Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e Strutturale

# Convegno ReLUIS

PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

## Progetto DPC-ReLUIS 2024-2026

**Napoli, 13-14 ottobre 2025**

## WP 10 – COSTRUZIONI IN MURATURA

**Coordinatore: Guido Magenes** **Referente DPC: Daniele Spina**

# WP10 – Costruzioni in Muratura (Aspetti normativi)

Coordinatore: Guido Magenes  Referente DPC: Daniele Spina

## Unità di Ricerca coinvolte triennio 2024-2026: 16

**UniBO** - Responsabile Scientifico Prof. **S. De Miranda**
**UniBS** - Responsabile Scientifico Prof. **M.Preti**
**UniCT** - Responsabile Scientifico Prof. **I. Caliò**
**UniCH** - Responsabile Scientifico Prof. **G. Camata**
**UniGE** - ResponsabileiScientifici Prof. **S. Lagomarsino/S.Cattari**
**PoliMI** - Responsabile Scientifico Prof. **G. Milani**
**UniNA-a** - Responsabile Scientifico Prof. **P.Ricci**
**UniNA-b** - Responsabile Scientifico Prof. **G.Brandonisio**
**UniNA-c** - Responsabile Scientifico Prof. **F.Parisi**
**UniNA-d** - Responsabile Scientifico Prof. **A. De Luca**
**UniPA-a** - Responsabile Scientifico Prof. **L. Cavaleri**
**UniPA-b (ex PoliTO)** - Responsabile Scientifico **Prof. F. Di Trapani**
**UniPD** - Responsabile Scientifico Prof. **F. da Porto**
**UniPV-a -** Responsabile Scientifici Prof. **G. Magenes/G.Guerrini**
**UniPV-b** - Responsabili Scientifici Prof. **A.Penna/F.Graziotti**
**UniRM1** - Responsabile Scientifico Prof. **L.Sorrentino**

# WP10 – Costruzioni in Muratura (Aspetti Normativi)

Coordinatore: Guido Magenes  Referente DPC: Daniele Spina

## Obiettivi del WP10 per il triennio 2024-2026:

1. Validazione e sviluppo dei **modelli di capacità locali** (task 1.1) **e globali** (task 1.2) **per la definizione degli stati limite della muratura strutturale**, definiti in funzione del metodo di analisi (lineare, non lineare, statico, dinamico), tenendo conto delle incertezze, con riferimento **sia alla condizione pre- che post-intervento**.
2. Analisi e verifica dei **sistemi complessi** (unità in aggregato, complessi edilizi di grande estensione, strutture miste in muratura ed altre tecnologie) e predisposizione di casi studio/esempi di riferimento.
3. Validazione e sviluppo dei **modelli di capacità locali e globali per la definizione degli stati limite della muratura non strutturale** (tamponature, partizioni), definiti in funzione del metodo di analisi (lineare, non lineare, statico, dinamico), e alla **condizione pre- e post-intervento**.
4. Valutazione dei **metodi di verifica idonei** all'uso nei casi particolari di strutture murarie in cui la **componente verticale del moto sismico** sia di rilevanza

| UR N. | RESPONSABILE SCIENTIFICO | UNIVERSITÀ | DIP. | TASK 1 | TASK 2 | TASK 3 | TASK 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Magenes Guido/Guerrini | Università degli Studi di Pavia | DICAr | X | X | X | X |
| 2 | Penna Andrea /Graziotti Francesco | Università degli Studi di Pavia | DICAr | X | X | | X |
| 3 | Lagomarsino Sergio/Cattari Serena | Università degli Studi di Genova | DICCA | X | X | | |
| 4 | Sorrentino Luigi | "Sapienza" Università di Roma | DISG | | | | X |
| 5 | da Porto Francesca | Università degli Studi di Padova | GEOSCIENZE | | X | X | |
| 6 | Camata Guido | Università degli Studi "G. D'Annunzio" Chieti - Pescara | INGEO | X | X | | |
| 7 | Caliò Ivo | Università degli Studi di Catania | DICAR | X | X | X | |
| 8 | Preti Marco | Università degli Studi di Brescia | D.I.C.A.T.A.M. | | | X | |
| 9 | Ricci Paolo | Università degli Studi di Napoli "Federico II" | Di.St. | | | X | |
| 10 | Brandonisio Giuseppe | Università degli Studi di Napoli "Federico II" | Di.St. | X | X | | |
| 11 | Parisi Fulvio | Università degli Studi di Napoli "Federico II" | Di.St. | X | X | | |
| 12 | De Luca Antonello | Università degli Studi di Napoli "Federico II" | Di.St. | | X | | |
| 13 | De Miranda Stefano | Università degli Studi di Bologna | DICAM | X | | | |
| 14 | Milani Gabriele | Politecnico di Milano | ABC | X | X | | |
| 15 | Di Trapani Fabio | Politecnico di Torino/Univ. di Palermo | DISEG/Dip. di Ingegneria | | X | X | |
| 16 | Cavaleri Liborio | Università degli Studi di Palermo | Dipartimento di Ingegneria | | | X | |

## Task 1: Modelli di capacità locali e globali per la definizione degli stati limite, definiti in funzione del metodo di analisi – Muratura strutturale

### Alcune considerazioni preliminari all'avvio del triennio

- Necessità di continuo **miglioramento e sviluppo dei modelli** per la valutazione della capacità
- **Capacità deformative delle murature**: si rileva una **scarsità di riferimenti** sulle capacità deformative delle **murature consolidate**. I progettisti fanno spesso riferimento, senza giustificazioni plausibili, a quanto riportato per la muratura armata, oppure cautelativamente assumono la stessa capacità deformativa della muratura non rinforzata, per cui l'effetto del rinforzo sulle verifiche resta solo sul lato della capacità in forza.
- Strumenti e metodi per la verifica dei **meccanismi locali** – Il lavoro precedente su diversi casi studio ha prodotto risultati interessanti ma limitati in numero e portata. E' necessario proseguire il lavoro per
  - la **validazione e miglioramento dei metodi di verifica da normativa** (sul fronte della valutazione della capacità e della domanda).
  - il **benchmarking dei software commerciali** disponibili per la verifica dei meccanismi locali:

# WP10 – Costruzioni in Muratura 2024-2026

Coordinatore: Guido Magenes Referente DPC: Daniele Spina

## Task 1: Modelli di capacità locali e globali per la definizione degli stati limite, definiti in funzione del metodo di analisi – Muratura strutturale

### Subtask 1.1: Verifica sismica dei meccanismi locali (coord. S.Cattari) 7 UR partecipanti:

UniGE, UniPVa e b, UniCT, UniNA, UniBO, POLIMI

*Obiettivo:*

Miglioramento degli approcci da normativa relativamente ai modelli di capacità e ai criteri di verifica per i meccanismi locali fuori piano.

*Attività:*

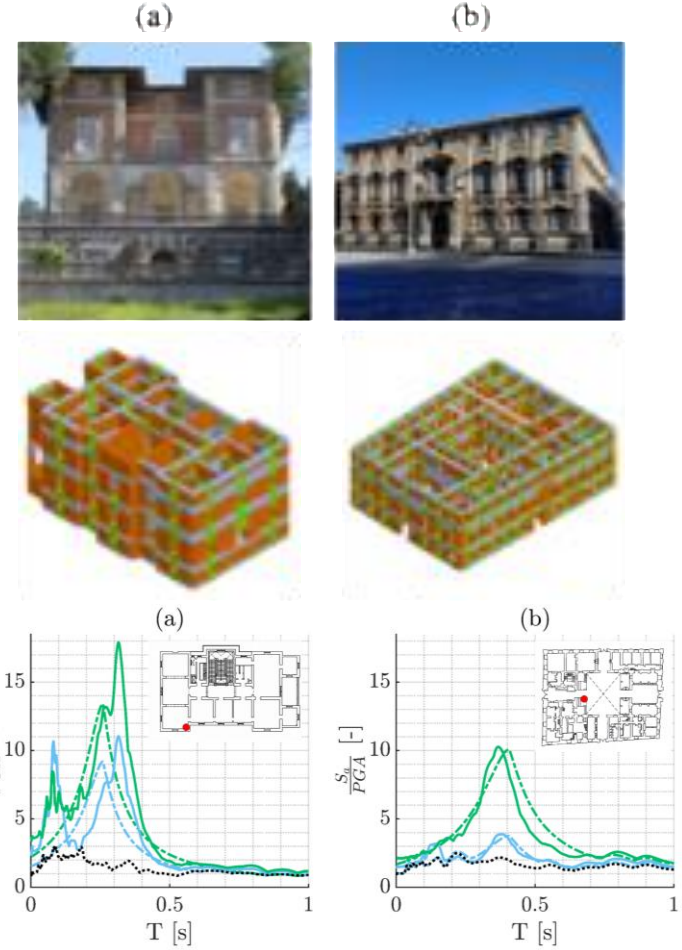
- Analisi, anche con riferimento alla risposta dinamica, **di casi problematici di verifica cinematica non lineare** di meccanismi locali di pareti;
- In generale, individuazione di **esempi di riferimento** e **casi benchmark** per la verifica cinematica non lineare di meccanismi locali di pareti, parapetti e pinnacoli, sistemi ad arco e voltati; utilizzo di **diversi metodi di modellazione** (statici e dinamici, a blocchi rigidi o di dettaglio)
- Applicazione e **verifica di software commerciali** all'analisi dei meccanismi locali.

# WP10 – Costruzioni in Muratura 2024-2026

## Subtask 1.1: Verifica sismica dei meccanismi locali

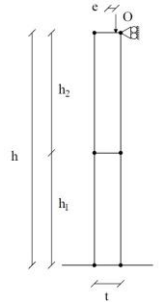
### UNIGE *(Cattari S., Lagomarsino S.)*

Validazione di formulazioni normative per la definizione di **spettri di piano** con dati di monitoraggio dell' OSS

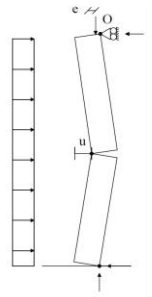



### UNIPVa – UNIPVb *(Magenes G. e Guerrini G., Penna A. e Graziotti F.)*

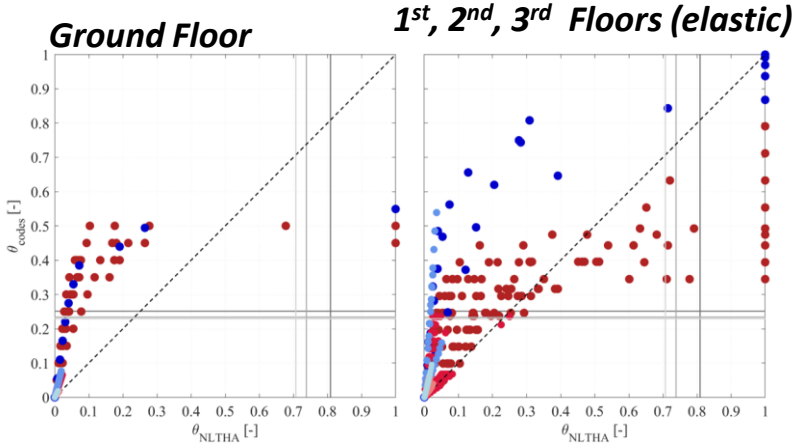
Confronto analisi dinamiche non lineari e analisi cinematiche non lineari: **valutazioni procedura NTC 2018 e Nuova Generazione EC8**



UNDEFORMED CONFIG.



DEFORMED CONFIG.



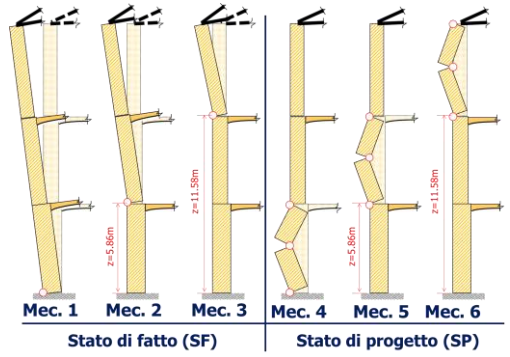

### UNINA *(Brandonisio G., De Luca A.)*

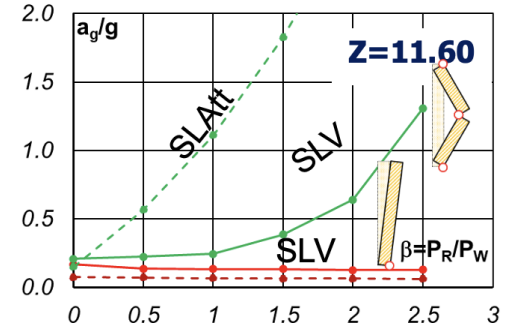
**Applicazione e verifica di software commerciali** (C.D.S.- Win Verifica meccanismi locali muratura)

Applicazione di **analisi cinematica lineare e non lineare** a casi di pareti in varie configurazioni

**Caso Studio: caserma C. Battista, Nola (NA)**

Meccanismi analizzati



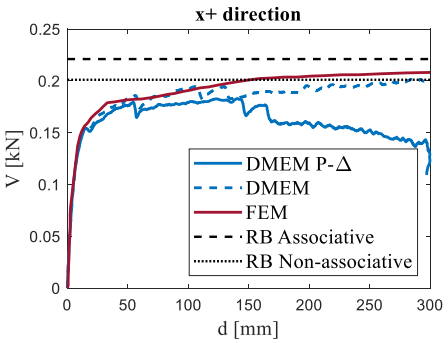
# WP10 – Costruzioni in Muratura 2024-2026

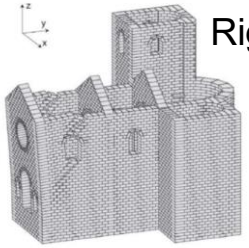
## Subtask 1.1: Verifica sismica dei meccanismi locali

### UNICT *(Caliò I.) S.*

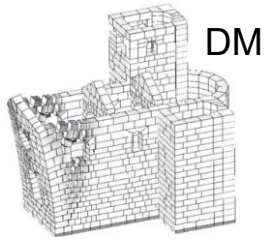
**Modellazione ad elementi finiti** (FEM) e a **macro-elementi discreti** (DMEM) per simulare la risposta fuori dal piano di strutture in muratura

**Chiesa di San Nicolò di Capodimonte**

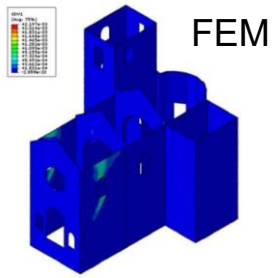


Rigid block model (RBM)



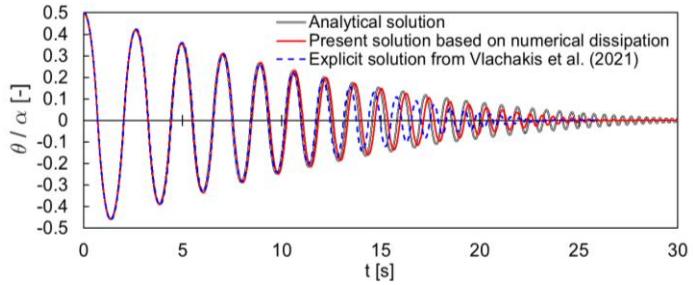
DMEM



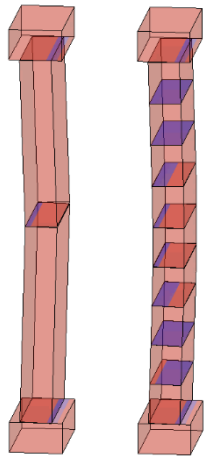
FEM

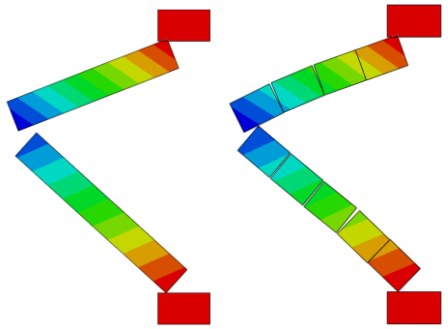
### UNIBO *(De Miranda S.)*

Proposta e validazione di un **approccio computazionale basato su dissipazione numerica** volto a simulare blocchi soggetti ad oscillazione.




2-BLOCK 9-BLOCK





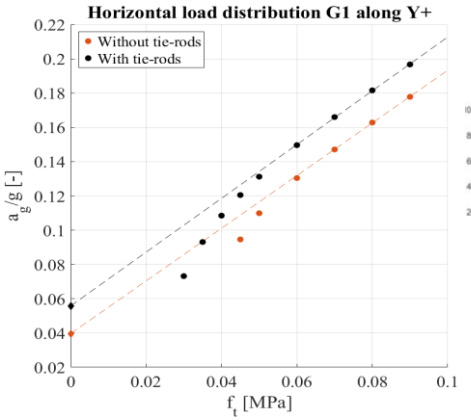
2-BLOCK 9-BLOCK

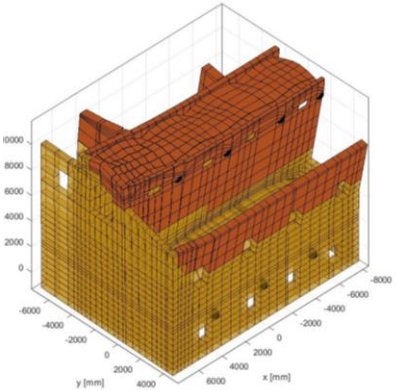
### POLIMI *(Milani G.)*

**Analisi limite discretizzata 3D** con elementi esaedri e interfacce quadrilatere

Procedura iterativa per monitorare **l'attivazione di meccanismi di collasso** che simulino la non resistenza a trazione attraverso LP e sotto le ipotesi della Circolare 2019 (analisi cinematica lineare)

**Santa Maria della Pace**



0.4724 m/s²<$a_{SLV}$

# WP10 – Costruzioni in Muratura 2024-2026

Coordinatore: Guido Magenes  Referente DPC: Daniele Spina

## Task 1: Modelli di capacità locali e globali per la definizione degli stati limite, definiti in funzione del metodo di analisi – Muratura strutturale

## Subtask 1.2: Verifica della risposta sismica globale degli edifici (coord. G.Magenes) 7 UR partecipanti:

UniPVa e b, UniGE, UniNAb e c, UniBO, UniCH

*Obiettivo:*

Risoluzione di **incongruenze o vuoti normativi** sui modelli di capacità per azioni nel piano e per le analisi globali, e il **miglioramento degli strumenti di calcolo** per le verifiche sismiche degli edifici in muratura

*Attività:*

- Calibrazione dei **valori di calcolo e dei coefficienti parziali di sicurezza** per le verifiche agli spostamenti globali e locali per azioni nel piano **tenendo conto delle incertezze** (epistemiche/di modello e aleatorie).
- Raccolta dei **dati sperimentali esistenti** e interpretazione/modellazione numerica complementare **sia su elementi strutturali** che, in fase successiva, su sistemi **post-intervento di rinforzo**.
- Definizione di un framework metodologico che indirizzi **le applicazioni dei nuovi sistemi di rinforzo** alle strutture murarie al fine di individuare tutti i parametri necessari per le verifiche, incluse le capacità deformative.
- Sviluppo e divulgazione di **strumenti a sostegno dei professionisti**

Interazioni e coordinamento con altri WP: WP5 e WP14 dedicati alle tecniche di rinforzo.

# WP10 – Costruzioni in Muratura 2024-2026

## Subtask 1.2: Verifica della risposta sismica globale degli edifici

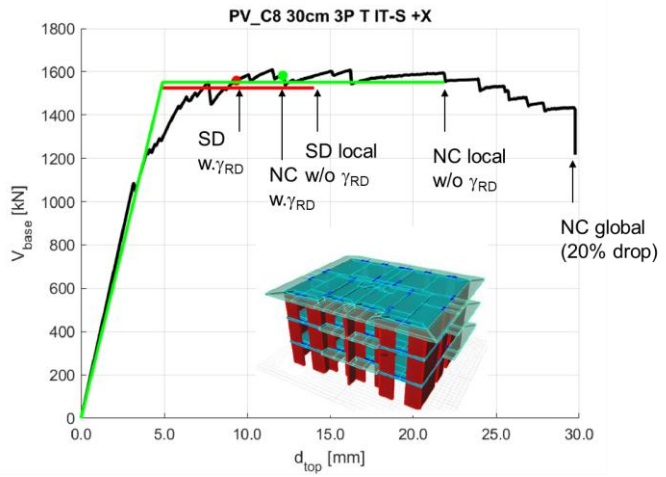
### UNIPVa *(resp. G.Magenes, G.Guerrini)*

Calibrazione dei **valori di progetto** nelle **verifiche globali in spostamento**

Applicazione parametrica e verifica delle procedure EC8 su modelli nonlineari a telaio equivalente:

Verifica della **prevalenza dei criteri "globali" e "locali"** per la definizione degli SL

Controllo della **adeguatezza dei coefficienti $\gamma_{RD}$** EC8 per la verifica in spostamento ed eventuale ricalibrazione




### UNIPVb *(resp. A.Penna, F.Graziotti)*

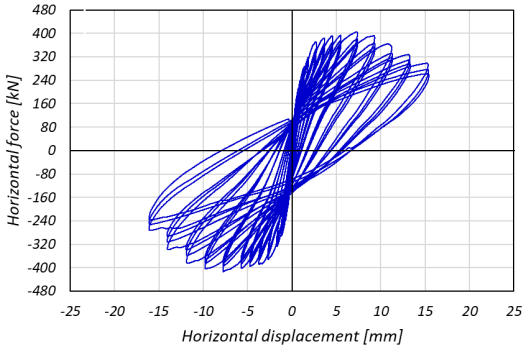
Studio dell'**influenza dei rinforzi sulla capacità deformativa** associata ai diversi Stati limite.

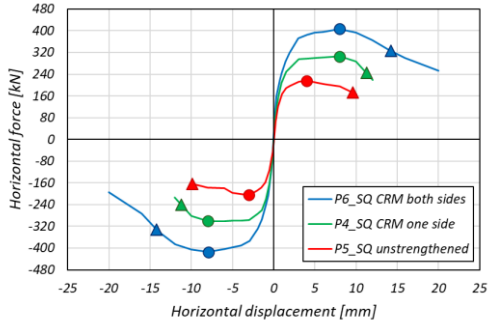
Rinforzi con:

- ❑ CRM/FRCM/FRC/FRM (su 2 facce o su 1 faccia)
- ❑ profili in acciaio
- ❑ pannelli e irrigidimenti in legno
- ❑ altre tecniche

**Elaborazione di prove sperimentali**

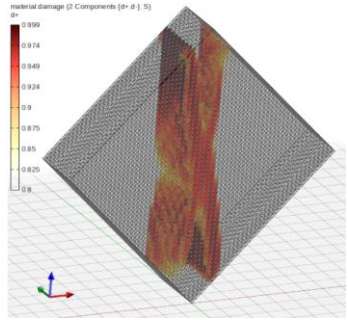
Prove cicliche di taglio nel piano su pannelli rinforzati con CRM. FRCM, FRM




Predisposizione di un **database di prove cicliche nel piano** di pannelli murari rinforzati con materiali compositi fibrorinforzati e con altre tecniche di rinforzo.

Modellazioni numeriche complementari di dettaglio FEM e DEM calibrate su prove sperimentali



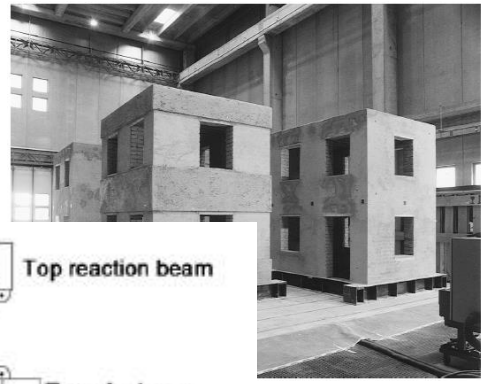
# WP10 – Costruzioni in Muratura 2024-2026

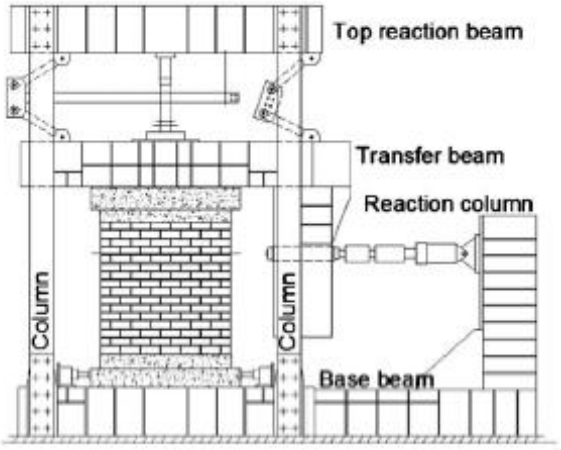
## Subtask 1.2: Verifica della risposta sismica globale degli edifici

### UNINA *(resp. G.Brandonisio)*

**Raccolta e interpretazione dei risultati sperimentali** da letteratura su elementi strutturali in muratura rinforzata e non, con particolare attenzione alle **prove sperimentali in scala**, a supporto di una **modellazione FEM non lineare che consenta di simulare l'effetto dei rinforzi.**

Tipi di prove: scala da 1:1 a 1:10





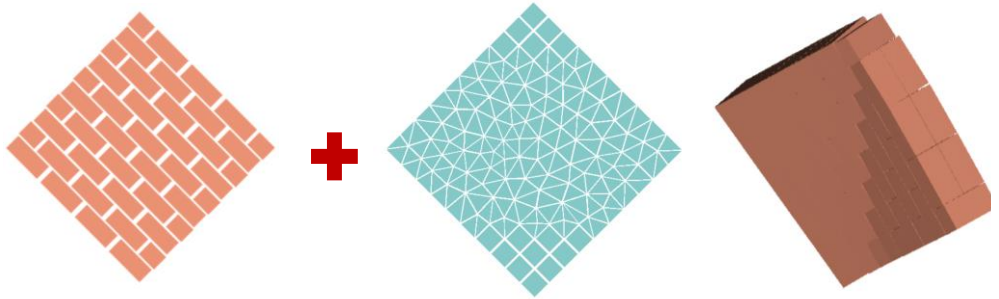

### UNINA *(resp. F.Parisi)*

Validazione di un **micro-modello semplificato** per la muratura ordinaria (URM)

- validazione per taglio e compressione alla **scala del pannello**
- validazione alla **scala della parete** per l'analisi della risposta ad azioni orizzontali nel piano

Validazione in corso di un **macro-modello del sistema di rinforzo** FRCM

- **incrementi di resistenza e comportamento complessivo** compatibili con **dati sperimentali**
- differenze piccole fra **modelli bilineari e modelli elasto-fragili** per la stima degli **incrementi di resistenza**

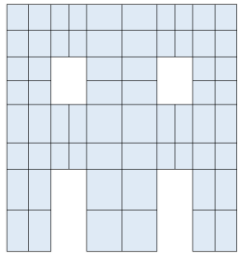


Muratura: micro-modelli semplificati

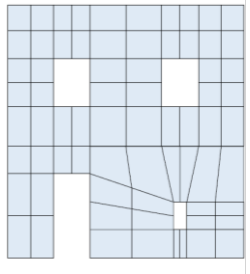
Composito: modello omogeneo equivalente

### UNIBO *(resp. S.De Miranda)*

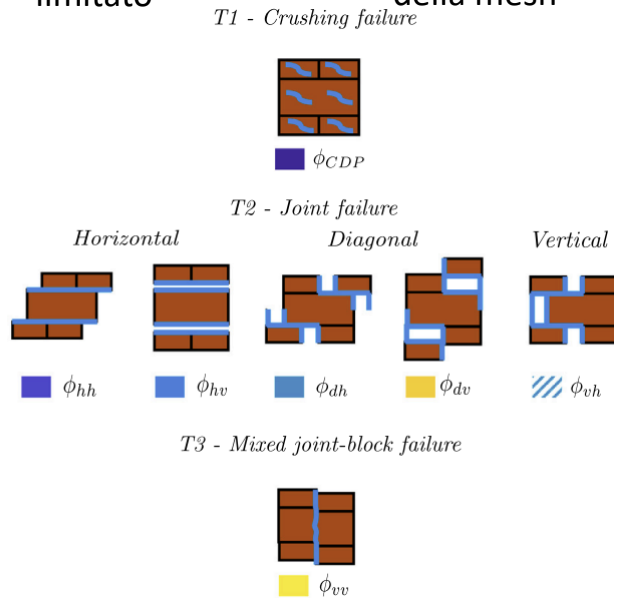
Sviluppo di un **nuovo modello al continuo** in elasto-plasticità perfetta (in collaborazione con UNICAL)



Costo computazionale limitato



Insensibile alle distorsioni della mesh



## Subtask 1.2: Verifica della risposta sismica globale degli edifici

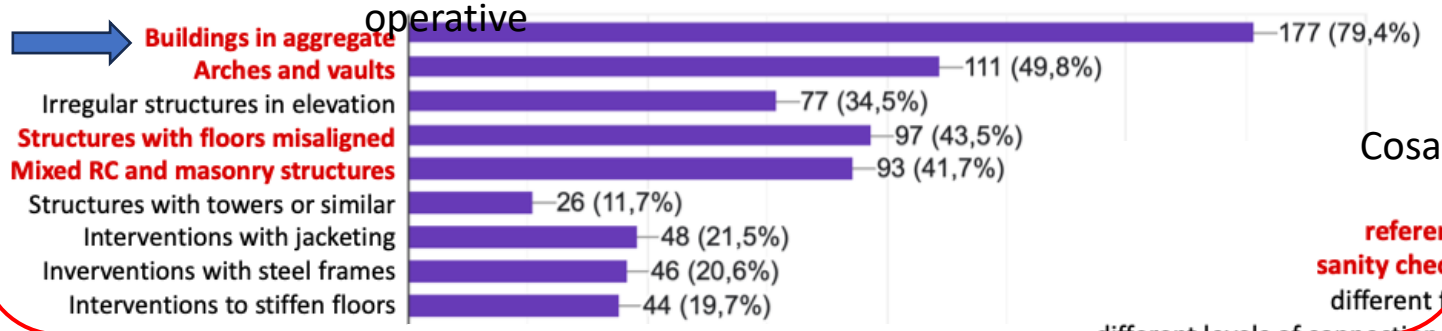
UNIGE *(resp. S.Cattari, S.Lagomarsino)*

Attività di **divulgazione delle Linee Guida «Uso dei software di calcolo nella verifica sismica degli edifici in muratura V3.0»** pubblicate a Dicembre 2024.

**Sondaggio somministrato ai professionisti** che ha molteplici **obiettivi**: 1) fare una **ricognizione dell'expertise dei professionisti** sui software e raccogliere esigenze sulle difficoltà che maggiormente incontrano; 2) **rinnovare l'interesse** sul documento di linee guida benchmark; 3) trarre **spunti per future ricerche** che possano incontrare le esigenze dei professionisti.

I risultati del sondaggio sono stati presentati in una **tavola rotonda** organizzata nell'ambito della conferenza SAHC 2025 coinvolgendo panelists a scala internazionale e confronto con quanto emerso con i risultati di forms analoghi proposti in Nuova Zelanda e in Portogallo.

Casistiche emerse come **più problematiche** su cui i professionisti vorrebbero indicazioni operative




Cosa vorrebbero trovare in una V.4 del documento di Linee Guida

# WP10 – Costruzioni in Muratura 2024-2026

Coordinatore: Guido Magenes  Referente DPC: Daniele Spina

**Task 2 - 10.2: Analisi e verifica di sistemi complessi (coord. S.Lagomarsino, G.Guerrini) 11 UR partecipanti:** UniGE, UniPVa e b, UniCH, UniCT, UniNAb,c,d, UniPA, UniPD, PoliMI

*Obiettivi e attività:*

**Obiettivo 1:**
Analisi e verifica di **unità edilizie in aggregato** e di **complessi edilizi di grande estensione**

- Definizione di casi studio di unità edilizie in aggregati strutturali.
- Modellazioni di dettaglio e modellazioni semplificate, confronti al variare di differenze di rigidezza e resistenza tra le unità edilizie (anche indotte da interventi di consolidamento parziali delle unità).
- Confronti fra analisi dinamiche lineari, statiche non lineari e dinamiche non lineari.

**Obiettivo 2:**
Analisi e verifica di sistemi **a struttura mista in muratura e cemento armato**

- Analisi di casi studio di edifici a struttura mista muratura e cemento armato.
- Effetto di ampliamenti in pianta o sopraelevazioni, interazione fra telai in c.a. e murature strutturali o di tamponatura.

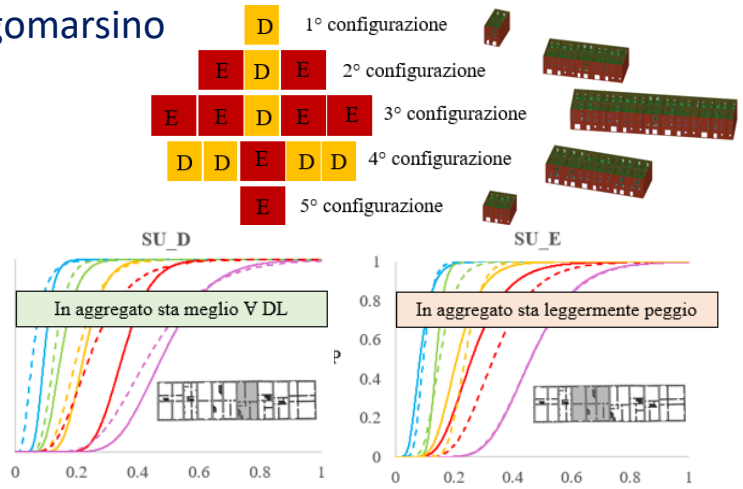
# WP10 – Costruzioni in Muratura 2024-2026

## Task 2 - 10.2: Analisi e verifica di sistemi complessi – Obiettivo 1

Svolgimento di ***analisi parametriche*** di configurazioni semplificate; ASNL e ADNL

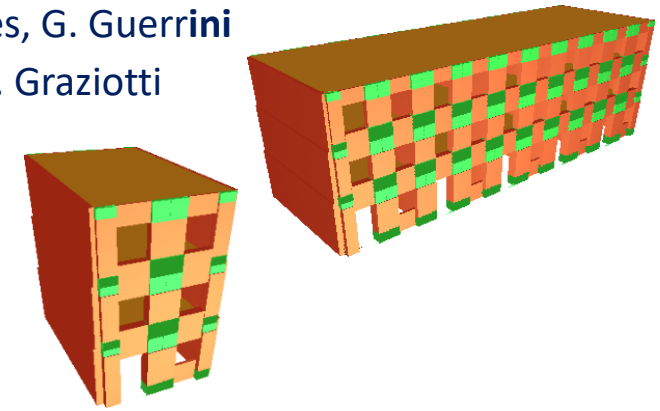
**UniGE** – S. Cattari, S. Lagomarsino

Analisi delle unità INTERNE all'aggregato al variare della ***rigidezza*** e ***resistenza*** delle unità ad esse adiacenti.



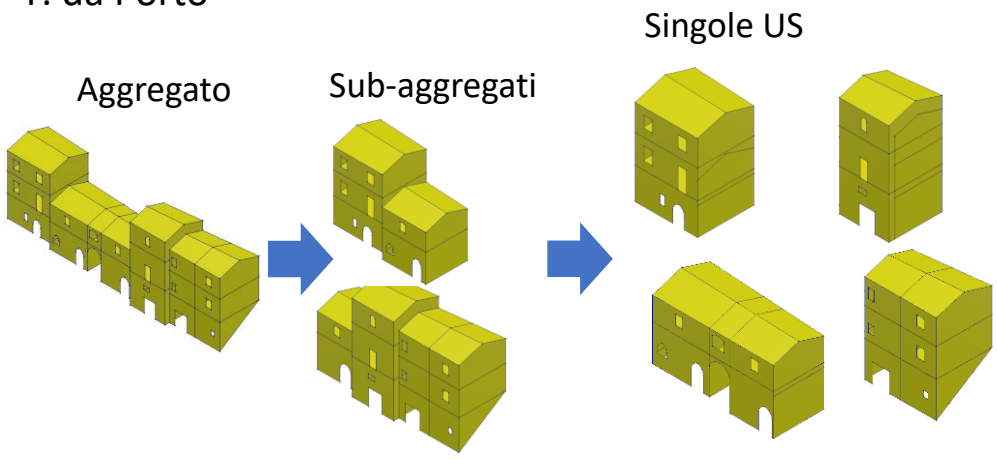

**UniPV/a** – G. Magenes, G. Guerrini
**UniPV/b** – A.Penna, F. Graziotti

Studio degli effetti di interventi non uniformi sulle US dell'aggregato



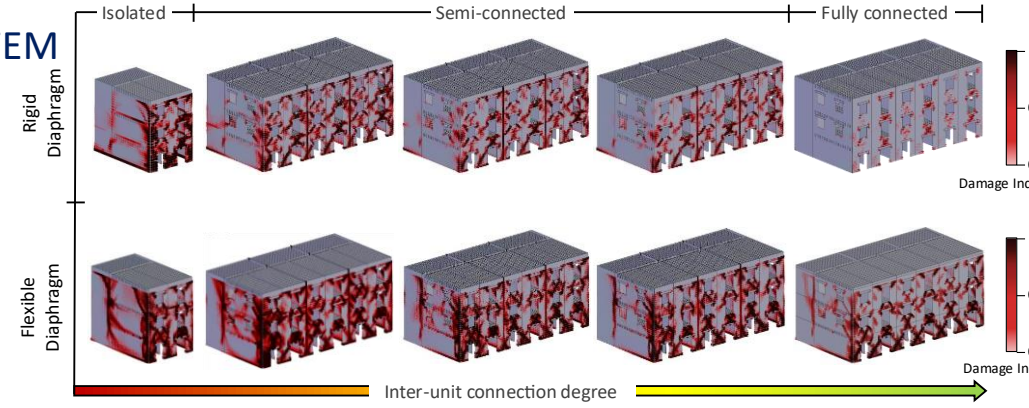
**UniPD** – F. da Porto

Ricerca della minima unità di analisi




**UniPA** – Fabio Di Trapani **UniCH** – Guido Camata

Modellazione FEM di aggregati elementari con diverso grado di connessione e flessibilità dei solai

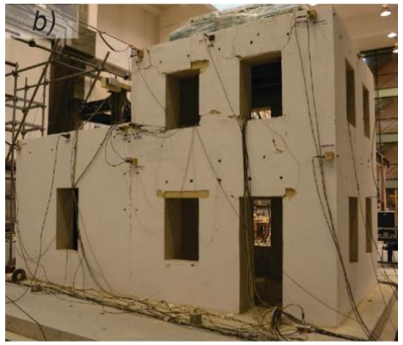


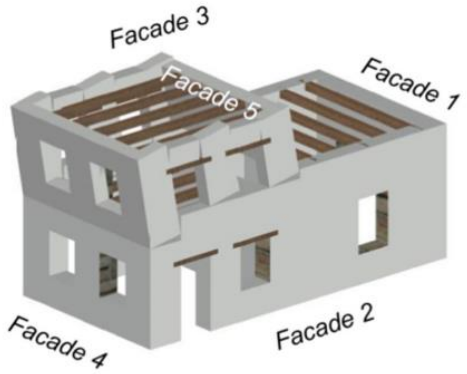

**Obiettivo principale**: Pervenire a criteri per modellare l'interazione in maniera semplificata laddove rilevante. In collab con WP5

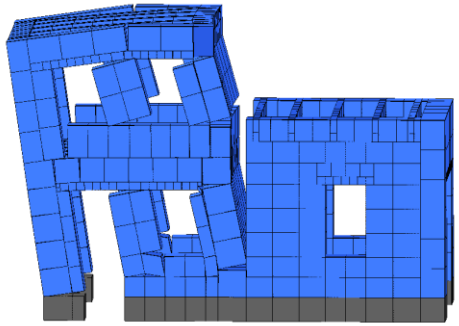
## Task 2 - 10.2: Analisi e verifica di sistemi complessi – Obiettivo 1

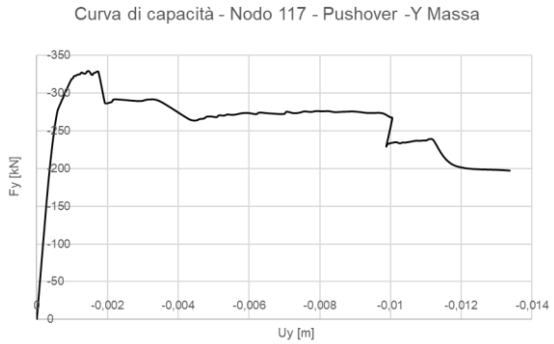
**UniCT** – I.Caliò, F.Cannizzaro

Modellazione di aggregati strutturali mediante metodo ai Macro-Elementi Discreti (SERA-AIMS)



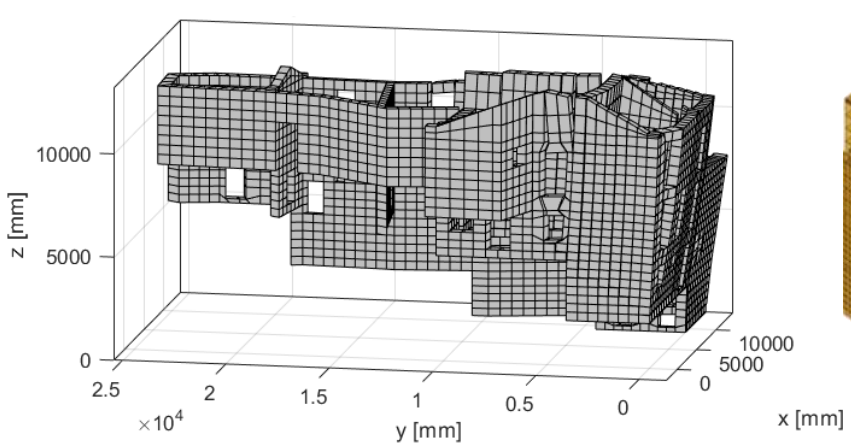



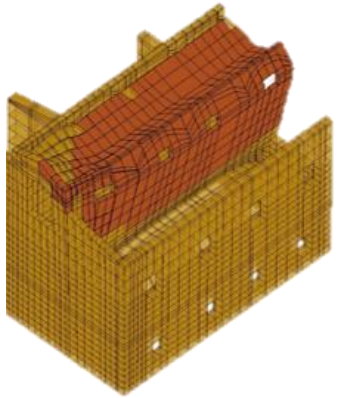



**POLIMI** – G. Milani

Implementazione e validazione di software di **analisi limite 3D** per lo studio di aggregati edilizi ad alta complessità geometrica

- Valutazione della vulnerabilità causata dall'innesco di cinematismi locali
- Proposta di strategie automatiche di ottimizzazione del rinforzo attraverso catene, finalizzate al miglioramento sismico



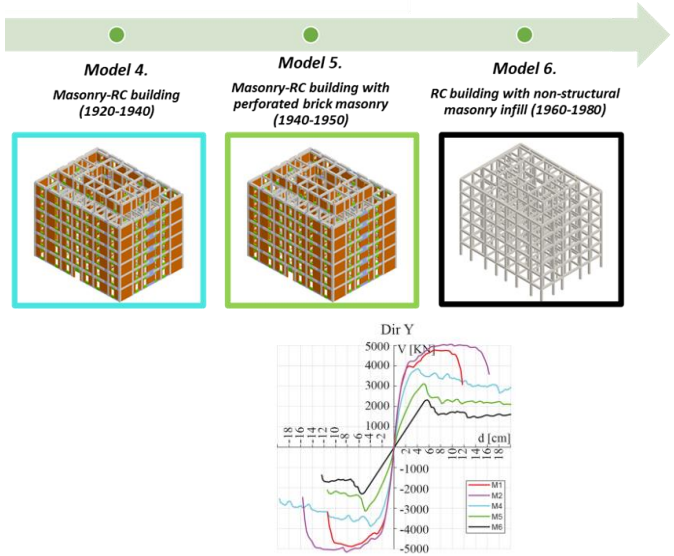
**Obiettivo principale**: Pervenire a criteri per modellare l'interazione in maniera semplificata laddove rilevante. In collab con WP5

# WP10 – Costruzioni in Muratura 2024-2026

## Task 2 - 10.2: Analisi e verifica di sistemi complessi – Obiettivo 2

**UniGE** – S.Cattari, S.Lagomarsino

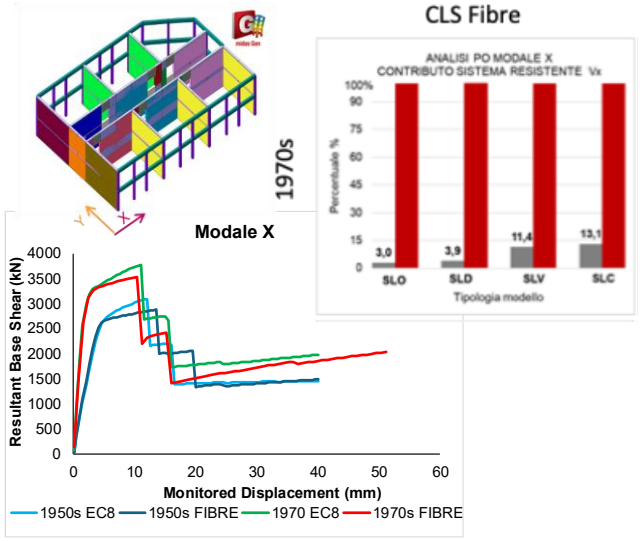
**Analisi statiche non lineari di una struttura mista muratura-cemento armato** analizzata parametricamente per 6 configurazioni che riflettono l'evoluzione dal 1900 al 1980.




**UniPD** – F. da Porto

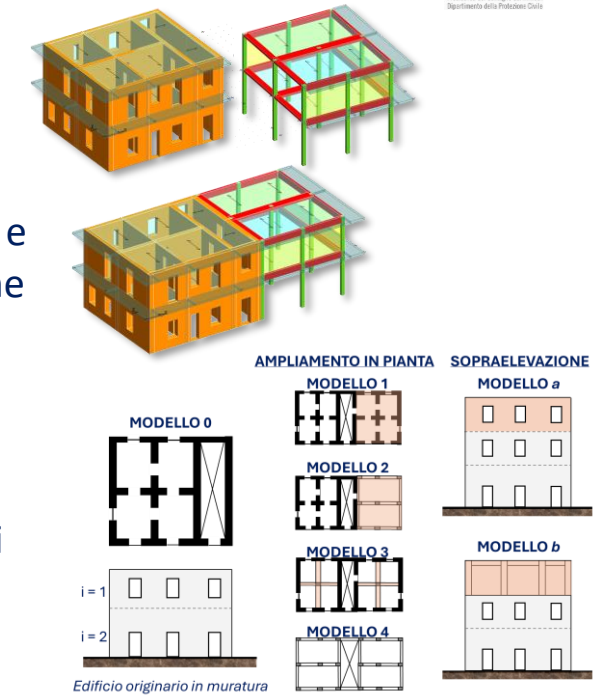
Analisi non-lineari di un edificio scolastico con pareti interne in muratura e telaio in c.a. in facciata, al variare di:

- Caratteristiche dei materiali (valori tipici per anni Cinquanta e Settanta)
- Plasticità (concentrata vs. distribuita)



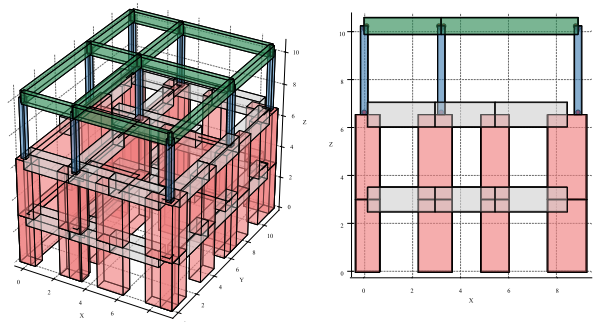

**UniNA/a** – G.Brandonisio

Analisi sismiche, in campo lineare e non, per lo studio della ripartizione delle le azioni tra gli elementi in muratura e quelli in c.a., al fine di stabilire un criterio ingegneristico di definizione della tipologia di edificio misto assimilabile a edifici in muratura o ad edifici in c.a.;




**UniNA/b** – F. Parisi

Edificio misto in muratura – c.a. con sopraelevazione con telai in c.a. rappresentativo dell'epoca 1861-1971 con 2 piani in muratura e 1 piano in c.a.



**C.A.** → Plasticità concentrata (LP) modelli specifici per elementi dotati di barre lisce

**Muratura** → telaio equivalente (EFM)

# WP10 – Costruzioni in Muratura 2024-2026

Coordinatore: Guido Magenes Referente DPC: Daniele Spina

## Task 3 - 10.3: Modelli di capacità locali e globali per la valutazione degli stati limite - Muratura non strutturale (coord. P.Ricci) 7 UR partecipanti: UniNA, UniBS, UniCT, UniPAa e b, UniPD, , UniPVa

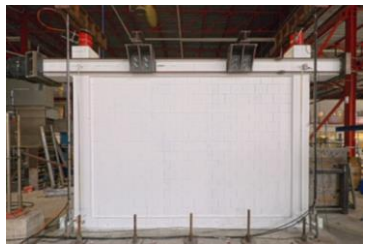
## Alcune considerazioni preliminari all'avvio del triennio

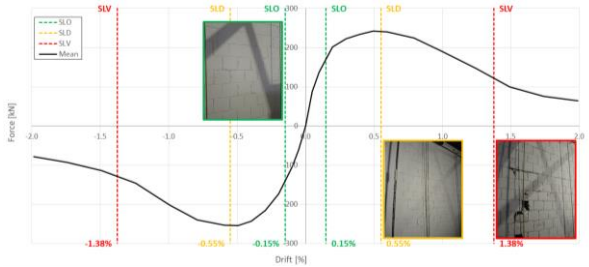
- Non appare chiaro quale sia **l'approccio di modellazione globale più opportuno** per la verifica dell'edificio con l'analisi lineare (**modellazione esplicita delle tamponature** tramite bielle o altro, oppure **modello a telaio nudo**), in particolare in presenza di distribuzione irregolare delle tamponature (in pianta ed in elevazione), e con riferimento ai diversi stati limite;
- Per l'applicazione della verifica con **analisi lineare e fattore di struttura**, le norme tendono a proporre dei **fattori di struttura ridotti** per i telai tamponati, ma non è chiaro su quali basi vengano definiti i q-factors;
- Necessità di approfondimenti sulle **tamponature cosiddette «duttili»** (sviluppatesi negli ultimi 10-15 anni sia come possibile sostituzione di tamponature esistenti sia come alternativa per le nuove costruzioni): criteri di **verifica della tamponatura**, valutazione **dell'interazione locale e globale** per i diversi SL;
- Come per la muratura strutturale, si rileva la necessità di una migliore definizione del **comportamento delle murature rinforzate con le tecniche moderne** (resistenza in forza nel piano e fuori piano e capacità deformativa nel piano).

# Task 3 - 10.3: Modelli di capacità locali e globali per la valutazione degli stati limite - Muratura non strutturale

## INTERPRETAZIONE DI NUOVE PROVE SPERIMENTALI E AGGIORNAMENTO DATABASE

Sono state analizzate e integrate nel database sperimentale realizzato nei precedenti progetti DPC-ReLUIS nuove prove in scala reale sia su tamponature in laterizio 'leggere', eseguite su tavola vibrante, sia su tamponature in calcestruzzo alleggerito (**UniPV**).

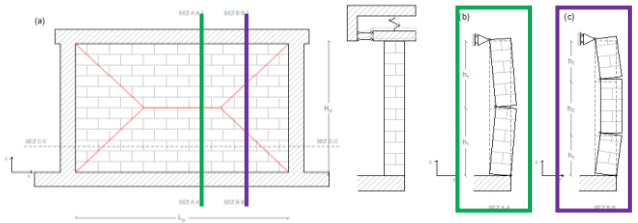




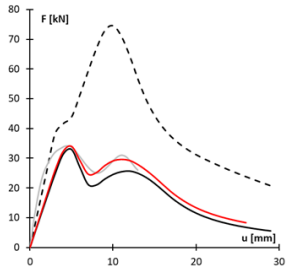

## MODELLAZIONE DELLA RISPOSTA NEL PIANO E FUORI DAL PIANO

Modellazione analitico-numerica risposta fuori dal piano, **UniPD**:

- Sviluppo di un modello a strisce basato sul calcolo dell'effetto arco orizzontale e verticale, con assunzione di linee di frattura

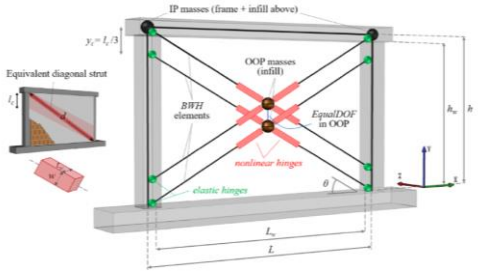


Calvi and Bolognini, 2001
(thin infill, horiz. perforated)



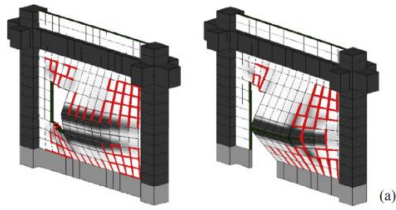

Risposta non lineare nel piano e fuori dal piano (**UniPD**):

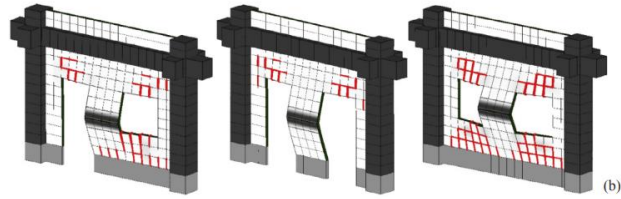
- Aggiornamento in ambiente OpenSees/ STKO di un macro-modello a puntoni equivalenti per la simulazione dinamica del comportamento IP-OOP




Modellazione della risposta non lineare nel piano e fuori dal piano (**UniCT**):

- Macro-elementi discreti con opportuna caratterizzazione dei link non lineari al contorno, consentono di effettuare la modellazione della risposta IP e OOP anche con esplicita modellazione delle aperture

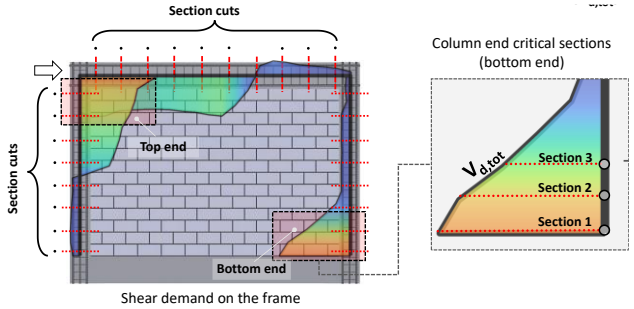


# Task 3 - 10.3: Modelli di capacità locali e globali per la valutazione degli stati limite - Muratura non strutturale

## INTERAZIONE LOCALE

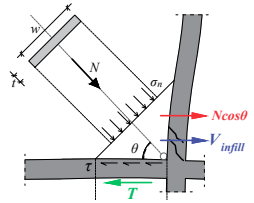
Incremento di sollecitazione tagliante in elementi strutturali adiacenti a pannelli di **tamponatura tradizionale** (**UniPA**): proposta di un'espressione semplificata basata su analisi FEM



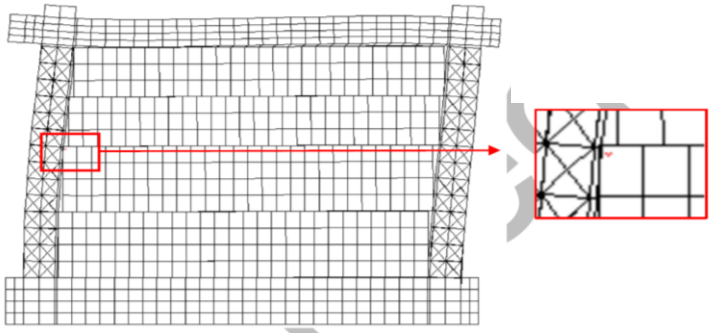

$$V_{Ed,tot} = V_{frame} + \mathrm{N}\left(\cos\theta - \frac{\mu \sin\theta \cdot (\alpha l)}{w}\right)$$

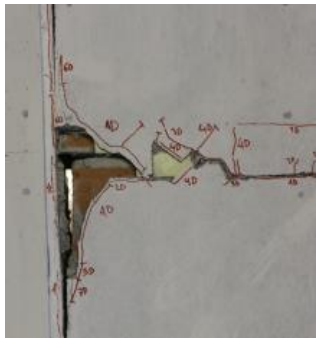
$$\alpha_{TOP} = 1.28 \cdot \frac{w}{2l\sin\theta}$$

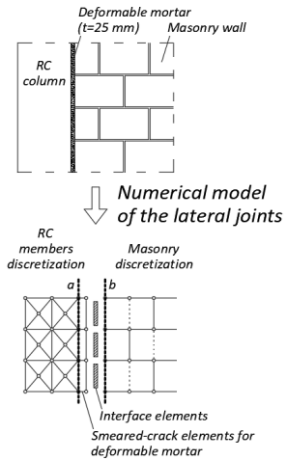
$$\alpha_{BOT} = \frac{w}{2l\sin\theta} \cdot \left(0.58\frac{l}{h} + 0.45\right)$$




È stato sviluppato un approccio alla valutazione di questo fenomeno relativo al caso di progetto di strutture nuove con **tamponature 'duttili' (UniBS e UniPV)**



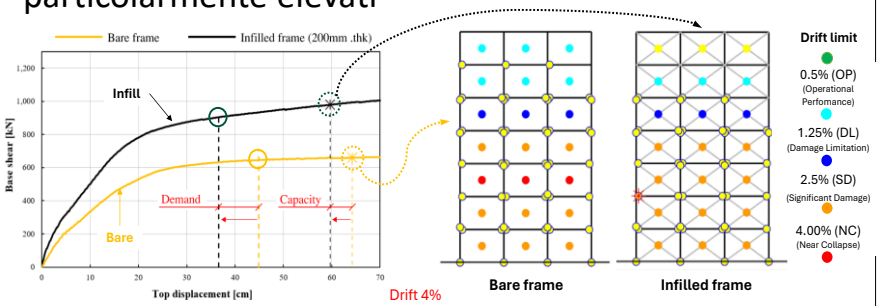


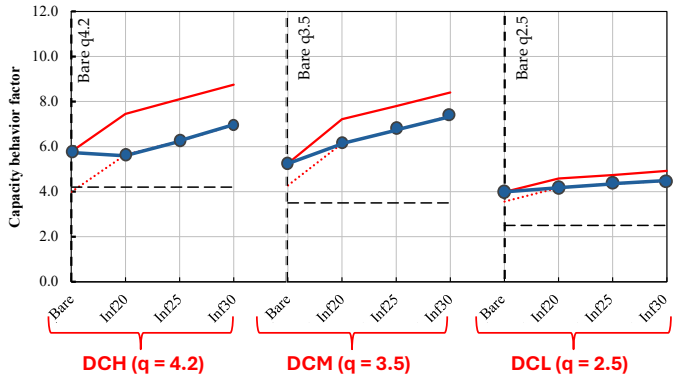



## PROGETTO CON TAMPONATURE «DUTTILI»

Criteri progettuali di edifici in c.a. con tamponature a giunti scorrevoli ('duttili') **UniBS**.

Analisi numeriche lineari e non lineari, statiche e dinaiche evidenziano come la capacità deformativa delle tamponature 'duttili' conduca a valori del **fattore di comportamento (q)** capace particolarmente elevati



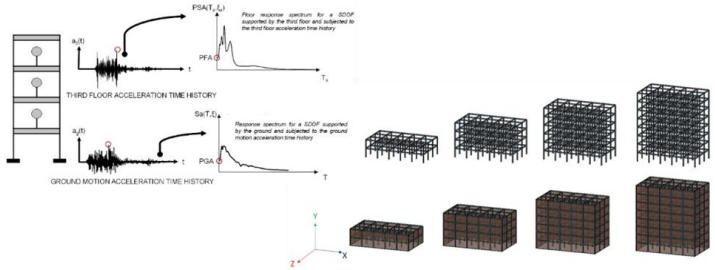



# Task 3 - 10.3: Modelli di capacità locali e globali per la valutazione degli stati limite - Muratura non strutturale

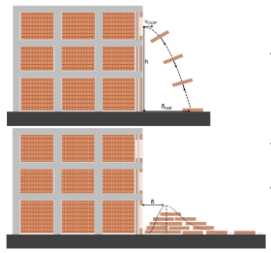
## STIMA DELLA DOMANDA FUORI PIANO (SPETTRI DI PIANO)

Calibrazione dei fattori parziali di sicurezza per la verifica in resistenza delle tamponature fuori dal piano (**UniNA)**

Analisi sperimentali e numeriche per lo studio di spettri di piano in edifici in c.a. in sinergia con PRIN 2022 (**UniNA**).




## DETRITI PRODOTTI DAL COLLASSO FUORI PIANO



Analisi dinamiche non lineari 3D su edifici casi-studio tamponati, elaborazione di espressioni per la stima di volume/distanza di eiezione in funzione di $S_a(T_1)$, epoca di costruzione, n.di piani (**UniNA**)

## LE LINEE GUIDA (tutte le UR; coord UniPV)

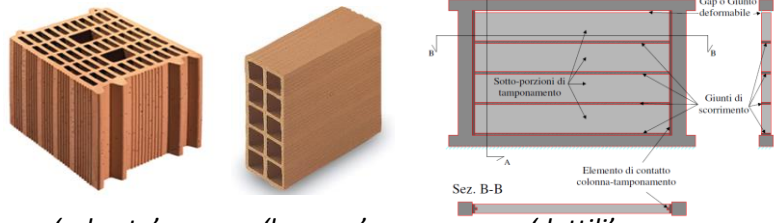
Le proposte derivanti dalle attività di ricerca svolte nell'ambito del Task nel corso dei precedenti progetti DPC-ReLUIS sono state raccolte in un documento ('**Linee Guida per la progettazione e verifica sismica di tamponature in muratura all'interno di edifici in c.a.'**) finalizzato a supportare la progettazione e verifica di questi elementi.

**Principali temi trattati:** la *classificazione delle tamponature* (tradizionali 'non duttili' leggere o robuste, 'duttili' e rinforzate), i *criteri generali di progetto*, la *modellazione* (lineare e non lineare), la valutazione della *capacità deformativa nel piano*, la valutazione degli effetti di *interazione locale*, il calcolo della *resistenza fuori dal piano* (con o senza rinforzo), i metodi di *analisi per la stima della richiesta di spostamento nel piano e di accelerazione fuori dal piano*

Il documento si propone come uno **strumento di guida e supporto sia nel progetto del nuovo che nella valutazione e nel rinforzo dell'esistente**.

Di prossima pubblicazione (dopo review esterna)

Tipologie di tamponatura

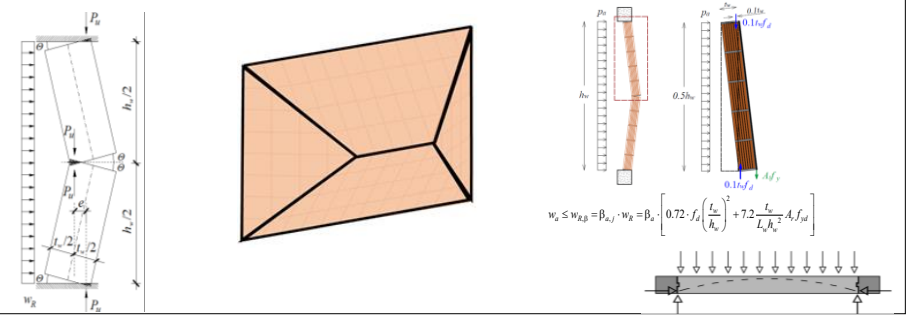



*'robuste'* *'leggere'* *'duttili'*

Valutazione della capacità deformativa nel piano

| Sistema | Tipologia | $\delta_{SLO}$ [%] | $\delta_{SLD}$ [%] | $\delta_{SLV}$ [%] |
|---|---|---|---|---|
| Tamponamenti non-duttili | Murature con blocchi in laterizio del gruppo 1, 2 e 3 con spessore ≥ 20 cm e fk ≥ 3.0 MPa – "robusta" | 0.20 | 0.45 | 1.10 |
| | Murature con blocchi in laterizio del gruppo 1, 2 e 3 senza limitazioni di cui sopra | 0.15 | 0.30 | 0.80 |
| | Murature con blocchi in laterizio del gruppo 4 – "leggera" | 0.15 | 0.30 | 0.60 |
| | Altre tipologie murarie | 0.15 | 0.30 | 0.60 |
| Tamponamenti duttili | Murature a giunti scorrevoli orizzontali<br>Murature a giunti scorrevoli verticali<br>Murature a giunti deformabili orizzontali | 0.50 | 1.25 | 2.20 |

Calcolo della resistenza fuori dal piano



## Task 4 - Influenza della componente verticale del moto sulla sicurezza sismica delle strutture in muratura (coord. L.Sorrentino) 3 UR partecipanti: UniRM1, UniPVa e b

Le attività previste per il triennio 2024-2026 sono:

- In collaborazione con WP18 (Input sismico), selezione di un più ampio numero di terne di accelerogrammi compatibili con diverse distanze epicentrali, caratterizzate da componente verticale significatia.
- Esecuzione di analisi dinamiche non lineari su ulteriori strutture potenzialmente sensibili alla componente verticale
- Individuazione di raccomandazioni pre-normative o normative per la verifica in presenza di componente verticale che possano prevedere diversi possibili percorsi quali, a titolo di esempio:

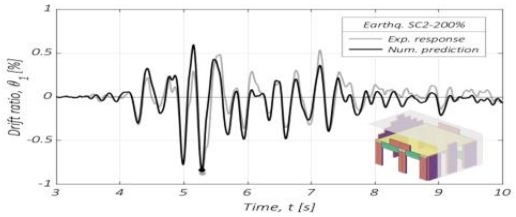
  1) nessuna necessità di verifica con componente verticale per difetto di vulnerabilità o di pericolosità
  2) necessità di verifica assolvibile mediante analisi statiche equivalenti opportunamente adattate per tener conto in modo approssimato dell'effetto della componente verticale
  3) necessità di verifica assolvibile solo mediante analisi dinamica non lineare ovvero esecuzione di interventi che riconducano alla condizione 1).

Le analisi svolte nel nuovo triennio considerano un numero molto più elevato di segnali (terne di accelerogrammi) rispetto al biennio precedente. Questo ha portato a risultati in alcuni casi diversi rispetto ai risultati del biennio precedente, ad esempo sulle murature soggette a disgregazione.

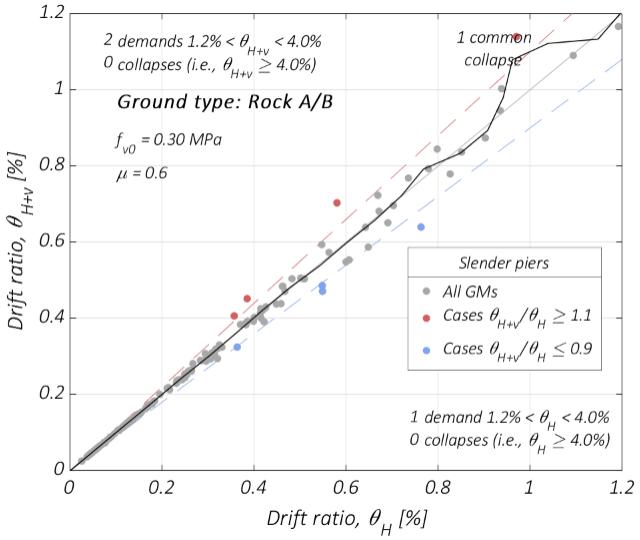
# Task 4 - Influenza della componente verticale del moto sulla sicurezza sismica delle strutture in muratura (coord. L.Sorrentino)

## UNIPVa e b *(G.Magenes, F.Graziotti)*

- Studio dell'influenza della componente **verticale (V)** del moto sismico sulla **domanda di spostamento nel piano** nelle murature.
- Individuazione di **soglie** e **rapporti di intensità** che attivano effetti misurabili, distinguendo fra maschi murari **snelli** (pressoflessione dominante) e **tozzi** (taglio-dominanti).
- Simulazioni numeriche parametriche (TREMURI) calibrate sperim.
- **Input sismico**: **148 accelerogrammi a tre componenti** (3C), tridirezionali, classificati per categoria di sottosuolo: **84** su ***rock* A–B** e **64** su ***soil* C–D** (EC8/NTC).




*Maschi **snelli***



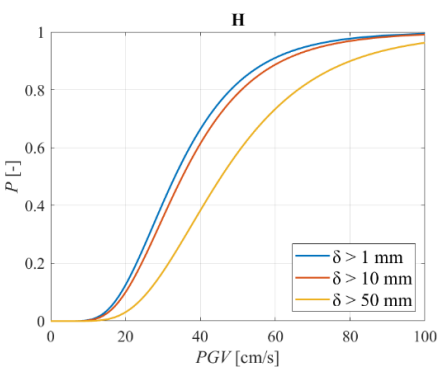

## UNIRM1 *(L.Sorrentino)*

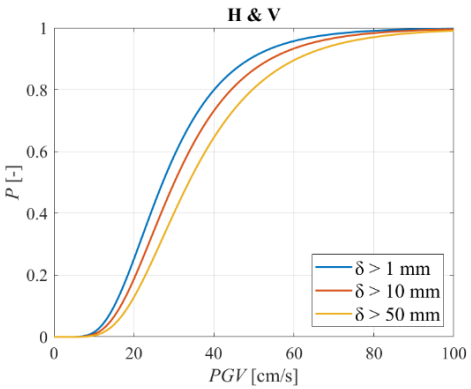
- Studio della rilevanza di V su **murature suscetibili di disgregazione**
- Analisi dinamica non lineare di modello numerico agli **elementi finiti-discreti** in LS-DYNA, all'interno dell'ambiente ANSYS.
- Modelli calibrati sperimentalmente
- Due condizioni: **stato di fatto** e **consolidamento con iniezioni**

L'esecuzione dell'**intervento di iniezioni di miscele leganti** riduce la vulnerabilità, ma non la sensibilità alla componente verticale.

Sito A, B

Stato di fatto



## Task 4 - Influenza della componente verticale del moto sulla sicurezza sismica delle strutture in muratura (coord. L.Sorrentino)

### Prossime attività Task 4

UNIPVa e b *(G.Magenes, F.Graziotti)*

- **Analisi multi-stripe** per mappare i **domini soglia** in termini di $PGA_V$ e $PGA_V/PGA_H$ che attivano gli effetti della componente verticale.
- **Valutazione statistica** volta a derivare **fattori di sicurezza** coerenti con l'affidabilità, in linea con gli approcci prestazionali della nuova generazione di Eurocodici.

UNIRM1 *(L.Sorrentino)*

Analisi dinamica non lineare di una **volta a crociera** di luce tipica dell'edilizia ordinaria (3.5 m) con diverse condizioni di vincolo.

- Si considerano **due murature**: come da precedente sperimentazione, seconda muratura più resistente (ma con modulo elastico invariato).
- Si considerano i due gruppi di segnali precedenti
- Si considerano un modello senza **muro in falso** e con muro in falso

## Prodotti della ricerca dall'inizio del triennio ad oggi (18 mesi):

- 1 Nuove linee guida (tamponature)
- 2 Database (in aggiornamento)
- 14 Articoli scientifici su rivista internazionale
- 33 Contributi a congressi internazionali
- 15 Articoli congressi nazionali
- 2 Rapporti scientifici

**67 totali;** di questi, 27 (circa il 40%) in collaborazione tra due o più UR del WP10

4 Tesi di Dottorato

*n…* Contributi alla redazione della nuova generazione di Eurocodici 8 e 6

# GRAZIE PER L'ATTENZIONE