

# **VERIFICA SISMICA DI EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA**

## **Parte 9:**

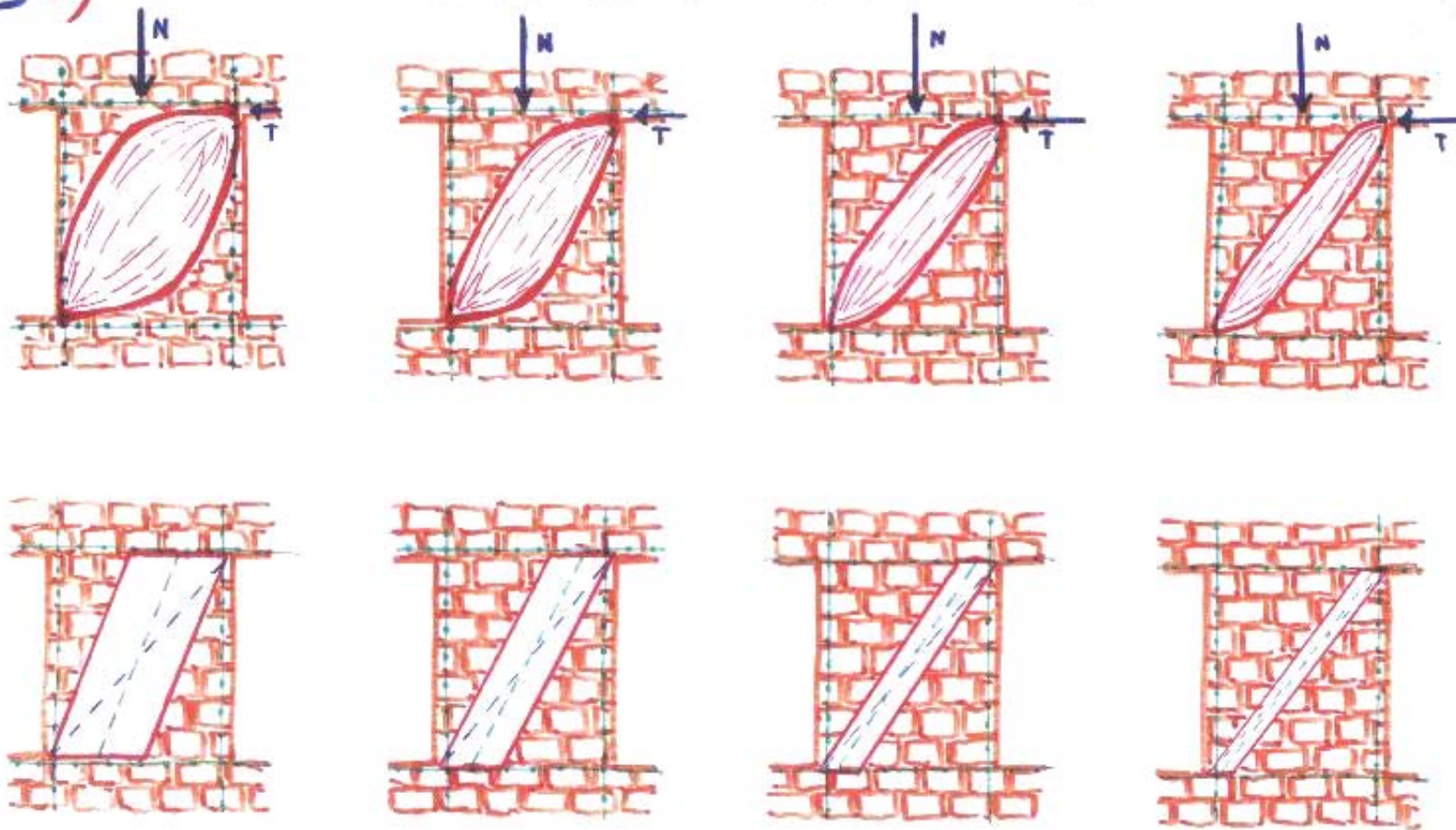
# **LA VERIFICA SISMICA CON L'ANALISI STATICA NON LINEARE**



(c III 2)

## PANNELLO: SCHEMA DI COMPORTAMENTO

- CESUN -



al crescere di  $T$  rispetto ad  $N$

Il comportamento della muratura è spiccatamente non lineare a causa della non resistenza a trazione

# La sperimentazione su modelli in muratura di legno

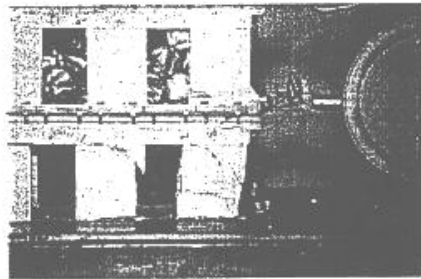
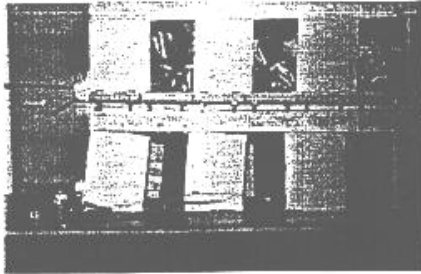


Fig. 23 - Details of the cracks in the model type B3 (TEST 5)

Il sollevamento del maschio decompresso

La rottura del maschio più compresso



Initial mesh

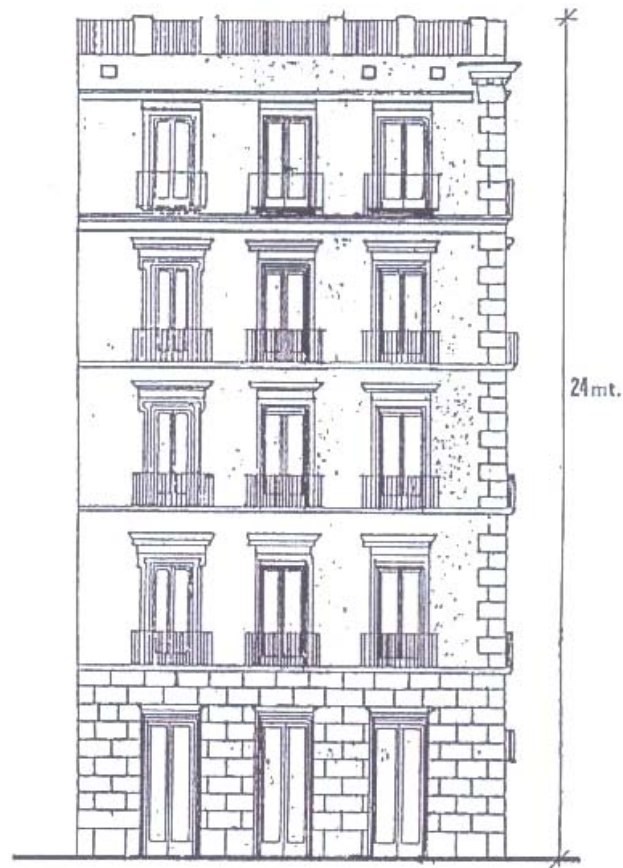
Final mesh

Fig. 25 - Finite elements scheme

La modellazione agli elementi finiti

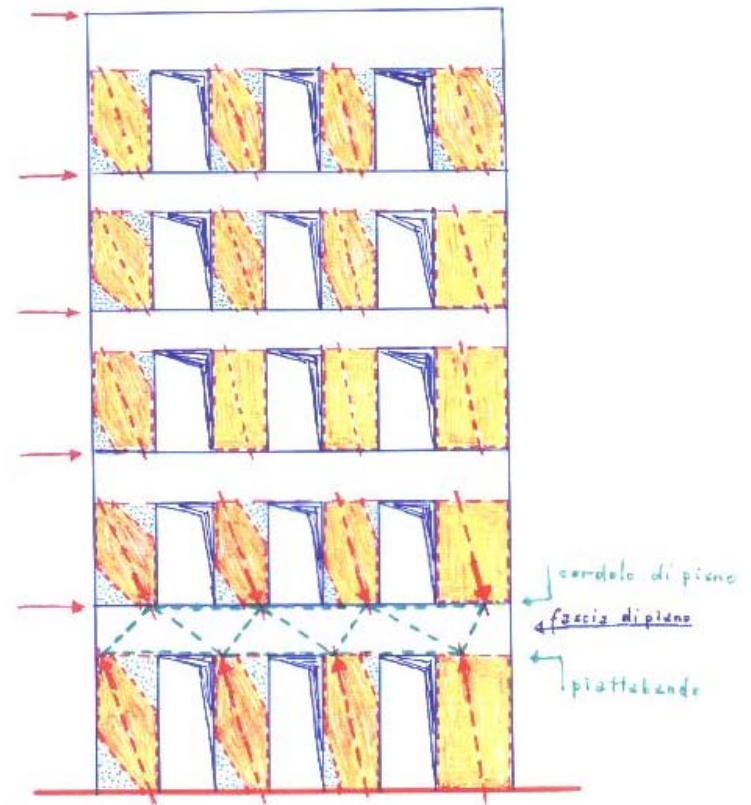
# Il metodo delle "diagonali imbrigliate"

Edificio in tufo  
(parete con tre aperture)



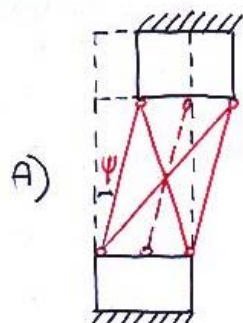
Edificio in tufo

- Estensione zone reagenti -

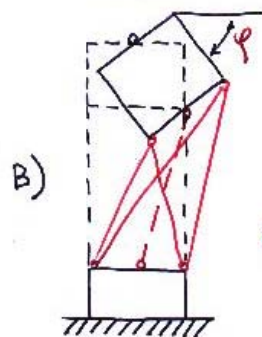




# La modellazione a telaio reticolare equivalente con aste non reagenti a trazione

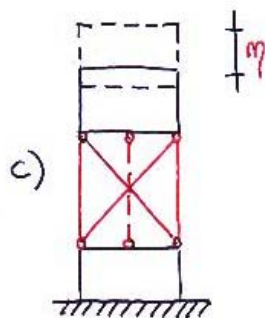


$$A_d = \frac{1}{E} \frac{l_d}{2 \cos^2 \alpha \left( \frac{\chi}{GA} + \frac{H^2}{12 E I} \right)}$$



$$A_b = \frac{2H}{E B^2} \left( M' - \frac{E A_d B^2 \sin^2 \alpha}{2 l_d} \left( 1 + \frac{2 l_d}{B^2 \eta d} \right) \right)$$

$$A_b = \frac{H}{2 E \sum_{j=1}^n a_j^2} \left( M' - \frac{E A_d B^2 \sin^2 \alpha}{2 l_d} \left( 1 + \frac{2 l_d}{B^2 \eta d} \right) \right)$$



$$A_c = A - 2 A_b - 2 A_d \sin^3 \alpha$$

$$A_c = A - 2 n A_b - 2 A_d \sin^3 \alpha$$

## Un modello reticolare per l'analisi non lineare di edifici in muratura

P. Louza \*

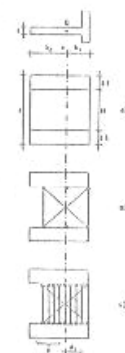


Fig. 1 - a) Un generico elemento di muratura; b) un modello reticolare equivalente; c) un più complesso modello reticolare equivalente.

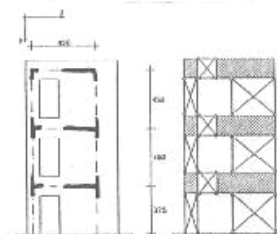
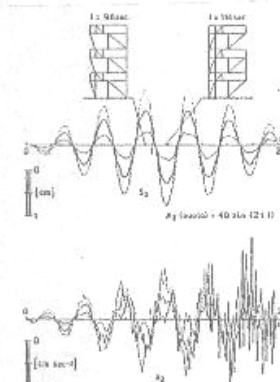
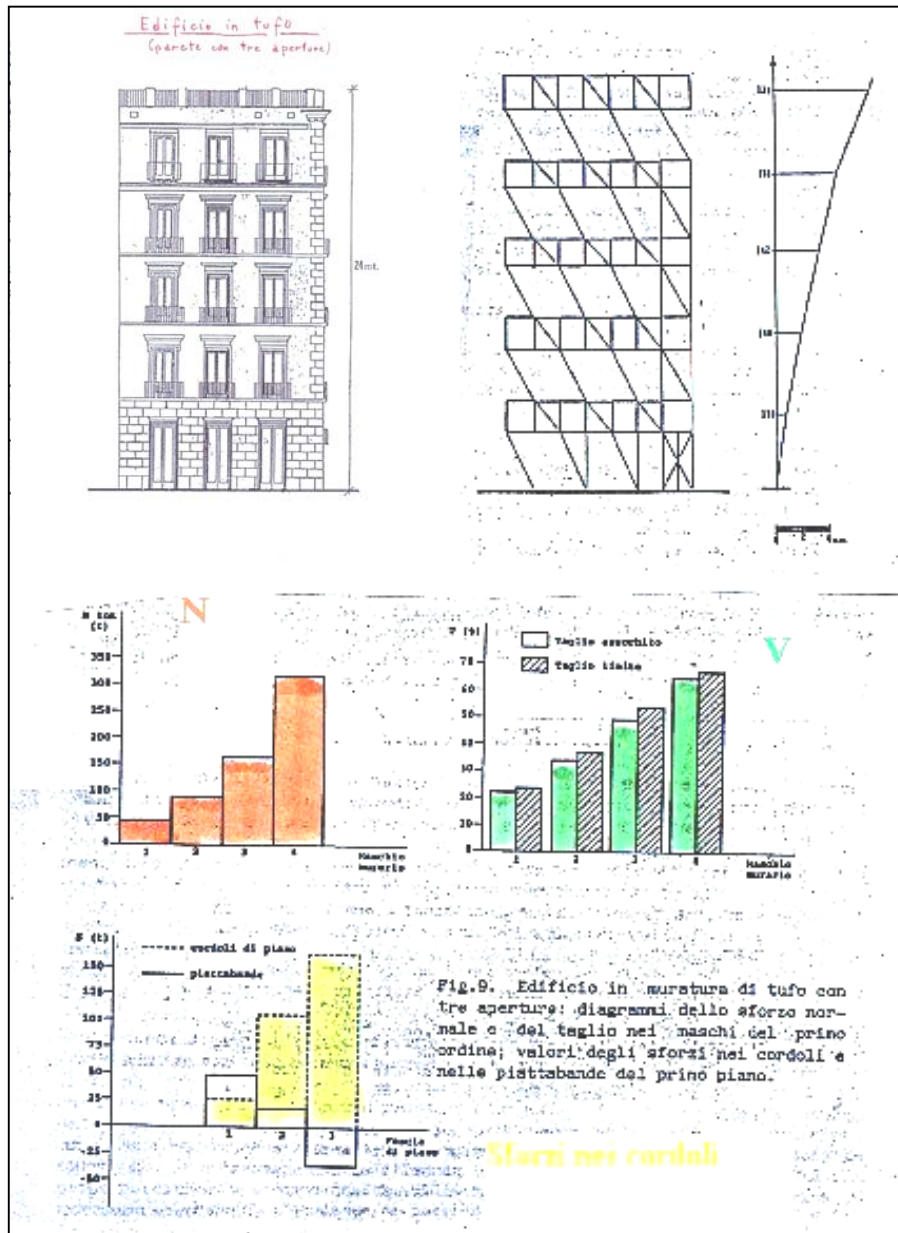


Fig. 2 - Linee portanti murarie (MPM) estratte dall'edificio reale, auto in (b) ad una sua prima e più semplice schematizzazione meccanica.



# I risultati di una analisi non lineare per forze assegnate

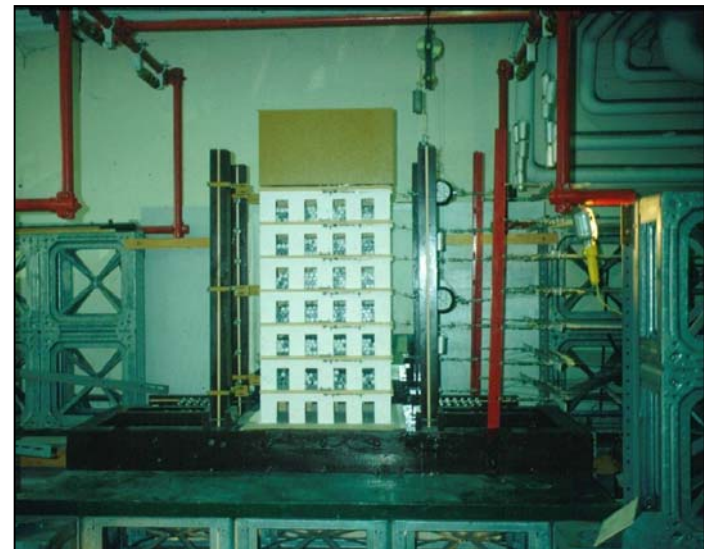


Le zone attive dei maschi murari si riducono al ridursi dello sforzo normale

Le variazioni di sforzo normale modificano la rigidezza dei maschi murari e quindi la ripartizione dei tagli

Per pareti non simmetriche i risultati sono diverse al variare del verso delle azioni

# Le prove su modelli di edifici in muratura di tufo in scala intermedia (1/10)



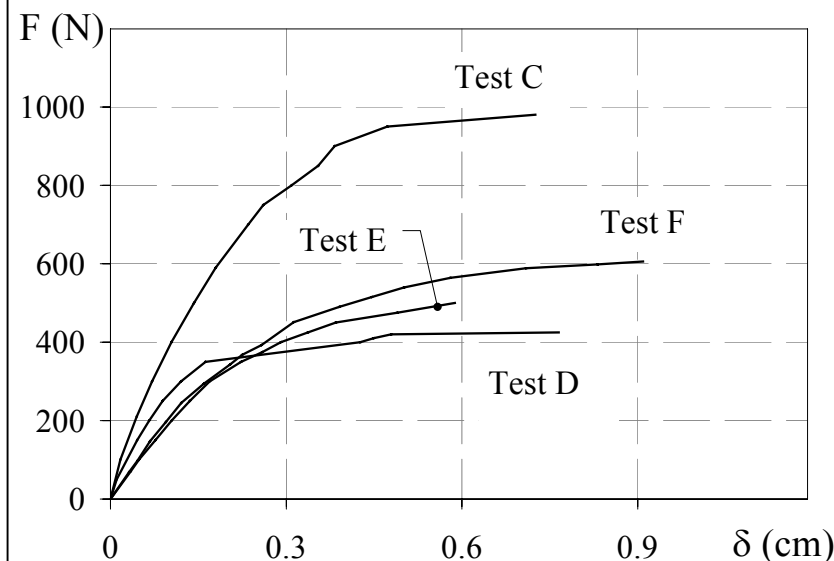


## Le prime "vere" push-over sperimentali

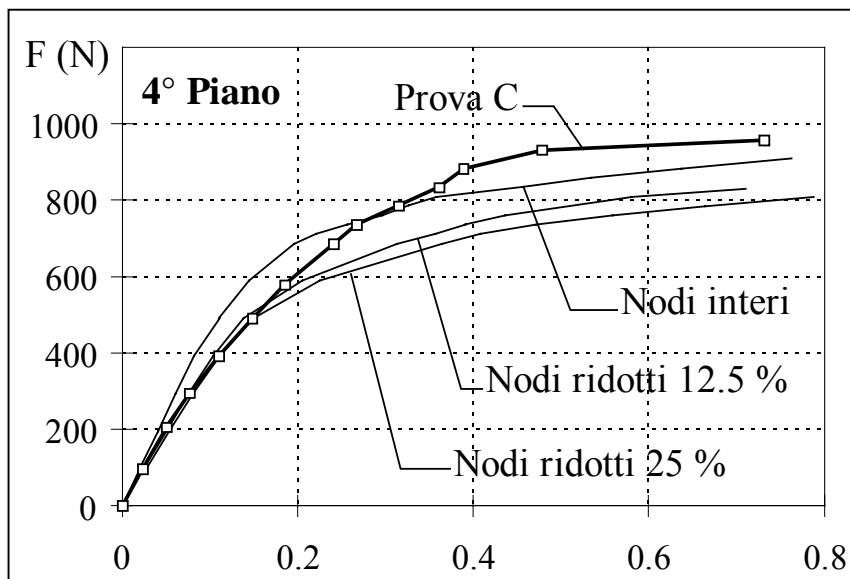
### La deformata dell'edificio



## I risultati delle prove



## I confronti teorici



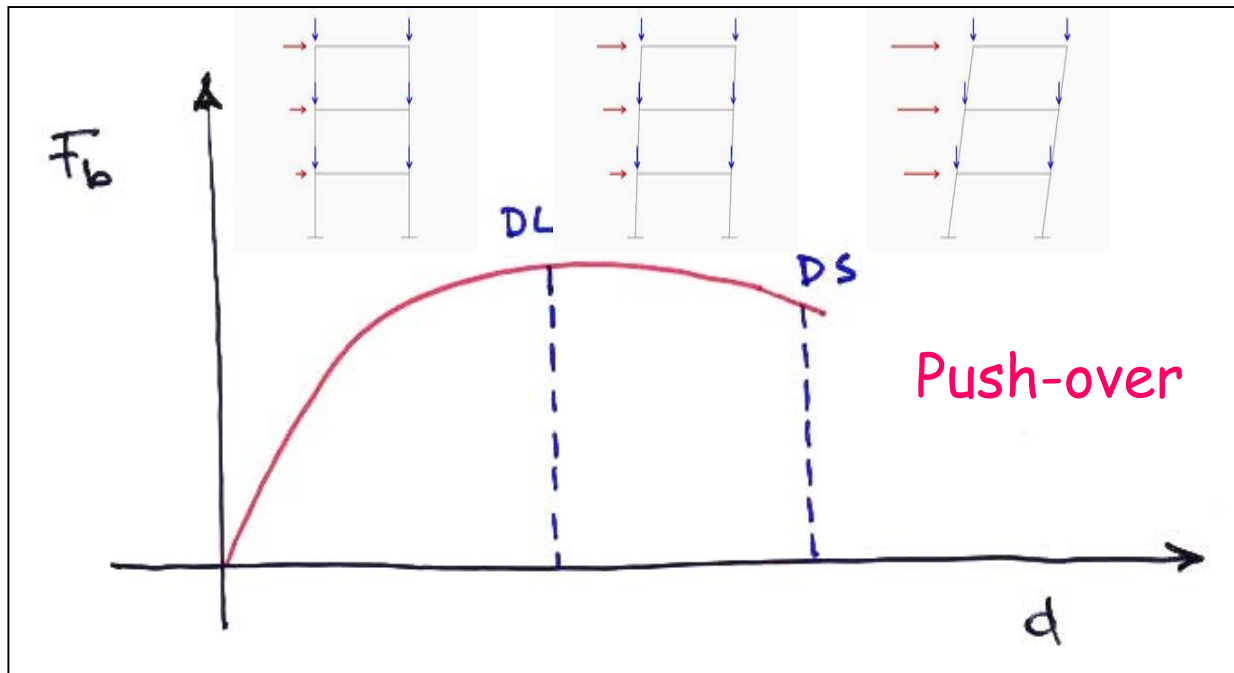


# L'ANALISI STATICA NON LINEARE dell'OPCM 3274

L'OPCM 3274/3431 (ed ora le NTC 08) prevede l'utilizzo della analisi non lineare anche nelle applicazioni professionali

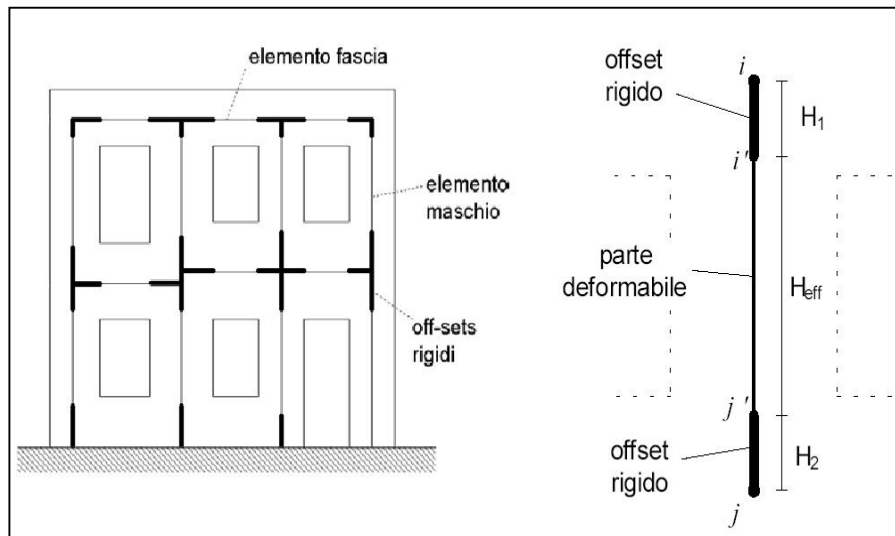
La non linearità non è connessa alla parzializzazione delle sezioni (non resistenza a trazione) ma al superamento delle resistenze ultime a pressoflessione e a taglio

Il comportamento del materiale è sempre elastico-lineare e si considera la plasticità (non linearità) solo in alcune sezioni



Si ipotizza la formazione di cerniere plastiche (a pressoflessione o a taglio)

# L'ANALISI STATICA NON LINEARE dell'OPCM 3274

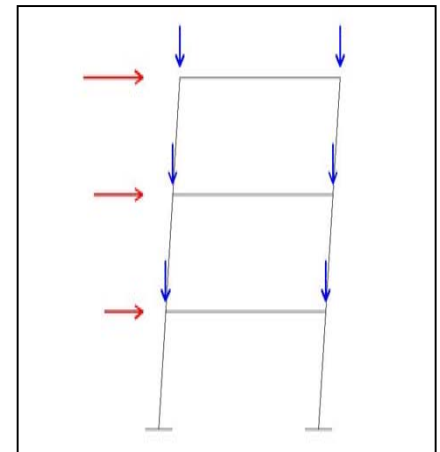


Il telaio a nodi rigidi o le mensole collegate da pendoli

Il modello della struttura è lo stesso utilizzato per le analisi lineari

Si potrebbe anche usare, se disponibile, un modello più sofisticato (elementi finiti non lineari ???)

Sulla struttura già caricata con i carichi verticali si applica un sistema di forze orizzontali (di prefissata distribuzione lungo l'altezza) la cui intensità aumenta in modo da far crescere lo spostamento di un punto di controllo



# IL COMPORTAMENTO NON LINEARE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

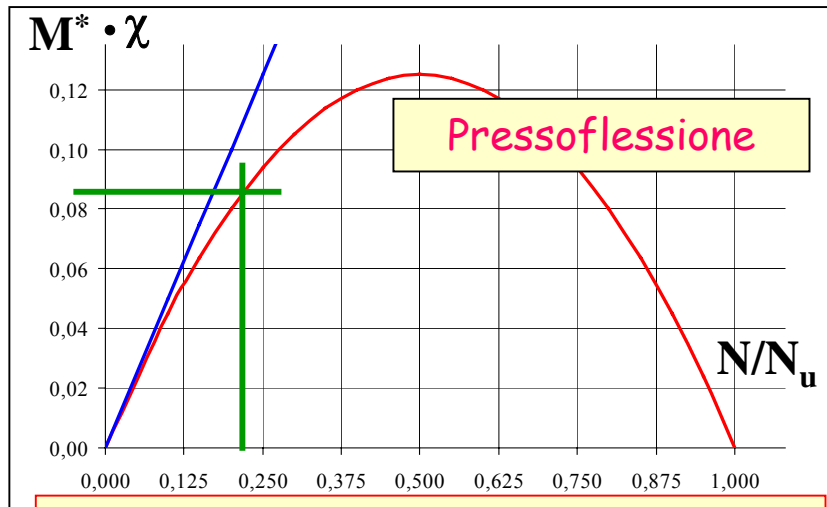
Si ammette una modellazione semplificata:  
comportamento bilineare elastico perfettamente plastico  
sia a pressoflessione che a taglio per tutti gli elementi strutturali

Occorre definire per tutti gli elementi e per entrambe le sollecitazioni il comportamento sia resistente che deformativo

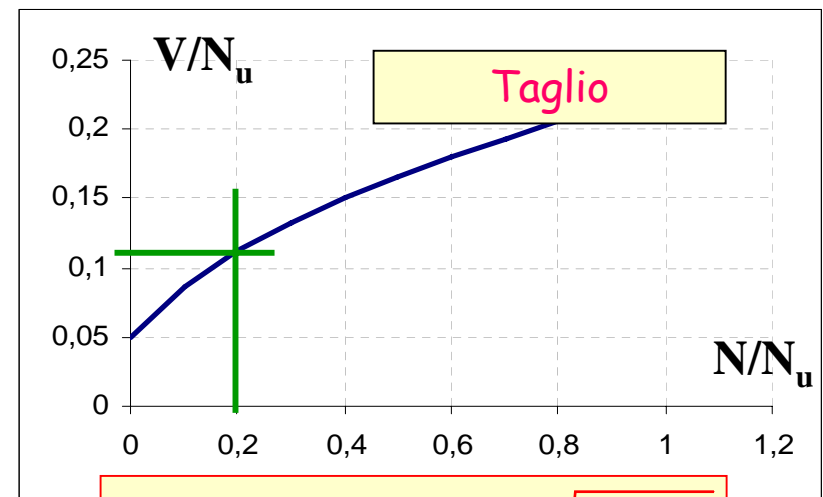
L'OPCM (ed ora le NTC 08) da indicazioni complete per i maschi murari, ma non complete per le fasce di piano

Le resistenze dei materiali da usare nel calcolo sono quelle medie ( $f_m$ ) alle quali si applica solo il Fattore di Confidenza.  
Non si utilizza il coefficiente di sicurezza  $\gamma_m=2$

# I MASCHI MURARI - RESISTENZA

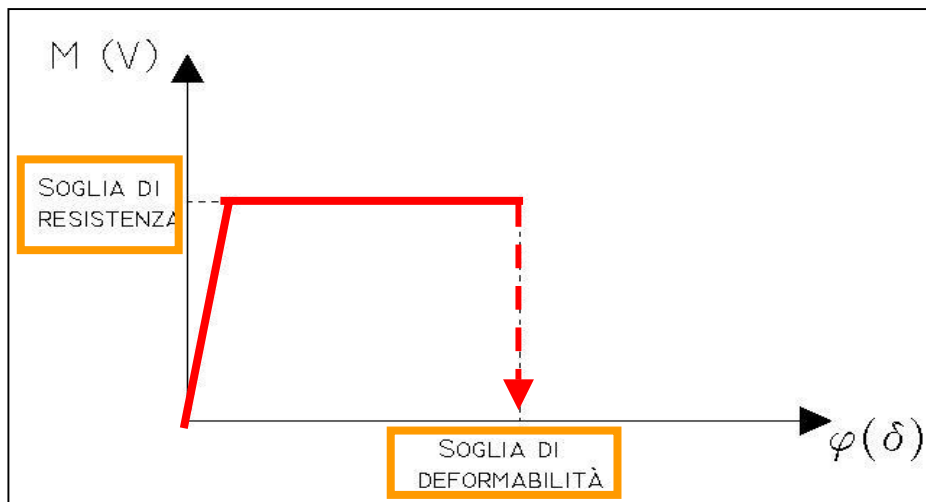


$$M_{ult} = (\sigma_0 s B^2 / 2) (1 - \sigma_0 / 0.85 f_m)$$



$$V_{ult} = \tau_{ult} B s = \frac{f_{tu}}{k} B s \sqrt{1 + \frac{\sigma_o}{f_{tu}}}$$

# I MASCHI MURARI - DEFORMABILITÀ



$$\delta/h = 0.6\% \text{ (flessione)}$$

$$\delta/h = 0.4\% \text{ (taglio)}$$

$\delta$  = spost. in testa al maschio

$h$  = altezza del maschio



## LE FASCE DI PIANO - RESISTENZA

- Meccanismo a puntone - Flessione e taglio

$$M_{ult} = N_p \cdot \frac{H}{2} \cdot \left( 1 - \frac{N_p}{0,85 \cdot f_m \cdot H \cdot t} \right)$$

con:  $N_p = 0.4 f_m H t$

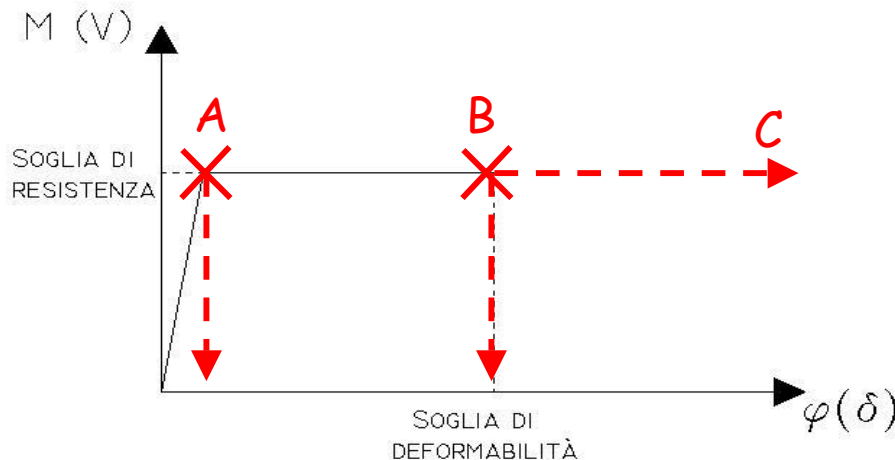
$$V_{ult} = 2 M_{ult} / L$$

- Meccanismo a taglio (scorrimento senza attrito)

$$V_{ult} = H \cdot t \cdot f_{vo}$$

← E' SEMPRE MOLTO BASSO

## LE FASCE DI PIANO - DEFORMABILITÀ

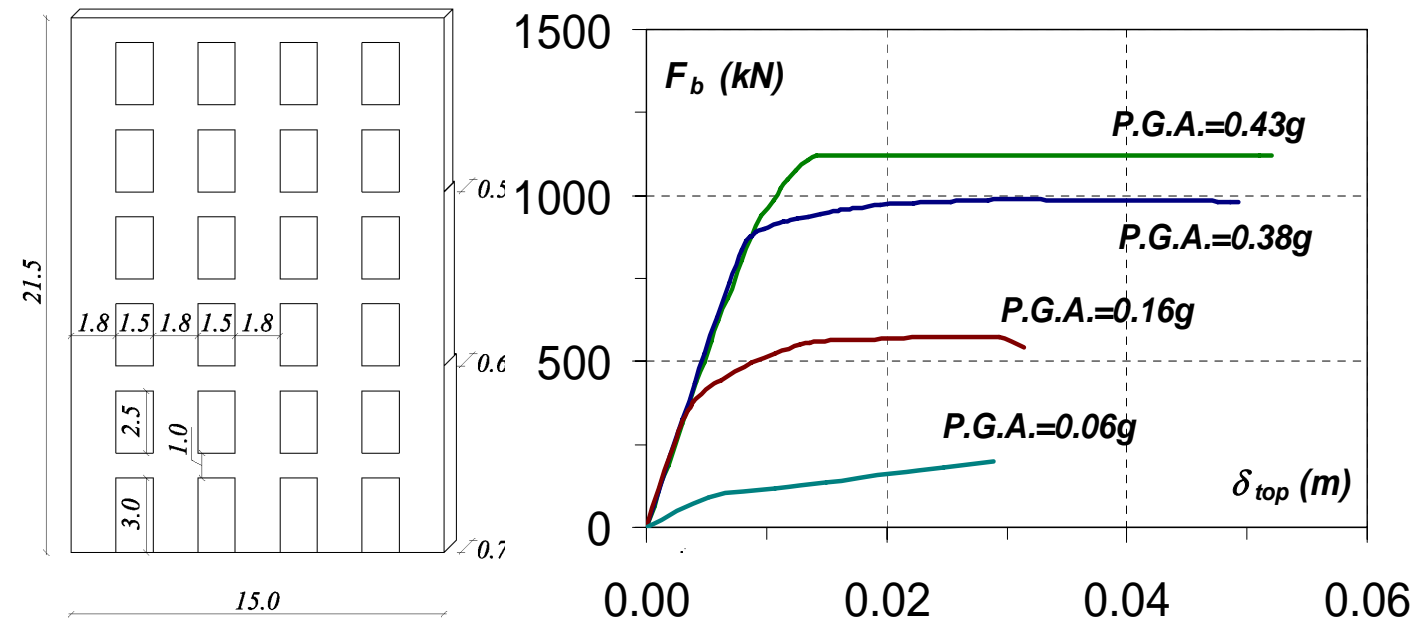


NESSUNA INDICAZIONE

Dove bisogna fermarsi?  
In A, B o C

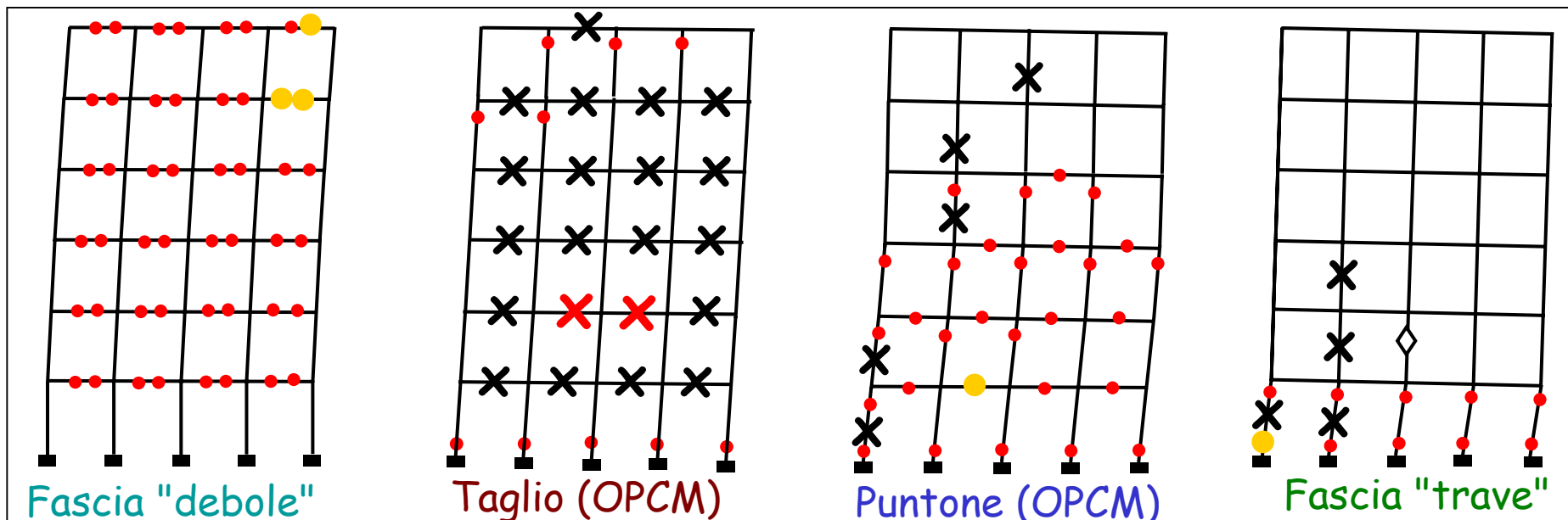
E come si definisce il punto B

# Influenza delle fasce sulla vulnerabilità sismica



Fascia "trave"  
Puntone (OPCM)  
Taglio (OPCM)  
Fascia "debole"

- Flessione
- ✕ Taglio - scor.
- ◊ Trazione diagonale
- Rottura a flessione
- ✗ Rottura a taglio



# Attività sperimentale

## Prove su pannelli di fascia in scala 1:10

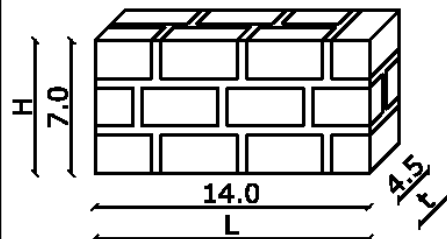
- Muratura di tufo



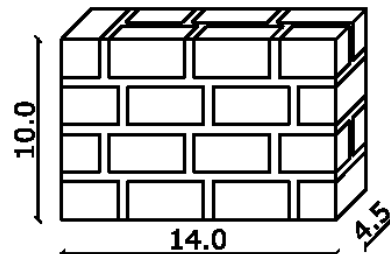
- Materiale omogeneo poco resistente a trazione (malta bastarda)

## Forma dei provini

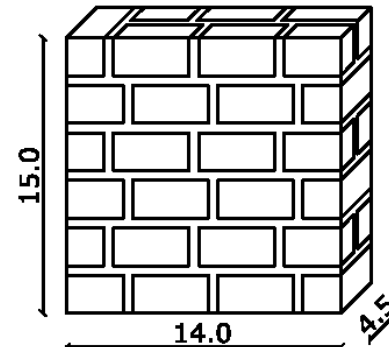
*Fascia snella*  
 $H/L=0.5$  (X)



*Fascia Intermedia*  
 $H/L=0.71$  (Y)



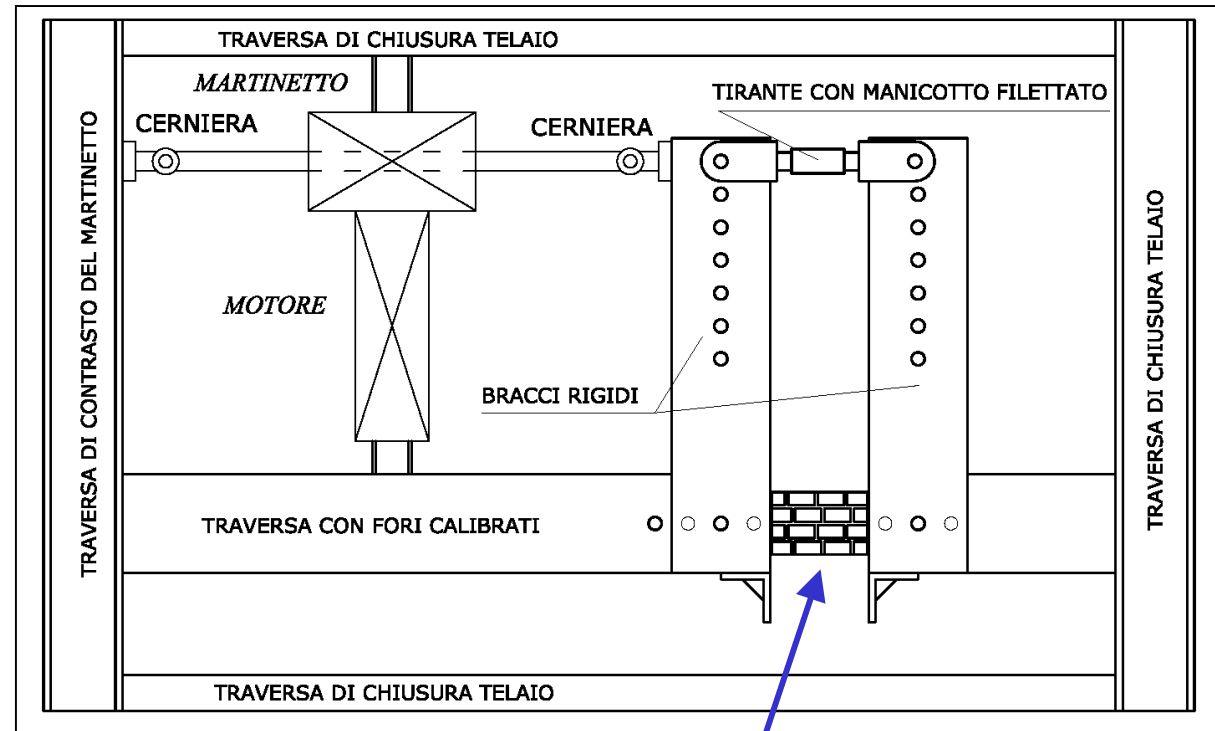
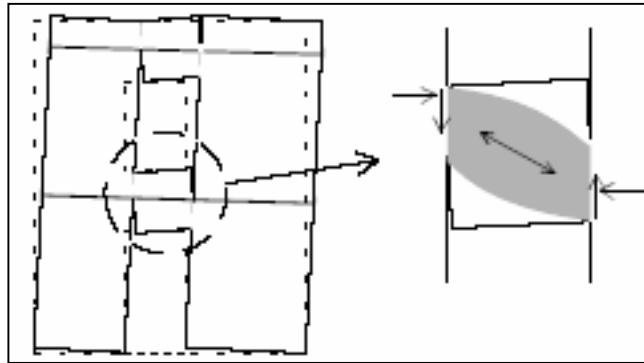
*Fascia tozza*  
 $H/L=1.07$  (Z)



*Tessitura*



# Apparecchiatura di prova



L'apparecchiatura realizzata simula il comportamento del pannello di fascia di piano di una parete muraria soggetta ad azioni orizzontali, imprimendo al pannello una distorsione corrispondente a due rotazioni alle estremità

Il provino è vincolato in modo che le due estremità non possano subire spostamenti relativi orizzontali: caso di fascia "con catena"



# Apparecchiatura di prova

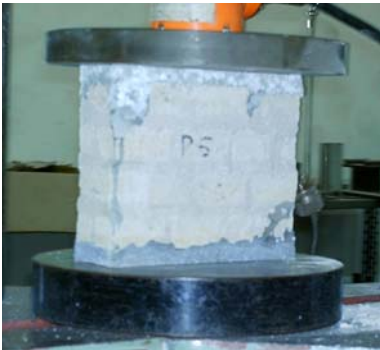
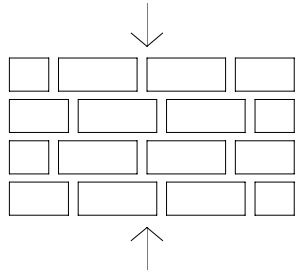


## Apparecchiatura di prova

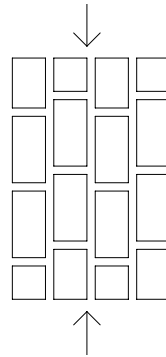


# Resistenza dei materiali: muratura di tufo

## Resistenza a compressione - $f_b$



H/L	$\sigma_{\max}$ (N/mm <sup>2</sup> )
0.50	2.41
0.71	2.33
1.07	2.51



H/L	$\sigma_{\max}$ (N/mm <sup>2</sup> )
0.50	2.99
0.71	2.16
1.07	2.62

$$f_{bm \text{ (rid.)}} = 1.85 \text{ N/mm}^2$$

## Resistenza a trazione - $f_t$

$$f_t \cong 1/20 \text{ di } f_b$$

(dati di letteratura e normative)

$$f_t = f_{vo} = 0.0925 \text{ N/mm}^2$$

# Resistenza dei materiali: **materiale omogeneo**

## Resistenza a compressione - $f_b$



	1	2	3	4	5	6	7	8
$\sigma$	4.8	4.5	4.3	4.0	3.8	4.2	4.6	4.6
$\sigma$	4.2	4.4	4.2	4.1	3.8	4.4	4.4	4.6
$\sigma_{med}$	4.5	4.5	4.3	4.1	3.8	4.3	4.5	4.6

$$f_{bm} = 4.30 \text{ N/mm}^2$$

## Resistenza a trazione - $f_t = f_{v0}$



<i>Provincia</i>	$F$ (N)	$f_{v0} = \frac{P_d}{A \cdot 2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_d = \frac{P_d}{A \cdot \sqrt{2}}$ (N/mm <sup>2</sup> )
22	4078	0.30	0.43
23	4546	0.34	0.48
24	3908	0.29	0.41
		<b>0.31</b>	<b>0.44</b>

$$f_t = f_{v0} = 0.43 \text{ N/mm}^2$$



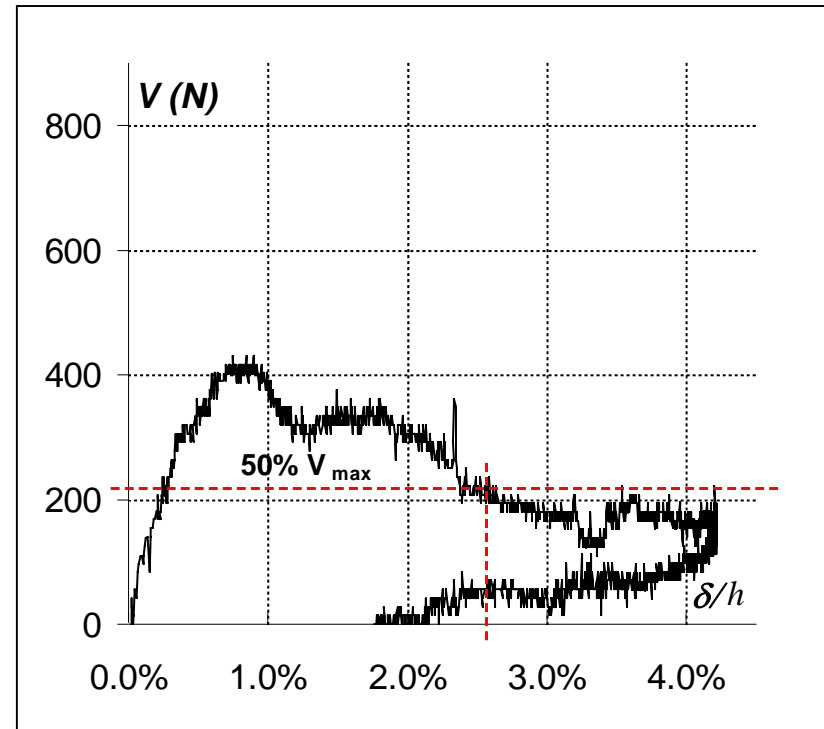
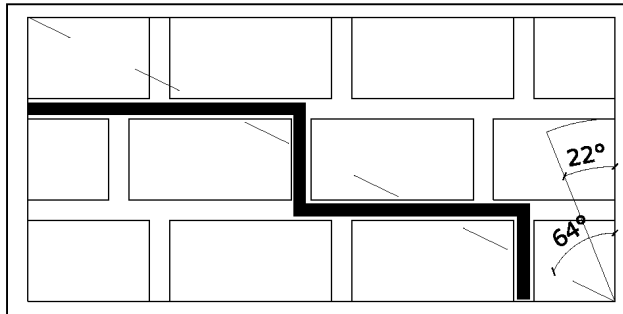
## Esecuzione delle prove



## Esecuzione delle prove



## Fascia snella (H/L=0.50)



416  
376  
430 } **407 N**

$V_{\text{punt}} = 616 \text{ N} \rightarrow \text{Puntone}$

$V_{\text{fvo}} = 291 \text{ N} \rightarrow \text{Taglio-OPCM}$

# Fascia tozza (H/L=1.07)



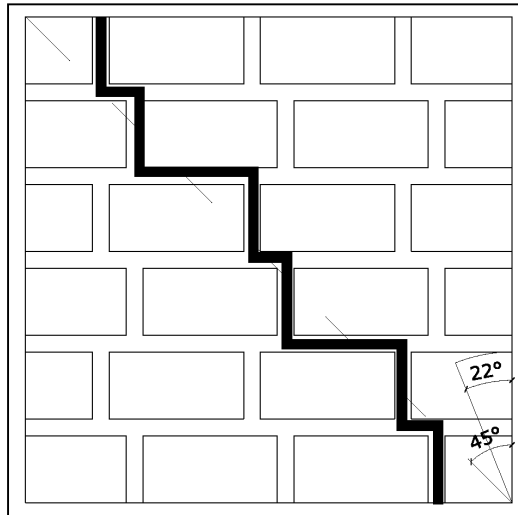
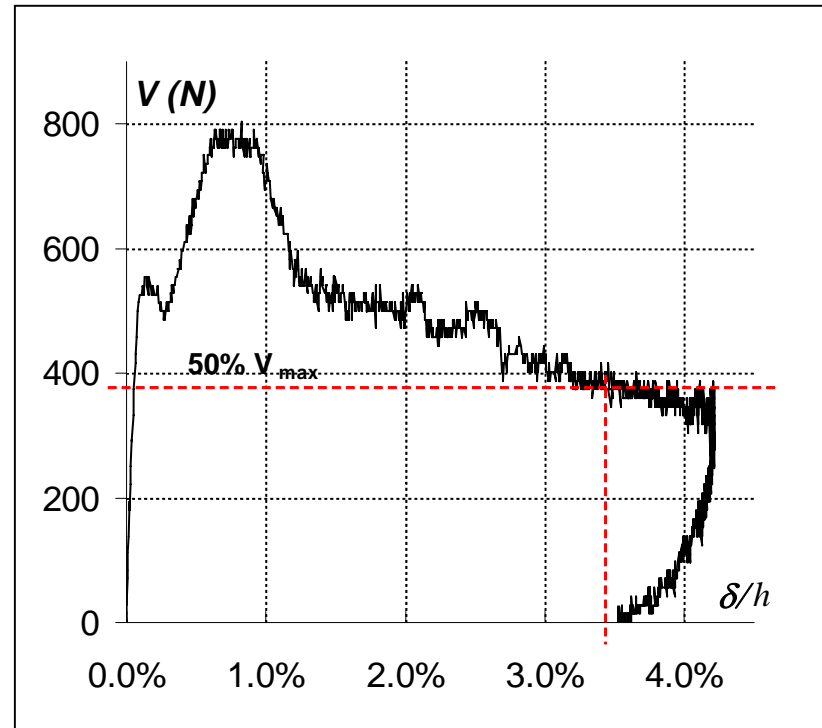
958

804

804



855 N



$V_{punt} = 2831 \text{ N} \rightarrow \text{Puntone}$

$V_{fvo} = 624 \text{ N} \rightarrow \text{Taglio-OPCM}$



# Fascia intermedia (H/L=0.71)



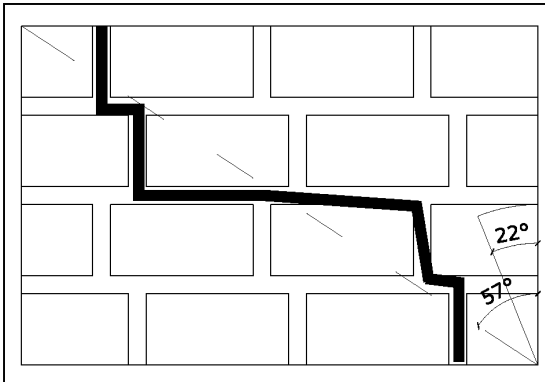
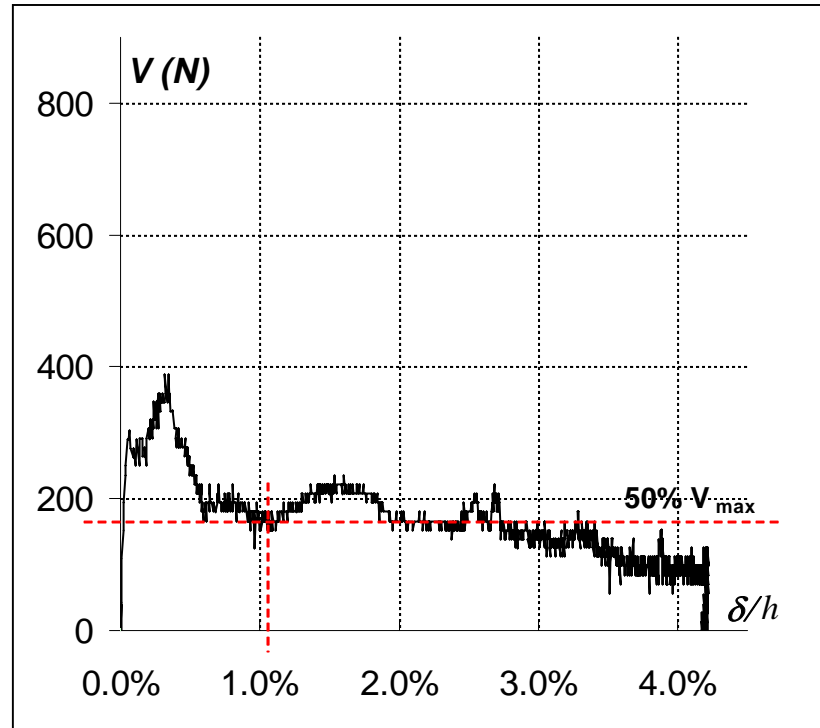
430

430

388



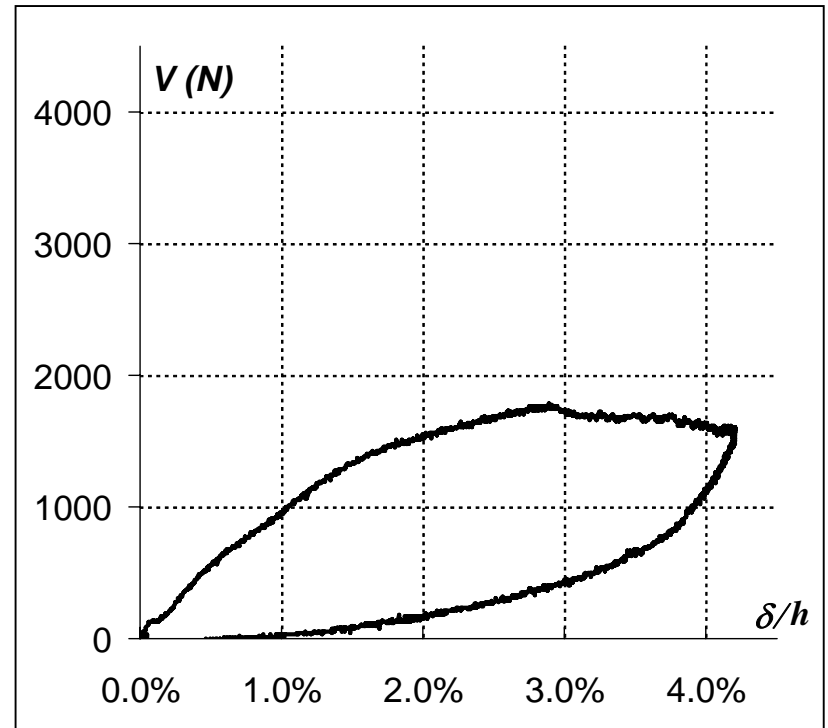
416 N



$V_{\text{punt}} = 1258 \text{ N} \rightarrow \text{Puntone}$

$V_{\text{fvo}} = 416 \text{ N} \rightarrow \text{Taglio-OPCM}$

## Fascia snella (H/L=0.50)



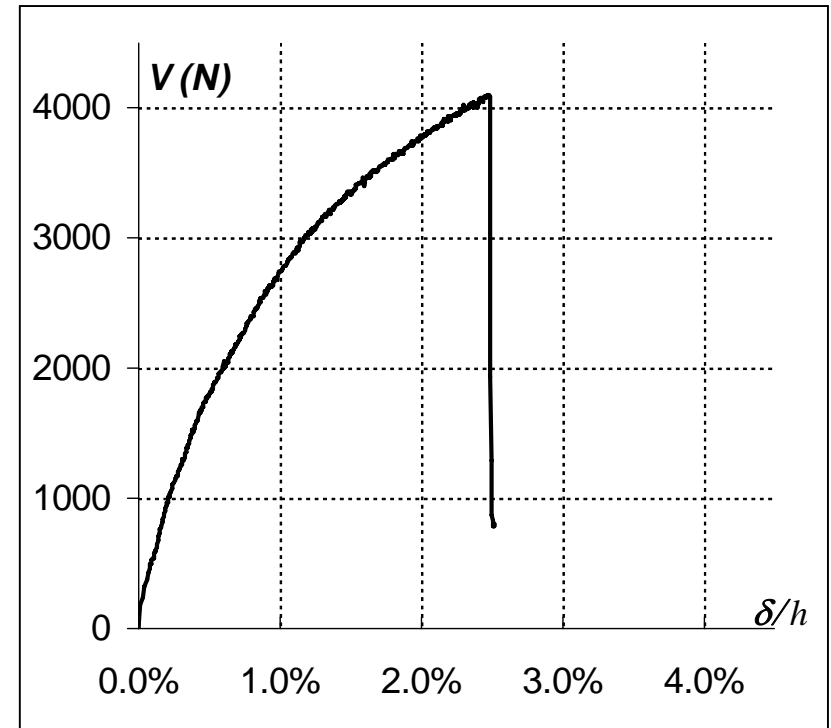
1762  
1502  
1822

1695 N

$V_{\text{punt}} = 1422 \text{ N} \rightarrow \text{Puntone}$

$V_{\text{fvo}} = 1354 \text{ N} \rightarrow \text{Taglio-OPCM}$

## Fascia tozza (H/L=1.07)



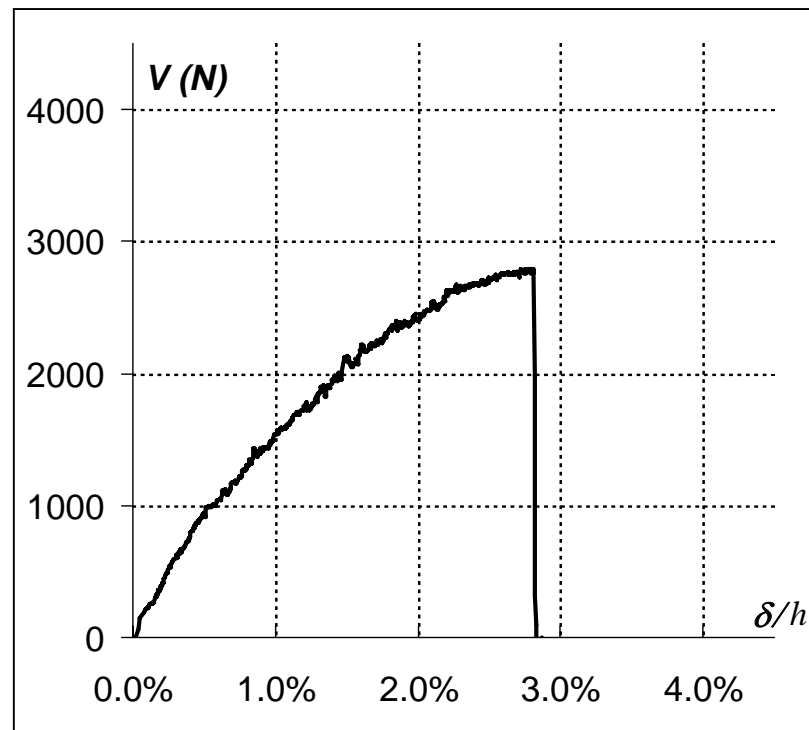
3765  
6338  
3540

} 4548 N

$V_{\text{punt}} = 6580 \text{ N} \rightarrow \text{Puntone}$

$V_{\text{fvo}} = 2900 \text{ N} \rightarrow \text{Taglio-OPCM}$

## Fascia intermedia (H/L=0.71)



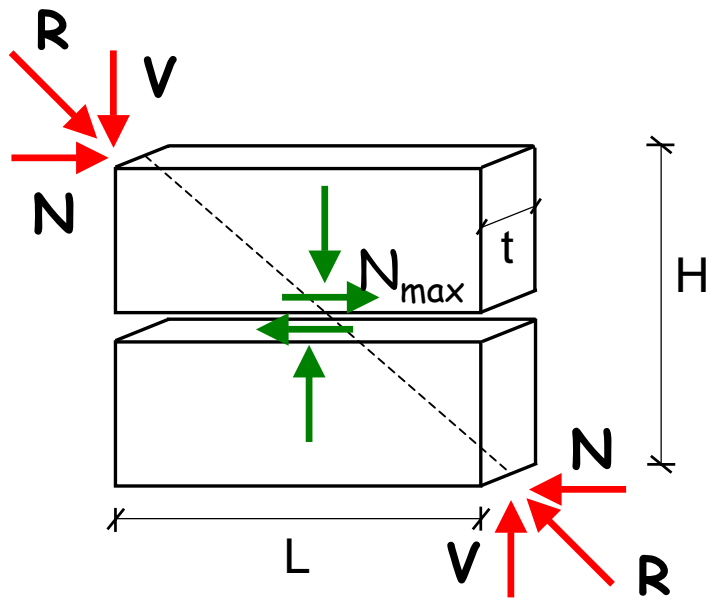
2640  
2884  
2786

} 2772 N

$V_{\text{punt}} = 2924 \text{ N} \rightarrow \text{Puntone}$

$V_{\text{fvo}} = 1935 \text{ N} \rightarrow \text{Taglio-OPCM}$

## 1) Scorrimento orizzontale



$$V \cdot L = N \cdot H$$

$$N = \frac{V \cdot L}{H}$$

$$N_{\max} = f_{\text{vo}} \cdot t \cdot L + V_{\max} \cdot \text{tg} \varphi$$

$$V_{\max} = (f_{\text{vo}} \cdot t \cdot L) / \left( \frac{L}{H} - \text{tg} \varphi \right)$$

$$V_{\max} = (f_{\text{vo}} \cdot t \cdot H) / \left( 1 - \frac{H}{L} \text{tg} \varphi \right)$$

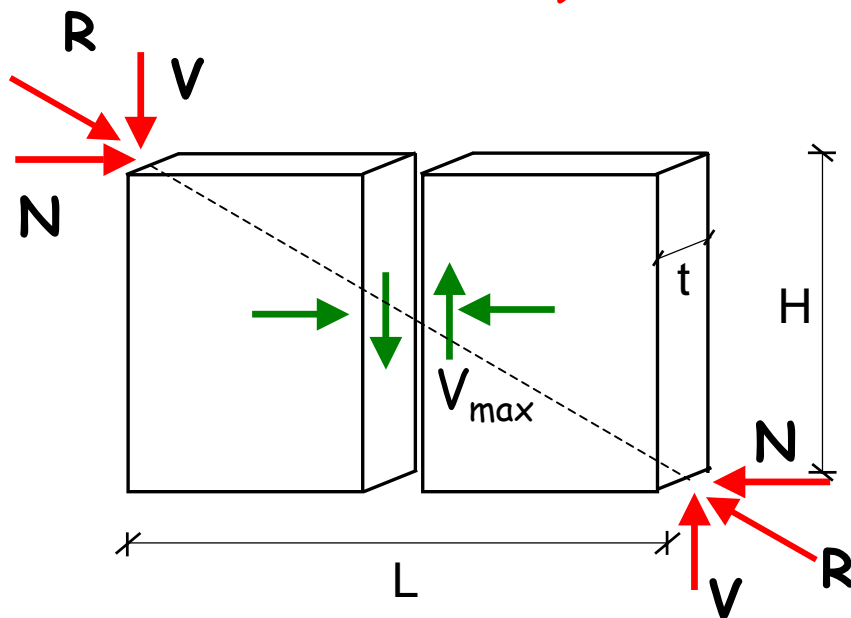
**V-OPCM**

$\text{tg} \varphi = 0.4$

se:  $\text{tg} \varphi = 0$

$$V_{\max} = (f_{\text{vo}} \cdot t \cdot H)$$

## 2) Scorrimento verticale



$$V \cdot L = N \cdot H$$

$$N = \frac{V \cdot L}{H}$$

$$V_{\max} = f_{vo} \cdot t \cdot H + N \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

$$V_{\max} = f_{vo} \cdot t \cdot H + V_{\max} \cdot \frac{L}{H} \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

$$V_{\max} = (f_{vo} \cdot t \cdot H) / \left( 1 - \frac{L}{H} \operatorname{tg} \varphi \right)$$

**V-OPCM**

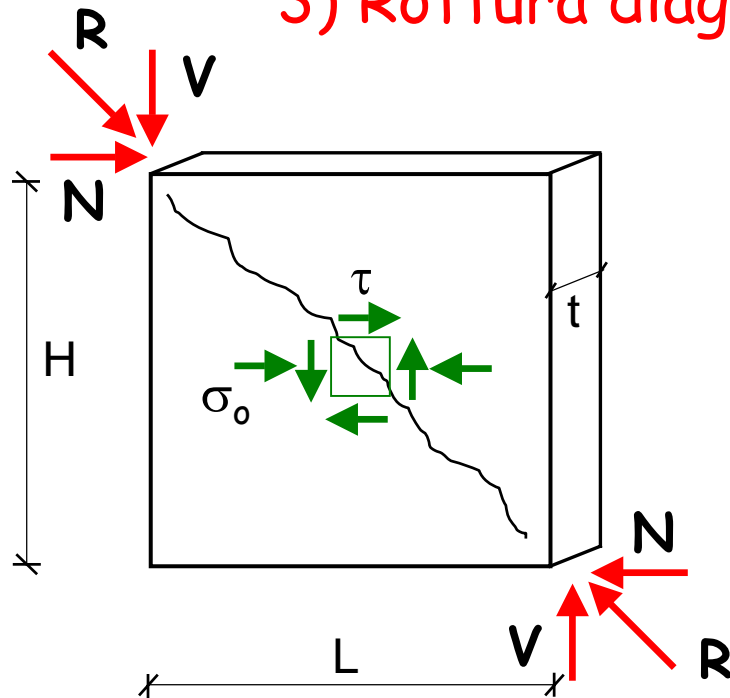
$\operatorname{tg} \varphi = 0.4$

se:  $\operatorname{tg} \varphi = 0$

$$V_{\max} = (f_{vo} \cdot t \cdot H)$$



## 3) Rottura diagonale (per trazione)



$$V \cdot L = N \cdot H$$

$$N = \frac{V \cdot L}{H}$$

$$V_{\max} = f_t \cdot t \cdot H \cdot \frac{1}{k} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_t}}$$

$$\sigma_0 = \frac{N}{H \cdot t} = \frac{V_{\max} \cdot L}{H^2 \cdot t}$$



$$V_{\max} = (f_t \cdot t \cdot H) \cdot \frac{1}{k} \cdot \sqrt{1 + \frac{V_{\max} \cdot L}{H} \cdot \frac{1}{H \cdot t} \cdot \frac{1}{f_t}}$$

$$1 \leq \left( k = \frac{L}{H} \right) \leq 1.5$$



**V-OPCM**

**Equazione di 2° grado in  $V_{\max}$**



# Fascia snella ( $H/L=0.50$ )

	<b>Muratura</b>  $f_t = f_b/20$	<b>Malta</b>  $f_t = f_b/10$
<b>Meccanismo</b>	$V_{sper} = 407 \text{ N}$	$V_{sper} = 1695 \text{ N}$
Puntone	616	1422
Scor. Orizzontale	364	1693
Scor. Verticale	1455	6772
Rottura diagonale	362	1687
Taglio senza attrito (V-OPCM)	291	1354
	Rottura mista: orizzontale-diagonale	Rottura del puntone

# Fascia tozza (H/L=1.07)

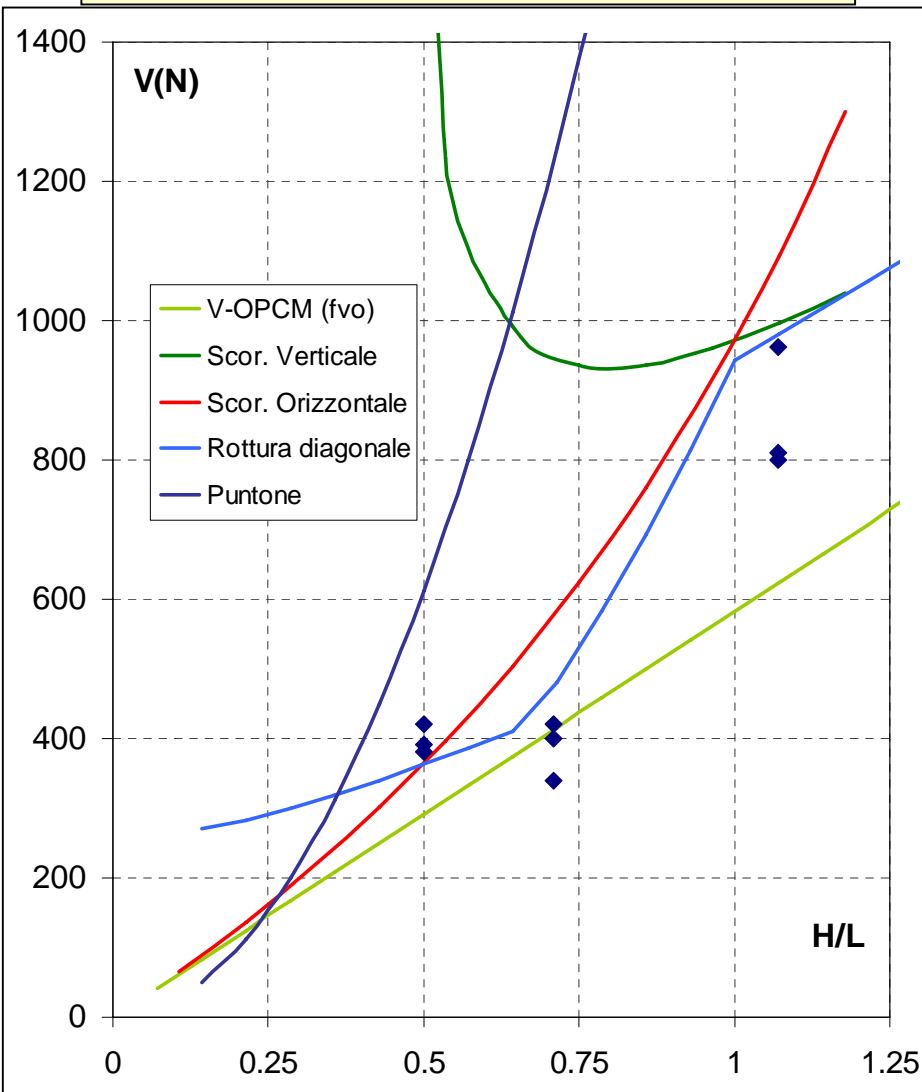
	<b>Muratura</b>  $f_t = f_b / 20$ $V_{sper} = 855 \text{ N}$	<b>Malta</b>  $f_t = f_b / 10$ $V_{sper} = 4548 \text{ N}$
<b>Meccanismo</b>		
Puntone	2831	6580
Scor. Orizzontale	1092	5080
Scor. Verticale	996	4631
Rottura diagonale	980	4557
Taglio senza attrito (V-OPCM)	624	2900
	Rottura diagonale	Rottura diagonale

## Fascia intermedia (H/L=0.71)

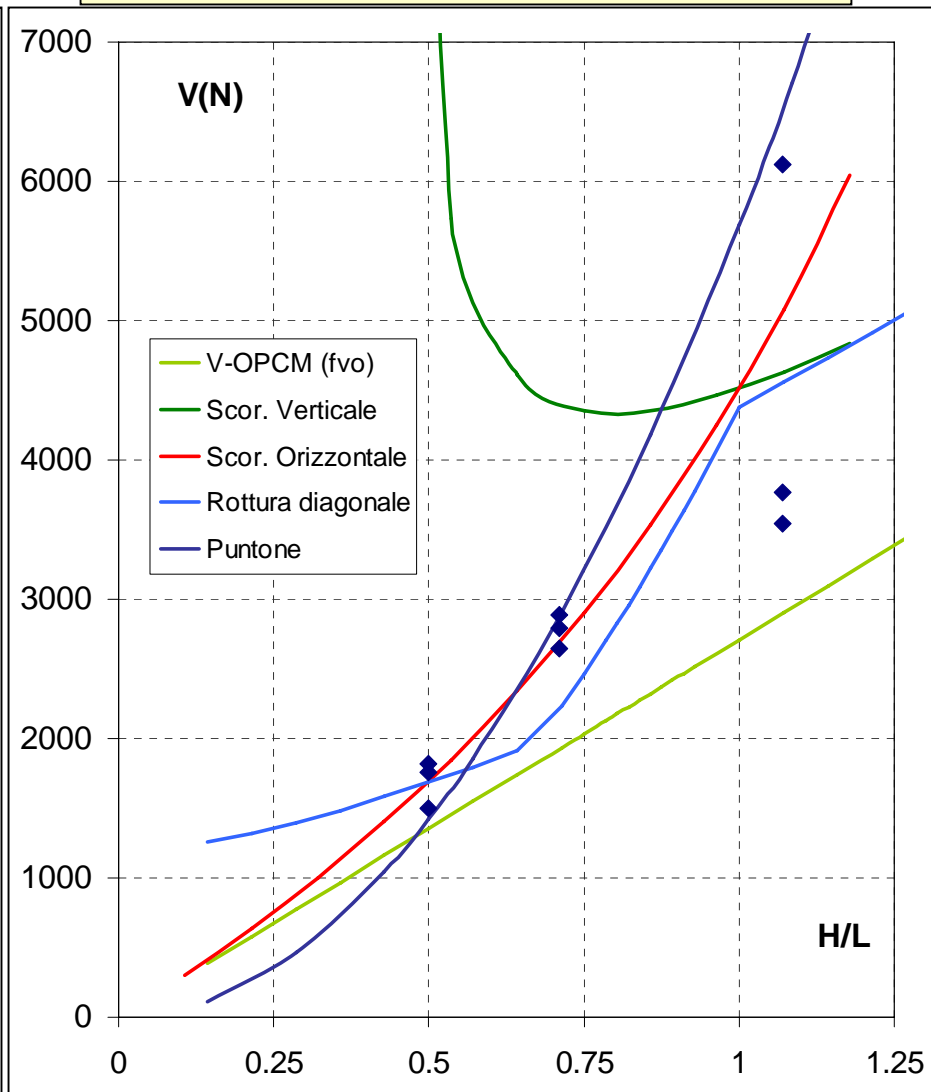
	<b>Muratura</b>  $f_t = f_b/20$ $V_{sper} = 416 \text{ N}$	<b>Malta</b>  $f_t = f_b/10$ $V_{sper} = 2772 \text{ N}$
<b>Meccanismo</b>		
Puntone	1258	2924
Scor. Orizzontale	582	2709
Scor. Verticale	946	4398
Rottura diagonale	481	2236
Taglio senza attrito (V-OPCM)	416	1935
	Rottura mista: orizzontale-diagonale	Rottura diagonale

# Sintesi dei risultati

**Muratura** ( $f_t = f_b/20$ )



**Malta** ( $f_t = f_b/10$ )



## Considerazioni sulla Resistenza (1)

1. La rottura della fascia è condizionata dalla forma del pannello (snellezza), dalla direzione dei letti di malta rispetto alle azioni esterne (tessitura della muratura) nonché dal rapporto tra la resistenza a trazione e quella a compressione ( $f_t/f_b$ )
2. Il meccanismo a puntone riesce ad attivarsi solo nelle fasce snelle con  $f_t/f_b$  più alto e rappresenta in genere un limite superiore per la resistenza della fascia



## Considerazioni sulla Resistenza (2)

3. La formulazione dell'OPCM per la resistenza a taglio ( $V = f_{v0} t H$ ) è troppo cautelativa, perché non tiene conto dell'azione dello sforzo normale
4. Per determinare la resistenza effettiva della fascia di piano occorre analizzare tutti i possibili meccanismi di rottura
5. Il comportamento è fortemente influenzato dalla resistenza a trazione, un parametro di difficile valutazione sia sperimentale che teorica

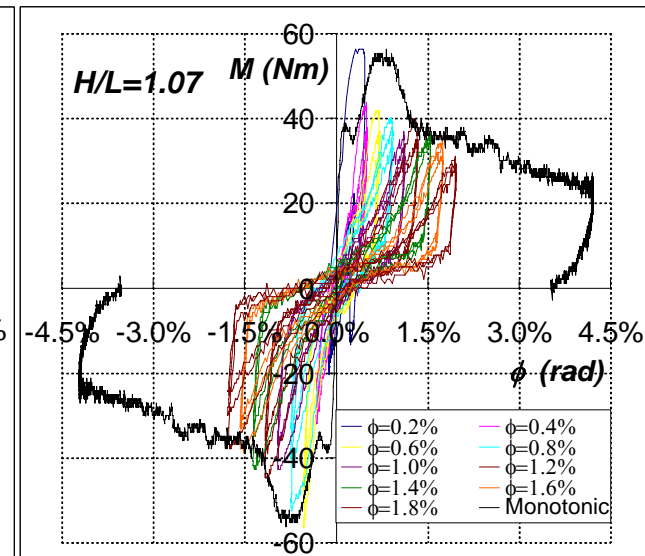
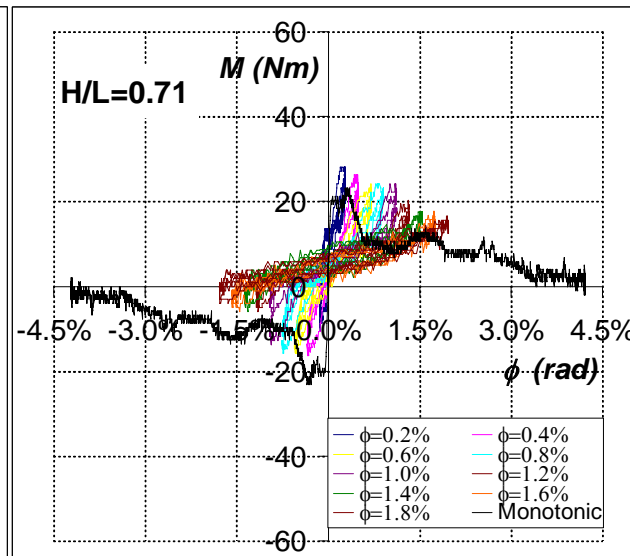
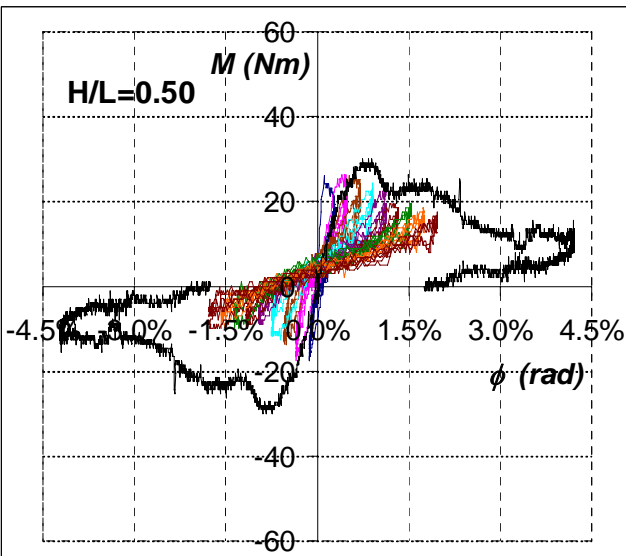
## Considerazioni sulla Capacità Deformativa (1)

1. Nel caso della **muratura "reale"**, con tessitura a **filari orizzontali**, il comportamento è piuttosto **duatile** qualunque sia il meccanismo di rottura che si attiva (scorrimento orizzontale o rottura diagonale)
2. La capacità deformativa si paga però con una **perdita di resistenza** non trascurabile
3. I **limiti** di deformazione previsti dall'**OPCM** per i maschi murari sembrano essere **cautelativi** anche per le fasce di piano

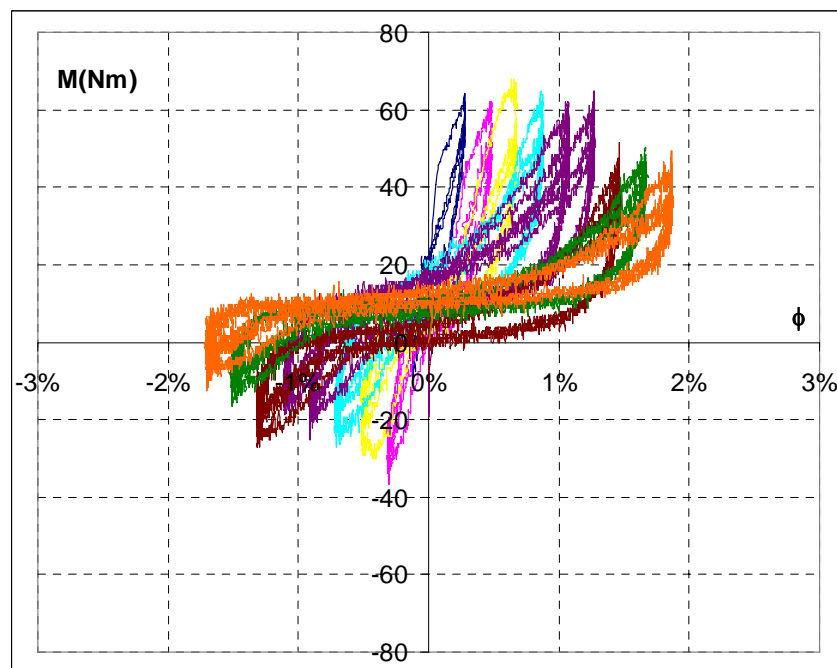
## Considerazioni sulla Capacità Deformativa (2)

4. Nel caso di materiale "omogeneo" il comportamento è effettivamente duttile se si attiva il meccanismo a puntone con schiacciamento degli spigoli; è fragile se si attiva il meccanismo di rottura diagonale
5. La buona capacità deformativa della muratura è sicuramente connessa alle possibilità di movimento relativo tra gli elementi che la compongono (ingranamento)

# Analisi del comportamento ciclico degradante: prove già in corso

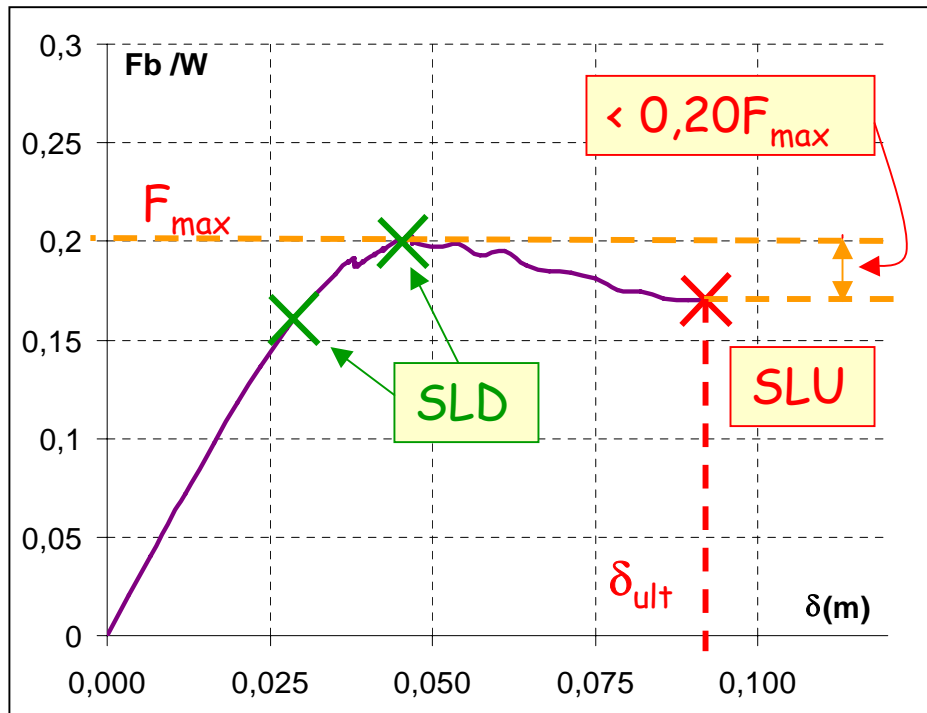


# Influenza delle diverse tessiture murarie sul comportamento della fascia: analisi di tipologie storiche - prove già in corso



## GLI SPOSTAMENTI LIMITE SULLA CURVA

La procedura di calcolo (e quindi la curva di push-over) si deve interrompere quando si raggiunge lo spostamento ( $\delta_{ult}$ ) corrispondente ad una riduzione della forza massima non superiore al 20% (Condizione di STATO LIMITE ULTIMO)

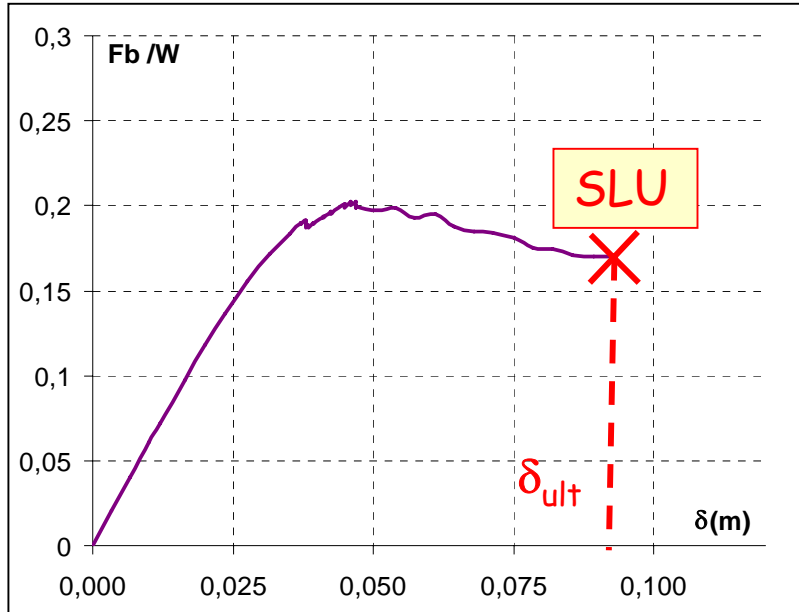


La condizione di STATO LIMITE DI DANNO è definita dallo spostamento pari al minore tra quello corrispondente al raggiungimento della massima forza e quello per il quale si raggiunge il limite accettabile di spostamento di interpiano ad un piano qualsiasi ( $d_r = 0.003 h$ )



# L'UTILIZZAZIONE DELLA PUSH-OVER

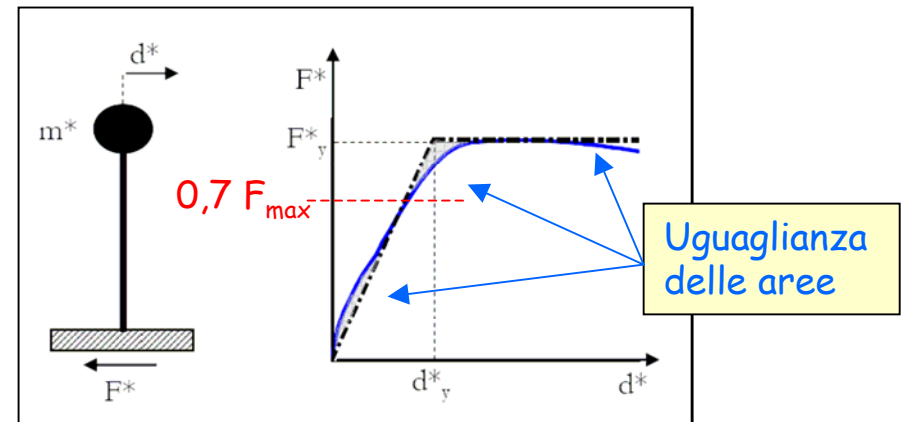
La curva è relativa ad un sistema a più gradi di libertà



Serve il primo modo di vibrare (analisi modale) o gli spostamenti dati dalle forze relative all'analisi statica lineare per avere i valori di  $\Phi_i$

Poi si trova la massa eccitata  $m^*$  del SDOF. Si bilinearizza e si ricava la rigidezza  $k^*$  ed il periodo  $T^*$

Si deve passare ad un sistema equivalente ad un sol grado di libertà (SDOF) per poter utilizzare gli spettri di risposta



$$\Gamma = \frac{\sum m_i \Phi_i}{\sum m_i \Phi_i^2}$$

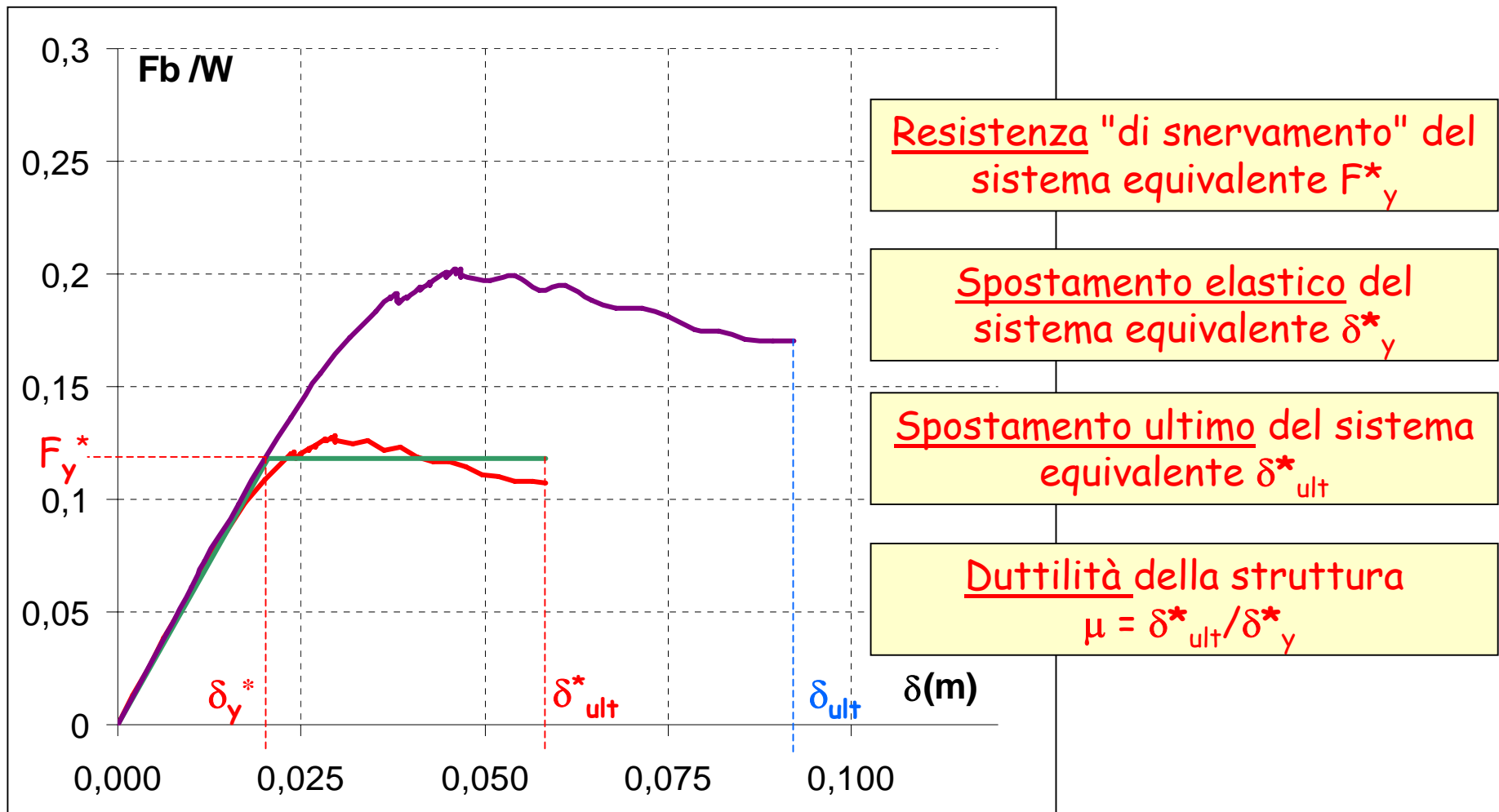
$$m^* = \sum m_i \Phi_i^2$$

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

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

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^*}{k^*}}$$

# LE INFORMAZIONI CHE SI RICAVANO DALLA PUSH-OVER (RIDOTTA A SDOF)



N.B. Rigidezza e duttilità del sistema equivalente SDOF  
coincidono con quelle del sistema reale

# LA VERIFICA DELLA STRUTTURA A VALLE DELL'ANALISI STATICA NON LINEARE

La verifica consiste nel determinare lo spostamento richiesto alla struttura dal sisma (domanda)

Esso deve essere inferiore a quello massimo raggiungibile dalla struttura (capacità)

sia per lo stato limite di danno (danno limitato - DL)  
che per lo stato limite ultimo (danno severo - DS)

La domanda di spostamento si ricava dagli spettri degli spostamenti elastici, e si corregge (se necessario -  $T^* < T_c$ ) per tener conto del comportamento plastico della struttura reale, mediante il fattore di struttura ( $q$ ), che è funzione della duttilità (ricavata dalla push-over)

Lo spettro degli spostamenti (che si ricava da quello delle accelerazioni diviso per  $\omega^2 = (2\pi/T)^2$ ) vale per l'oscillatore semplice. Quindi si deve "consultare" entrando con il periodo  $T^*$  del sistema equivalente SDOF

Per i due stati limite si utilizzano due spettri diversi:  
-elastico diviso per 2.5 (ed eventualmente per  $q$ ) per lo SLD  
-elastico diviso solo per  $q$  (cioè spettro di progetto) per lo SLU

# LA VALUTAZIONE DELLA DOMANDA DI SPOSTAMENTO DAGLI SPETTRI DI RISPOSTA

La duttilità ( $\mu$ ) richiesta è collegata al fattore di struttura ( $q=F_{el}/F_y$ )

se  $T > T_c$   $\mu = q$  (equivalenza degli spostamenti)

se  $T < T_c$   $\mu = 1 + (q-1) T_c/T$  (equivalenza dell'energia)

Analoghe relazioni esistono tra  $\delta_{el}$  e  $\delta_{max}$  (spost.max.plast.)

se  $T > T_c$   $\delta_{max} = \delta_{el}$  (equivalenza degli spostamenti)

se  $T < T_c$   $\delta_{\max} = \delta_{el} (1 + (q-1) T_c/T)/q$  (equivalenza dell'energia)

Quindi, conoscendo  $T^*$  ed  $F_y^*$ :

- dallo spettro degli spostamenti  $\delta^*_{el} = S_{De}(T^*) = S_e(T^*)(T^*/2\pi)^2$

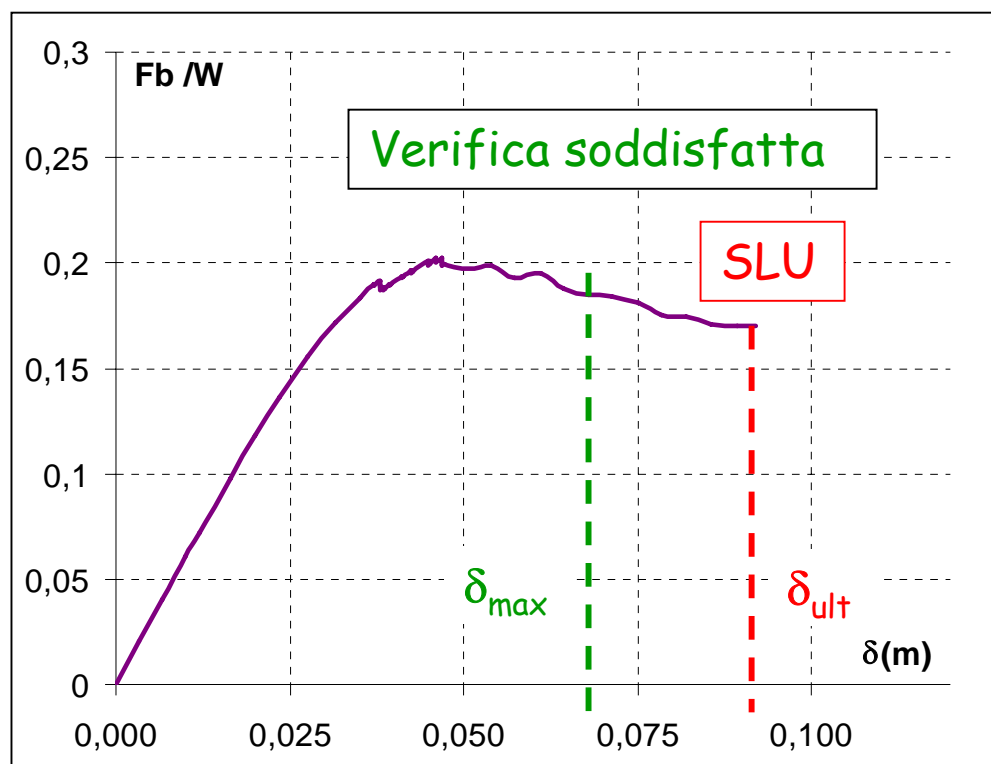
- dallo spettro delle accelerazioni  $F_{el}^* = m^* S_e(T^*)$   $q^* = F_{el}^* / F_y^*$

- e infine

se $T^* > T_c$ o $q^* < 1$	$\delta_{\max}^* = \delta_{el}^*$
se $T^* < T_c$	$\delta_{\max}^* = \delta_{el}^* (1 + (q^* - 1) T_c / T^*) / q^*$

Per il sistema reale  $\delta_{\max} = \delta_{\max}^* \times \Gamma$  che va confrontato con  $\delta_{ult}$

## LA VERIFICA ALLO SLU IN TERMINI DI SPOSTAMENTO



Il confronto si può anche fare in termini di duttilità richiesta e disponibile

## LA VERIFICA ALLO SLD IN TERMINI DI SPOSTAMENTO

Per valutare la domanda di spostamento allo SLD si divide lo spettro degli spostamenti, e quindi quello delle accelerazioni, per 2.5 e si procede nello stesso modo calcolando  $\delta_{max}$

## LA VERIFICA ALLO SLU IN TERMINI DI ACCELERAZIONE

Il fattore di struttura ( $q=F_{el}/F_y$ ) è collegato alla duttilità ( $\mu$ ) disponibile

se  $T^* > T_c$      $q^* = \mu$     (equivalenza degli spostamenti)

se  $T^* < T_c$      $q^* = 1 + (\mu-1) T^*/T_c$  (equivalenza dell'energia)

Quindi, conoscendo  $q^*$ ,  $T^*$  ed  $F_{*y}$ :

- $F_{el}^* = q^* F_y^*$
- $F_{el}^* = m^* S_e(T^*) = m^* PGA S S_d(T^*)$
- $PGA = F_{el}^* / [m^* S S_d(T^*)]$  (accelerazione del terreno sopportabile)

se  $PGA > a_g$  della zona sismica    la verifica è soddisfatta

se  $PGA < a_g$  della zona sismica    la verifica non è soddisfatta

## LA VERIFICA ALLO SLD IN TERMINI DI ACCELERAZIONE

La duttilità ( $\mu$ ) si valuta in corrispondenza dello spostamento di SLD

Se  $\mu < 1$  il sistema rimane in campo elastico e  $q=1$

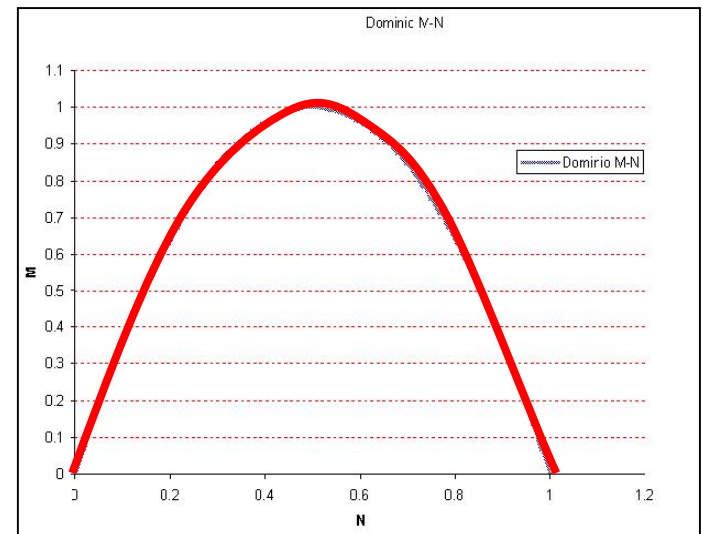
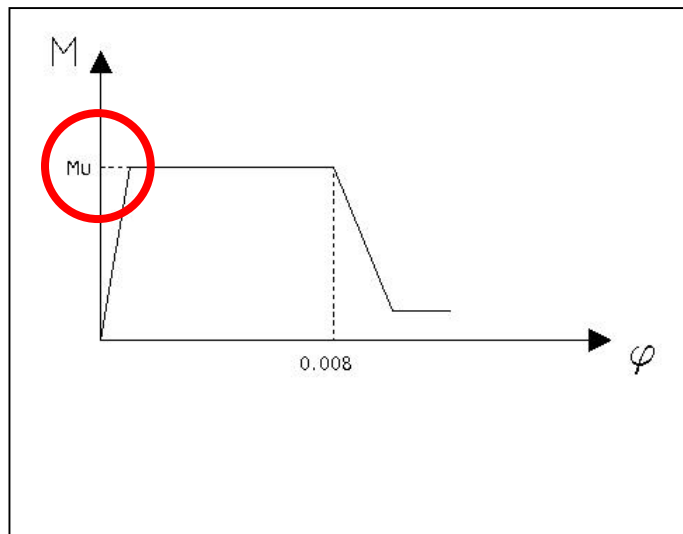
Si procede nello stesso modo dividendo lo spettro elastico per 2.5

Si ricava la PGA da confrontare con la  $a_g$  della zona sismica



# IL PROGRAMMA SAP 2000 PER L'ANALISI STATICA NON LINEARE

- Requisiti di modellazione indicati nella ordinanza soddisfatti quasi integralmente
- Modello a telaio equivalente con nodi rigidi
- Resistenza a presso-flessione definita per mezzo della cerniera plastica PMM



## I LIMITI DEL PROGRAMMA

Consente l'utilizzo di cerniere plastiche a taglio, ma il valore massimo di taglio trasmissibile è fisso, indipendentemente dallo sforzo normale, che invece varia durante l'analisi.

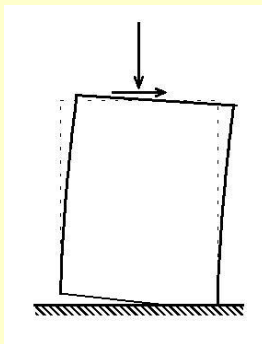
Va bene per le fasce di piano, ma non per i maschi murari

In genere, però, la rottura a taglio di un maschio corrisponde alla rottura dell'intera parete

Spesso non consente l'esplorazione del comportamento della struttura successivo alla crisi di un singolo elemento strutturale importante

La curva non riesce a volte ad andare avanti col ramo decrescente

## I LIMITI DELLA METODOLOGIA

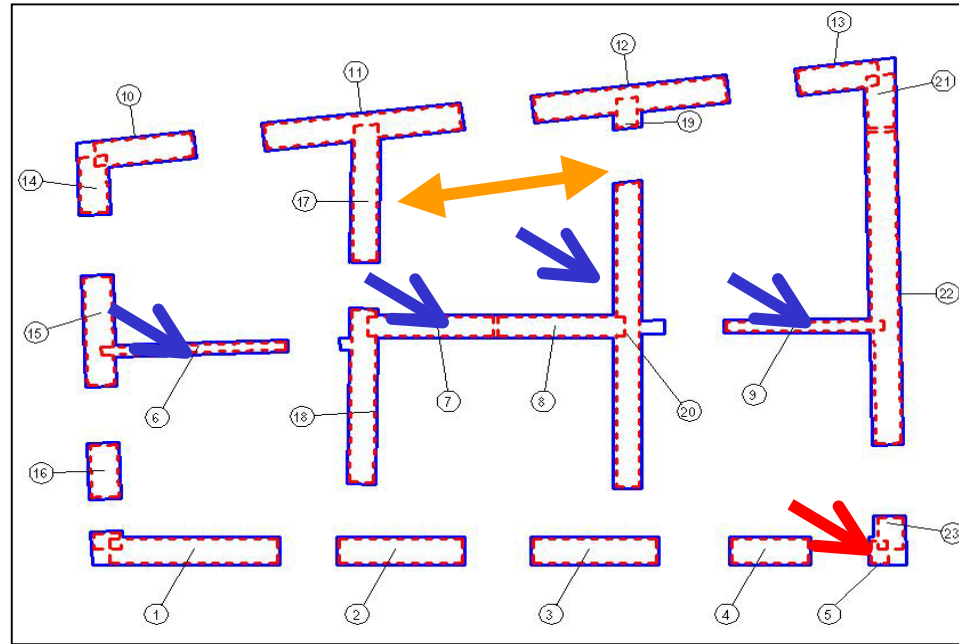


Non consente di tener conto della parzializzazione delle sezioni

Moduli elastici fessurati

Non consente di evidenziare e di tener conto del fenomeno di innalzamento del maschio murario

# L'INTERVENTO DI ADEGUAMENTO DI CASTELLAMMARE



L'edificio ha subito nel corso degli anni interventi non perfettamente programmati  
(apertura - chiusura - ampliamento dei vani di passaggio)

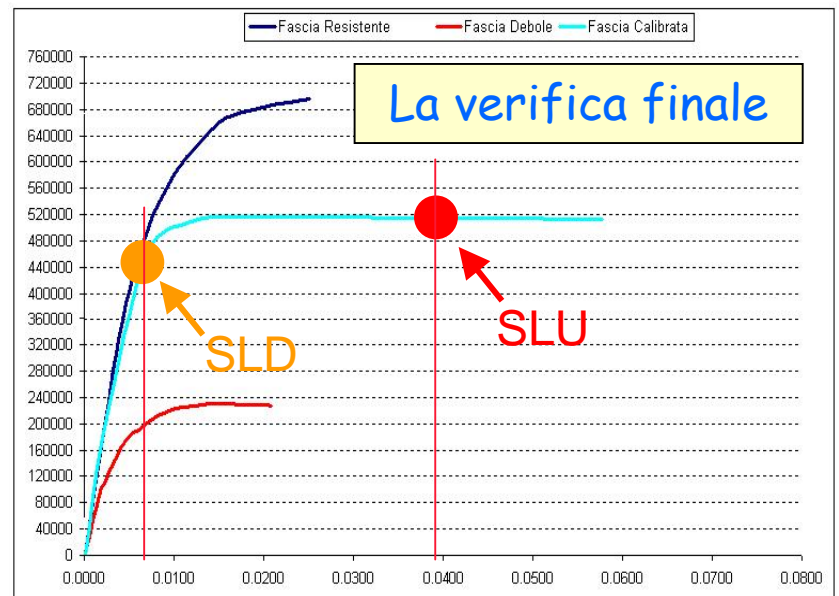
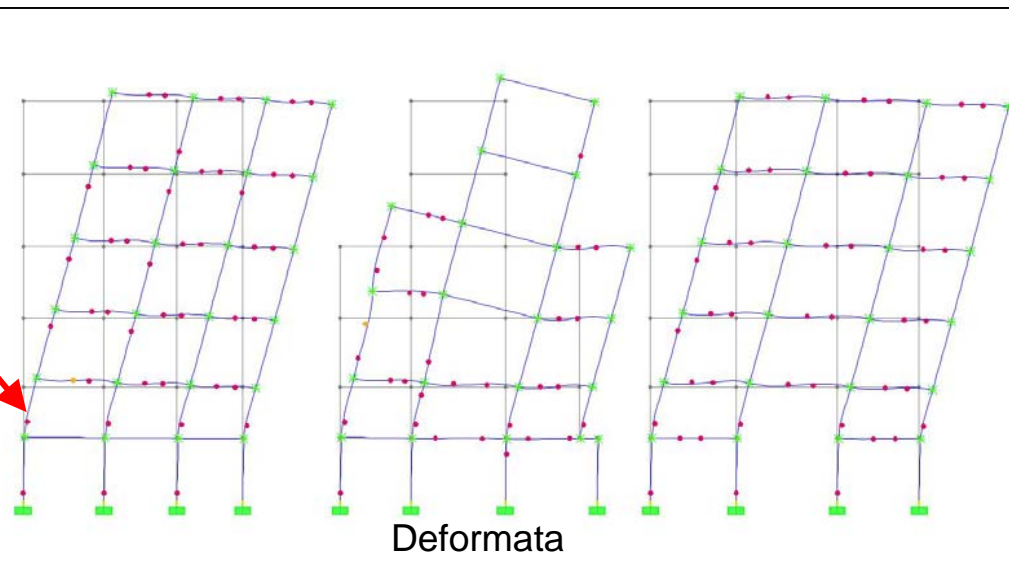
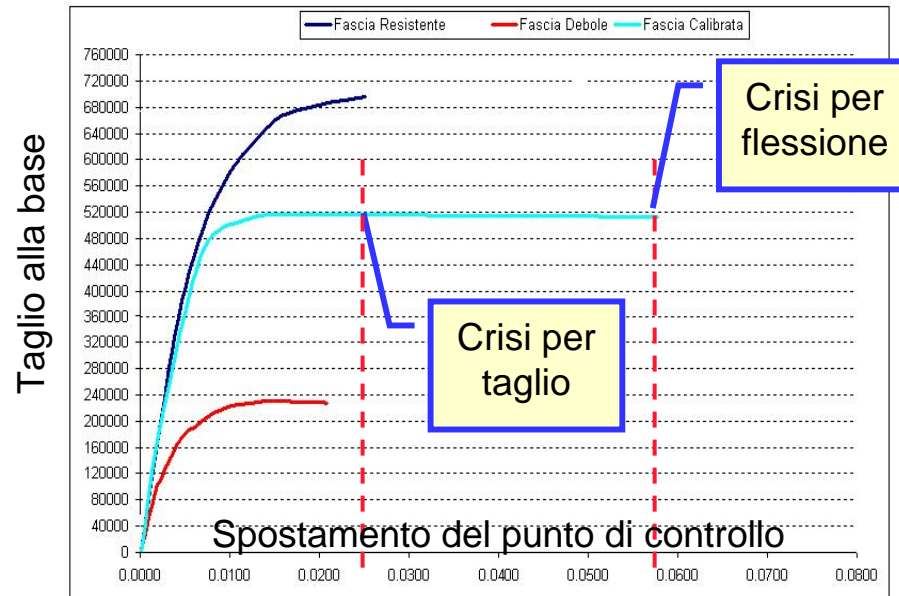
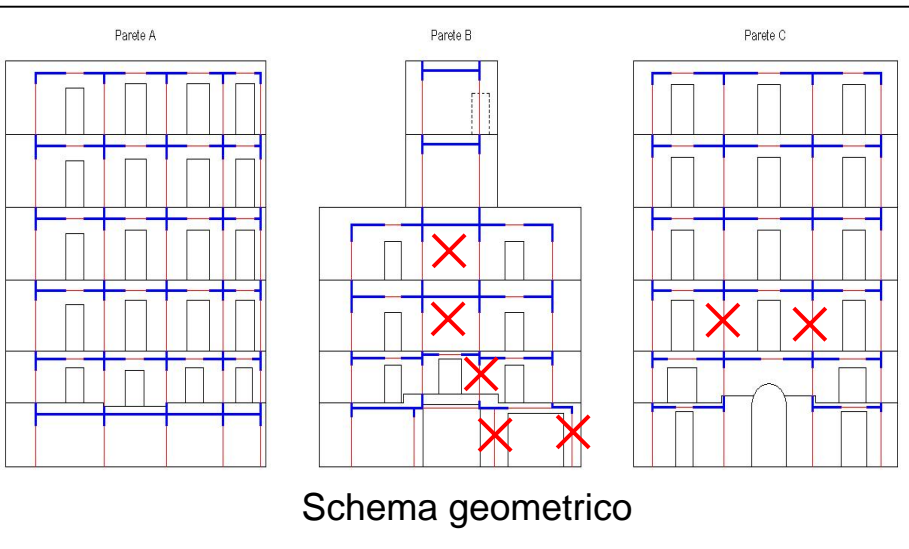
Insorgere di alcune irregolarità

Modifica della distribuzione strutturale

Le notevoli irregolarità ci obbligano a delle deroghe

Non è stato possibile prescindere dall'armare a taglio alcuni maschi murari

# Treno di Telai in direzione X – Fascia a resistenza calibrata



# Treno di Telai in direzione Y – Fascia a resistenza calibrata

