



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.
FRANCESCA DA PORTO**

**Costruzioni in muratura
portante moderne: ricerche
ed evoluzione normativa.**

D.M. 20/11/87: "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento" e relativa Circolare

D.M.LL.PP. 16/1/96: "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" e relativa Circolare



**ORDINANZA P.C.M. 3274 20/03/03:
Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica**

**ORDINANZA P.C.M. 3431 03/05/05:
Ulteriori modifiche ed integrazioni all'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20/03/03**



**NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI, D.M. 14/01/08
entrate in vigore lo 01/07/2009, e relativa circolare**

**NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI, D.M. 17/01/18
entrate in vigore lo 22/03/2018, e relativa circolare**



UNI EN 1996-1-1:2005+A1 2012 EUROCODICE 6: Progettazione delle strutture di muratura - Parte 1-1: Regole generali per strutture di muratura armata e non armata

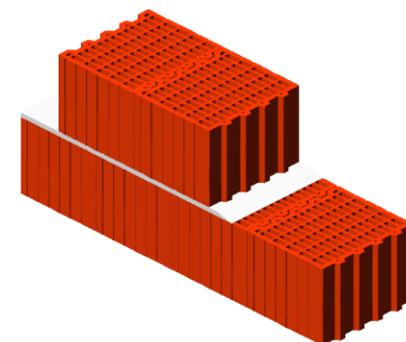
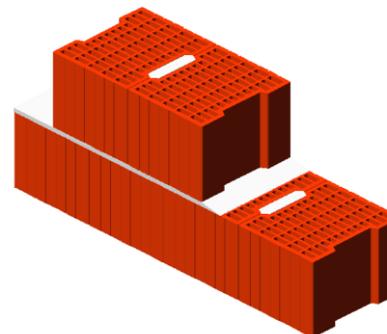
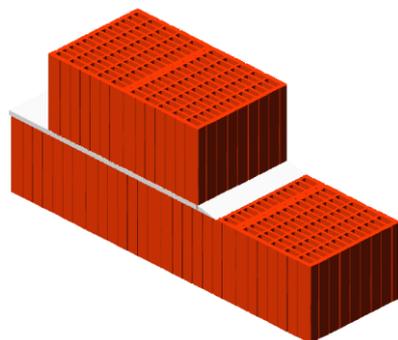
FprEN 1996-1-1 (2021) EUROCODICE 6: Ha ricevuto il Formal Vote a inizio 2021, ora in fase di inchiesta pubblica



SISTEMI COSTRUTTIVI PER MURATURA ORDINARIA



- Valutazione delle **prestazioni meccaniche** e formulazione di **criteri di resistenza**
- Interpretazione di prove di **compressione diagonale** e di **compressione e taglio**
- Esecuzione di **analisi dinamiche** ed individuazione di primi valori del **fattore di struttura**



TM: blocchi rettificati
e giunti sottili



Po: muratura con blocchi
con tasca di malta



TG: muratura con
blocchi ad incastro



Principali vantaggi:

- Ottimizzazione del processo costruttivo / Minor uso di malta / Miglioramento isolamento termico ed acustico

Principale limitazione:

- Il comportamento sotto azioni orizzontali può essere peggiore di quello di muratura con giunti ordinari, orizzontali e verticali riempiti di malta

Per le NTC2008, nel caso di *“materiali o tipologie murarie diverse”* rispetto a quanto specificato serve l'autorizzazione del Servizio Tecnico Centrale su parere del CSLP.

SPERIMENTAZIONE 2001/02

| Blocco | serie | prova | # test | |
|--------|-------|----------------------------|--------------------------|-----|
| W | N | • Compressione monoassiale | 6+6 | |
| | R | | 6+6 | |
| D | N | | 6+6 | |
| | R | | 6+6 | |
| P | N | | • Compressione diagonale | 6+6 |
| | R | | | 6+6 |

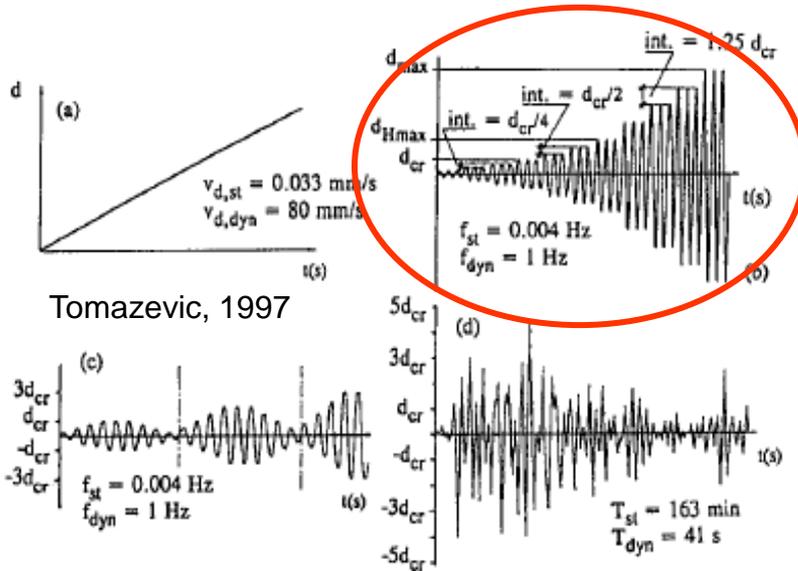
SPERIMENTAZIONE 2004/05

| Blocco | prova | # test | prova | # test |
|--------|--|--------|--|--------|
| TM | • Compressione monoassiale • Compressione diagonale | 6+6 | Taglio-compressione ciclica e monotona | 4+1 |
| TG | | 6+6 | | 4+1 |
| Po | | 6+6 | | 4+1 |

Totale di 123 pannelli murari

Prove su materiali e su assemblaggi piccoli per l'interazione tra blocco e malta



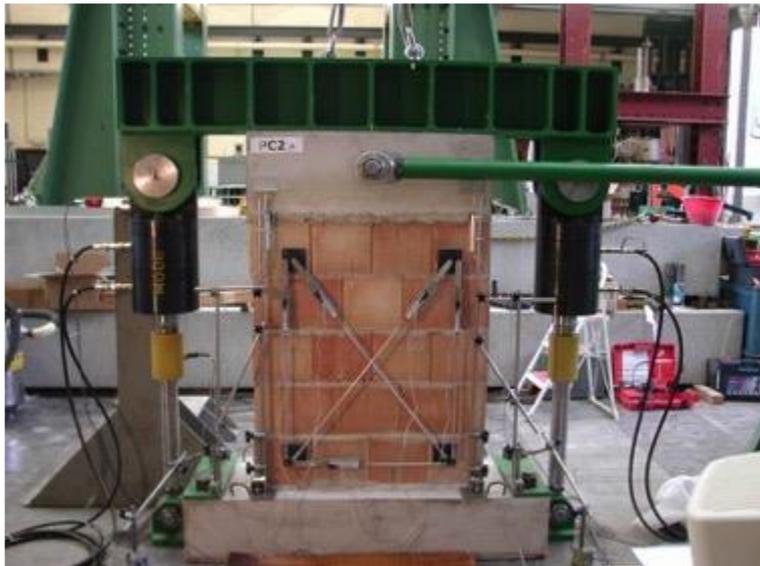


Tomazevic, 1997

Vincolo a mensola

Carico verticale costante: 17, 21, 27, 33% σ_{max}

Spostamenti ciclici orizzontali





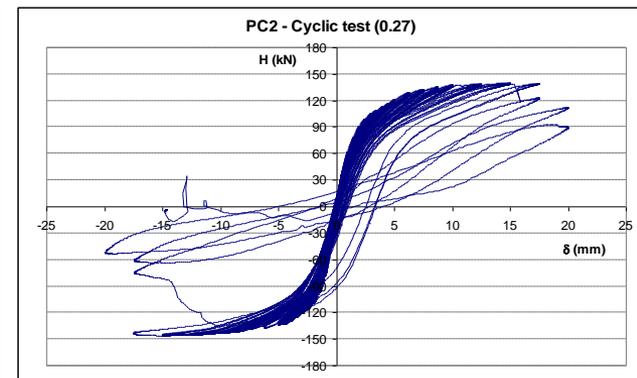
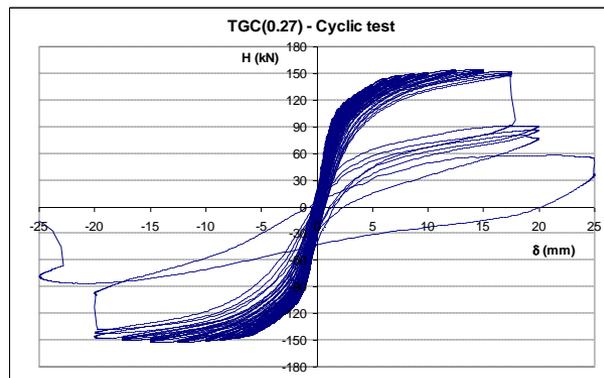
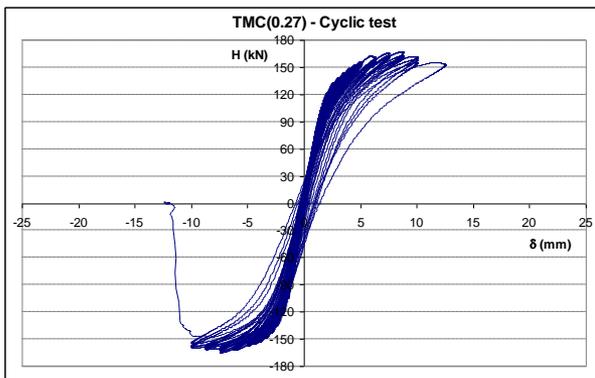
TM (0,27): thin layer mortar



TG(0,27): tongue & groove

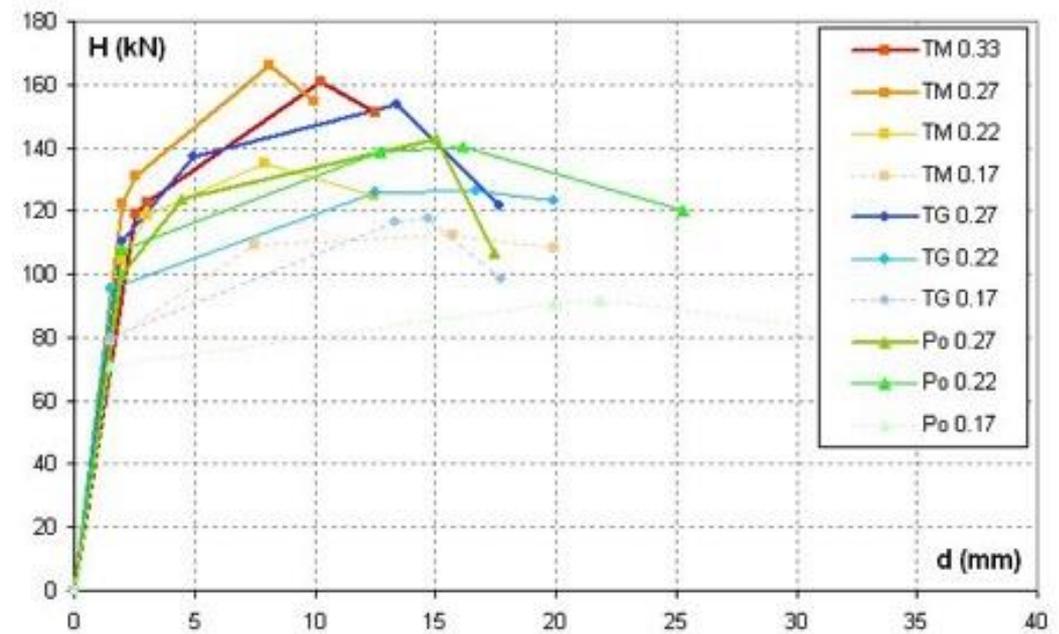
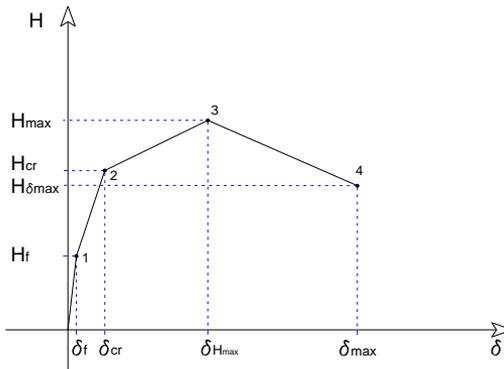


Po(0,27): mortar pocket



QUATTRO STATI LIMITE:

- Stato limite flessionale - H_f , d_f
- Stato limite critico - H_{cr} , d_{cr}
- Resistenza massima - H_{max} , d_{Hmax}
- Spostamento ultimo - H_{dmax} , d_{max}

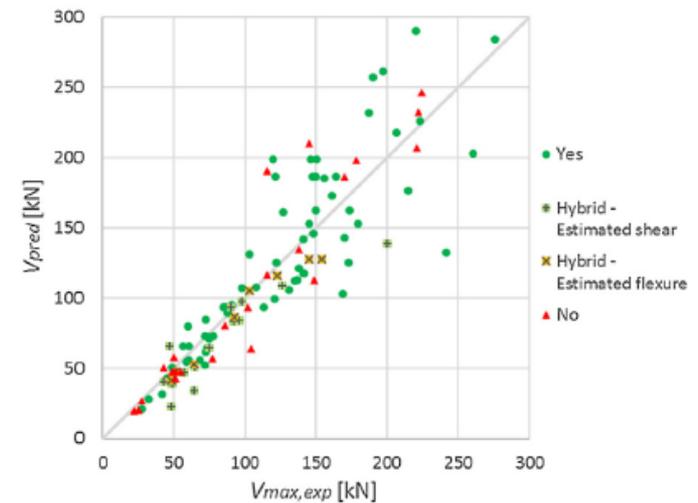
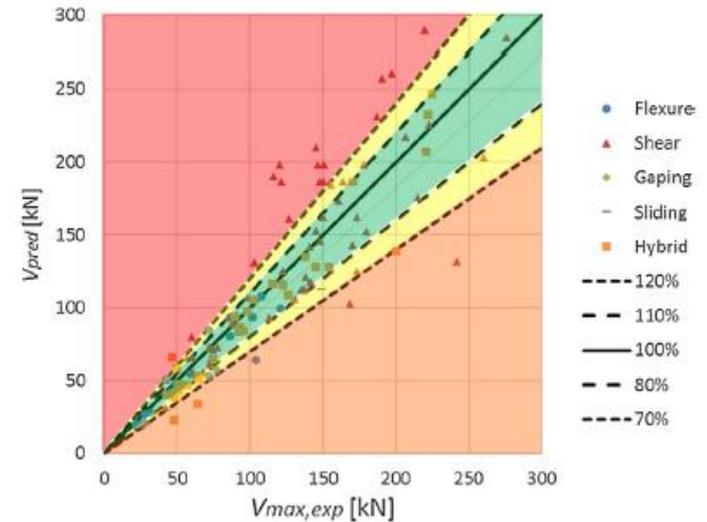


TM (0,27): giunto sottile



| University/Institution | N. of Test | Masonry type |
|--|------------|------------------|
| University of Pavia [1] | 20 | CS, HC, LAC |
| University of Pavia [2] | 4 | SB-C |
| JRC, Ispra [3] | 2 | SB-C |
| University of Illinois, Urbana-Champaign [4] | 3 | SB-C |
| ZAG, Ljubljana [5] | 13 | SB-C |
| University of Colorado, Boulder [6] | 3 | SB-C |
| ZAG, Ljubljana [7] | 22 | HC |
| Technical University of Munich [8] | 3 | CS, HC |
| University of Kassel [9] | 25 | HC, CS, LAC |
| University of Dortmund [10] | 11 | CS, AAC, HC, LAC |
| EUCENTRE, Pavia [11] | 1 | AAC |
| EUCENTRE, Pavia [12] | 6 | AAC |
| EUCENTRE, Pavia [13] | 4 | AAC |
| EPFL, Lausanne [14] | 6 | HC |
| University of Padova [15] | 10 | HC |
| Technical University of Civil Engineering Bucharest [16] | 9 | HC |
| EUCENTRE, Pavia [17] | 5 | HC |
| EUCENTRE, Pavia [18] | 6 | HC |
| University of Kassel [19] | 13 | AAC |
| ETH, Zurich [20] | 10 | CS, HC |
| EUCENTRE, Pavia [21] | 5 | HC |
| EUCENTRE, Pavia [22] | 2 | SB-CS |
| EUCENTRE, Pavia [23] | 5 | SB-C |

188 pannelli testati con prove cicliche di compressione e taglio

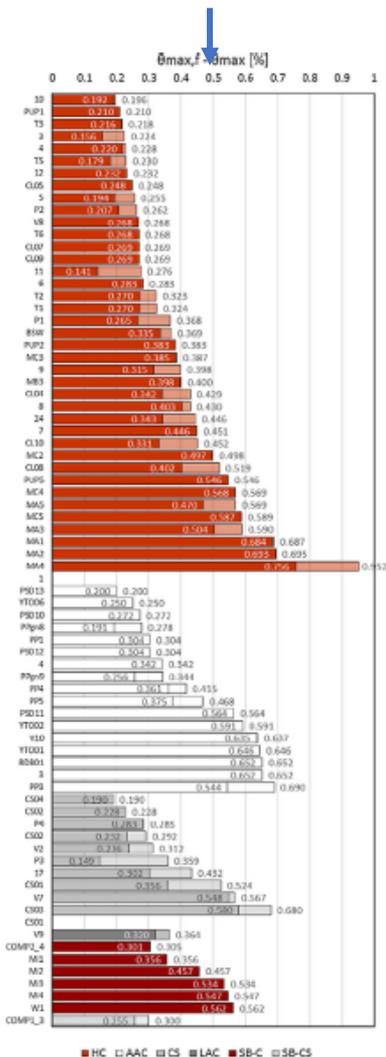
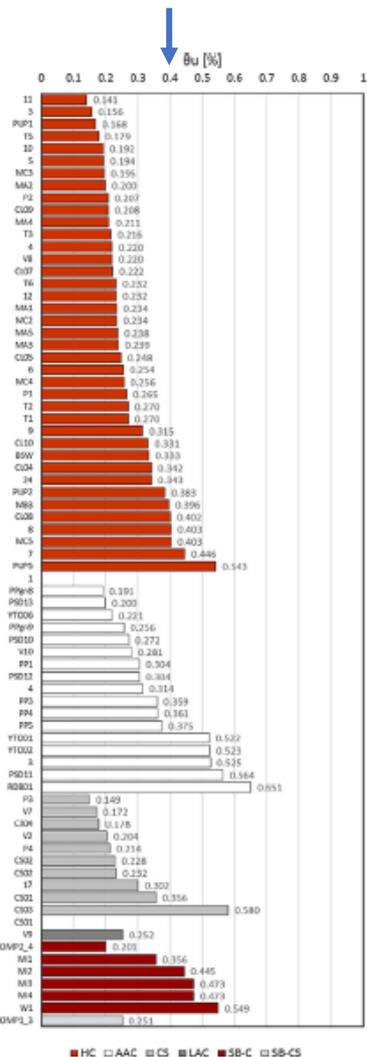


Database sperimentale

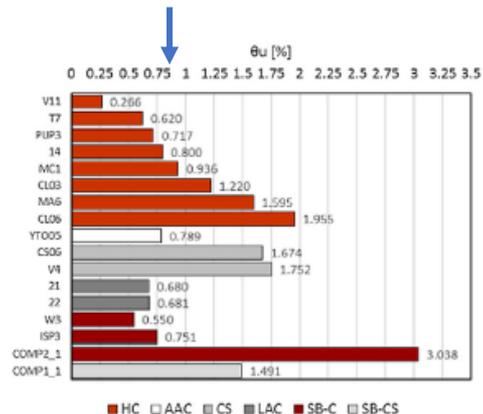


NTC2008

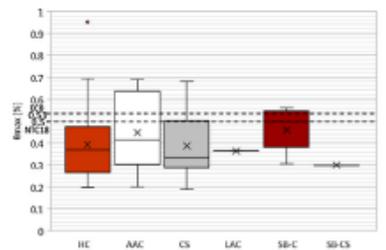
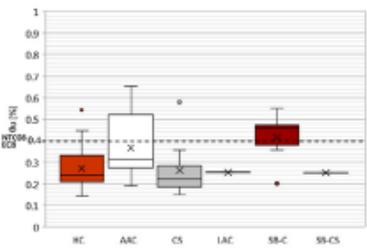
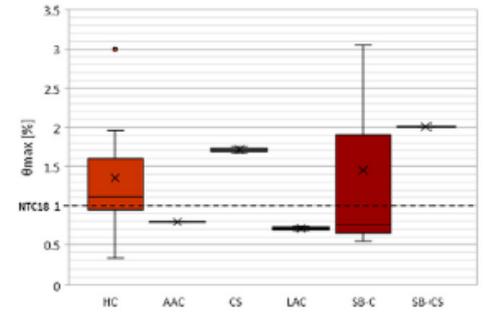
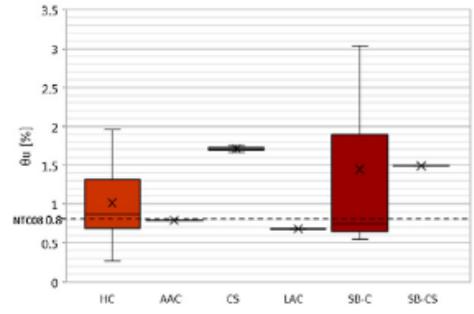
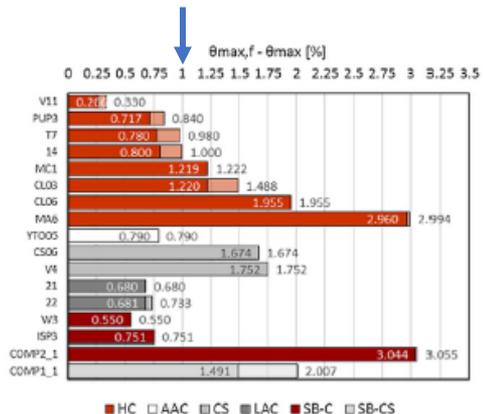
NTC2018



NTC2008



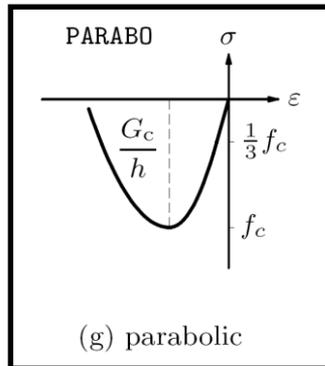
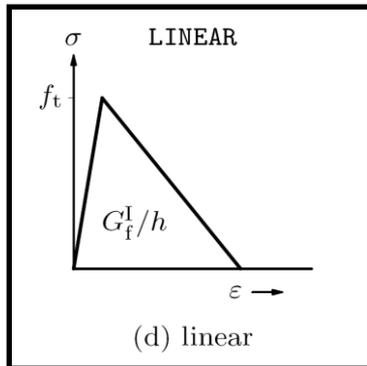
NTC2018



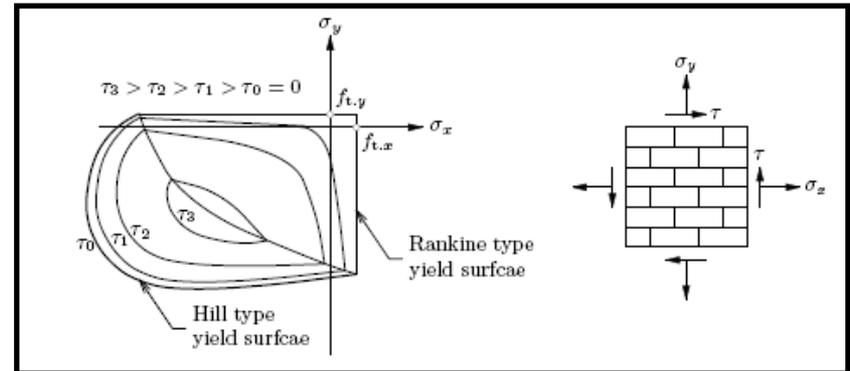
Morandi P., Albanesi L., Graziotti F., Li Piani T., Penna A., Magenes G. (2018). Development of a dataset on the in-plane experimental response of URMpiers with bricks and blocks. Construction and Building Materials, 190:593-611

- Strategie di Macro-modellazione, e di micro-modellazione basata su elementi continui per i blocchi e elementi di interfaccia per i giunti di malta
- Modello isotropo total strain rotating crack e modello ortotropo plastico con criterio di rottura di tipo Rankine-Hill

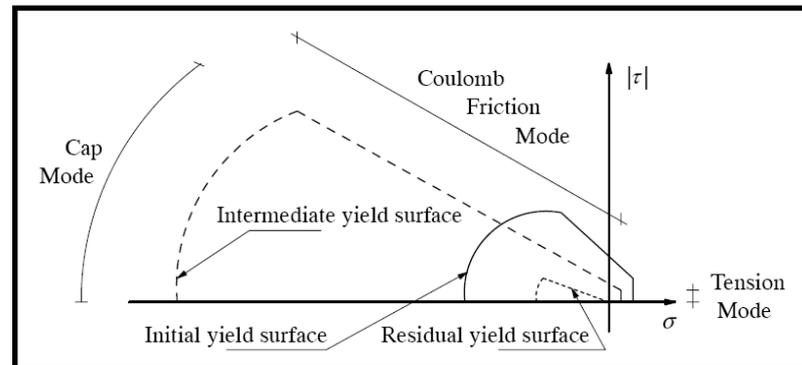
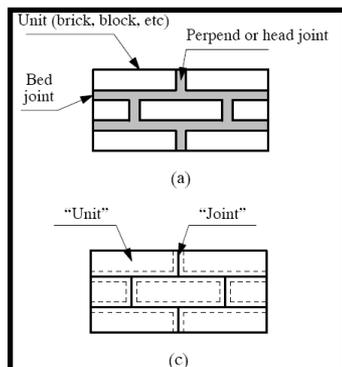
TSRCM

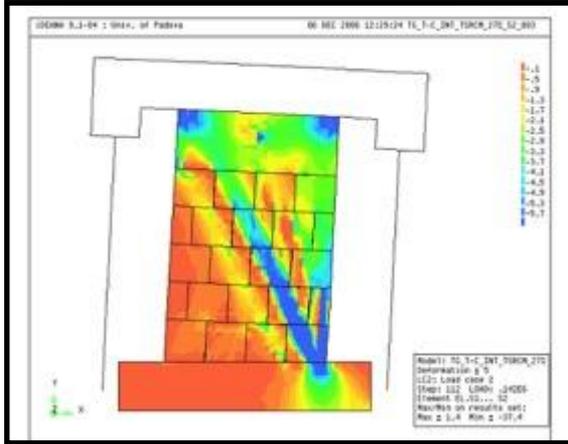


R-H



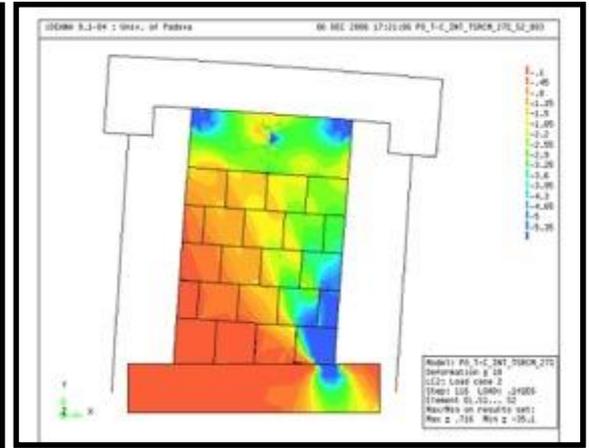
MICROMODELLO





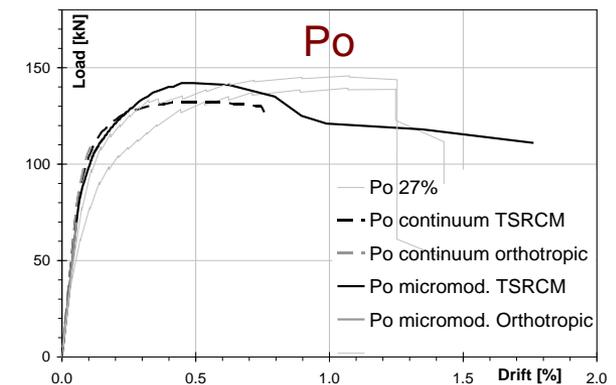
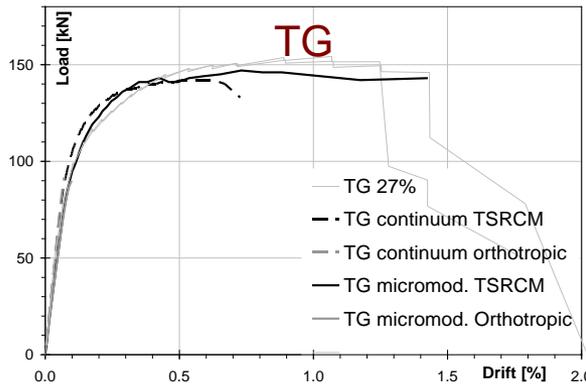
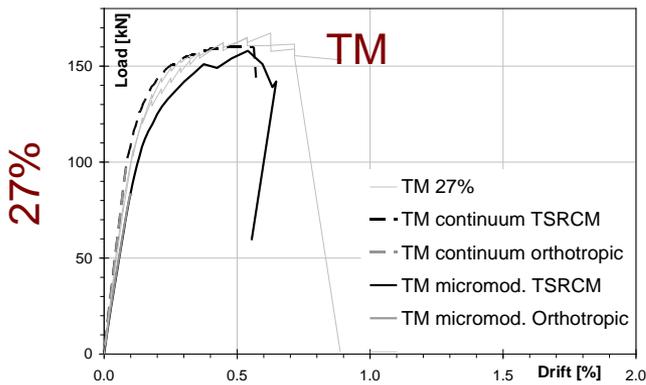
Po 27%

TG 27%

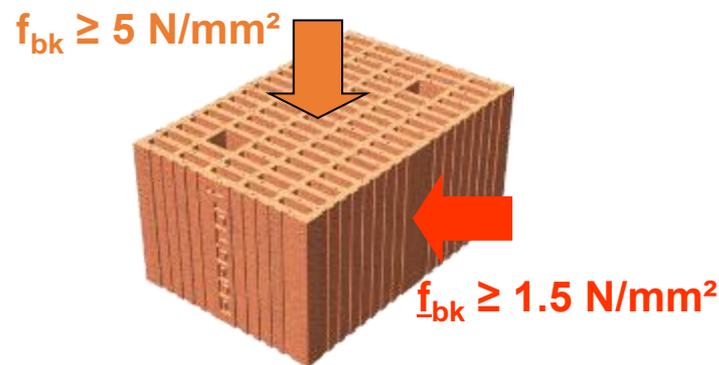
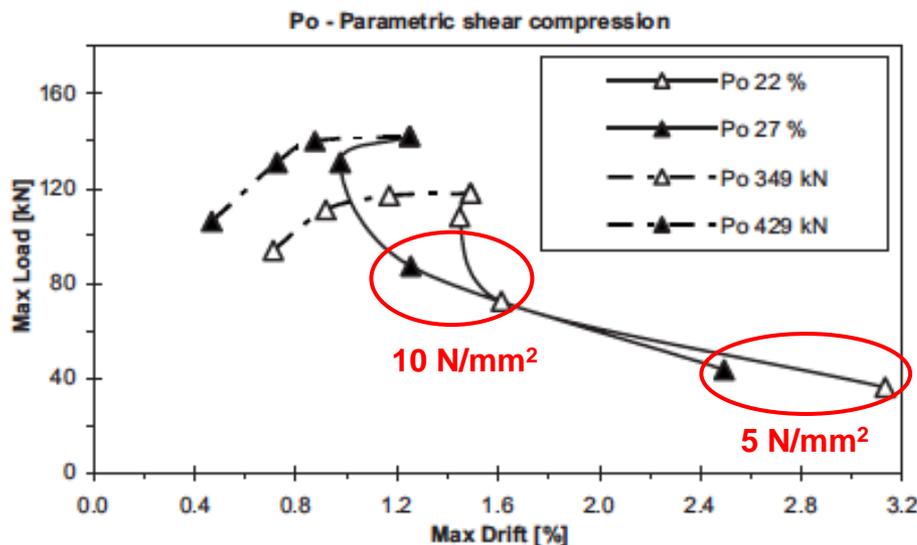


INTERFACE, TSRCM

da Porto F., Guidi G., Garbin E., Modena C. (2010). In-plane behavior of clay masonry walls: experimental testing and finite element modeling, ASCE Journal of Structural Engineering, 136(11):1379-1392.



Analisi parametriche al variare della resistenza del blocco: 20-15-10-5 N/mm², mantenendo il carico verticale uguale a quello sperimentale (curve tratteggiate) o ridotto proporzionalmente alla resistenza a compressione della muratura (curve continue).



NTC2008, 2018

7.8.1.2 MATERIALI

Gli elementi da utilizzare per costruzioni di muratura portante devono essere tali da evitare rotture fragili. A tal fine gli elementi

....

- resistenza caratteristica a rottura nella direzione portante (f_{bk}), calcolata sull'area al lordo delle forature, non inferiore a 5 MPa o, in alternativa, resistenza media normalizzata nella direzione portante (\bar{f}_b) non inferiore a 6 MPa ;
- resistenza caratteristica a rottura nella direzione perpendicolare a quella portante ossia nel piano di sviluppo della parete (\bar{f}_{bk}), calcolata nello stesso modo, non inferiore a 1,5 MPa.



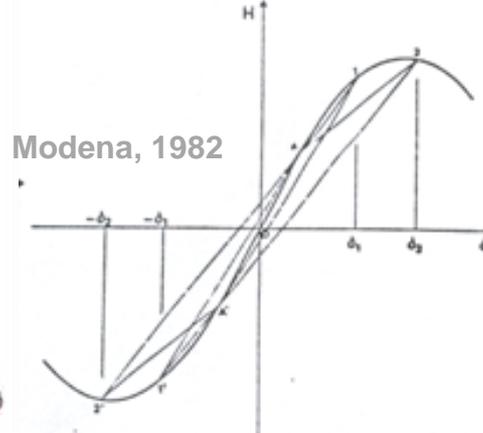
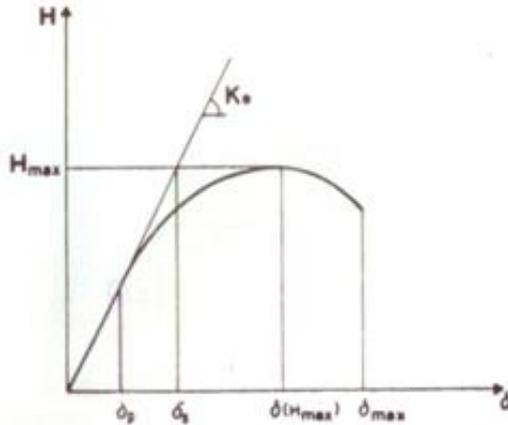
Tab. 3 - Muratura ordinaria portante: tipologie e loro campo di applicazione in accordo con NTC 2018.

| Tipo di blocco | Liscio | Incastro con Tasca | Incastro | Rettificato ad Incastro con Tasca | Rettificato ad Incastro | POROTON Setti nel piano del muro, rettilinei e continui | |
|----------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|---------|
| | Tipo di giunto verticale | Normale | Tasca di malta ($\geq 40\%$) | A secco | Tasca di malta ($\geq 40\%$) | | A secco |
| | Tipo di giunto orizzontale | Normale | Normale | Normale | Sottile | | Sottile |
| $a_g S \leq 0,075 g$ | Sì $\leq 55\%$ | Sì $\leq 55\%$ | Sì $\leq 55\%$ ≤ 2 piani | Sì $\leq 55\%$ ≤ 3 piani | Sì $\leq 55\%$ ≤ 2 piani | Requisito non richiesto | |
| $a_g S \leq 0,150 g$ | Sì $\leq 45\%$ | Sì $\leq 45\%$ | No | Sì $\leq 45\%$ ≤ 2 piani | No | Requisito richiesto | |
| $a_g S > 0,150 g$ | Sì $\leq 45\%$ | Sì $\leq 45\%$ | No | No | No | Requisito richiesto | |

Nelle NTC 2018 possibile il calcolo secondo formule da EuroCodice 6

Nelle NTC 2018 ammessi con limitazioni su valori $a_g S$ e di altezza edificio

Modello per analisi dinamiche

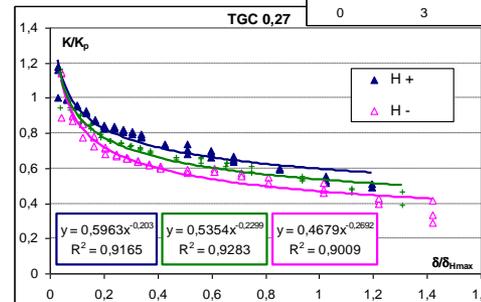
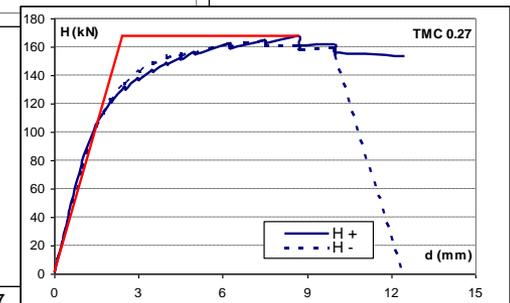
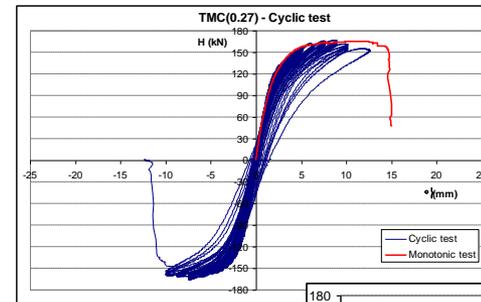


Modena, 1982

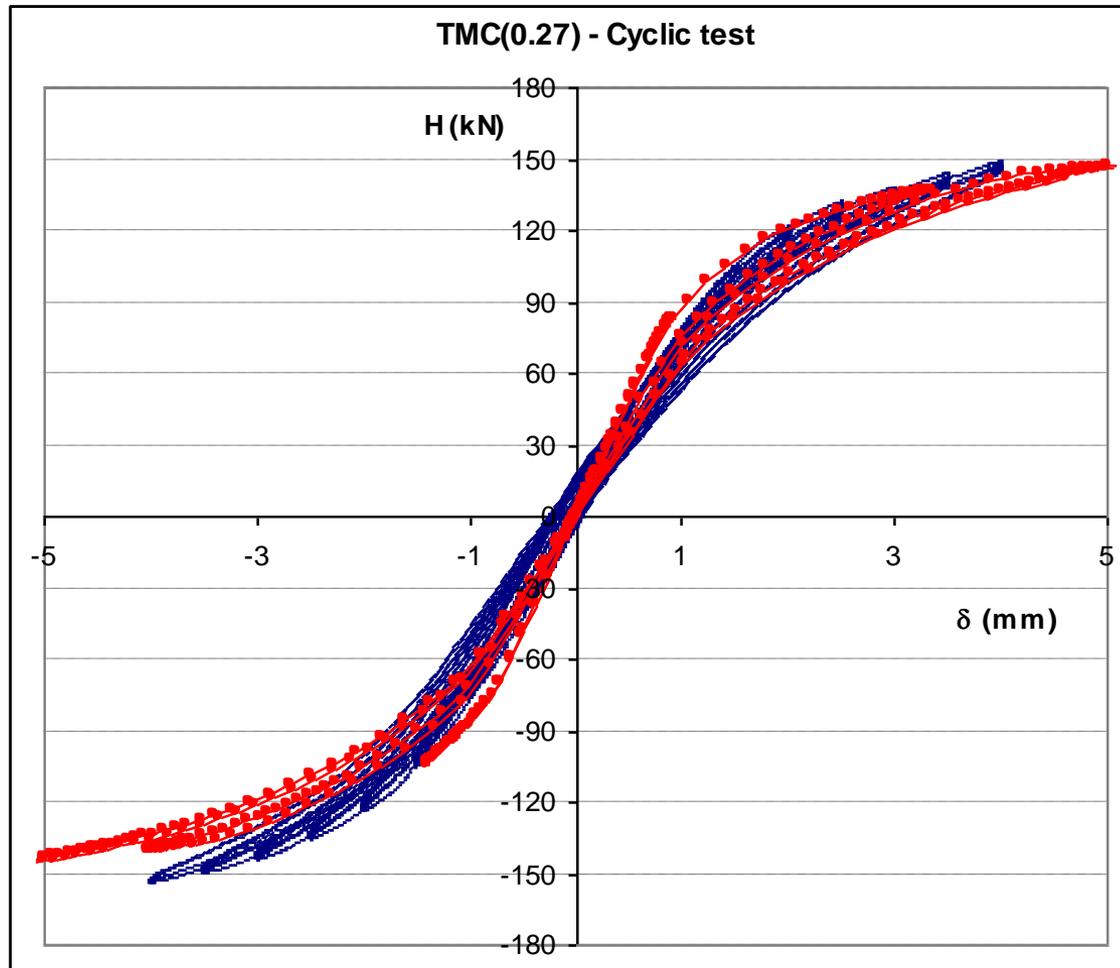
- Modello isteretico per muratura ordinaria
- Riproduce l'area relativamente piccola di ciascun ciclo;
- Riproduce il brusco decremento di resistenza e rigidità dopo H_{max} .

$$\frac{H}{H_{max}} = (1 - \mu) \left[\frac{\frac{\delta}{\delta_s} - \lambda}{\mu - \lambda} \right]^{\frac{\mu - \lambda}{\mu - 1}} + \frac{\delta}{\delta_s}$$

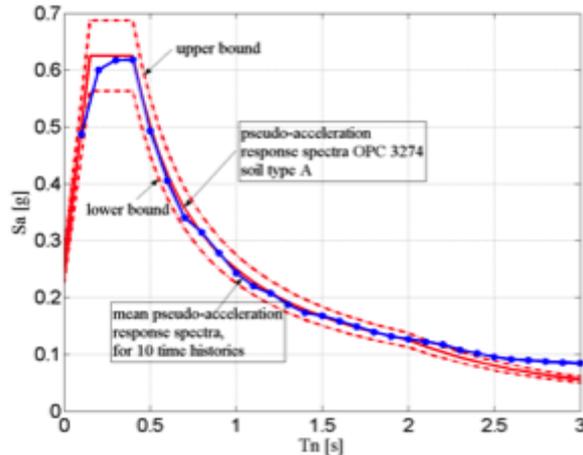
- H/H_{max} ratio current / maximum resistance load
- δ/δ_s ratio current / ideal elastic limit state displ.
- $\lambda = \delta_p/\delta_s$ displ. ratio at exp. and ideal elastic l.s.
- $\mu = \delta_{Hmax}/\delta_s$ ductility ratio at maximum resistance



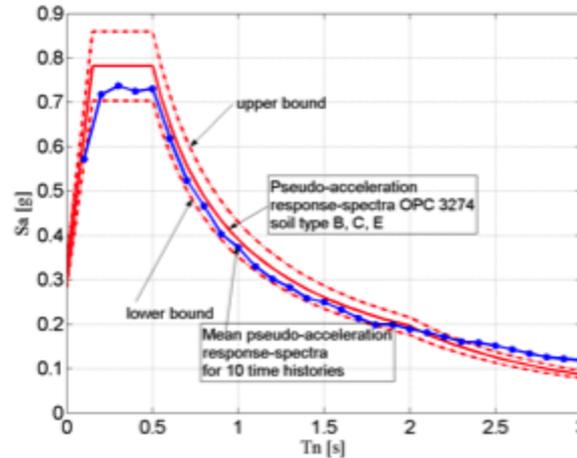
Cicli isteretici modellati - sperimentali



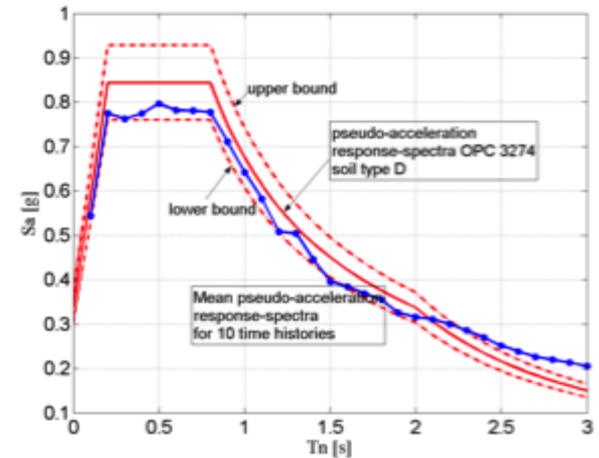
Soil type A



Soil type B, C, E



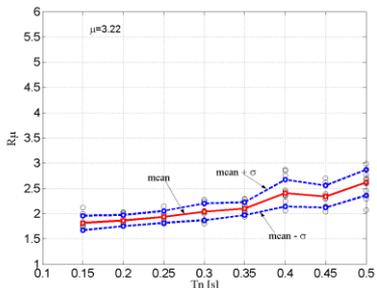
Soil type D



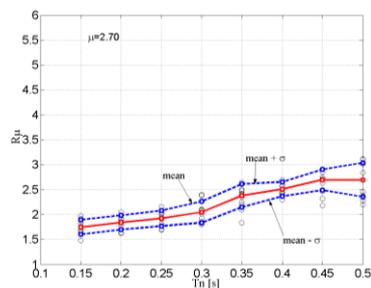
- **10 time-histories** sintetiche per ogni tipo di suolo
- **Spettro-compatibili** in un range di periodi $T = 0.10 \div 2.0$ s
- **Analisi dinamiche** svolte su sistemi **SDOF**
- **Otto** valori di periodi naturali $T = 0.15 \div 0.5$ s (ogni 0.05 s)
- Complessivamente, **720 analisi** svolte

$$q = R_{\mu} R_s$$

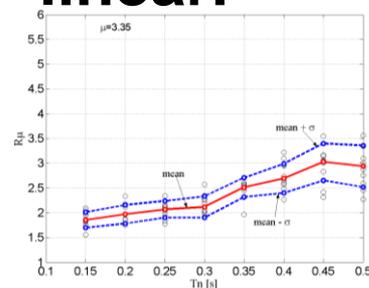
Scopo: valutazione del fattore di riduzione delle forze R_{μ} legato al comportamento non-lineare dei 3 tipi di muratura.



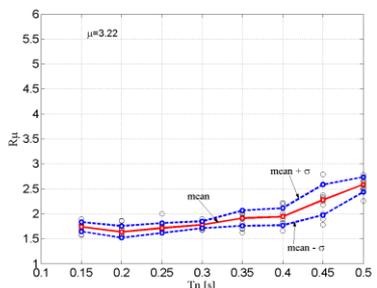
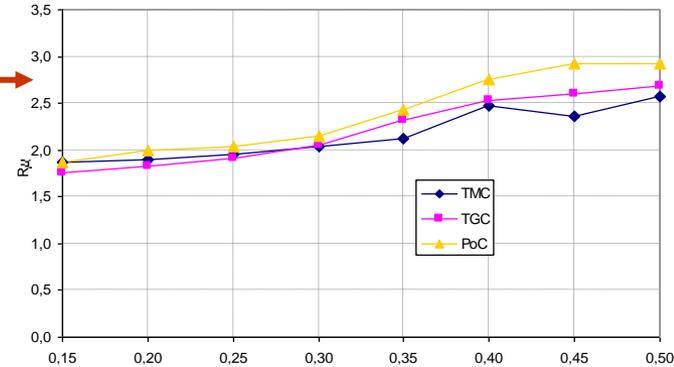
TM soil type A



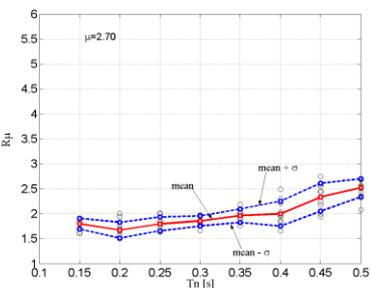
TG soil type A



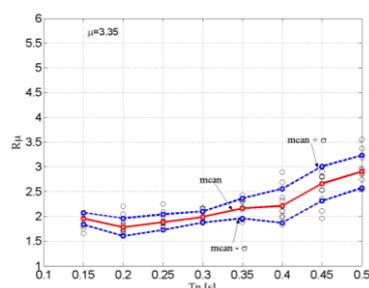
Po soil type A



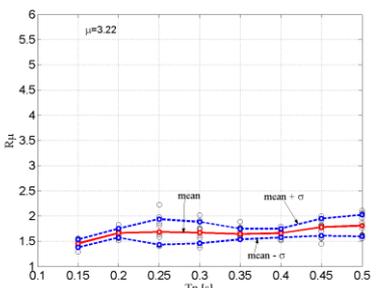
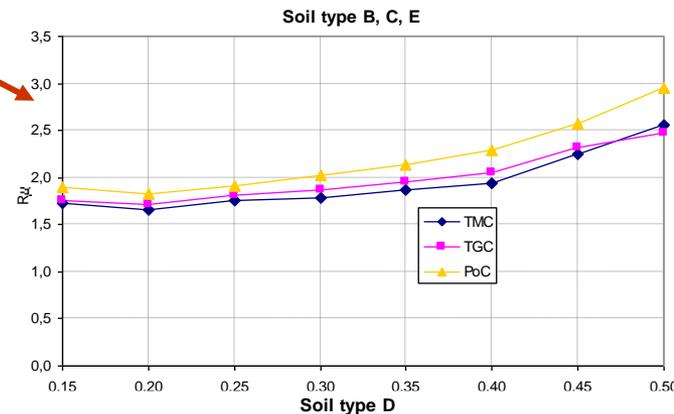
TM soil type B, C, E



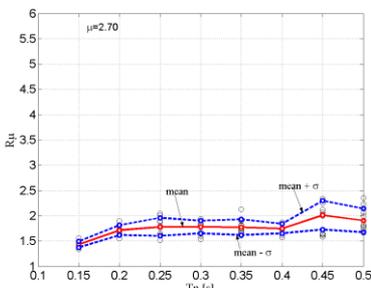
TG soil type B, C, E



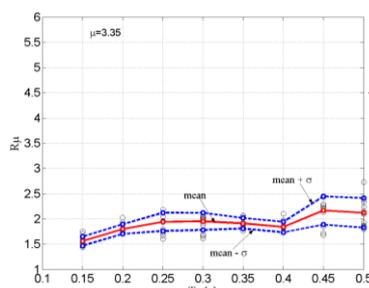
Po soil type B, C, E



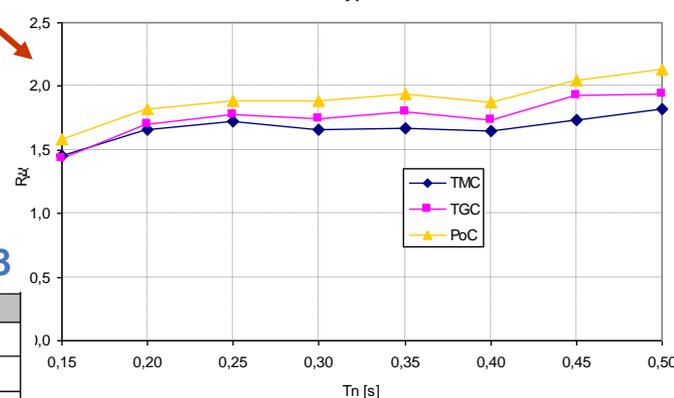
TM soil type D



TG soil type D



Po soil type D



NTC2018

| Costruzioni di muratura (§ 7.8.1.3) | |
|---|----------------------------|
| Costruzioni di muratura ordinaria | $1,75 \alpha_w / \alpha_1$ |
| Costruzioni di muratura armata | $2,5 \alpha_w / \alpha_1$ |
| Costruzioni di muratura armata con progettazione in capacità | $3,0 \alpha_w / \alpha_1$ |
| Costruzioni di muratura confinata | $2,0 \alpha_w / \alpha_1$ |
| Costruzioni di muratura confinata con progettazione in capacità | $3,0 \alpha_w / \alpha_1$ |

Table 5.1: Basic value of the behaviour factor, q_0 , for systems regular in elevation

| STRUCTURAL TYPE | DCM | DCH |
|--|---------------------------|---------------------------|
| Frame system, dual system, coupled wall system | $3,0 \alpha_w / \alpha_1$ | $4,5 \alpha_w / \alpha_1$ |
| Uncoupled wall system | 3,0 | $4,0 \alpha_w / \alpha_1$ |
| Torsionally flexible system | 2,0 | 3,0 |
| Inverted pendulum system | 1,5 | 2,0 |

EN 1998-1:2004

C.A.

| STRUCTURAL TYPE | Ductility Class | |
|--|-----------------|-------------------------|
| | DCM | DCH |
| a) Moment resisting frames | 4 | $5 \alpha_w / \alpha_1$ |
| b) Frame with concentric bracings Diagonal bracings V-bracings | 4 | 4 |
| | 2 | 2,5 |
| c) Frame with eccentric bracings | 4 | $5 \alpha_w / \alpha_1$ |
| d) Inverted pendulum | | |

ACCIAIO

| Type of construction | Behaviour factor q |
|--|----------------------|
| Unreinforced masonry in accordance with EN 1996 alone (recommended only for low seismicity cases). | 1,5 |
| Unreinforced masonry in accordance with EN 1998-1 | 1,5 - 2,5 |
| Confined masonry | 2,0 - 3,0 |
| Reinforced masonry | 2,5 - 3,0 |

MURATURA

| Tipologia | q_0 |
|-------------------------------|---------------------------|
| Strutture a telaio | $4,5 \alpha_w / \alpha_1$ |
| Strutture a pareti | $4,0 \alpha_w / \alpha_1$ |
| Strutture miste telaio-pareti | $4,0 \alpha_w / \alpha_1$ |
| Strutture a nucleo | 3,0 |

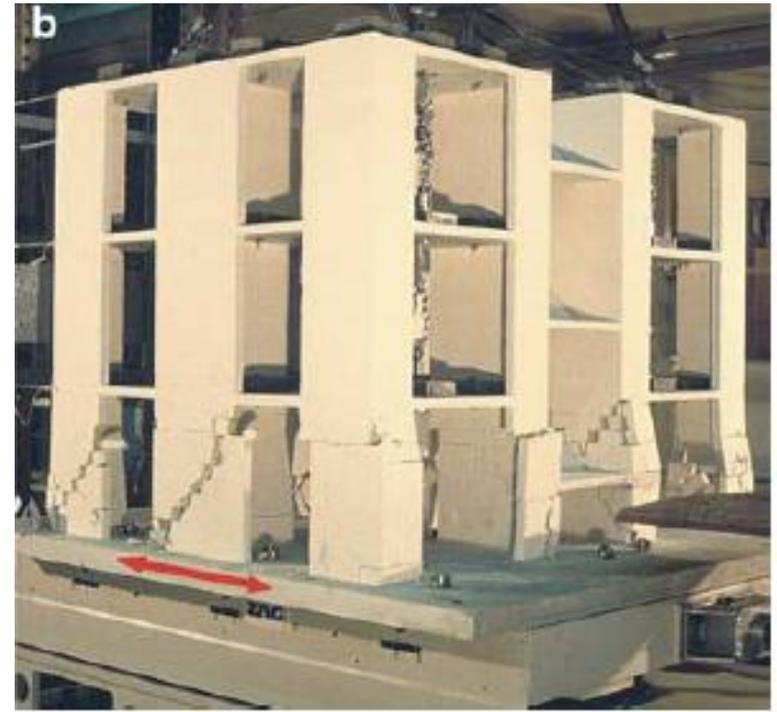
| TIPOLOGIA STRUTTURALE | CLASSE DI DUTTILITA' | |
|---|----------------------|-------------------------|
| | BASSA | ALTA |
| Strutture intelaiate | 4 | $5 \alpha_w / \alpha_1$ |
| Controventi reticolari concentrici | 4 | 4 |
| Controventi eccentrici | 4 | $5 \alpha_w / \alpha_1$ |
| Strutture a mensola o a pendolo invertito | 2 | — |

OPCM 3274:2003

- edifici in muratura ordinaria
- edifici in muratura armata

$q = 1.5$

$q = 2.0 - 3.0$



Values of the behaviour factor q evaluated by Benedetti [Benedetti et al., 1998]

| Model | A1 | A2 | B1 | B2 | C1 | C2 | D1 | D2 | E1 | F1 ¹⁾ | G1 ²⁾ | H1 |
|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|------------------|------------------|----------|
| Material | Br | Br | Br | Br | Br | Br | Br | Br | Br | St | St | St |
| F_u/W | 0.22 | 0.30 | 0.30 | 0.31 | 0.25 | 0.30 | 0.26 | 0.29 | 0.19 | 0.11 | - | 0.12 |
| q | 1.58-2.3 | 1.76-2.3 | 1.5-2.1 | 2.15-2.3 | 1.48-1.9 | 2.4-2.73 | 1.8-1.9 | 1.8-2.2 | 1.9-2.18 | - | - | 1.78-2.8 |

¹⁾ Interrupted tests; ²⁾ Collapse

| | μ_u | q | $\mu_u = \Phi_{0.8} R_{max} / \Phi_{ei,d}$ | | $\mu_u = 3\Phi_{cr} / \Phi_{ei,d}$ | | | |
|-------|---------|------|--|------|------------------------------------|------|------|------|
| | | | μ_u | q | μ_u | q | | |
| M1-1 | 0.24 | 0.89 | 0.26 | 0.78 | 3.70 | 2.53 | 3.25 | 2.35 |
| M1-2 | 0.05 | 1.20 | 0.60 | 0.16 | 24.00 | 6.85 | 3.20 | 2.32 |
| M1-1c | 0.17 | 2.60 | 0.28 | 0.84 | 15.29 | 5.44 | 4.94 | 2.98 |
| M1-1d | 0.17 | 1.81 | 0.27 | 0.81 | 10.65 | 4.50 | 4.76 | 2.92 |
| M2-1 | 0.07 | 0.42 | 0.20 | 0.60 | 6.00 | 3.32 | 8.57 | 4.02 |
| M2-2 | 0.16 | 1.65 | 0.33 | 0.99 | 10.31 | 4.43 | 6.18 | 3.37 |

Benedetti, D., Carydis, P., Pezzoli, P. (1998). Shaking Table Tests on 24 Simple Masonry Buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 27: 67-90.

Tomazevic M., Weiss P. (2010). Displacement capacity of masonry buildings as a basis for the assessment of behavior factor: an experimental study. *Bulletin of Earthquake Engineering*. DOI10.1007/s10518-010-9181-y



Fig. 15 Examples of undamaged buildings: **a** two-storey unreinforced clay masonry building in Casoli di Sopra, municipality of Finale Emilia; **b** three-storey reinforced clay masonry buildings in S. Felice sul Panaro; **c** single-storey unreinforced masonry building with AAC units in Carpi; **d** four-storey reinforced masonry building with LAC units in Vigarano Mainarda

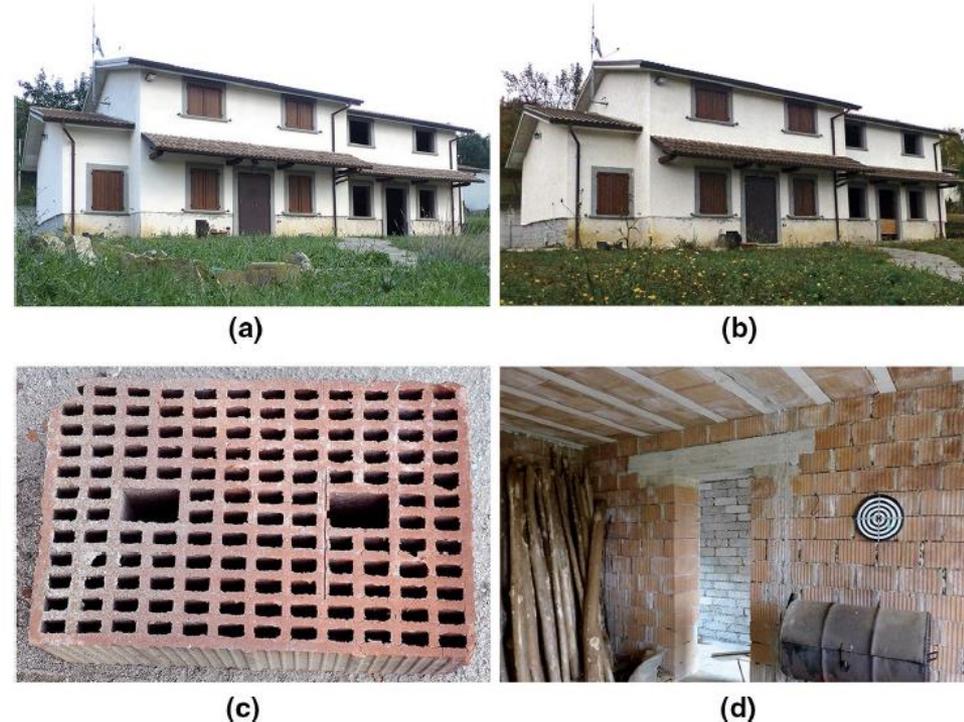
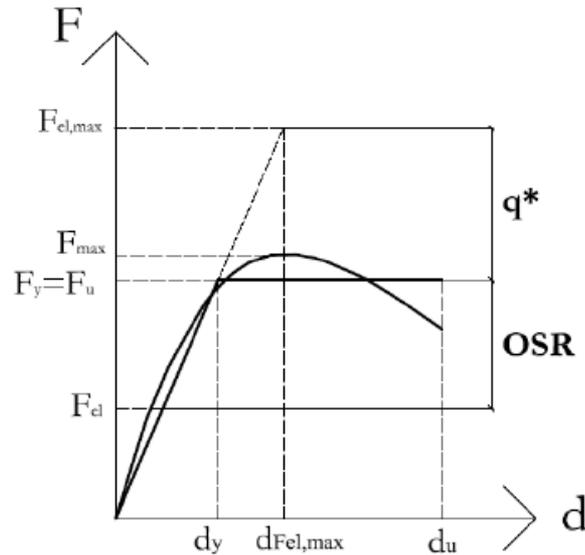


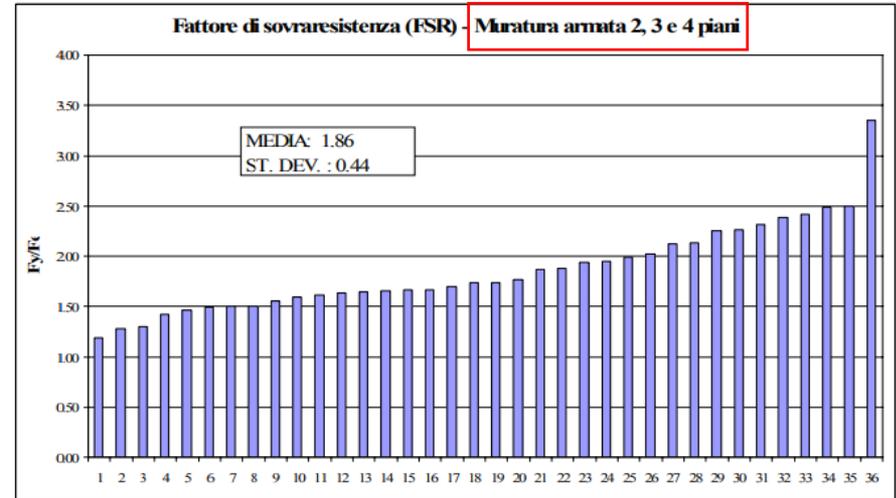
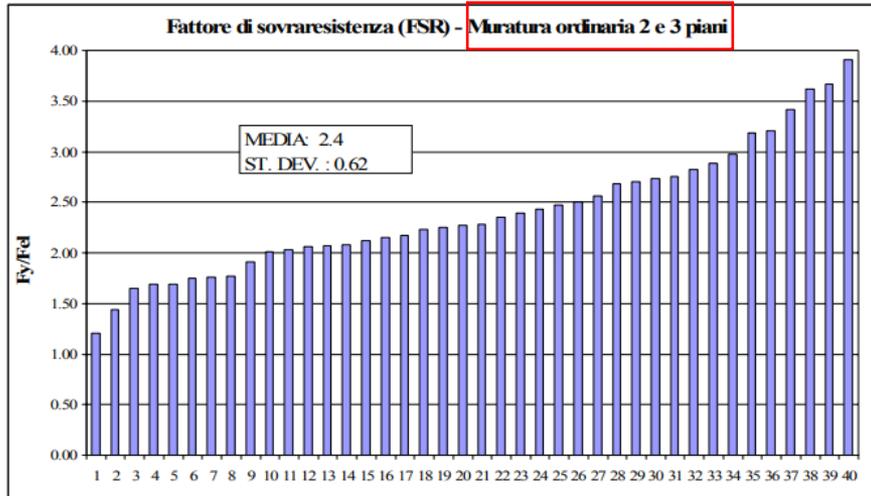
Fig. 20 Clay block masonry building. **a** After the 24th August event; **b** after the 30th October event; **c** close up of a block; **d** view of bare wall and floor. Amatrice, San Capone

$$\alpha_u/\alpha_1$$



$$q = \frac{F_{el,max}}{F_{el}} = \frac{F_{el,max}}{F_y} \cdot \frac{F_y}{F_{el}} = q^* \cdot \frac{F_y}{F_{el}} = q^* \cdot OSR$$

| | | |
|--|--|---|
| <p>Edificio n.1 - Muratura ordinaria ed armata - 2,3,4 piani Spessore muratura: 25/30 cm</p> | <p>Edificio n.2 - Muratura ordinaria - 2,3 piani Spessore muratura: 25/30 cm</p> | <p>Edificio n.3 - Muratura ordinaria ed armata - 1,2,3,4 piani Spessore muratura: 30 cm</p> |
| <p>Edificio n.4 - Muratura armata - 2 piani Spessore muratura: 30 cm</p> | <p>Edificio n.5 - Muratura ordinaria - 1,2 piani Spessore muratura: 30/35 cm</p> | <p>Edificio n.5 - Parete lunga Y04-Y05 - Muratura ordinaria - 2 piani Spessore muratura: 30/35 cm</p> |
| <p>Edificio n.6 - Muratura armata - 2 piani Spessore muratura: 35 cm</p> | <p>Edificio n.7 - Muratura ordinaria - 2 piani Spessore muratura: 30 cm</p> | <p>Edificio n.8A - Muratura ordinaria ed armata - 2,3 piani Spessore muratura: 30 cm</p> |
| <p>Edificio n.8B - Muratura ordinaria ed armata - 2,3 piani Spessore muratura: 30 cm</p> | <p>Edificio n.8C - Muratura ordinaria ed armata - 2,3 piani Spessore muratura: 30 cm</p> | <p>Edificio n.9 - Muratura ordinaria ed armata - 2 piani Spessore muratura: 30 cm</p> |



| Costruzioni di muratura (§ 7.8.1.3) | |
|---|--------------------------|
| Costruzioni di muratura ordinaria | 1,75 α_u/α_1 |
| Costruzioni di muratura armata | 2,5 α_u/α_1 |
| Costruzioni di muratura armata con progettazione in capacità | 3,0 α_u/α_1 |
| Costruzioni di muratura confinata | 2,0 α_u/α_1 |
| Costruzioni di muratura confinata con progettazione in capacità | 3,0 α_u/α_1 |

- costruzioni di muratura ordinaria $\alpha_u/\alpha_1 = 1,7$
- costruzioni di muratura armata $\alpha_u/\alpha_1 = 1,5$
- costruzioni di muratura armata progettate con la progettazione in capacità $\alpha_u/\alpha_1 = 1,3$
- costruzioni di muratura confinata $\alpha_u/\alpha_1 = 1,6$
- costruzioni di muratura confinata progettate con la progettazione in capacità $\alpha_u/\alpha_1 = 1,3$

NTC2018



Analisi pushover per strutture in muratura vs altri materiali: **cosa cambia?**

MURATURA

Comportamento **fragile** del materiale → Legge non lineare degradante

Comportamento non lineare basata sulla capacità globale di redistribuzione del taglio → non-linearità legata all'iperstaticità

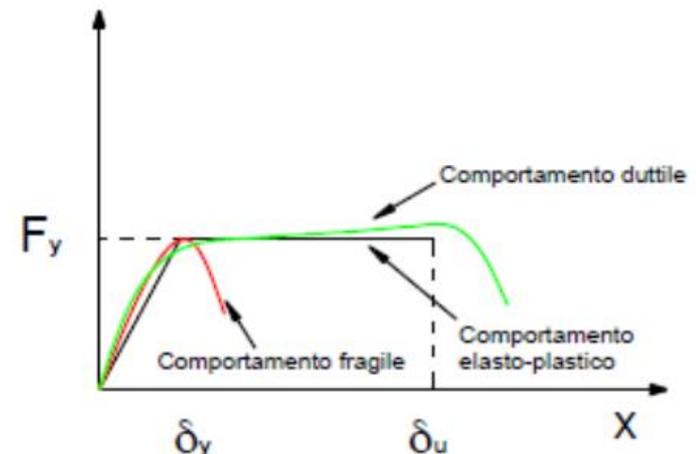
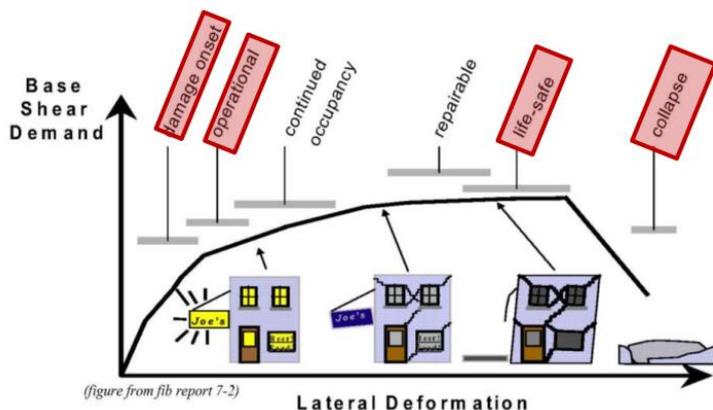
Analisi pushover simula meglio comportamento reale, dal primo danno al collasso. Possibile verifica in termini di spostamenti globali

CALCESTRUZZO ARMATO

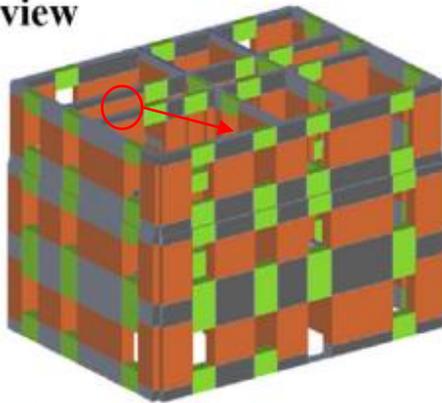
Comportamento **duatile** (sotto alcune condizioni!) → Legge elasto-plastica

Risposta non lineare data dallo snervamento dell'acciaio e fessurazione del cls (formazione cerniere plastiche).

Al termine dell'analisi globale è richiesta verifica locale (per elemento) che le deformazioni globali siano compatibili con le capacità deformative del singolo elemento.



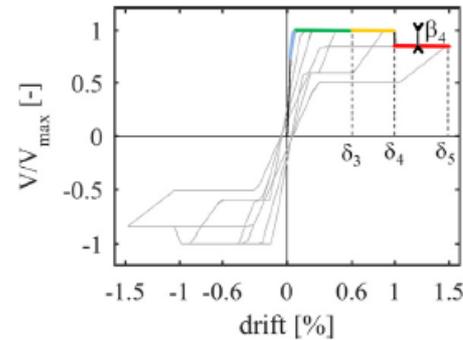
A, B models, 3D structural view



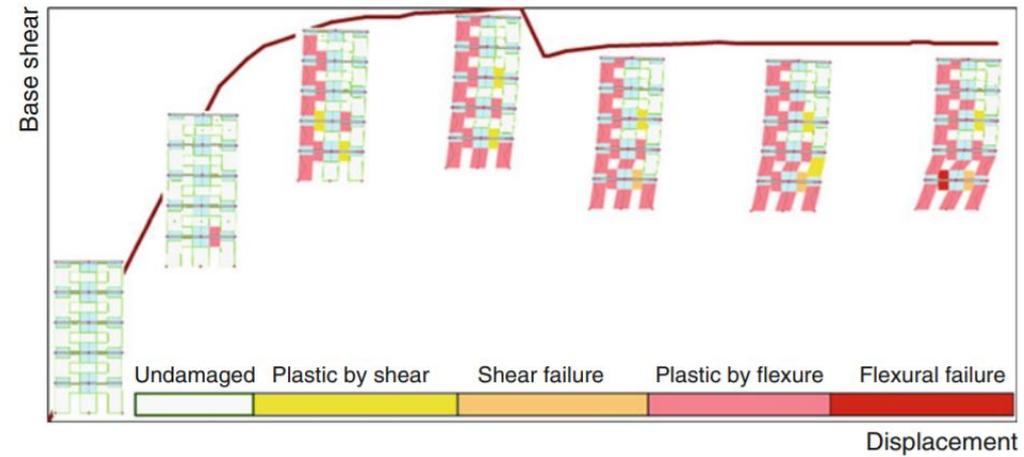
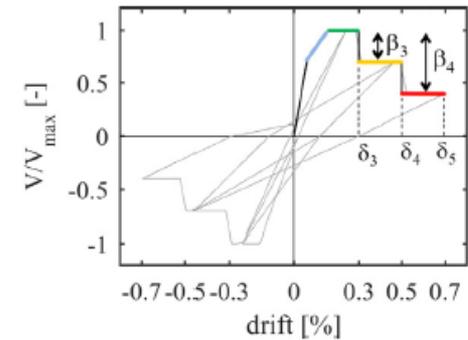
- Piers
 - Spandrels
 - Rigid nodes
- 3muri**

Legame costitutivo maschi murari

Pressoflessione



Taglio



Marino S., Cattari S., Lagomarsino S. (2019). Are the nonlinear static procedures feasible for the seismic assessment of irregular existing masonry buildings?. *Engineering Structures*, volume 200,109700.

Marques R. (2014). Masonry Box Behavior. *Encyclopedia of Earthquake Engineering*

RICERCHE SU MURATURA ARMATA

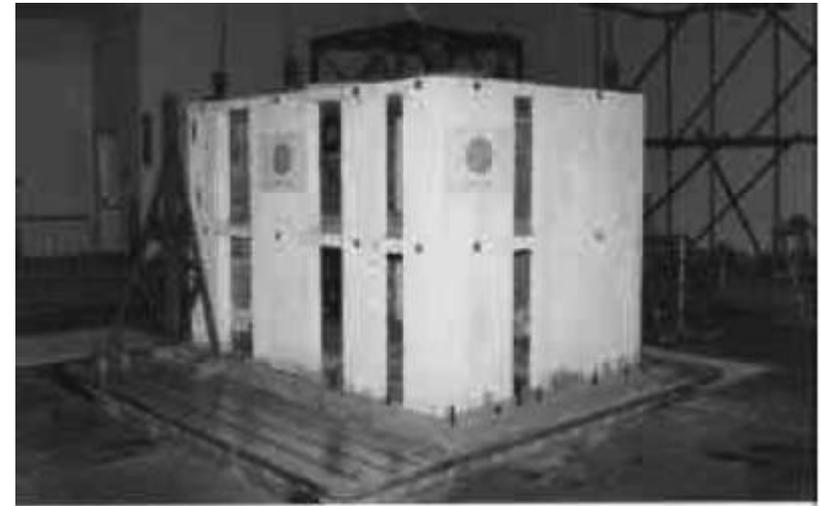
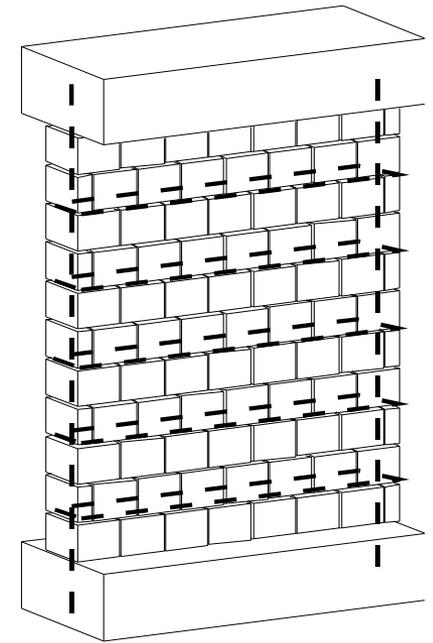
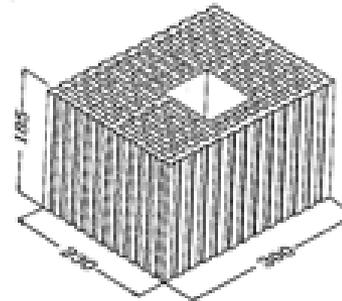


- Prime ricerche a partire dagli anni '80, che vedono coinvolte in particolare le Università di Padova, Pavia e Roma, ed il Consorzio POROTON® Italia; nel 1984, ottenimento del primo "Certificato di idoneità tecnica"
- Il D.M.LL.PP. 20/11/87: *"Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento"*, ormai in elaborazione da tempo, si concentra sulla sola muratura semplice
- "Industrial development of reinforced masonry buildings", BRITE/EURAM Projects, Project No BE-4001, Contract No BREU-0575 (4° Programma Quadro), 1992-96
- Con il D.M.LL.PP. 16/1/96: *"Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche"*, viene introdotta, in relazione alla progettazione sismica, la muratura armata
- DISWall "Developing innovative systems for reinforced masonry walls", Project COOP-CT-2005-018120 (6° Programma Quadro), 2006-08
- NTC 2008: "Norme tecniche per le costruzioni", introducono il sistema muratura armata come sistema costruttivo a tutti gli effetti

D.RE.MA.B.

Industrial Development of Reinforced Masonry Buildings

- Sviluppo dei **materiali** e **prove di durabilità**
- **Prove meccaniche** locali e su elementi strutturali
- Elaborazione di **modelli di resistenza**
- Metodi di **analisi** e **modelli** di calcolo
- Costruzione e **testing** di modelli di edificio

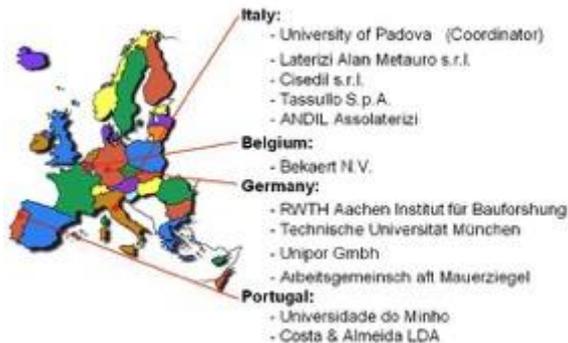
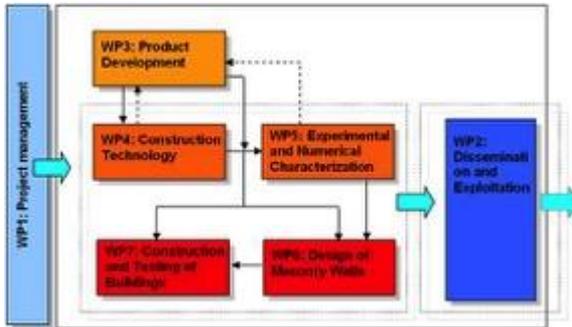




COOP-CT-2005
CONTRACT N.
018120

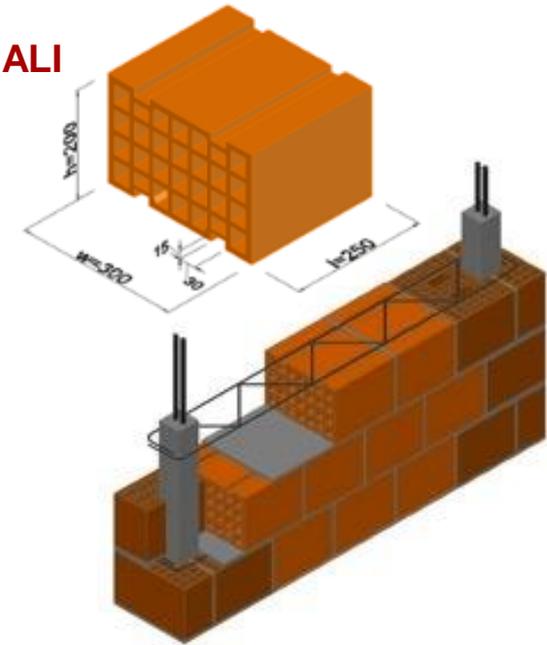


DISWall



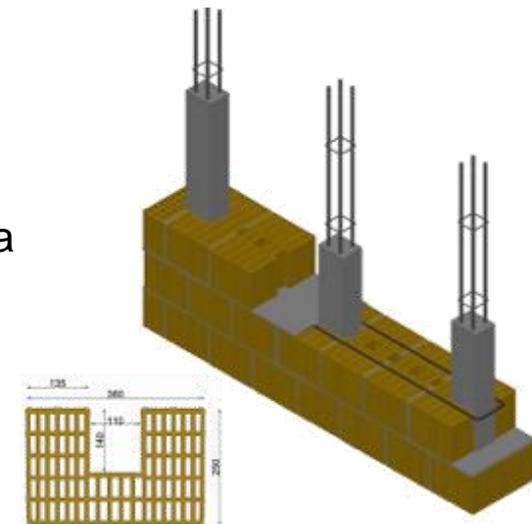
SISTEMA PER EDIFICI RESIDENZIALI

- Armatura verticale concentrata
- Blocchi a fori orizzontali



SISTEMA PER EDIFICI COMMERCIALI E INDUSTRIALI

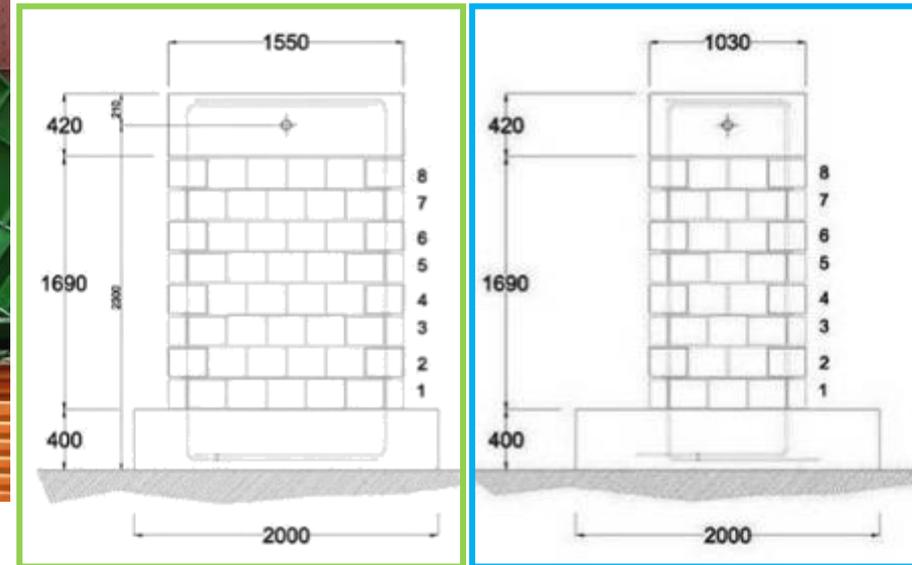
- Muri portanti snelli per edifici alti ad un piano
- Copertura deformabile
- Carichi orizzontali del vento e sisma





Caratterizzazione di base: materiali;
elementi strutturali (30 muretti)

Prove cicliche nel piano: 14 prove cicliche
di taglio-compressione



H/L 1.09 and 1.64

Vert. reinf. 0.17% and 0.13%

Hor. reinf. 0.05%

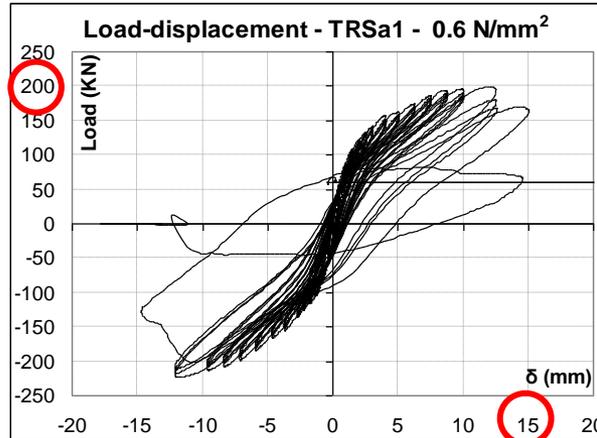
| | Series | n° | Dimensions (mm) | Vertical Reinf. | Vertical Reinf. ratio | Horizontal Reinf. | Horizontal Reinf. ratio |
|-----------|--------|----|-----------------|-----------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| Sa | SRSa | 2 | 1550x300x1690 | 4Φ16 | 4x0.043% | 2Φ6/20cm | 0.045% |
| | TRSa | 2 | 1550x300x1690 | 4Φ16 | 4x0.043% | 1murfor/20cm | 0.040% |
| Sb | SRSb | 2 | 1030x300x1690 | 2Φ16 | 2x0.065% | 2Φ6/20cm | 0.045% |
| | TRsb | 2 | 1030x300x1690 | 2Φ16 | 2x0.065% | 1murfor/20cm | 0.040% |

da Porto F., Mosele F., Modena C. (2011). Compressive behaviour of a new reinforced masonry system. *RILEM Materials and Structures*, 44(3):565–581

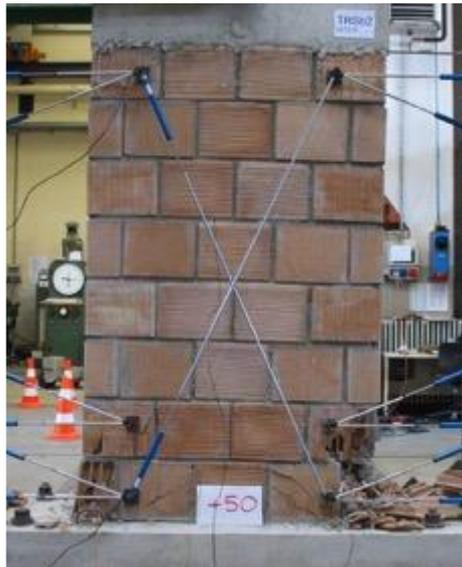
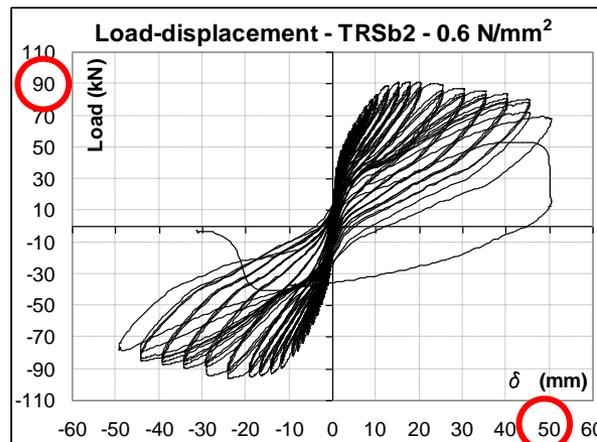
da Porto F., Mosele F., Modena C. (2011). In-plane cyclic behaviour of a new reinforced masonry system: experimental results. *Engineering Structures*, Elsevier, 33(9):2584–2596



Comportamento a taglio

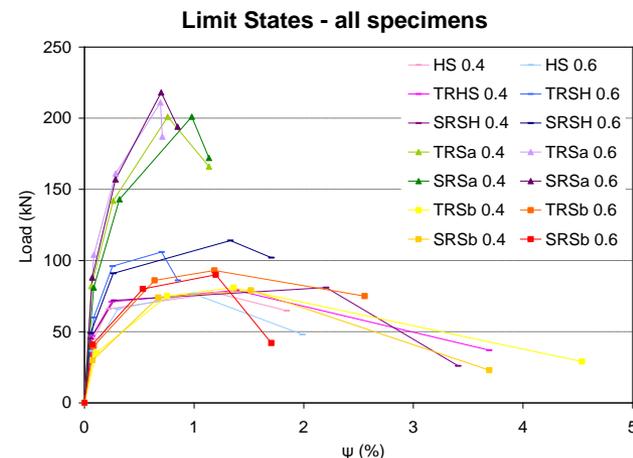
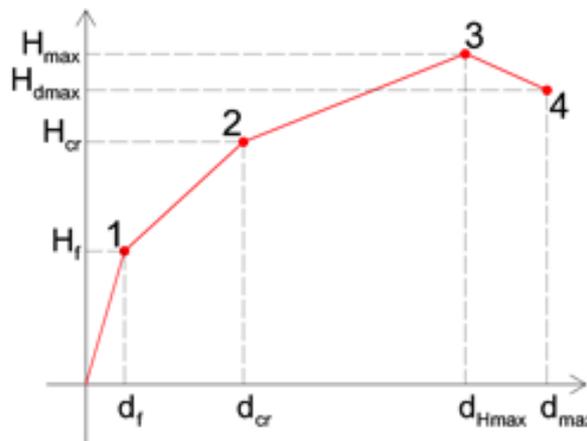


Comportamento flessionale



4 Stati Limite (LS)

1. Fessurazione per flessione
2. Critico
3. Resistenza massima
4. Spostamento massimo



| Campioni | H_f kN | ψ_f % | H_{cr} kN | ψ_{cr} % | H_{max} kN | ψ_{Hmax} % | H_u kN | ψ_u % | H_{cr}/H_{max} | H_u/H_{max} | ψ_{cr}/ψ_{Hmax} | ψ_u/ψ_{cr} | Mod. di rottura |
|---------------------------------|-------------|---------------|----------------|------------------|-----------------|--------------------|-------------|---------------|------------------|---------------|-------------------------|--------------------|-----------------|
| $\sigma_c = 0.6 \text{ N/mm}^2$ | | | | | | | | | | | | | |
| TRHS 0.6 | 60 | 0.09 | 94 | 0.23 | 106 | 0.70 | 86 | 0.85 | 0.89 | 0.81 | 0.32 | 3.70 | Flex |
| SRHS 0.6 | 49 | 0.06 | 91 | 0.26 | 114 | 1.33 | 102 | 1.71 | 0.80 | 0.89 | 0.19 | 6.58 | Flex |
| TRSa 0.6 | 104 | 0.09 | 161 | 0.28 | 211 | 0.69 | 187 | 0.71 | 0.76 | 0.89 | 0.41 | 2.50 | Shear |
| SRSa 0.6 | 88 | 0.07 | 157 | 0.28 | 218 | 0.70 | 194 | 0.85 | 0.72 | 0.89 | 0.40 | 3.00 | Shear |
| TR Sb 0.6 | 40 | 0.09 | 86 | 0.64 | 93 | 1.19 | 75 | 2.56 | 0.92 | 0.81 | 0.54 | 4.00 | Flex |
| SRSb 0.6 | 41 | 0.07 | 80 | 0.50 | 90 | 1.20 | 42 | 1.70 | 0.89 | 0.47 | 0.42 | 3.42 | Flex |
| $\sigma_c = 0.4 \text{ N/mm}^2$ | | | | | | | | | | | | | |
| TRHS 0.4 | 47 | 0.07 | 73 | 0.32 | 79 | 1.39 | 37 | 3.69 | 0.92 | 0.47 | 0.23 | 11.54 | Flex |
| SRHS 0.4 | 45 | 0.06 | 72 | 0.27 | 81 | 2.21 | 26 | 3.41 | 0.89 | 0.32 | 0.12 | 12.63 | Flex |
| TRSa 0.4 | 82 | 0.06 | 142 | 0.26 | 201 | 0.76 | 166 | 1.14 | 0.71 | 0.83 | 0.35 | 4.33 | S/F |
| SRSa 0.4 | 81 | 0.08 | 143 | 0.32 | 201 | 0.98 | 172 | 1.14 | 0.71 | 0.86 | 0.33 | 3.56 | S/F |
| TR Sb 0.4 | 35 | 0.11 | 74 | 0.68 | 81 | 1.36 | 29 | 4.54 | 0.91 | 0.36 | 0.50 | 6.63 | Flex |
| SRSb 0.4 | 30 | 0.07 | 69 | 0.54 | 79 | 1.52 | 23 | 3.69 | 0.87 | 0.29 | 0.35 | 6.88 | Flex |

NTC2008

NTC2018



Pressoflessione

$\Psi = 1,2 \%$

$1,6 \%$

Taglio

$\Psi = 0,6 \%$

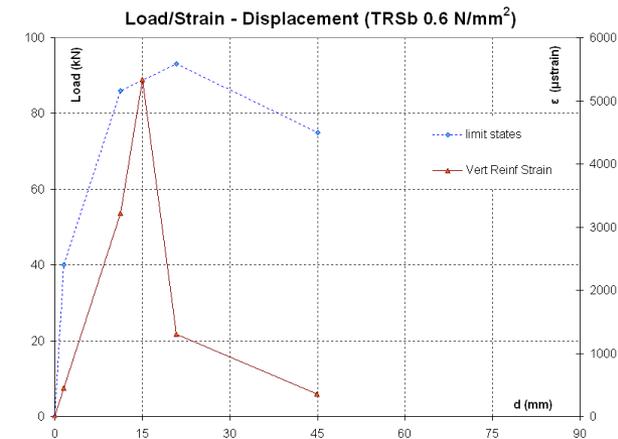
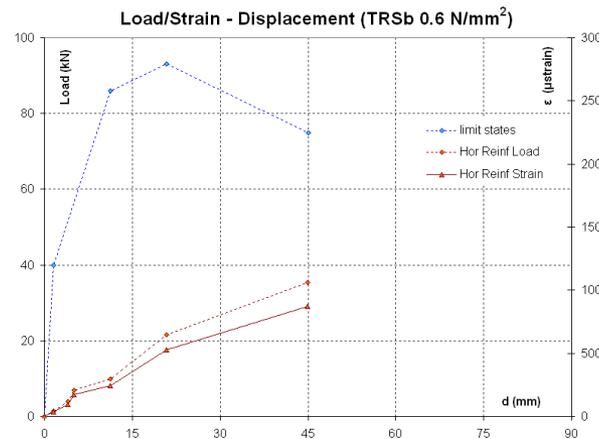
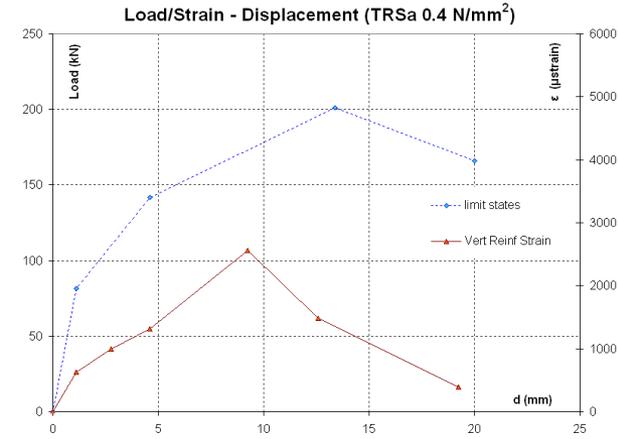
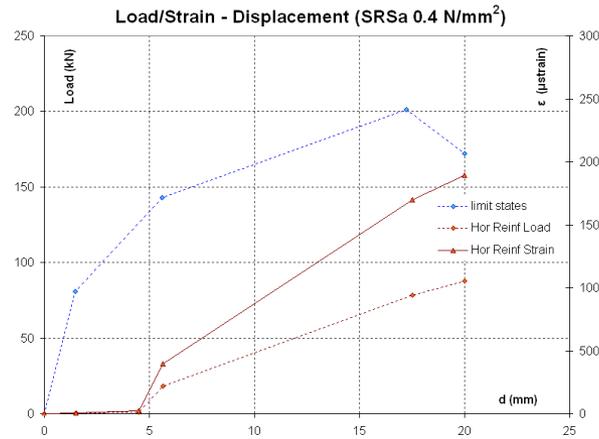
$0,8 \%$

Armatura orizzontale:

- snervamento non raggiunto
- contribuisce alla resistenza a taglio
- garantisce stabilità in fase post-picco

Armatura verticale:

- completo sfruttamento
- lo snervamento definisce H_{cr} ; d_{cr}
- fornisce duttilità

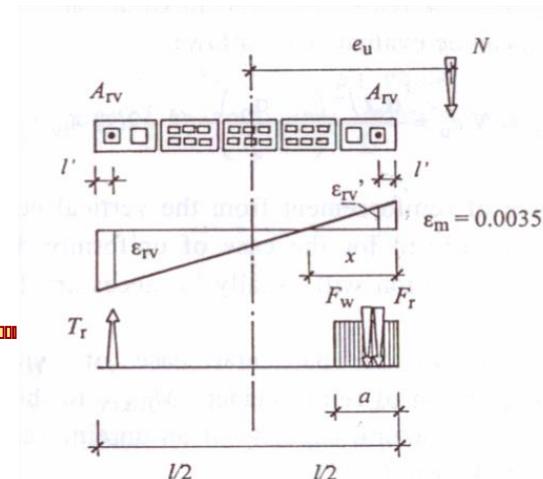


- efficienza dell'armatura $M_{rv} / M_{rv,y} \sim 100\%$
- formulazione per la resistenza a pressoflessione:

$$M_u = M_{u,s} + M_{rv,y} = \frac{\sigma_0 t l^2}{2} \left(1 - \frac{\sigma_0}{f} \right) + z \cdot A_{rv} f_y$$



Resistenza a flessione:



| Specimens | H_{max} (kN) | M_{max} (kNm) | M_{rv} (kNm) | $M_{rv}/$ M_{max} | $M_{rv,y}$ (kNm) | $M_{rv}/$ $M_{rv,y}$ | Equation 3 | | Failure mode |
|-----------|-------------------|--------------------|-------------------|------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|
| | | | | | | | $H_{u,f}$ (kN) | $H_{u,f}/$ H_{max} | |
| SRSa0.6 | 218 | 384 | 262 | 0.68 | 262 | 1.00 | 253 | 1.16 | shear |
| TRSa0.6 | 211 | 370 | - | - | | - | 253 | 1.20 | shear |
| SRSa0.4 | 201 | 353 | - | - | | - | 223 | 1.11 | shear/fl |
| TRSa0.4 | 201 | 353 | 257 | 0.73 | | 0.98 | 223 | 1.11 | shear/fl |
| SRSb0.6 | 90 | 158 | - | - | 79 | - | 91 | 1.01 | flex |
| TRsb0.6 | 93 | 163 | 79 | 0.48 | | 1.00 | 91 | 0.98 | flex |
| SRSb0.4 | 79 | 139 | - | - | | - | 77 | 0.98 | flex |
| TRsb0.4 | 81 | 142 | 79 | 0.55 | | 1.00 | 77 | 0.95 | flex |

| Riferimento | Muratura non armata V_m | Carico assiale V_p | Armatura orizzontale V_s | Effetto biella V_{dw} |
|---------------------------|---|-----------------------------------|---|--------------------------------------|
| EN 1996-1-1 | A $f_{vk} \cdot tl$ | implicito | $0.9 \cdot A_{sw} f_y$ | - |
| DM 14/01/08 | B $f_{vk} \cdot td$ | implicito | $0.6 \cdot \frac{d \cdot A_{rh} f_y}{s}$ | - |
| Tomažević e Lutman 1988 | C $\left(\frac{f_t}{b} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_0}{f_t} + 1}\right) \cdot tl$ | implicito | $0.3 \cdot A_{sw} f_y$ | - |
| Tomažević 1999 | D $f_{vk} \cdot tl$ | implicito | $0.3 \left(\frac{0.9 d A_{rh}}{s} \cdot f_y\right)$ | $0.806 m d_{rv}^2 \sqrt{f_m f_{yv}}$ |
| BS 5628-2 | E $f_{vk} \cdot tl$ | implicito | $A_{sw} \cdot f_y$ | - |
| AS 3700 | F $f_{vr} \cdot tl$ | - | $0.8 \cdot \frac{l}{h} \cdot A_{sw} f_y$ | - |
| ACI 530/530.1 | G $0.083 \left(4 - 1.75 \frac{M}{Vl}\right) \cdot A_n \sqrt{f'_m}$ | $0.25 \cdot \sigma_0 \cdot A_n$ | $0.5 \cdot \left(\frac{A_{rh}}{s}\right) \cdot f_y l$ | - |
| NZS 4230 | H $((C_1 + C_2) \cdot v_{bm}) \cdot td$ | $0.9 N^* \tan \alpha$ | $C_3 \cdot A_{rh} f_y \frac{d}{s}$ | implicito |
| Shing et al. 1990 | J $(0.166 + 0.0217 \rho_v f_{yv}) A_n \sqrt{f'_m}$ | $0.0217 \sigma_0 A_n \sqrt{f'_m}$ | $\left(\frac{1 - 2d'}{s} - 1\right) A_{rh} f_y$ | implicito |
| Anderson e Priestley 1992 | K $0.12 \cdot k_1 k_2 \cdot A_n \sqrt{f'_m}$ | $0.25 \cdot \sigma_0 A_n$ | $0.5 \cdot \frac{d A_{rh} f_y}{s}$ | valutato = 0 |

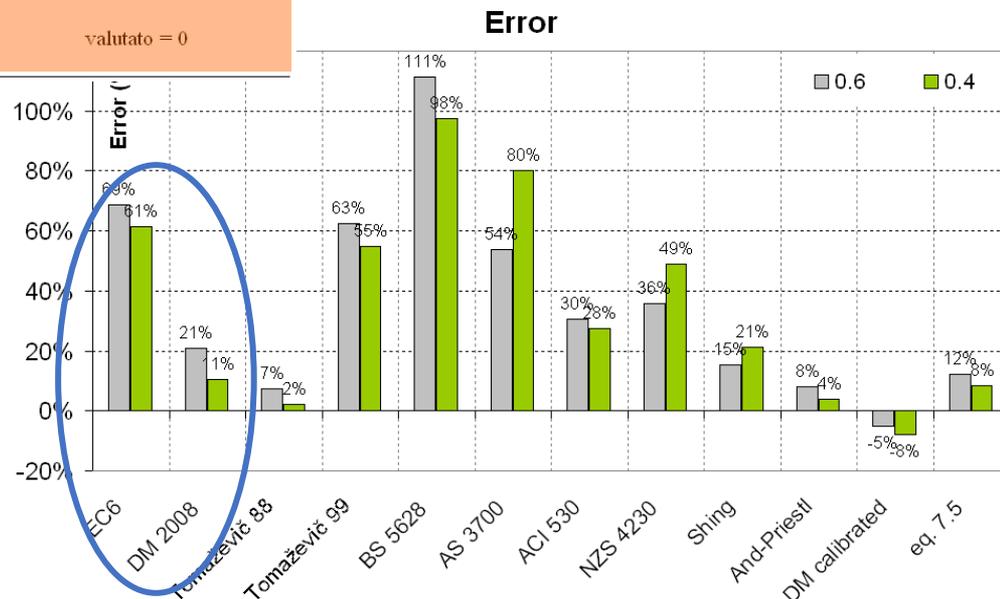
Mosele F., da Porto F., Modena C. (2009) "Comportamento ciclico nel piano di un sistema innovativo per muratura armata", ANIDIS 2009 – XIII Convegno Nazionale L'Ingegneria Sismica in Italia, Bologna, 28 Giugno - 2 Luglio 2009

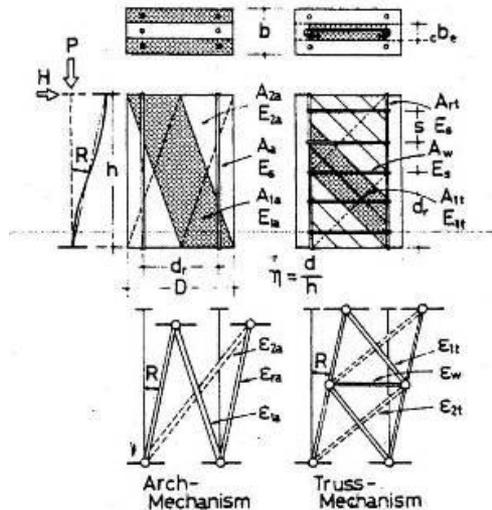
$$V_t = V_{t,M} + V_{t,S}$$

$$V_{t,M} = d \cdot t \cdot f_{vd}$$

$$V_{t,S} = 0.6 \cdot A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot \frac{d}{s}$$

NTC2008, NTC2018, FprEN1996-1-1





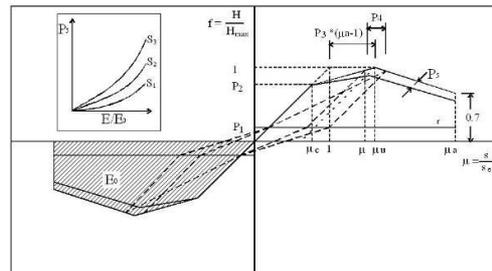
WAKABAYASHI & NAKAMURA (1984)

TASSIOS (1984)

Sviluppo di modelli empirico-fenomenologici basati sulla descrizione di meccanismo resistenti globali e locali

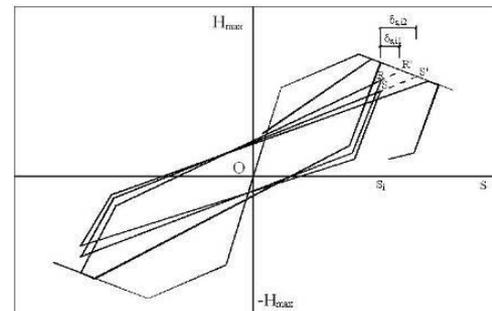
BERNARDINI & MODENA ('90)

5 parametri adimensionali, 3 basati sul rapporto tra carico orizzontale e spostamento agli stati limite fondamentali, 1 descrive il degrado di rigidità, 1 (μ_a) definisce la duttilità disponibile



TOMAZEVIC (1996)

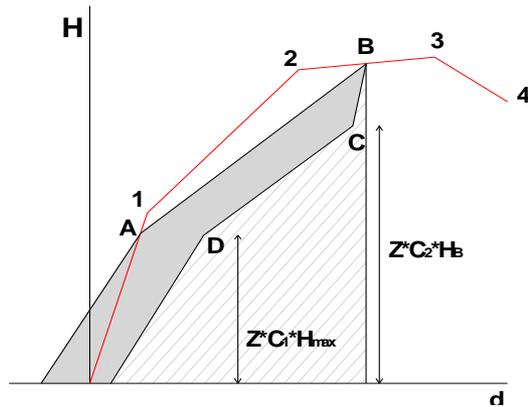
Definizione delle curve di involucro di prove cicliche a partire dai risultati di prove monotone, sulla base dell'energia assorbita fittizia. 2 parametri dipendenti dal degrado di rigidità, un altro basato sulla quantità di energia dissipata.



MAGENES (1998)

5 relazioni empiriche, che valutano il degrado di resistenza e rigidità e altri parametri energetici e di spostamento.

Modello per analisi dinamiche



Curva di involuppo

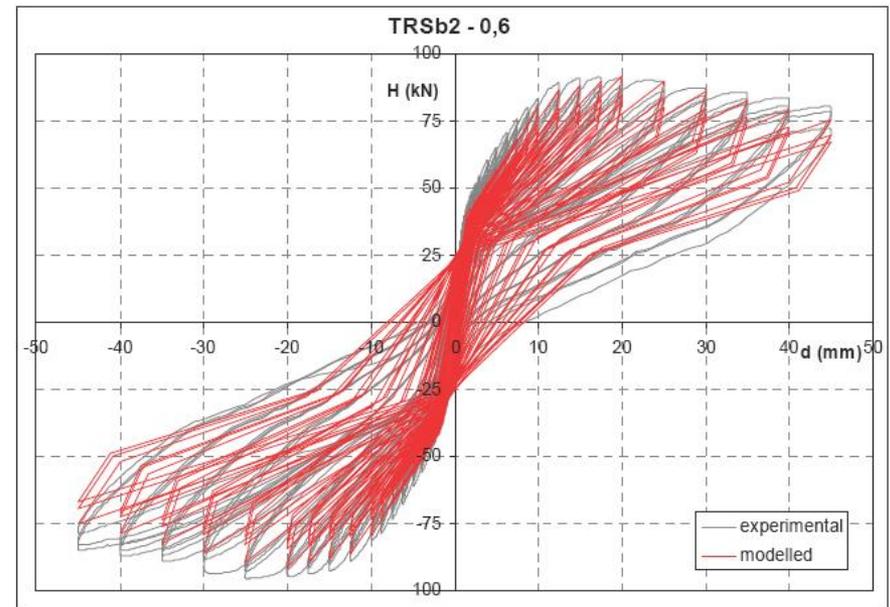
$$C_k = \left(\frac{K_4}{K_1} - 1 \right) / \left(\frac{d_{\max}}{d_f} - 1 \right)$$

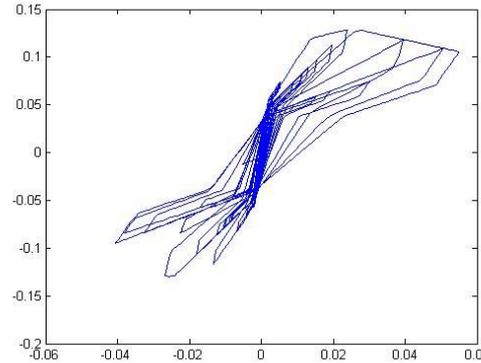
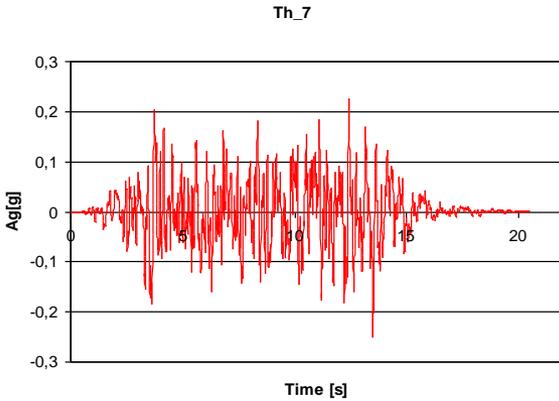
$$K_{BC} = K_1 \left[1 + C_k \left(\frac{d_B}{d_f} - 1 \right) \right]$$

$$d_E = \frac{H_{\max}}{K_1}$$

$$C_z = \left(\frac{d_f}{d_E} - 1 \right) / \left(\frac{d_{\max}}{d_E} - 1 \right)$$

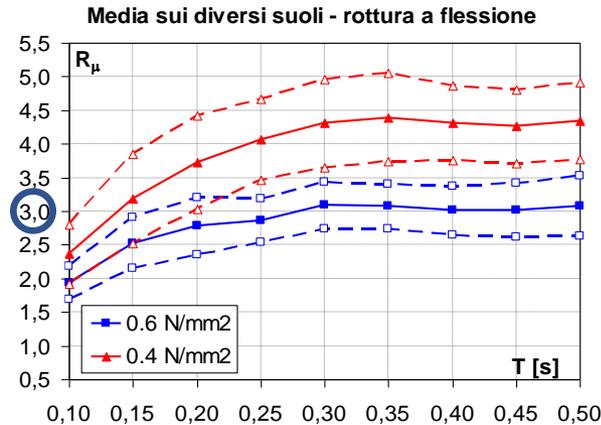
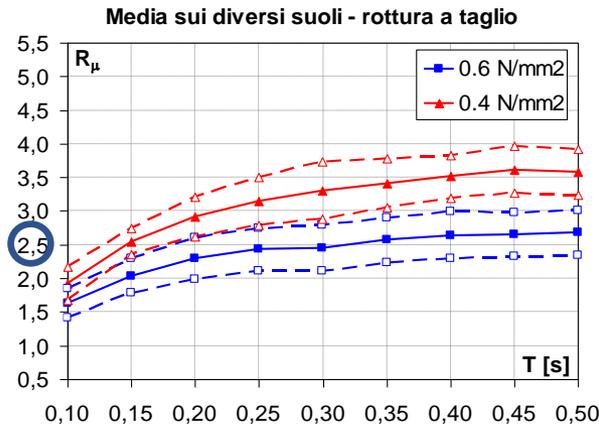
$$Z = 1 + 0,5 \cdot C_z \cdot \left(\frac{d_B}{d_E} - 1 \right)$$





$$q = R_{\mu} R_s$$

Scopo: stima del fattore di riduzione R_m legato alla dissipazione energetica e al comportamento non-lineare del sistema, per le due modalità di rottura.



Tra 0.15 e 0.20 s:

- R_{μ} (Taglio) > 2.5
- R_{μ} (Flessione) > 3.0

Costruzioni di muratura (§ 7.8.1.3)

| | |
|---|----------------------------|
| Costruzioni di muratura ordinaria | $1,75 \alpha_u / \alpha_1$ |
| Costruzioni di muratura armata | $2,5 \alpha_u / \alpha_1$ |
| Costruzioni di muratura armata con progettazione in capacità | $3,0 \alpha_u / \alpha_1$ |
| Costruzioni di muratura confinata | $2,0 \alpha_u / \alpha_1$ |
| Costruzioni di muratura confinata con progettazione in capacità | $3,0 \alpha_u / \alpha_1$ |

NTC2018



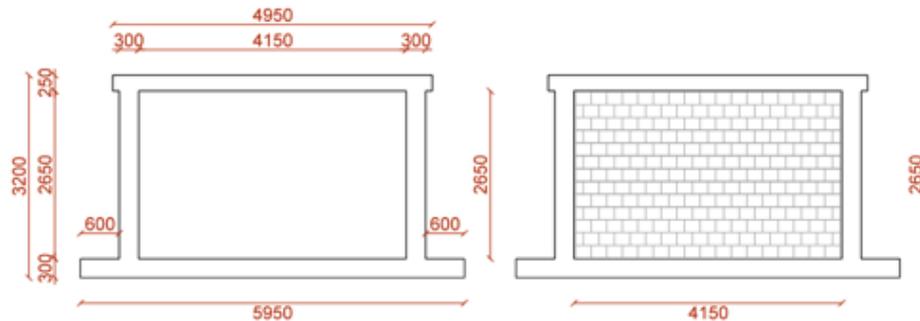
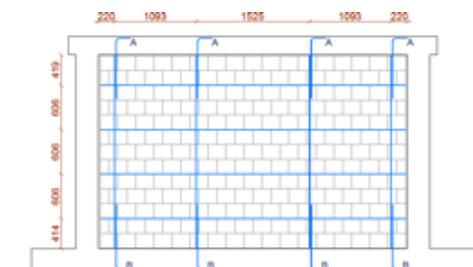
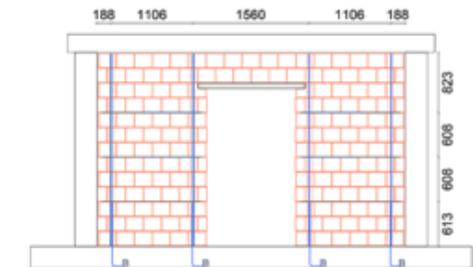
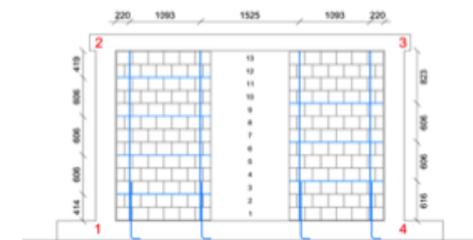
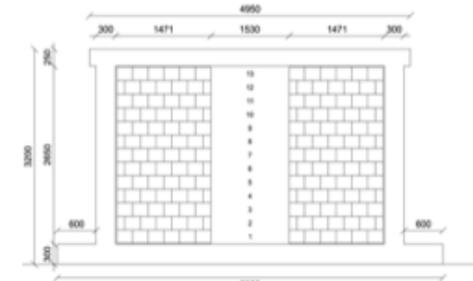
Comportamento delle tamponature



Edifici a L'Aquila



Edifici ad Amatrice



Coordinated By University Of Padova

INSYSME
Innovative Systems
for Earthquake Resistant
Masonry Enclosures
in R.C. Buildings

www.insysme.eu

PROJECT FRAMEWORK
INSYSME is a Research Project for the benefit of SME Associations with a budget close to 2.7 million Euros, co-funded for about 1.8 million Euros by the European Commission under the 7th Framework Programme "Capacities". The research will offer novel solutions to scientific and technological problems that have a broad spectrum impact, creating new opportunities for the masonry industry and the construction sector in Europe.

THE CHALLENGE
Masonry enclosure systems have excellent performance with respect to healthy indoor environment, thermal and acoustic insulation, moisture control, fire and durability. Without a proper design, when enclosure walls (as other "non-structural" elements) are subjected to seismic actions, they may affect strongly the global behaviour of the structure, hence increasing repair costs and casualties. In this context, sound and efficient design procedures for non-structural elements do not exist yet.

The INSYSME project will tackle the aforementioned shortcomings reconsidering the structural role of masonry enclosure walls:

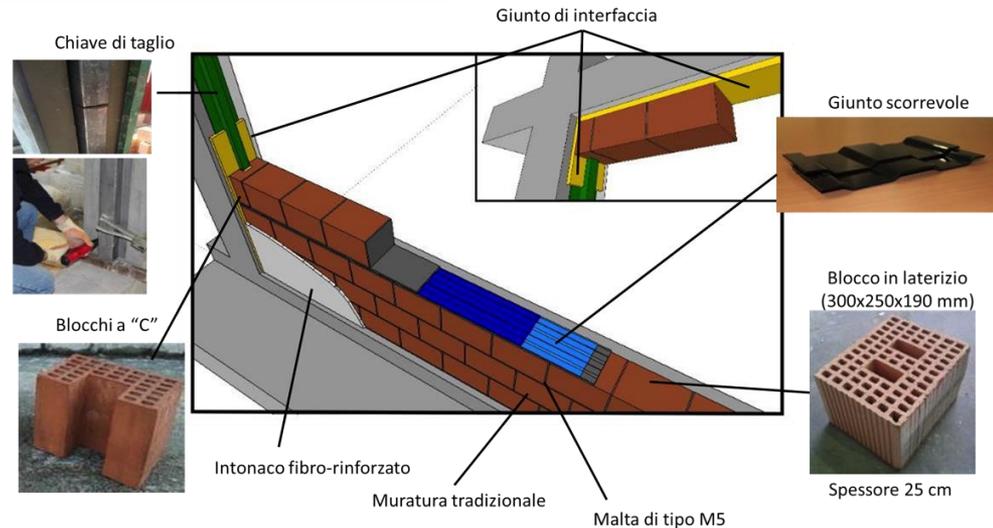
- Developing innovative and diversified materials, technologies and building process for masonry enclosure systems;
- Defining structural performances and design methods that take into account the mutual influence of RC frame and masonry enclosures behaviour;
- Implementing design procedures and construction process of masonry enclosure systems into software, guidelines and codes.

PROJECT STRUCTURE
The technical program is organized in 7 Interactive Work Packages (WPs) over a three-year duration.

The proposed solutions are sustainable and improve safety and quality of life of European citizens. The INSYSME project clusters 16 Partners, representatives of Universities, Research Centres, Industrial Associations and SMEs from 7 Countries. The Project Coordinator is the Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering of the University of Padova, Italy.



Giunti in gomma e giunti scorrevoli - "Tamponature duttili" (NTC2018)



www.insysme.eu

1 Ottobre 2013 – 31 Dicembre 2016

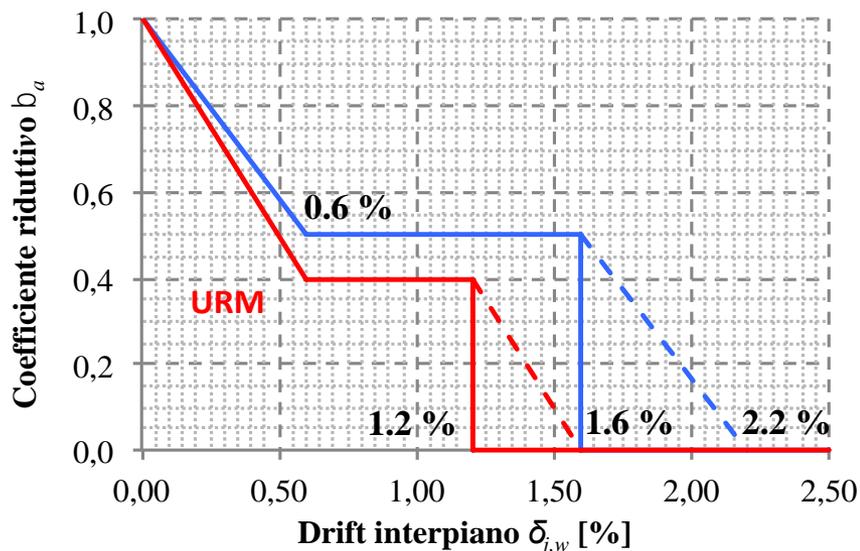
da Porto F., Verlatto N., Guidi G., Modena C. (2016). "INSYSME project: Innovative construction systems for earthquake resistant masonry infill walls". 16th International Brick and Block Masonry Conference. Padova, Italy, 26-30 June 2016

I METODI NON TENGONO CONTO DELL'INTERAZIONE IN-PIANO/FUORI-PIANO!



Dalla sperimentazione è possibile estrapolare una correlazione tra il danneggiamento nel piano, espresso in termini di drift massimo interpiano raggiunto, e il decremento della resistenza fuori piano.

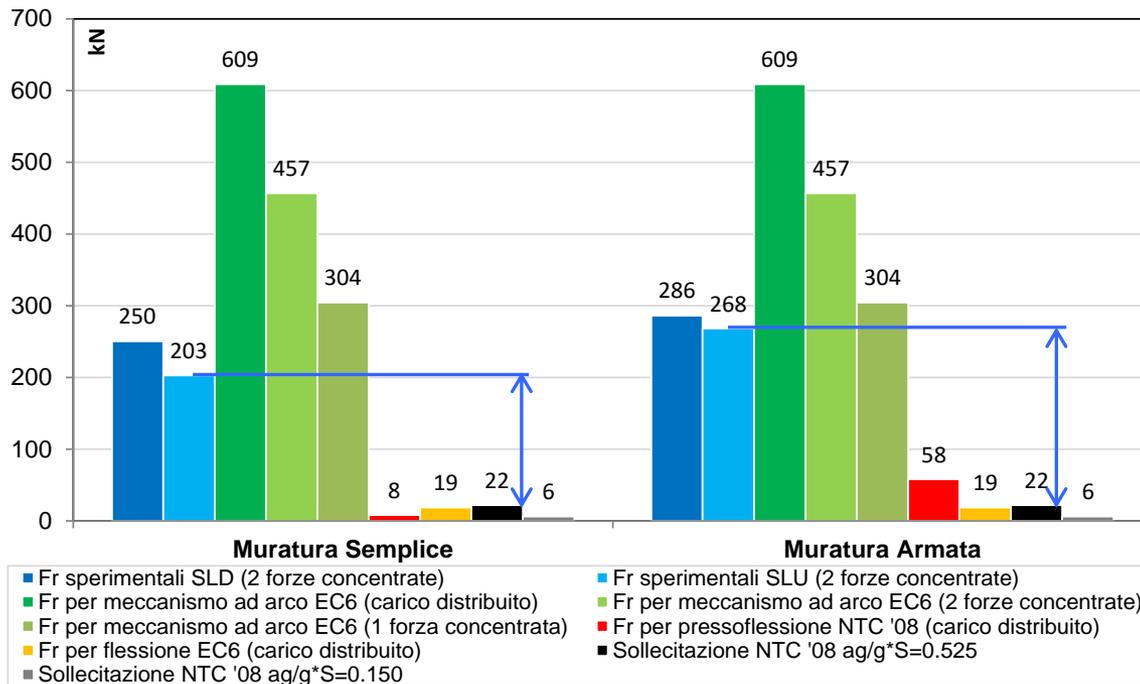
Riduzione della resistenza fuori piano



Linee Guida Reluis

Guidi G., da Porto F., Dalla Benetta M., Verlatto N., Modena C. (2013). "Comportamento sperimentale nel piano e fuori piano di tamponamenti in muratura armata e rinforzata", ANIDIS 2013 – Padova, 30 Giugno-4 Luglio 2013

Verlatto N., da Porto F., Guidi G. (2013). "Modellazione analitica del comportamento fuori piano di tamponamenti in muratura semplice ed armata", ANIDIS 2013 – Padova, 30 Giugno-4 Luglio 2013



LE FORMULAZIONI CLASSICHE TENDONO A SOTTOSTIMARE LA CAPACITA'!

Dalla sperimentazione emerge che le formulazioni classiche di resistenza (flessione o pressoflessione fuori piano) tendono a sottostimare consistentemente la reale capacità fuori piano delle murature di tamponatura.

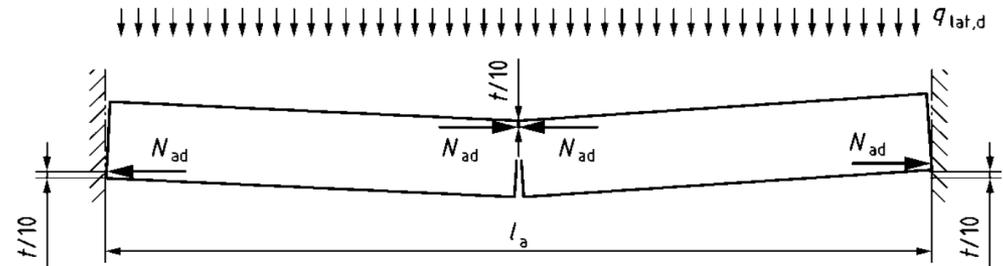
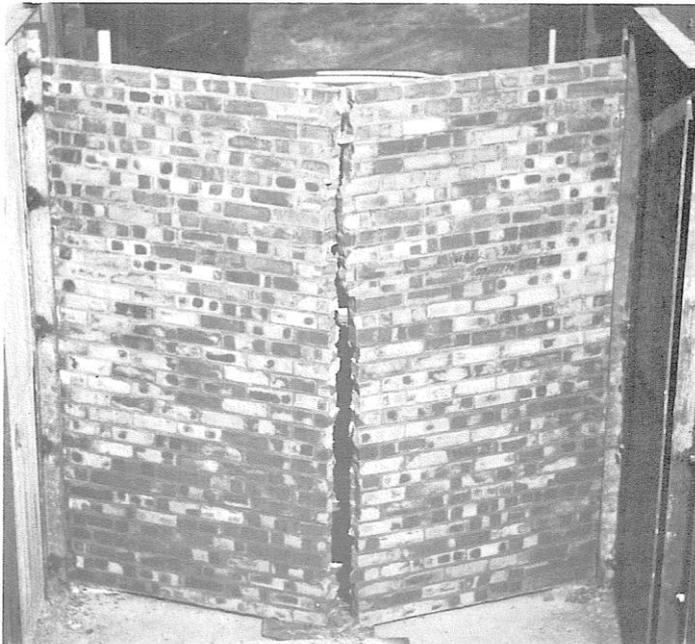
Massima azione assiale
(per unità di lunghezza)

$$N_{ad} = 1,5 f_d \frac{t}{10}$$

Resistenza laterale di progetto

$$q_{lat,d} = 1,2 f_d \frac{r_a t}{l_a^2}$$

EN1996-1-1



Il fattore di miglioramento della resistenza **non può applicarsi** per blocchi non appartenenti al Gruppo 1:

Massima azione assiale
(per unità di lunghezza)

$$N_{ad} = f_d \frac{t}{10}$$

Resistenza laterale di progetto

$$q_{lat,d} = 0,8 f_d \frac{r_a t}{l_a^2}$$

FprEN1996-1-1

EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

FINAL DRAFT
FprEN 1996-1-1

October 2021

ICS 91.010.30; 91.080.30

Will supersede EN 1996-1-1:2005+A1:2012

English Version

**Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 1-1:
General rules for reinforced and unreinforced masonry
structures**

Eurocode 6 : Calcul des ouvrages en maçonnerie -
Partie 1-1: Règles générales pour ouvrages en
maçonnerie armée et non armée

Eurocode 6 - Bemessung und Konstruktion von
Mauerwerksbauten - Teil 1-1: Allgemeine Regeln für
bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk

This draft European Standard is submitted to CEN members for formal vote. It has been drawn up by the Technical Committee CEN/TC 250.

LA NUOVA prEN 1996-1-1

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Republic of North Macedonia, Romania, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey and United Kingdom.

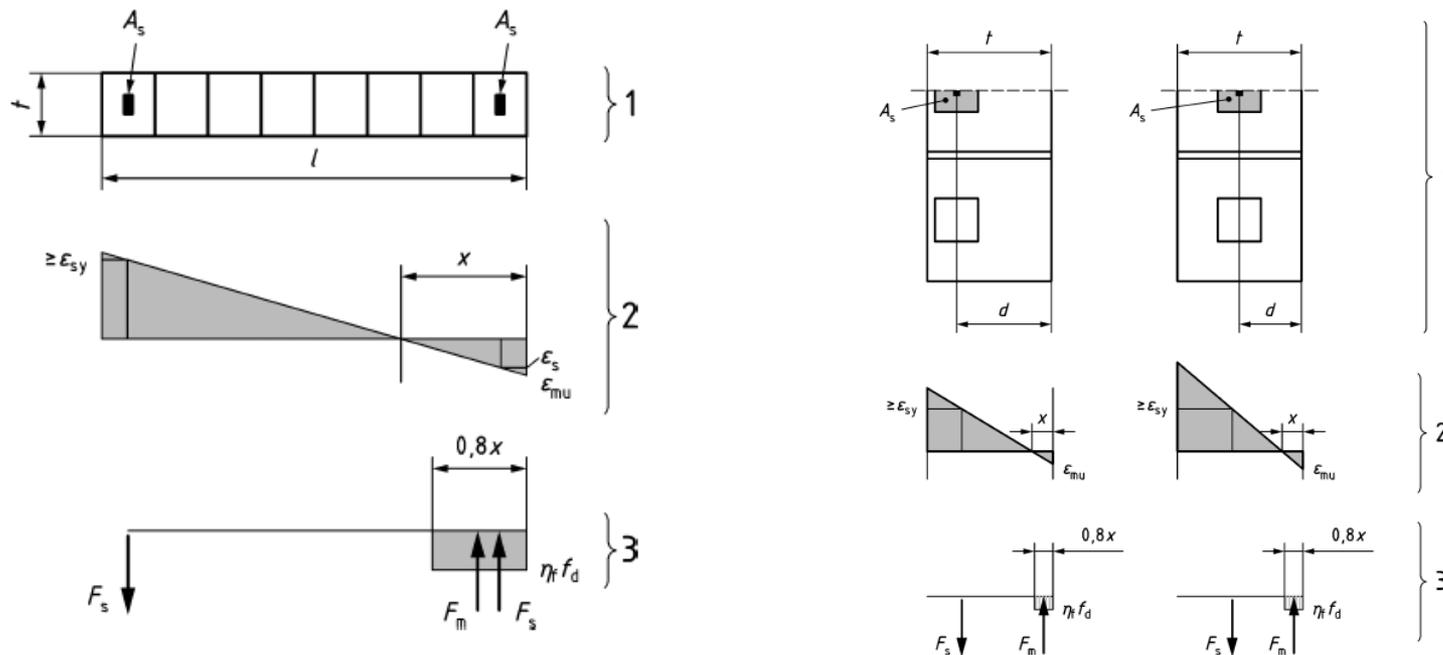
Recipients of this draft are invited to submit, with their comments, notification of any relevant patent rights of which they are aware and to provide supporting documentation.

Warning : This document is not a European Standard. It is distributed for review and comments. It is subject to change without notice and shall not be referred to as a European Standard.



EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG

- Riduzione dei parametri da determinarsi a livello nazionale (NDP)
- Riorganizzazione e semplificazione del testo, strutturazione coerente
- Miglioramento di formulazioni ed immagini
- Trattazione delle verifiche per azioni nel piano e fuori piano coerente con EC8



Schemi per pressoflessione nel piano e fuori piano

Le verifiche di sicurezza **SLU** di pareti sottoposte a **compressione verticale** e **carico laterale non sismico** (ad es. vento), sono eseguite in termini di resistenza verticale per unità di lunghezza:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = \phi \cdot t \cdot f_d$$

- alle sez. di estremità della parete

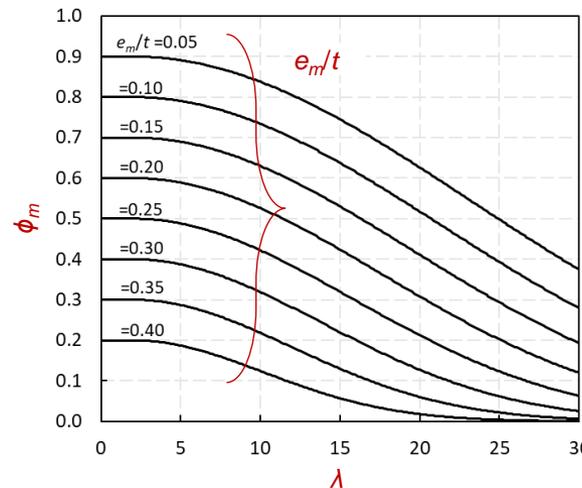
$$\Phi_i = 1 - 2 e_i / t \quad (e_i = \text{eccentricità})$$

- alla sez. di mezzeria della parete

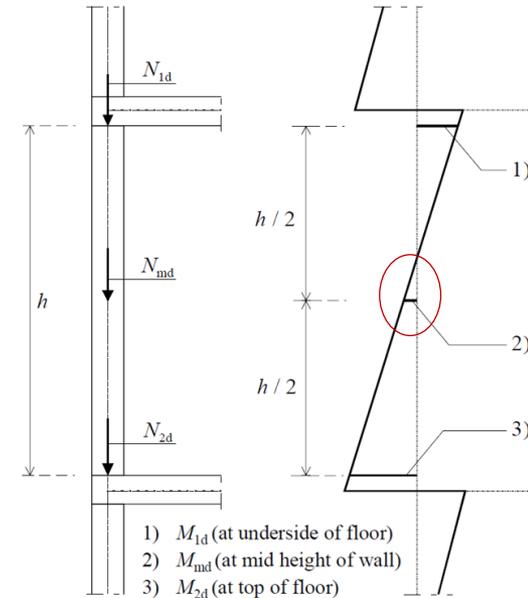
Φ_m = funzione di:

- ecc. trasversale (e_m)
- snellezza della parete ($\lambda = h_{ef}/t$)
- rapporto tra modulo e resist. caratt. (E/f_k)
- condizioni al contorno (ρ)

effetti del secondo ordine



ϕ_m in funzione della snellezza (λ) e dell'eccentricità (e_m/t), per $E=1000 f_k$



Distribuzioni momenti per calcolo eccentricità e_i , e_m

Molti test eseguiti da vari autori con diverse condizioni al contorno, eccentricità di carico, rigidezze e resistenze del muro

Risultati sperimentali Vs. predizioni di EC6
→ EC6 piuttosto conservativo per basse rigidezze

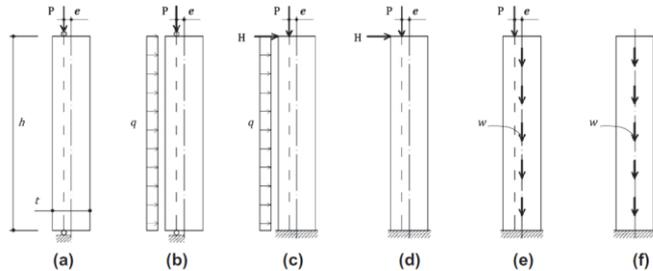


Fig. 1. Different configurations used by different authors to study the buckling behaviour of masonry walls.

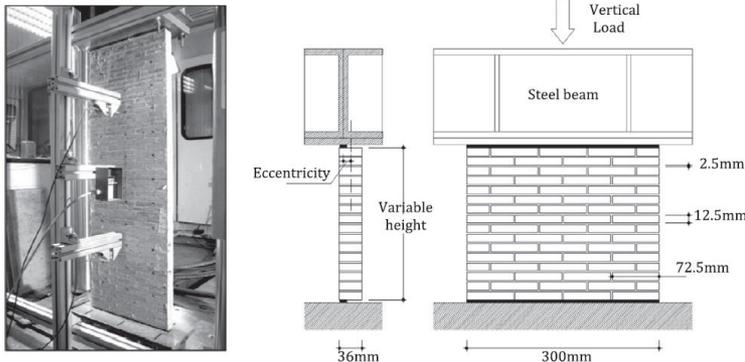


Fig. 2. Geometry and loading arrangement of the reference wall.

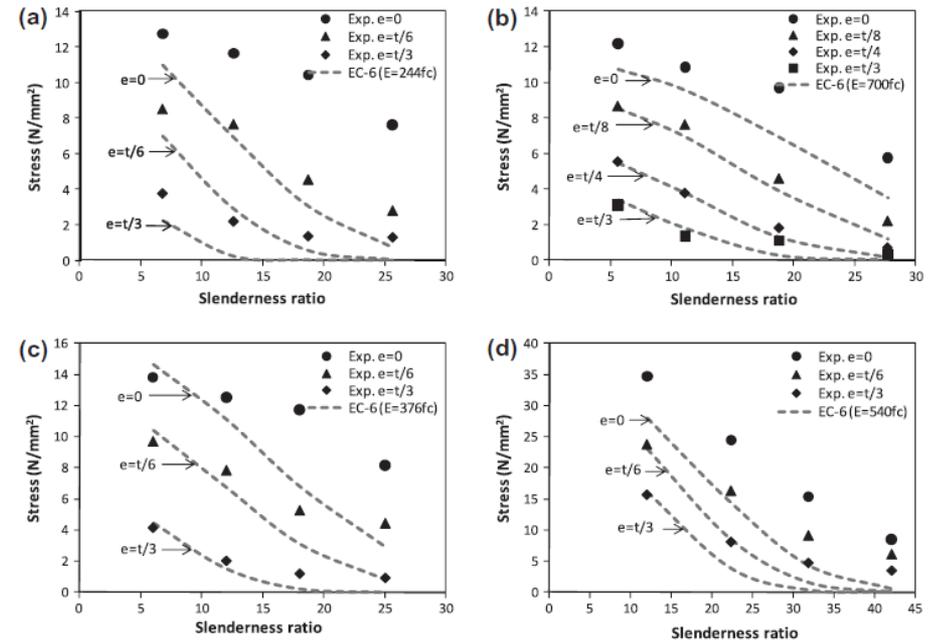


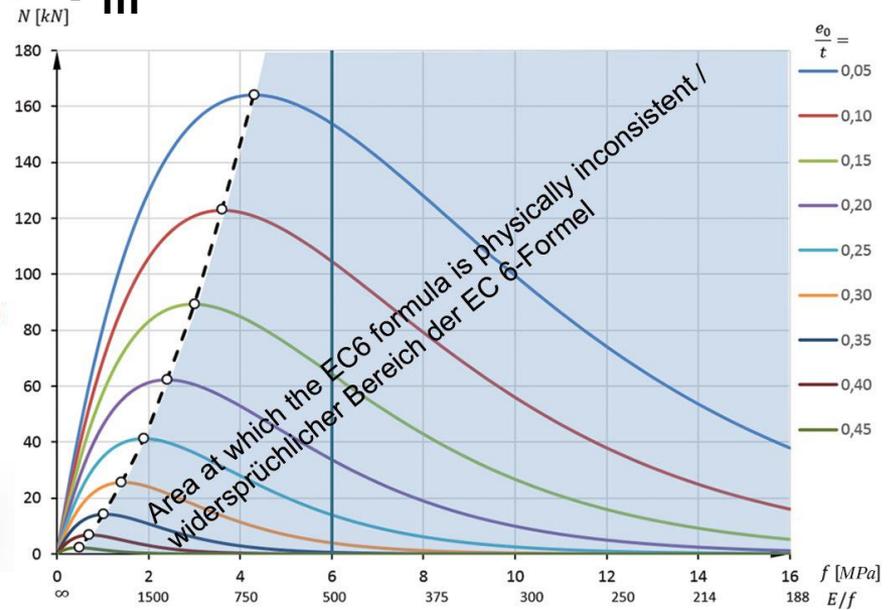
Fig. 10. Comparison between Eurocode-6 [23] and average experimental ultimate stress: (a) present research, (b) Kirschtig and Anstötz [16], (c) Hasan and Hendry [18], (d) Watstein and Allen [15].

- Hasan & Hendry (1976). Effect of slenderness and eccentricity on the compressive strength of walls. Proc. of the 4th international brick masonry conference, Brugge.
- Drysdale & Hamid (1982). Effect of eccentricity on the compressive strength of brickwork. Journal of the British Ceramic Society 30: 140-149.
- Kirschtig & Anstötz (1991). Kinckuntersuchungen an mauerwerksproben. In: Proceedings of 9th international brick/block masonry conference 2002– 2009 [in German].
- Cavaleri, Failla, La Mendola & Papia (2005). Experimental and analytical response of masonry elements under eccentric vertical loads. Eng Struct 27(8):1175-84.
- Sandoval, Roca, Bernat & Gil (2011). Testing and numerical modelling of buckling failure of masonry walls. Construction and Building Materials 25(12):4394-402.
- Sandoval & Roca (2012). Study of the influence of different parameters on the buckling behaviour of masonry walls. Construction and Building Materials 35 (2012) 888–899.

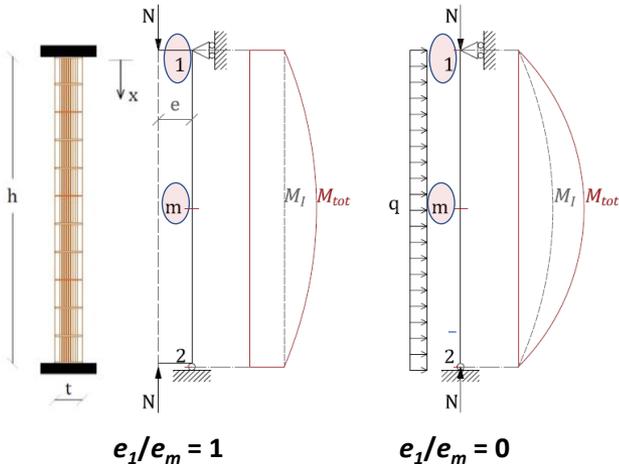
- Il modello Φ_m proposto in EC6 è obsoleto e si basa su un'approssimazione a campana per rappresentare sia la rottura di materiale che quella per instabilità



Baker e Christiansen, "Buckling of masonry walls – A new proposal for the Eurocode 6", Mauerwerk 21 (2017), Heft 2



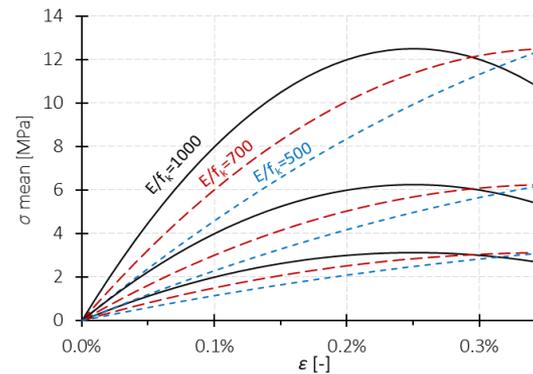
Schemi statici:



ecc. carico costante:

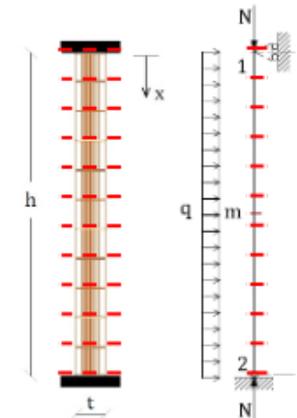
carico laterale unif. distribuito:

Legge muratura:



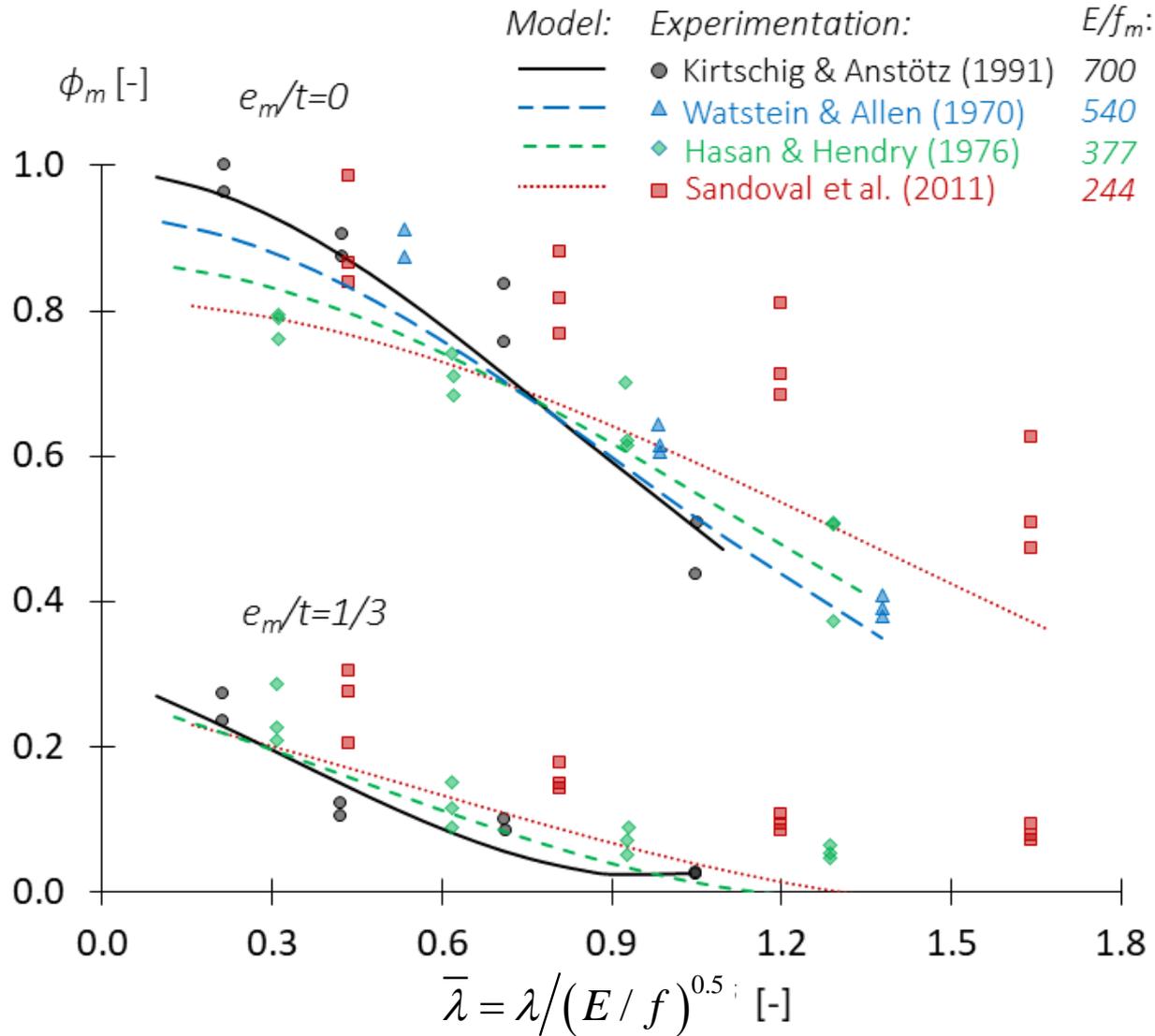
legge σ - ϵ parabolica

Procedura statica incrementale



output = ultima config.
deformata bilanciata

Recenti studi numerici sul fattore Φ_m



$$\Phi_m = \begin{cases} A_1 - \frac{\lambda^2}{2,58A_1} & \text{if } \lambda < 1,14A_1 \\ 0,65 \frac{A_1^3}{\lambda^2} & \text{if } \lambda \geq 1,14A_1 \end{cases}$$

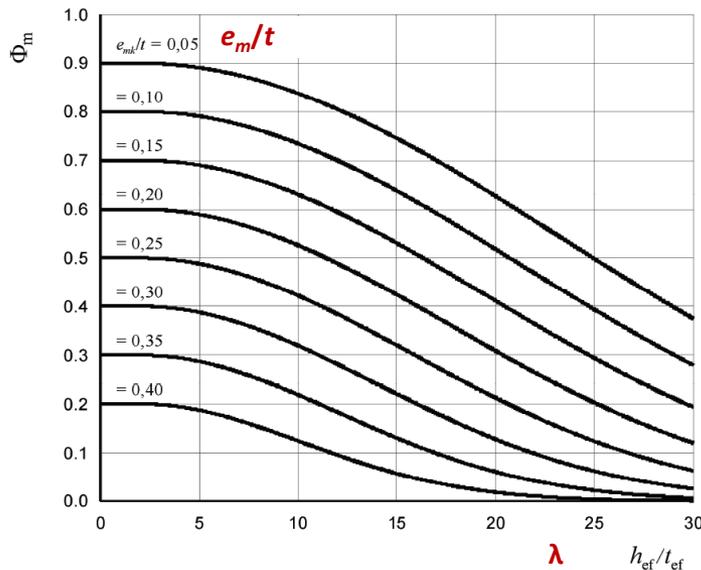
where

$$A_1 = 1 - 2 \frac{e_m}{t},$$

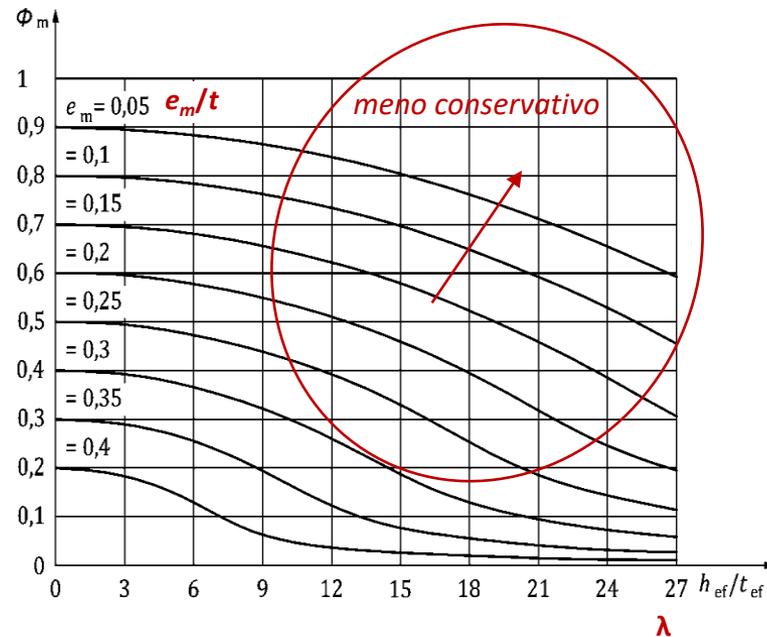
$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{\frac{f_k}{E}}$$

FprEN1996-1-1

Φ_m - EN1996-1-1 (attuale)



Φ_m - prEN1996-1-1 (nuova)



$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = \phi_m \cdot t \cdot f_d$$

- EC6 tace sui controlli di sicurezza delle pareti sottoposte a carichi laterali significativi, mentre altri codici (es. NTC2018) richiedono una verifica a flessione fuori piano senza indicare come valutare gli effetti di secondo ordine.

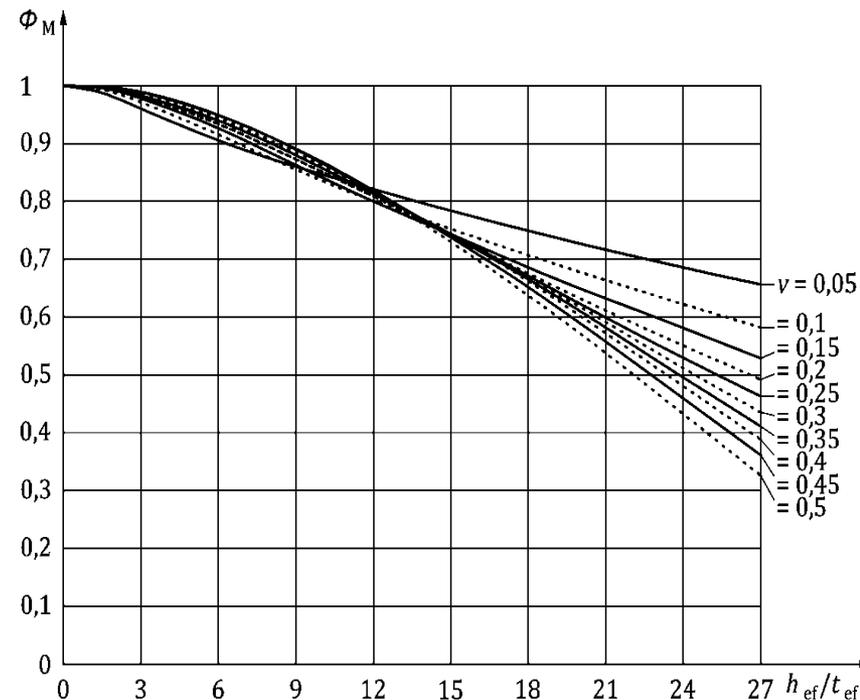
$$M_{Rd} = \frac{N_{Ed}t}{2} \left[1 - \frac{N_{Ed}}{\eta \cdot f_d \cdot t \cdot l} \right]$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd,II} = \phi_M \cdot M_{Rd}$$

→ controlli da effettuare in termini di capacità flessionale, con un coeff. di riduzione della capacità flessionale ϕ_M

FprEN1996-1-1

Introduzione di Φ_M



Edifici commerciali ed industriali monopiano alti

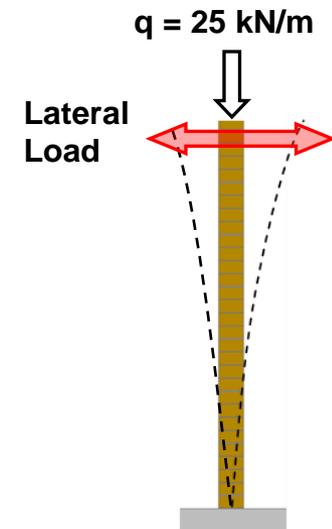
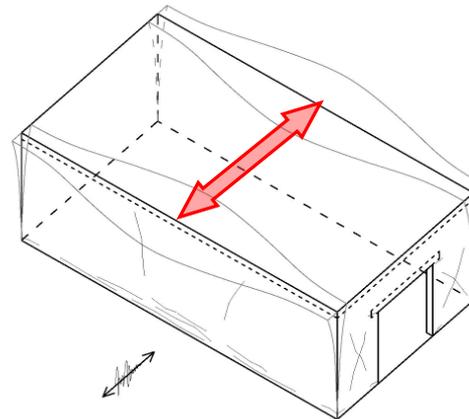
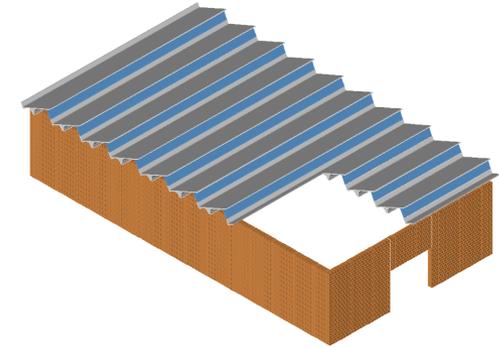
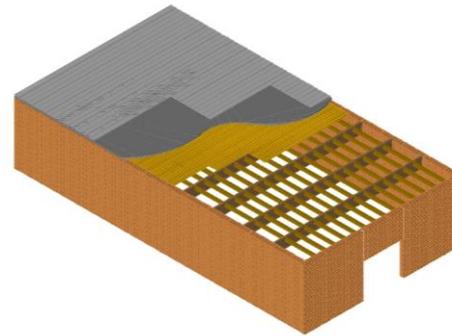
- Murature portanti per edifici monopiano alti
- Caratterizzati da coperture deformabili
- Problemi per carichi fuori piano da vento e terremoto



Sport centre in Reggio Emilia (Italy)



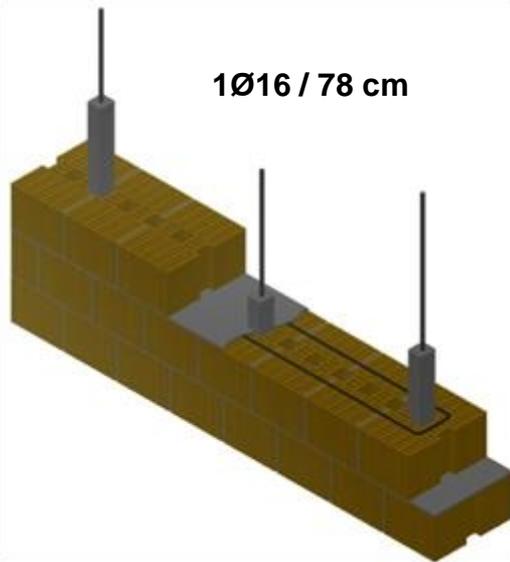
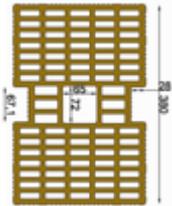
**Wine growers' cooperative in Pratissole
di Scandiano (RE, Italy)**



Muratura armata Pareti alte

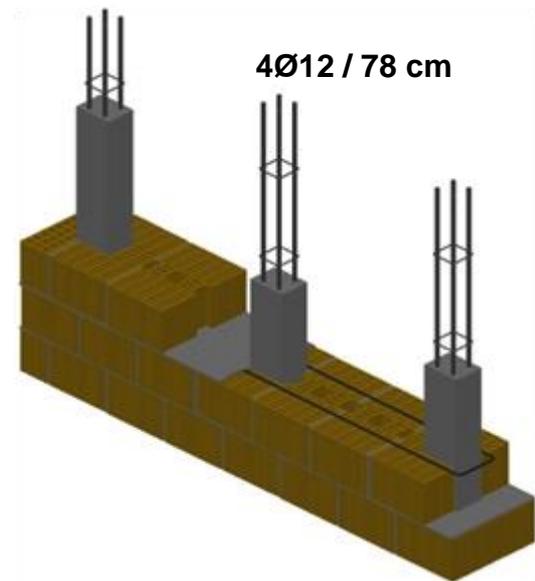
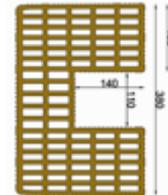
rm-H

1Ø16 / 78 cm



rm-C

4Ø12 / 78 cm



• Spessore blocco 38 cm

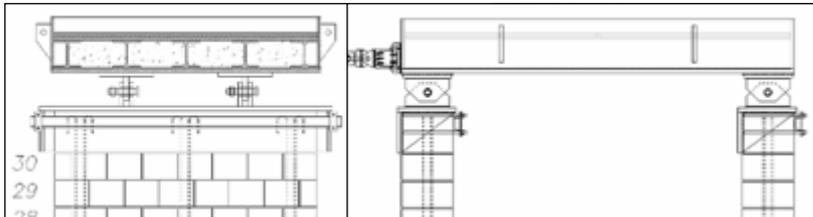
• Malta classe M10

• Armatura orizzontale 2Ø6@400 mm (0,04%)

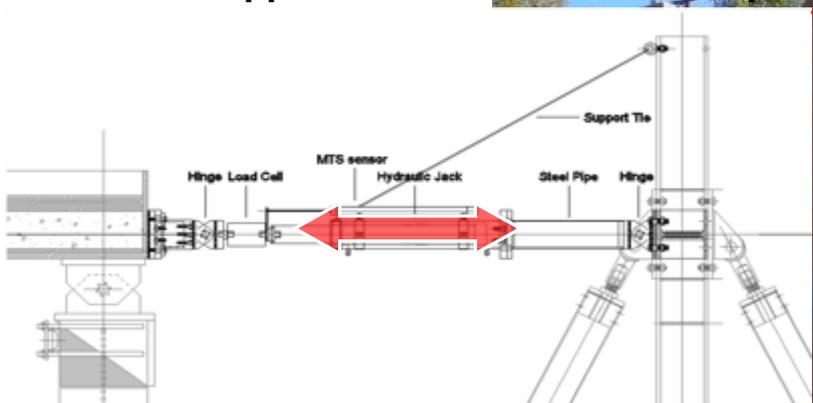
• Interasse armatura verticale 780 mm



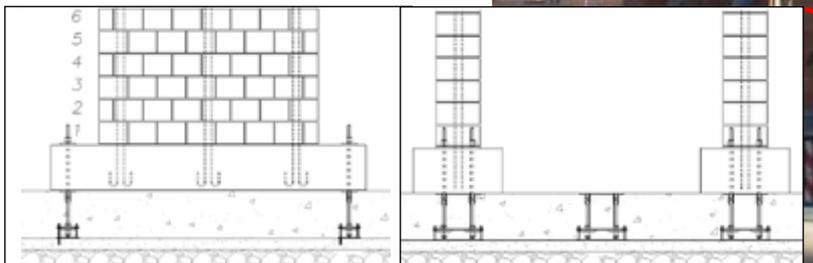
Cassone di carico incernierato alle estremità

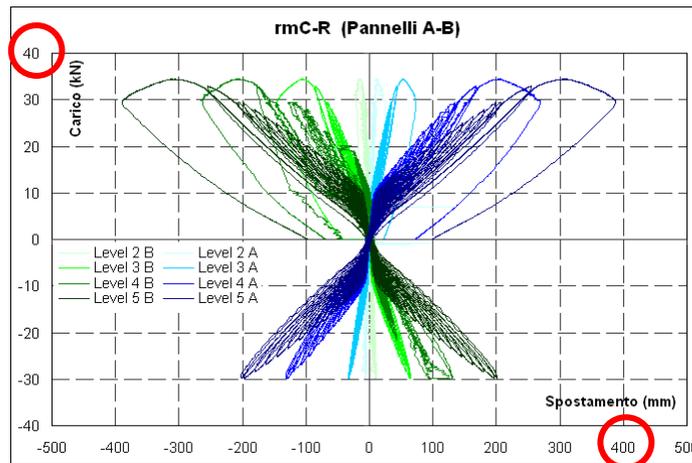
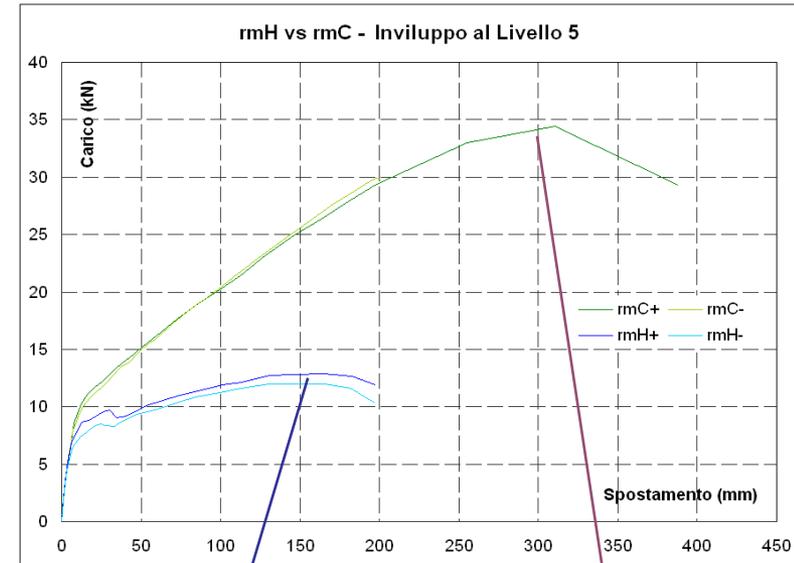
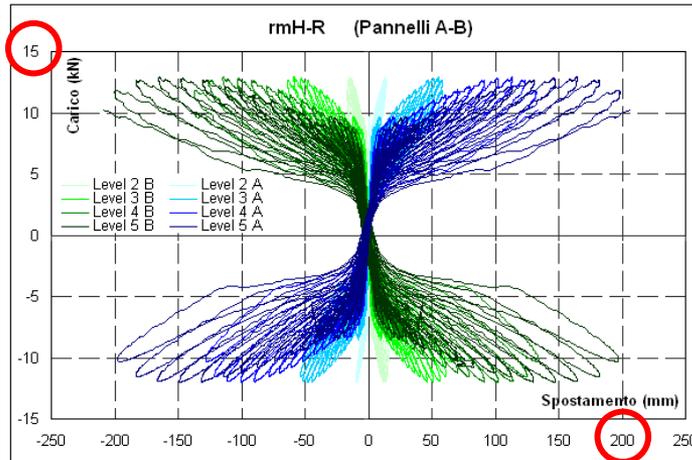


Sistema di applicazione dei carichi fuori piano



Cordolo in CA inferiore fissato al solaio di reazione



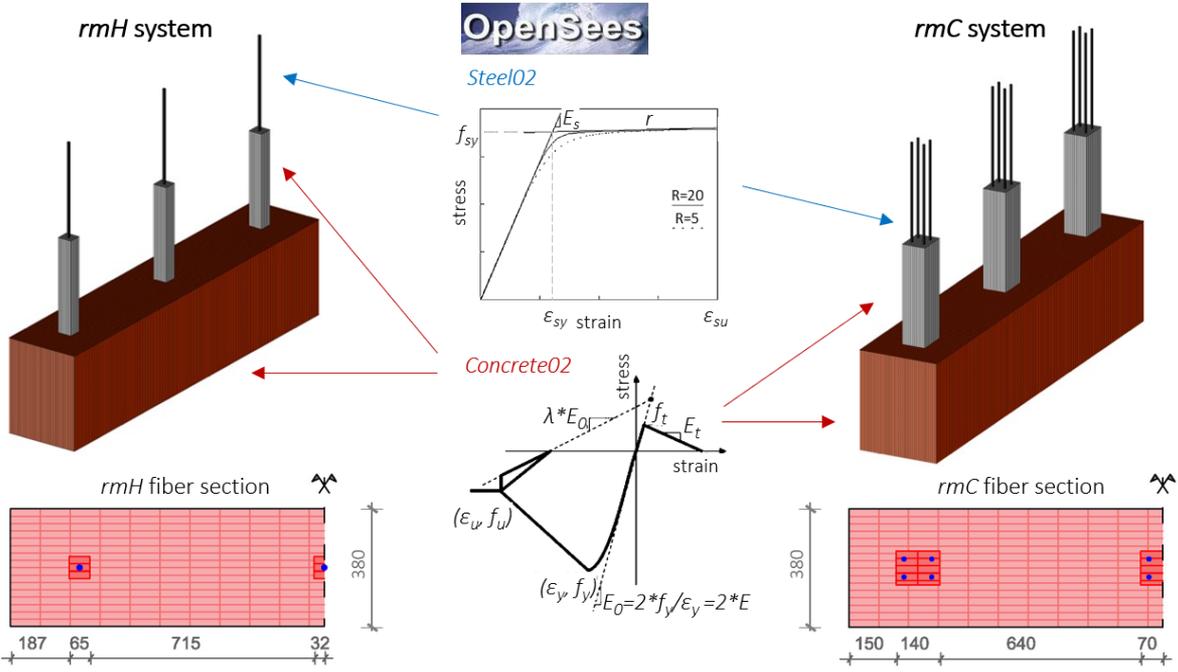
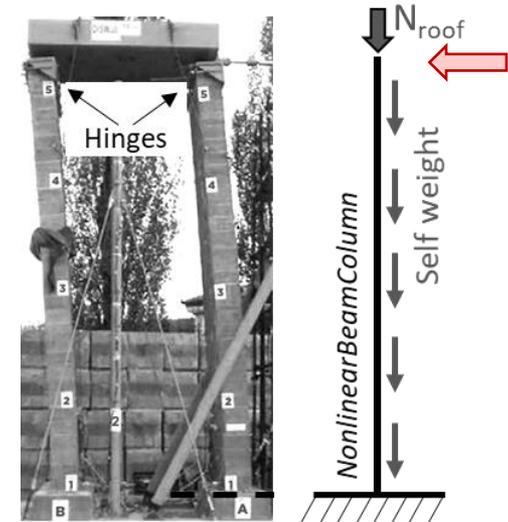


| Specimen | L_{cr} (kN) | d_{cr} (mm) | L_{max} (kN) | d_{Lmax} (mm) | L_{dmax} (kN) | d_{max} (mm) | L_{cr}/max (-) | L_{dmax}/max (-) | $d_{cr}/Lmax$ (-) | $d_{max}/Lmax$ (-) |
|----------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| RmH | 8.00 | 12.2 | 12.44 | 164.8 | 11.09 | 197.4 | 0.64 | 0.90 | 0.07 | 1.20 |
| RmC | 10.25 | 12.2 | 34.41 | 310.1 | 29.27 | 387.6 | 0.30 | 0.85 | 0.04 | 1.25 |

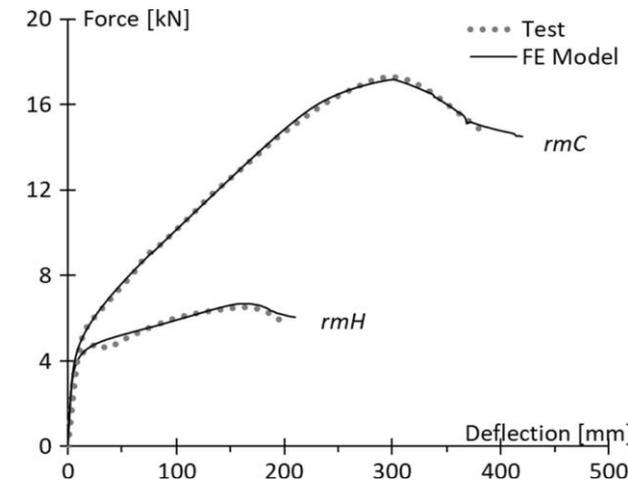
Modellazione a fibre (OpenSees)

Dettagli di modellazione:

- Elementi "BeamColumn" non lineari
- Implementazione effetti secondo ordine ($P-\Delta$) con "legge di trasformazione geometrica *corotational*"
- Modelli sforzo-deformazione uniassiali
 - barre d'armatura: modello Giuffrè-Menegotto-Pinto (1973) – Steel02
 - malta / muratura: modello Kent-Scott-Park (1971) – Concrete02c



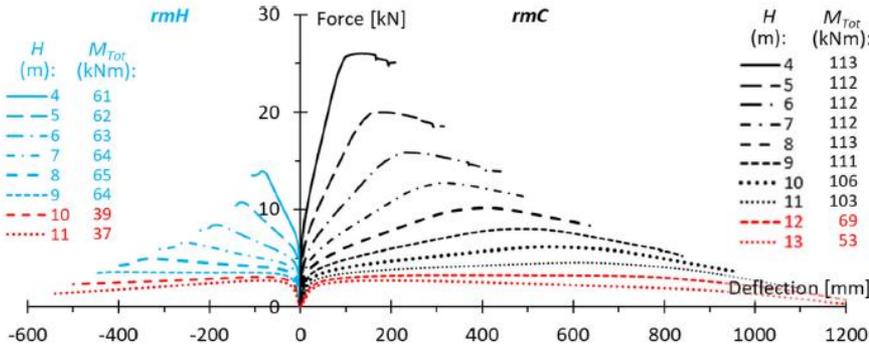
Calibrazione modello



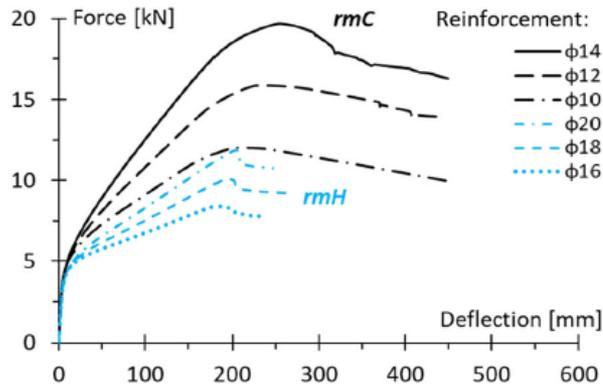
da Porto F., Mosele F., Modena C. (2011). Cyclic Out-Of-Plane Behaviour Of Tall Reinforced Masonry Walls Under $P-\Delta$ Effects. Engineering Structures, 33(2):287-297

Donà, Tecchio, da Porto (2018). "Verification of second-order effects in slender reinforced masonry walls," Materials and Structures 51:69

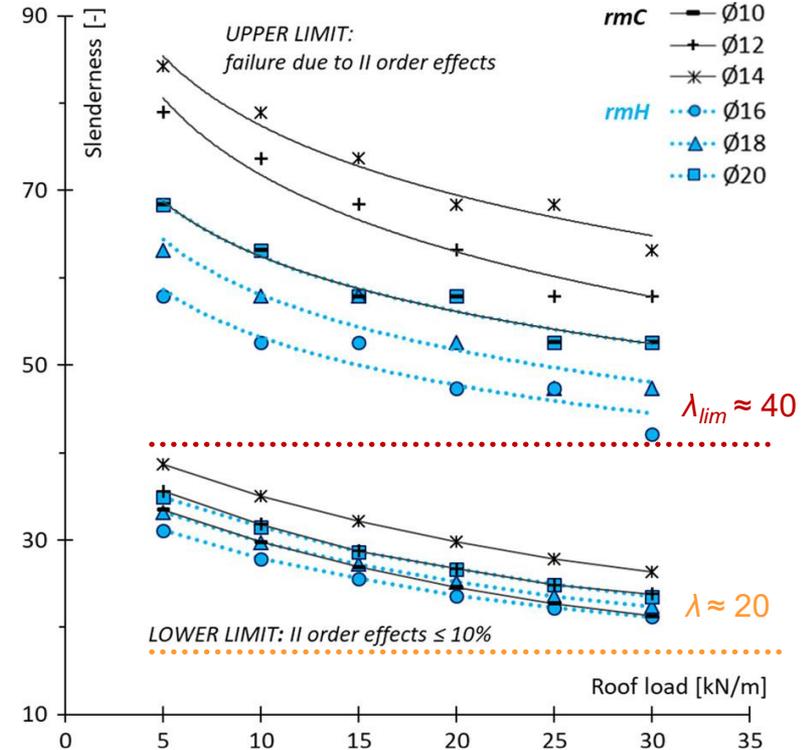
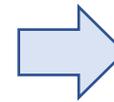
Variatione altezza muro H



Variatione rapporto di armatura ρ



Valutazione dei limiti di snellezza in funzione del sistema costruttivo, del carico verticale e della % di armatura



Nuovo limite di snellezza nella prEN1996-1-1

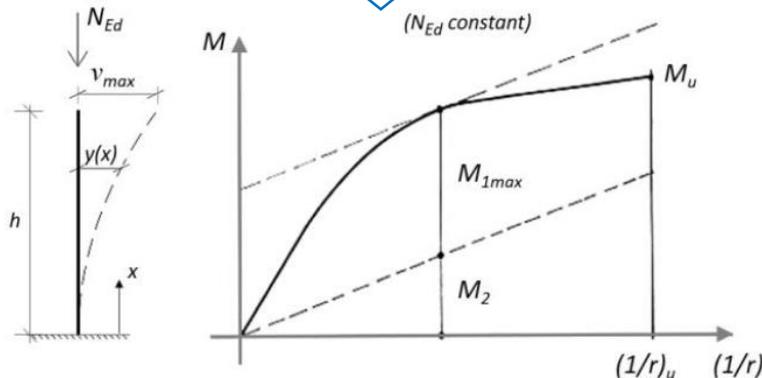
- Da $\lambda_{lim}=27$ come *mur. ordinaria*
- A $\lambda_{lim}=40$

- Per la verifica degli effetti del second'ordine, l'attuale **EN1996-1-1** prevede, per pareti con snellezza > 12 , l'applicazione di principi validi per la *muratura ordinaria*, risultando molto conservativa. Nella nuova **prEN1996-1-1**, invece, basandosi sulle precedenti attività sperimentali e numeriche è stato:
 - aggiornato metodo di calcolo basato su curvatura nominale

$$M_{ad} = M_2 = N_{Ed} e_2 = N_{Ed} \left(\frac{h_{ef}^2}{2000 t} \right)$$

secondo il metodo della curvatura nominale, basato su un valore fisso di curvatura $(1/r) \rightarrow$ *rottura bilanciata*

proposto un calcolo basato sull'analisi sezionale (più razionale) secondo la legge *momento-curvatura*



FprEN1996-1-1

\rightarrow approccio *più appropriato* nel caso di rottura *non bilanciata* (rottura più probabile per le sezioni di c.a.)

$$y(x) = v_{max} \left(1 - \cos \frac{\pi \cdot x}{h_{ef}} \right), \quad \ddot{y}(0) = \left(\frac{1}{r} \right)_{base}$$

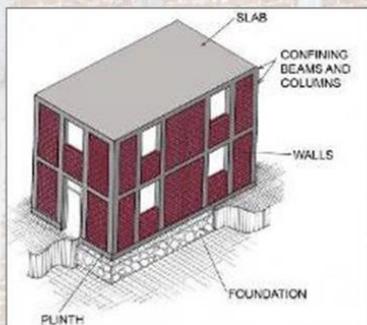
$$\rightarrow v_{max} = e_2 = \left(\frac{1}{r} \right)_{base} \frac{h_{ef}^2}{\pi^2}$$

LA MURATURA CONFINATA



SEISMIC DESIGN GUIDE

FOR LOW-RISE CONFINED MASONRY BUILDINGS

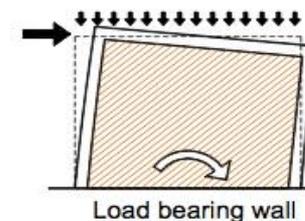
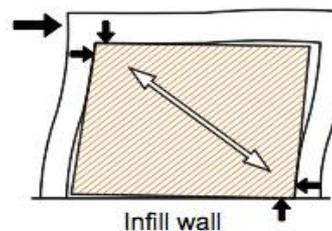
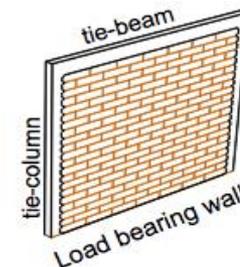
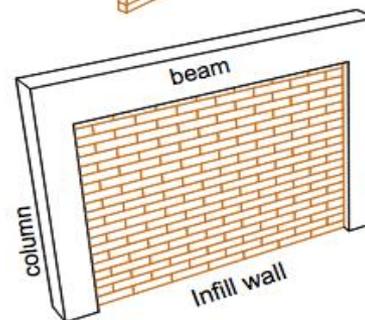
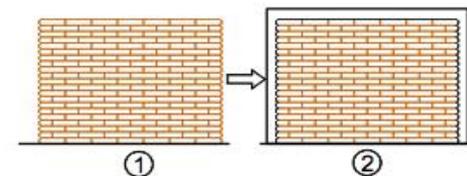
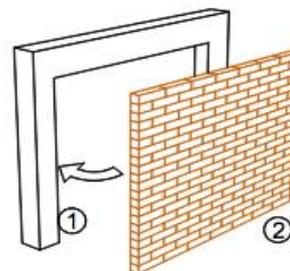


Prepared by

- Roberto Meli, Mexico (Co-Chair)
- Svetlana Brzev, Canada (Co-Chair)
- Maximiliano Astroza, Chile
- Teddy Boen, Indonesia
- Francisco Crisafulli, Argentina
- Junwu Dai, China
- Mohammed Farsi, Algeria
- Tim Hart, USA
- Ahmed Mebarki, France
- A.S. Moghadam, Iran
- Daniel Quiun, Peru
- Miha Tomazevic, Slovenia
- Luis Yamin, Colombia

August 2011

CONFRONTO TRA TELAI IN C.A. CON TAMPONATURE E MURATURA CONFINATA



a)

b)

4.5.8. MURATURA CONFINATA

La muratura confinata è una muratura costituita da elementi resistenti artificiali pieni e semipieni, dotata di elementi di confinamento in calcestruzzo armato o muratura armata. Il progetto della muratura confinata può essere svolto applicando integralmente quanto previsto negli Eurocodici strutturali ed in particolare nelle norme della serie UNI EN 1996 e UNI EN 1998 con le relative appendici nazionali.

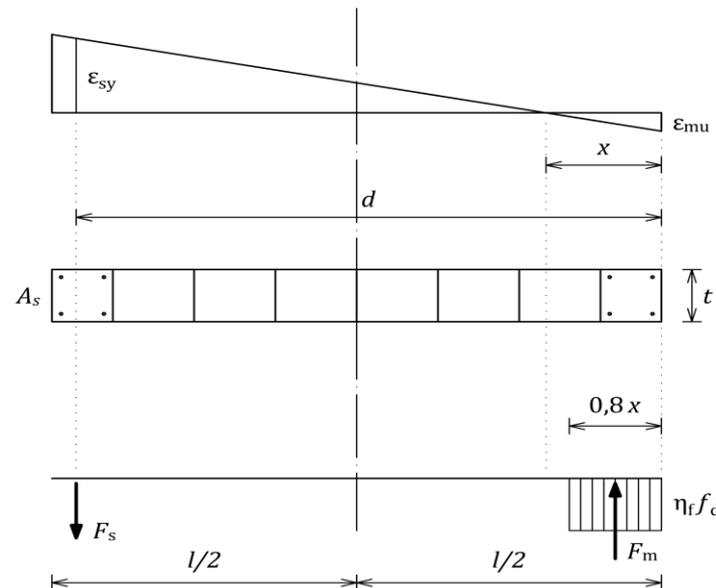
Per il calcolo della resistenza a taglio:
contributo a taglio della muratura e delle colonnine
no contributo dell'armatura
lunghezza di parete pari all'altezza utile d :

$$V_{Rd} = f_{vd} t d$$

Per la verifica a pressoflessione:
snervamento dell'armatura tesa
schacciamento della zona compressa
non si tiene conto dell'armatura compressa:

$$M_{Rd} = A_s f_{yd} (d - 0,4x) + N_{Ed} \left(\frac{l}{2} - 0,4x \right)$$

FprEN1996-1-1



- Meli R., Brzev S., Astroza M., Boen T., Crisafulli F., Dai J. (2011). Seismic design guide for low-rise confined masonry buildings, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland
- Pérez-Gavilán J.J., Flores L.E., Alcocer S.M. (2015). An experimental study of confined masonry walls with varying aspect ratios, Earthquake Spectra, 31(2):945-968
- Marques R., Lourenço P.B. (2013). A model for pushover analysis of confined masonry structures: implementation and validation, Bulletin of Earthquake Engineering, 11(6):2133-2150
- Tomažević M. (1999). Earthquake-resistant design of masonry buildings. Imperial college press London



SOFT.LAB
SOFTWARE PER L'EDILIZIA

GRAZIE PER L'ATTENZIONE.

***STATI GENERALI
DELLA MURATURA***