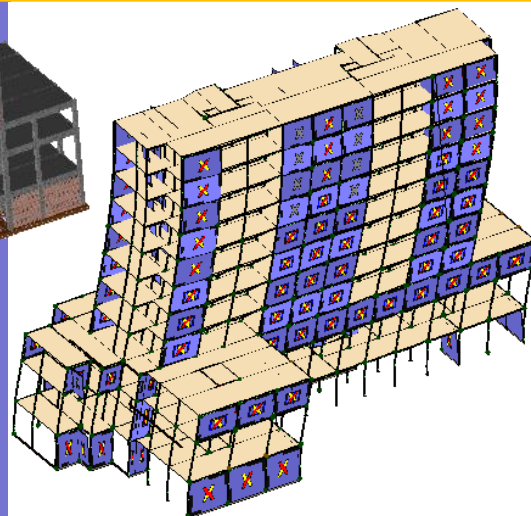




**3DMACRO**  
FOR EXISTING BUILDINGS



**GRUPPO SISMICA**  
SMART STRUCTURAL SOLUTIONS

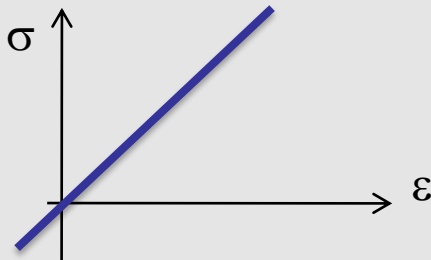
Un nuovo  
approccio per la  
stima della  
vulnerabilità  
sismica di edifici in  
muratura

## Tipo di analisi

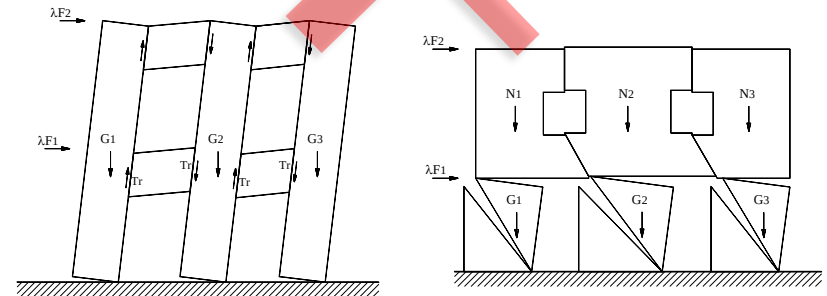
### Analisi Lineare

La muratura è un materiale complesso che presenta un comportamento **nonlineare** anche per bassi livelli di carico.

Durante il processo di carico fino al collasso avvengono diversi fenomeni nonlineari (**schacciamento**, **fessurazione**, **scorrimento**, **attrito**, **rottura**, ecc.) che non possono essere simulati con una analisi lineare.



### Analisi Limite



E' basata su semplici **schemi limite** concepiti ad hoc per la struttura da esaminare e per un particolare **meccanismo di collasso**.

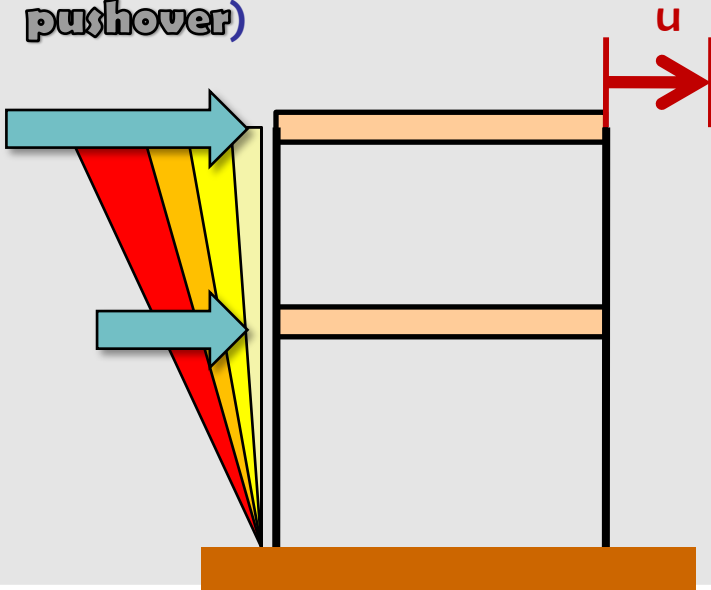
Fornisce solo una stima del **moltiplicatore** dei carichi che conduce al **collasso** della struttura ma non dà informazioni sulla risposta della struttura soggetta al sisma

## Tipo di analisi

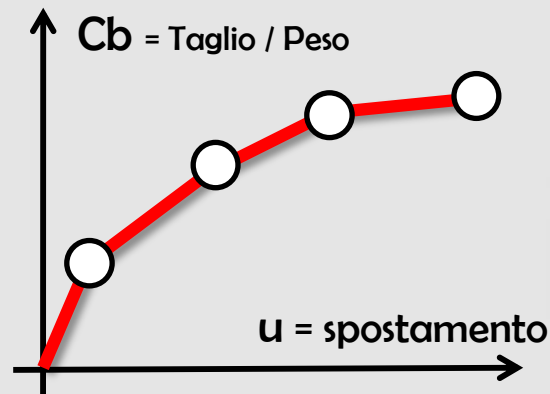
Analisi NonLineare

Analisi Statica

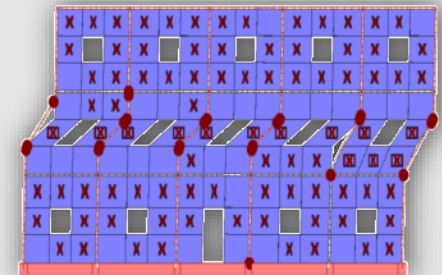
Le difficoltà computazionali dell'analisi dinamica hanno spinto i ricercatori a definire procedure di **analisi statica nonlineare incrementale** che consentano di stimare il comportamento della struttura soggetta al sisma (**analisi pushover**)



Curva di capacità



Configurazione deformata



**Approcci alla modellazione di edifici in muratura**

**Elementi Finiti  
Nonlineari**



# Modellazione agli Elementi Finiti NonLineari

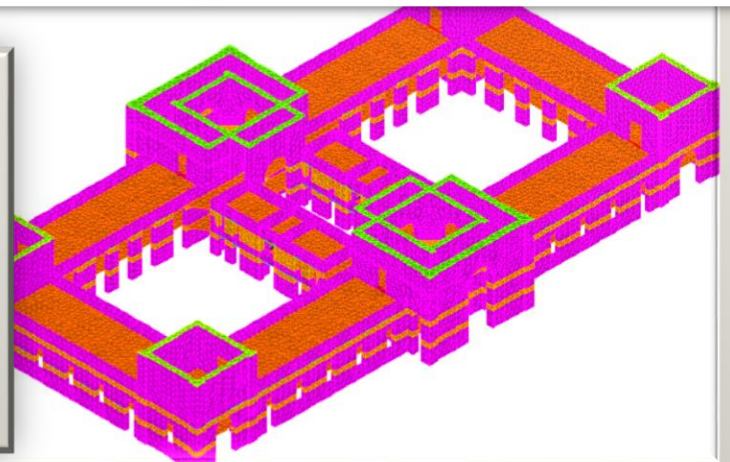
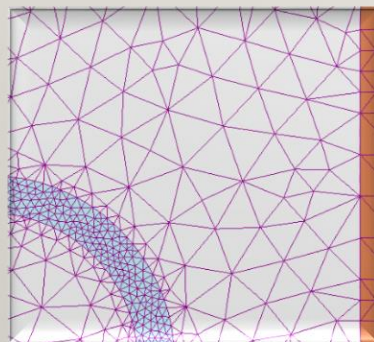
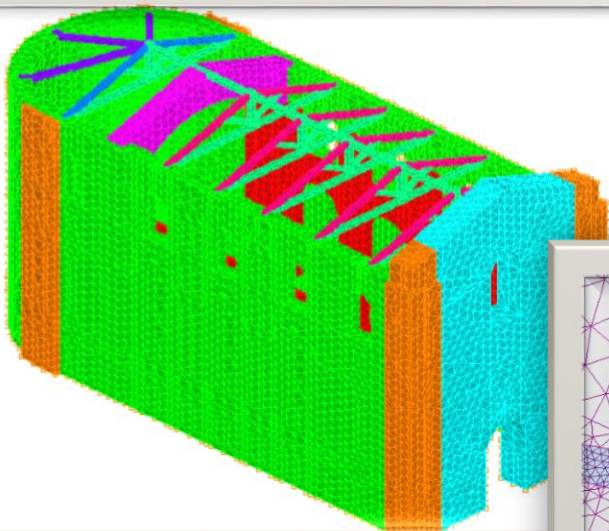
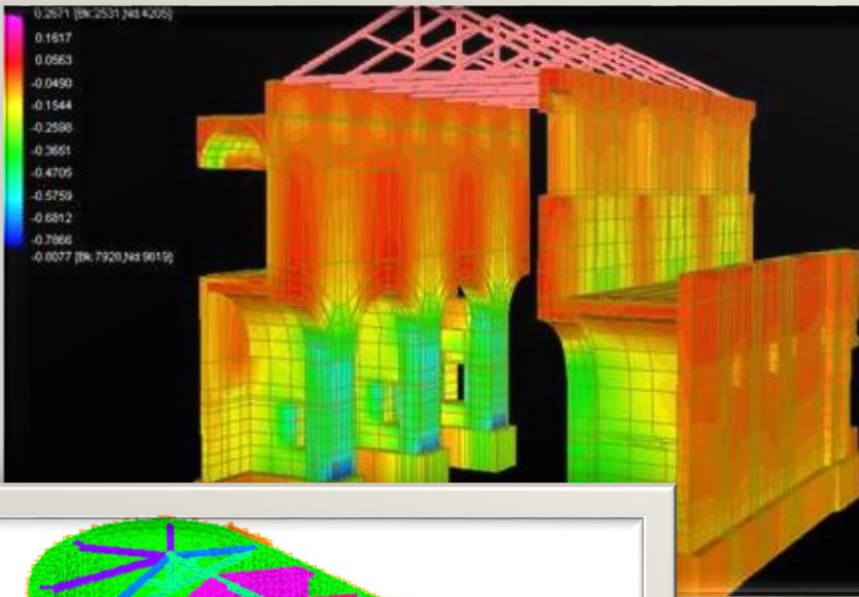
Accurata

Computazionalmente onerosa

Basata su elementi bi- o tri-dimensionali con leggi costitutive nonlineari (p.es. di tipo no-tension)

Richiede un giudizio esperto

**Applicata raramente  
nella pratica ingegneristica**



**Approcci alla modellazione di edifici in muratura**

**Elementi Finiti  
Nonlineari**

**Approcci  
Semplificati**

# Approcci semplificati per lo studio del comportamento nel piano della muratura

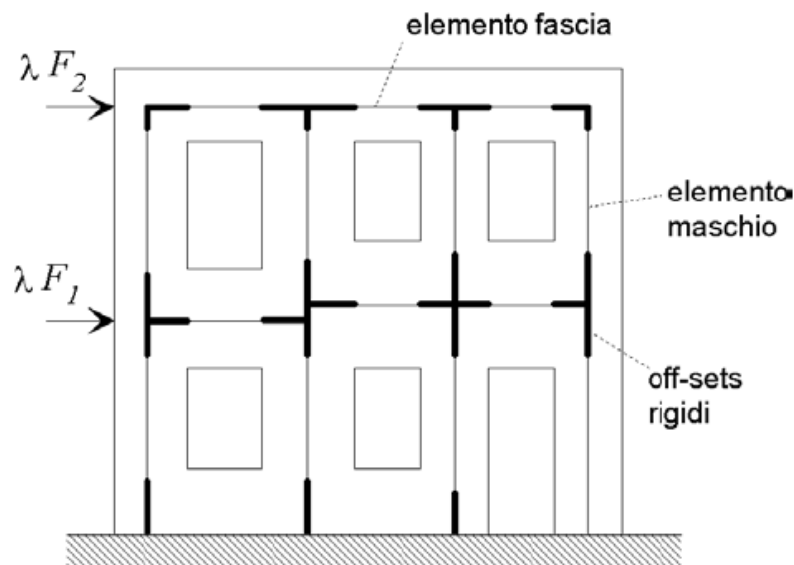
## Metodo POR

Tomazevic 1978

## Macro-modelli

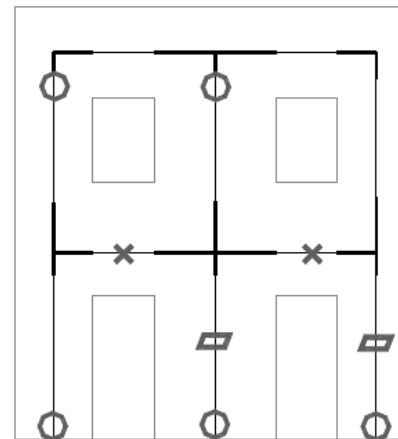
Una, più o meno ampia, porzione di muratura viene schematizzata mediante un modello meccanico “equivalente” (macro-elemento)

**Modelli a telaio “equivalente”  
o macro elementi monodimensionali**



## Metodo “SAM”

Magenes & Calvi 1996



Metodo SAM: meccanismi di rottura rilevati.

-  Rottura per flessione
-  Rottura per scorrimento
-  Rottura per taglio con fessure diagonali

**Onere computazionale ridotto**

**Non riproduce in maniera accurata la geometria e la cinematica della struttura**

**Non è in grado di tenere conto dell'interazione con elementi trave / pilastro**



# Approcci semplificati per lo studio del comportamento nel piano della muratura

## Metodo POR

Tomazevic 1978

## Macro-modelli

Una, più o meno ampia, porzione di muratura viene schematizzata mediante un modello meccanico “equivalente” (macro-elemento)

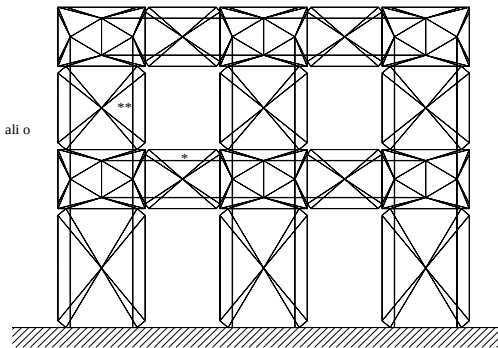
Modelli a telaio “equivalente”  
o macro-elementi monodimensionali

Metodo “SAM”

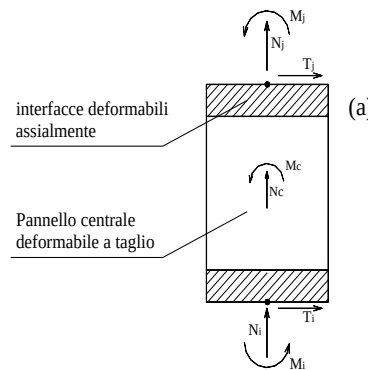
Magenes & Calvi 1996

Macro-elementi  
piani

Un macro-elemento piano può descrivere in maniera più accurata la cinematica di una porzione di parete muraria soggetta a carichi nel piano



D'Asdia & Viskovic



Brenchich & Lagomarsino

Onere computazionale  
ridotto

Rispetto ai modelli a telaio  
riproducono meglio la  
cinematica della parete



# Introduzione

## Approcci alla modellazione di edifici in muratura

**Elementi Finiti  
Nonlineari**

**Macro-elemento piano**

**Approccio  
Semplificato**

Semplice schema meccanico  
nonlineare equivalente

Nonlinearità concentrata

Utilizzabile in mesh

Capace di interagire con altri elementi

**Adatto alla valutazione sismica  
degli edifici esistenti**

# Il macro-elemento per lo studio del comportamento nel piano

Caliò, Marletta, Pantò 2003

**Quadrilatero articolato...**

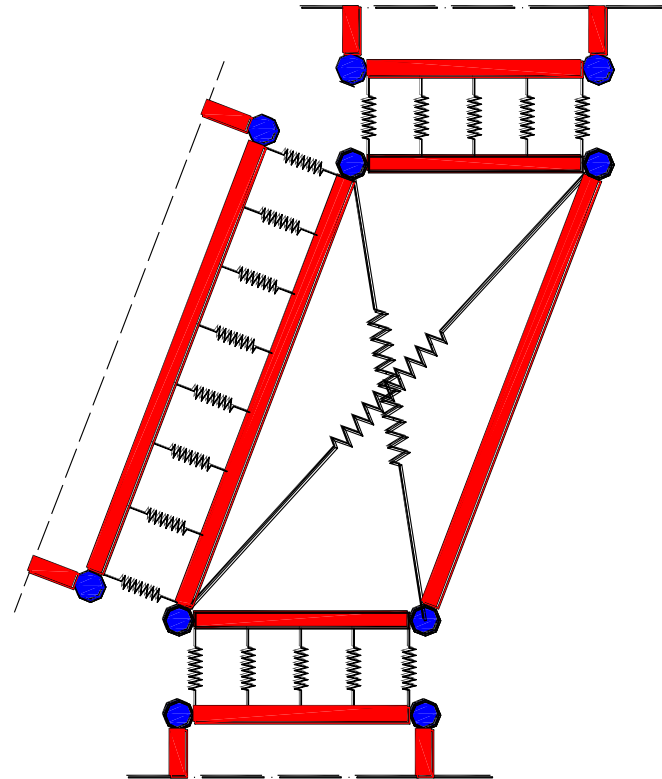
**> Pannello**

**...con due molle diagonali  
nonlineari ("nlinks")**

**... e una serie discreta di molle  
nonlineari lungo il perimetro**

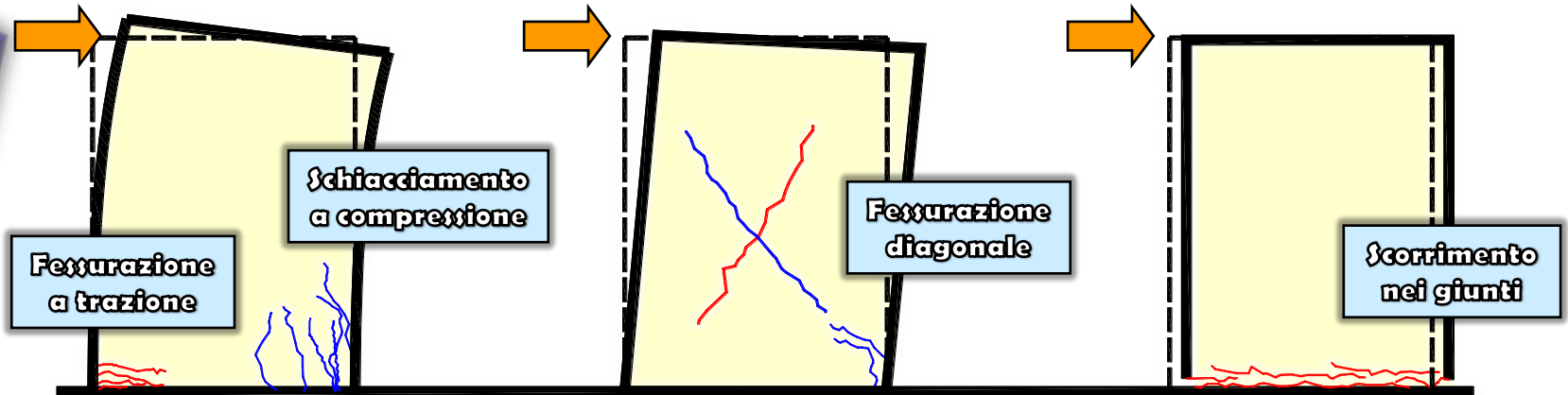
**> Interfacce**

**... che connettono il Pannello agli altri elementi**



# Il macro-elemento per lo studio del comportamento nel piano

Muro reale

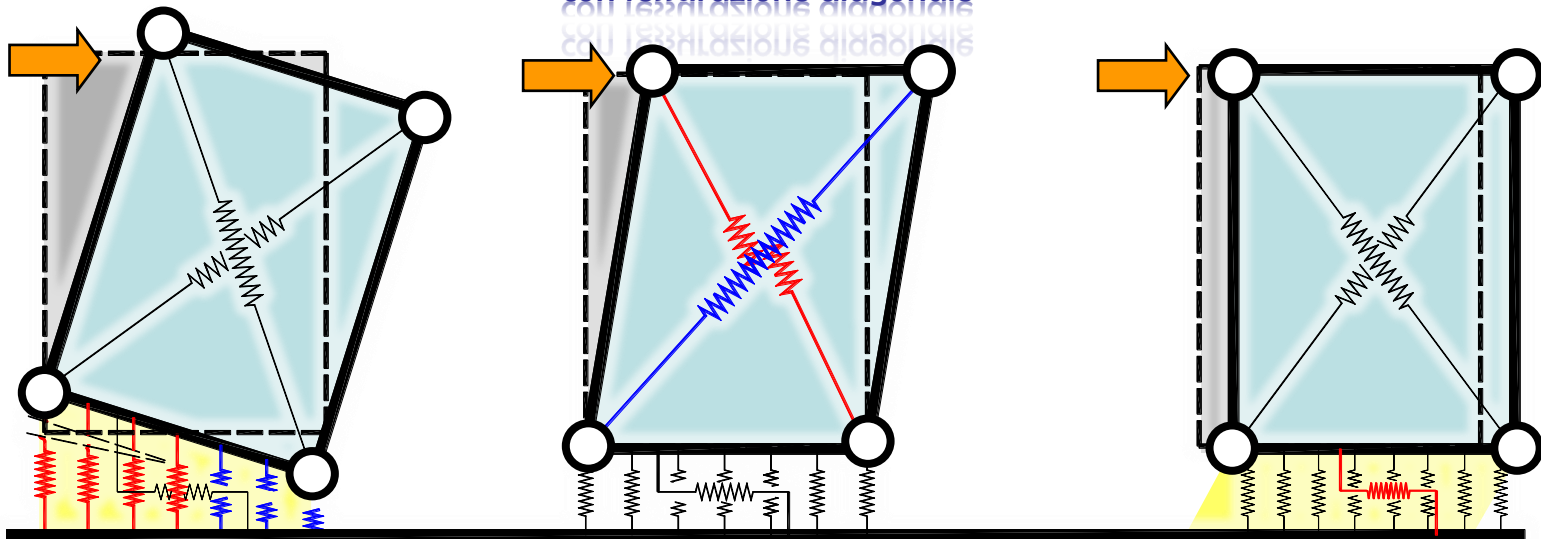


**Presso-flessione**

**Taglio**  
con fessurazione diagonale

**Scorrimento**

Modello discreto



**Molle trasversali**

**Molle diagonali**

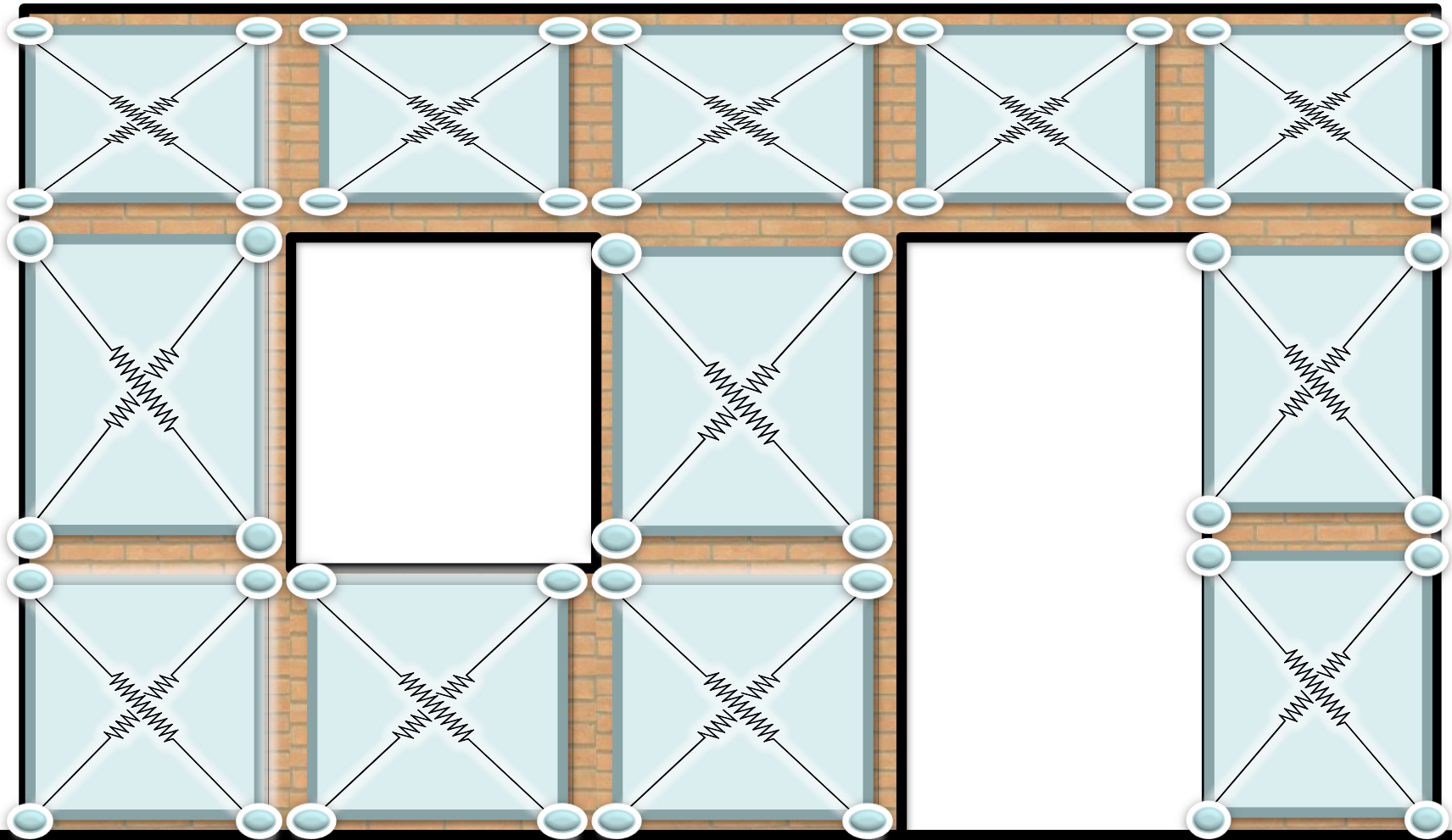
**Molla a scorrimento**



## Il macro-elemento per lo studio del comportamento nel piano

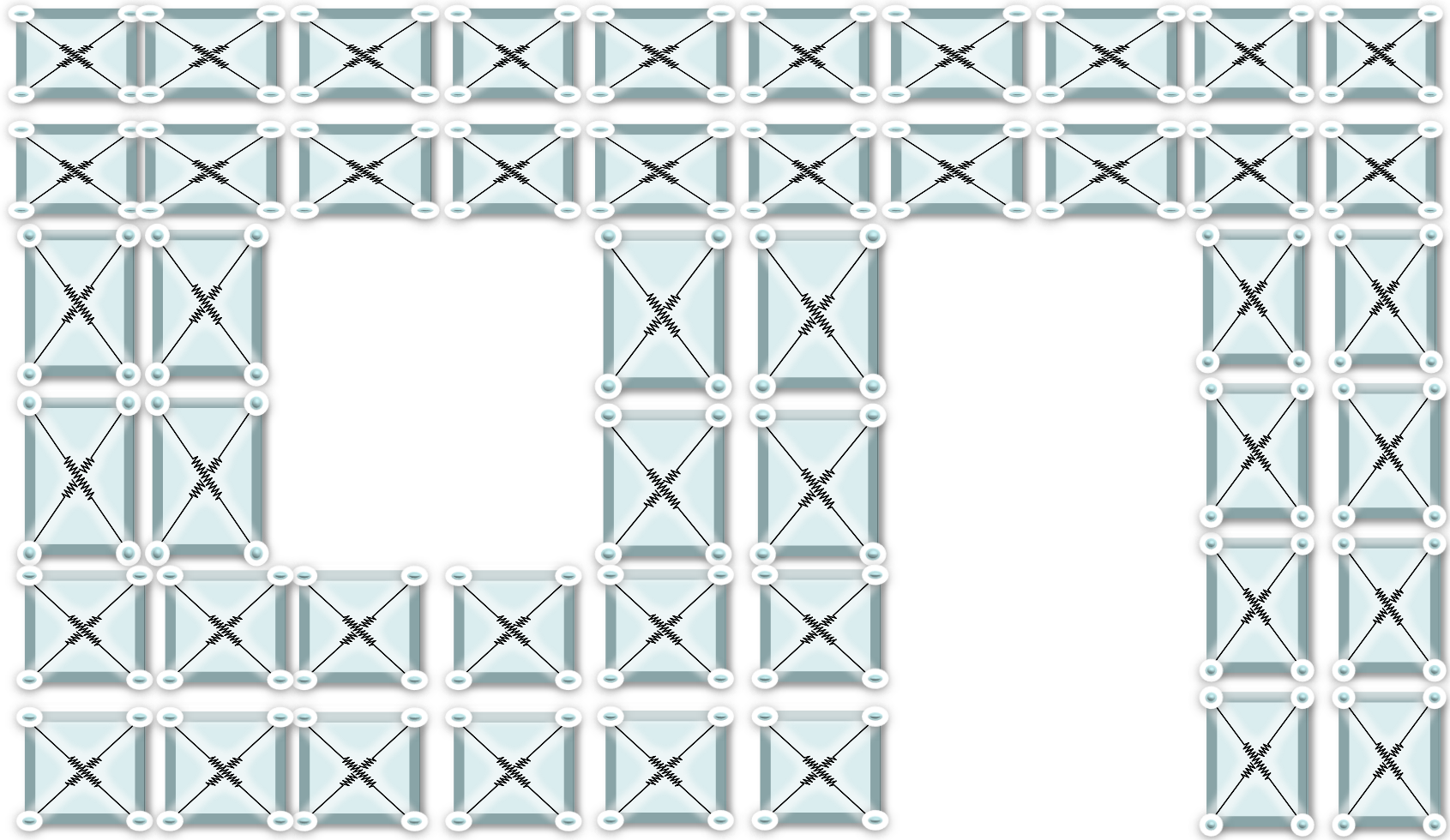
Il macro-elemento è concepito per simulare il comportamento di un'ampia porzione di muratura (intera parete, maschio murario, fascia di piano)

Le interfacce non sono rappresentate



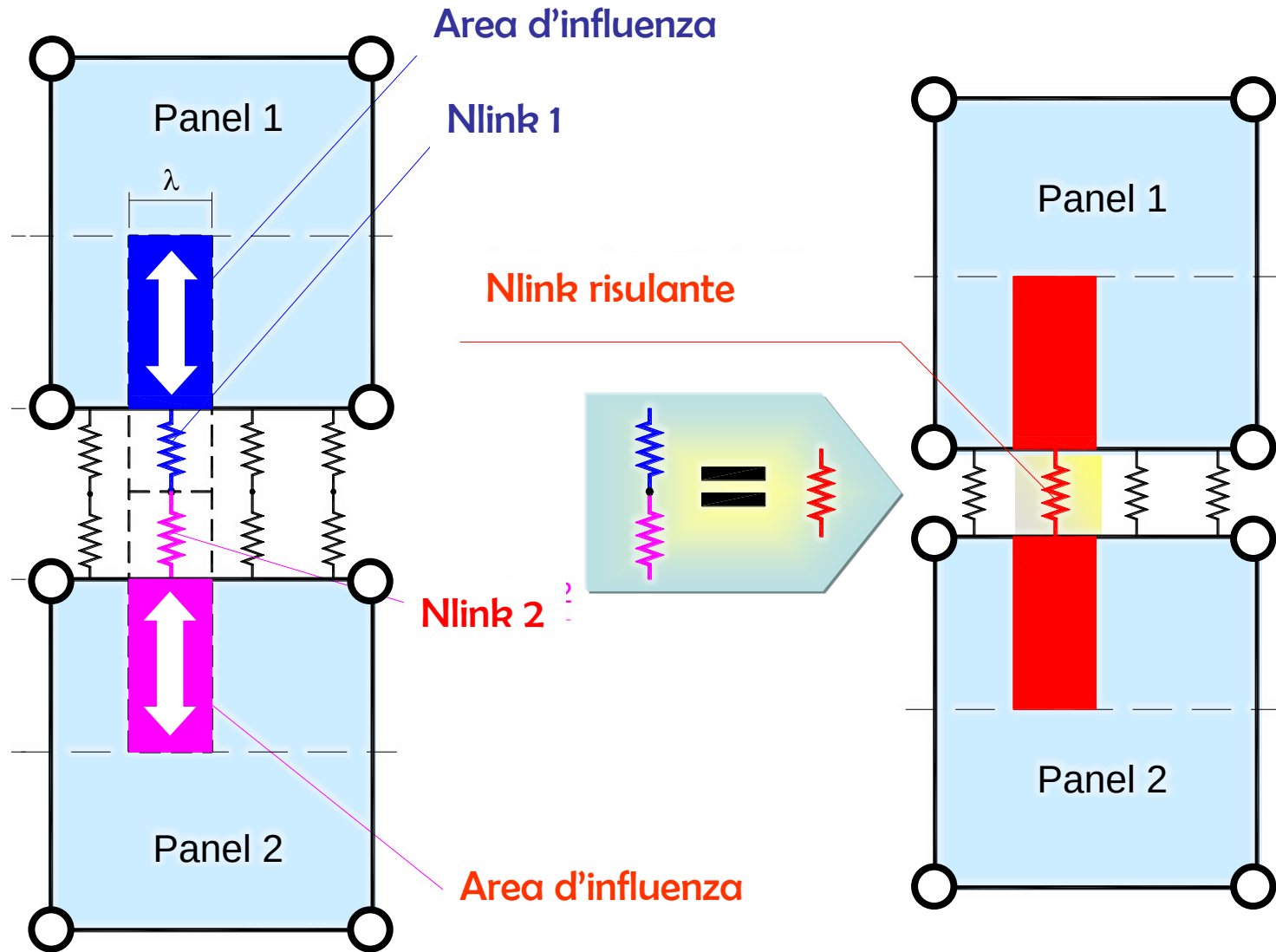
## Il macro-elemento per lo studio del comportamento nel piano

Tuttavia è possibile realizzare una **mesh di macro-elementi** in modo da simulare in maniera più accurata la cinematica del meccanismo di collasso



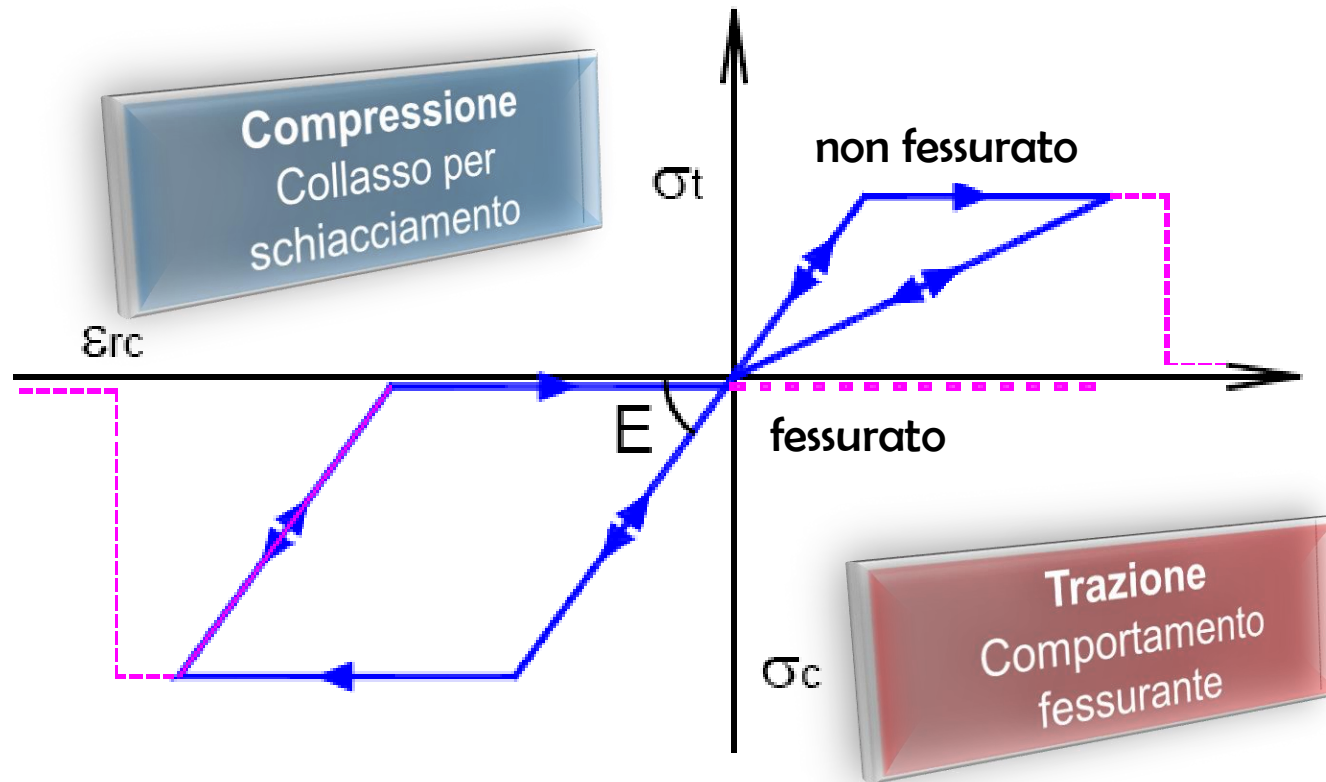
# Il macro-elemento per lo studio del comportamento nel piano

## Calibrazione delle molle trasversali d'interfaccia



# Il macro-elemento per lo studio del comportamento nel piano

## Calibrazione delle molle trasversali d'interfaccia



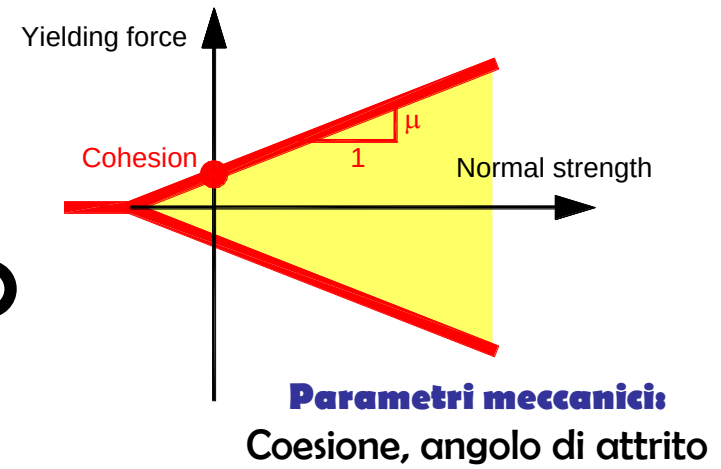
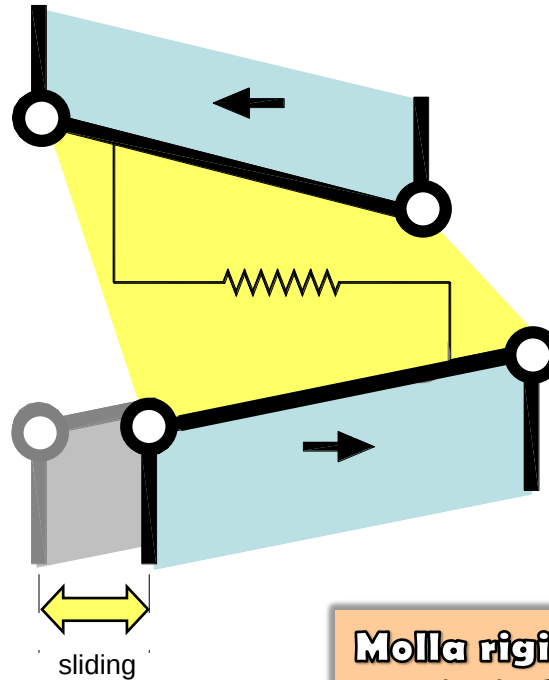
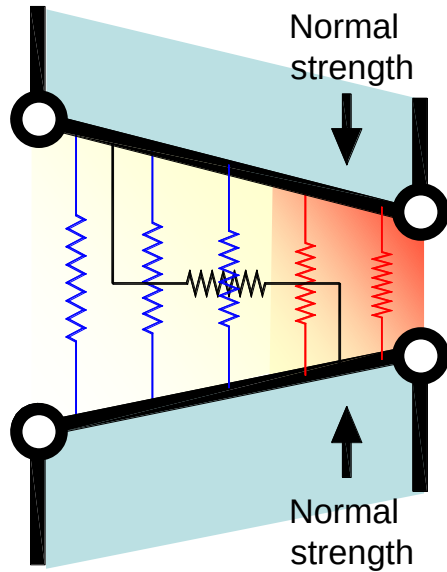
### Parametri meccanici:

Modulo elastico normale,  
resistenza assiale, deformazione ultima



# Il macro-elemento per lo studio del comportamento nel piano

## Calibrazione delle molle a scorrimento delle interfacce



**Molla rigido-plastica  
con criterio di resistenza alla Coulomb**

# Il macro-elemento per lo studio del comportamento nel piano

## Calibrazione nelle molle diagonali dei pannelli

Viene imposta una **equivalenza** in termini di spostamenti tra un **modello continuo** e il **modello discreto**, soggetti entrambi a uno stato di tensionale di puro taglio

**Molla elastica nonlineare  
con criterio di snervamento alla Coulomb**

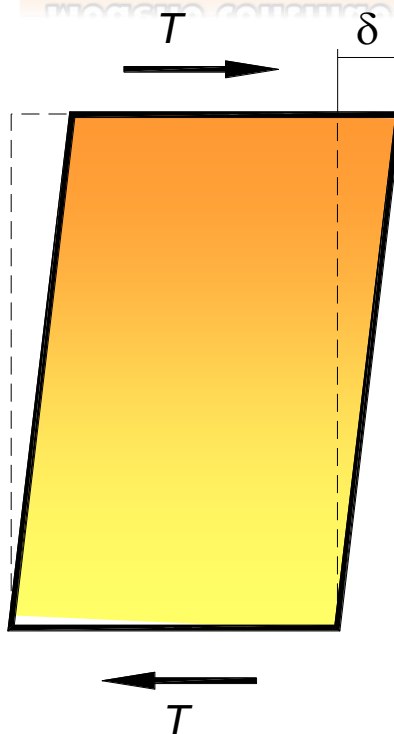
$$T_{y,muratura} = (C + \mu \cdot p) \cdot A$$

$A$  = area trasversale del pannello

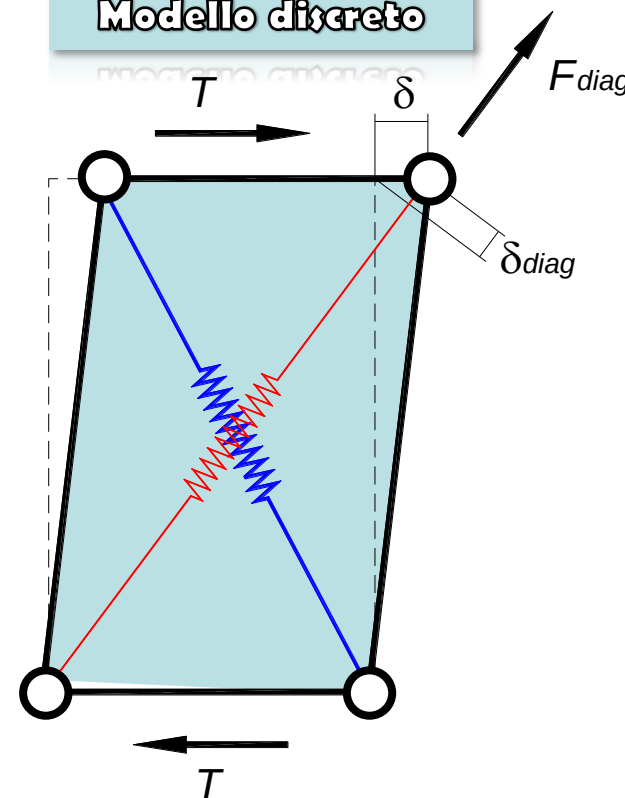
**Parametri meccanici:**

Modulo di taglio,  
taglio ultimo

**Modello continuo**



**Modello discreto**



## Modellazione di edifici a struttura mista muratura – c.a.



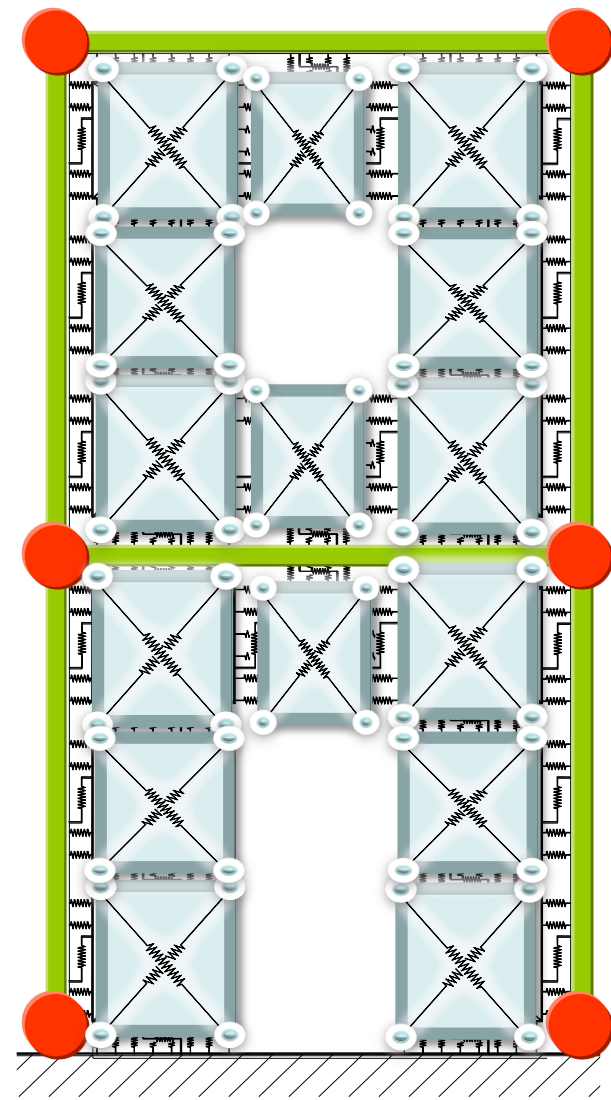
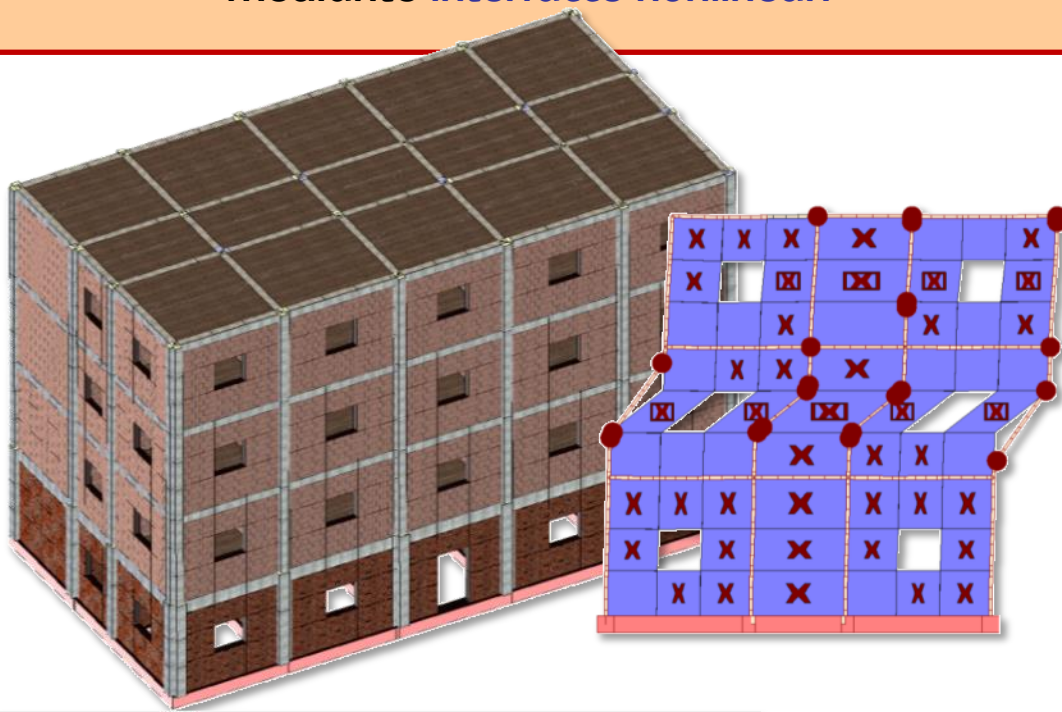


# Il macro-elemento per lo studio del comportamento nel piano

**Edifici a struttura mista  
muratura – calcestruzzo armato**

Gli **elementi in calcestruzzo armato**  
vengono modellati con  
**elementi asta a plasticità concentrata**

Tali elementi **interagiscono** con i macro-elementi  
mediante **interfacce nonlineari**

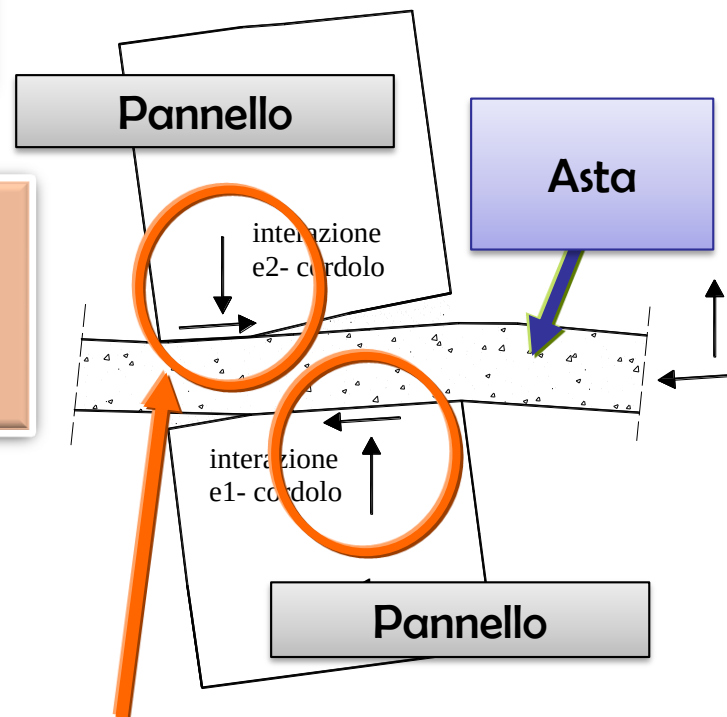




# Il macro-elemento per lo studio del comportamento nel piano

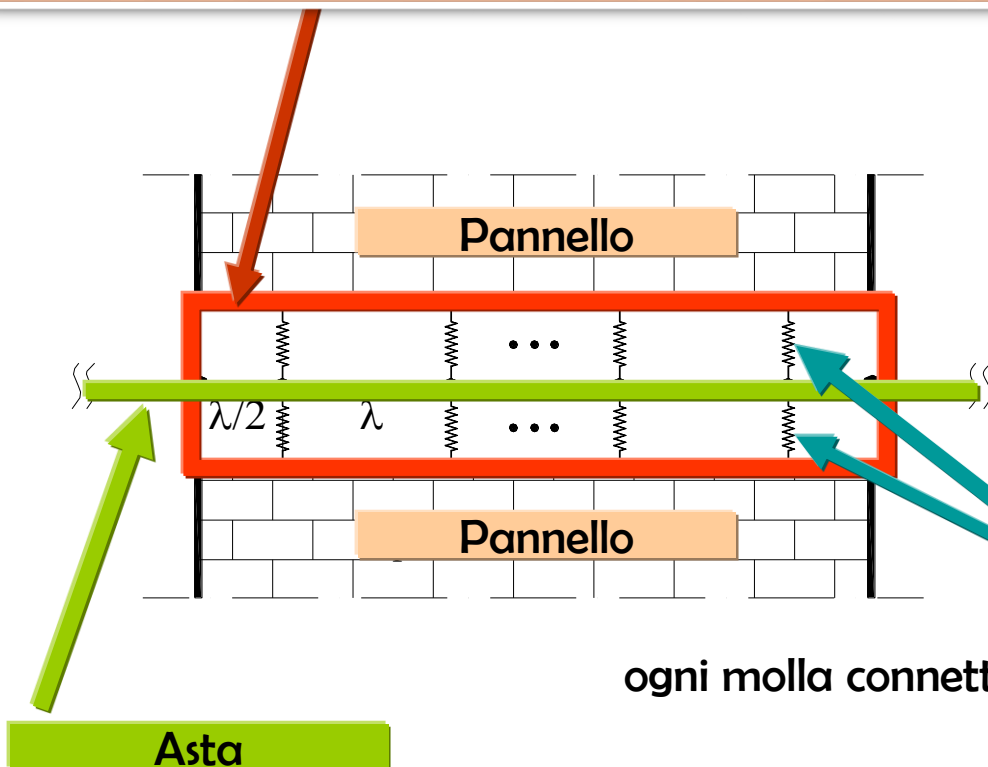
**Edifici a struttura mista  
muratura – calcestruzzo armato**

**Interfaccia nonlineare “interagente”**  
è una evoluzione dell'interfaccia che consente di  
tenere conto dell'interazione tra i macro-elementi e  
l'elemento asta



**Forze di interazione**

**Due strati di molle  
nonlineari trasversali**

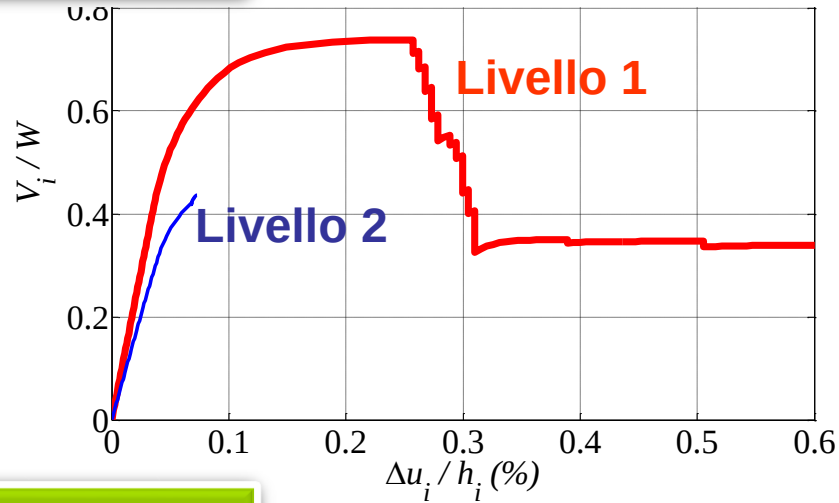


ogni molla connette uno dei due pannelli all'elemento asta

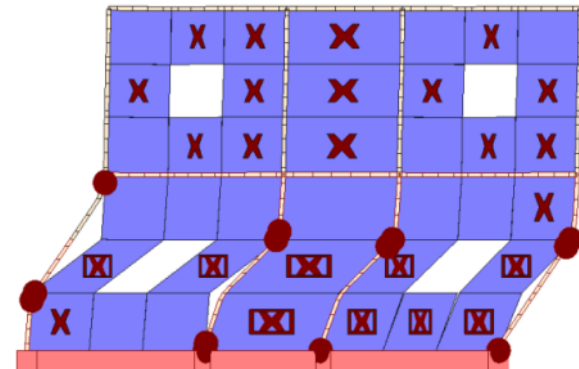
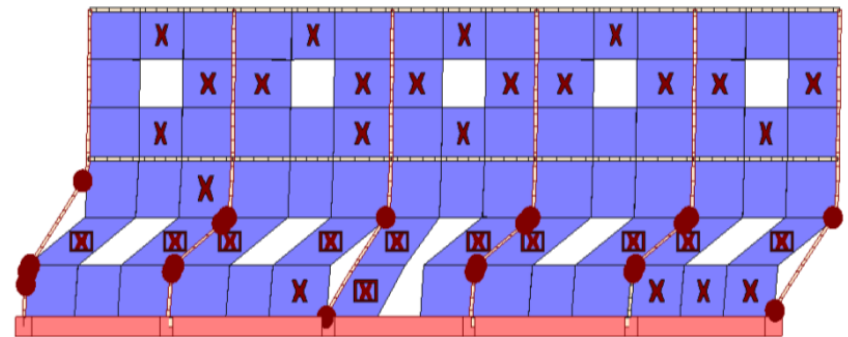
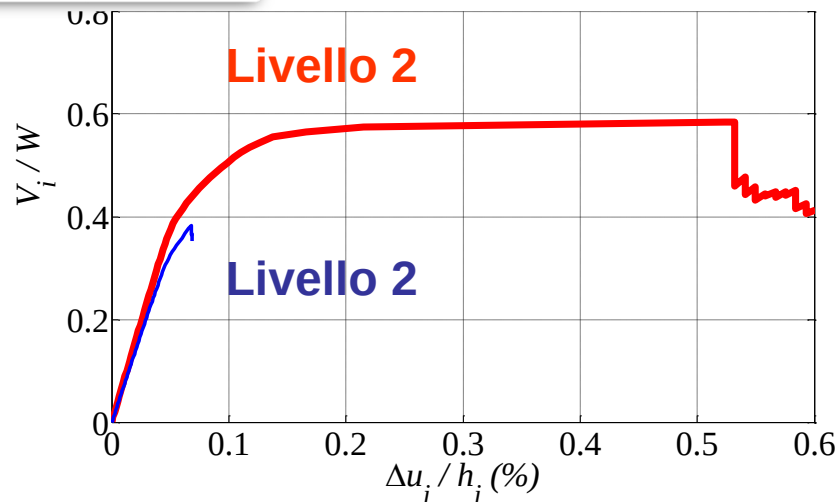
# Il macro-elemento per lo studio del comportamento nel piano

## Applicazioni numeriche

Direzione X



Direzione Y

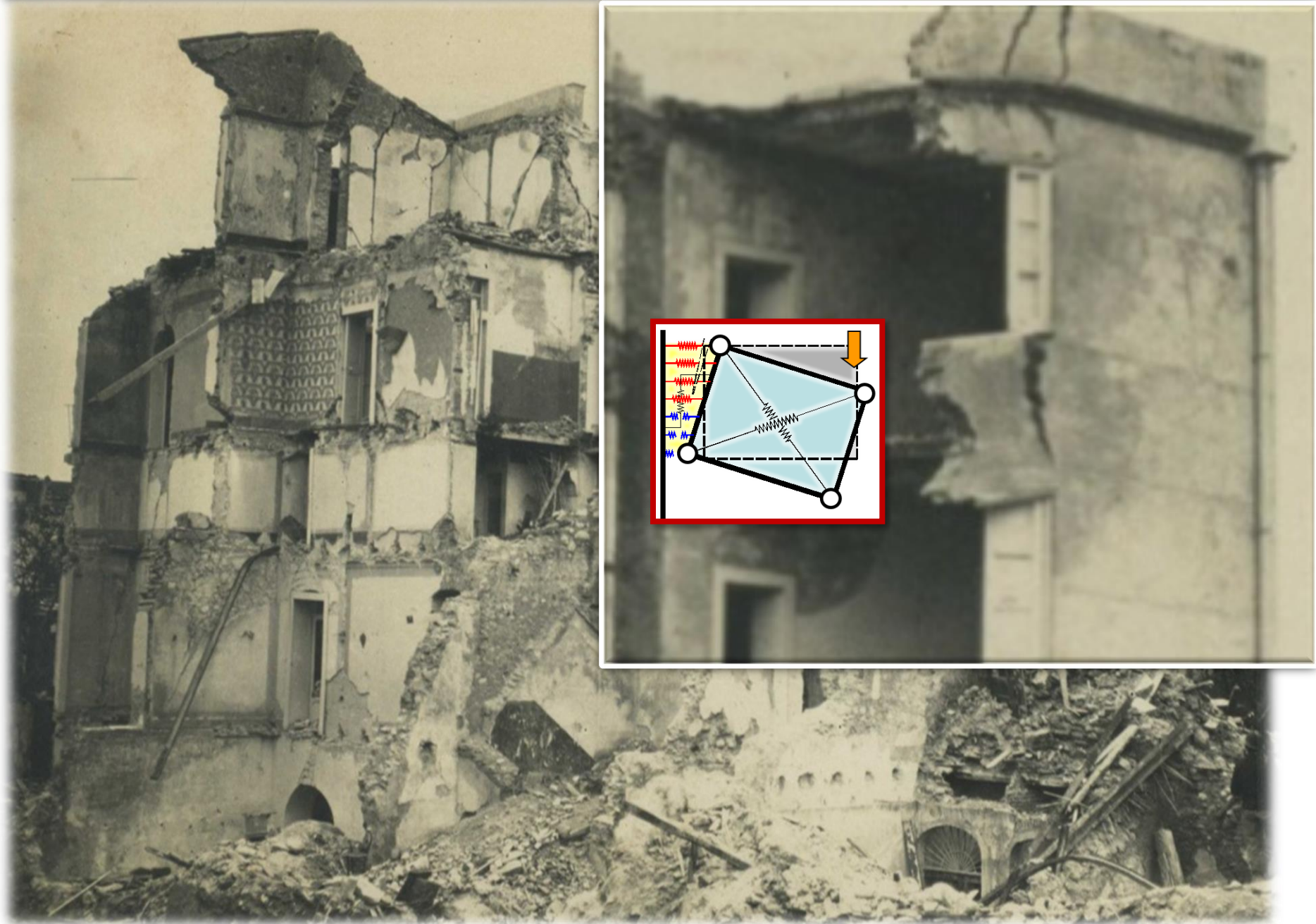


## Dal comportamento reale al macro-modello



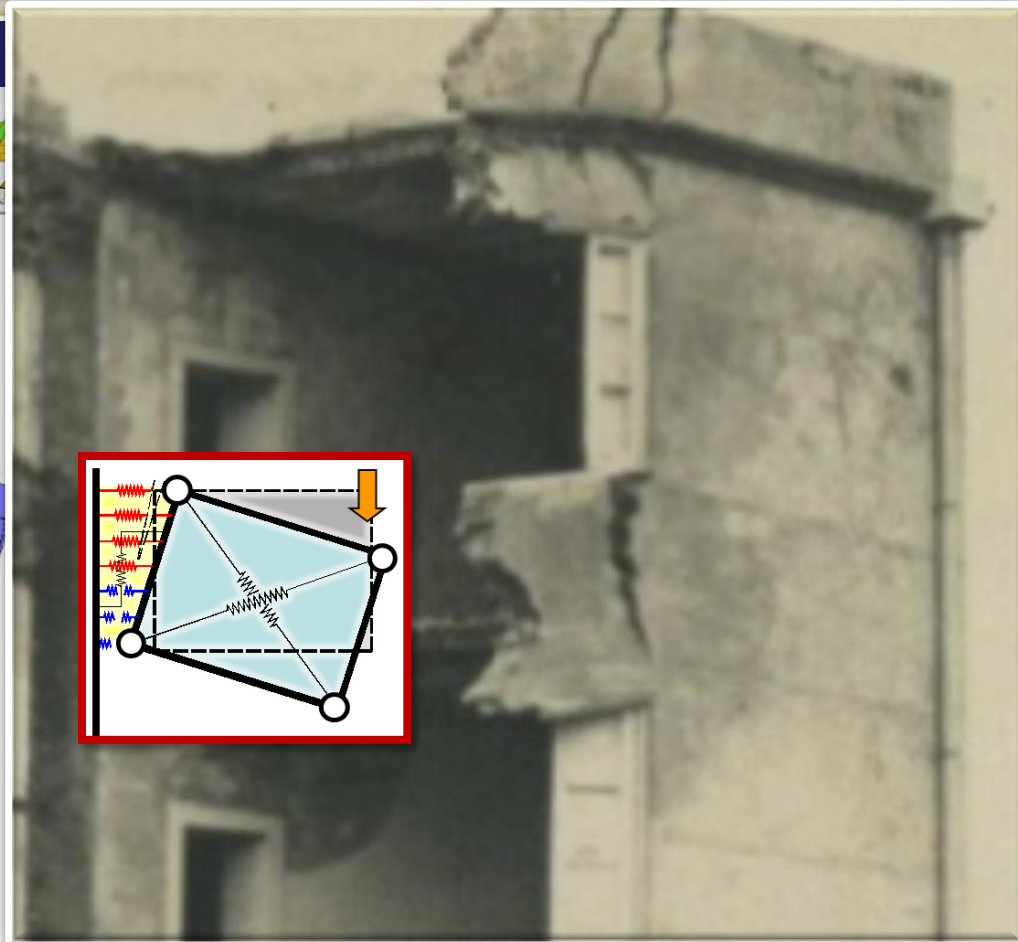
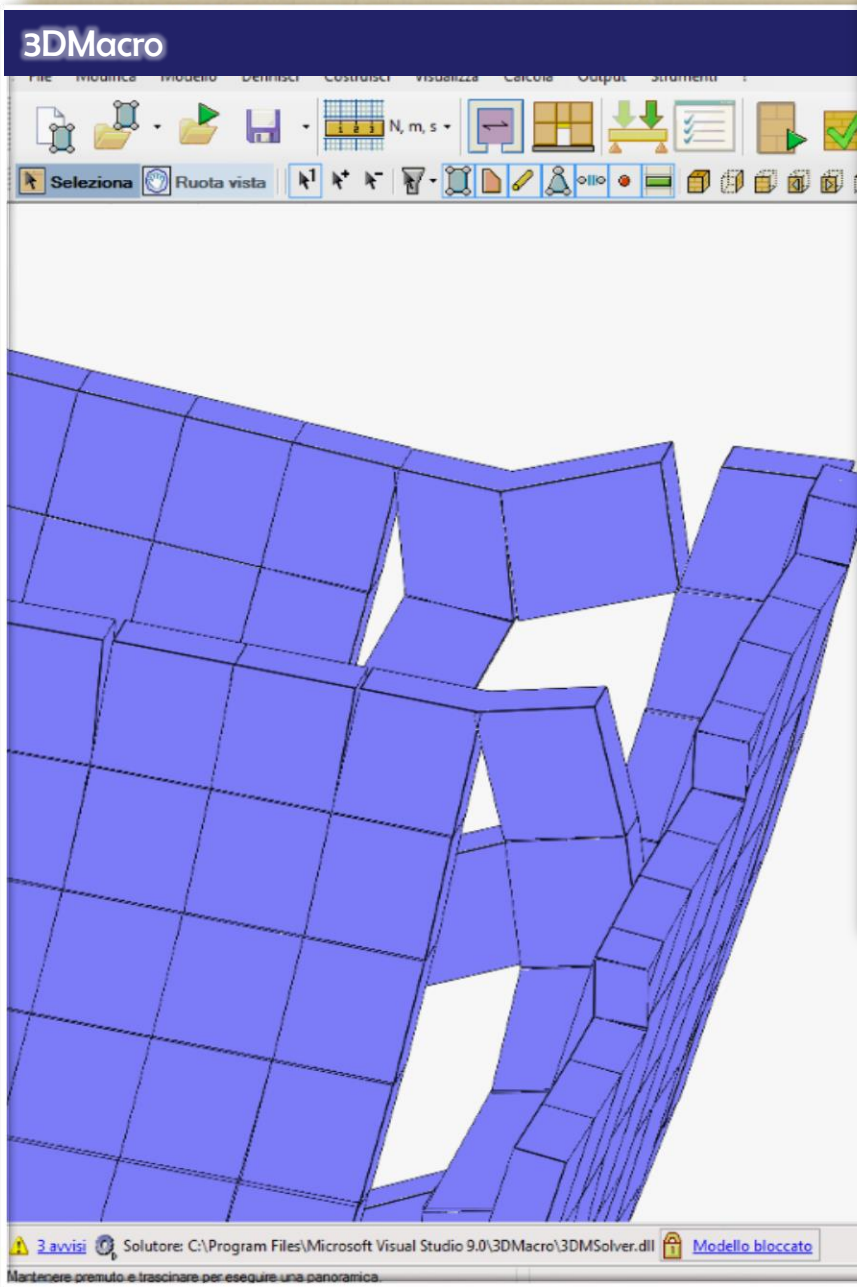


## Dal comportamento reale al macro-modello





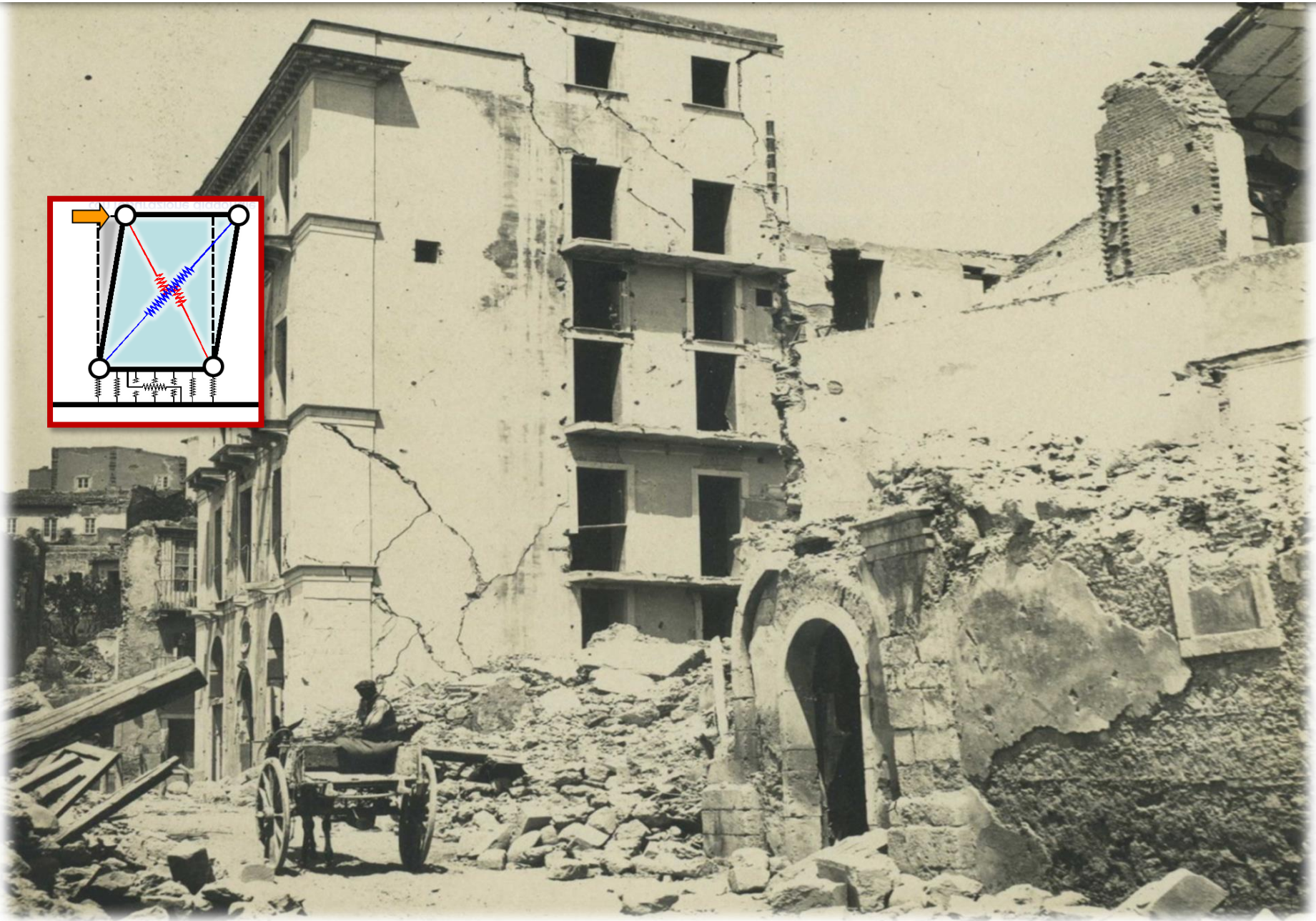
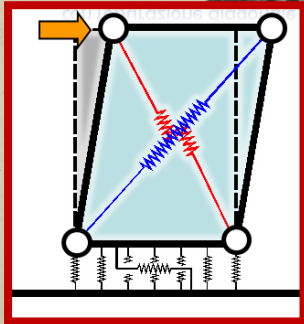
# Dal comportamento reale al macro-modello



|                    |              |
|--------------------|--------------|
| Risposta del pa... | 6/5          |
| Spostamento g...   | -.17481      |
| Spostamento g...   | .794298      |
| Spostamento g...   | -.0807063    |
| Spostamento g...   | .879676      |
| Spostamento g...   | .011288      |
| Spostamento g...   | -3.35156E-05 |
| Spostamento g...   | -7.2156E-05  |
| Spostamento la...  | -.1748099    |



## Dal comportamento reale al macro-modello

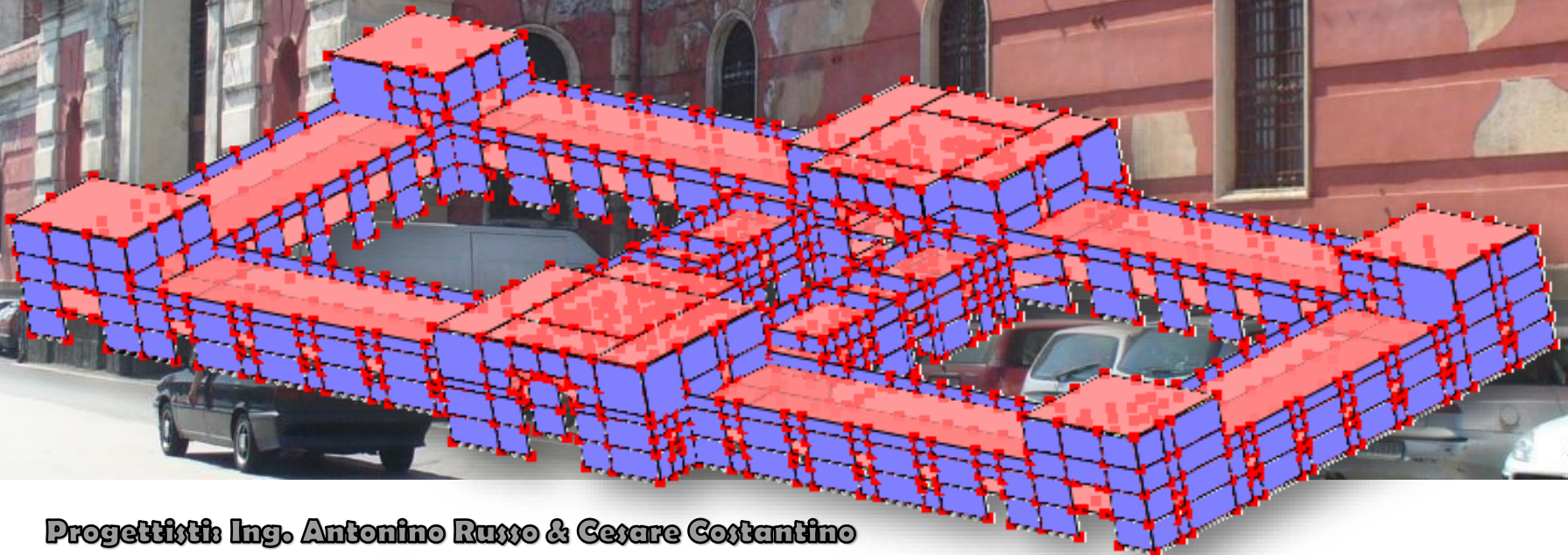
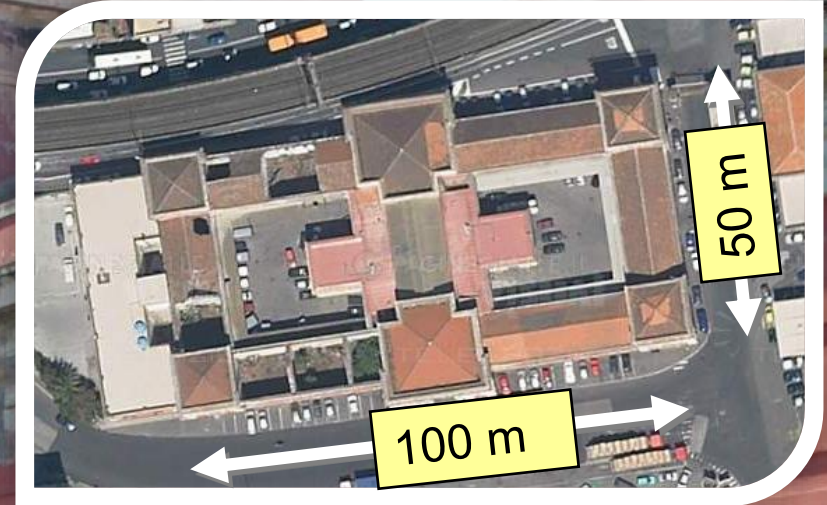




# Il macro-elemento per lo studio del comportamento nel piano

Applicazioni  
numeriche

**Catania, vecchia Dogana**



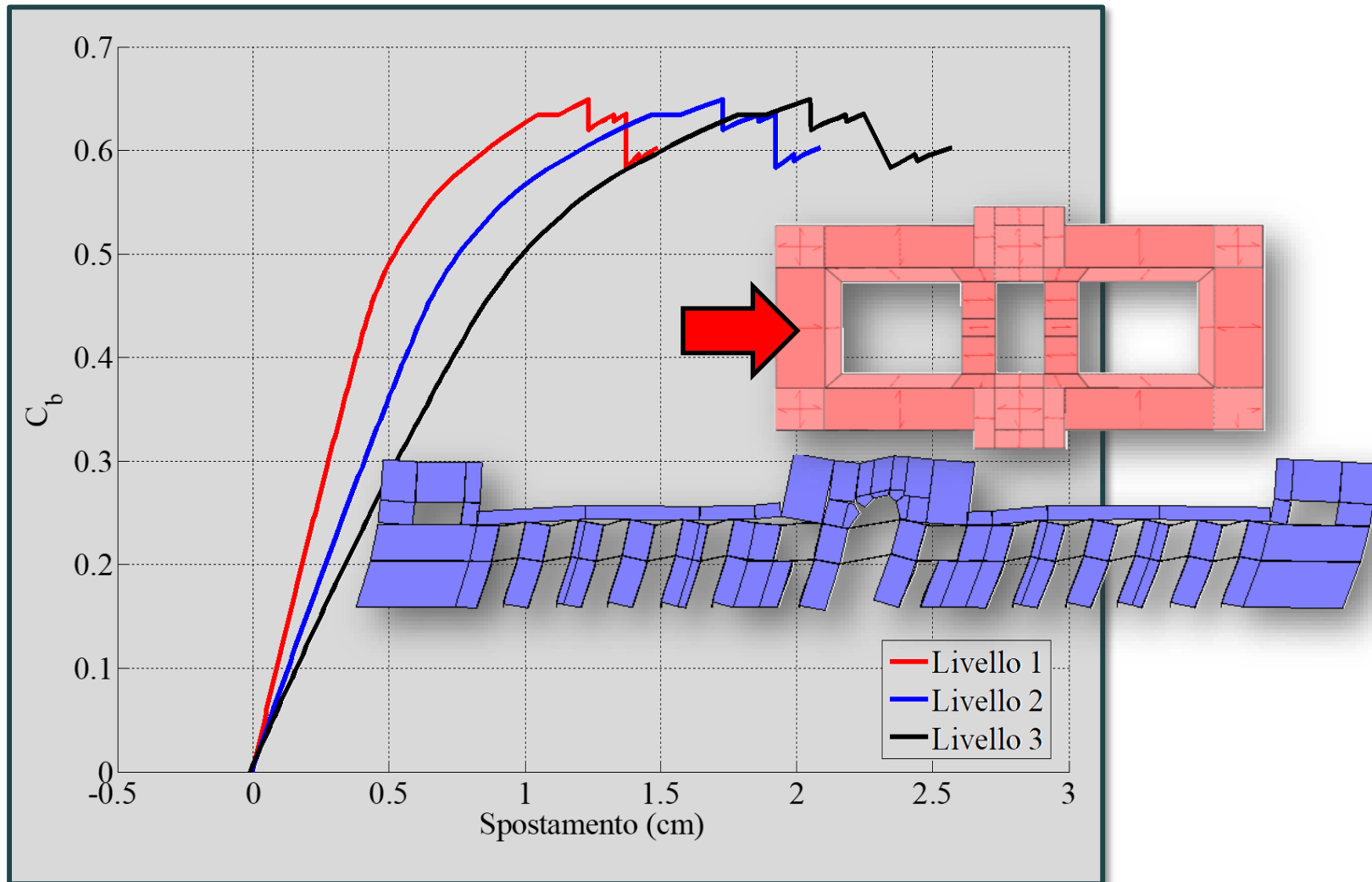
Progettisti: Ing. Antonino Russo & Cesare Costantino



# Il macro-elemento per lo studio del comportamento nel piano

Applicazioni  
numeriche

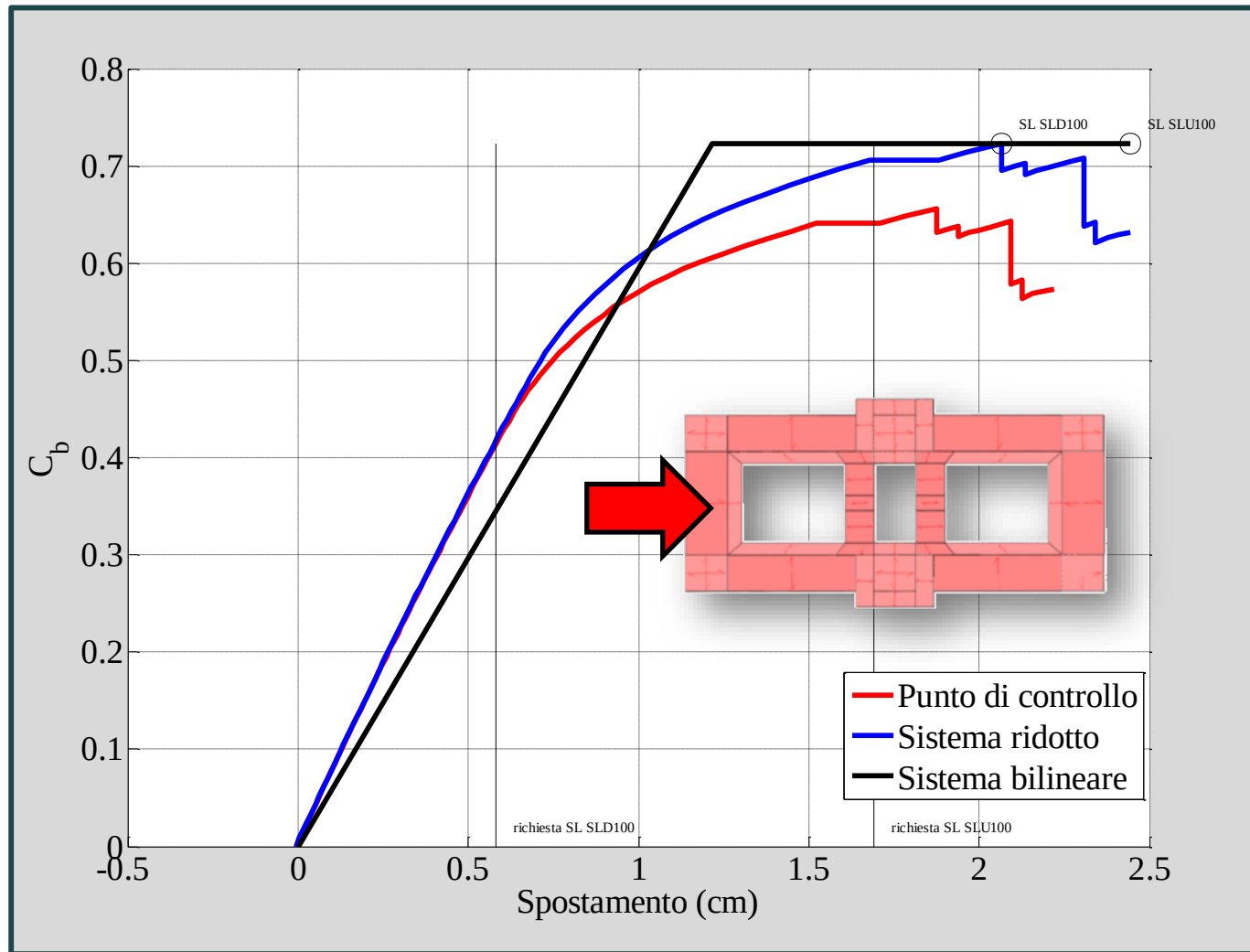
**Catania, vecchia Dogana**



# Il macro-elemento per lo studio del comportamento nel piano

Applicazioni  
numeriche

**Catania, vecchia Dogana**



# Il macro-elemento per lo studio del comportamento nel piano

Un edificio reale può essere schematizzato  
come **assemblaggio di pareti piane**

Ogni parete possiede rigidezza  
**solo nel proprio piano**

Tali pareti non interagiscono direttamente fra loro  
ma sono collegate dai **solai di piano**

Tale approccio è applicabile solo a edifici  
con **comportamento scatolare**

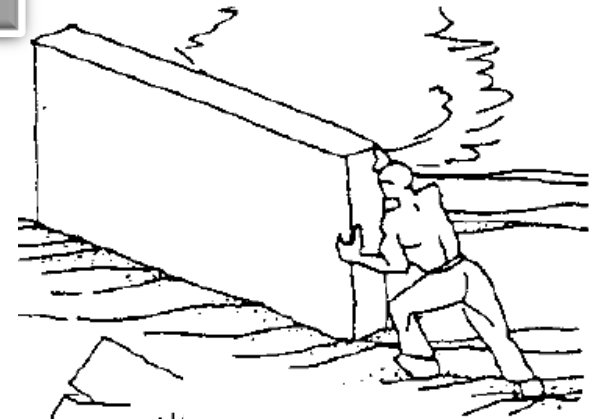
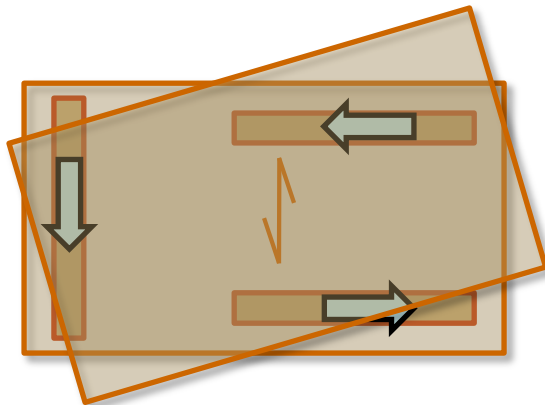


figura da Touliatos, 1996



## Il comportamento “scatolare”

Se la muratura viene impegnata  
**nel proprio piano,**  
questa si danneggia ma  
non si verifica il collasso dell'edificio



# Il macro-elemento per lo studio del comportamento nel piano

## Bibliografia

**I. Caliò, M. Marletta, B. Pantò**, “Un semplice macro-elemento per la valutazione della vulnerabilità sismica di edifici in muratura” in *XI Convegno ANIDIS L'Ingegneria Sismica in Italia - Genoa (Italy), 25-29 Gennaio 2004*, Conference Proceedings, 2004 (in Italian).

**I. Caliò, M. Marletta, B. Pantò**, “A simplified model for the evaluation of the seismic behaviour of masonry buildings” in *10th International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, Rome (Italy), 30 August - 2 September 2005*, edited by B. J. Topping, Conference Proceedings, Paper no. 195, 2005.

**I. Caliò, M. Marletta, B. Pantò**, “Un macro-elemento in grado di cogliere il comportamento nel piano e fuori piano di pareti murarie” in *XII Convegno ANIDIS L'Ingegneria Sismica in Italia, Pisa (Italy), 10-14 Giugno 2007*, Conference Proceedings, 2007 (in Italian).

**I. Caliò, F. Cannizzaro, E. D'Amore, M. Marletta & B. Pantò**, “Un nuovo approccio ai macro-elementi per la stima della resistenza sismica di edifici in struttura mista muratura – calcestruzzo armato: applicazioni ad un caso di studio”. Convegno RELUIS - Valutazione e Riduzione della Vulnerabilità Sismica di Edifici Esistenti in C.A. *Roma, 29-30 Maggio 2008*.

**I. Caliò, F. Cannizzaro, E. D'Amore, M. Marletta & B. Pantò**, “A new discrete-element approach for the assessment of the seismic resistance of composite reinforced concrete – masonry buildings”. 2008 Seismic Engineering International Conference Commemorating the 1908 Messina and Reggio Calabria Earthquake (MERCEA '08). *Reggio Calabria, 8-11 Luglio 2008*.

**I. Caliò, M. Marletta & B. Pantò**, “A discrete-element approach for the evaluation of the seismic response of masonry buildings”. 14th World Conference on Earthquake Engineering, *Beijing, (China), October 12-17 2008*. Paper ID 14-0074.

**3DMacro**: A 3D computer program for the seismic assessment of masonry building.  
Web: [www.3dmacro.it](http://www.3dmacro.it).

### Bibliografia

**I. Caliò, M. Marletta, B. Pantò**, "A simplified model for the evaluation of the seismic behaviour of masonry buildings" in *10th International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, Rome (Italy), 30 August - 2 September 2005*, edited by B. J. Topping, Conference Proceedings, Paper no. 195, 2005.

**I. Caliò, M. Marletta, B. Pantò**, "Un macro-elemento in grado di cogliere il comportamento nel piano e fuori piano di pareti murarie" in *XII Convegno ANIDIS L'Ingegneria Sismica in Italia, Pisa (Italy), 10-14 Giugno 2007*, Conference Proceedings, 2007 (in Italian).

**I. Caliò, M. Marletta & B. Pantò**, "A discrete-element approach for the evaluation of the seismic response of masonry buildings". 14th World Conference on Earthquake Engineering, *Beijing, (China), October 12-17 2008*. Paper ID 14-0074.