



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

***Analisi e verifica sismica  
di edifici in muratura:  
punto della situazione  
e recenti evoluzioni***

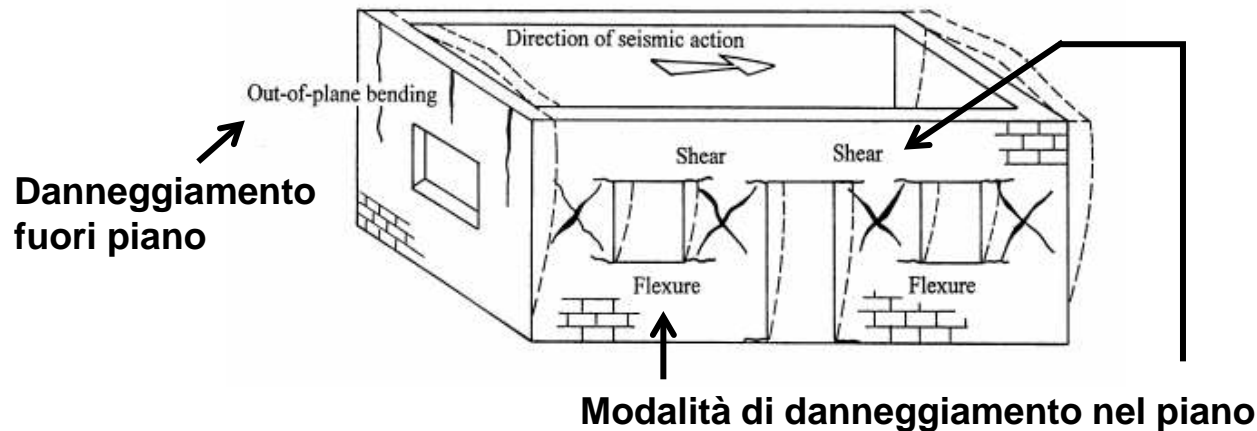
***STATI GENERALI  
DELLA MURATURA***



**PROF. ING.  
FULVIO *PARISI***

**Recenti strategie  
computazionali per l'analisi  
sismica non lineare di  
strutture in muratura**

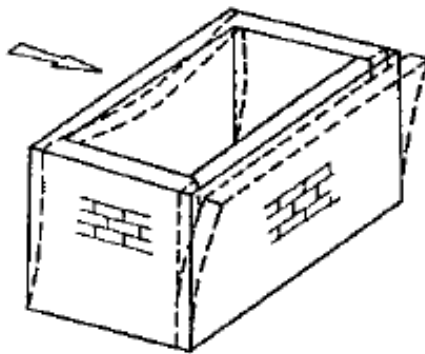
# Complessità della risposta sismica



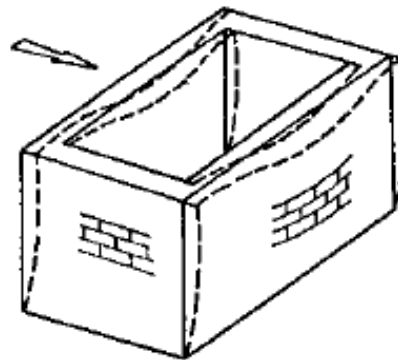
Risposta globale di tipo scatolare se i meccanismi fuori piano (primo modo) vengono efficacemente contrastati (indicazione importante anche «guidare» il consolidamento)

# Complessità della risposta sismica

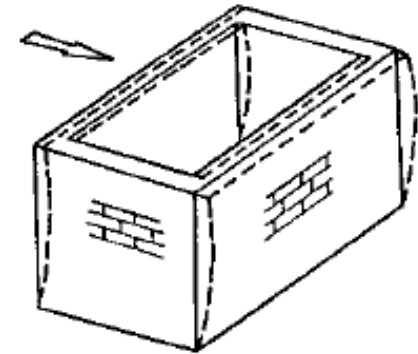
Comportamento variabile con la rigidità degli impalcati e la presenza di collegamenti (fra pareti e parete-solaio)



**Impalcati  
deformabili e pareti  
scollegate**



**Impalcati  
deformabili e  
pareti collegate**



**Impalcati rigidi e  
pareti collegate**



# Complessità della risposta sismica

## Meccanismi fuori piano

**Singole porzioni di parete**



**Intere facciate**



# Complessità della risposta sismica

Meccanismi nel piano: maschi murari

Singolo pannello di maschio



Interi maschi



# Complessità della risposta sismica

Meccanismi nel piano: fasce di piano

**Crisi tagliante**



**Crisi flessionale**



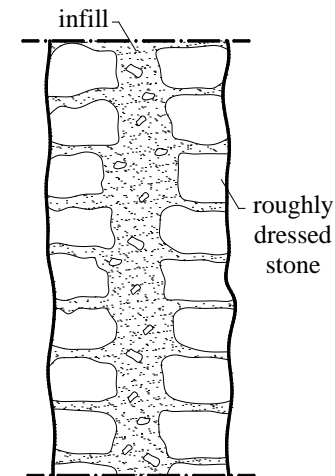
# Complessità della risposta sismica

Perdita di integrità di murature caotiche o molto degradate

**Muratura di pietrame**



**Muratura a sacco**





# Complessità della risposta sismica

Distribuzione irregolare delle aperture: pareti «irregolari»

- Concentrazione del danneggiamento
- Difficoltà di modellazione (altezza effettiva dei pannelli di maschio)



# Complessità della risposta sismica

## Tipologie di irregolarità delle pareti

**Irregolarità  
verticale**



**Irregolarità  
orizzontale**



**Irregolarità  
mista**



**Irregolarità  
da numero  
variabile di  
aperture per  
piano**



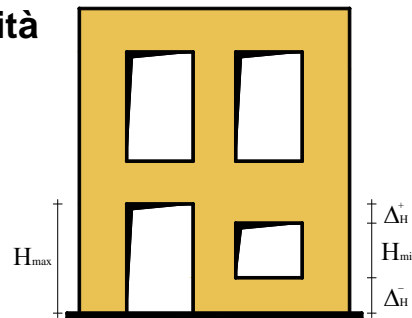
# Complessità della risposta sismica

## Indici di irregolarità

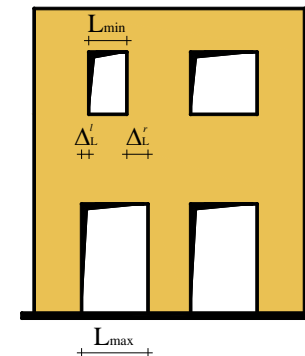
Indice globale  $\Rightarrow$  Quantificazione complessiva dell'irregolarità  
 Indice parziale  $\Rightarrow$  Distribuzione dell'irregolarità

} Indici appartenenti a [0,1]

**Irregolarità  
verticale**



**Irregolarità  
orizzontale**



**Indici globali**

$$i_H = \frac{\Delta_H}{2H_{med}} = \frac{H_{max} - H_{min}}{H_{max} + H_{min}}$$

$$\Delta_H = H_{max} - H_{min} = \Delta_H^+ + \Delta_H^-$$

$$i_V = \frac{\Delta_L}{2L_{med}} = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}}$$

$$\Delta_L = L_{max} - L_{min} = \Delta_L^r + \Delta_L^l$$

**Indici parziali**

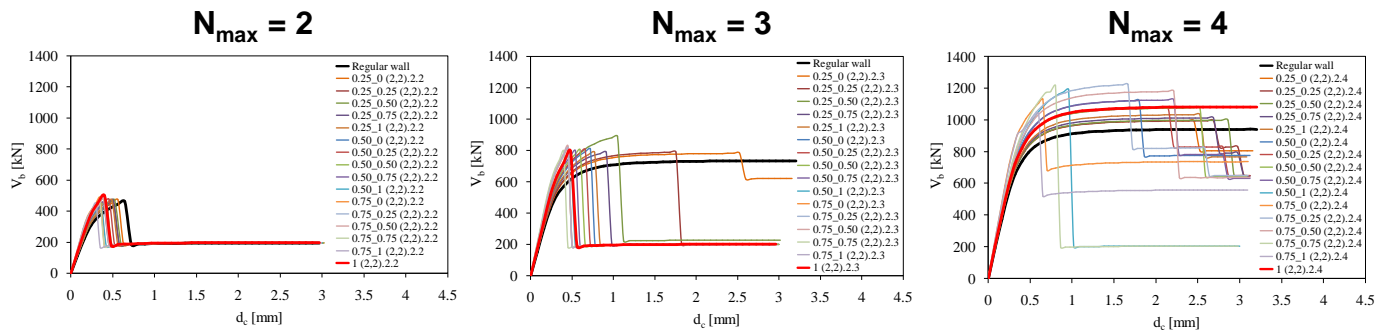
$$\bar{\Delta}_H^+ = \frac{\Delta_H^+}{\Delta_H} \quad \bar{\Delta}_H^- = \frac{\Delta_H^-}{\Delta_H}$$

$$\bar{\Delta}_L^r = \frac{\Delta_L^r}{\Delta_L} \quad \bar{\Delta}_L^l = \frac{\Delta_L^l}{\Delta_L}$$

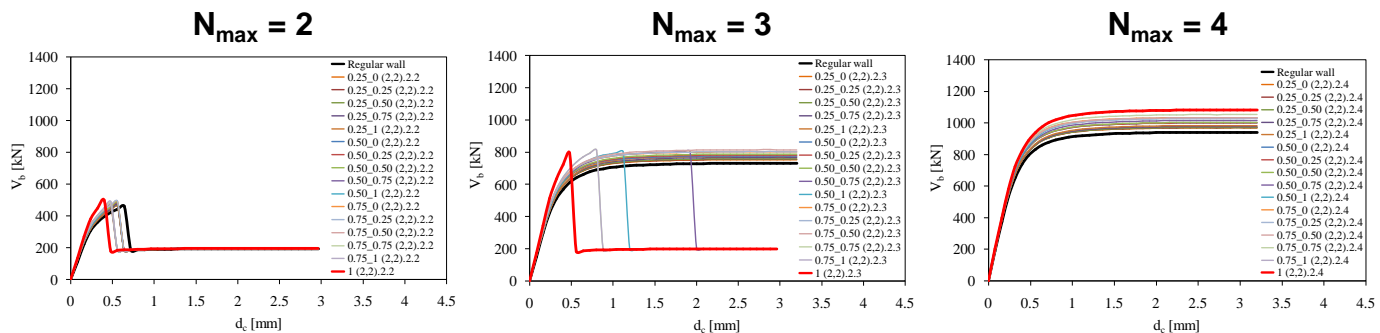
# Complessità della risposta sismica

## Effetti delle irregolarità sulla capacità sismica

Irregolarità orizzontale ( $0 \leq i_H \leq 1$ )



Irregolarità verticale ( $0 \leq i_v \leq 1$ )

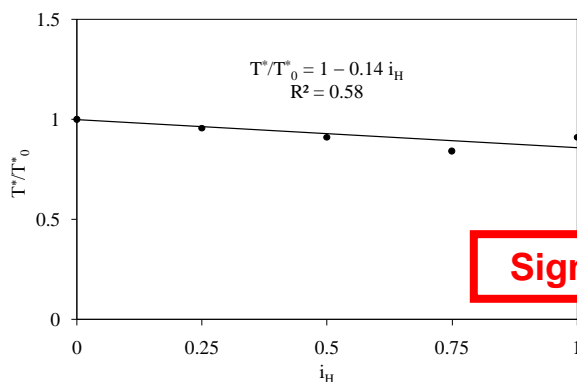




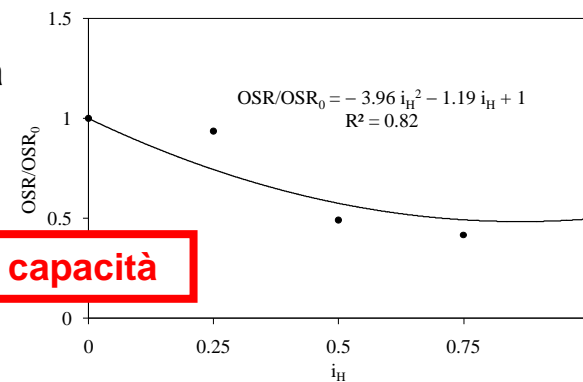
# Complessità della risposta sismica

## Effetti delle irregolarità orizzontali sulla capacità sismica

**Periodo  
secante**

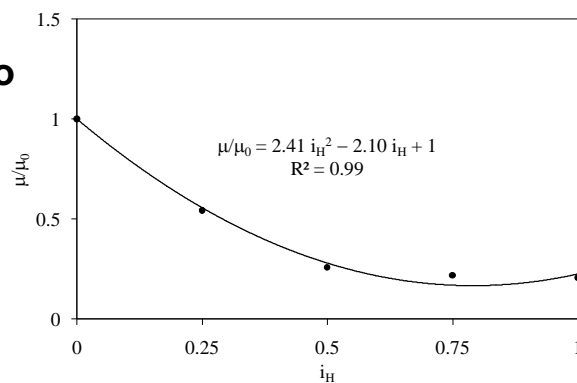


**Rapporto di  
sovraresistenza**

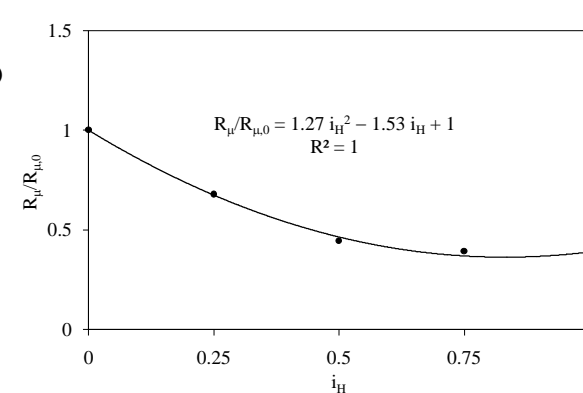


**Significativa riduzione di capacità**

**Duttilità di  
spostamento**



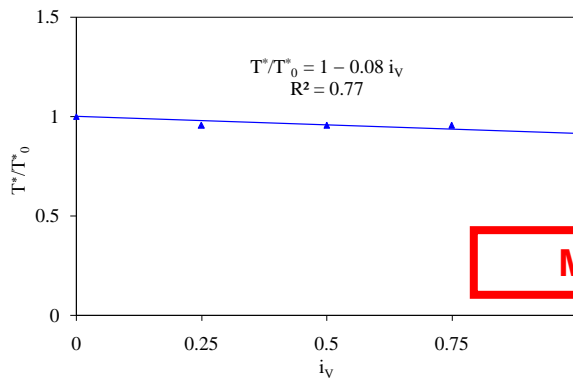
**Fattore di  
comportamento**



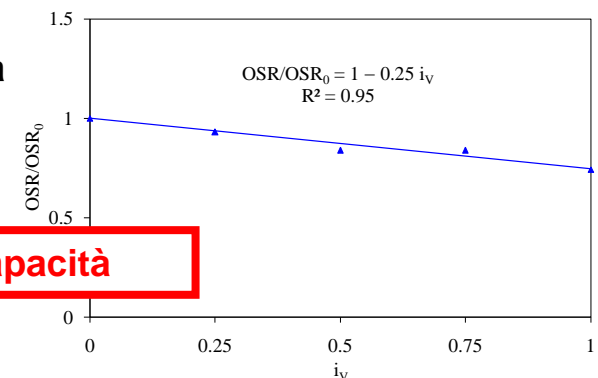
# Complessità della risposta sismica

Effetti delle irregolarità verticali sulla capacità sismica

**Periodo  
secante**

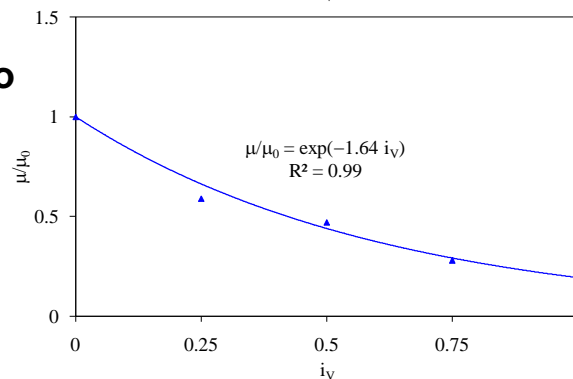


**Rapporto di  
sovraresistenza**

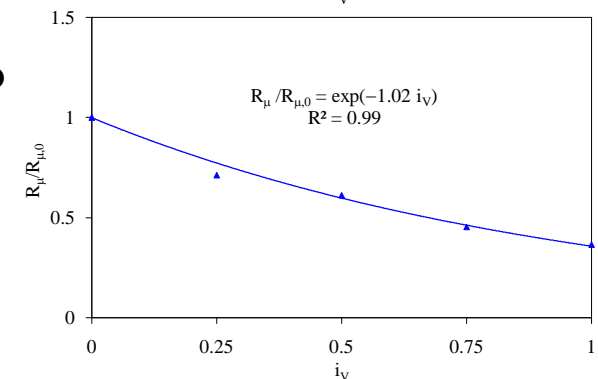


**Minore riduzione di capacità**

**Duttilità di  
spostamento**



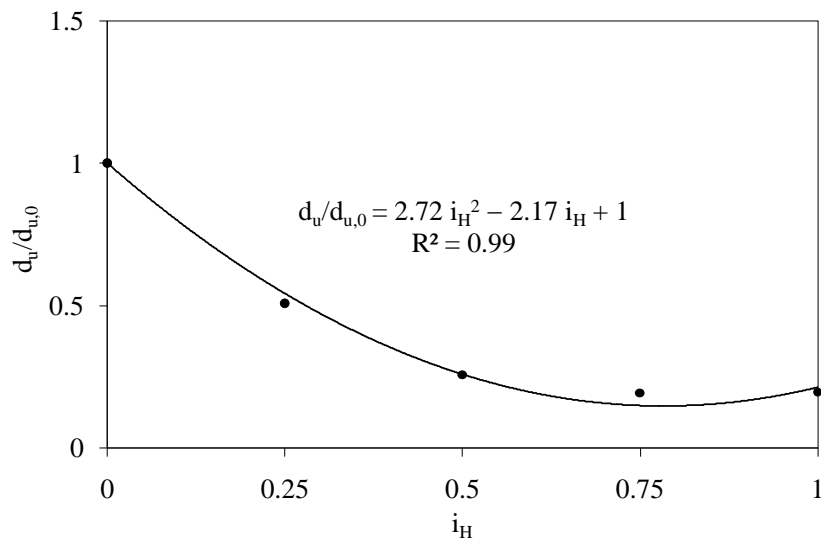
**Fattore di  
comportamento**



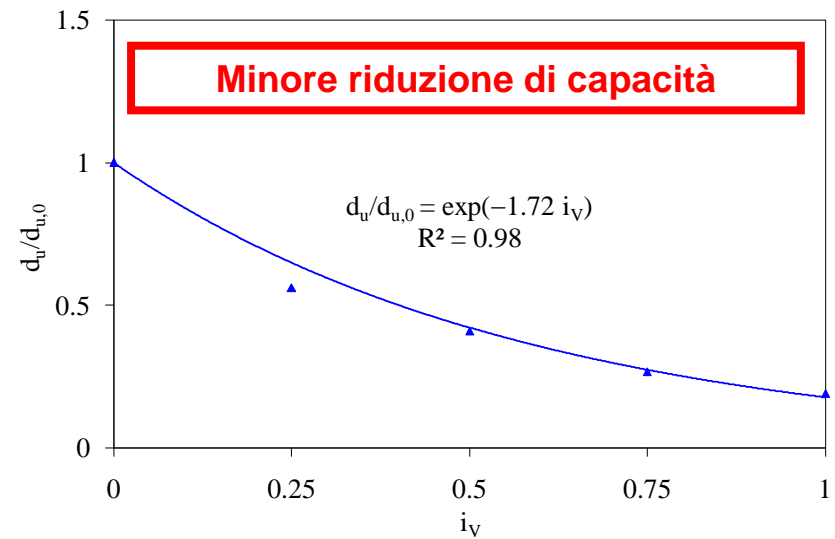
# Complessità della risposta sismica

Effetti delle irregolarità sulla capacità di spostamento

Irregolarità orizzontale



Irregolarità verticale



# Principali strategie di modellazione per edifici in muratura

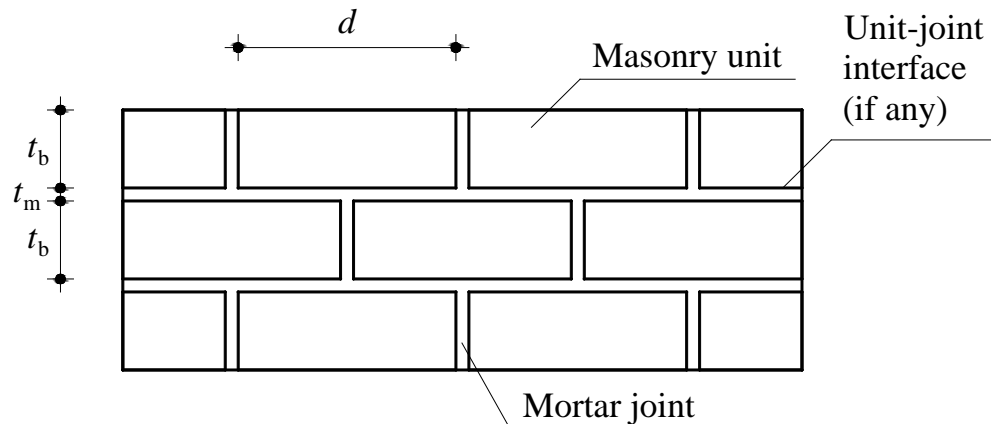
- Elementi finiti
  - Micro-modellazione (con/senza interfacce)
  - Macro-modellazione (diretta o mediante omogeneizzazione)
- Elementi discreti
- Differenze finite
- Macro-elementi
  - con formulazione chiusa di tipo analitico o fenomenologico dei domini di resistenza e del legame taglio–spostamento laterale
  - con formulazione numerica
- Macro-blocchi (per analisi limite verso meccanismi locali)



# (1) Analisi ad elementi finiti

## Micro-modellazione

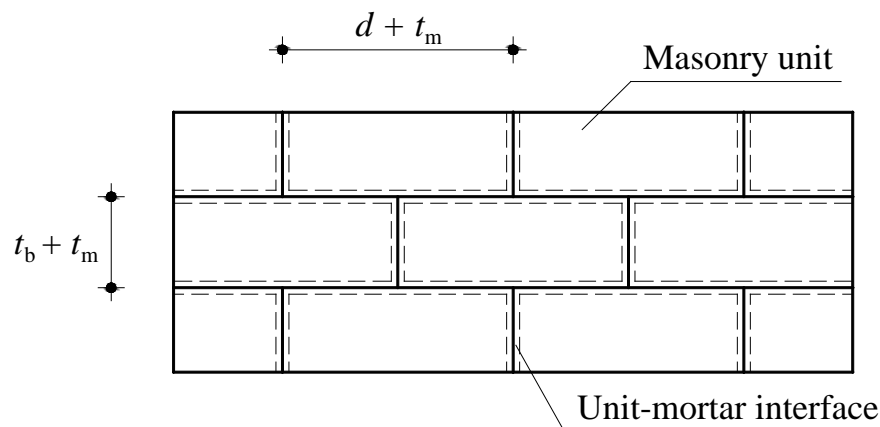
- Modellazione distinta di elementi lapidei, malta e (eventualmente) superfici di interfaccia
- Criterio di crisi, leggi costitutive e di flusso assegnate a ciascun tipo di elemento finito



# (1) Analisi ad elementi finiti

## Micro-modellazione semplificata

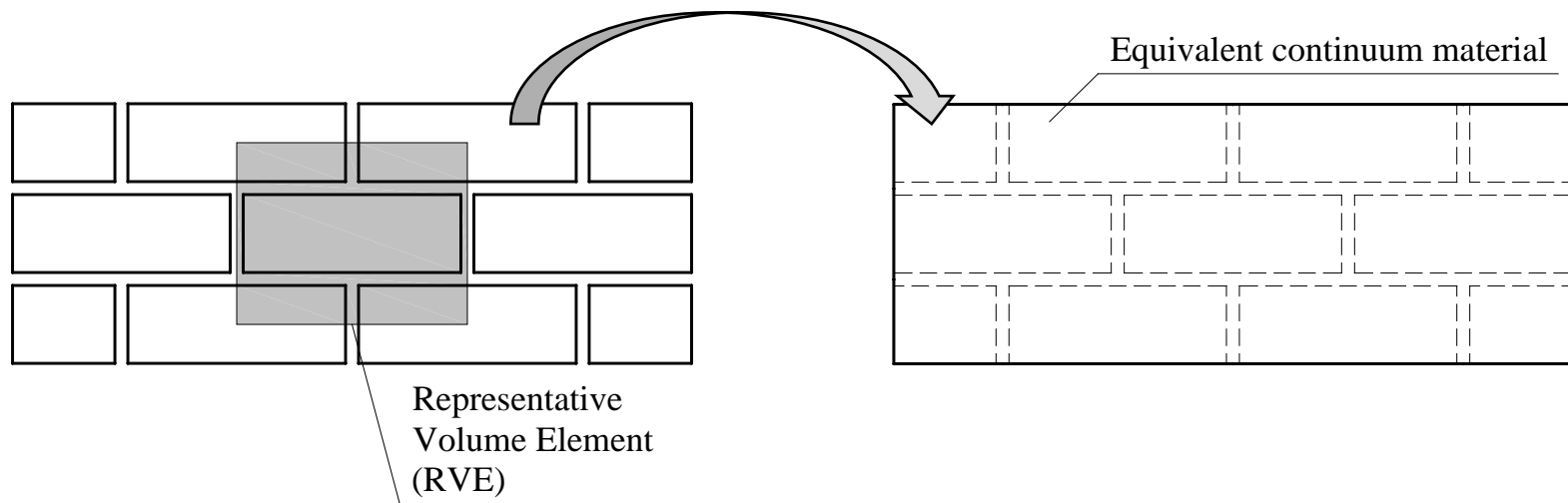
- Modellazione distinta di elementi lapidei e interfacce rappresentative di malta e superfici reali di contatto
- Criterio di crisi, leggi costitutive e di flusso assegnate a ciascun tipo di elemento finito



# (1) Analisi ad elementi finiti

## Macro-modellazione

- Muratura idealizzata come materiale continuo equivalente
- Comportamento definito a partire dai materiali costituenti attraverso omogeneizzazione (lineare/non lineare) o per via diretta



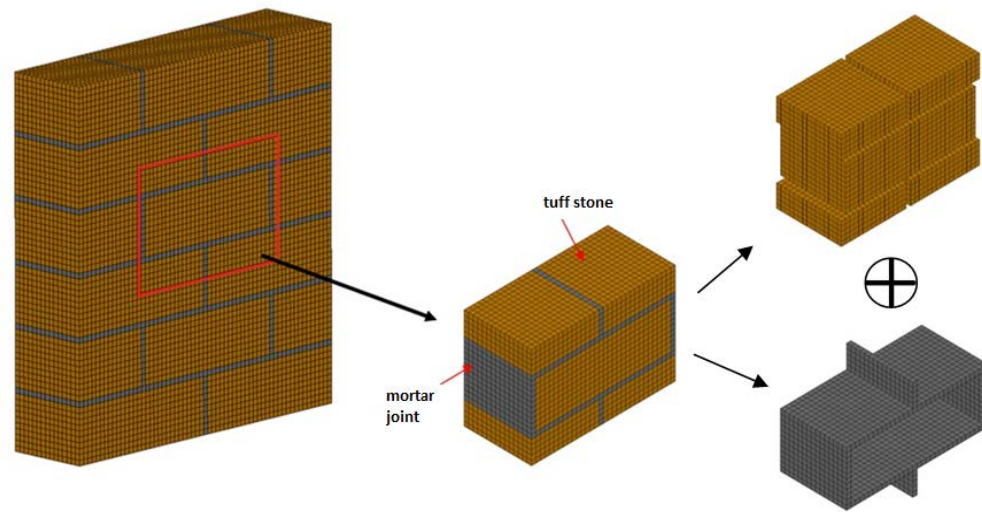
# (1) Analisi ad elementi finiti

## Micro-modellazione

- Simulazioni non lineari mediante LS-DYNA

Part 1 = Pietre di tufo  
Part 2 = Giunti di malta

Elementi finiti solidi a 8 nodi  
(spigolo 10 mm)





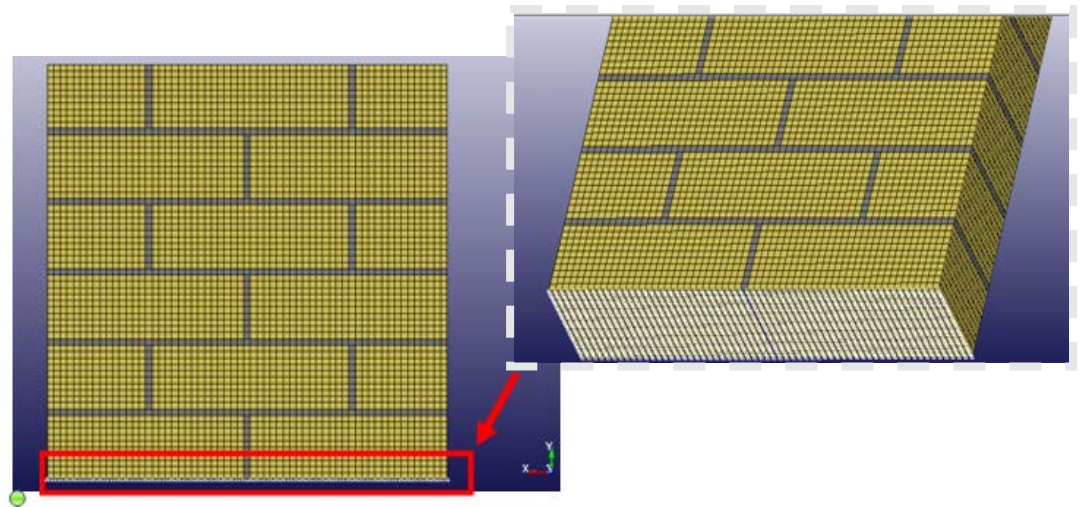
# (1) Analisi ad elementi finiti

## Micro-modellazione

- Simulazioni non lineari mediante LS-DYNA

Condizioni al contorno:

- Traslazioni nulle ai nodi di base
- Nodi superiori liberi



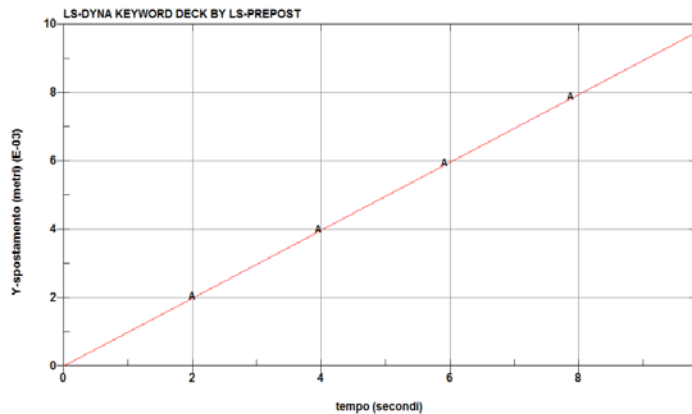
# (1) Analisi ad elementi finiti

## Micro-modellazione

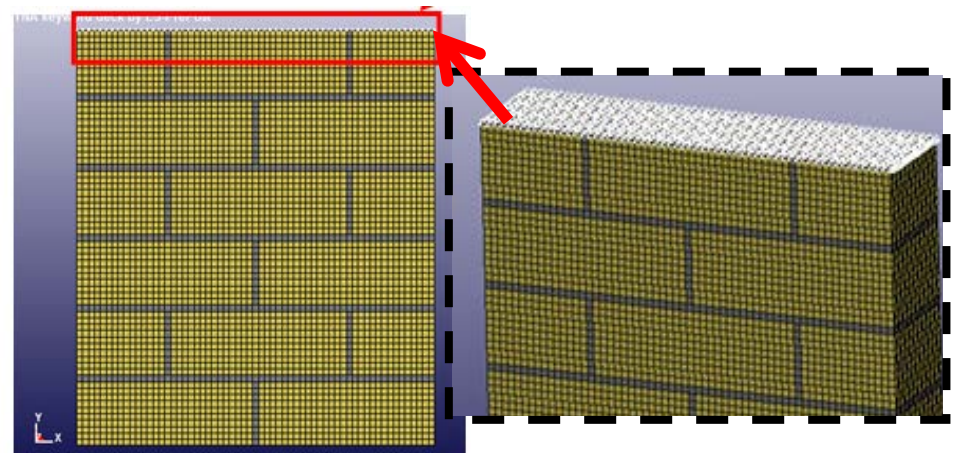
- Simulazioni non lineari mediante LS-DYNA

a) Definizione della legge di carico:

Storia temporale di spostamento  
linearmente crescente



b) Assegnazione del carico ai nodi di sommità

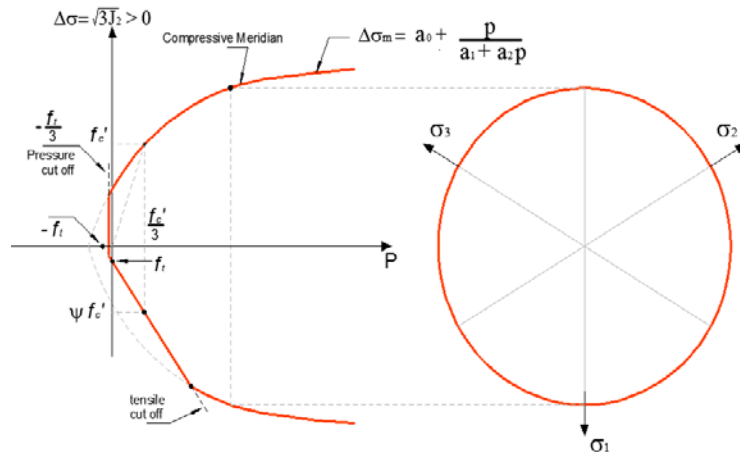


# (1) Analisi ad elementi finiti

## Micro-modellazione

- Simulazioni non lineari mediante LS-DYNA

Modello materiale «Soil and foam» (MAT14)



Criterio di Krieg (simile al Drucker-Prager):

- Cut-off in trazione
- Crisi associata alla tensione media

$$F(p, \sigma_e) = \sigma_e - \sqrt{3(a_0 + a_1 p + a_2 p^2)} = 0$$

$$\Rightarrow J_2 - (a_0 + a_1 p + a_2 p^2) = 0$$

$$p = I_1/3$$

$$\sigma_e = \sqrt{3J_2}$$

Costanti del materiale

$$\begin{cases} a_0 = k^2 \\ a_1 = -6\alpha k \\ a_2 = 9\alpha^2 \end{cases} \quad \alpha = \frac{m-1}{\sqrt{3}(m+1)} \quad k = \frac{2f_c}{\sqrt{3}(m+1)}$$

# (1) Analisi ad elementi finiti

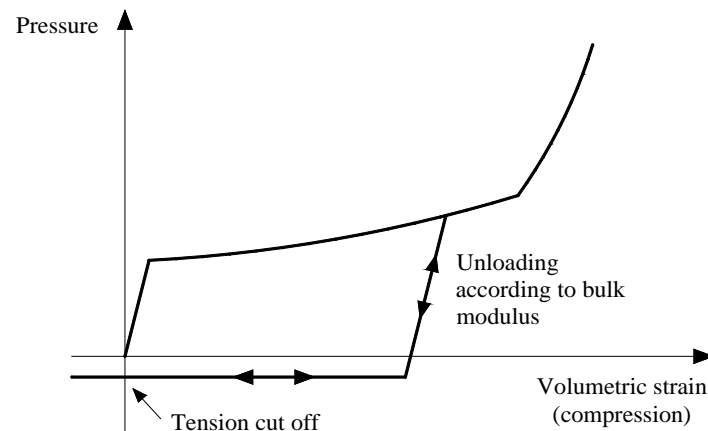
## Micro-modellazione

### ➤ Simulazioni non lineari mediante LS-DYNA

Comportamento deviatorico governato da una legge di flusso dipendente dalla pressione idrostatica mediante le costanti  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$

Schiacciamento simulato con legame pressione idrostatica – deformazione volumetrica  $\varepsilon_v = \ln(V/V_0)$ , con  $V_0$  = volume iniziale e  $V$  = volume attuale in configurazione deformata

$p = p(\varepsilon_v) \rightarrow$  Valori definiti mediante dati sperimentali e calibrazione



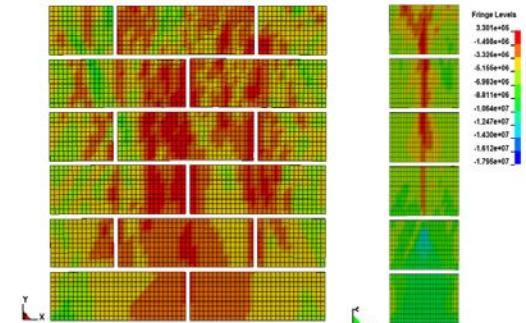
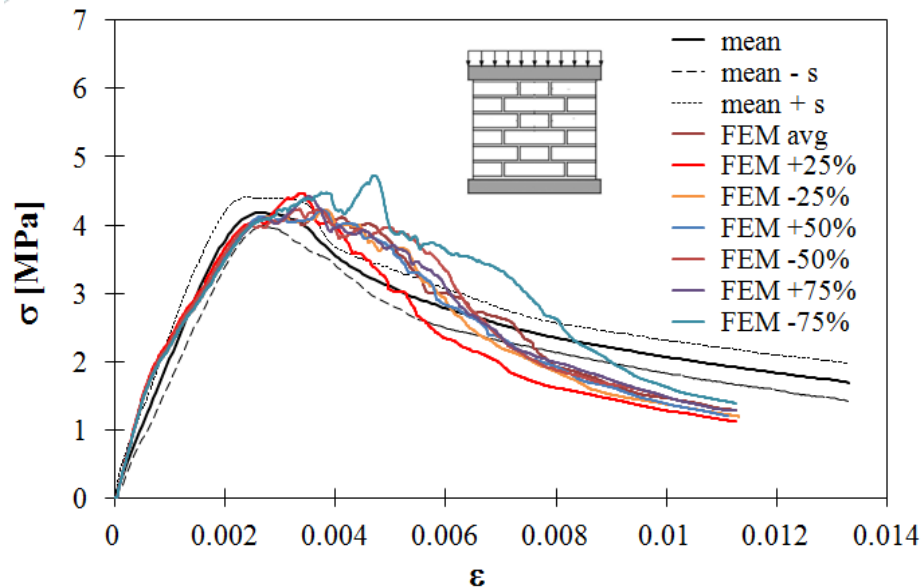
Rigidezza di carico/scarico pari al modulo di compressibilità  $K$

# (1) Analisi ad elementi finiti

## Micro-modellazione

- Simulazioni non lineari mediante LS-DYNA

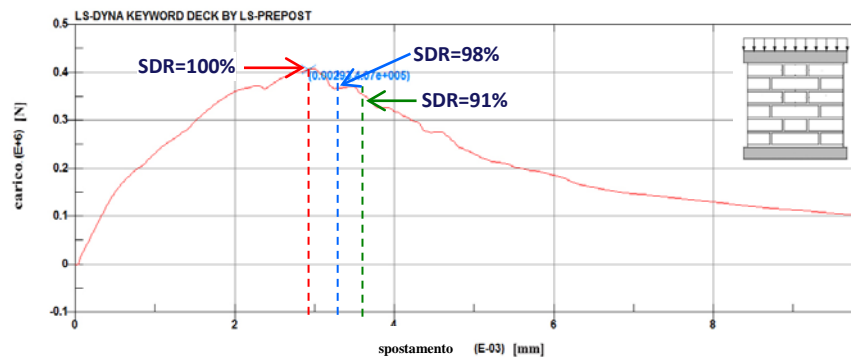
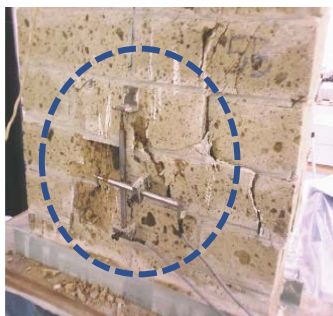
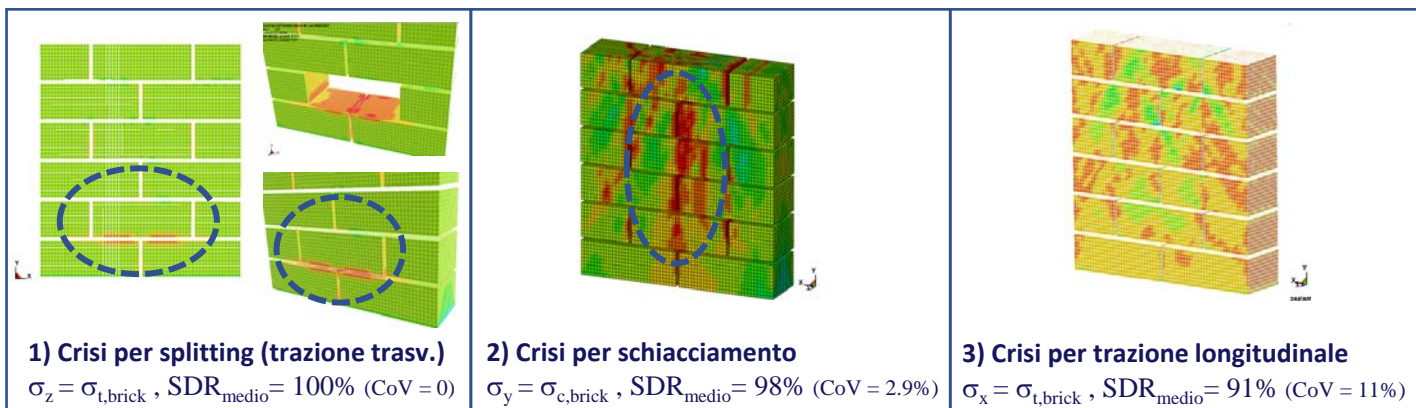
Validazione sperimentale in termini di curve e danneggiamento



# (1) Analisi ad elementi finiti

## Micro-modellazione

- Simulazioni non lineari mediante LS-DYNA



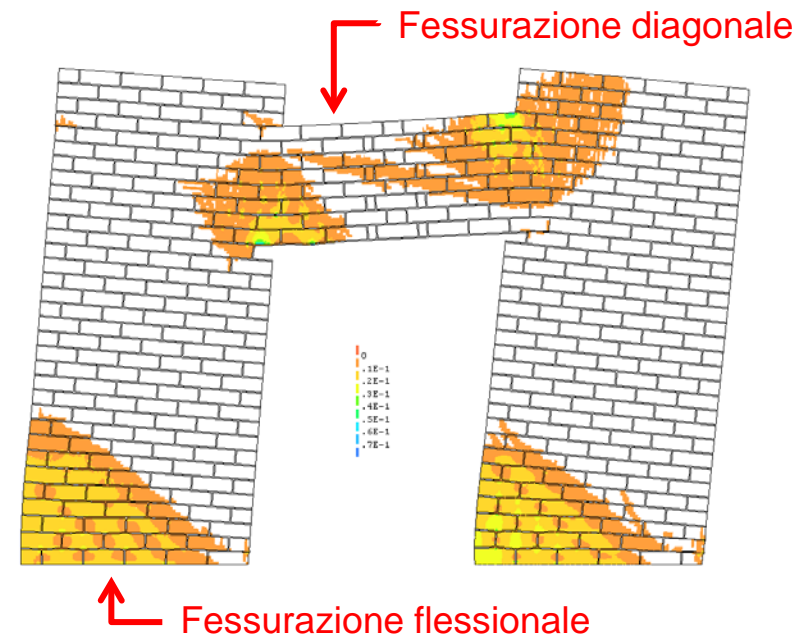


# (1) Analisi ad elementi finiti

## Micro-modellazione

- Simulazioni non lineari mediante DIANA

Parete in scala reale sollecitata lateralmente



# (1) Analisi ad elementi finiti

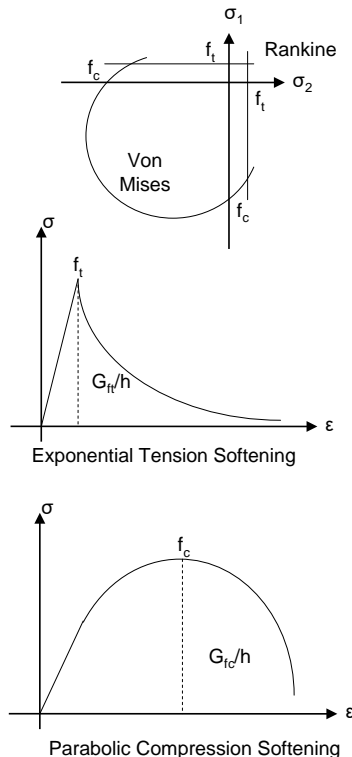
## Micro-modellazione

- Simulazioni non lineari mediante DIANA

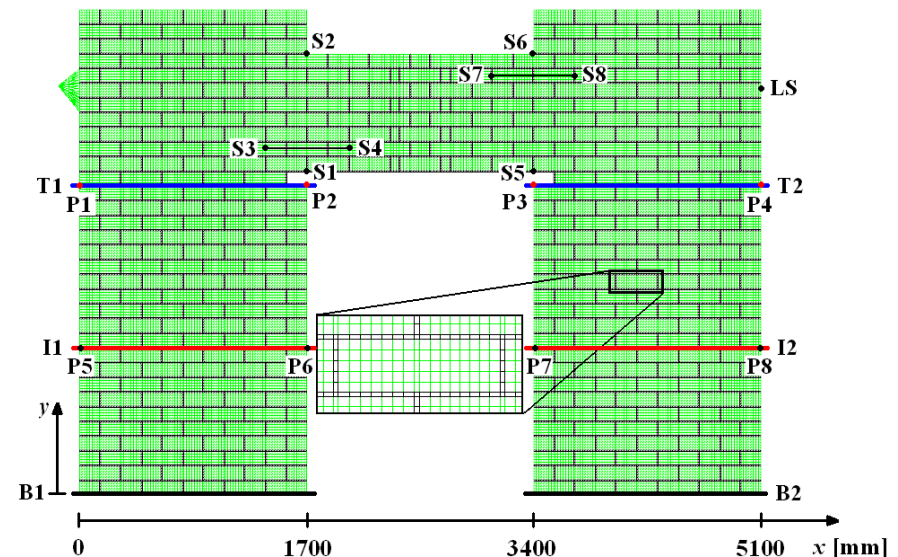
Modelli materiali per  
pietre di tufo e malta

Energia di  
frattura  
specifica

$$g_{fi} = \frac{G_{fi}}{h}$$



Sezioni di monitoraggio di tensioni,  
deformazioni e spostamenti relativi

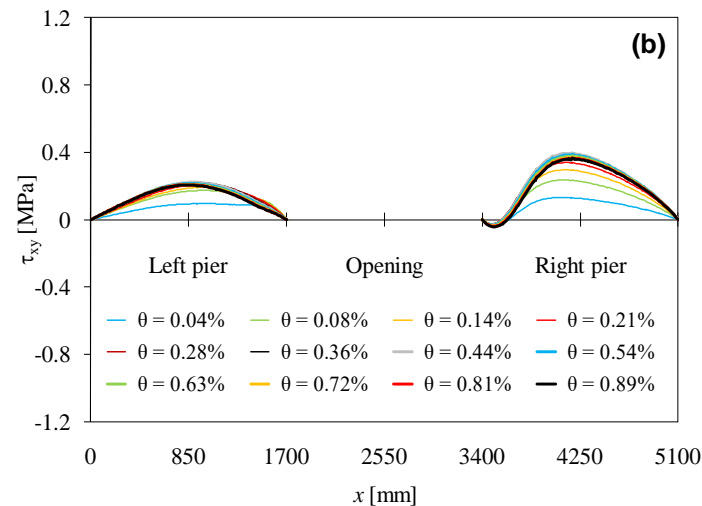
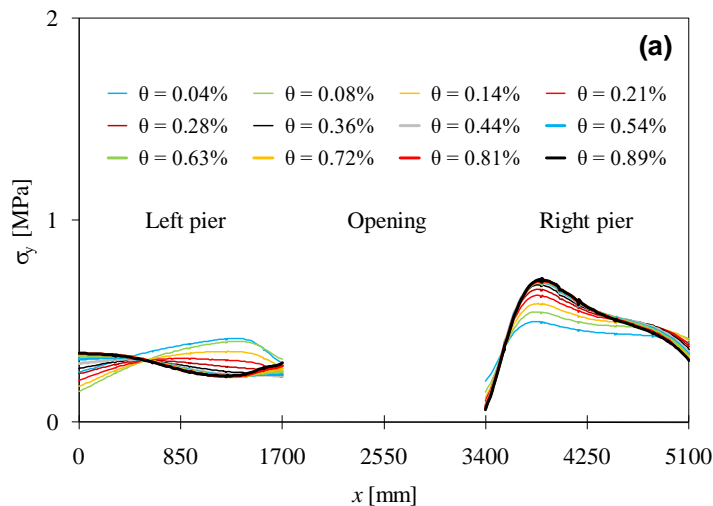
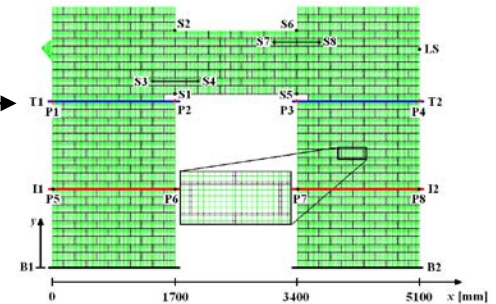


# (1) Analisi ad elementi finiti

## Micro-modellazione

- Simulazioni non lineari mediante DIANA

Monitoraggio delle tensioni normali verticali e tangenziali:  
(a,b) sezioni superiori dei pannelli di maschio

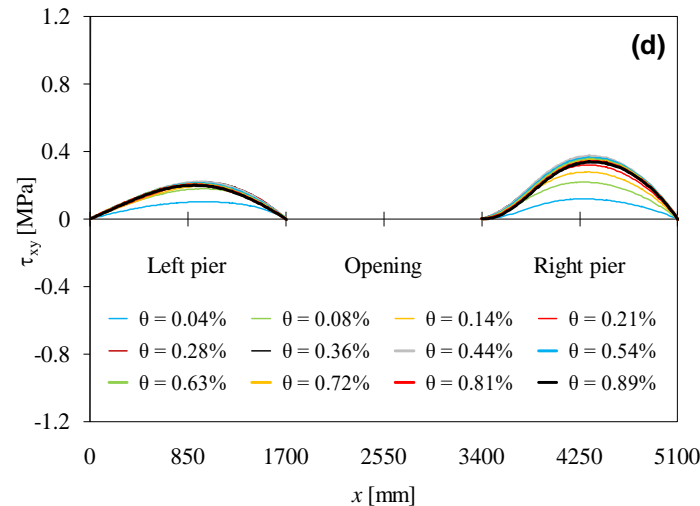
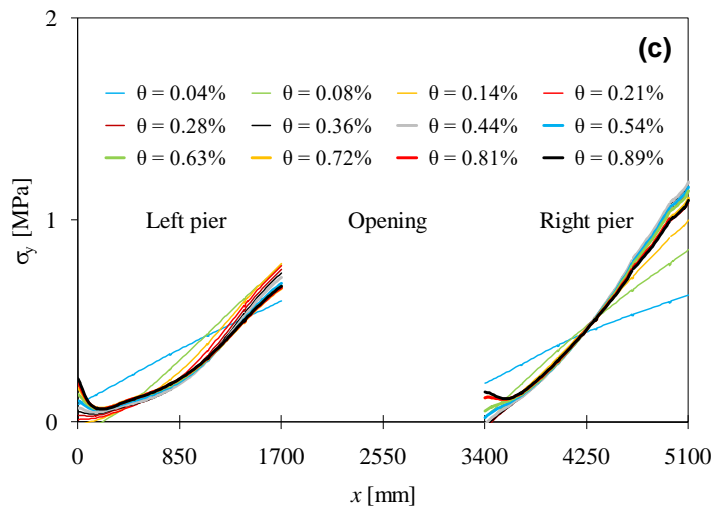
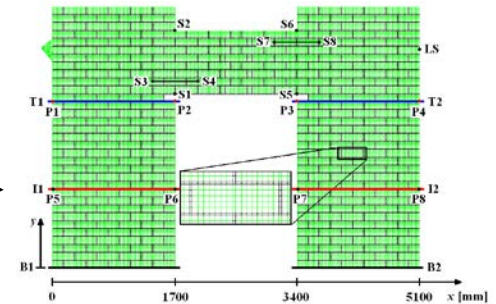


# (1) Analisi ad elementi finiti

## Micro-modellazione

- Simulazioni non lineari mediante DIANA

Monitoraggio delle tensioni normali verticali e tangenziali:  
(c,d) sezioni medie dei pannelli di maschio



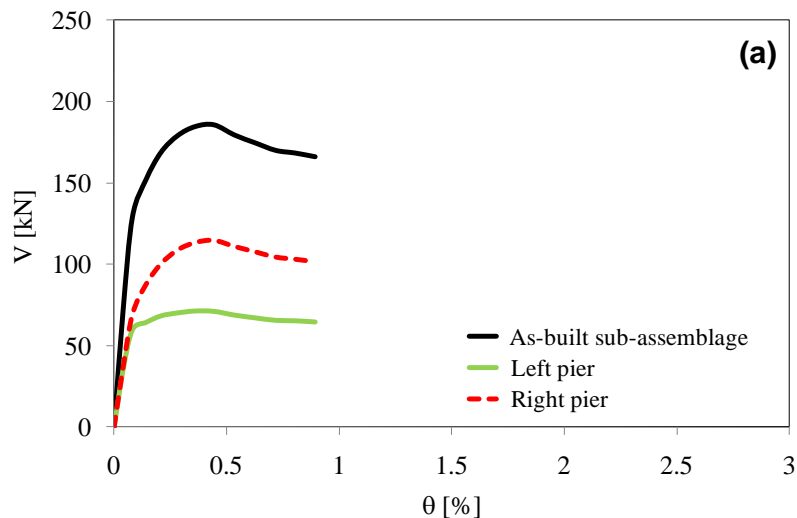
# (1) Analisi ad elementi finiti

## Micro-modellazione

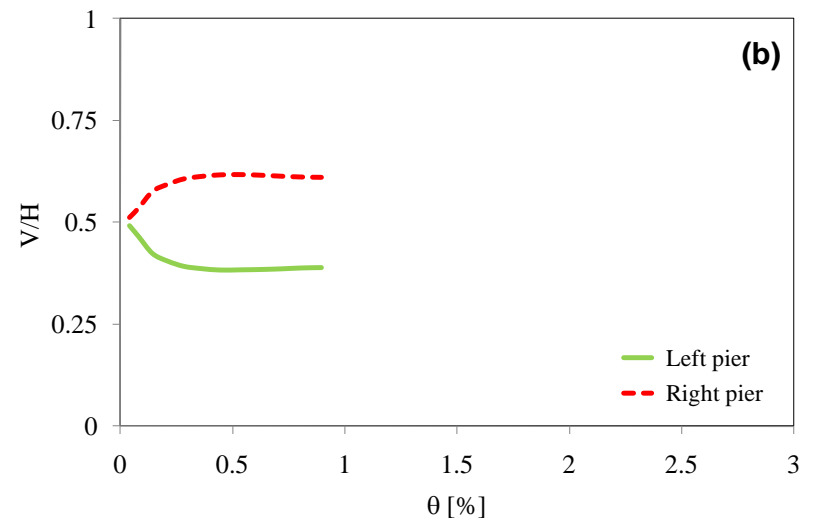
- Simulazioni non lineari mediante DIANA

Integrazione delle tensioni tangenziali all'aumentare del drift  $\theta$

Distribuzione della forza laterale tra i maschi



Tagli sui maschi normalizzati rispetto alla forza



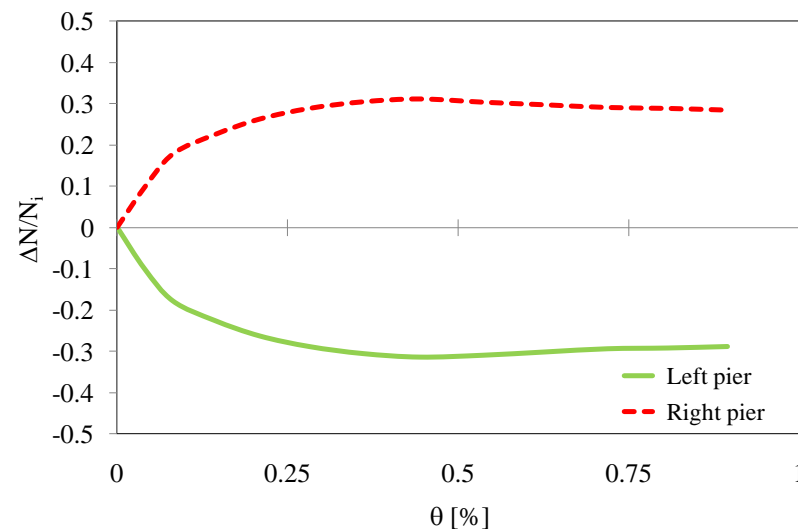
# (1) Analisi ad elementi finiti

## Micro-modellazione

- Simulazioni non lineari mediante DIANA

Integrazione delle tensioni normali all'aumentare del drift  $\theta$

Variazioni di sforzo normale dovute alla forza laterale





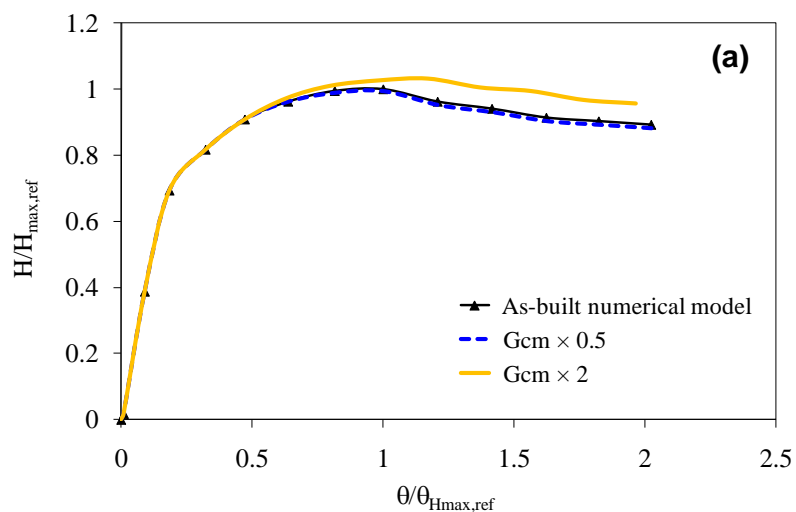
# (1) Analisi ad elementi finiti

## Micro-modellazione

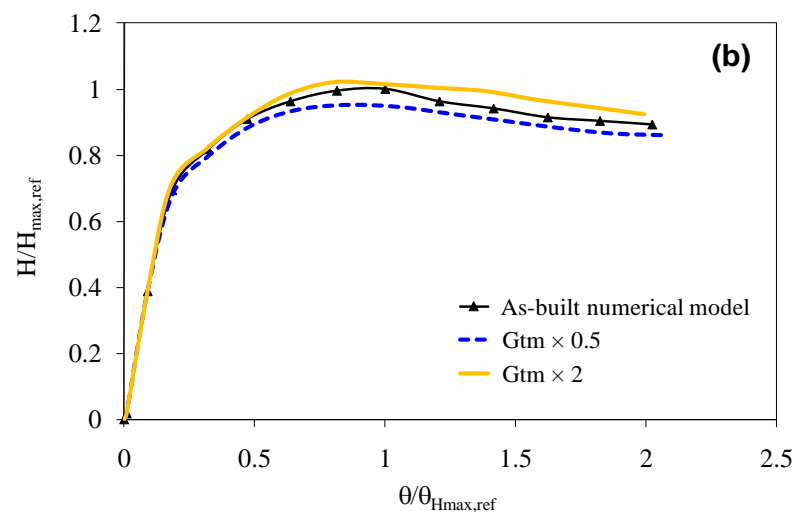
- Simulazioni non lineari mediante DIANA

Influenza delle energie di frattura sulla risposta non lineare

Energia di frattura a compressione

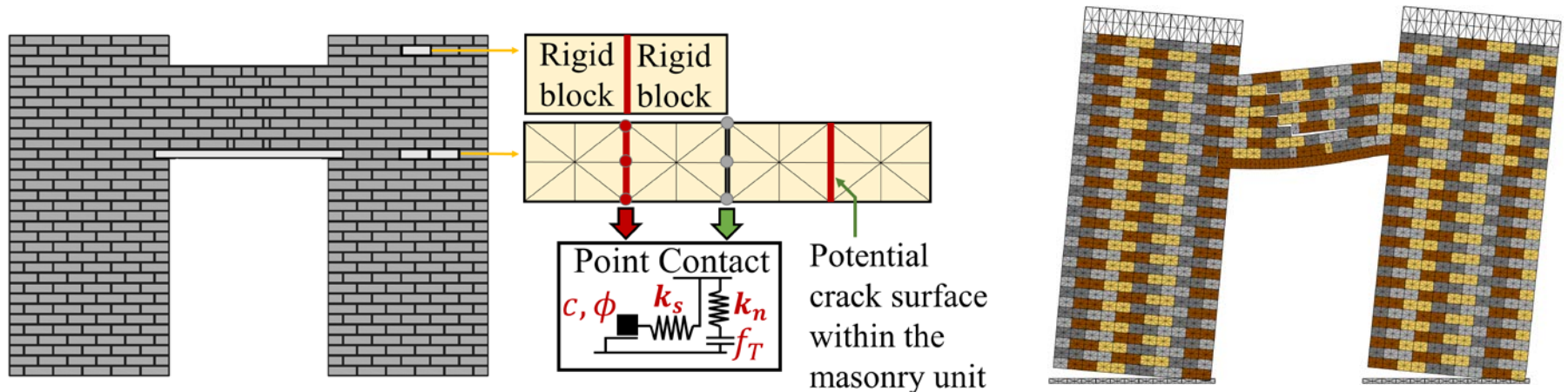


Energia di frattura a trazione



## (2) Analisi ad elementi discreti (3DEC, in progress)

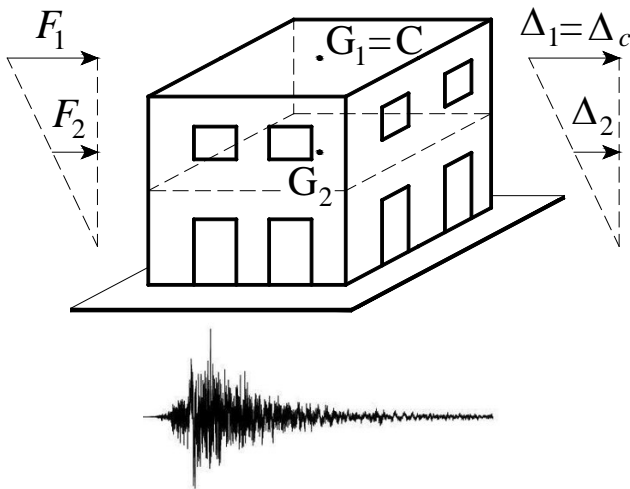
- ✓ Muratura = assemblaggio di blocchi rigidi e superfici di contatto (links) non lineari
- ✓ Risposta dinamica ottenuta per integrazione esplicita delle equazioni del moto
- ✓ Diretta considerazione dei meccanismi di frattura, separazione e impatto nei grandi spostamenti



## (3) Analisi alle differenze finite

Studio dell'interazione sismica terreno-struttura in FLAC

- Effetti di suolo deformabile, fondazioni interrate e cavità ipogee



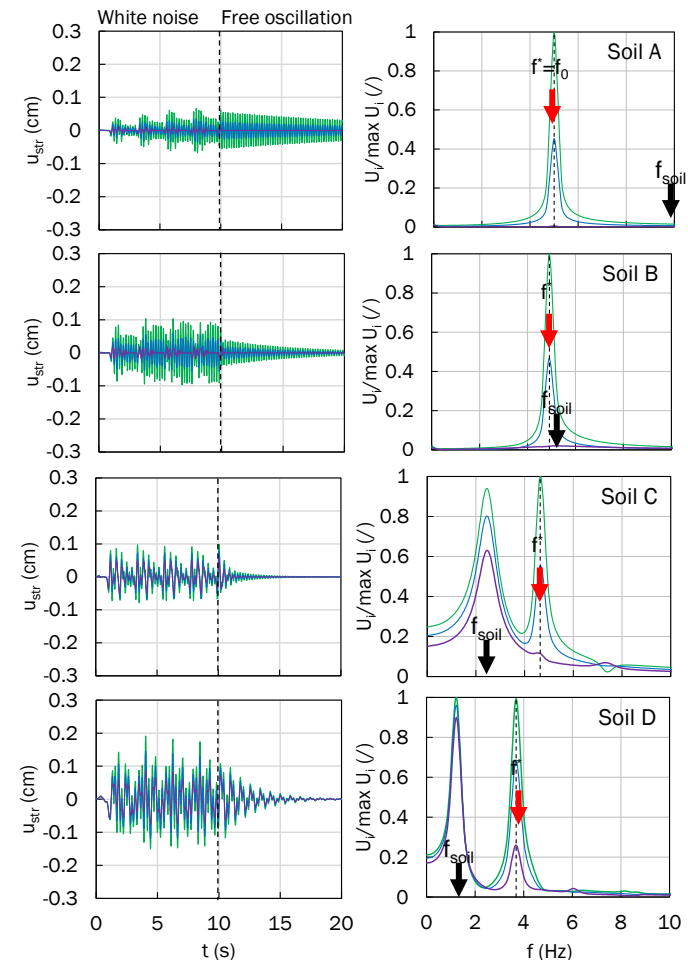
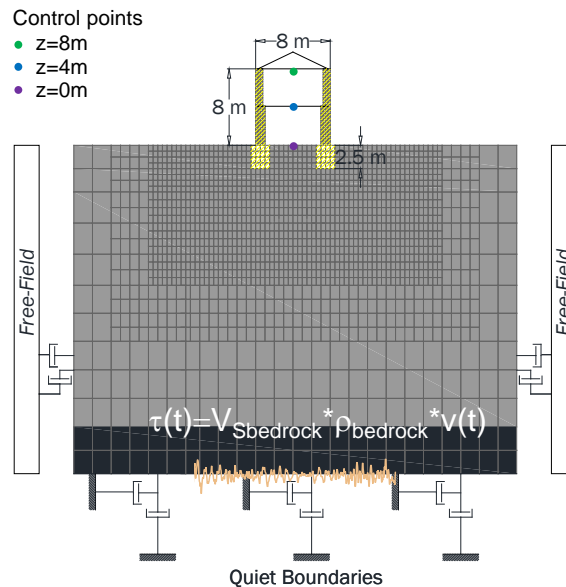
**Focus sulla vulnerabilità  
verso meccanismi fuori piano**



# (3) Analisi alle differenze finite

## Interazione sismica terreno-struttura

Analisi dinamiche lineari: valutazione della riduzione di frequenza fondamentale e dell'aumento di smorzamento

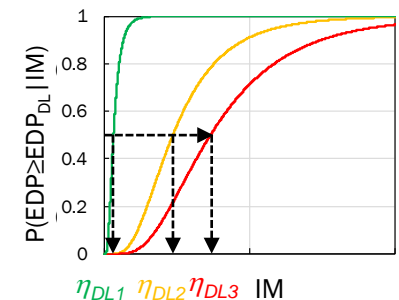
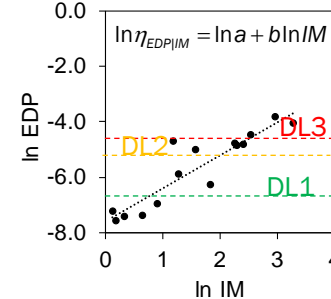
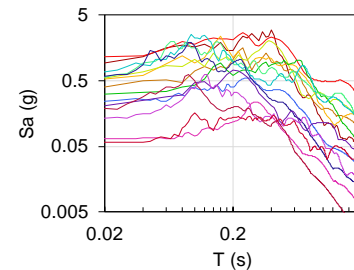
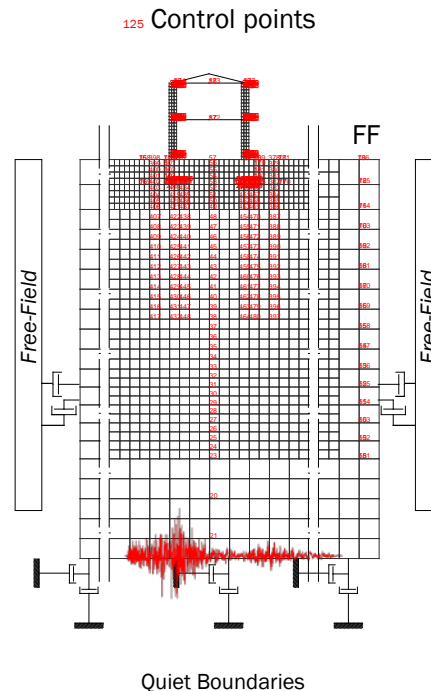
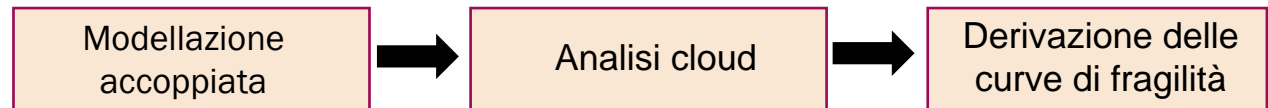


Piro A., de Silva F., Parisi F., Scotto di Santolo A., Silvestri F. (2020). *Effects of soil-foundation-structure interaction on fundamental frequency and radiation damping ratio of historical masonry building sub-structures*. Bulletin of Earthquake Engineering, 18(4), 1187–1212

# (3) Analisi alle differenze finite

## Interazione sismica terreno-struttura

Analisi dinamiche non lineari:  
comportamento sismico e  
fragilità suolo-dipendente



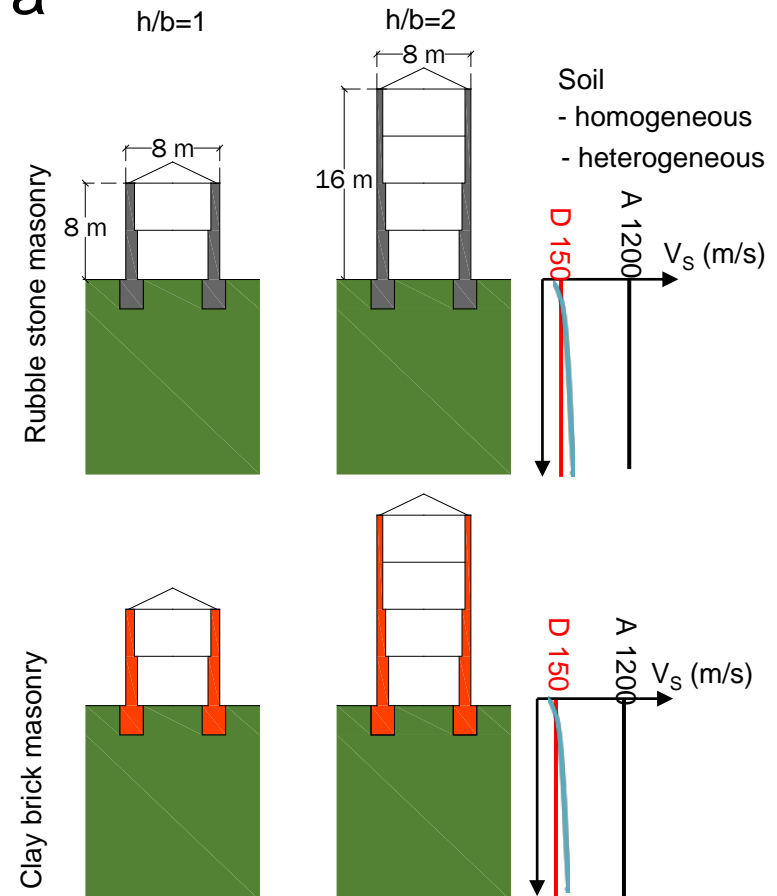
$$\beta_{EDP|IM} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [\ln(edp_i) - \ln(aim_i^b)]^2}{N-2}}$$

# (3) Analisi alle differenze finite

## Interazione sismica terreno-struttura

Definizione dei casi studio:

- Due tipologie murarie (pietrame, mattoni pieni)
- Due altezze di edificio (2 e 4 piani)
- Due modellazioni di sottosuolo (omogeneo ed eterogeneo)

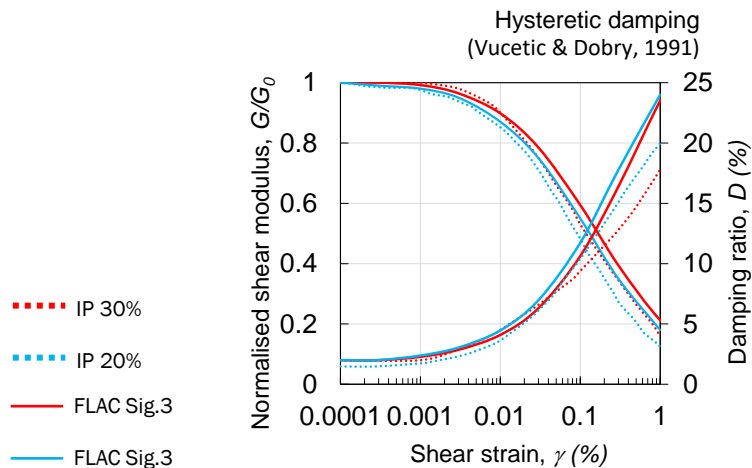




# (3) Analisi alle differenze finite

## Interazione sismica terreno-struttura

Definizione del comportamento non lineare e delle proprietà meccaniche



Physical and mechanical properties of soil and structure

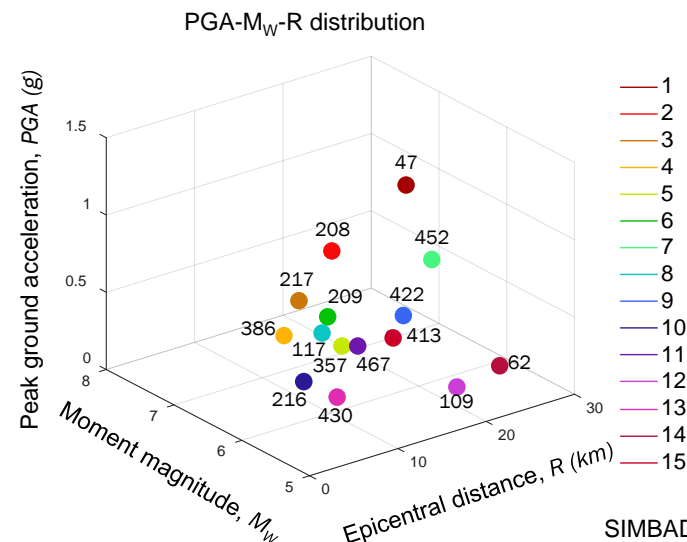
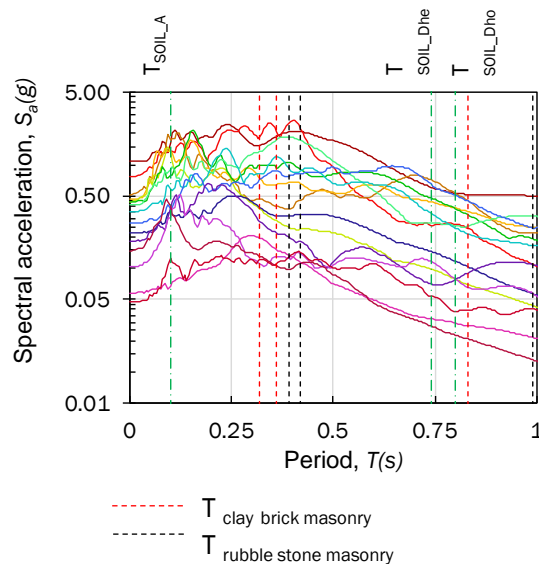
	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$G_0$ (MPa)	$E$ (MPa)	$V_s$ (m/s)	$c_u$ (MPa)	Constitutive model
Soil A	22	3170	7603	1200	-	EL
Soil $D_{ho}$	16	36	107	150	0.10	EPP (T)
Soil $D_{he}^*$	16	16 60	0.49	100 191	0.01 0.07	EPP (T)
Rubble stone	19**	290**	870**	-	-	EPP (M-C)
Clay brick	18**	500**	1500**	-	-	EPP (M-C)

# (3) Analisi alle differenze finite

## Interazione sismica terreno-struttura

Selezione degli accelerogrammi

- Ampio range di  $S_a(T^*)$ , i.e. [0.01g, 3g], per valutare l'influenza delle non linearità fino al collasso
- Segnali accelerometrici registrati in eventi sismici differenti
- Stazioni su suoli A e B ( $V_{S30} > 500$  m/s)



# (3) Analisi alle differenze finite

## Interazione sismica terreno-struttura

Misure d'intensità considerate

<b>Misure di picco</b>	<b>PGD:</b> Spostamento di picco al suolo	
	<b>PGV:</b> Velocità di picco al suolo	
	<b>PGA:</b> Accelerazione di picco al suolo	
<b>Misure spettrali</b>	<b><math>S_a(T^*)</math>:</b> Accelerazione spettrale fondamentale	
	<b><math>S_{a,avg}</math>:</b> Accelerazione spettrale media	$S_{a,avg} = \sqrt{S_a(T^*)S_a(1.5T^*)}$
	<b><math>S_d(T^*)</math>:</b> Spostamento spettrale fondamentale	
<b>Misure integrali</b>	<b><math>I_{sa}</math>:</b> Integrale dell'accelerazione spettrale	$I_{sa} = \int_{T_1}^{T_2} S_a(T) dT$
	<b><math>I_H</math>:</b> Integrale della velocità spettrale	$I_H = \int_{T_1}^{T_2} S_v(T) dT$

## (3) Analisi alle differenze finite

### Interazione sismica terreno-struttura

Livelli di danno (definiti come aliquota di IDR ultimo):

$$IDR_u = \frac{s}{2h}$$

EDP: maximum inter-storey *drift* ratio (MIDR)

$$MIDR = \max [IDR_{j+1}; IDR_j]$$

**DL1:** formazione di lesioni di trazione alla base

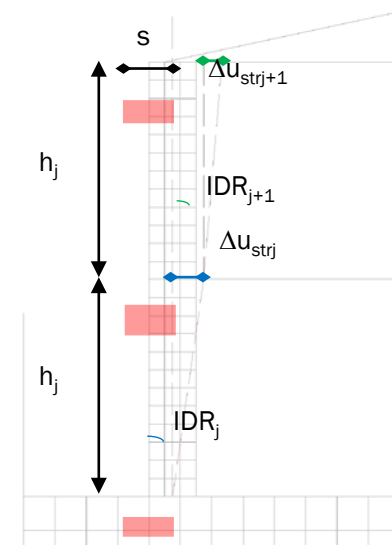
$$IDR_{DL1} = IDR(\sigma = \sigma_t)$$

**DL2:** attivazione del *rocking*

$$IDR_{DL2} = 0.25IDR_u$$

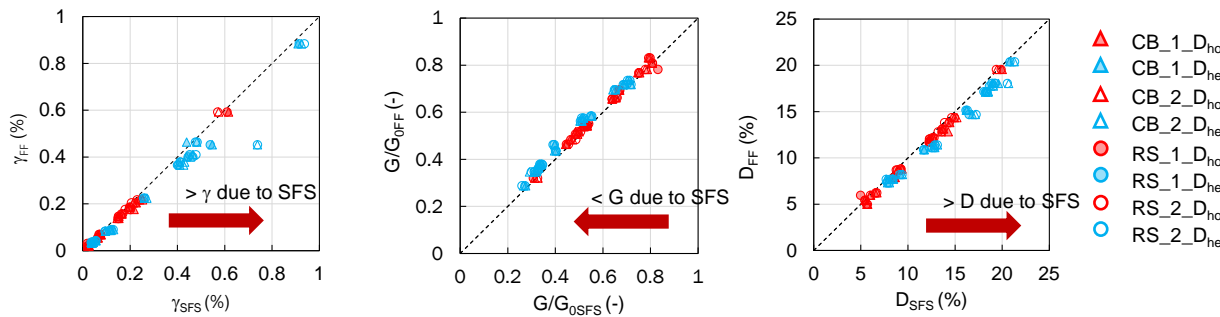
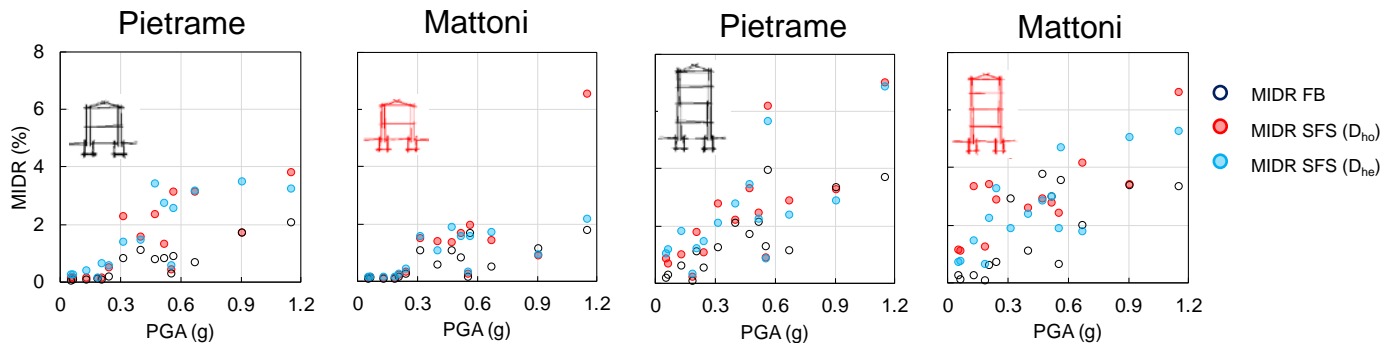
**DL3:** incipiente collasso per ribaltamento

$$IDR_{DL3} = 0.4IDR_u$$



# (3) Analisi alle differenze finite

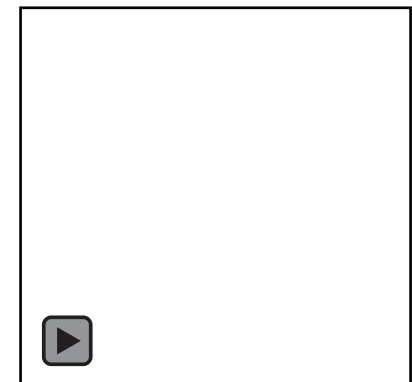
## Interazione sismica terreno-struttura



Suolo omogeneo



Suolo eterogeneo



L'interazione produce scorrimenti maggiori e dunque un incremento di smorzamento, oltre che drift massimi più grandi nella struttura.

In media, il modello omogeneo causa drift minori, per cui non è conservativo.

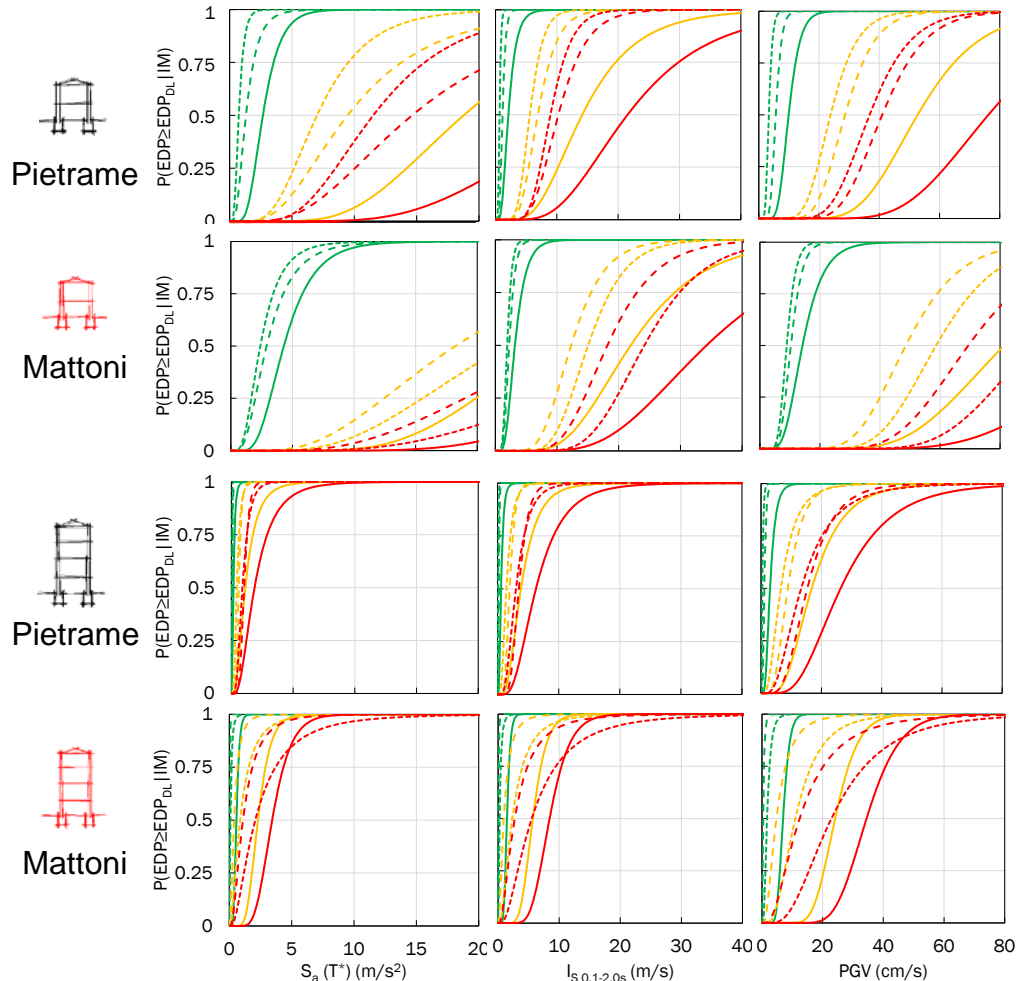
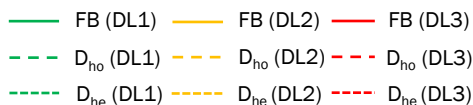
# (3) Analisi alle differenze finite

## Curve di fragilità suolo-dipendenti

L'interazione sposta verso sinistra le curve di fragilità, indicando un aumento di vulnerabilità.

Il modello di suolo eterogeneo riduce la fragilità strutturale, grazie alla plasticizzazione del terreno.

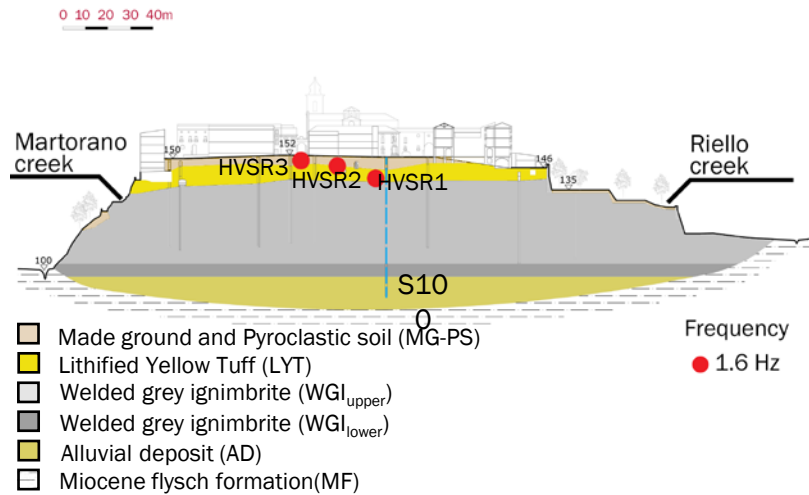
Le curve confermano una maggiore fragilità per la muratura di pietra e per l'edificio a 4 piani.





## (3) Analisi alle differenze finite

Applicazioni ad edifici storici: il caso di Sant'Agata de' Goti



Seminario

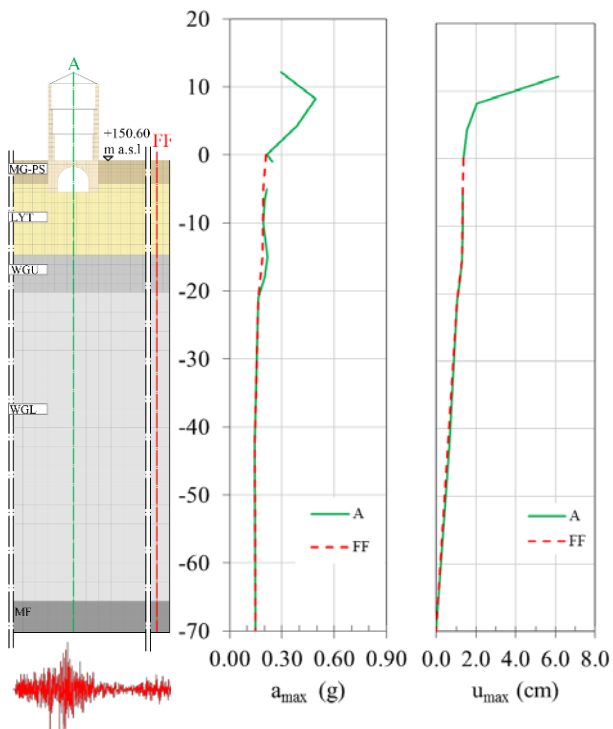


Palazzo Cervo

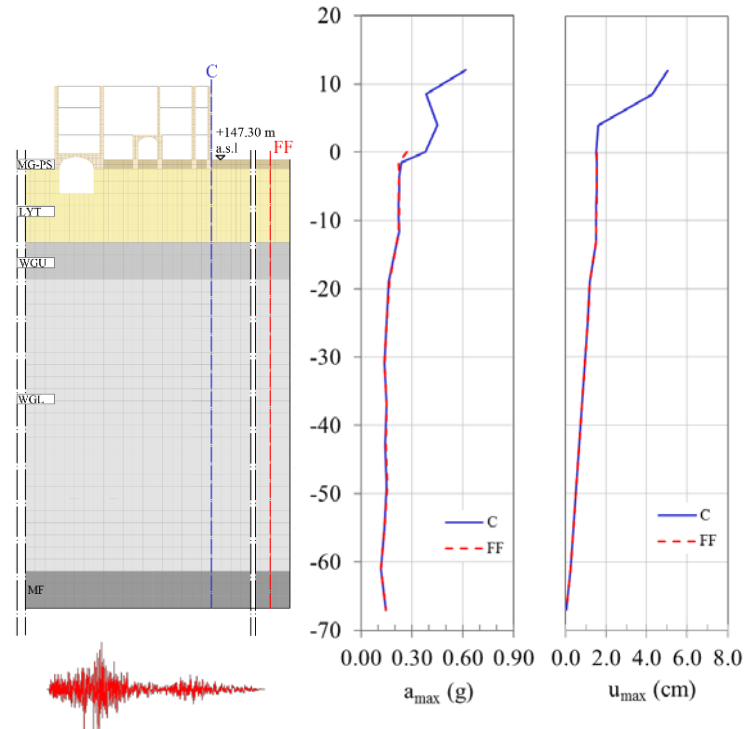
# (3) Analisi alle differenze finite

Applicazioni ad edifici storici: il caso di Sant'Agata de' Goti

Seminario

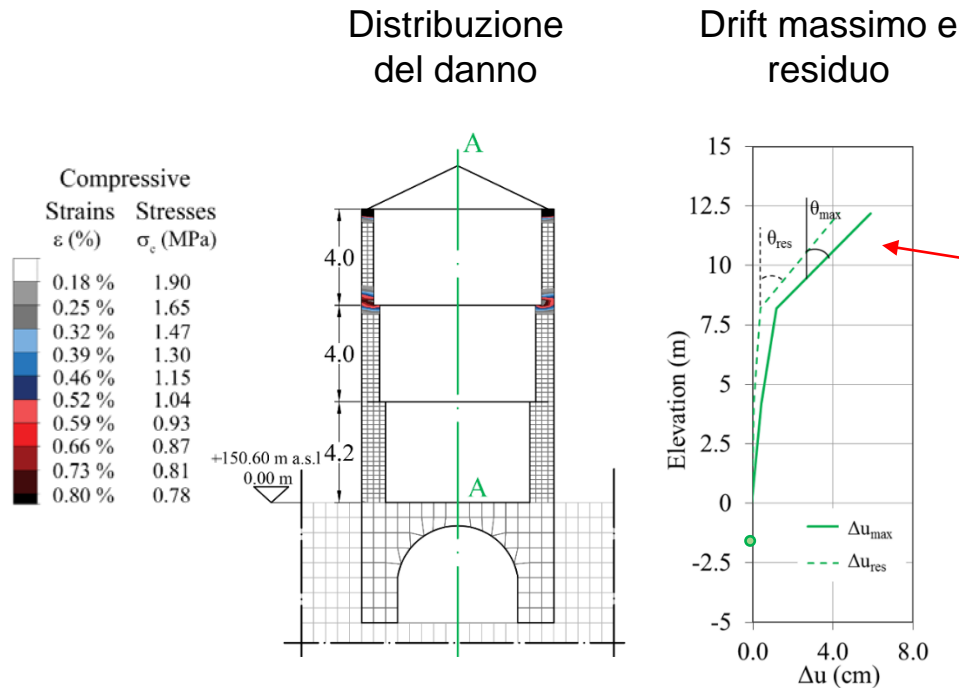


Palazzo Cervo



# (3) Analisi alle differenze finite

Applicazioni ad edifici storici: il caso di Sant'Agata de' Goti



Effetto negativo di coperture pesanti,  
come mostrato dall'osservazione dei  
danni post-terremoto

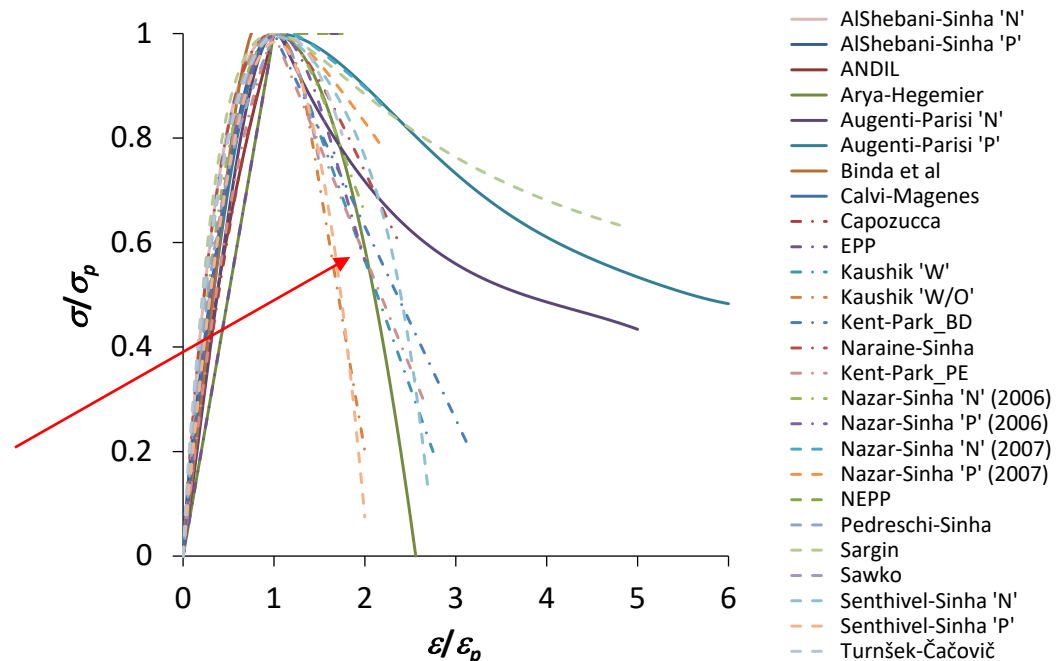
## (4) Analisi a macro-elementi

Recenti sviluppi basati su modelli non lineari

➤ Analisi multi-scala dalla sezione trasversale alla parete

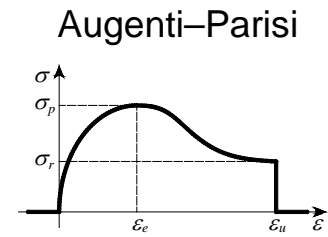
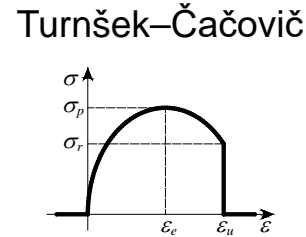
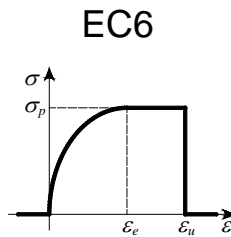
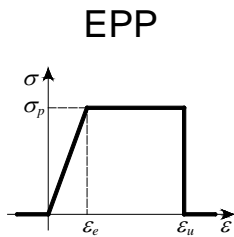
Legami disponibili in letteratura  
per la muratura in compressione

Grande variabilità  
specialmente in fase  
di softening post-picco

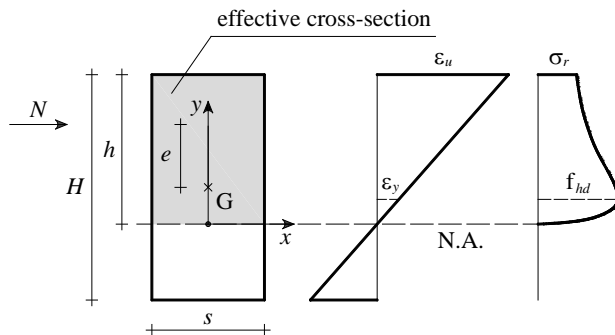


# (4) Analisi a macro-elementi

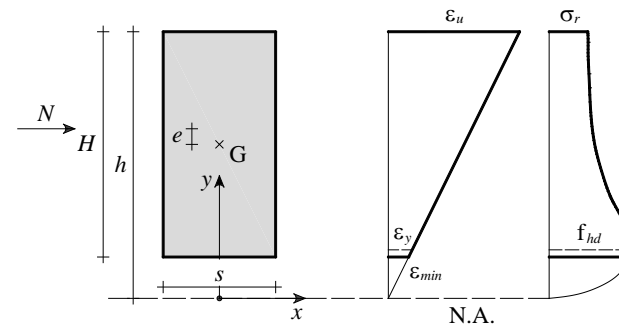
Legami  $\sigma$ - $\varepsilon$  e condizioni sezionali esaminate



Bassa compressione e grande curvatura

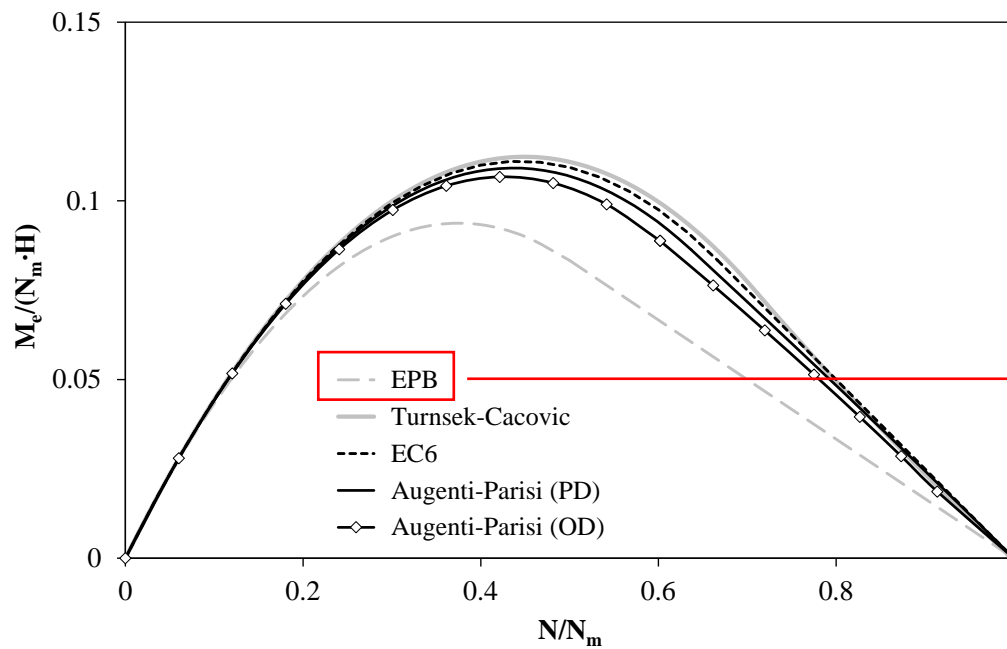


Alta compressione e piccola curvatura



## (4) Analisi a macro-elementi

### Domini di interazione allo SLE

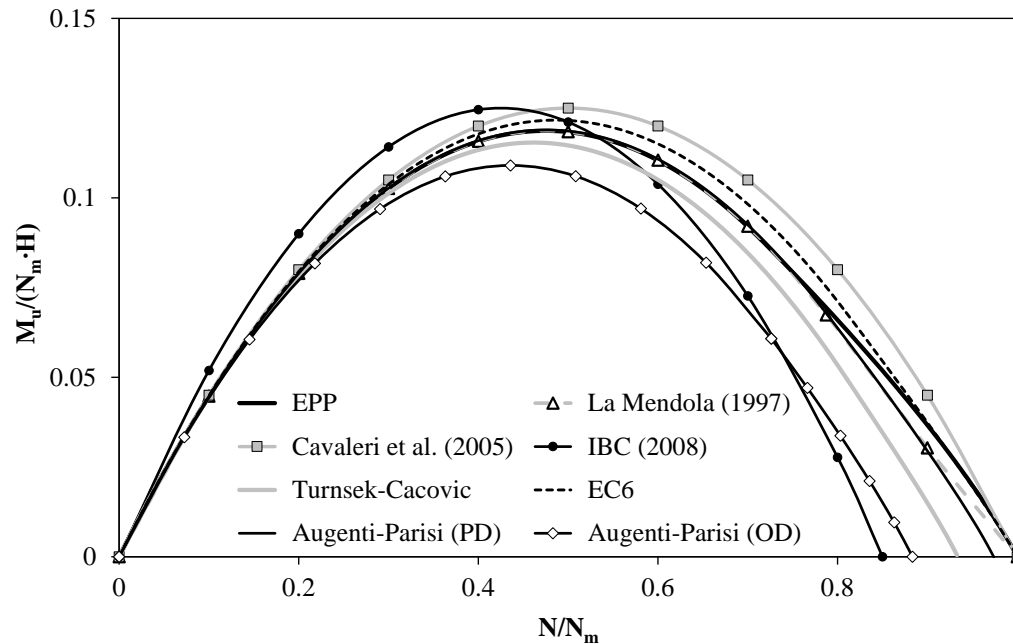


Più conservativo e  
generante un  
dominio diverso



## (4) Analisi a macro-elementi

### Domini di interazione allo SLU



I domini corrispondenti  
ad una duttilità  $\mu_c = 1.75$   
forniscono stime diverse  
di momento ultimo

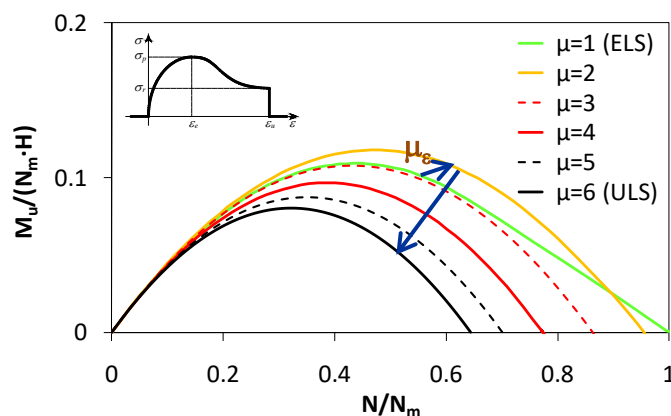


Influenza significativa  
del modello costitutivo

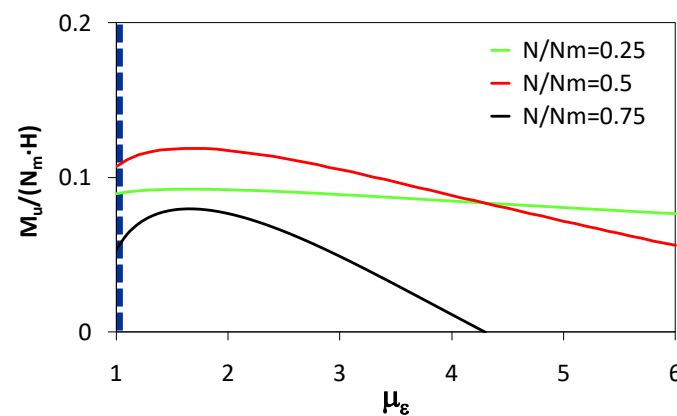
## (4) Analisi a macro-elementi

### Domini di interazione evolutivi

Domini corrispondenti a livelli di duttilità differenti



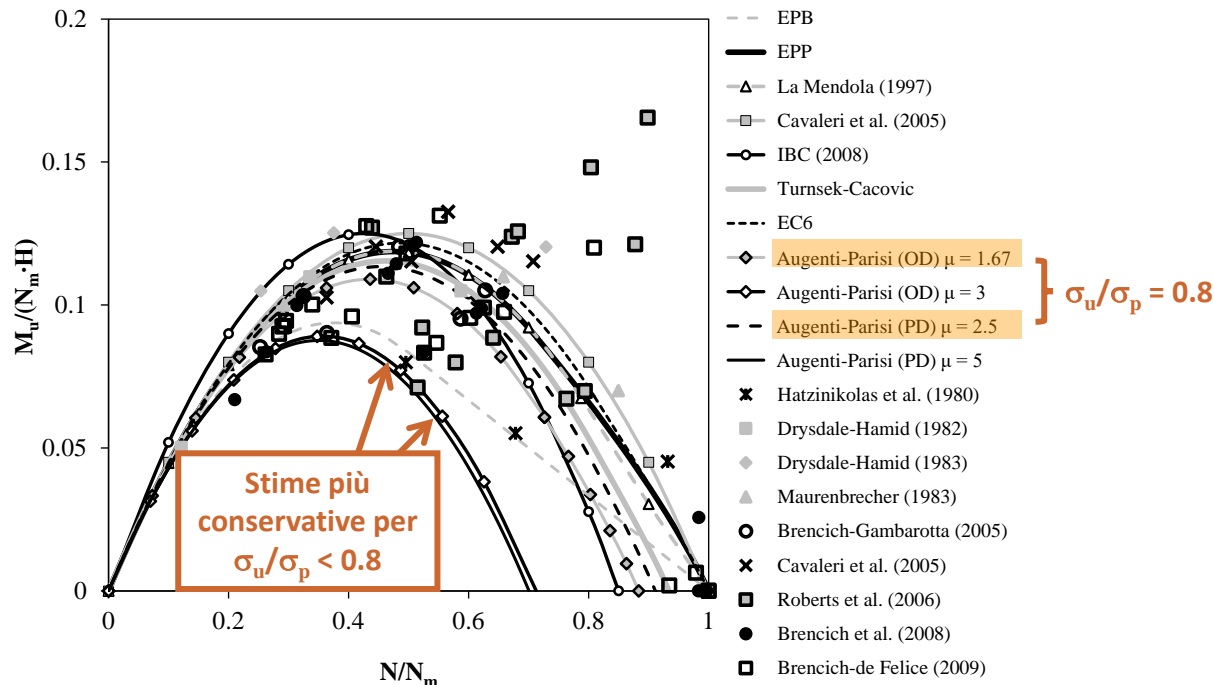
Momento ultimo al variare della duttilità



Influenza significativa del softening

## (4) Analisi a macro-elementi

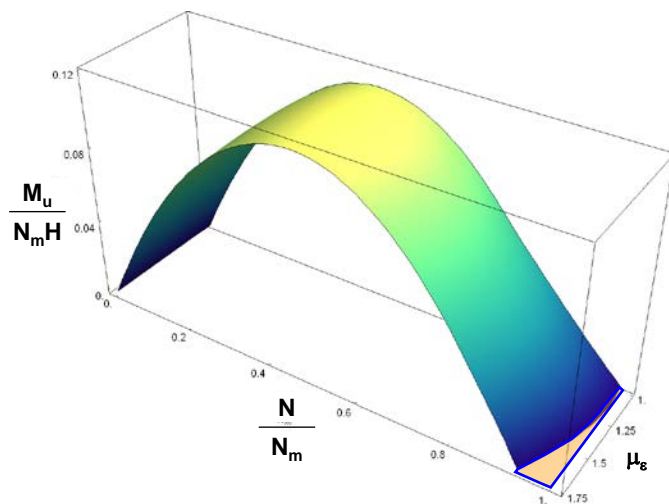
Confronto tra domini di interazione e dati di prove di compressione eccentrica



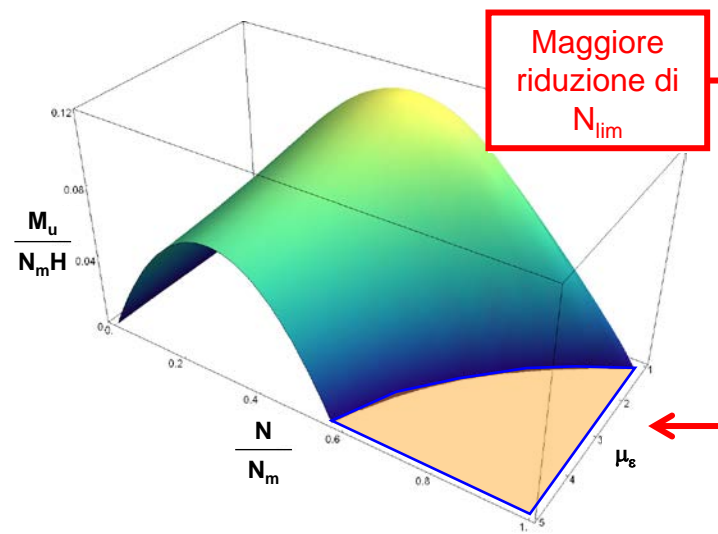
## (4) Analisi a macro-elementi

Domini di interazione evolutivi

Turnšek-Čačovič



Augenti-Parisi

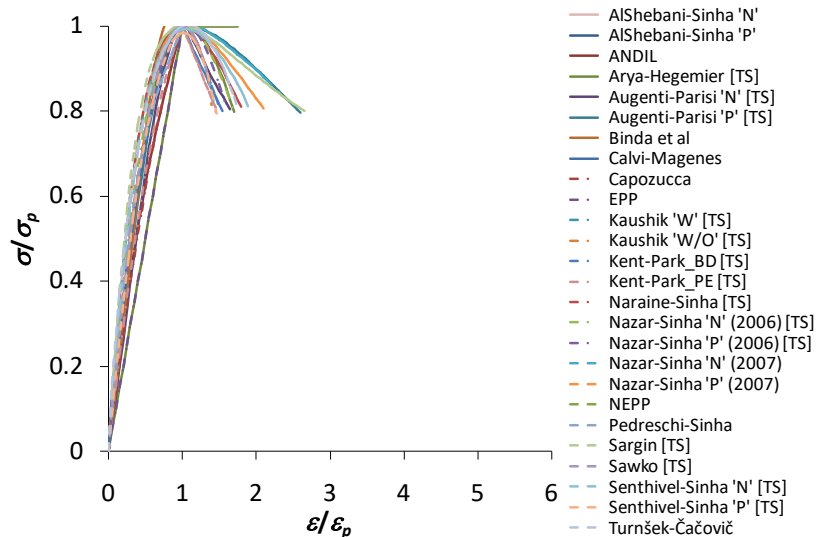


La capacità flessionale degrada all'aumentare dell'impegno deformativo in campo plastico

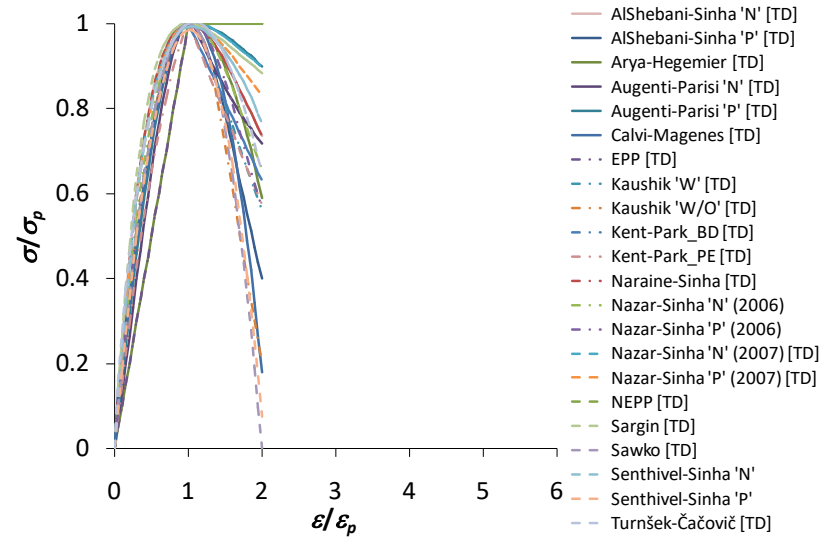
# (4) Analisi a macro-elementi

## Legami momento–curvatura

Legami  $\sigma$ – $\varepsilon$  troncati al 20% di degrado



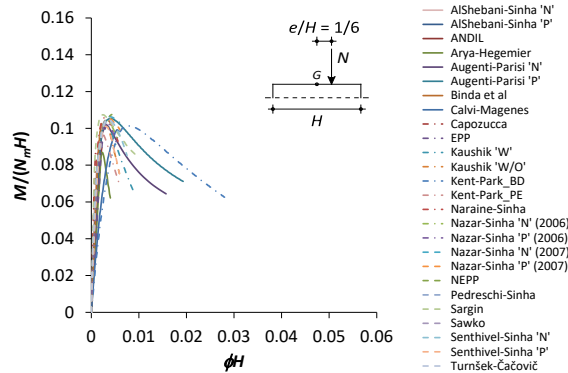
Legami  $\sigma$ – $\varepsilon$  troncati ad un valore di duttilità



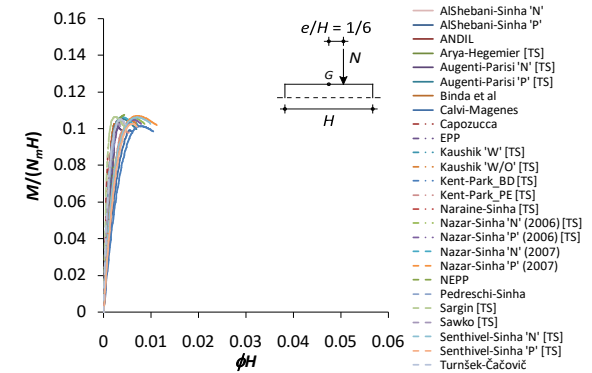
# (4) Analisi a macro-elementi

## Legami momento–curvatura (caso $e/H = 1/6$ )

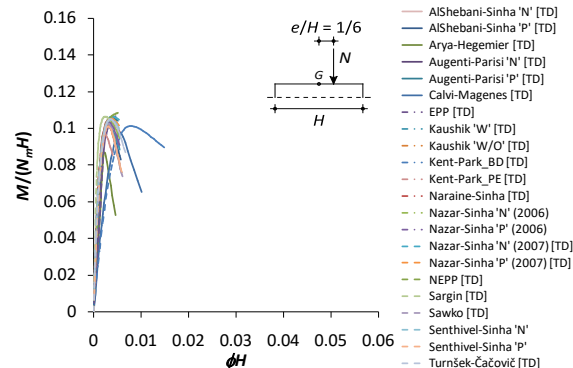
Effetto dei legami  $\sigma-\varepsilon$  completi



Effetto dei legami  $\sigma-\varepsilon$  troncati al 20% di degrado



Effetto dei legami  $\sigma-\varepsilon$  troncati a un livello di duttilità



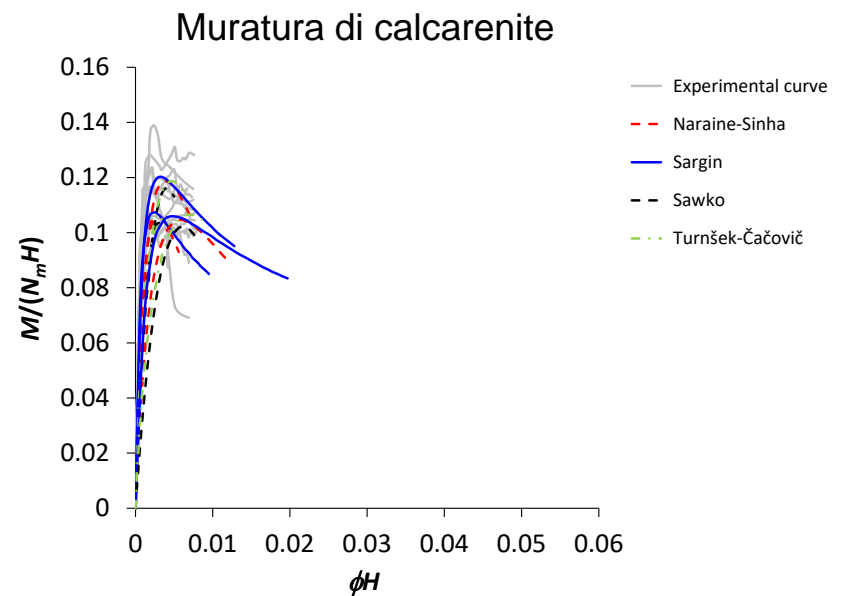
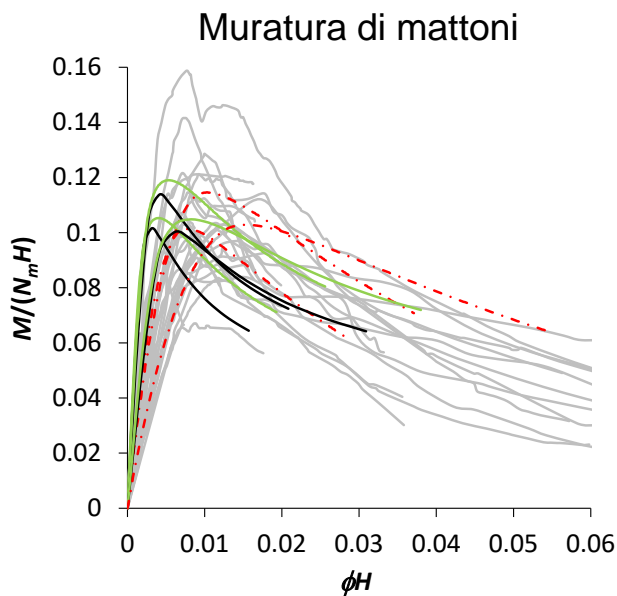
**Comportamento post-picco molto dipendente dal criterio di troncamento**



# (4) Analisi a macro-elementi

## Legami momento–curvatura

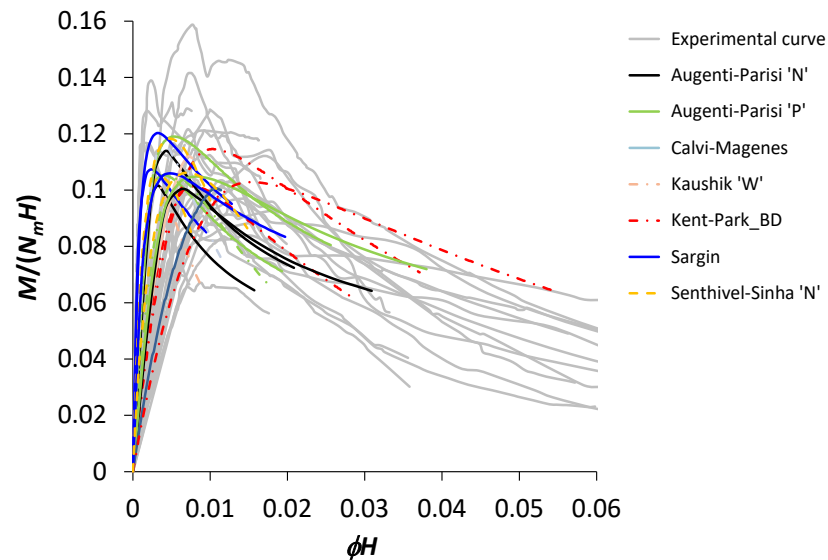
Individuazione dei legami  $\sigma$ – $\varepsilon$  che consentono la migliore simulazione dei diagrammi momento–curvatura sperimentali relativi a specifiche tipologie murarie



## (4) Analisi a macro-elementi

### Legami momento–curvatura

Individuazione dei legami  $\sigma$ – $\varepsilon$  che consentono la migliore simulazione dei diagrammi momento–curvatura sperimentali (dati aggregati)

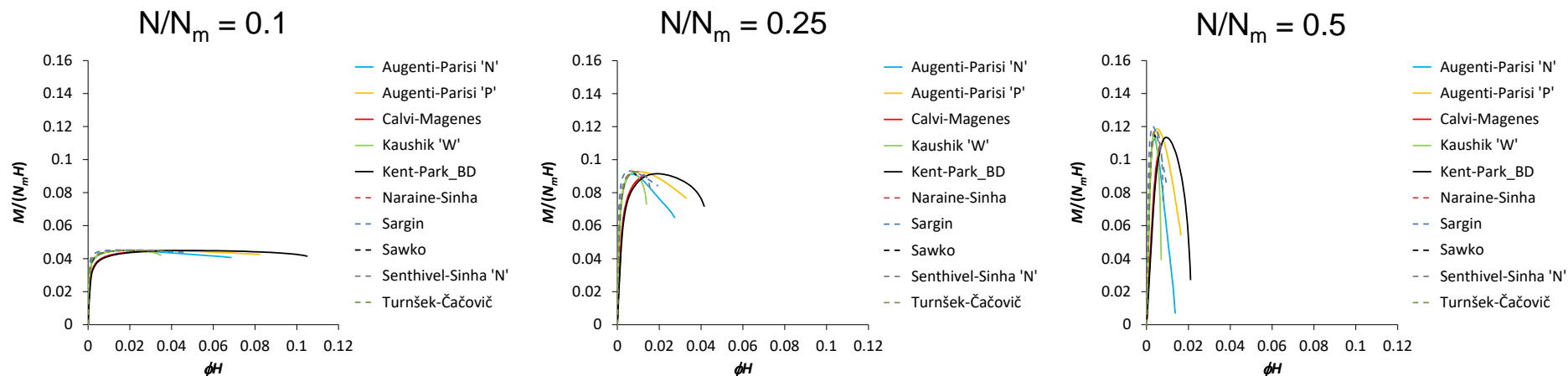


## (4) Analisi a macro-elementi

Recenti sviluppi basati su integrazione diretta

➤ Legami momento–curvatura: influenza dello sforzo normale

Capacità di riprodurre l'effetto crescente del softening con lo sforzo normale applicato (aspetto importante soprattutto nel caso di costruzioni esistenti)



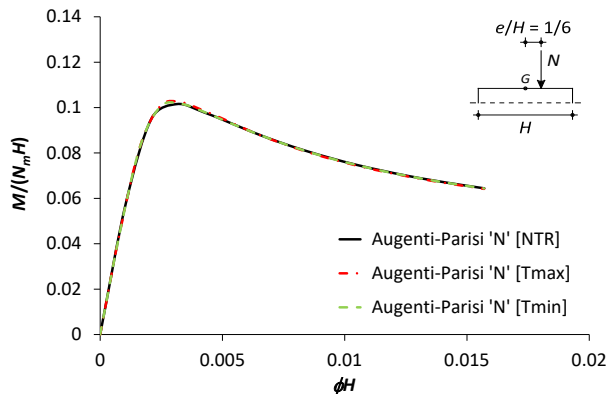
## (4) Analisi a macro-elementi

Recenti sviluppi basati su integrazione diretta

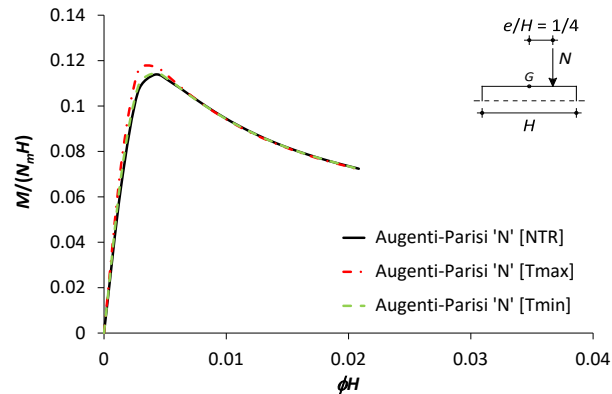
- Legami momento–curvatura: influenza della resistenza a trazione (ipotesi di legame elastico lineare e softening lineare)

Influenza sulla rigidezza flessionale e sulla resistenza di picco (specialmente ad alti livelli di eccentricità dello sforzo normale)

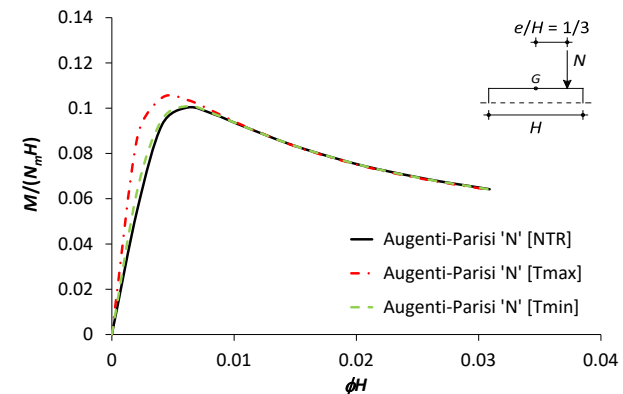
$e/H = 1/6$



$e/H = 1/4$



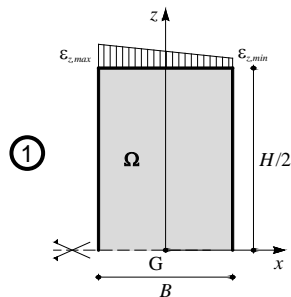
$e/H = 1/3$



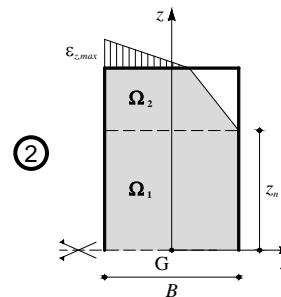
# (4) Analisi a macro-elementi

## Legame taglio–spostamento laterale

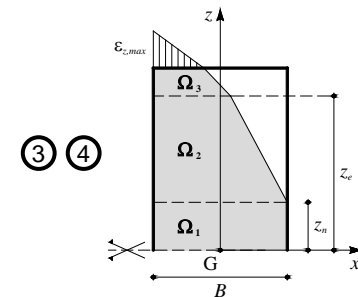
Range elastico non lineare



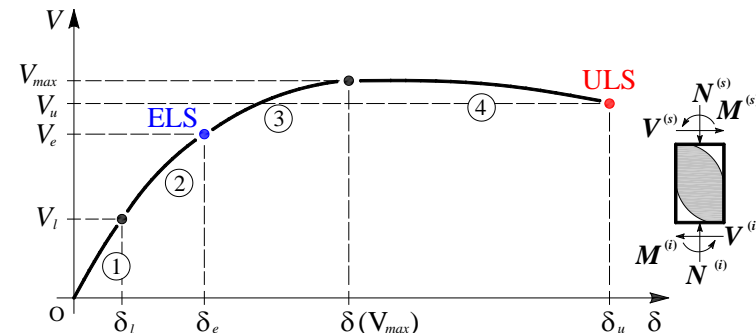
Range elastico fessurato



Range elasto-plastico

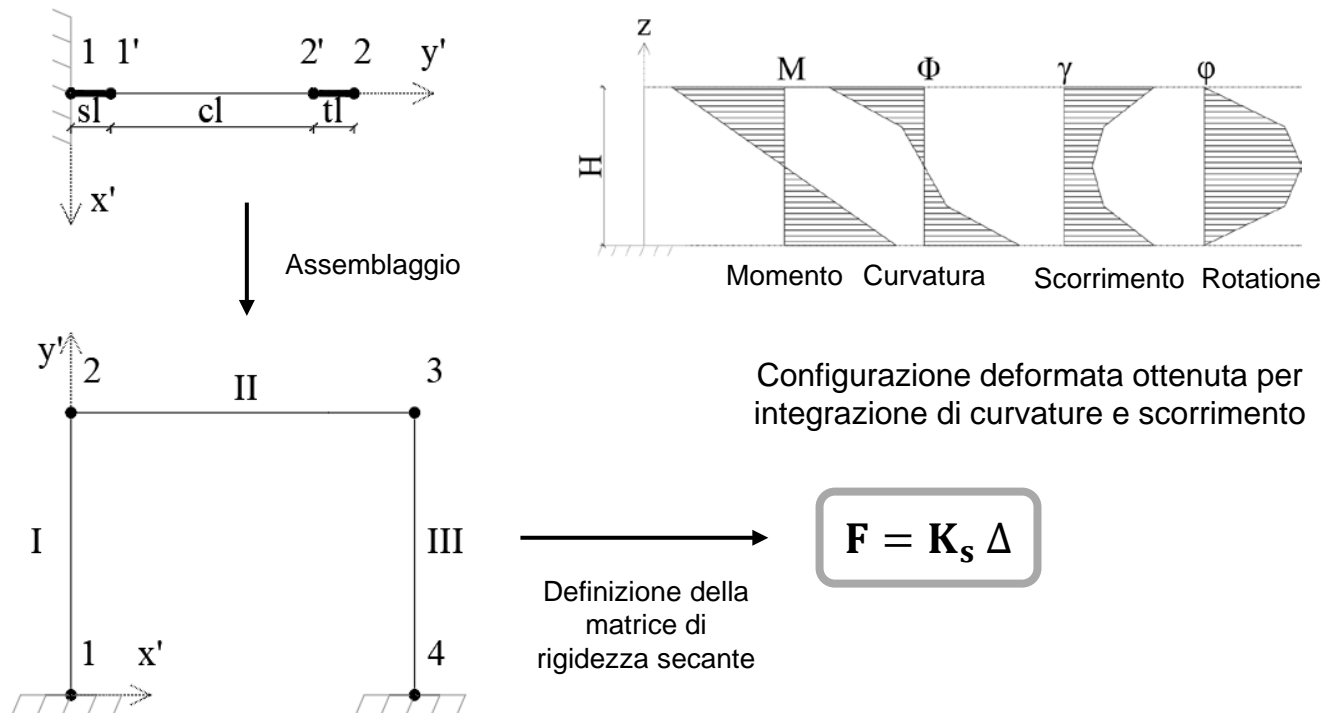


Comportamento ottenuto per integrazione numerica al passo dei legami costitutivi, delle tensioni e delle deformazioni



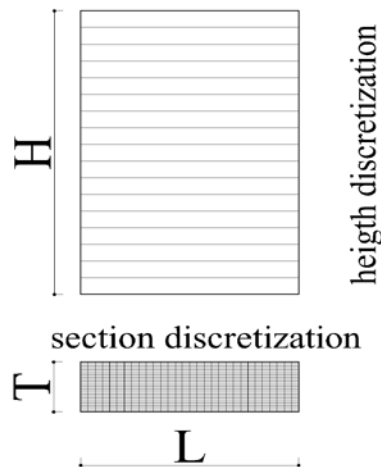
## (4) Analisi a macro-elementi

Recenti sviluppi basati su modellazione a fibre



# (4) Analisi a macro-elementi

## Ipotesi di base



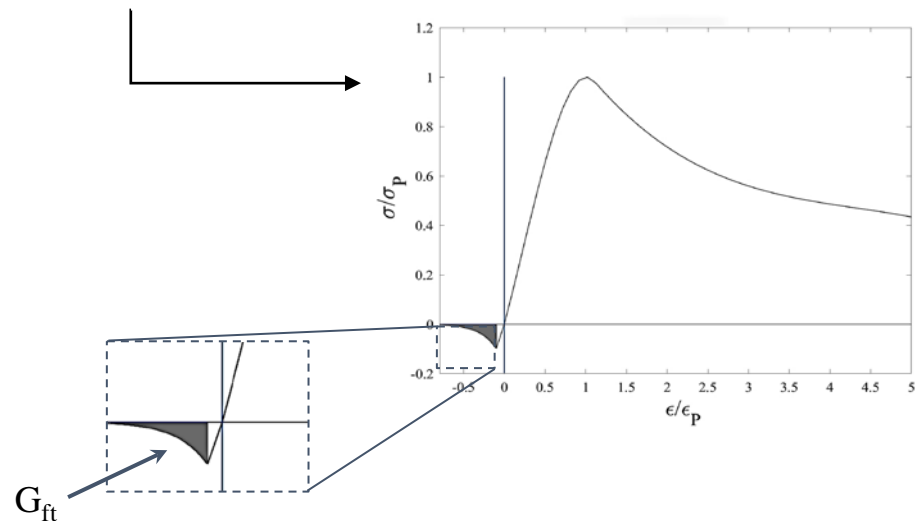
- **Comportamento a trazione**
  - Elastico lineare fino a  $f_t$
  - Softening esponenziale controllato dall'energia di frattura  $G_{ft}$

### Analisi di sensibilità rispetto alla mesh

- Discretizzazione in 30x30 fibre
- Sezioni multiple di integrazione ( $\geq 5$ ) lungo l'altezza  $H$

### Modellazione della muratura

- Comportamento a compressione: modello Augenti-Parisi

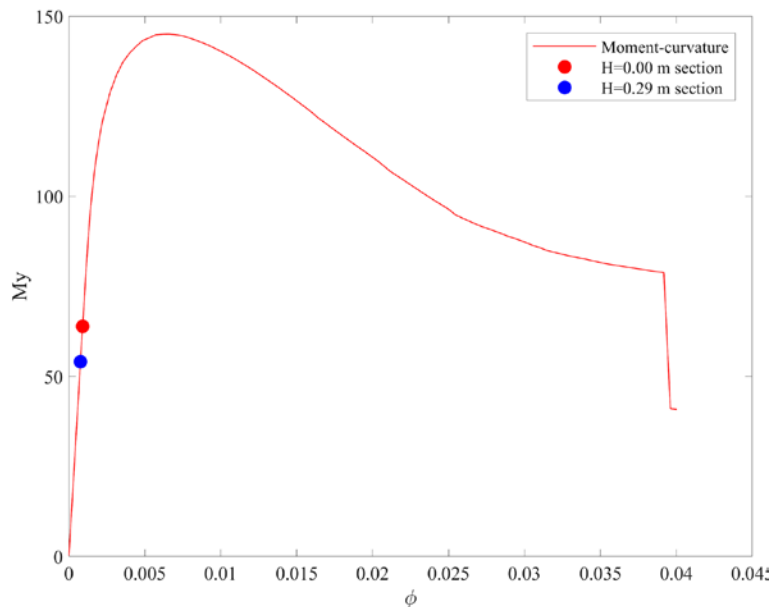




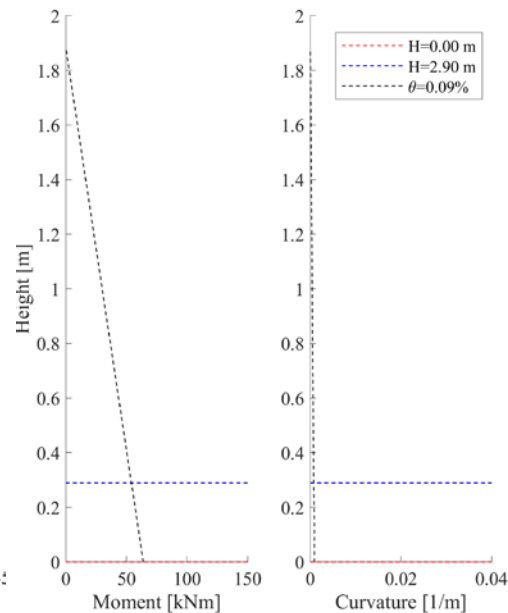
# (4) Analisi a macro-elementi

## Modellazione del comportamento flessionale

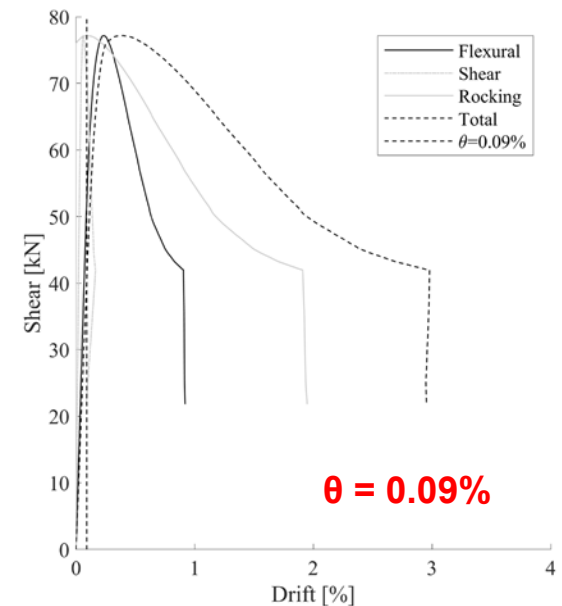
Diagramma momento-curvatura



Profili di momento e curvatura



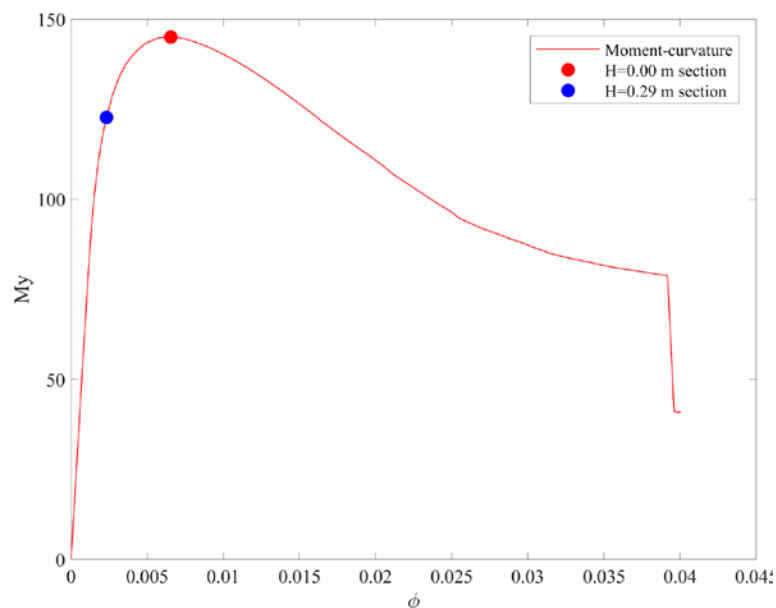
Curva taglio-drift



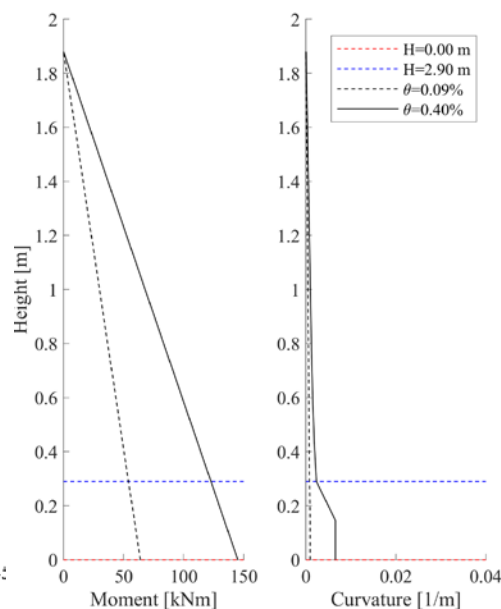
# (4) Analisi a macro-elementi

## Modellazione del comportamento flessionale

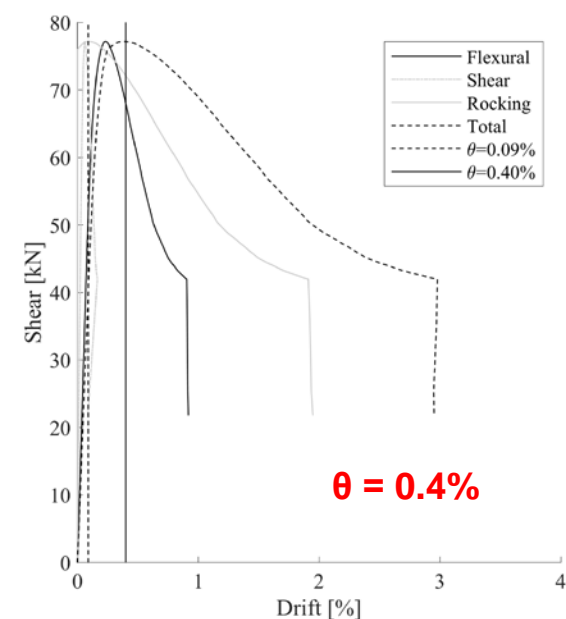
Diagramma momento-curvatura



Profili di momento e curvatura



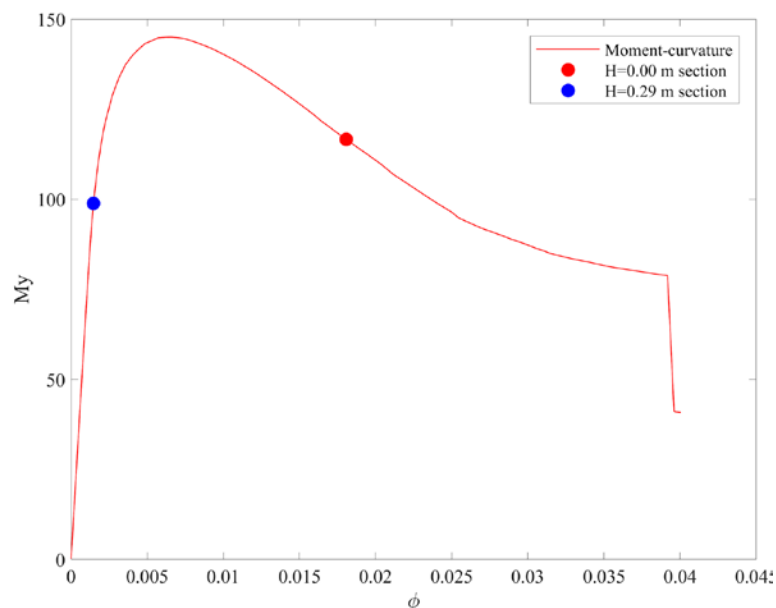
Curva taglio-drift



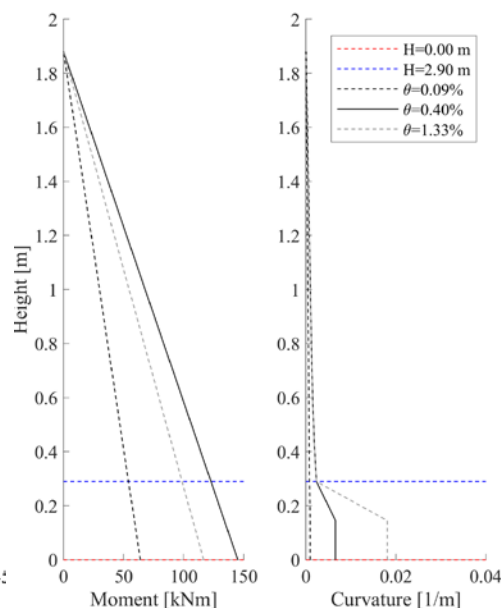
# (4) Analisi a macro-elementi

## Modellazione del comportamento flessionale

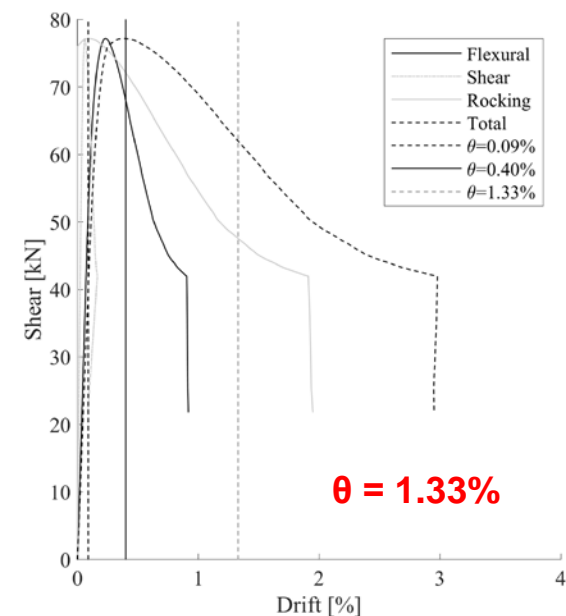
Diagramma momento-curvatura



Profili di momento e curvatura



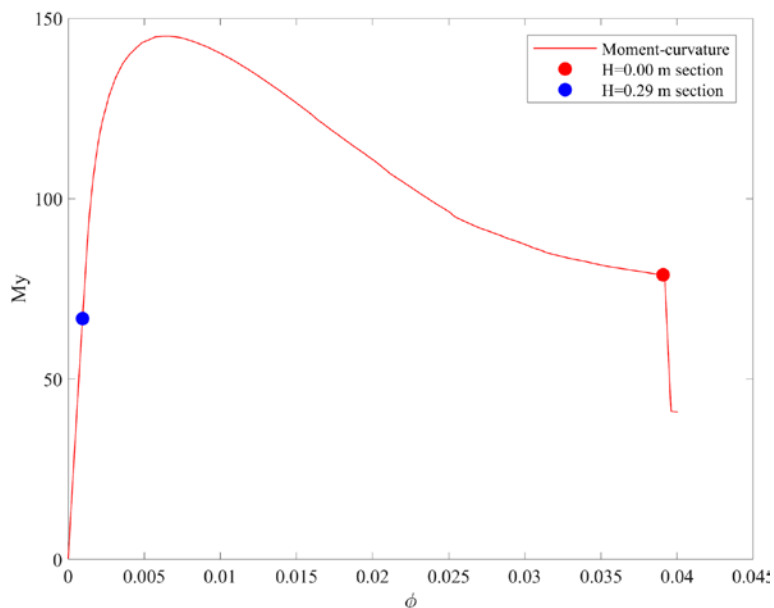
Curva taglio-drift



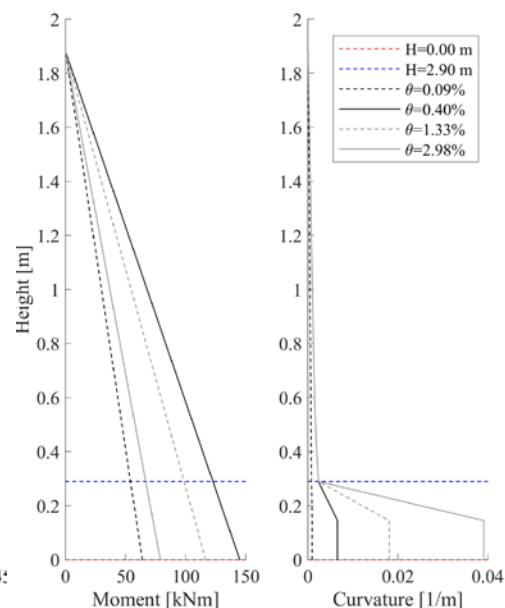
# (4) Analisi a macro-elementi

## Modellazione del comportamento flessionale

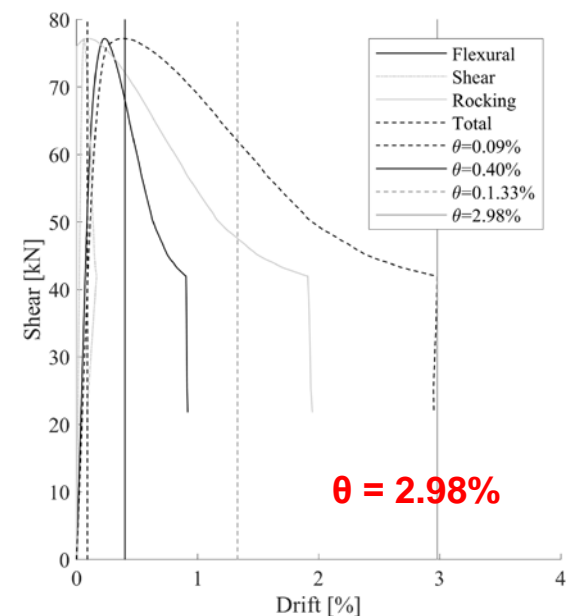
Diagramma momento-curvatura



Profili di momento e curvatura

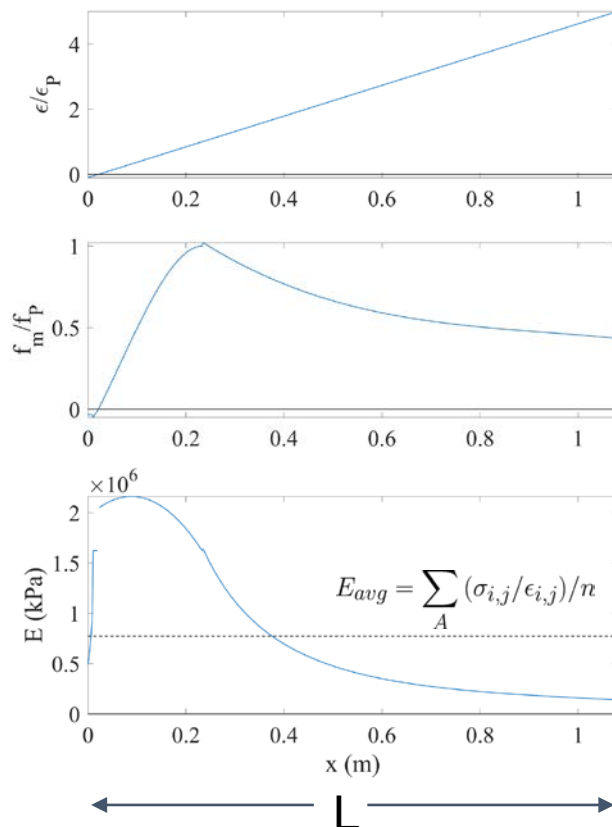


Curva taglio-drift



## (4) Analisi a macro-elementi

### Modellazione del comportamento tagliante



- Modulo di elasticità tangenziale medio proporzionale a quello normale in ogni step di analisi e sezione di integrazione

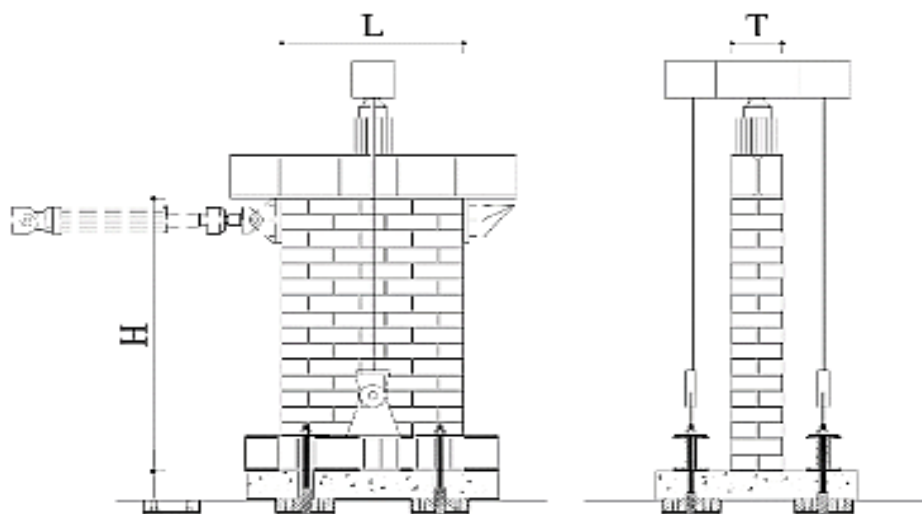
$$G_{avg} = 0.3E_{avg}$$

- Scorrimento crescente al diminuire della lunghezza efficace della sezione

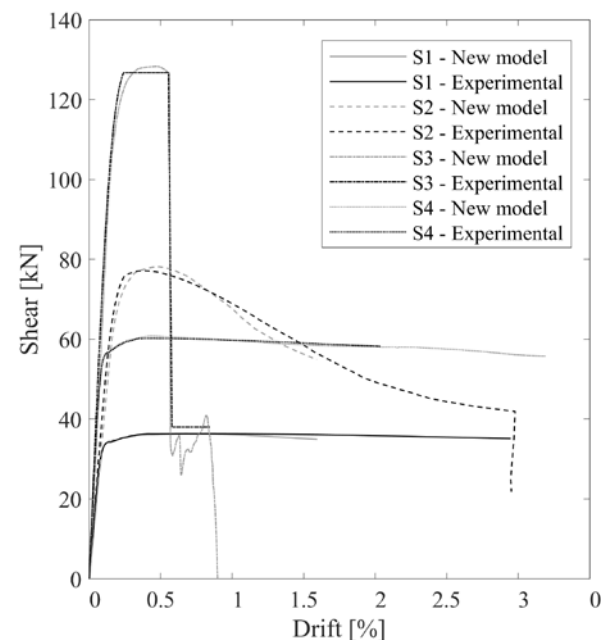
## (4) Analisi a macro-elementi

Validazione sperimentale alla scala di pannello

Test ciclici su maschi murari

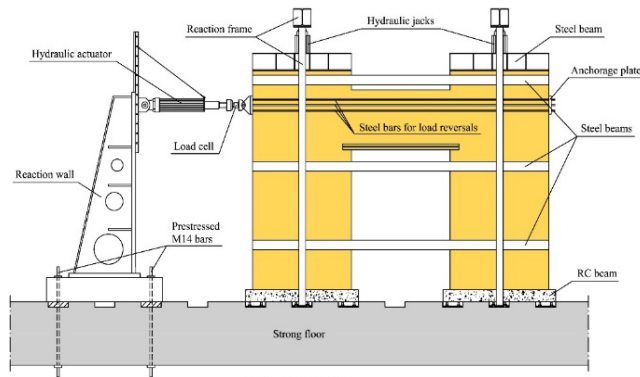


Confronto numerico-sperimentale

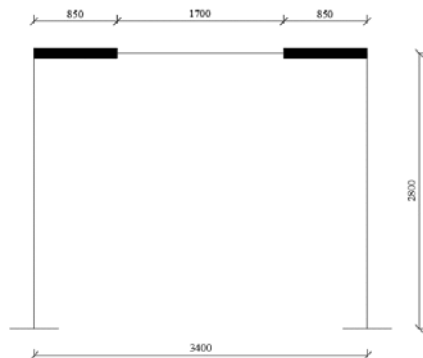


# (4) Analisi a macro-elementi

## Validazione sperimentale alla scala di parete



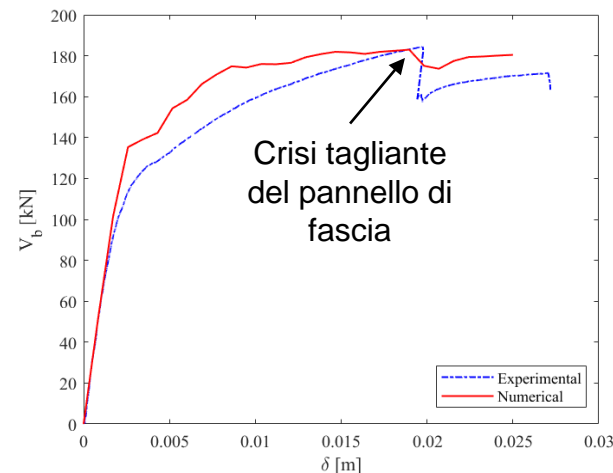
**Modello a  
telaio  
equivalente**



### Principali caratteristiche del provino e del carico

- Muratura di tufo
- Piattabanda in legno
- Forze verticali da 200 kN sui maschi
- Spostamento laterale monotonamente crescente

### Confronto numerico-sperimentale



Maggior efficienza  
computazionale  
rispetto a micro-  
modellazione FEM  
(Parisi et al., 2011)



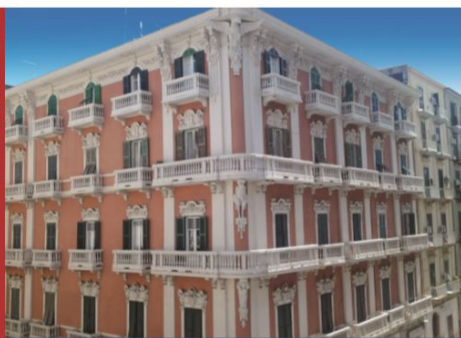
# Recenti libri di testo sul tema

Nicola Augenti Fulvio Parisi

## TEORIA E TECNICA DELLE STRUTTURE IN MURATURA

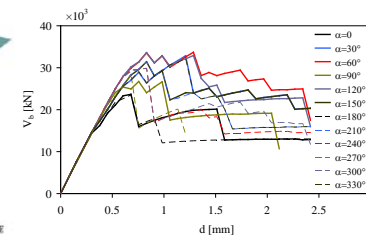
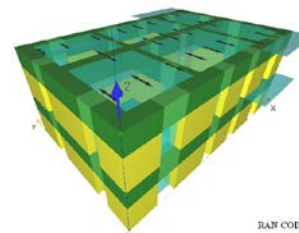
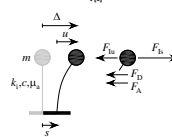
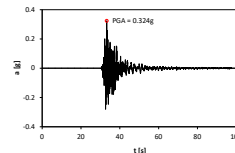
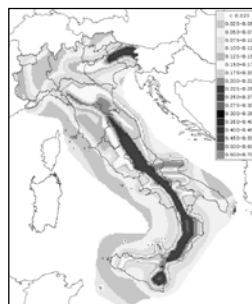
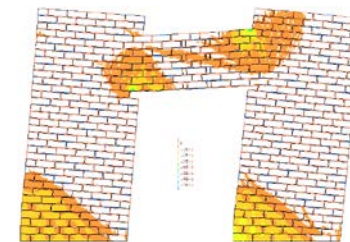
Analisi e progettazione

INGEGNERIA



**HOEPLI**

**Titolo:** Teoria e Tecnica delle Strutture in Muratura  
**Autori:** Nicola Augenti, Fulvio Parisi  
**Editore:** Hoepli  
**Pagine:** 752  
**Anno:** 2019



# Recenti libri di testo sul tema

## INDICE DEI CONTENUTI

Cap. 1 – Introduzione

Cap. 2 – Le strutture in muratura

Cap. 3 – Filosofia attuale dell'ingegneria sismica

Cap. 4 – Normativa strutturale e sua evoluzione

Cap. 5 – Modellazione dei materiali

Cap. 6 – Modellazione della geometria

Cap. 7 – Modellazione delle azioni

Cap. 8 – Analisi per azioni non sismiche

Cap. 9 – Analisi sismica globale

Cap. 10 – Analisi sismica per meccanismi locali

Cap. 11 – Valutazione di un edificio in muratura

NICOLA AUGENTI FULVIO PARISI

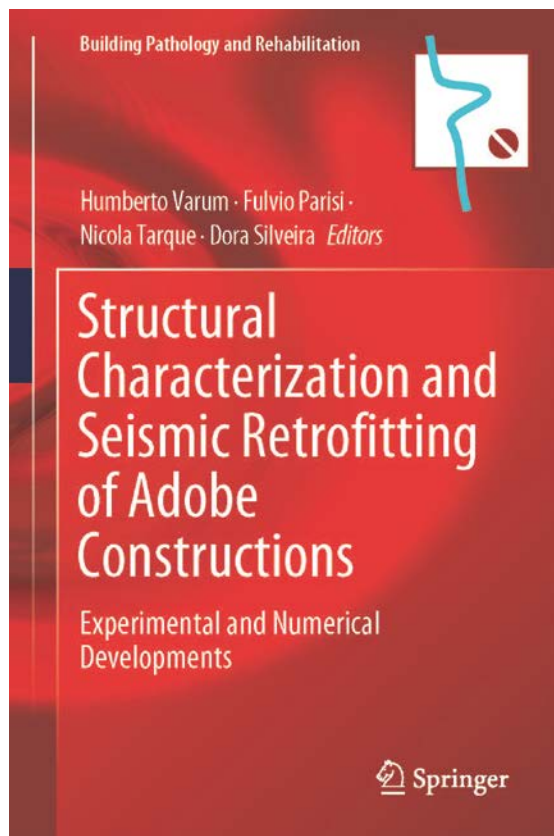
## **Teoria e tecnica delle strutture in muratura**

*Analisi e progettazione*



EDITORE ULRICO HOEPLI MILANO

# Recenti libri di testo sul tema



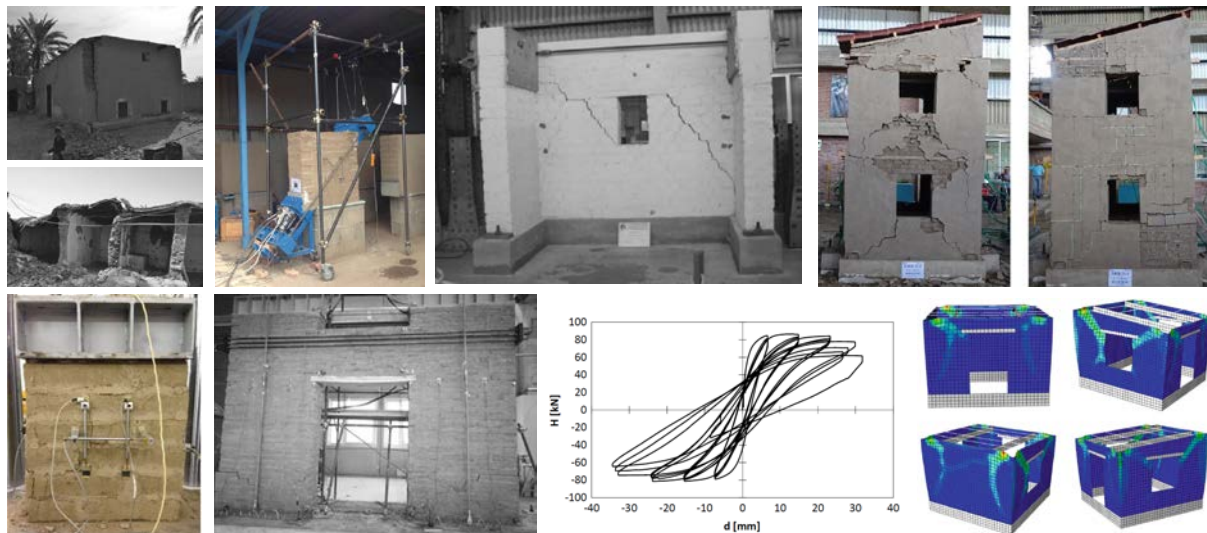
**Title:** Structural Characterization and Seismic Retrofitting of Adobe Constructions

**Editors:** Humberto Varum, Fulvio Parisi, Nicola Tarque, Dora Silveira

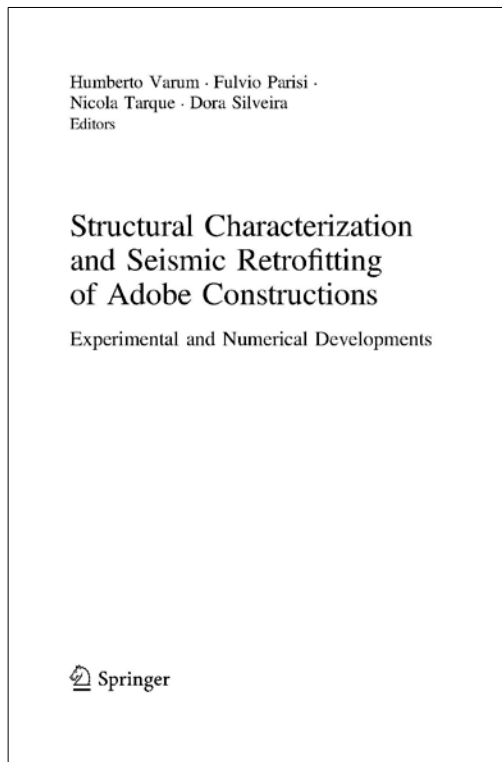
**Publisher:** Springer International Publishing

**Pages:** 255

**Year:** 2021



# Recenti libri di testo sul tema



**Trattazione multi-scala  
dai materiali alle  
strutture**



## Contents

<b>Adobe Constructions in the World: A First Overview</b> .....	1
Fulvio Parisi, Nicola Tarque, Humberto Varum, and Julio Vargas-Neumann	
<b>Behaviour of Adobe Construction in Recent Earthquakes</b> .....	15
Nicola Tarque, Erkut Sayin, Muhammad Masood Rafi, and E. Leroy Tolles	
<b>Mechanical Characterization of Adobe Bricks</b> .....	35
Dora Silveira, Cristina Oliveira, Humberto Varum, Ioannis Ioannou, Lorenzo Miccoli, Nicola Tarque, Fulvio Parisi, Luigi Fenu, Mario Solís, and José D. Rodríguez-Mariscal	
<b>Mechanical Characterization of Adobe Masonry</b> .....	55
Cristina Oliveira, Dora Silveira, Humberto Varum, Fulvio Parisi, Lorenzo Miccoli, Mario Solís, José D. Rodríguez-Mariscal, and Nicola Tarque	
<b>Quasi-static In-Plane Testing of Adobe Masonry Walls and Structures</b> .....	95
Nicola Tarque, Fulvio Parisi, Domenico Asprone, Andrea Prota, Dora Silveira, Marcial Blondet, and Humberto Varum	
<b>Shaking Table Testing of Adobe Masonry Structures</b> .....	121
Marcial Blondet, Nicola Tarque, Francisco Ginocchio, and Gladys Villa-García	
<b>Non-destructive (NDT) and Minor-destructive (MDT) Testing Tools to Support the Structural Characterization of Adobe Constructions</b> .....	153
Rafael Aguilar, Mauricio Gonzales, and Miguel A. Pando	
<b>Seismic Strengthening Techniques for Adobe Construction</b> .....	183
Fulvio Parisi, Marcial Blondet, Andrew Charleson, and Humberto Varum	
<b>Numerical Modelling of Adobe Structures</b> .....	211
Fulvio Parisi, Dominique Daudon, Rogiros Illampas, Paulo B. Lourenço, and Nicola Tarque	
<b>Research Developments and Needs on Seismic Performance and Strengthening of Adobe Masonry Constructions</b> .....	243
Fulvio Parisi, Nicola Tarque, and Humberto Varum	





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

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE.**

***STATI GENERALI  
DELLA MURATURA***