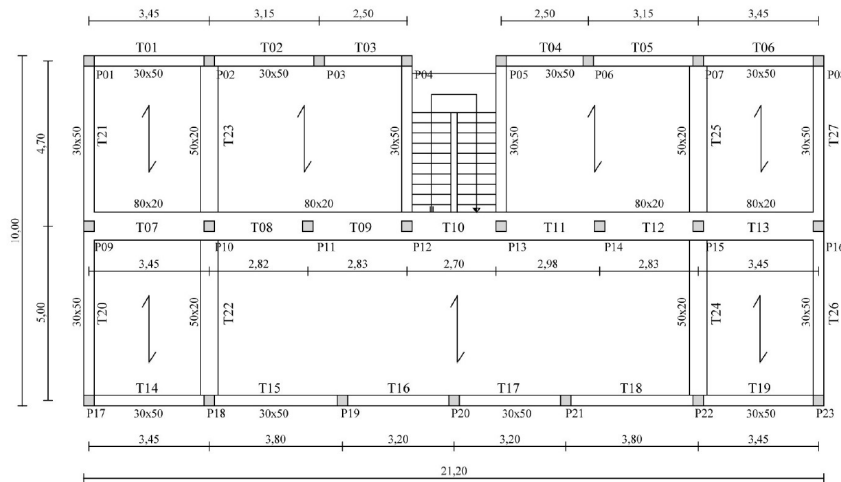


## VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

edifici con struttura intelaiata in c.a.

### CONCEZIONE STRUTTURALE

criteri generali per l'impostazione della carpenteria:



- **PILASTRI:** dimensionamento per soli carichi verticali riducendo la tensione massima nel cls; staffe modeste; sezioni con forti riseghe



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

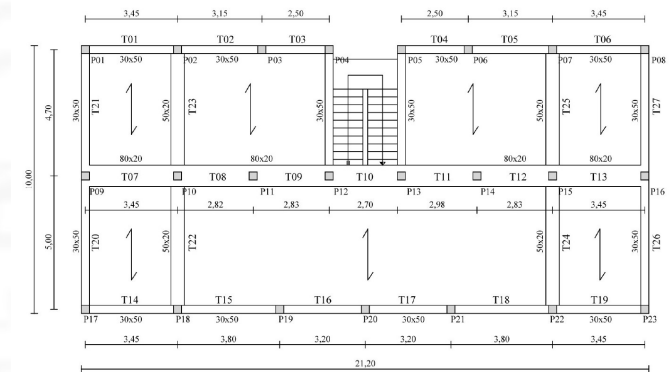
## VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

edifici con struttura intelaiata in c.a.

### CONCEZIONE STRUTTURALE

Edifici progettati per soli carichi verticali:

- pochi telai lungo una direzione
- non si prestava attenzione alla duttilità: **comportamenti poco duttili o fragili**
- mancanza di sovra-resistenza a flessione rispetto al taglio
- presenza di pilastri deboli rispetto le travi





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

edifici con struttura intelaiata in c.a.

### DETTAGLI E DIFETTI COSTRUTTIVI

Edifici progettati per soli carichi verticali:



- insufficienza di armature trasversali nelle travi e nei pilastri: scarsa resistenza a taglio e scarso confinamento del cls (bassa duttilità)



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

edifici con struttura intelaiata in c.a.

### DETTAGLI E DIFETTI COSTRUTTIVI

Edifici progettati per soli carichi verticali:



- pilastri deboli rispetto alle travi (piano soffice)





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

edifici con struttura intelaiata in c.a.

### DETTAGLI E DIFETTI COSTRUTTIVI

Edifici progettati per soli carichi verticali:



- pilastri tozzi in corrispondenza delle travi a ginocchio



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

edifici con struttura intelaiata in c.a.

### DETTAGLI E DIFETTI COSTRUTTIVI

Edifici progettati per soli carichi verticali:



- assenza di confinamento dei nodi trave-pilastro



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

edifici con struttura intelaiata in c.a.

### DETTAGLI E DIFETTI COSTRUTTIVI

Edifici progettati per soli carichi verticali:



- ancoraggi e sovrapposizioni delle barre (spesso lisce) insufficienti





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



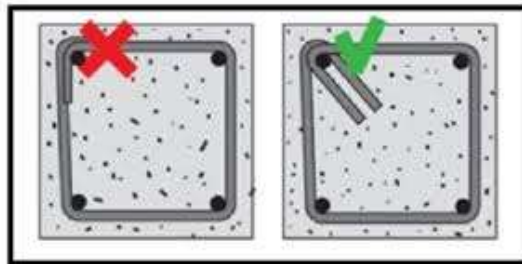
Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

edifici con struttura intelaiata in c.a.

### DETTAGLI E DIFETTI COSTRUTTIVI

Edifici progettati per soli carichi verticali:



- staffe chiuse ma ganci ridotti, senza spilli e mal collegate alle barre longitudinali.





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

edifici con struttura intelaiata in c.a.

### DETTAGLI E DIFETTI COSTRUTTIVI

Edifici progettati per soli carichi verticali:

- copriferro ridotto
- riprese di getto errate





Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

edifici con struttura intelaiata in c.a.

### DETTAGLI E DIFETTI COSTRUTTIVI

Edifici progettati per soli carichi verticali:



- staffe aperte nelle travi con scarsa sovrapposizione
- solai senza soletta o non armata.



Università degli Studi  
Guglielmo Marconi - Roma



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Macerata  
Commissione Strutture e Geotecnica

## VULNERABILITÀ SISMICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

edifici con struttura intelaiata in c.a.

### DETTAGLI E DIFETTI COSTRUTTIVI

Edifici progettati per soli carichi verticali:

- cls confezionati in cantiere o in centrali di betonaggio ma non correttamente trasportati
- basse resistenze dei cls (soprattutto nelle costruzioni del dopoguerra)
- acciaio con barre lisce fino agli anni '60
- cls: riduzione della resistenza nel tempo a causa dell'aumento della porosità
- acciaio: perdita della protezione superficiale – aumento delle volume con fessure nel cls e perdita di aderenza.