



**SOFT.LAB**  
SOFTWARE PER L'EDILIZIA



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO



# Metodologie di analisi non lineare di strutture in muratura e miste

*Enzo Martinelli*

---

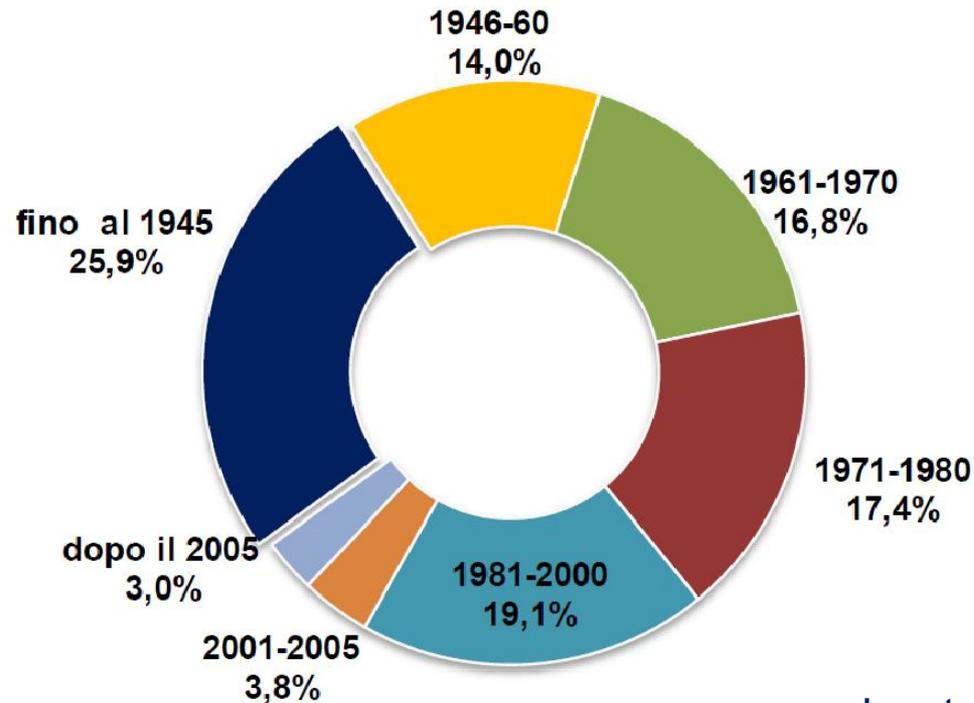
# Sommario

- ✓ **Introduzione**
- ✓ **Aspetti normativi**
- ✓ **Formulazione meccanica**
- ✓ **Validazione ed esempi**
- ✓ **Conclusioni**



# Introduzione

## Patrimonio edilizio italiano: epoca di costruzione/1



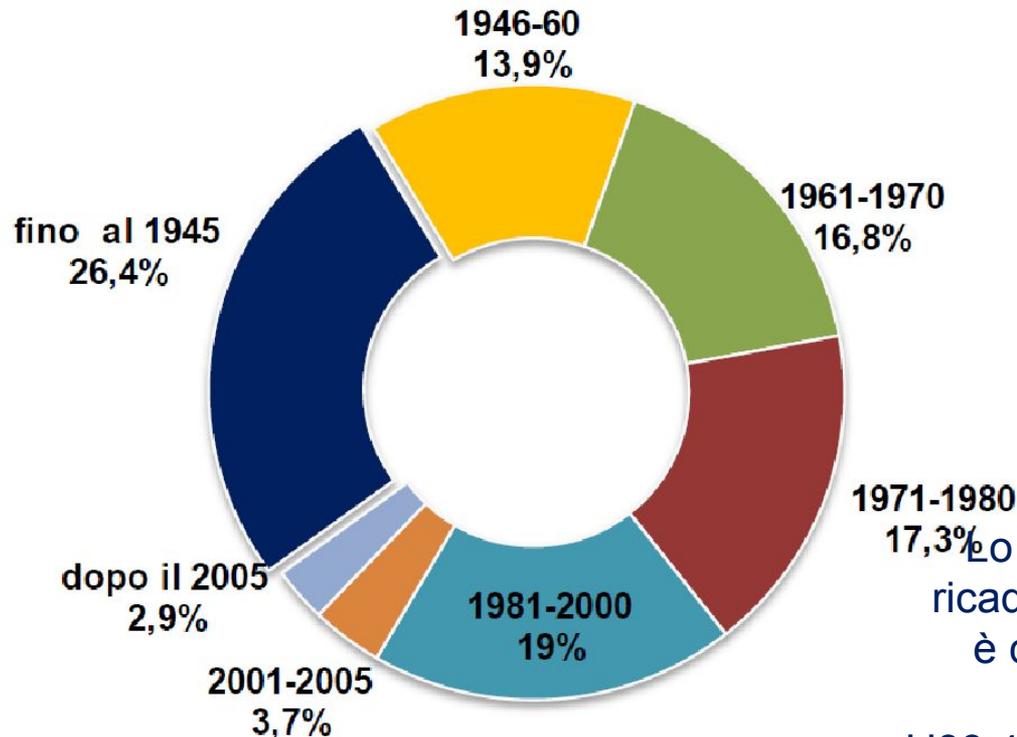
Elaborazione Ance su dati Censimento Istat 2011

Lo stock edilizio residenziale italiano è costituito da **12.2 milioni di edifici** (per 31.2 milioni di abitazioni).

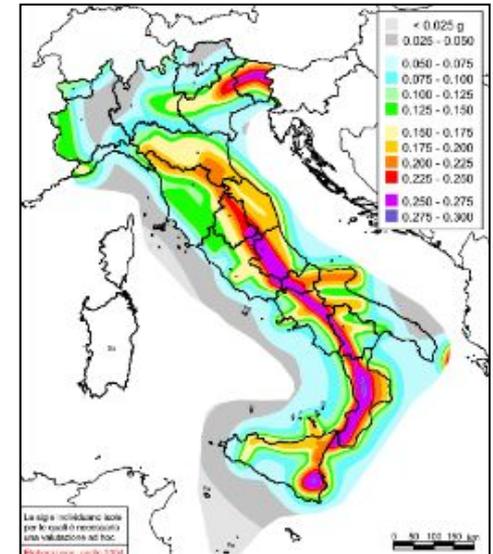


# Introduzione

## Patrimonio edilizio italiano: epoca di costruzione/1



Elaborazione Ance su dati Censimento Istat 2011



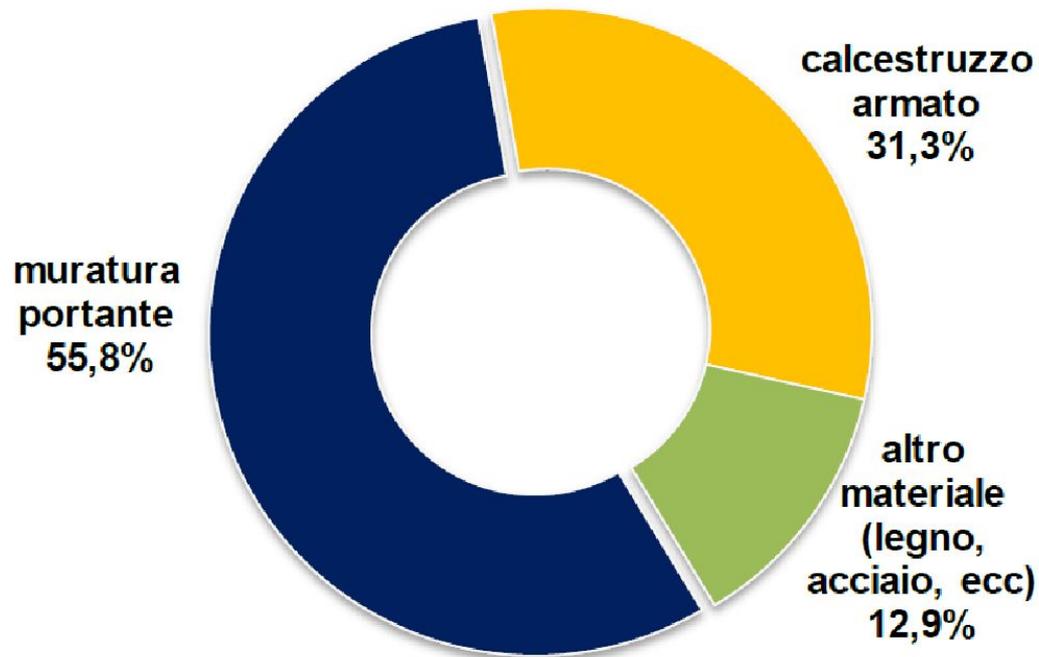
Lo stock edilizio presente in comuni ricadenti in Zona 1, 2 o 3 (circa 5800) è costituito da 11.1 milioni di edifici.

L'88.4% degli edifici è ad uso abitativo: si tratta di circa 9.3 milioni di immobili.



# Introduzione

## Patrimonio edilizio italiano: tipologia costruttiva



Elaborazione Ance su dati Censimento Istat 2011

Circa **5.3 milioni di edifici residenziali** ricadenti in zone sismiche 1, 2 o 3 sono costituiti da strutture in muratura.



# Introduzione

## Patrimonio edilizio italiano: aspetti qualitativi

### Muratura

**fino al 1945:** muratura di buona qualità e buona concezione;  
**1945-80:** edifici con prima evoluzione normativa Post Belice (1968);  
**1981-00:** edifici con seconda evoluzione normativa Post Irpinia (1981 e 1987);  
**> 2000:** edifici con terza evoluzione normativa (1996, 2003).

**fino al 1945:** edifici spesso misti con calcestruzzo comunque di buona qualità;  
**1945-80:** particolarmente vulnerabili;  
**1981-00:** edifici con prima evoluzione normativa (1974);  
**> 2000:** edifici con seconda evoluzione normativa (1996-2003).

### Cemento armato

(ANCE, 2017)



# Introduzione

## Danni prodotti da eventi sismici: Irpinia (1980)



Zaccaria  
(2015)



# Introduzione

## Danni prodotti da eventi sismici: L'Aquila (2009)





# Introduzione

## Danni prodotti da eventi sismici: Italia centrale (2016)



# Aspetti normativi

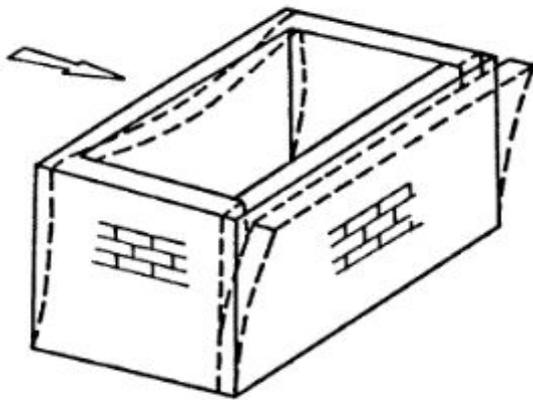
## Materiali/1

Tipologia di muratura	f	$\tau_0$	$f_{v0}$	E	G	w
	(N/mm <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )				
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	- -	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	- -	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	- -	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,4-2,2	0,028-0,042	- -	900-1260	300-420	13 ÷ 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadriati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

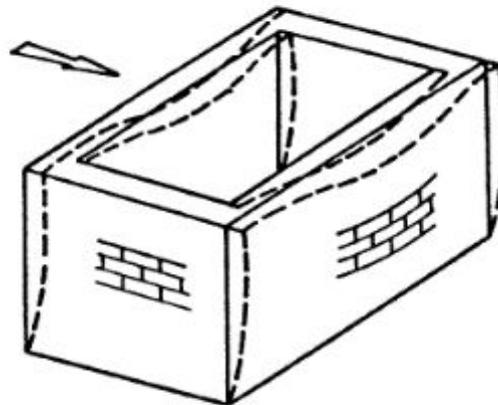
M.II.TT. (2019), Circolare 21.01.2019, n. 7 C.S.LL.PP.

# Introduzione

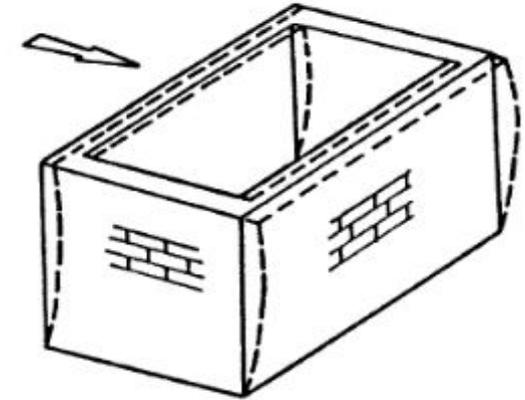
## Meccanismi di crisi: il ruolo dell'impalcato



a) con solaio deformabile e senza cordolo



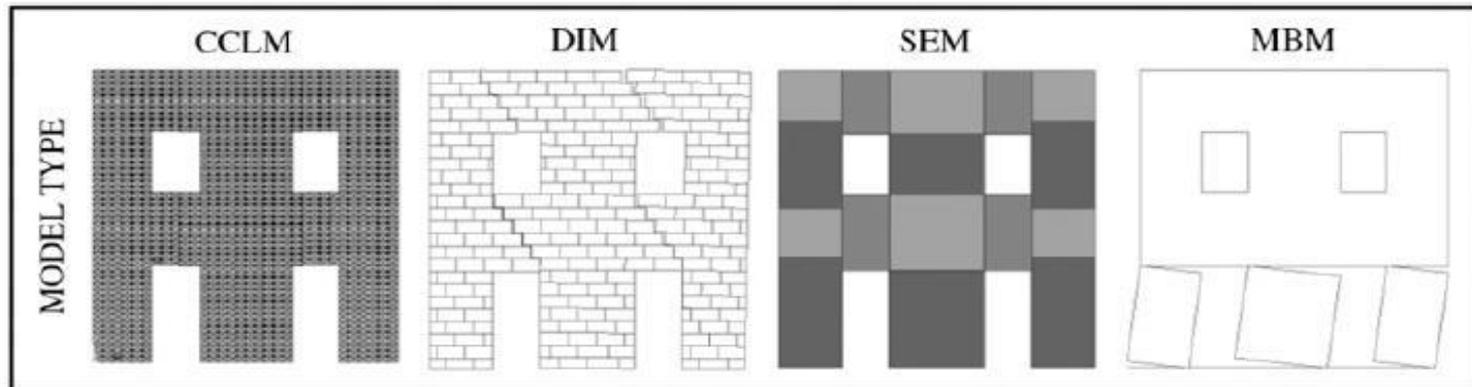
b) con cordolo e con solaio deformabile



c) con cordolo e con solaio rigido

# Introduzione

## Approcci alternativi per la modellazione



*CCLM (Continuous Constitutive Law Models)*

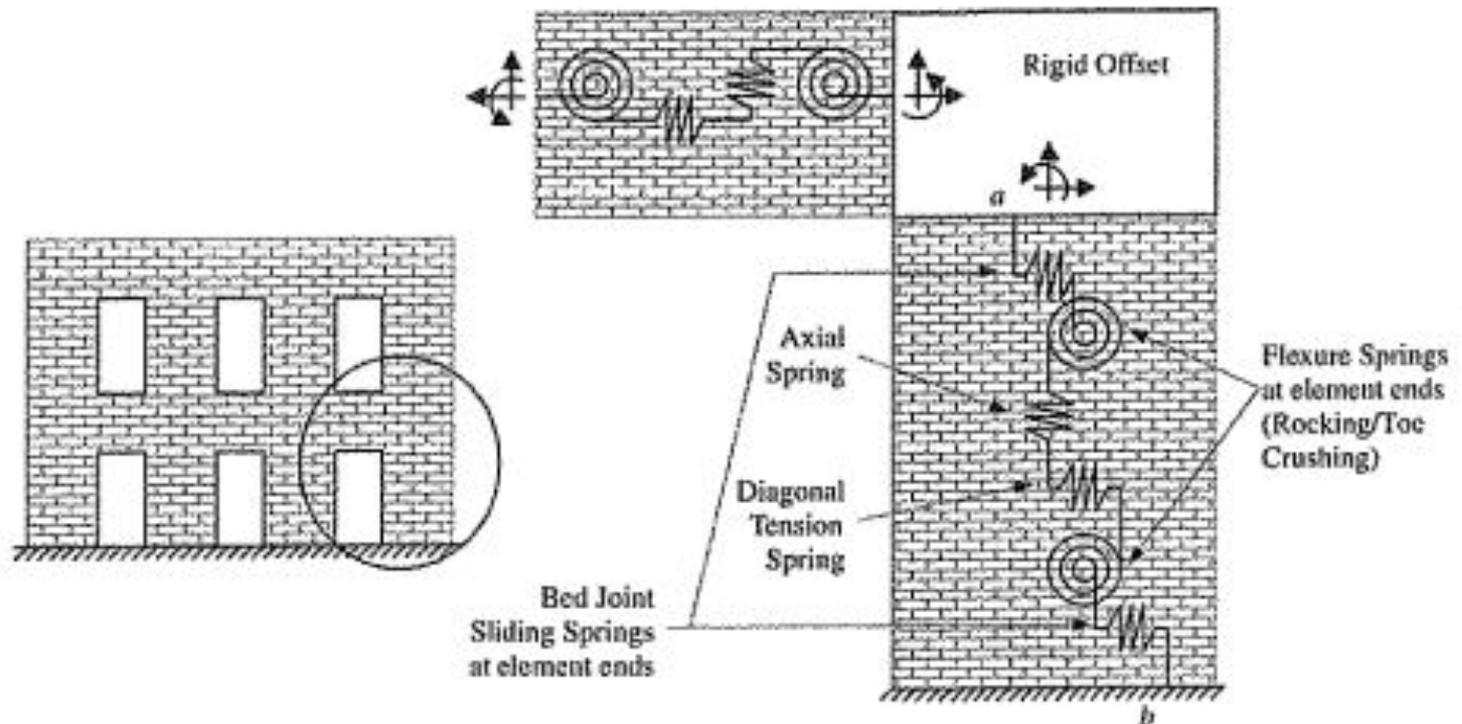
*DIM (Discrete Interface Models)*

*SEM (Structural Elements Models)*

*MBM (Macro-Blocks Models)*

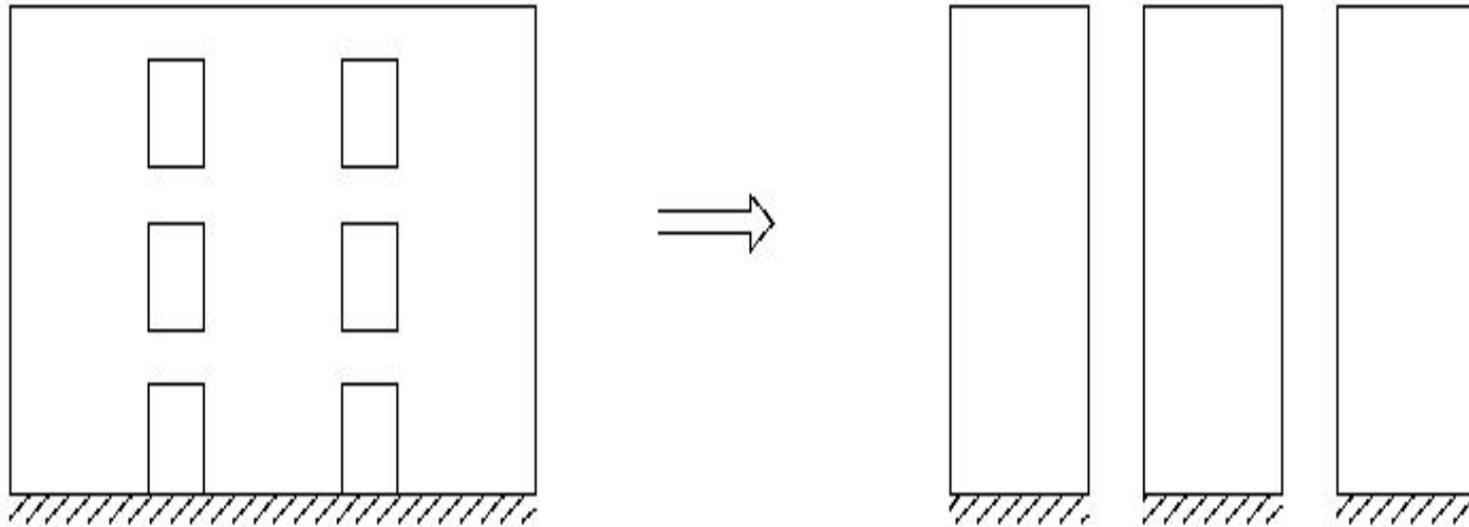
# Introduzione

## Approcci a macro-elementi



# Introduzione

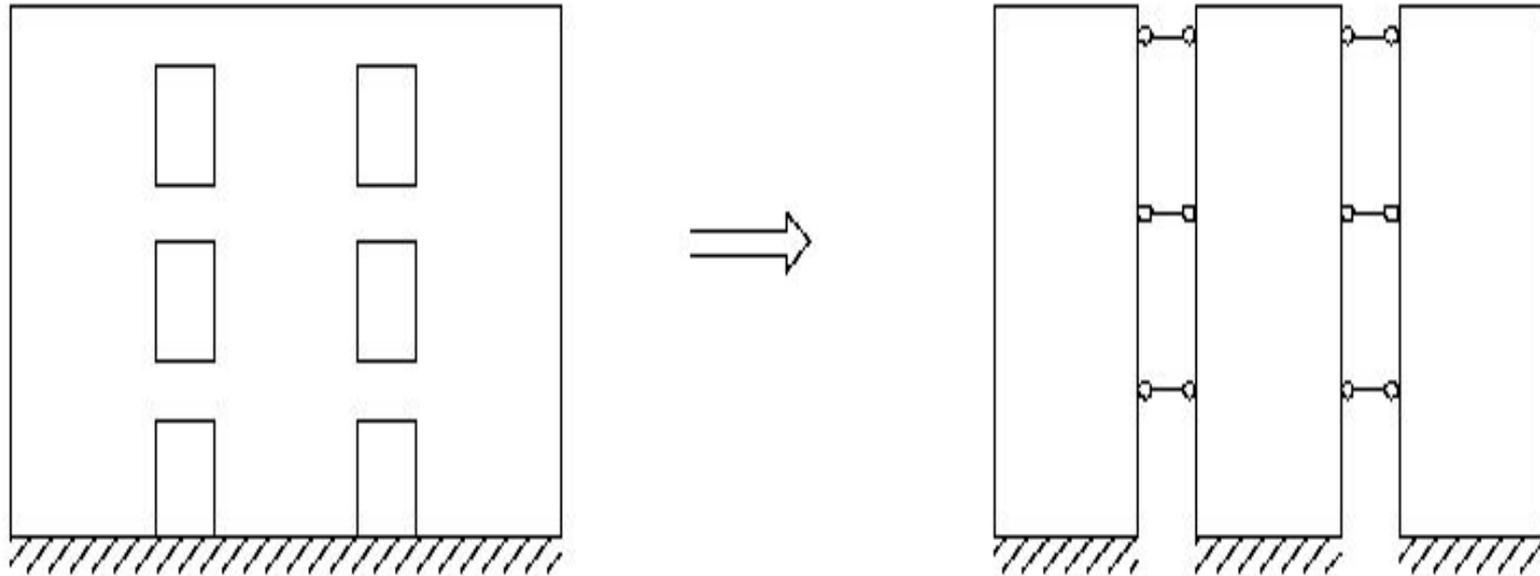
## Approcci a macro-elementi: casi estremi



Rigidezza estensionale nulla  
Rigidezza flessionale nulla

# Introduzione

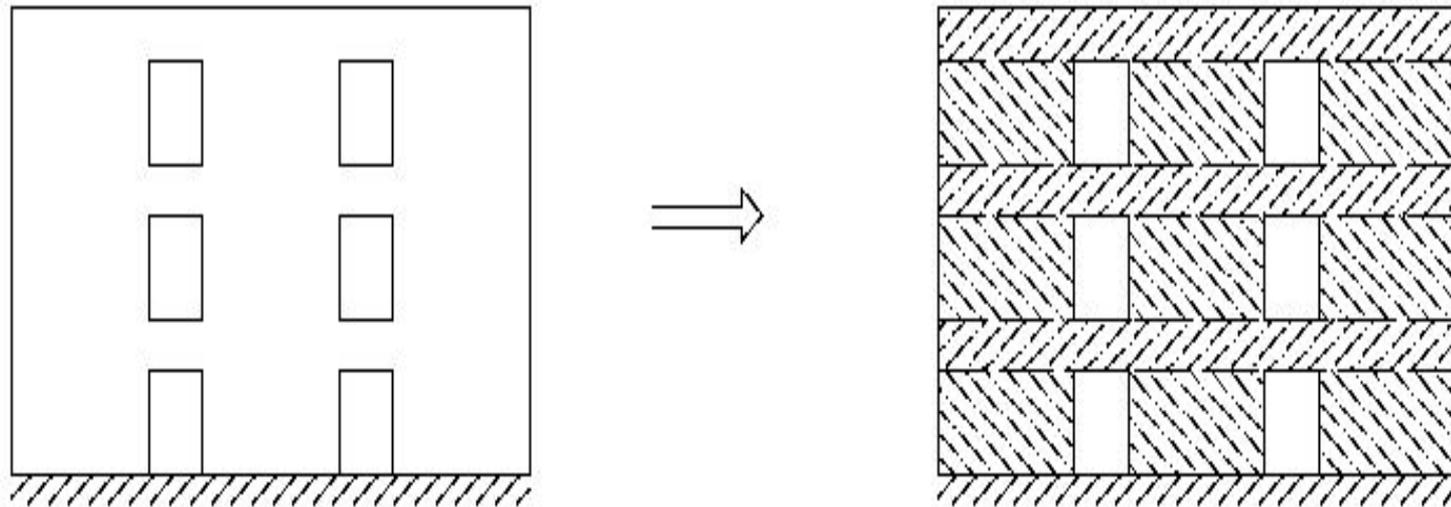
## Approcci a macro-elementi: casi estremi



Rigidezza estensionale  
Rigidezza flessionale nulla

# Introduzione

## Approcci a macro-elementi

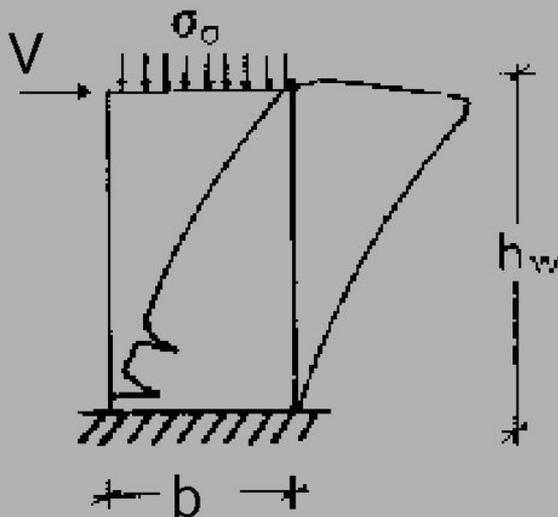


Rigidezza estensionale  
Rigidezza flessionale

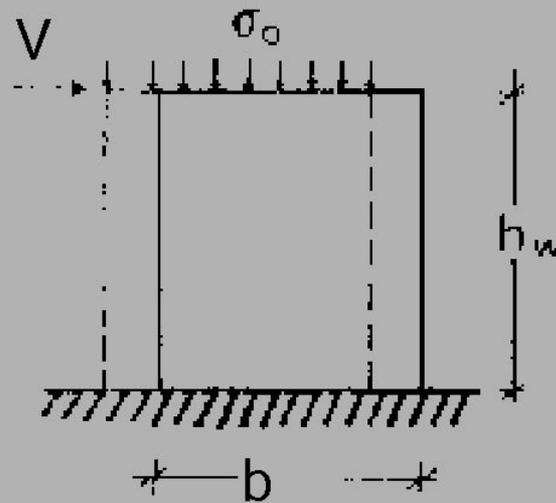


# Aspetti normativi

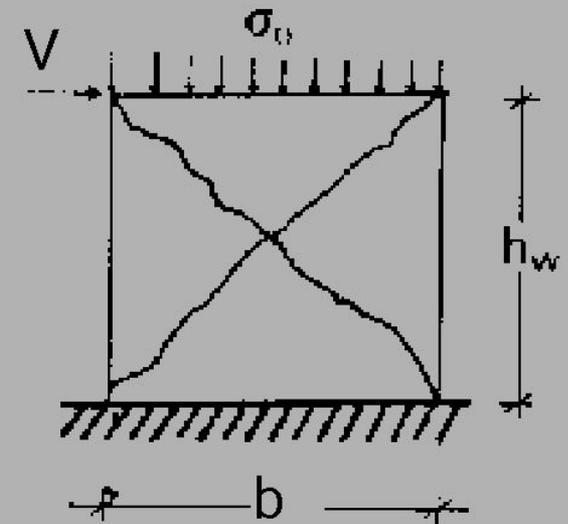
## Meccanismi di crisi e modelli di capacità/1



a) Rottura per flessione



b) Rottura per scorrimento

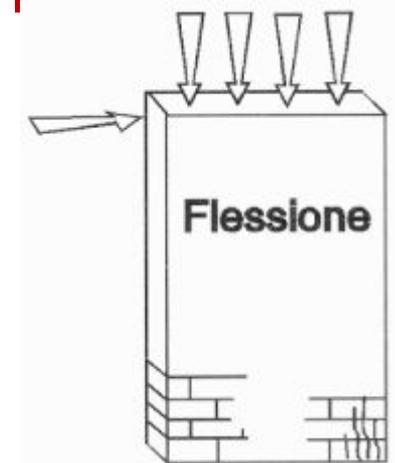
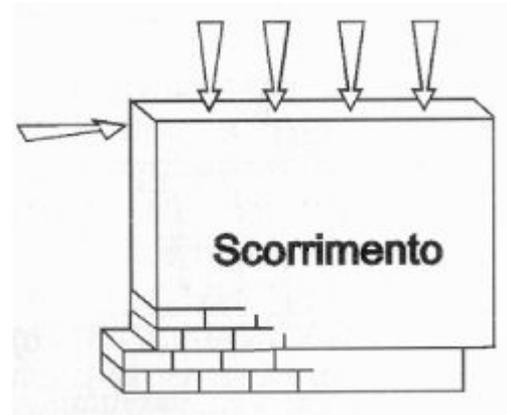
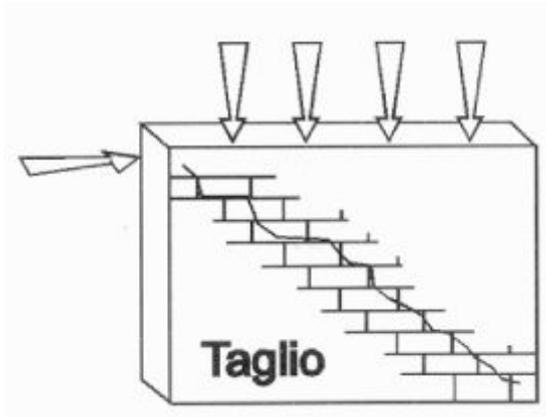


c) Rottura per fessurazione diagonale



# Aspetti normativi

## Meccanismi di crisi e modelli di capacità





# Aspetti normativi

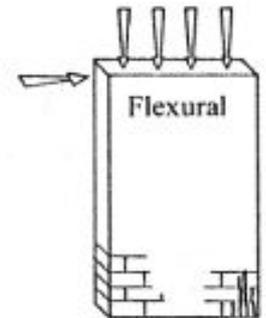
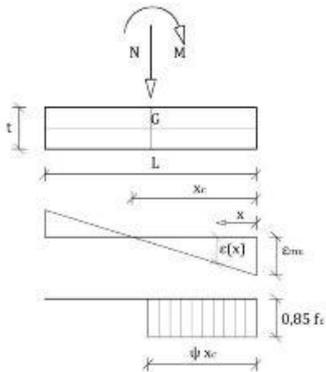
## Meccanismi di crisi e modelli di capacità/1



$$M_u = \frac{1}{2} \cdot \sigma \cdot t \cdot L^2 \cdot \left( 1 - \frac{\sigma}{0,85 \cdot f_c} \right)$$

$$V_f = \frac{2 \cdot M_u}{h}$$

$$\delta_u = 0.010 \cdot h$$

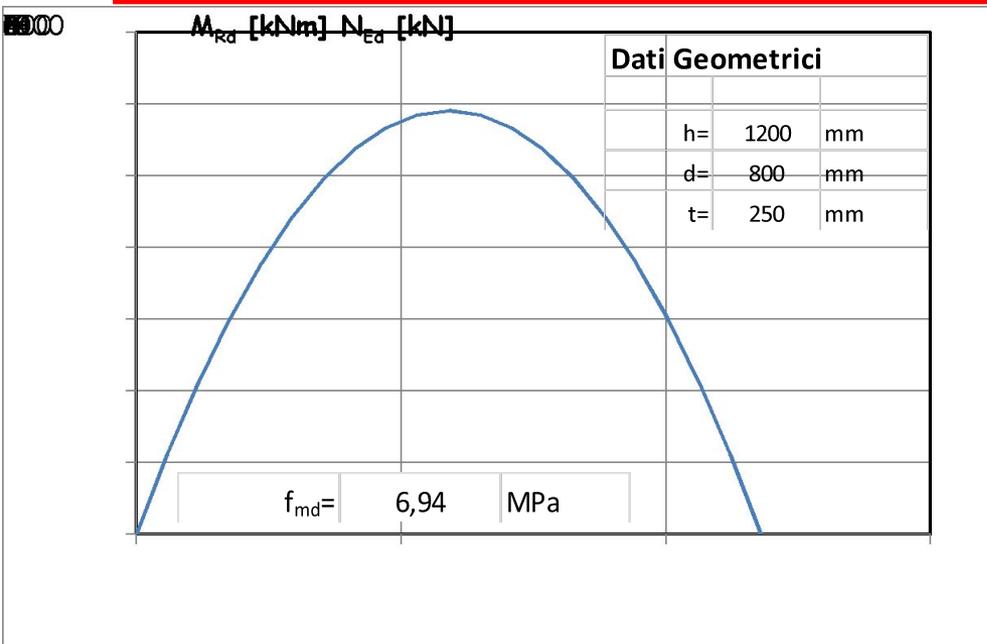
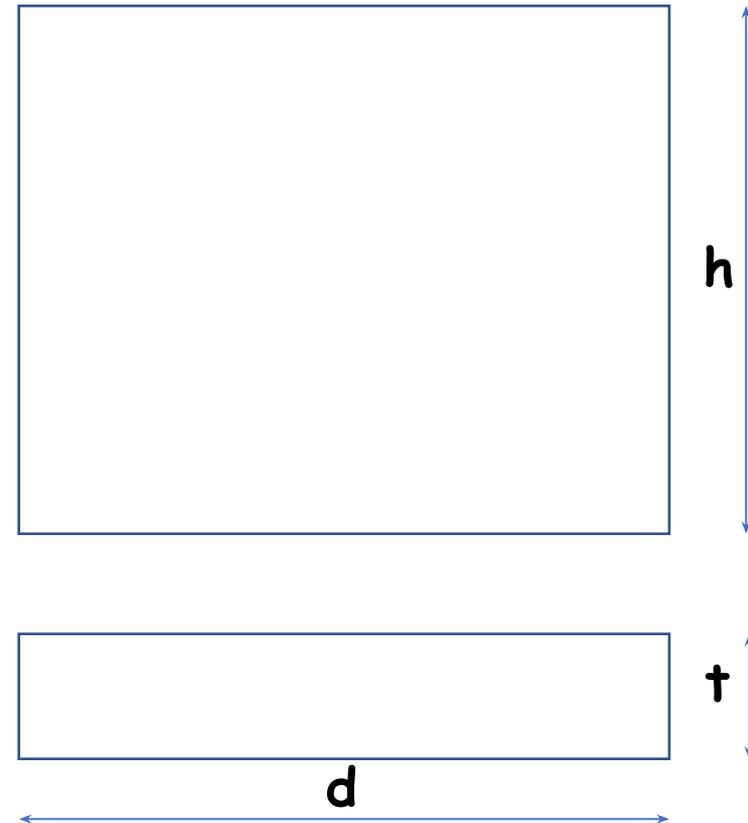




# Aspetti normativi

## Meccanismi di crisi e modelli di capacità

$$M_{Rd} = \frac{N_{Ed} d}{2} \cdot \left( 1 - \frac{\sigma_{Ed}}{0.85 \cdot f_{md}} \right)$$





# Aspetti normativi

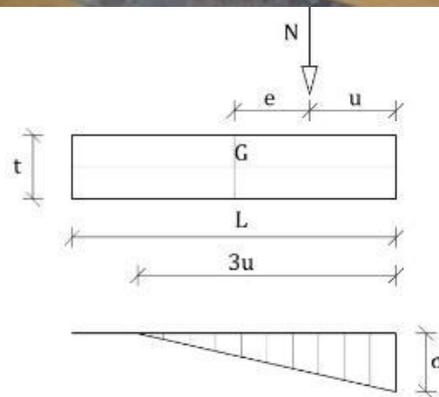
## Meccanismi di crisi e modelli di capacità/2



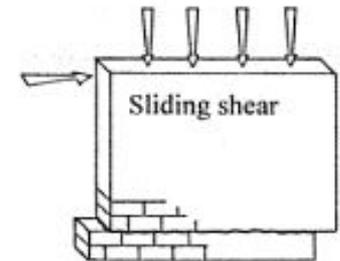
$$f_{vd} = f_{vd0} + \mu \cdot \sigma' \quad \sigma' = \frac{N}{t \cdot D'}$$

se:  $e < L / 6$        $D' = L$

se:  $e > L / 6$        $D' = 3u = 3 \cdot \left( \frac{L}{2} - e \right)$



$$\delta_u = 0.005 \cdot h$$





# Aspetti normativi

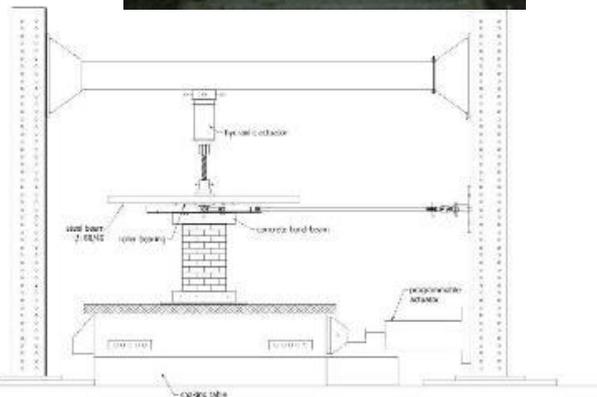
## Meccanismi di crisi e modelli di capacità/3



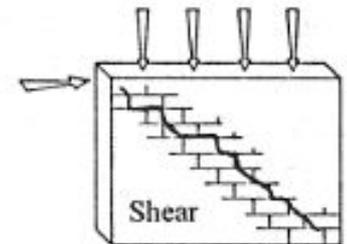
$$b = \frac{h}{L}$$

$$\sigma = \frac{N}{L \cdot t}$$

$$V_{ds} = L \cdot t \cdot \frac{1,5 \cdot \tau_{0,d}}{b} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma}{1,5 \cdot \tau_{0,d}}}$$



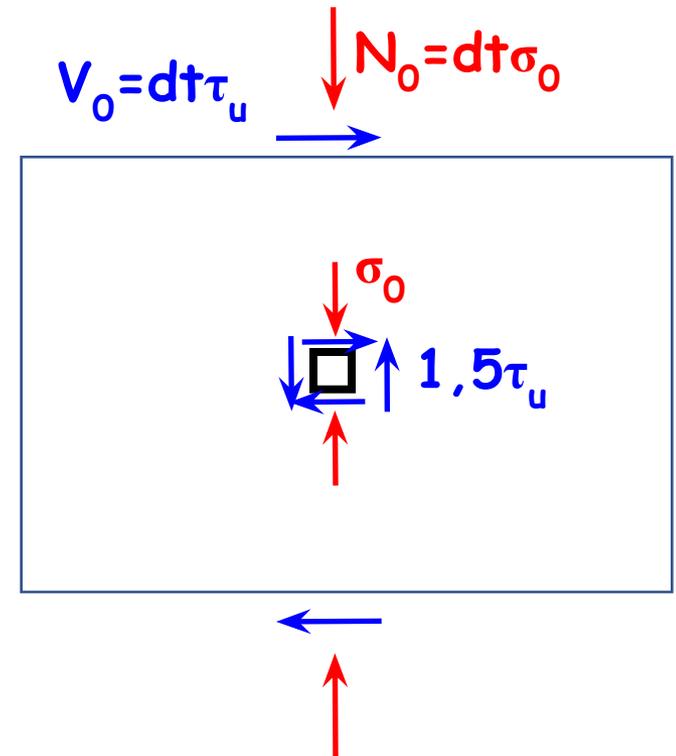
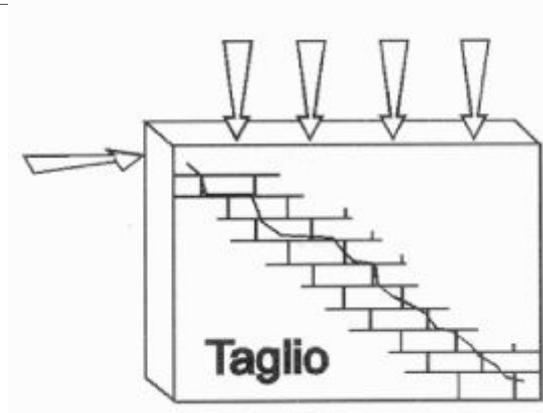
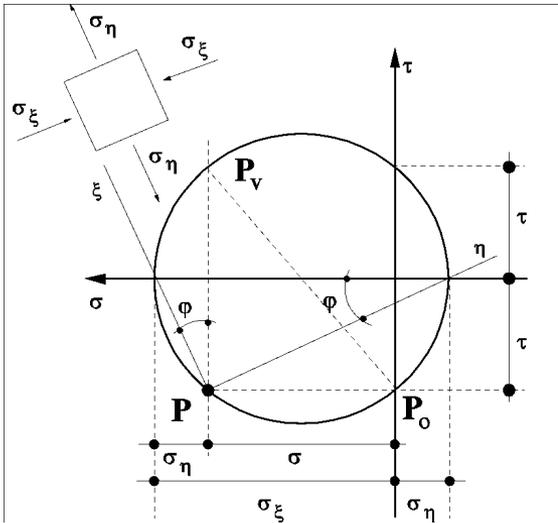
$$\delta_u = 0.005 \cdot h$$





# Aspetti normativi

## Meccanismi di crisi e modelli di capacità



$$\sigma_{\eta} = \left( \frac{\sigma_0}{2} \right) - \sqrt{\left( \frac{\sigma_0}{2} \right)^2 + (1.5 \cdot \tau_u)^2} = 1.5 \cdot \tau_k$$



# Aspetti normativi

## Meccanismi di crisi e modelli di capacità

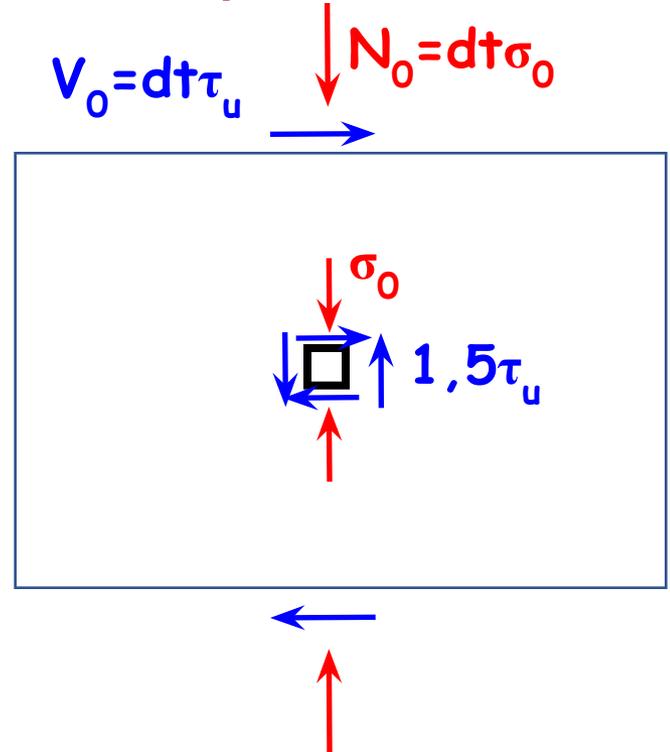
$$\left(\frac{\sigma_0}{2}\right)^2 + (1.5 \cdot \tau_u)^2 = \left(\frac{\sigma_0}{2}\right)^2 + (1.5 \cdot \tau_k)^2 + 1.5 \cdot \tau_k \cdot \sigma_0$$

$$(1.5 \cdot \tau_u)^2 = (1.5 \cdot \tau_k)^2 + 1.5 \cdot \tau_k \cdot \sigma_0$$

$$\tau_u = \sqrt{(\tau_k)^2 + \frac{1}{1.5} \cdot \tau_k \cdot \sigma_0}$$

$$\tau_u = \tau_k \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1.5 \cdot \tau_k}}$$

$$V_{Rms} = \tau_u dt$$





# Aspetti normativi

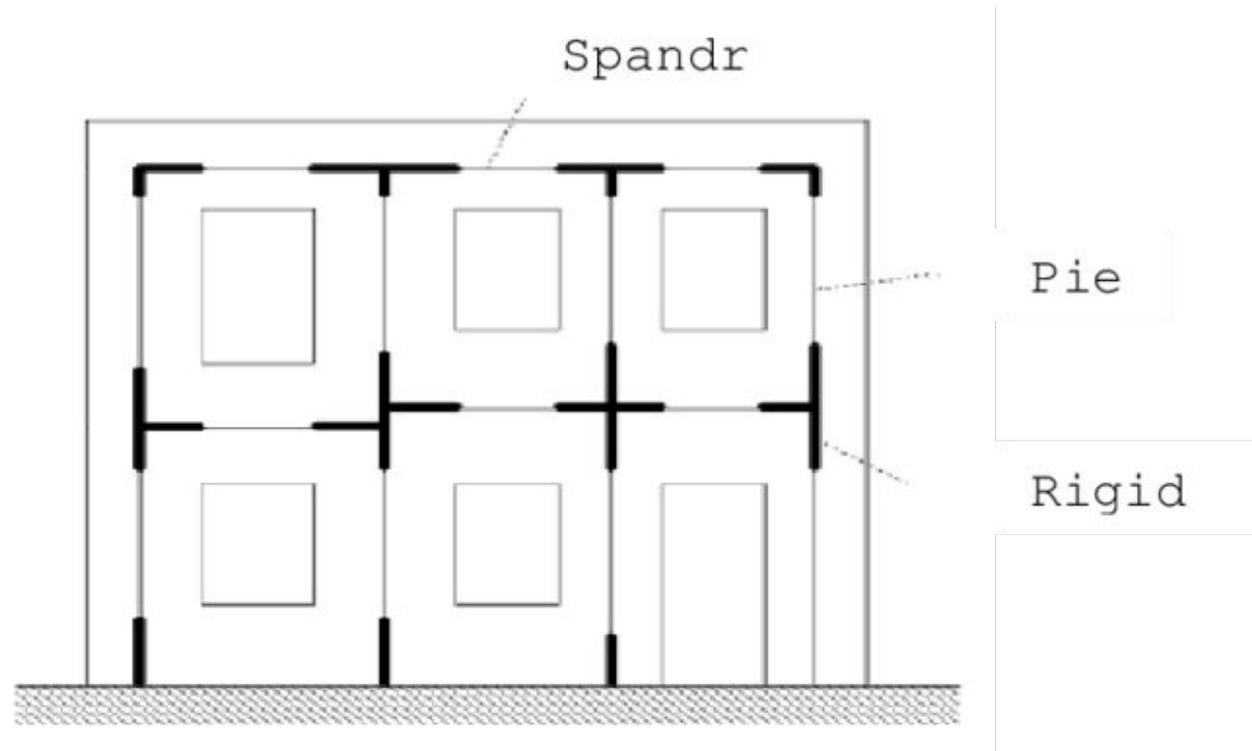
## Rottura per taglio-trazione



Martinelli & al (2016)

# Formulazione

## Approcci a macro-elementi: telaio equivalente



# Formulazione

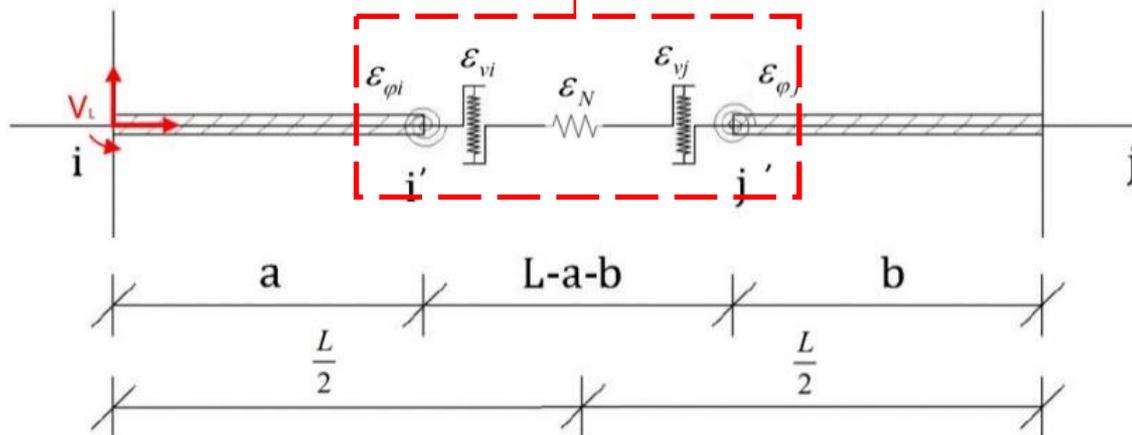
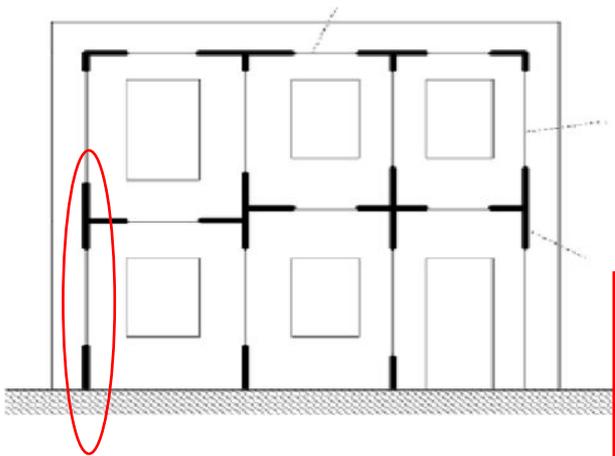
## Elemento muratura

### Coefficienti di deformabilità

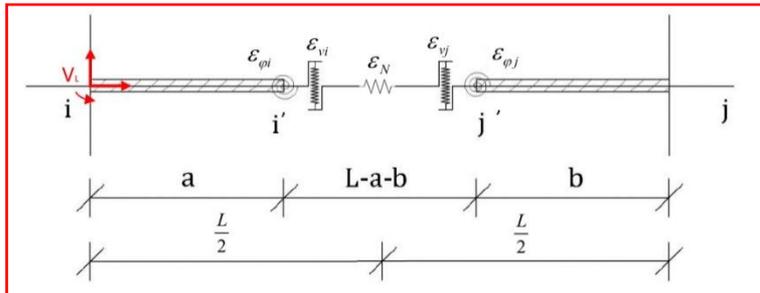
$$\alpha_{ij} = \frac{L \cdot (1 - r_i - r_j)}{3 \cdot EI} + \varepsilon_{\phi i} + \frac{\varepsilon_{vi} + \varepsilon_{vj}}{[L \cdot (1 - r_i - r_j)]^2} + \frac{\chi}{GA \cdot [L \cdot (1 - r_i - r_j)]}$$

$$\alpha_{ji} = \frac{L \cdot (1 - r_i - r_j)}{3 \cdot EI} + \varepsilon_{\phi j} + \frac{\varepsilon_{vi} + \varepsilon_{vj}}{[L \cdot (1 - r_i - r_j)]^2} + \frac{\chi}{GA \cdot [L \cdot (1 - r_i - r_j)]}$$

$$\beta_{ij} = \frac{L \cdot (1 - r_i - r_j)}{6 \cdot EI} + \frac{\varepsilon_{vi} + \varepsilon_{vj}}{[L \cdot (1 - r_i - r_j)]^2} - \frac{\chi}{GA \cdot [L \cdot (1 - r_i - r_j)]}$$



# Formulazione Elemento muratura



## Coefficienti di deformabilità

$$\alpha_{ij} = \frac{L \cdot (1 - r_i - r_j)}{3 \cdot EI} + \varepsilon_{\phi i} + \frac{\varepsilon_{v_i} + \varepsilon_{v_j}}{[L \cdot (1 - r_i - r_j)]^2} + \frac{\chi}{GA \cdot [L \cdot (1 - r_i - r_j)]}$$

$$\alpha_{ji} = \frac{L \cdot (1 - r_i - r_j)}{3 \cdot EI} + \varepsilon_{\phi j} + \frac{\varepsilon_{v_i} + \varepsilon_{v_j}}{[L \cdot (1 - r_i - r_j)]^2} + \frac{\chi}{GA \cdot [L \cdot (1 - r_i - r_j)]}$$

$$\beta_{ij} = \frac{L \cdot (1 - r_i - r_j)}{6 \cdot EI} + \frac{\varepsilon_{v_i} + \varepsilon_{v_j}}{[L \cdot (1 - r_i - r_j)]^2} - \frac{\chi}{GA \cdot [L \cdot (1 - r_i - r_j)]}$$

## Matrice di trasformazione

$$W_{ij} = \frac{\alpha_{ji}}{\alpha_{ij} \cdot \alpha_{ji} - \beta_{ij}^2}$$

$$V_{ij} = \frac{\beta_{ij}}{\alpha_{ij} \cdot \alpha_{ji} - \beta_{ij}^2}$$

$$U_{ij} = \frac{W_{ij} + U_{ji}}{L}$$

$$\underline{v}' = \begin{bmatrix} u'_i \\ v'_i \\ \varphi'_i \\ u'_j \\ v'_j \\ \varphi'_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & r_i \cdot L & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -r_j \cdot L \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ \varphi_i \\ u_j \\ v_j \\ \varphi_j \end{bmatrix}$$

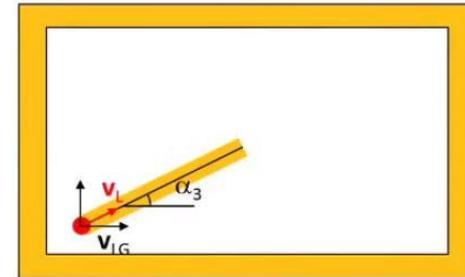
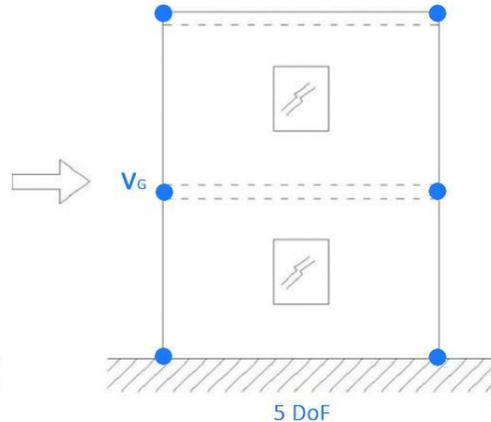
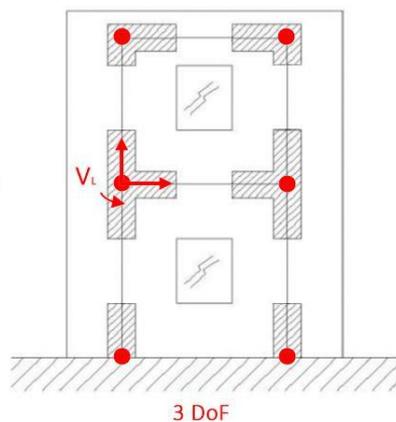
$$\underline{f}' = \underline{\underline{K}}' \cdot \underline{v}' + \underline{f}'_0$$

$$\underline{v}' = \underline{\underline{T}} \cdot \underline{v}$$

$$\underline{\underline{F}} = \underline{\underline{K}} \cdot \underline{s} + \underline{F}_0$$

# Formulazione

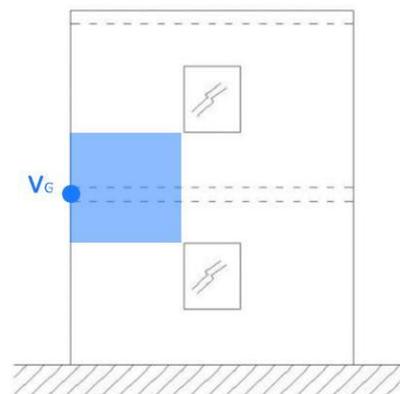
## Assemblaggio della parete 2D e della strutture 3D



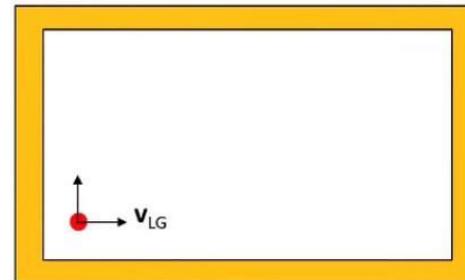
$$v_L = LG_1 v_{LG}$$

$$\underline{F} = \underline{\underline{K}} \cdot \underline{s} + \underline{F}_0$$

$$\underline{s} = \underline{\underline{K}}^{-1} \cdot (\underline{F} - \underline{F}_0)$$



$$v_{LG} = LG_2 v_G$$

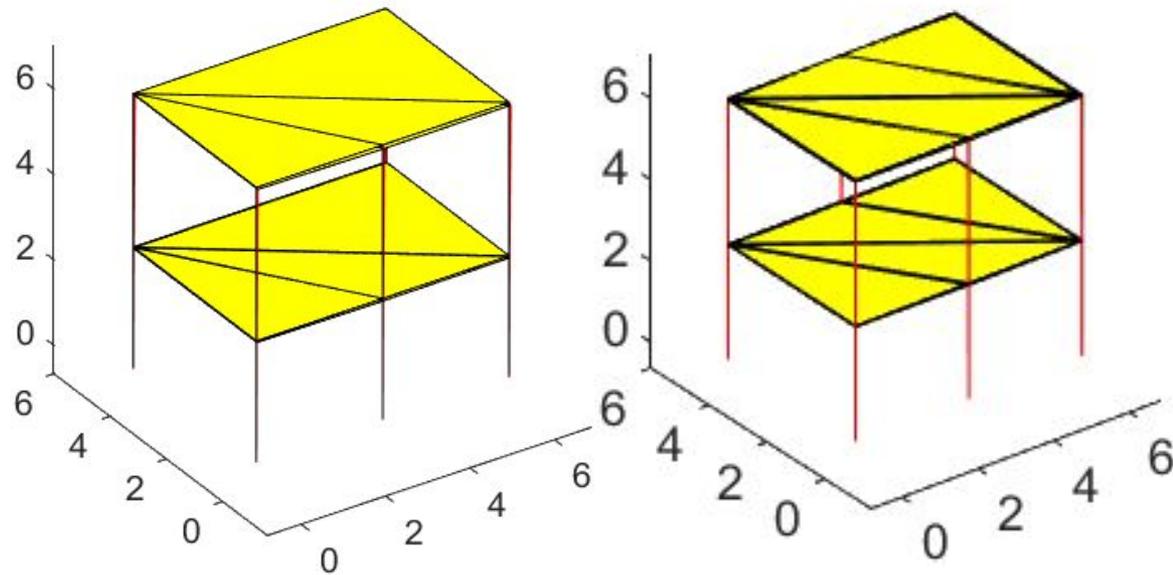
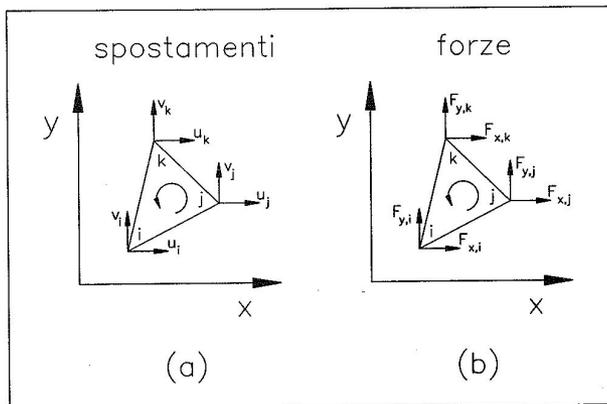


# Formulazione

## Impalcati: elementi membrana elastica lineare (ortotropa)

$$\mathbf{F}_M = \mathbf{K}_M \mathbf{s}_M$$

$$\mathbf{F}_M = \begin{bmatrix} F_{x,i} \\ F_{y,i} \\ F_{x,j} \\ F_{y,j} \\ F_{x,k} \\ F_{y,k} \end{bmatrix} \quad \mathbf{s}_M = \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \\ u_k \\ v_k \end{bmatrix}$$

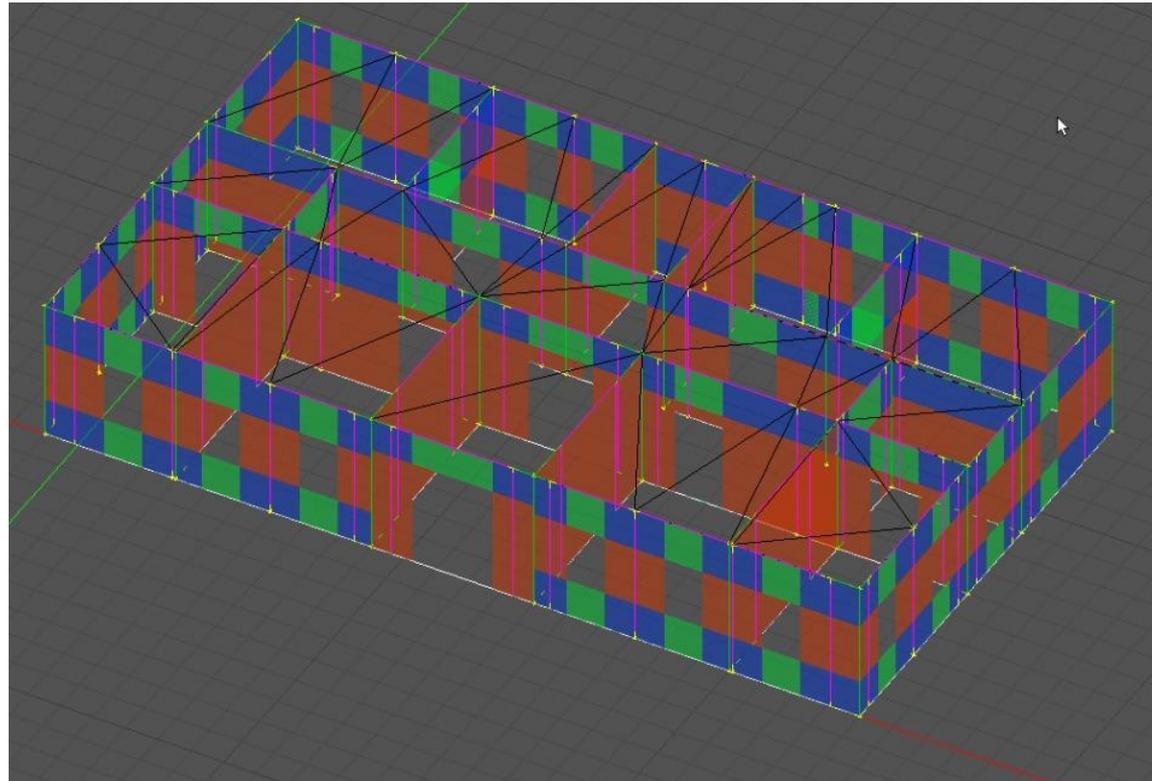
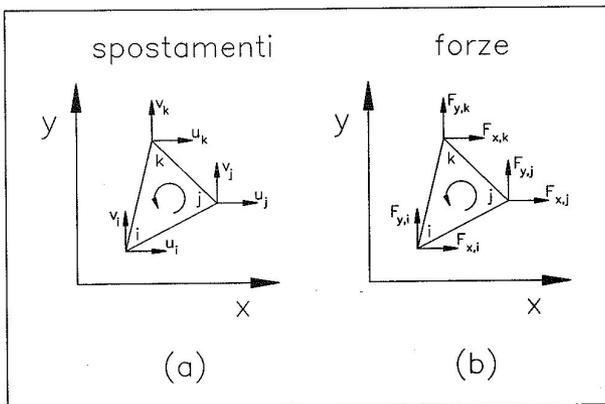


# Formulazione

## Impalcati: elementi membrana elastica lineare (ortotropa)

$$\mathbf{F}_M = \mathbf{K}_M \mathbf{s}_M$$

$$\mathbf{F}_M = \begin{bmatrix} F_{x,i} \\ F_{y,i} \\ F_{x,j} \\ F_{y,j} \\ F_{x,k} \\ F_{y,k} \end{bmatrix} \quad \mathbf{s}_M = \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \\ u_k \\ v_k \end{bmatrix}$$



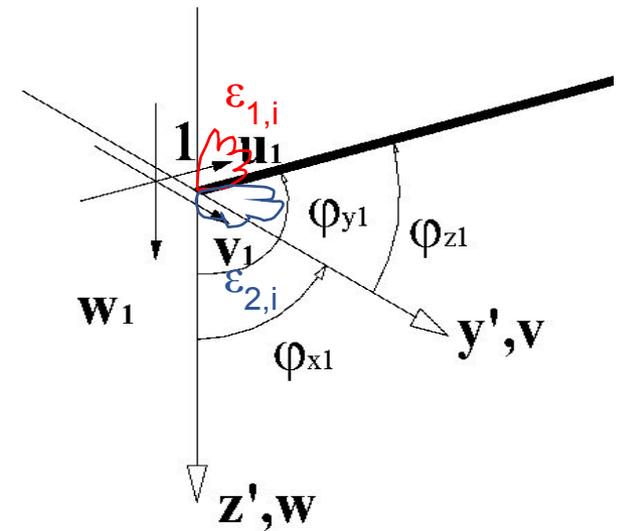
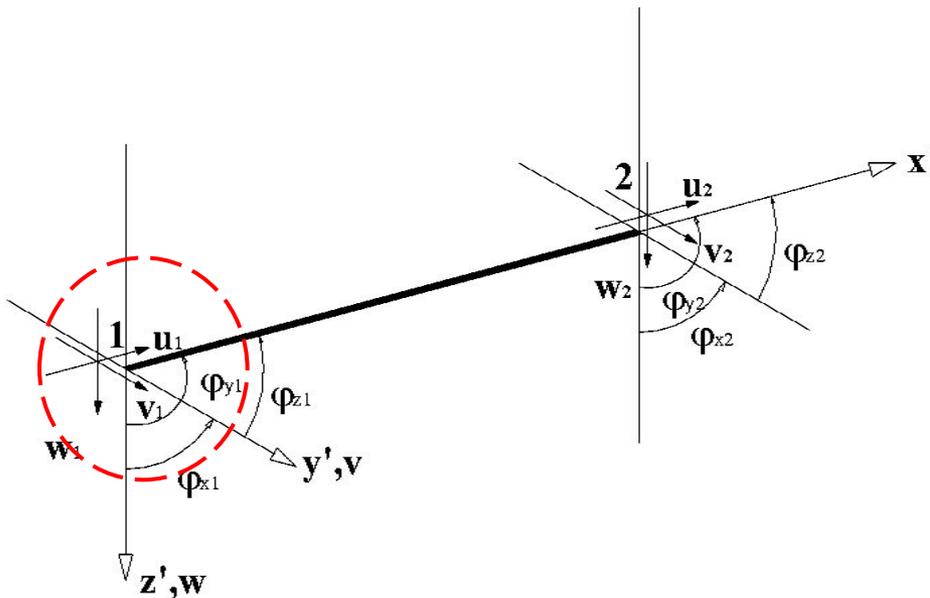
# Formulazione

## Elementi asta non lineare (elementi in c.a.)

$$F_A = K_A s_A + F_{0,A}$$

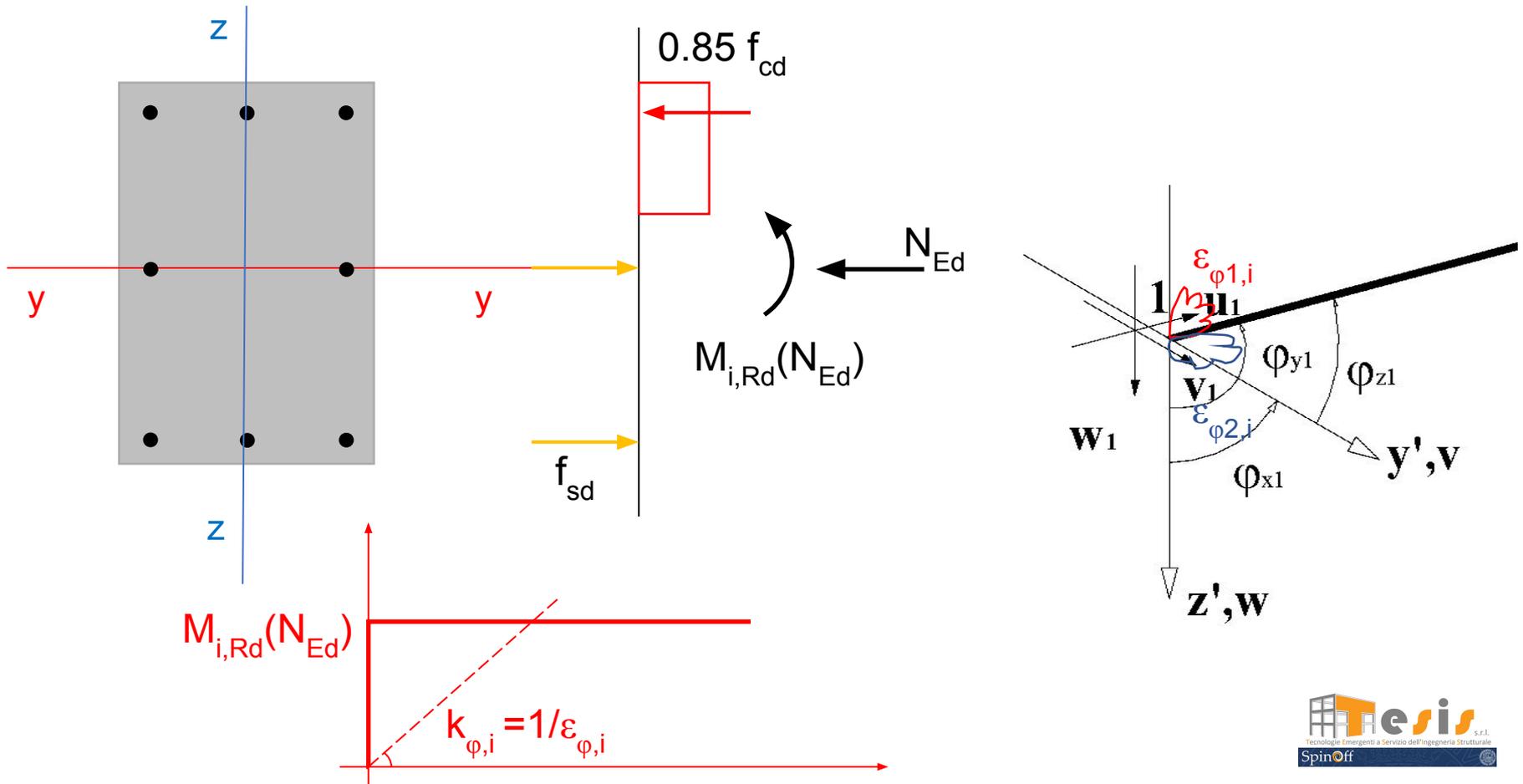
$$s_A = ((u_1, v_1, w_1, \varphi_{x1}, \varphi_{y1}, \varphi_{z1}), (u_2, v_2, w_2, \varphi_{x2}, \varphi_{y2}, \varphi_{z2}))^T$$

$$F_A = ((N_1, T_{y1}, T_{z1}, M_{x1}, M_{y1}, M_{z1}), (N_2, T_{y2}, T_{z2}, M_{x2}, M_{y2}, M_{z2}))^T$$



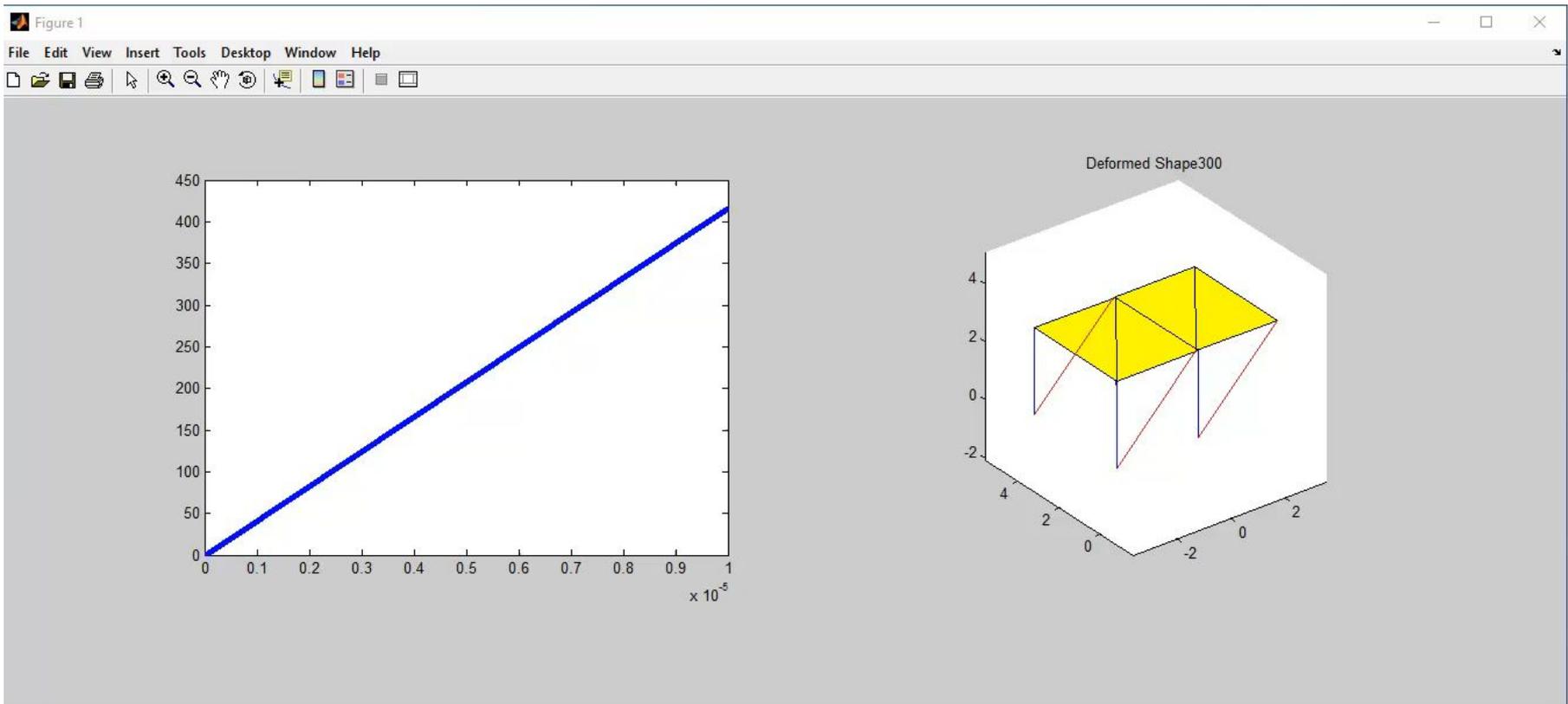
# Formulazione

## Elementi asta non lineare (elementi in c.a.)



# Formulazione

## Elementi asta non lineare (elementi in c.a.)



# Formulazione

## Elementi tirante elastici

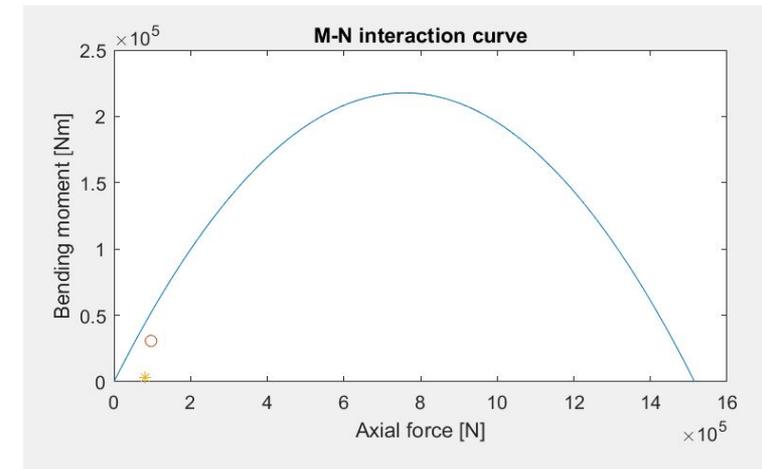
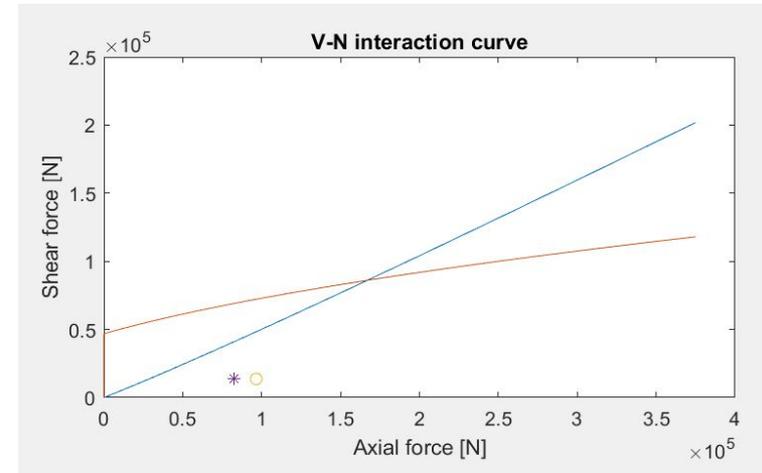
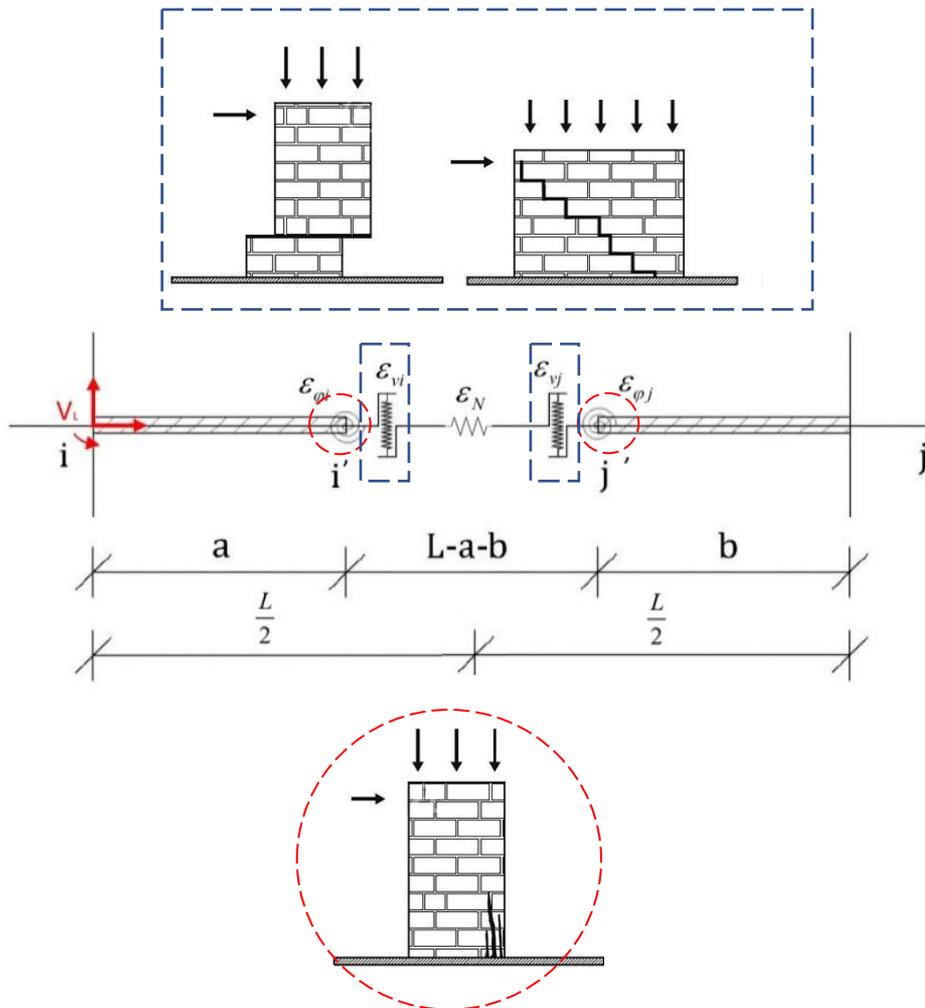
$$\mathbf{F}_T = \mathbf{K}_T \mathbf{s}_T + \mathbf{F}_{0,T} \quad \text{Presollecitazione}$$

$$\mathbf{F}_T = \begin{bmatrix} N_i \\ N_j \end{bmatrix} \quad \mathbf{s}_T = \begin{bmatrix} u_i \\ u_j \end{bmatrix}$$



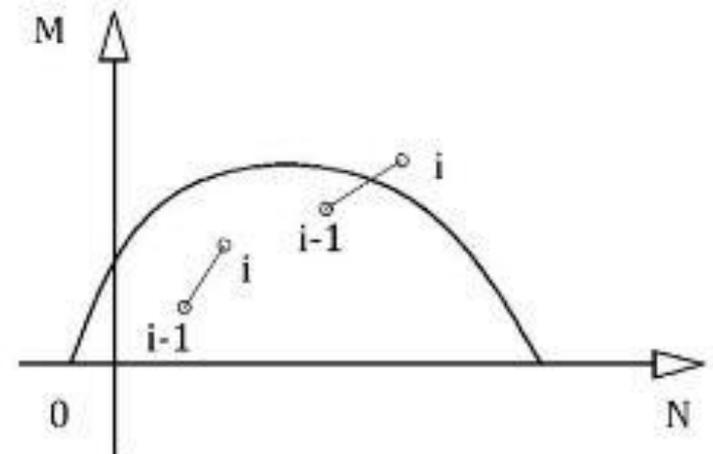
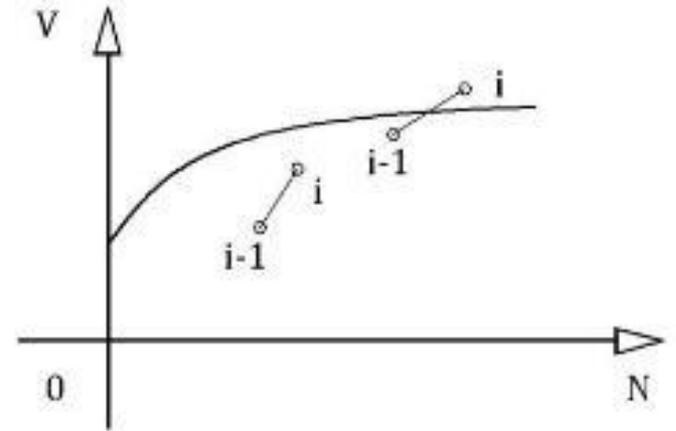
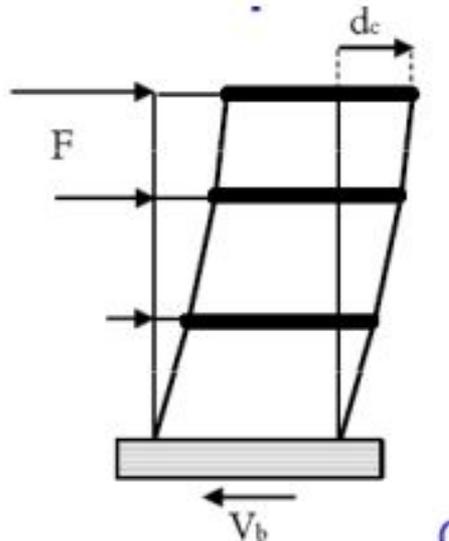
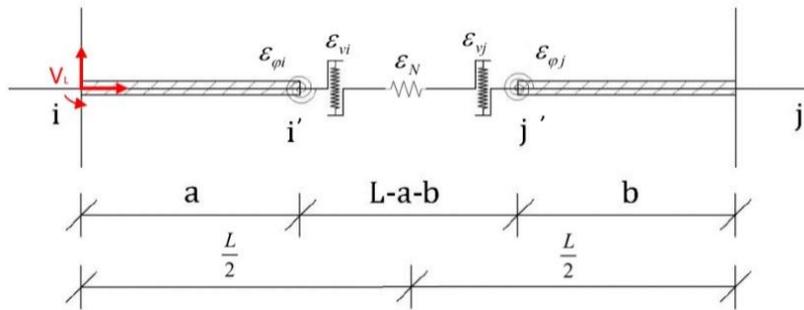
# Formulazione

## Analisi incrementale non-lineare



# Formulazione

## Analisi incrementale non-lineare



# Formulazione

## Analisi incrementale non-lineare: meccanismi di crisi

M.II.TT. (2018), NTC 2018, D.M. 17.01.2018



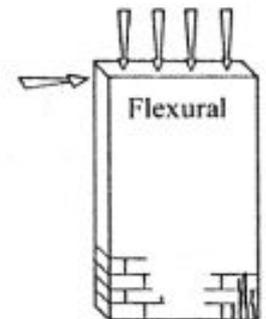
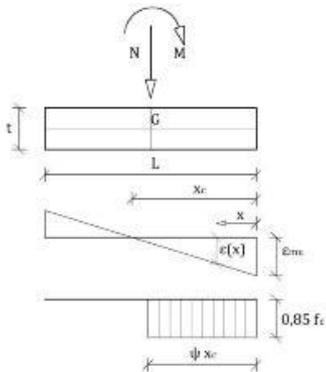
$$M_u = \frac{1}{2} \cdot \sigma \cdot t \cdot L^2 \cdot \left( 1 - \frac{\sigma}{0,85 \cdot f_c} \right)$$

$$V_f = \frac{2 \cdot M_u}{h}$$

$$\delta_u = 0.010 \cdot h$$

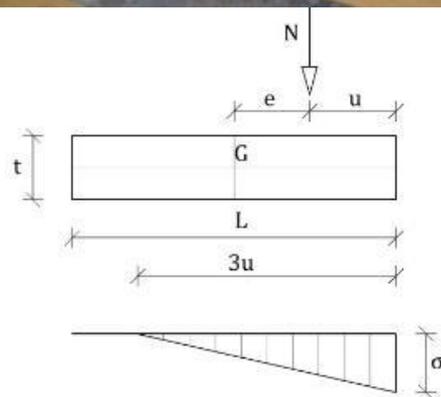
$$v > 0.2$$

$$\delta_u = 0.0125 (1 - v)$$



# Formulazione

## Analisi incrementale non-lineare: meccanismi di crisi

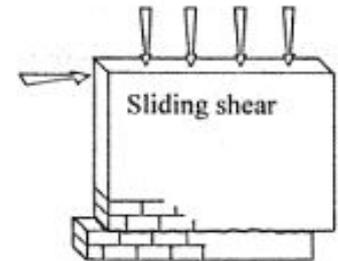


$$f_{vd} = f_{vd0} + \mu \cdot \sigma' \quad \sigma' = \frac{N}{t \cdot D'}$$

se:  $e < L / 6$        $D' = L$

se:  $e > L / 6$        $D' = 3u = 3 \cdot \left( \frac{L}{2} - e \right)$

$$\delta_u = 0.005 \cdot h$$



# Formulazione

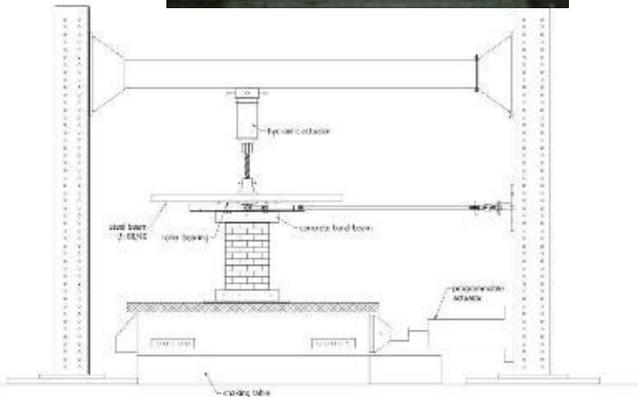
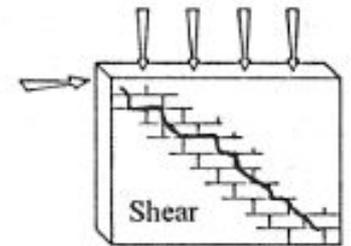
## Analisi incrementale non-lineare: meccanismi di crisi



$$b = \frac{h}{L} \qquad \sigma = \frac{N}{L \cdot t}$$

$$V_{ds} = L \cdot t \cdot \frac{1,5 \cdot \tau_{0,d}}{b} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma}{1,5 \cdot \tau_{0,d}}}$$

$$\delta_u = 0.005 \cdot h$$

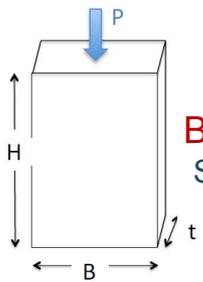


# Validazione

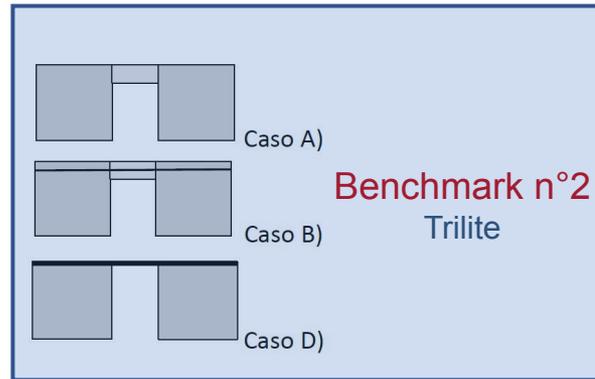
## Strutture benchmark



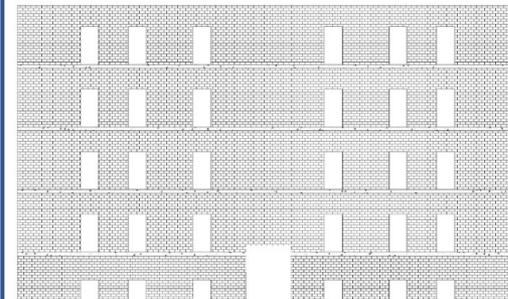
Rete dei Laboratori Universitari  
di Ingegneria Sismica e Strutturale



**Benchmark n°1**  
Singolo pannello



**Benchmark n°2**  
Trilite



**Benchmark n°3**  
Parete 2D



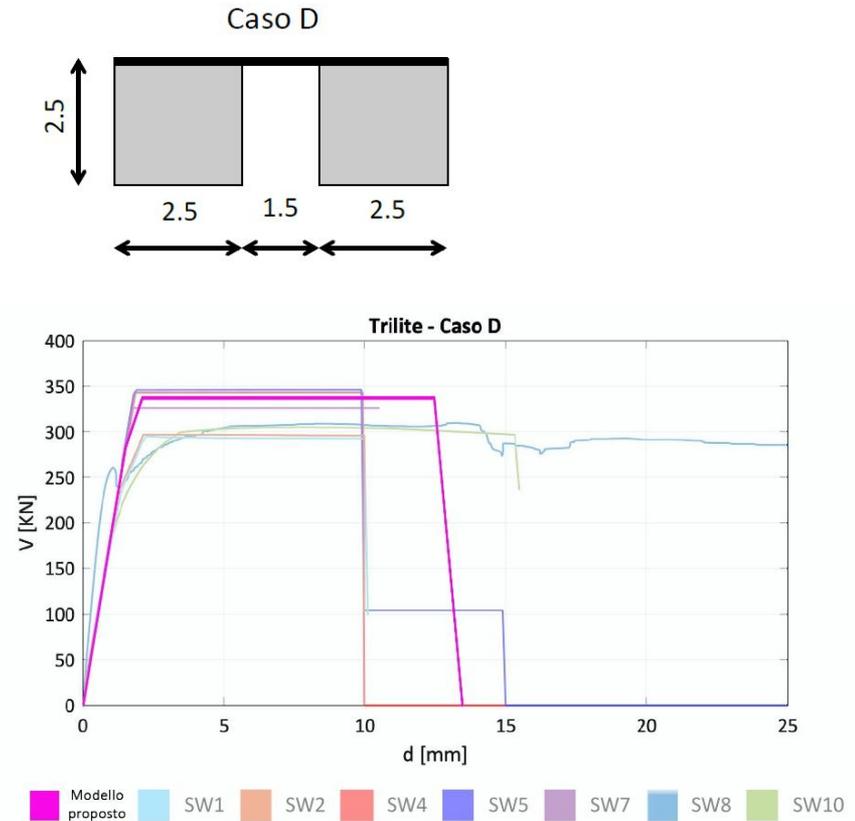
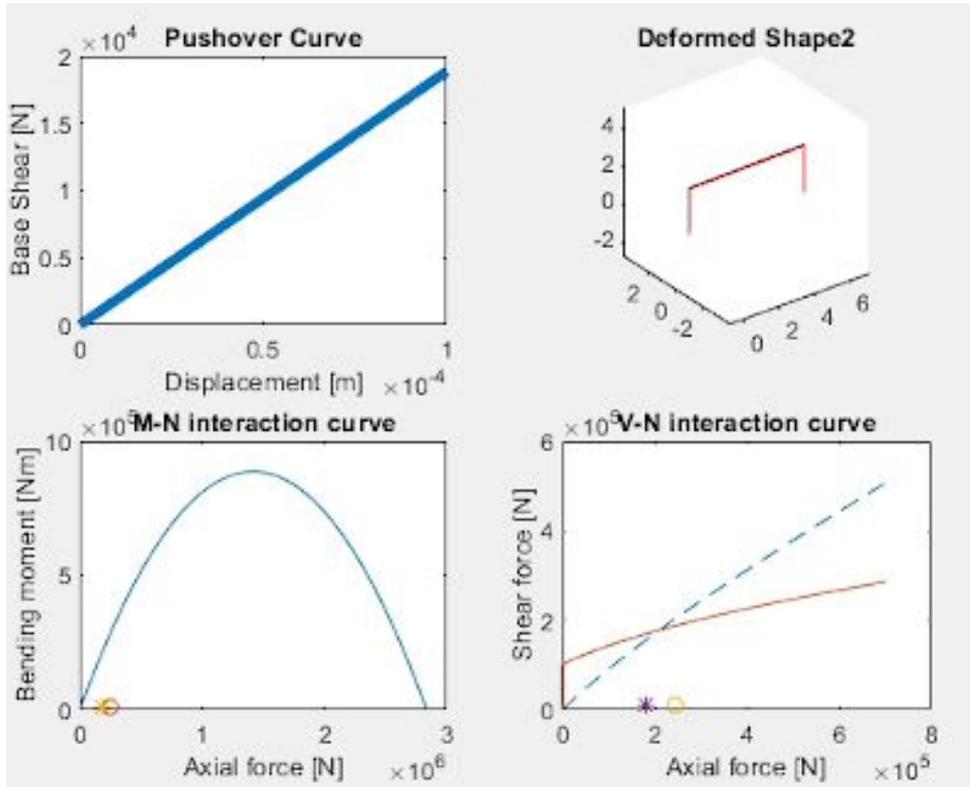
**Benchmark n°4**  
Edificio monocellula bipiano



**Benchmark n°5**  
Edificio complesso

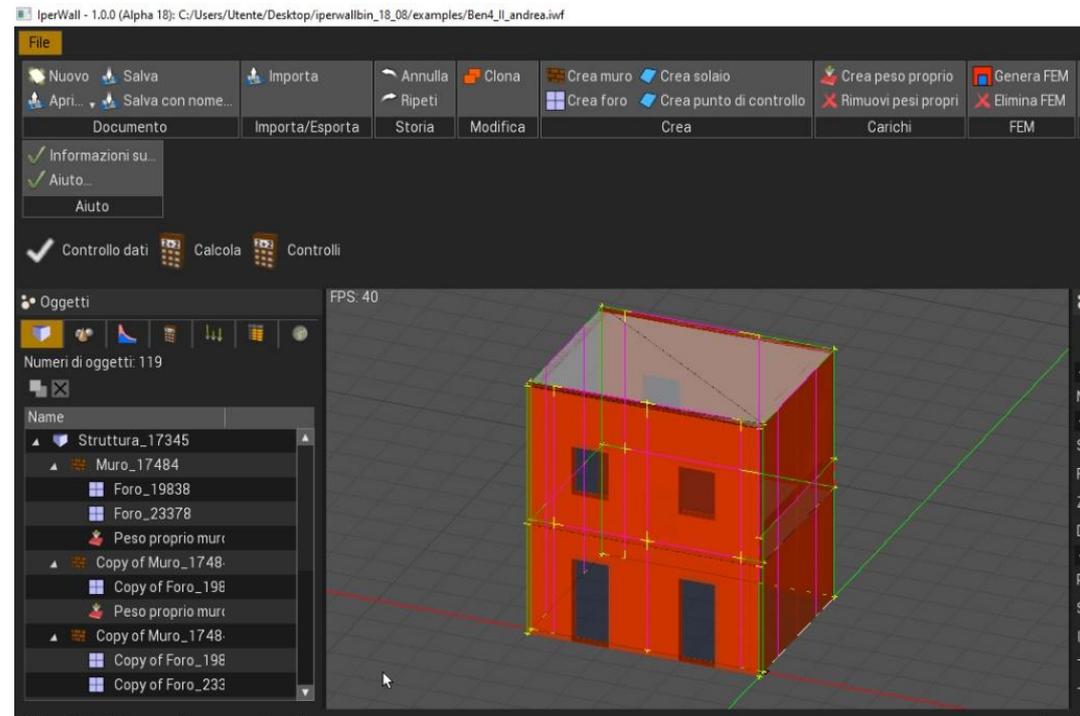
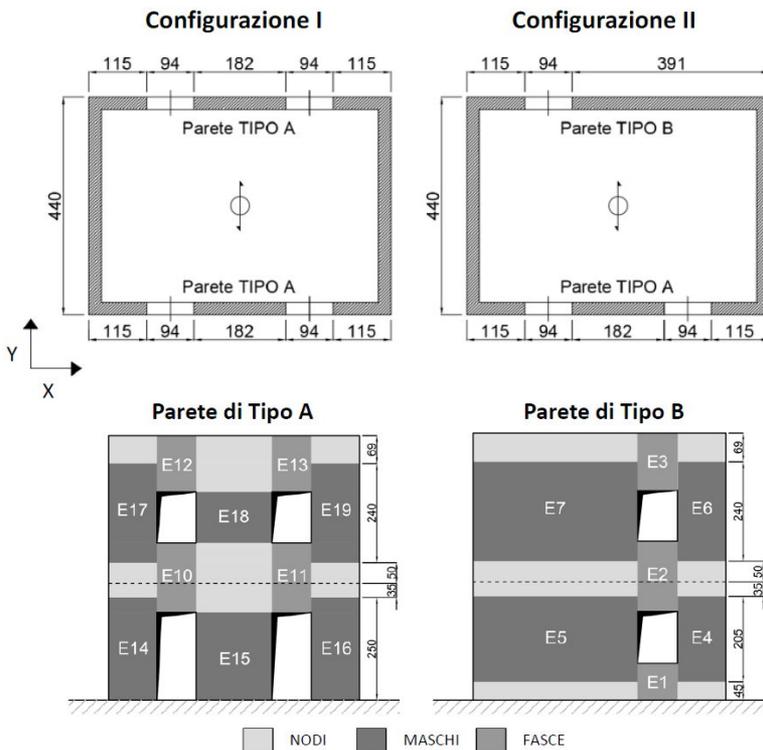
# Validazione

## Strutture benchmark: edificio bipiano (#2)



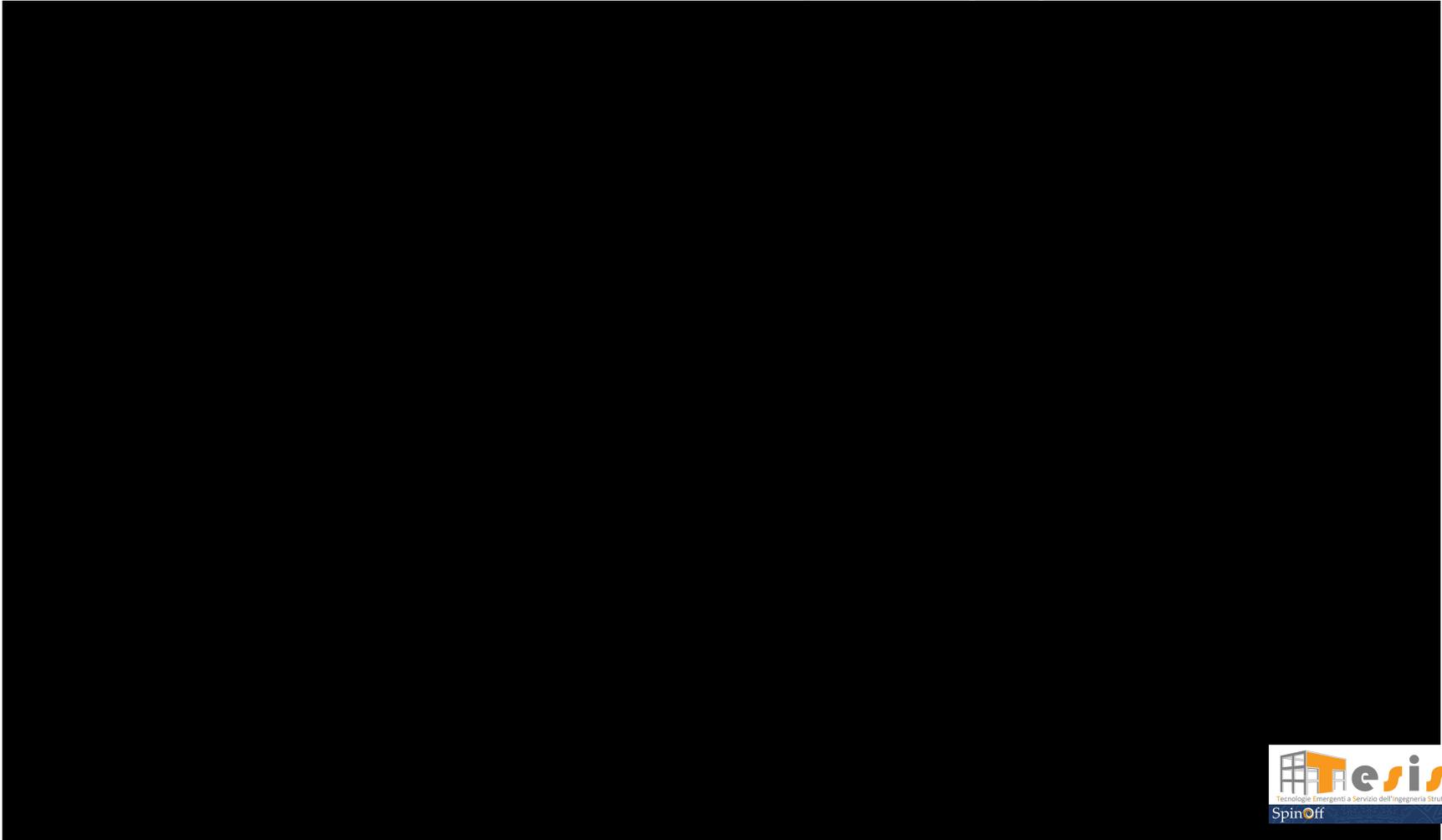
# Validazione

## Strutture benchmark: edificio bipiano (#4)



# Validazione

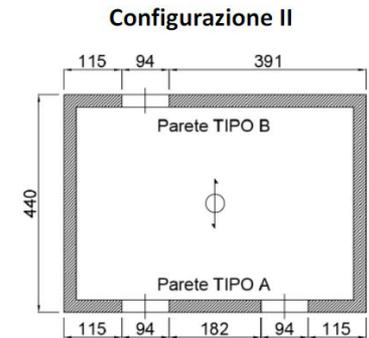
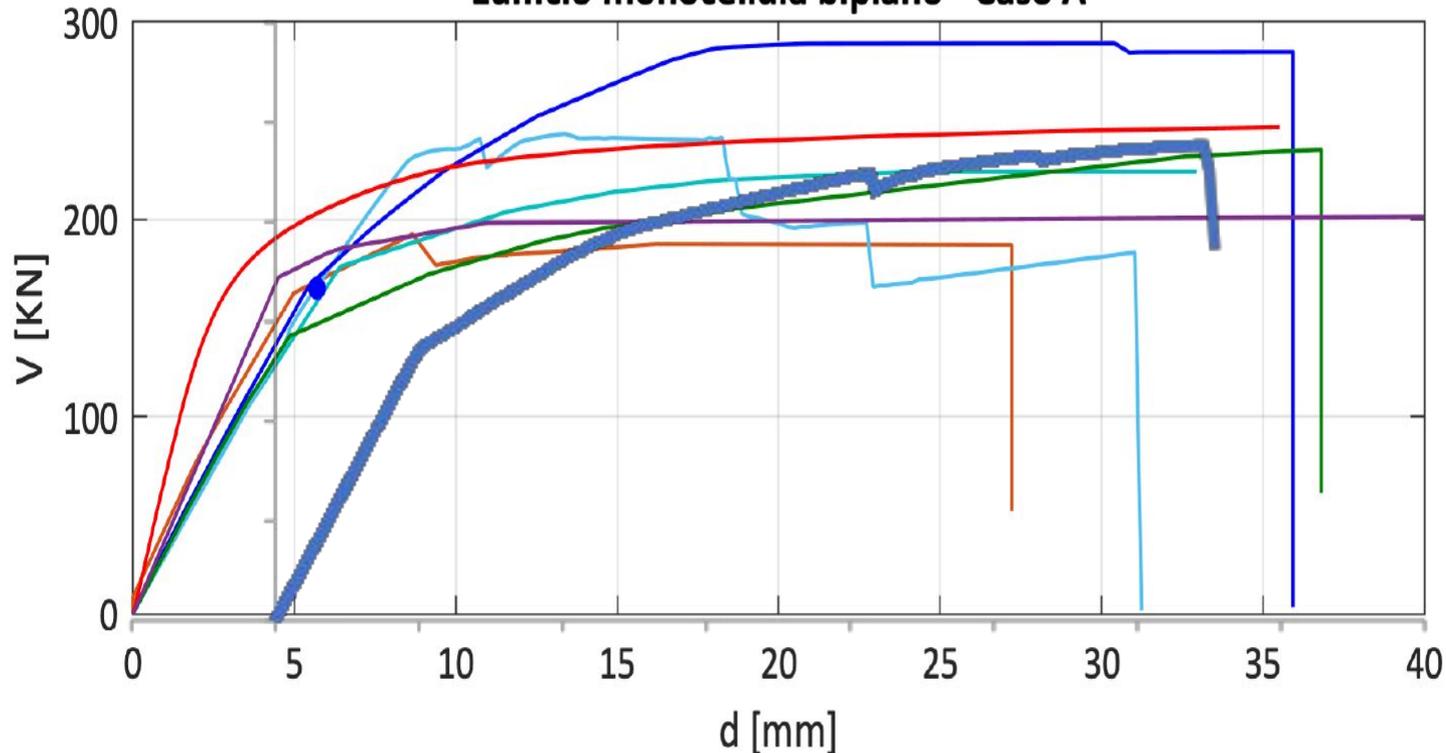
## Strutture benchmark: edificio bipiano (#4)



# Validazione

## Strutture benchmark: edificio bipiano (#4) – Config. II

Edificio monocellula bipiano - Caso A



# Validazione

## Strutture benchmark: edificio bipiano (#4) – Config. II

### 7.8.2.2.4 Travi in muratura

La verifica di travi di accoppiamento in muratura ordinaria, in presenza di azione assiale orizzontale nota, viene effettuata in analogia a quanto previsto per i pannelli murari verticali. Qualora l'azione assiale non sia nota dal modello di calcolo (ad es. quando l'analisi è svolta su modelli a telaio con l'ipotesi di solai infinitamente rigidi nel piano), ma siano presenti, in prossimità della trave in muratura, elementi orizzontali dotati di resistenza a trazione (catene, cordoli), i valori delle resistenze possono essere assunti non superiori ai valori di seguito riportati ed associati ai meccanismi di rottura per taglio o per pressoflessione.

La capacità a taglio  $V_t$  di travi di accoppiamento in muratura ordinaria in presenza di un cordolo di piano o di un architrave resistente a flessione efficacemente ammortato alle estremità, può essere calcolata in modo semplificato come

$$V_t = h \cdot t \cdot f_{vd0} \quad [7.8.4]$$

dove:

$h$  è l'altezza della sezione della trave

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

La capacità massima a flessione, associata al meccanismo di pressoflessione, sempre in presenza di elementi orizzontali resistenti a trazione in grado di equilibrare una compressione orizzontale nelle travi in muratura, può essere valutata come

$$M_u = H_p \cdot \frac{h}{2} \cdot \left[ 1 - \frac{H_p}{(0,85 \cdot f_{hd} \cdot h \cdot t)} \right] \quad [7.8.5]$$

dove

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

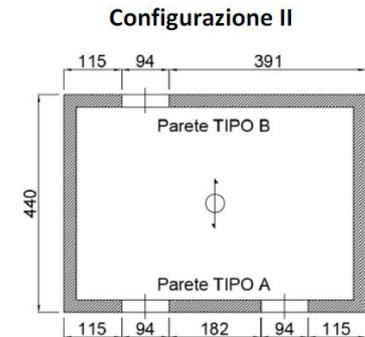
$f_{hd} = f_{hk} / \gamma_M$  è la resistenza di progetto a compressione della muratura in direzione orizzontale (nel piano della parete). Nel caso di analisi statica non lineare essa può essere posta uguale al valore medio ( $f_{hd} = f_{hm}$ ).

La capacità a taglio, associata a tale meccanismo, può essere calcolata come:

$$V_p = 2 M_f_u / l \quad [7.8.6]$$

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

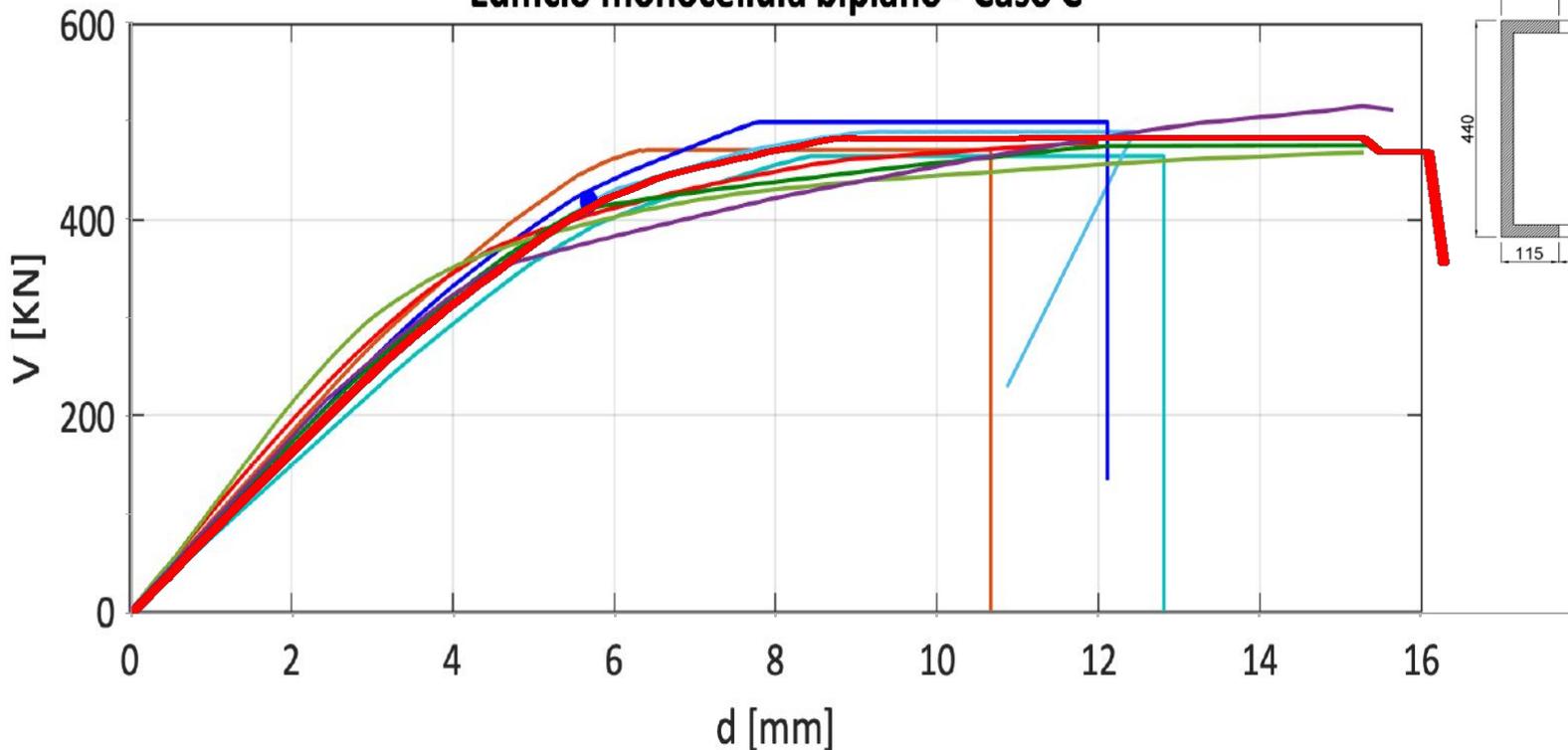
Il valore della capacità a taglio per l'elemento trave in muratura ordinaria è assunto pari al minimo tra  $V_t$  e  $V_p$ .



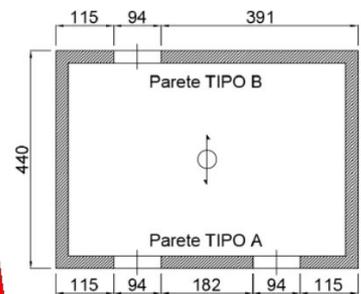
# Validazione

## Strutture benchmark: edificio bipiano (#4) – Config. II

Edificio monocellula bipiano - Caso C

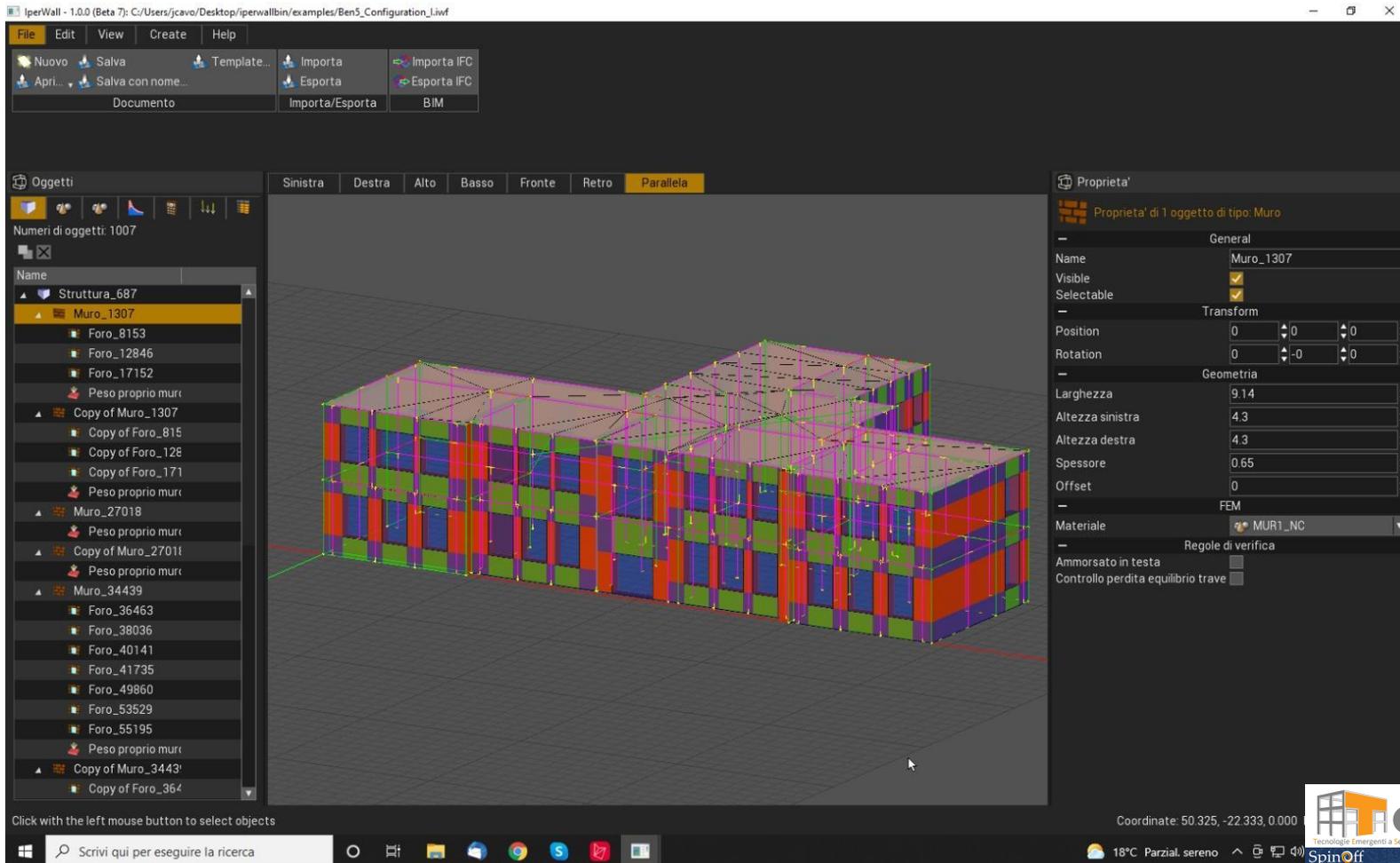


Configurazione II



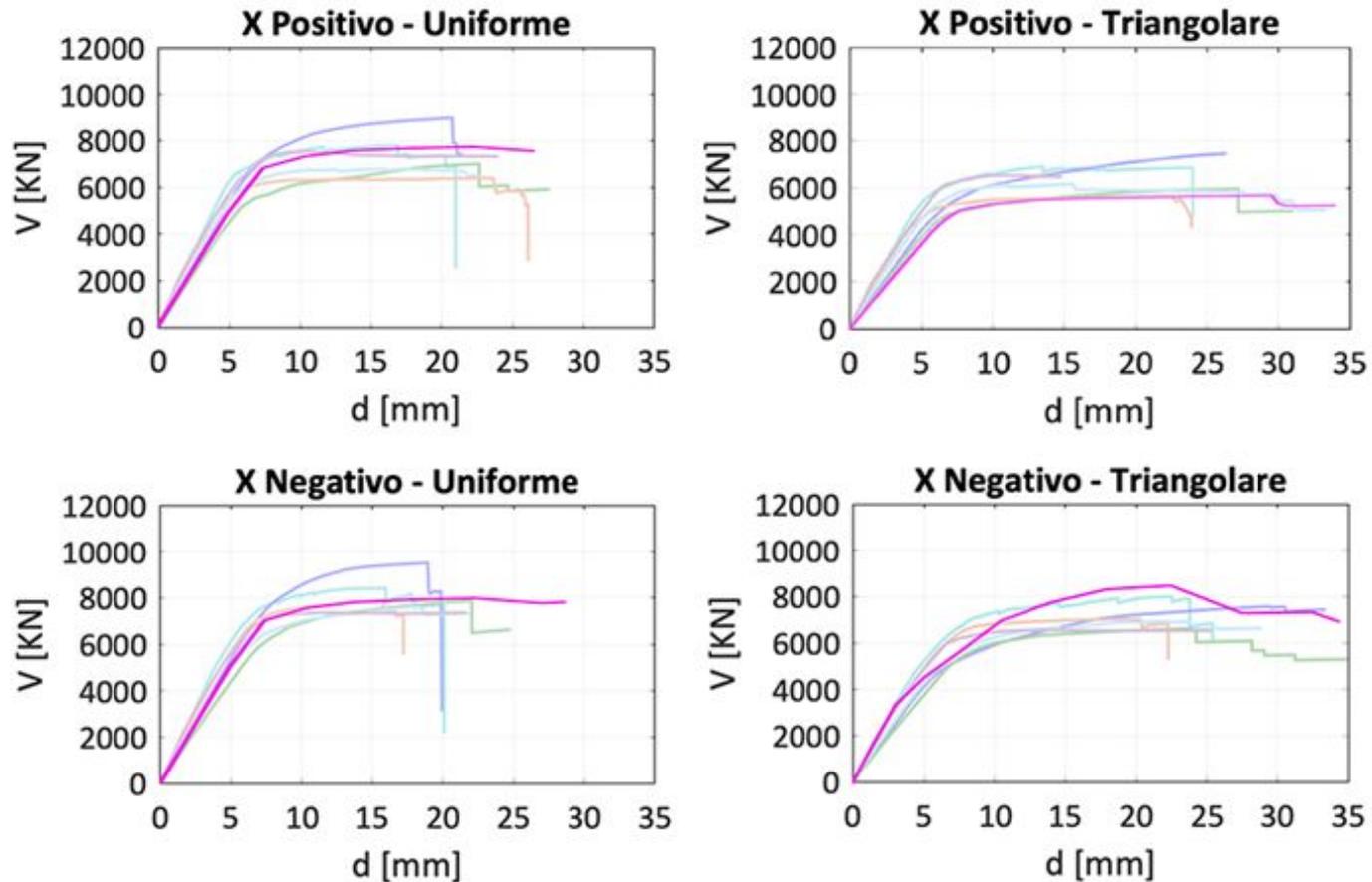
# Validazione

## Strutture benchmark: edificio complesso (#5)



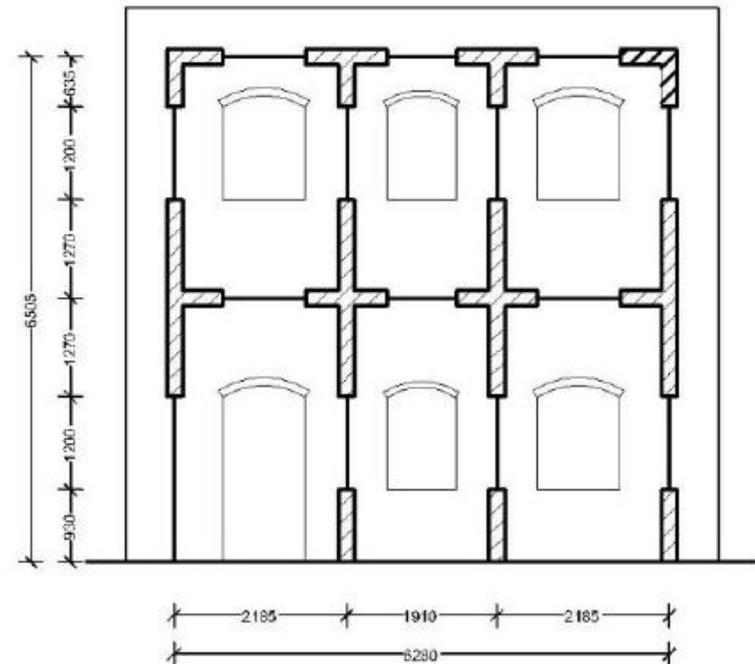
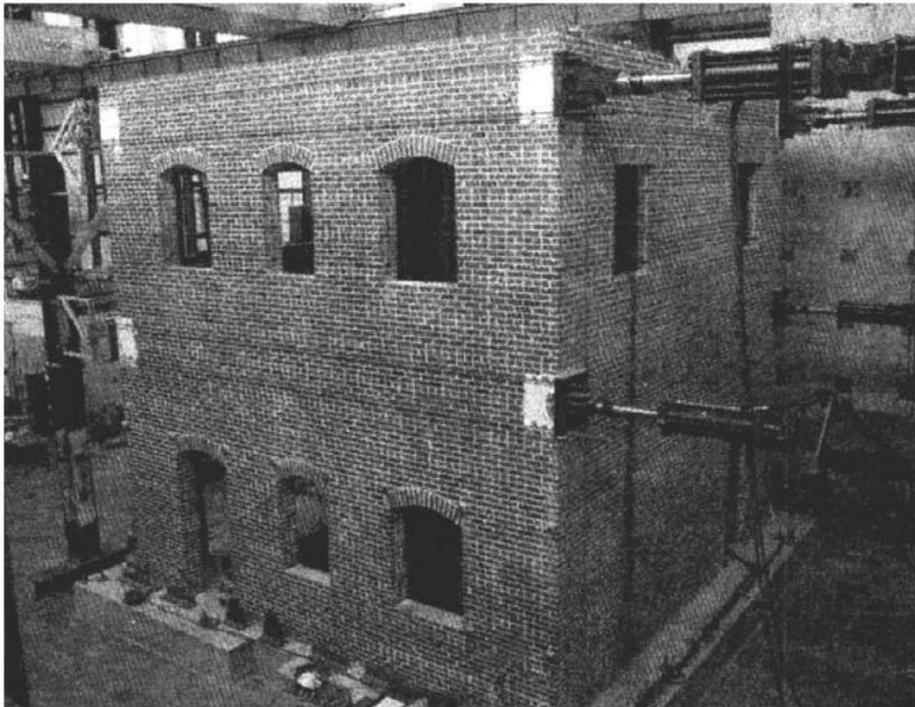
# Validazione

## Strutture benchmark: edificio complesso (#5)



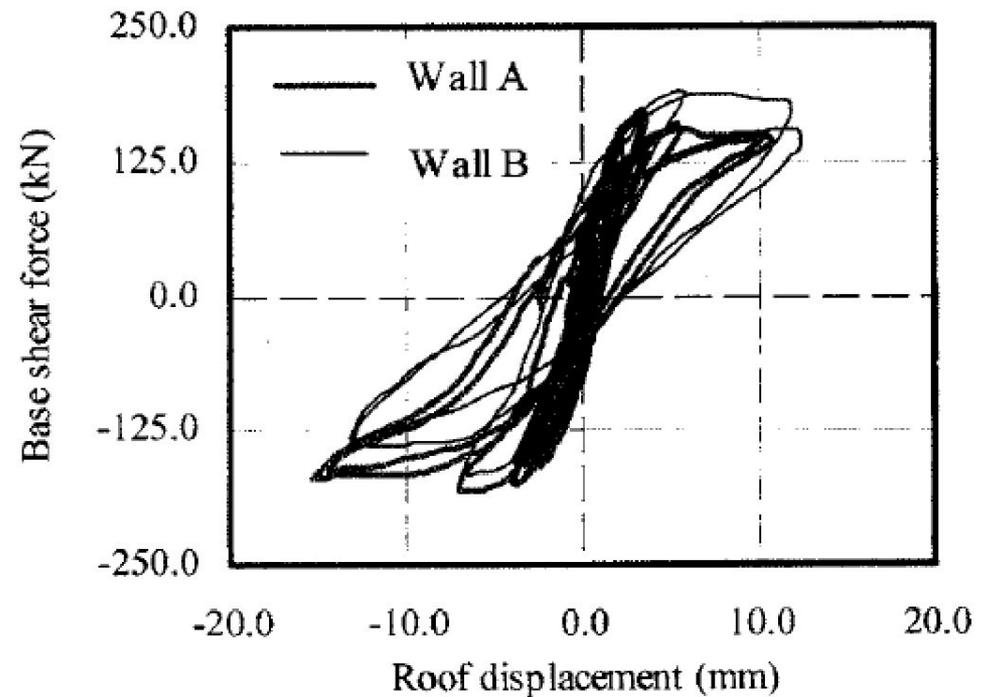
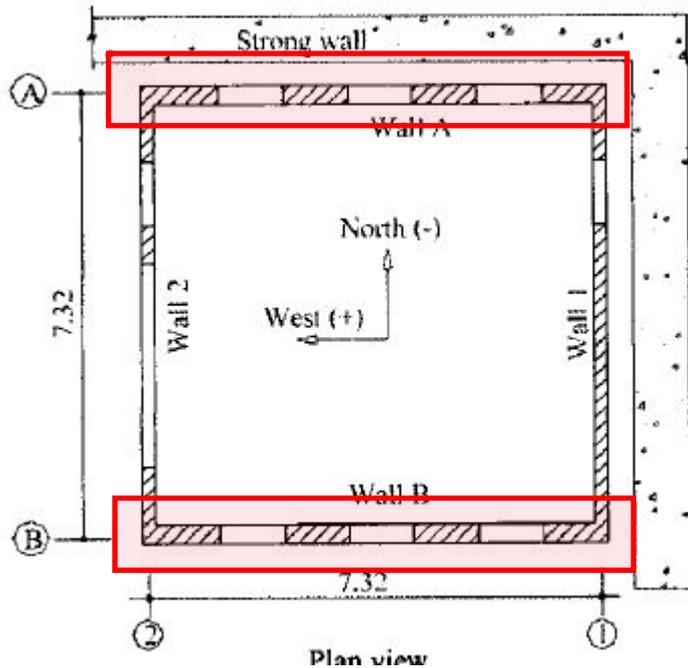
# Validazione

## Struttura testata in laboratorio (Yi et al, 2006)



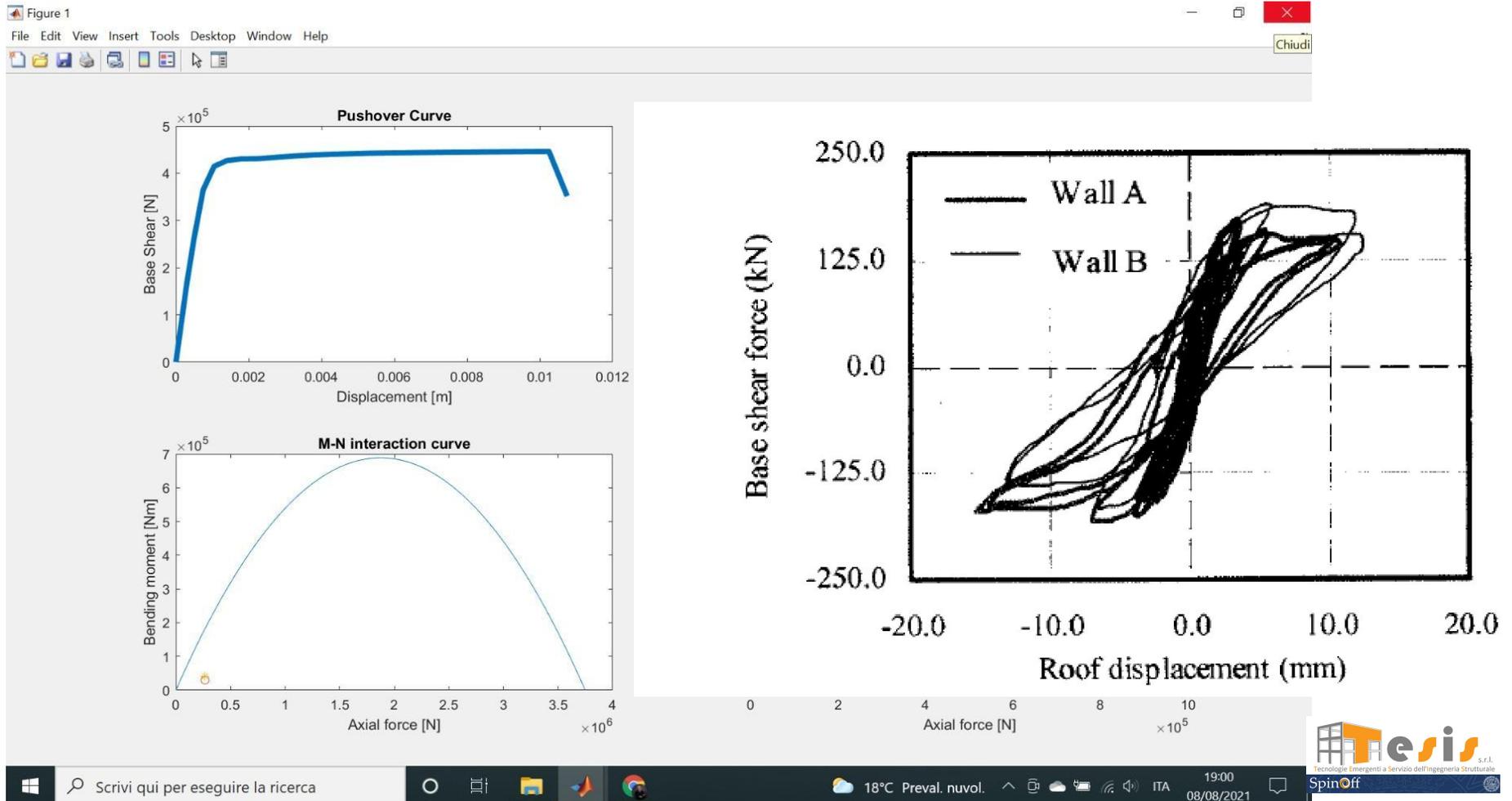
# Validazione

## Struttura testata in laboratorio (Yi et al, 2006)



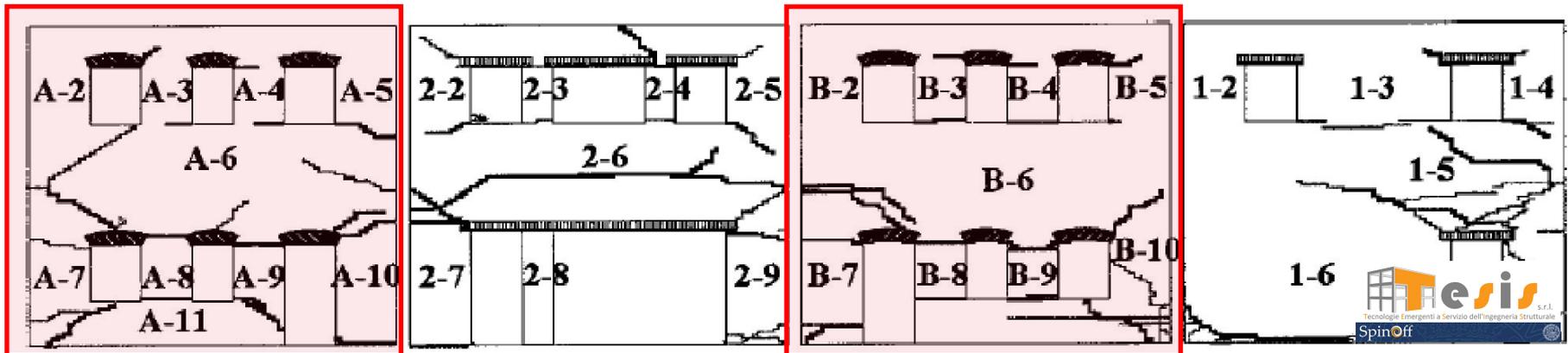
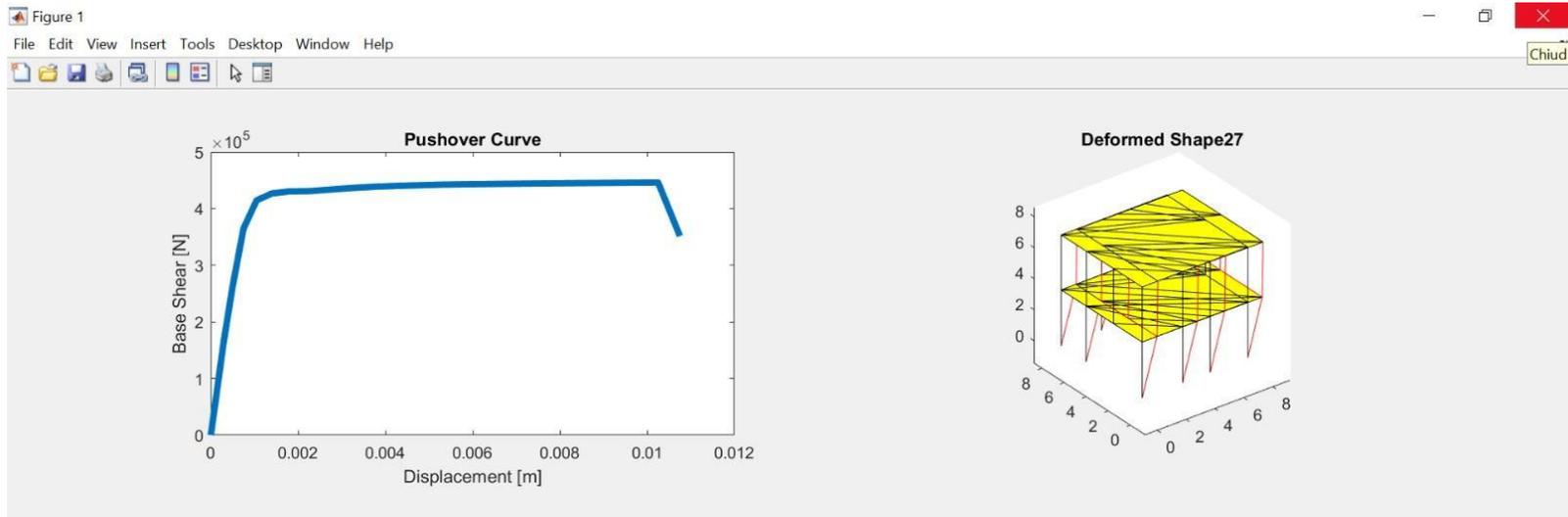
# Validazione

## Struttura testata in laboratorio (Yi et al, 2006)



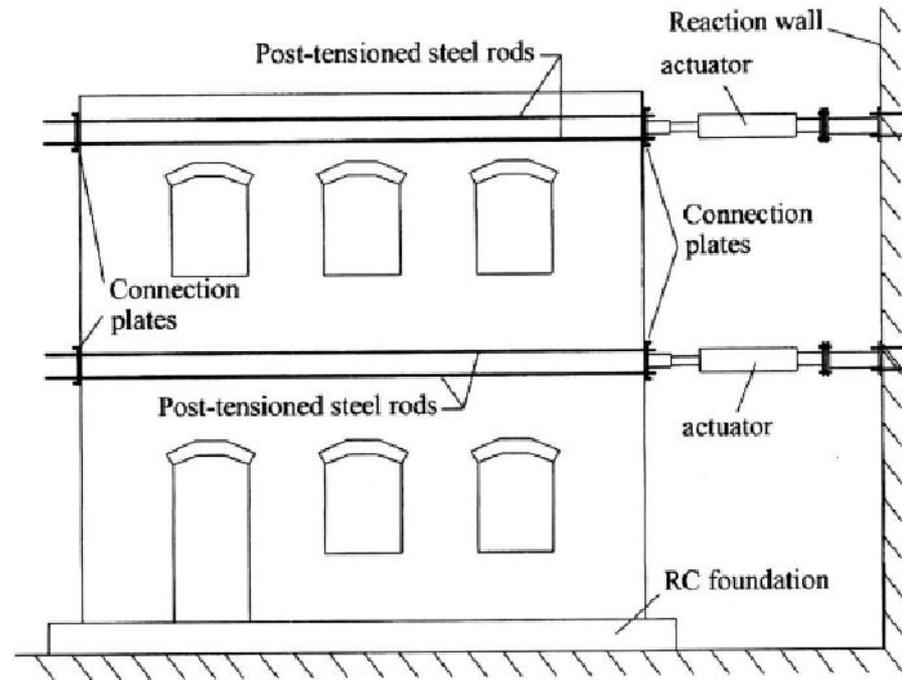
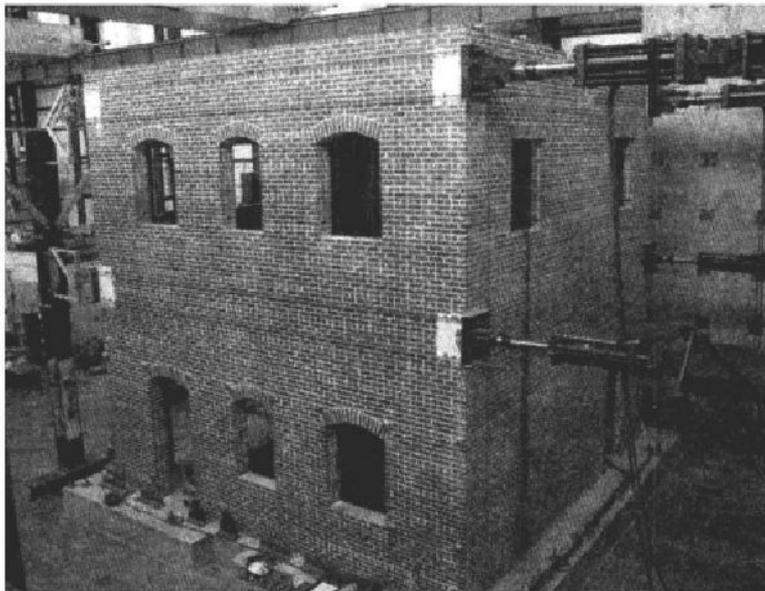
# Validazione

## Struttura testata in laboratorio (Yi et al, 2006)



# Validazione

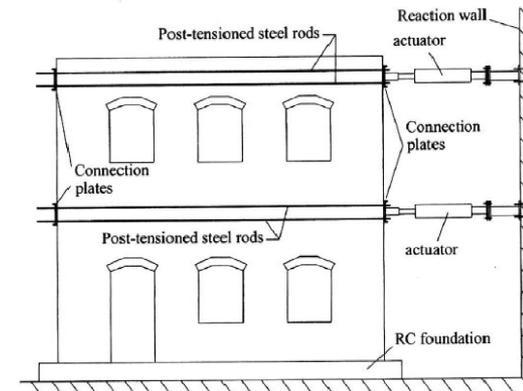
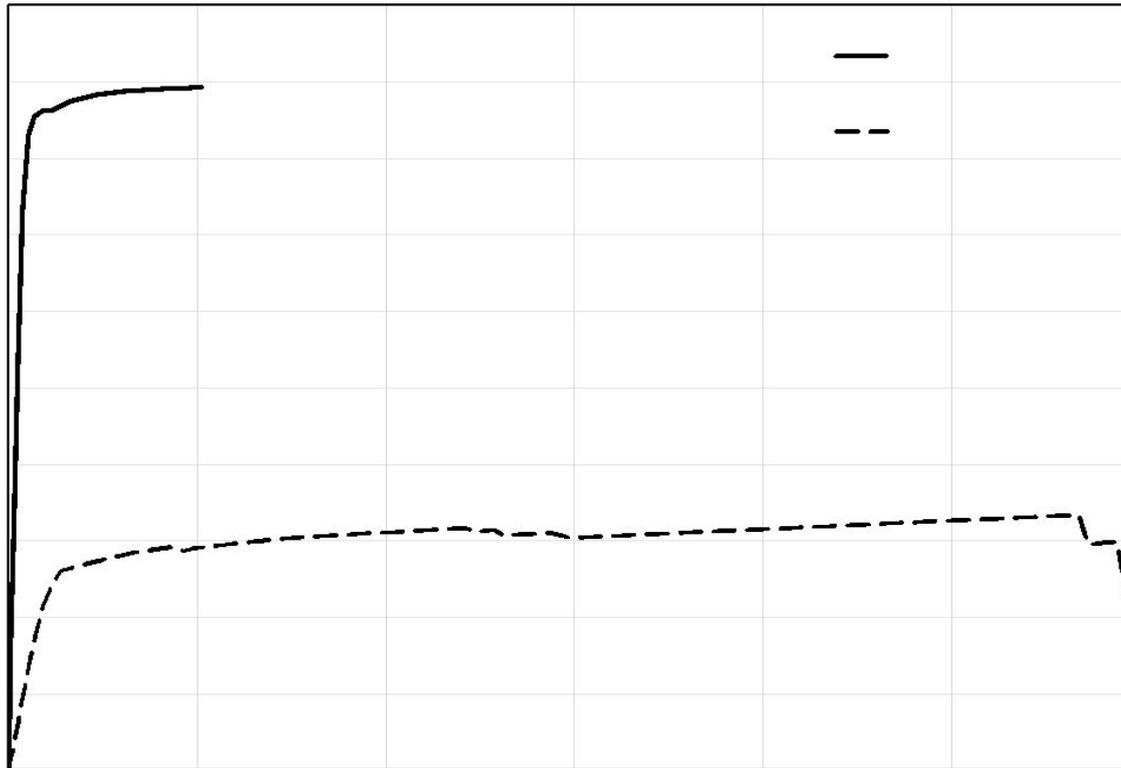
## Struttura testata in laboratorio (Yi et al, 2006)



second floor level, as shown in Fig. 1. A slight post-tensioning (350 kN) was used to connect the actuators to the masonry walls at the connection points.

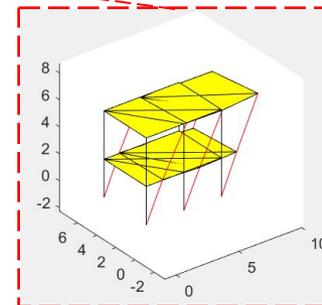
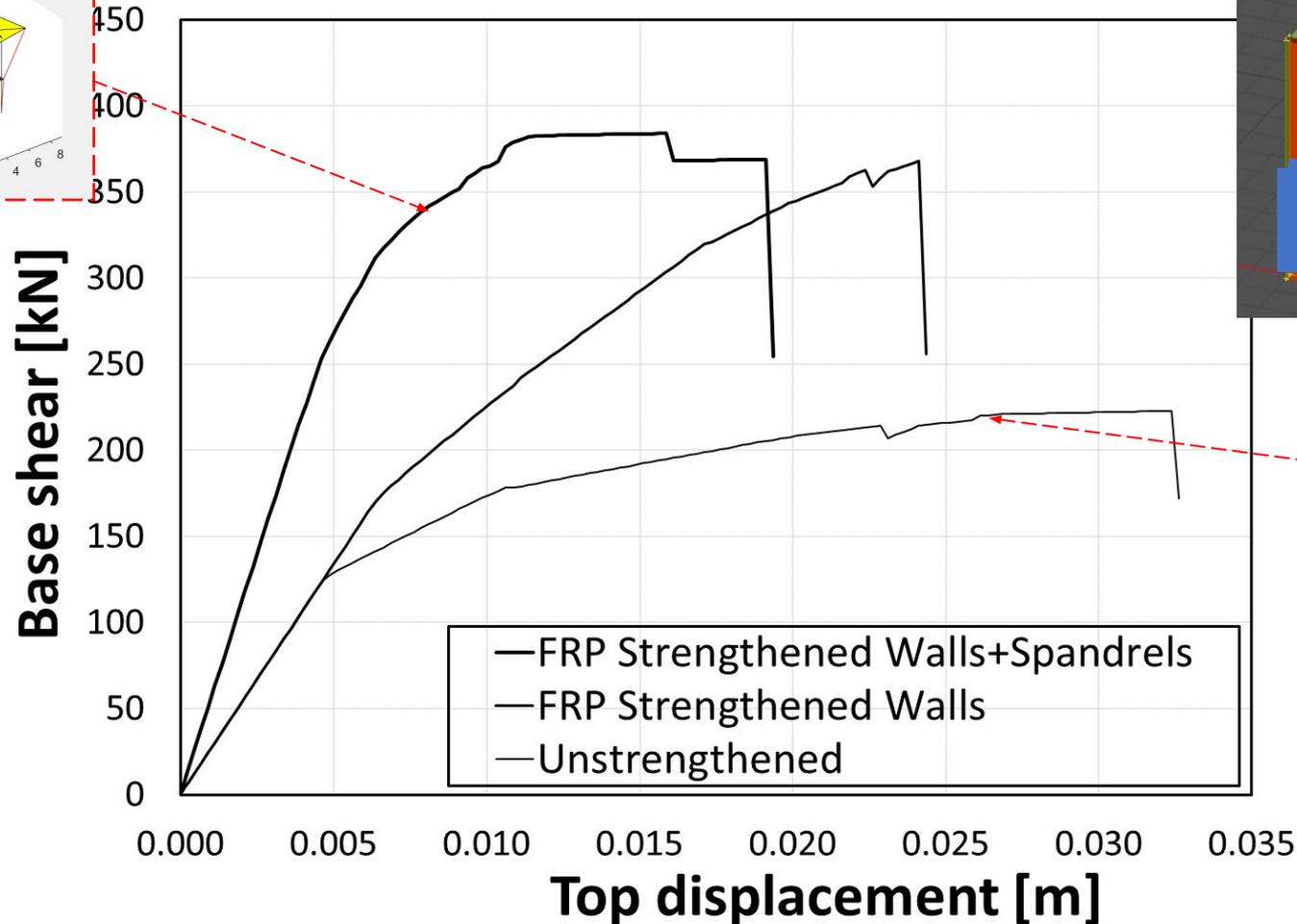
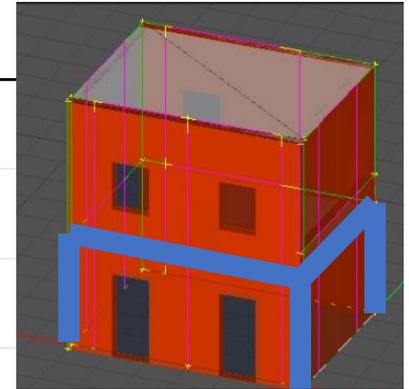
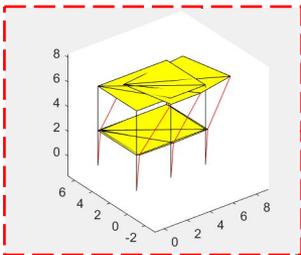
# Validazione

## Struttura testata in laboratorio (Yi et al, 2006)



# Analisi

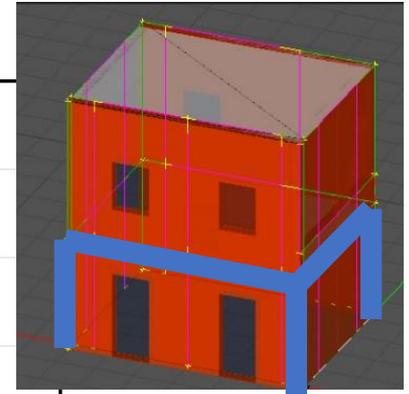
## Effetto di rinforzi in FRP



# Analisi

## Effetto di rinforzi in TRM

1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12 - 13 - 14 - 15 - 16 - 17 - 18 - 19 - 20 - 21 - 22 - 23 - 24 - 25 - 26 - 27 - 28 - 29 - 30 - 31 - 32 - 33 - 34 - 35 - 36 - 37 - 38 - 39 - 40 - 41 - 42 - 43 - 44 - 45 - 46 - 47 - 48 - 49 - 50 - 51 - 52 - 53 - 54 - 55 - 56 - 57 - 58 - 59 - 60 - 61 - 62 - 63 - 64 - 65 - 66 - 67 - 68 - 69 - 70 - 71 - 72 - 73 - 74 - 75 - 76 - 77 - 78 - 79 - 80 - 81 - 82 - 83 - 84 - 85 - 86 - 87 - 88 - 89 - 90 - 91 - 92 - 93 - 94 - 95 - 96 - 97 - 98 - 99 - 100



# Conclusioni

## Riepilogo delle funzionalità di IPERWALL BIM

IPERWALL BIM permette di eseguire analisi statiche non lineari (*pushover*) su edifici in muratura (semplice, armata o rinforzata) o misti muratura-calcestruzzo. In particolare:

- ✓ si basa su una schematizzazione a telaio equivalente con elementi che includono parti deformabili (zone di maschio o di fascia) e parti rigide (zone di nodo);
- ✓ gli elementi muratura e gli elementi in c.a. sono modellati secondo un approccio a plasticità concentrata (tramite elementi deformabili localizzati alle estremità);
- ✓ per gli elementi in muratura si considerano i tre classici meccanismi di crisi nel piano, ciascuno caratterizzabile per resistenza e capacità di spostamento;
- ✓ per gli elementi in c.a. si considerano le condizioni di pressoflessione deviata sia in campo elastico che post-elastico;
- ✓ gli impalcati sono modellati come elementi elastici caratterizzati da rigidità membranale (anche ortotropa) collegati ai nodi in cui convergono anche gli altri elementi;
- ✓ nella versione attuale si effettuano anche verifiche di flessione fuori piano (indipendentemente dall'analisi pushover) secondo D.M. 17/01/2018.

# Conclusioni

## Riferimenti bibliografici

- ✓ Chen S.-Y. , Moon F.L., Yi T. (2008), *A macroelement for the nonlinear analysis of in-plane unreinforced masonry piers*, Engineering Structures, 30(8):2242-2252;
- ✓ M.II.TT. (2018), *Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»*, D.M. 17.01.2018, Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018 - Serie generale;
- ✓ M.II.TT. (2019), *Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*, Circolare 21.01.2019, n. 7 C.S.LL.PP., Supplemento ordinario alla “Gazzetta Ufficiale,, n. 35 del 11 febbraio 2019 - Serie generale;
- ✓ Lagomarsino S., Cattari S. (2015), *PERPETUATE guidelines for seismic performance based assessment of cultural heritage masonry structures*, Bulletin of Earthquake Engineering, 13, pp: 13–47;
- ✓ Macorini L., Izzuddin B.A. (2010), *3D mesoscale modelling for nonlinear analysis of brick-masonry*, 8th International Masonry Conference, Pages: 297-306
- ✓ Toulaitos P.G. (1996), *Seismic behaviour of traditionally-built constructions. Repair and Strengthening*. In Petrini V. and Save M., editors, *Protection of the architectural heritage against earthquakes*, pages 57-69, Springer, New York, 1996;
- ✓ Yi T., Moon F.L., Leon R.T, Kahn L.F. (2006), *Lateral Load Tests on a Two-Story Unreinforced Masonry Building*, ASCE Journal of Structural Engineering, 132(5), 643-652;
- ✓ Zucchini A., Lourenço P.B. (2009), *A micro-mechanical homogenisation model for masonry: Application to shear walls*, International Journal of Solids and Structures, 46(3-4), 871–886.

# Grazie per l'attenzione!





# SOFT.LAB

SOFTWARE PER L'EDILIZIA

**Enzo Martinelli**

e.martinelli@unisa.it – e.martinelli@tesis-srl.eu



[www.soft.lab.it](http://www.soft.lab.it)

