

IL CONSOLIDAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI CIVILI E STORICI IN MURATURA. NUOVI INTONACI NANOCOMPOSITI AD ALTE PRESTAZIONI

Dott. Ing. S. Sacrato, Ph.D.

Indice

1. La mappa sismica italiana
2. Gli effetti macroscopici del sisma
3. Come intervenire
4. La ricerca negli anni
5. Case Marcolini
 - La motivazione della ricerca
 - Campagna sperimentale
 - Modelazione numerica
6. L'avanzamento della ricerca



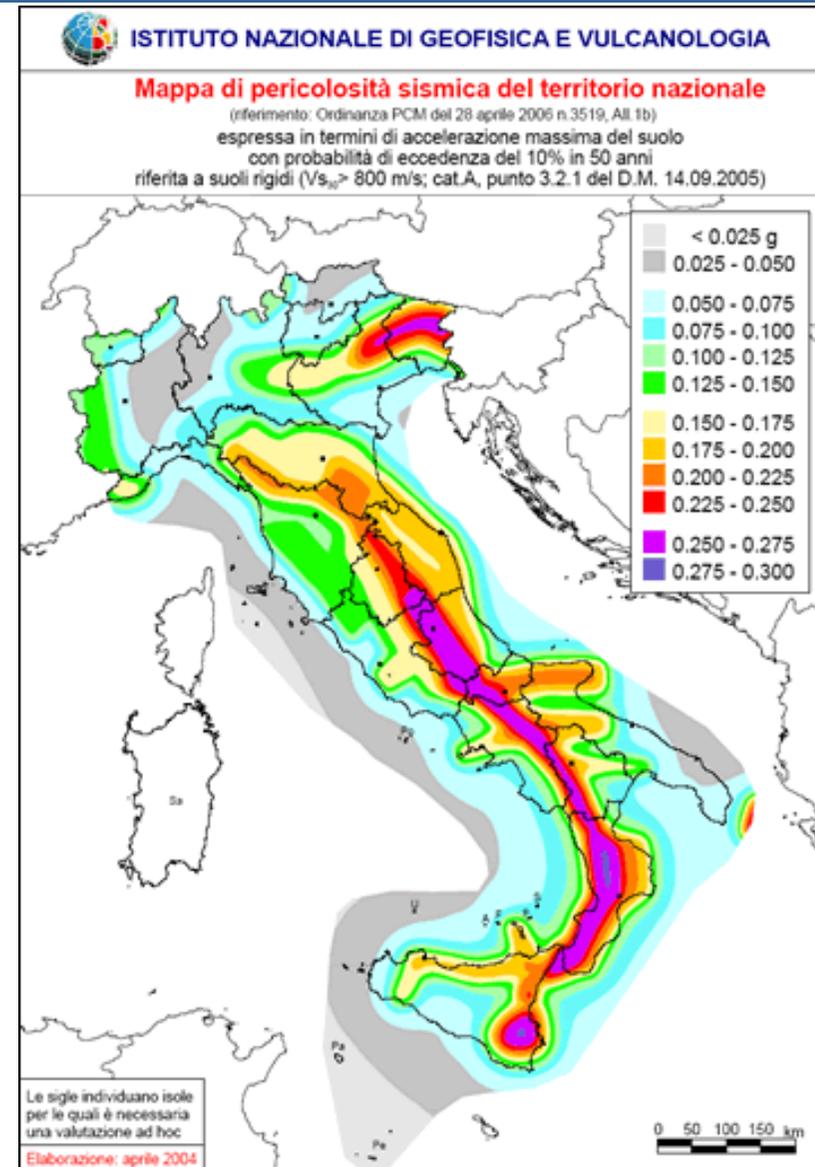
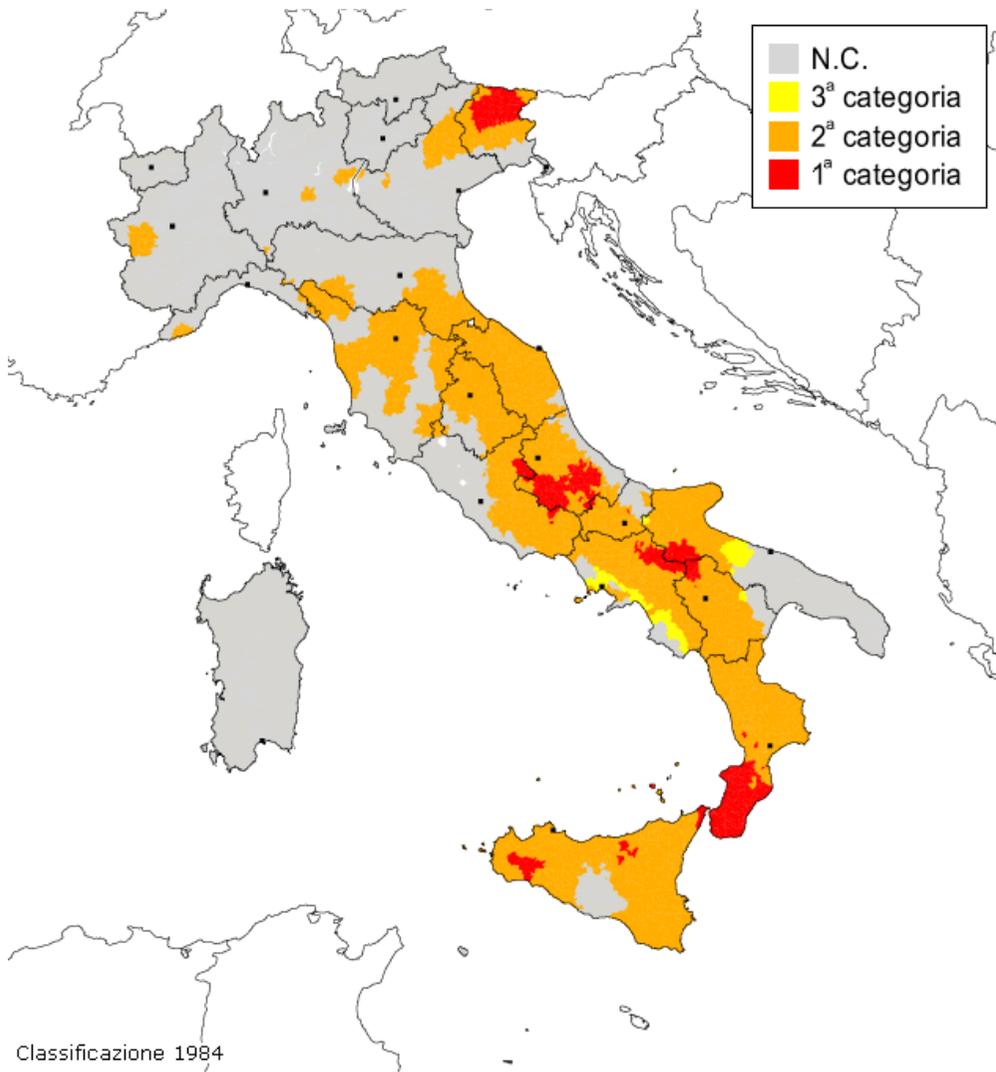
PRESIDENTE: Cav. Gr. Cr. Dott. Salvatore d'Erasmus
Cief Executive Off.: Dott. Ing. Stefano Sacrato, Ph.D.



University of Brescia,
Dept. of Civil, Architectural, Environmental,
Land Planning Engineering and Mathematics



LA MAPPA SISMICA ITALIANA: 1984 - 2005



IL RETROFITTING SISMICO ED ENERGETICO DEGLI EDIFICI CIVILI

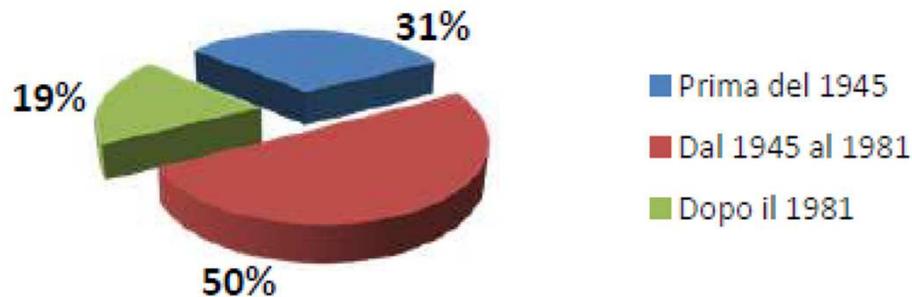
Il consolidamento sismico degli edifici civili e storici in muratura. Nuovi intonaci nanocompositi ad alte prestazioni

Dott.ing. Stefano Sacrato, Ph.D. – C.E.O. TRI srl.

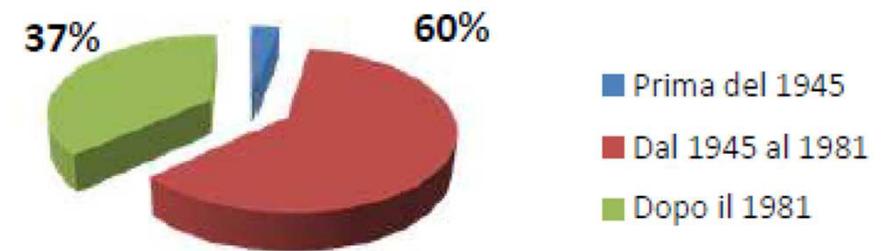


LA MAPPA SISMICA ITALIANA: 1984 - 2005

**Totale edifici per data di costruzione -
Italia**



**Edifici in c.a. per data di costruzione -
Italia**



- La maggior parte degli edifici (81%) è stata costruita prima del 1981, prima classificazione sismica italiana
- La quasi totalità degli edifici a rischio sono in muratura
- **Circa 9 milioni di edifici sono stati costruiti senza alcuna progettazione sismica**



ONNA, 6 APRILE 2009



IL RETROFITTING SISMICO ED ENERGETICO DEGLI EDIFICI CIVILI

Il consolidamento sismico degli edifici civili e storici in muratura. Nuovi intonaci nanocompositi ad alte prestazioni
Dott.ing. Stefano Sacrato, Ph.D. – C.E.O. TRI srl.



ONNA, 6 APRILE 2009

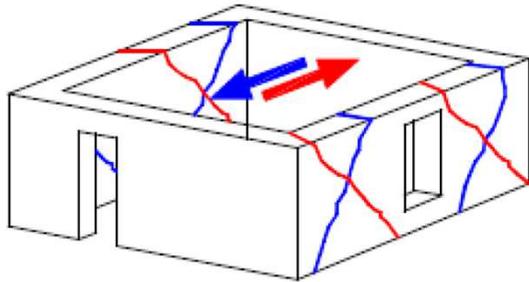


IL RETROFITTING SISMICO ED ENERGETICO DEGLI EDIFICI CIVILI

Il consolidamento sismico degli edifici civili e storici in muratura. Nuovi intonaci nanocompositi ad alte prestazioni
Dott.ing. Stefano Sacrato, Ph.D. – C.E.O. TRI srl.



GLI EFFETTI MACROSCOPICI DEL SISMA



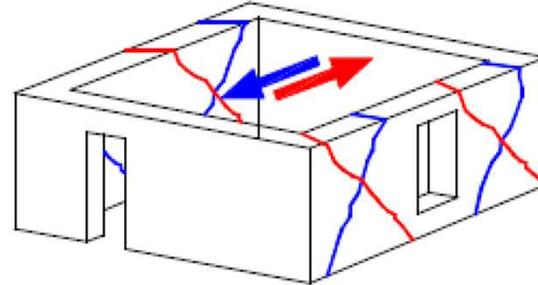
IL RETROFITTING SISMICO ED ENERGETICO DEGLI EDIFICI CIVILI

Il consolidamento sismico degli edifici civili e storici in muratura. Nuovi intonaci nanocompositi ad alte prestazioni

Dott.ing. Stefano Sacrato, Ph.D. – C.E.O. TRI srl.



GLI EFFETTI MACROSCOPICI DEL SISMA



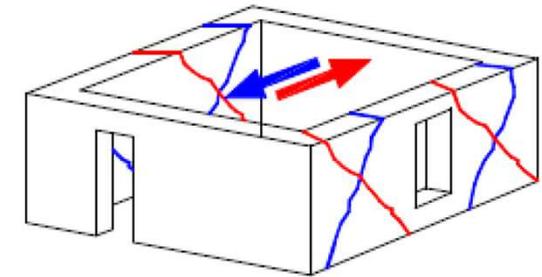
IL RETROFITTING SISMICO ED ENERGETICO DEGLI EDIFICI CIVILI

Il consolidamento sismico degli edifici civili e storici in muratura. Nuovi intonaci nanocompositi ad alte prestazioni

Dott.ing. Stefano Sacrato, Ph.D. – C.E.O. TRI srl.



GLI EFFETTI MACROSCOPICI DEL SISMA

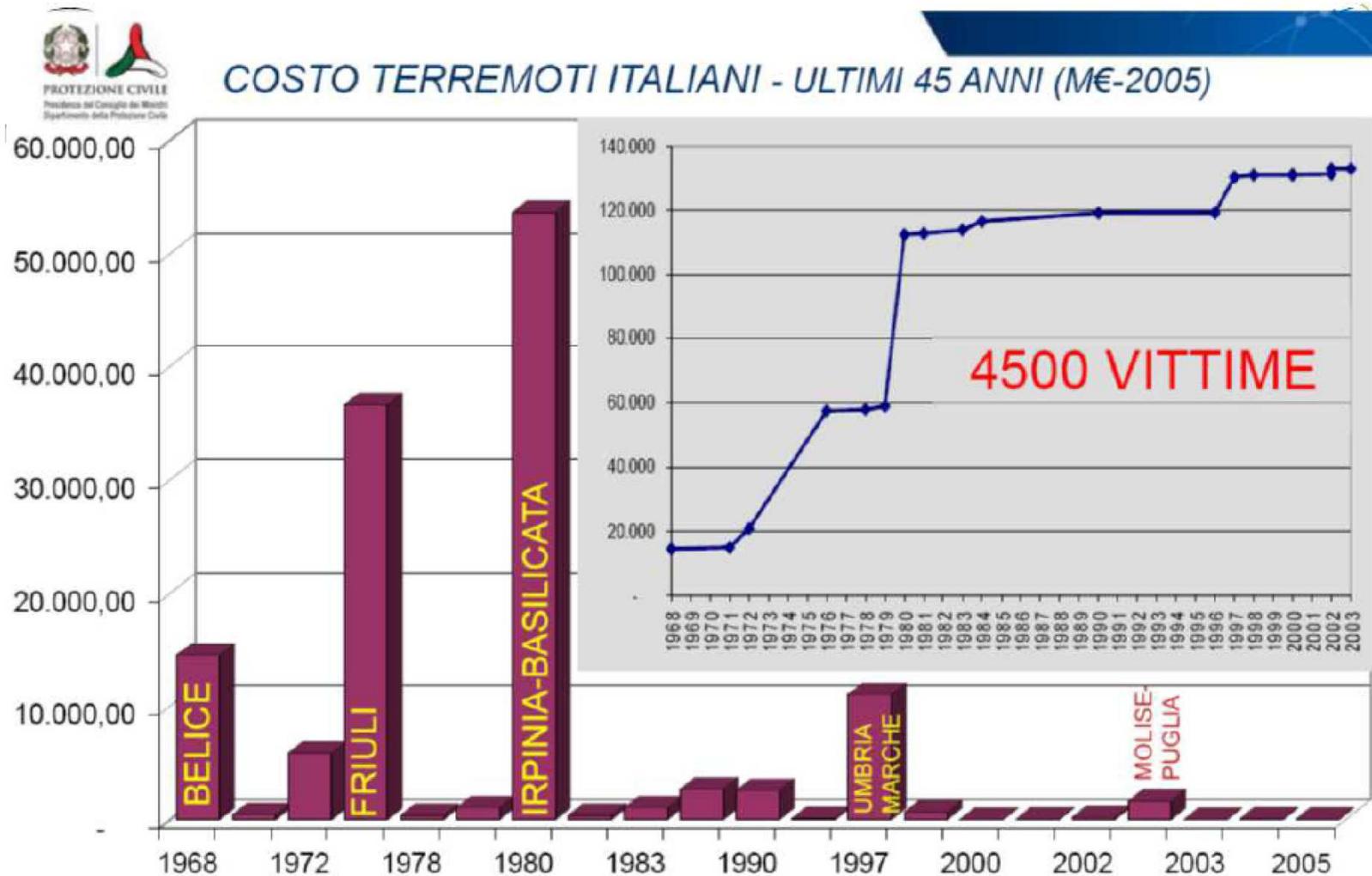


IL RETROFITTING SISMICO ED ENERGETICO DEGLI EDIFICI CIVILI

Il consolidamento sismico degli edifici civili e storici in muratura. Nuovi intonaci nanocompositi ad alte prestazioni
Dott.ing. Stefano Sacrato, Ph.D. – C.E.O. TRI srl.



GLI EFFETTI MACROSCOPICI DEL SISMA



+ ABRUZZO'09 + EMILIA'12 ~ € 160 Mld → 3-3,5 Mld €/an.

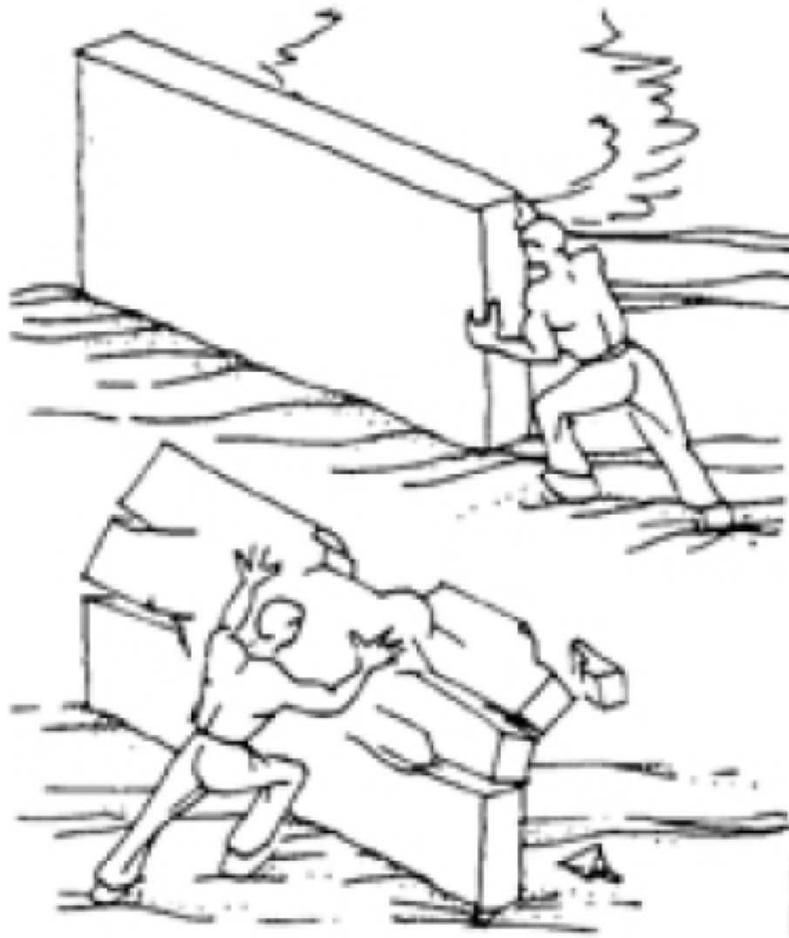
IL RETROFITTING SISMICO ED ENERGETICO DEGLI EDIFICI CIVILI

Il consolidamento sismico degli edifici civili e storici in muratura. Nuovi intonaci nanocompositi ad alte prestazioni

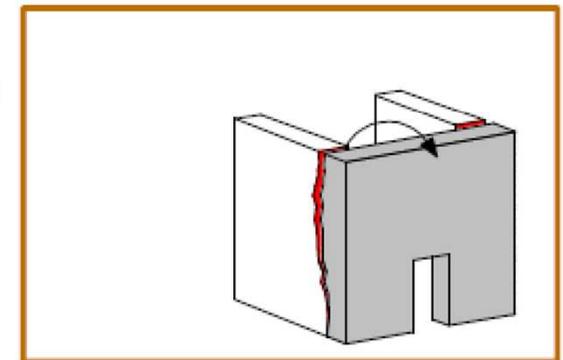
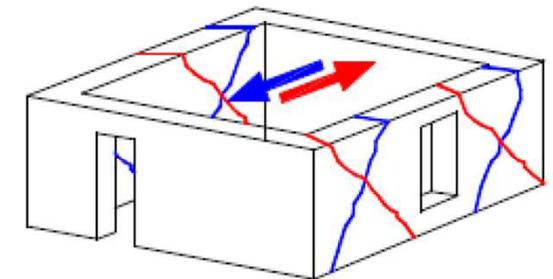
Dott.ing. Stefano Sacrato, Ph.D. – C.E.O. TRI srl.



GLI EFFETTI MACROSCOPICI DEL SISMA SULLLE MURATURE IN MATTONI

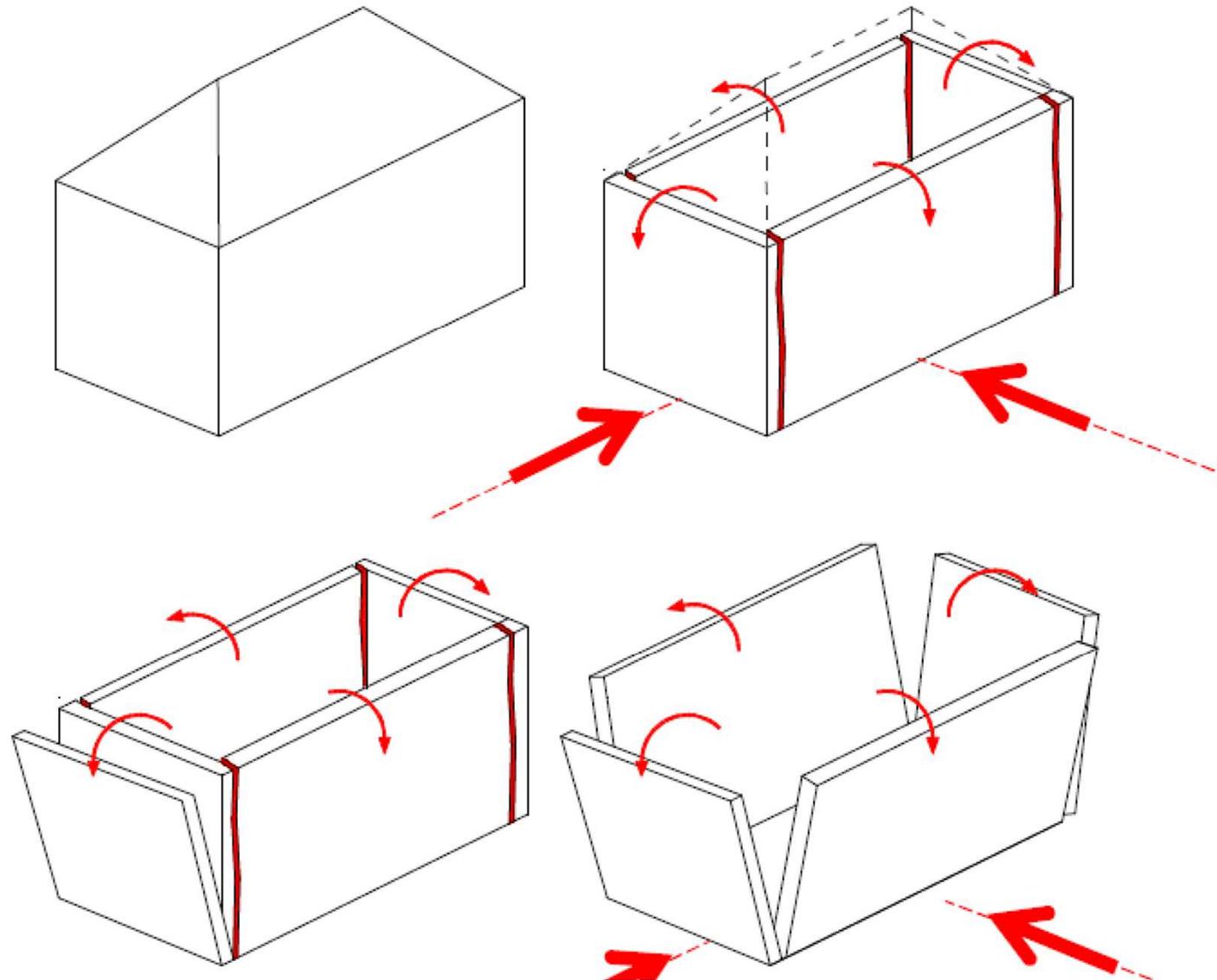


(da Touliatos)





GLI EFFETTI MACROSCOPICI DEL SISMA SULLE MURATURE IN MATTONI



IL RETROFITTING SISMICO ED ENERGETICO DEGLI EDIFICI CIVILI

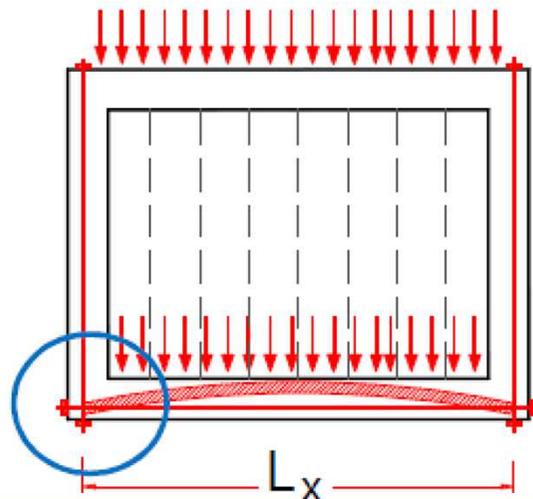
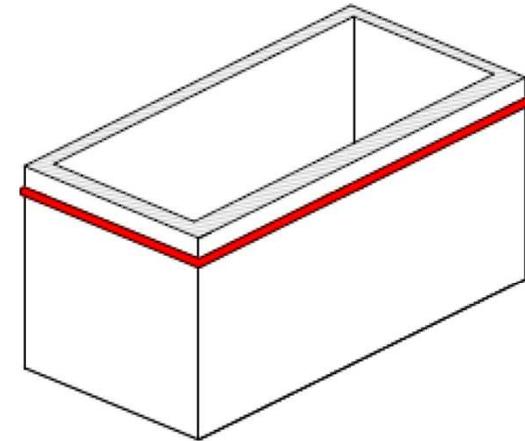
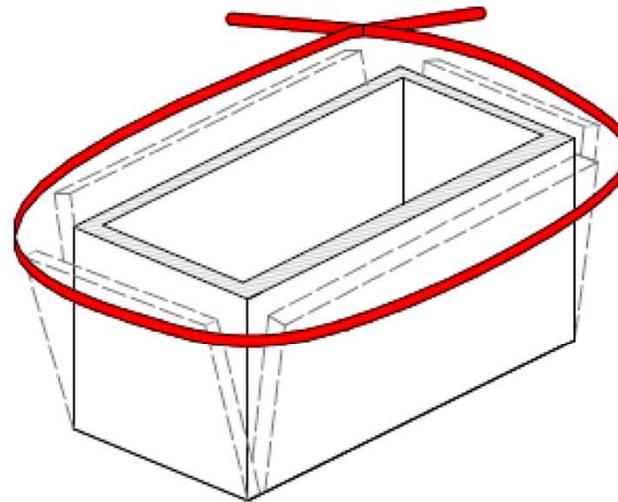
Il consolidamento sismico degli edifici civili e storici in muratura. Nuovi intonaci nanocompositi ad alte prestazioni

Dott.ing. Stefano Sacrato, Ph.D. – C.E.O. TRI srl.

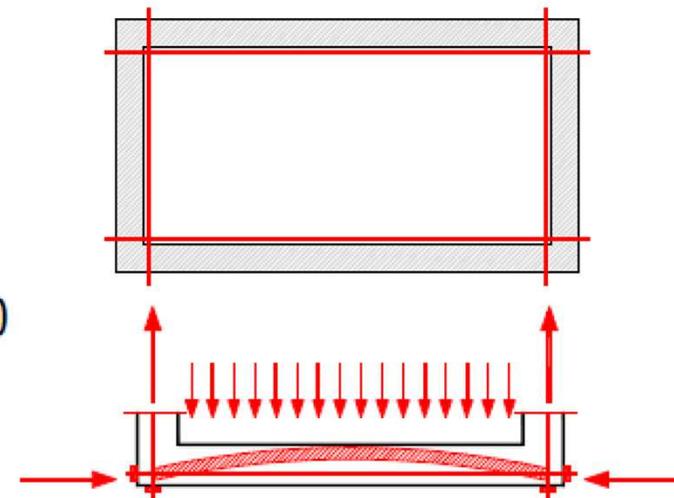
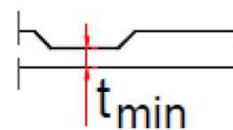


COME INTERVENIRE: IL CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

Ties

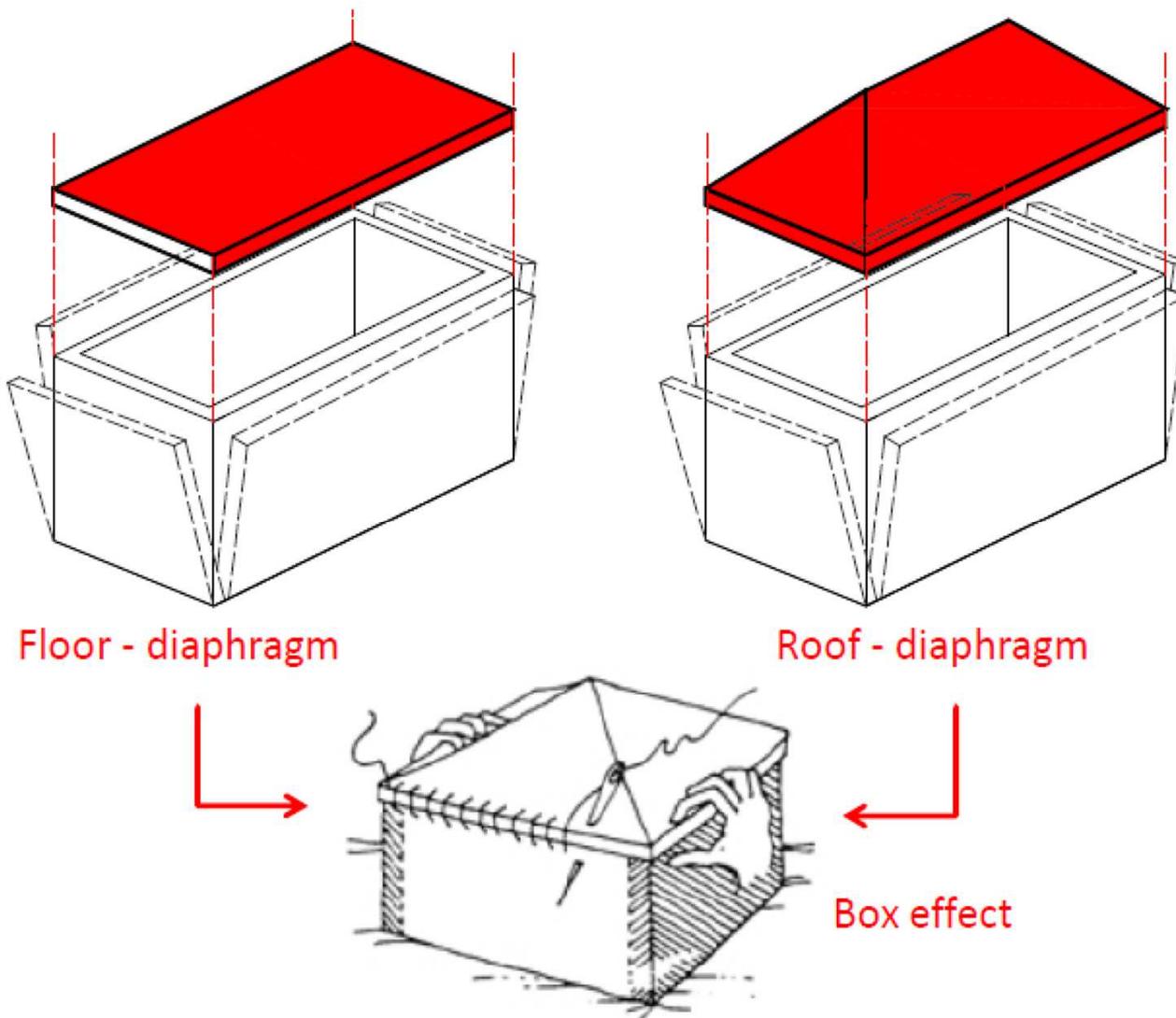


$$L_x / t_{\min} \leq 10$$





COME INTERVENIRE: IL CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA



Ricerca del **comportamento scatolare** per rendere la struttura più compatta e resistente alle azioni orizzontali



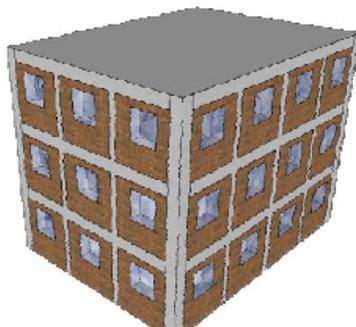
LA RICERCA NEGLI ANNI

- 2009-2017: test sperimentali per la caratterizzazione di diversi mix design (studio sull'ottimizzazione di ARMOX)
 - 2011-2015: test sperimentali su murature in scala reale in mattoni pieni e forati con fori verticali. Test effettuati su diversi tipi di rivestimenti
 - 2014-2017: test in scala reale su murature di mattoni forati con fori orizzontali
 - 2011-2017: analisi numerica per la simulazione al computer dei danni da terremoto
-
- **5 Dottorati di Ricerca dedicati.** Adesso tutti sono post-doc all'Università di Brescia e continuano nello stesso settore di ricerca
 - **1 Dottorando** che ha iniziato il secondo anno di specializzazione con tesi dedicata alla ricerca di ARMOX
 - **9 Professori Associati** hanno dato il loro contributo e continuano a fornirlo
 - **54 tesi di laurea** tra bachelor e Master pubblicate dal 2001 ad oggi
 - **10 articoli scientifici** su riviste internazionali pubblicati
 - **15 stage** curriculari e extra-curriculari

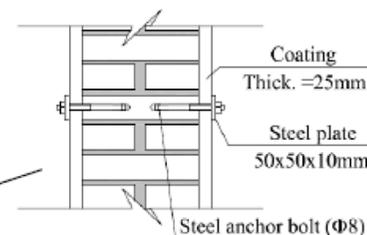
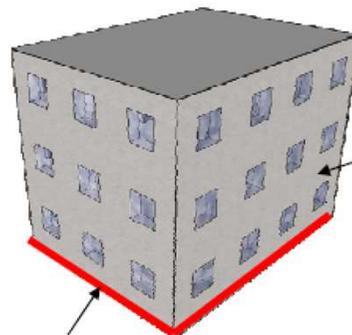


COME INTERVENIRE: IL CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

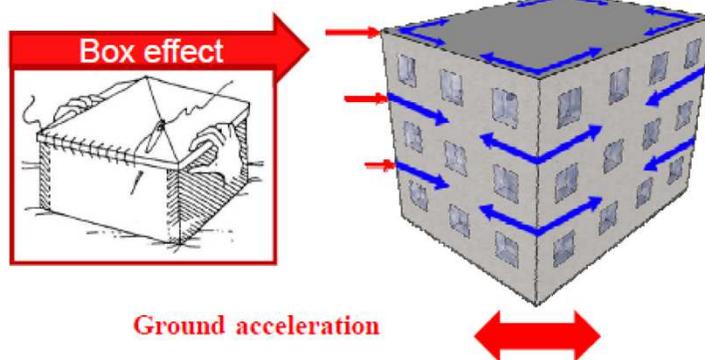
Edificio non consolidato



Edificio consolidato con ARMOX: intonaco «antisismico»



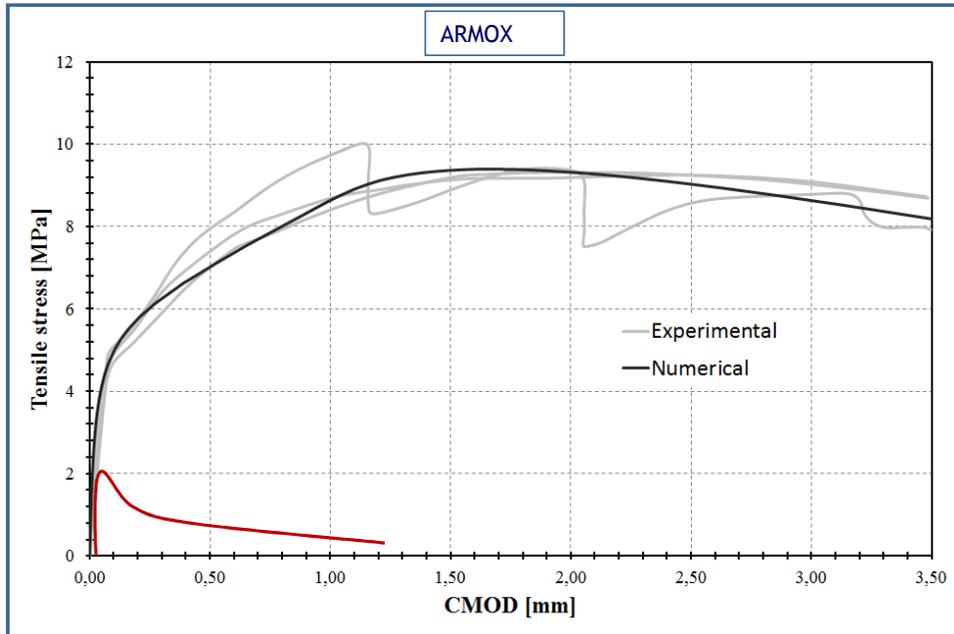
Connessione di ARMOX alle fondazioni



- Il rivestimento viene effettuato **solo sul lato esterno** delle murature perimetrali con spessori inferiori ai 25 mm
- Se muri e solai sono collegati in maniera corretta, ARMOX da solo permette di ottenere un perfetto comportamento scatolare dell'edificio
- ARMOX permette di migliorare la **resistenza** nel piano delle sollecitazioni, la **duttività** e la **rigidezza** iniziale delle murature
- ARMOX migliora anche il comportamento fuori piano anche delle murature non portanti

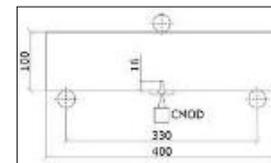


ARMOX[®] : INTONACO NANO-COMPOSITO AD ALTA RESISTENZA RESIDUA



ARMOX[®] (Conforti-Facconi 2014)

- Resistenza a flessione** (EN 1015-11,2007) → 10,07 MPa
- Resistenza a compressione** (EN 1015-11,2007) → 61,04 MPa
- Modulo elastico** (EN 12390-1,2009) → 23167 MPa
- Resistenza trazione residua (CMOD=0,5mm)** → 6,90 MPa
- Resistenza trazione residua (CMOD=2,5mm)** → 9,02 MPa



IL RETROFITTING SISMICO ED ENERGETICO DEGLI EDIFICI CIVILI

Il consolidamento sismico degli edifici civili e storici in muratura. Nuovi intonaci nanocompositi ad alte prestazioni

Dott.ing. Stefano Sacrato, Ph.D. – C.E.O. TRI srl.



ARMOX® : INTONACO NANO-COMPOSITO AD ALTA RESISTENZA RESIDUA



Costruzione campione in scala reale



Umidificazione a rifiuto della muratura



Miscelazione dell'impasto e aggiunta fibre



Applicazione primo strato di ARMOX



Inserimento ancoraggi anti-instabilità geometrica



Applicazione strato di finitura di ARMOX

IL RETROFITTING SISMICO ED ENERGETICO DEGLI EDIFICI CIVILI

Il consolidamento sismico degli edifici civili e storici in muratura. Nuovi intonaci nanocompositi ad alte prestazioni
Dott.ing. Stefano Sacrato, Ph.D. – C.E.O. TRI srl.



ARMOX® : INTONACO NANO-COMPOSITO AD ALTA RESISTENZA RESIDUA



Preparazione banco di prova per test a taglio puro (in piano) con ARMOX



Meccanismo di collasso per rocking (ribaltamento rigido)



Sollevamento della muratura dal solaio. Nessuna crepa per taglio rilevata



Preparazione banco prova per test a taglio puro (in piano) senza ARMOX



Meccanismo di collasso per fessurazione a taglio



Creazione fessure a 45° ed esplosione dei mattoni in corrispondenza del puntone virtuale



IL RETROFITTING SISMICO ED ENERGETICO DEGLI EDIFICI CIVILI

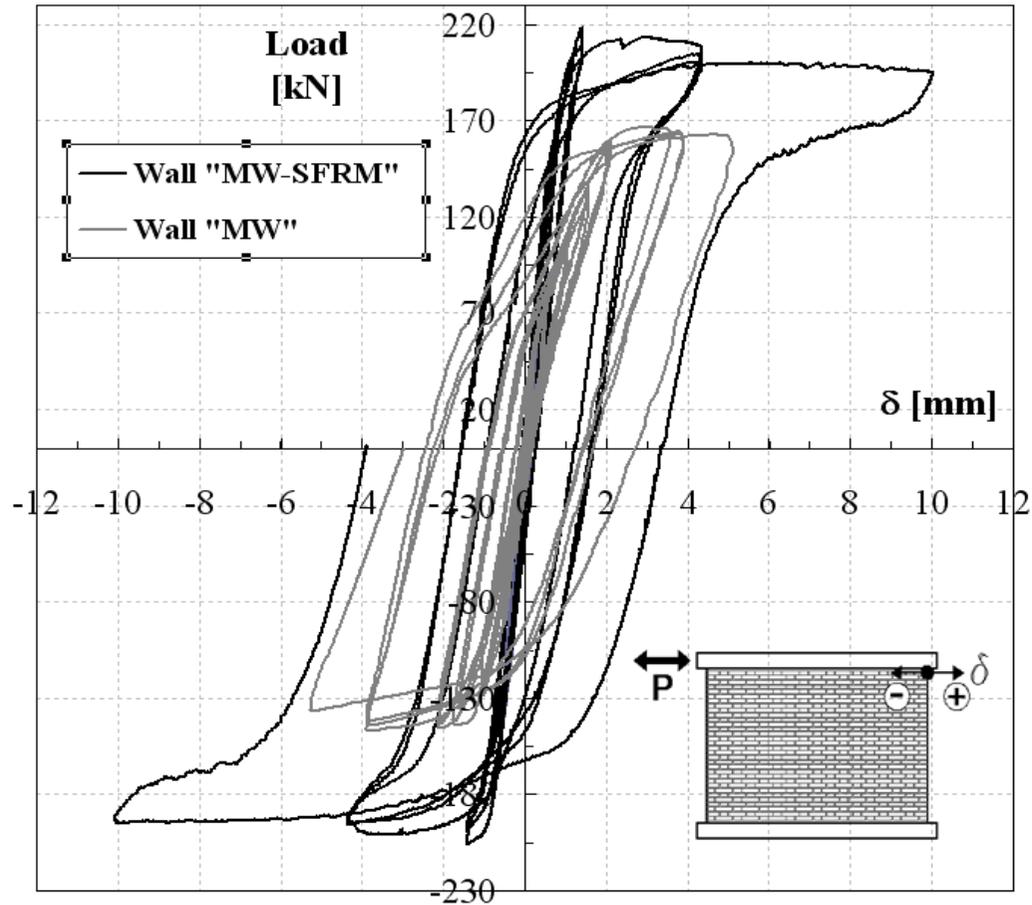
Il consolidamento sismico degli edifici civili e storici in muratura. Nuovi intonaci nanocompositi ad alte prestazioni

Dott.ing. Stefano Sacrato, Ph.D. – C.E.O. TRI srl.

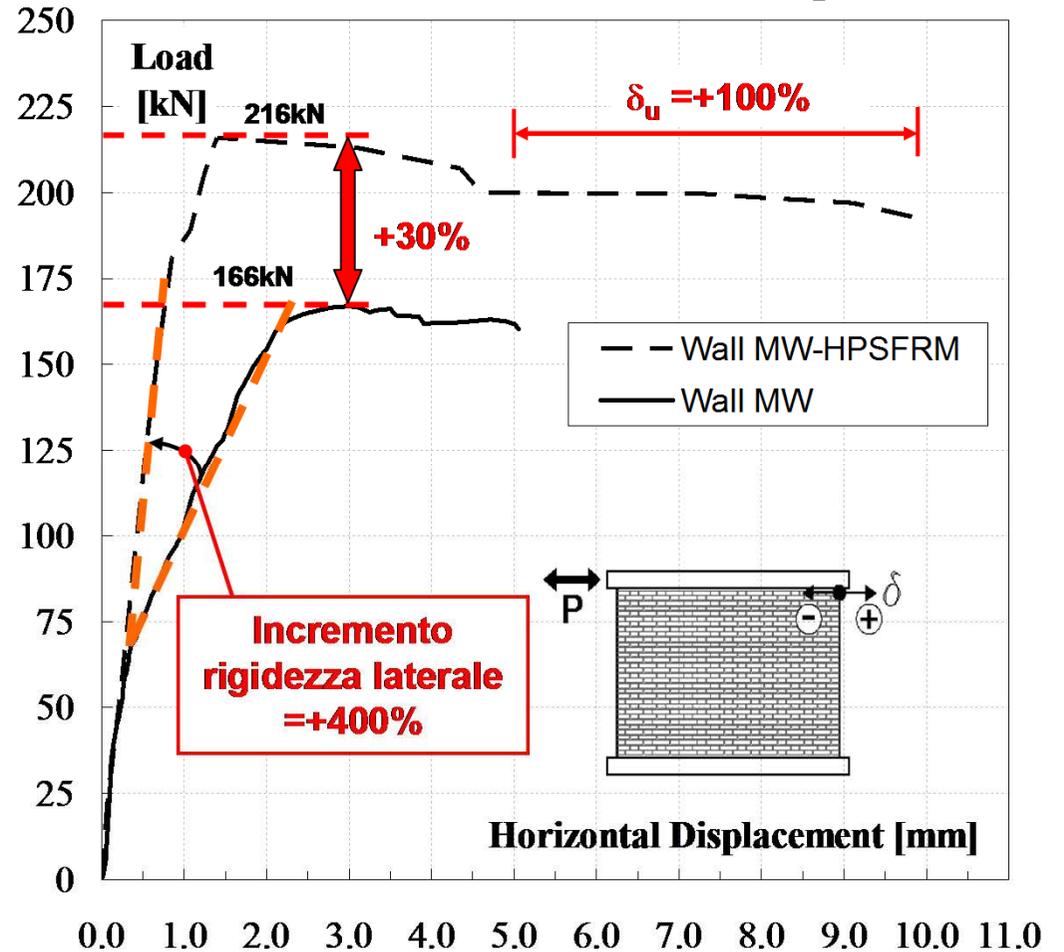


ARMOX[®] : INTONACO NANO-COMPOSITO AD ALTA RESISTENZA RESIDUA

MW-CY: Load - Lateral deflection



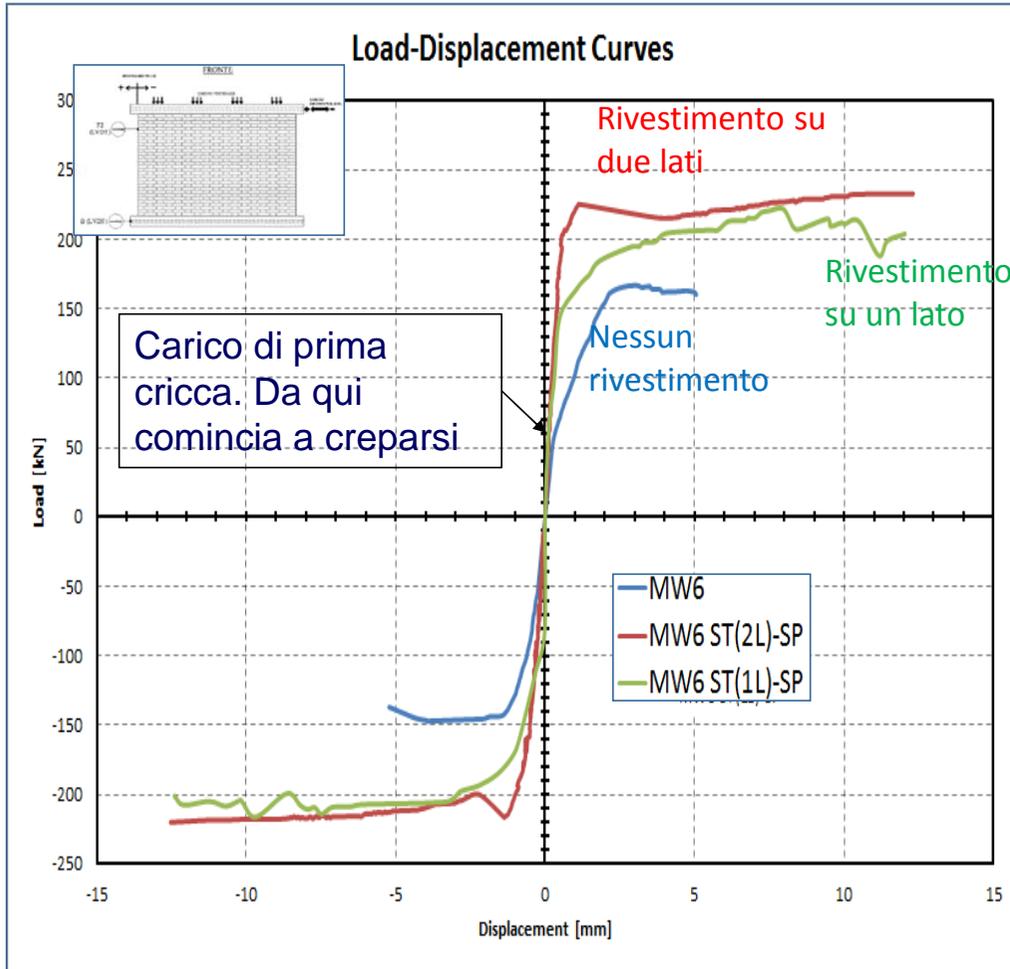
Load - Lateral deflection envelops





CAMPAGNA SPERIMENTALE

MURATURA RETTANGOLARE IN MATTONI PIENI



Sample and load direction		Lateral Strength [kN]		Load of the first cracking [kN]	
MW6	+	166		65	
	-	147		60	
MW6 ST(2L)-SP	+	248	>49%	211	>225%
	-	221	>50%	193	>222%
MW6 ST(1L)-SP	+	222	>34%	186	>186%
	-	216	>47%	186	>210%

Incremento medio della resistenza laterale (rispetto alla muratura non rivestita)

+41%

Differenza di resistenza laterale tra rivestimento di un lato e di due

-8%

+198%

Incremento medio del carico di prima cricca

CASE MARCOLINI: LE MOTIVAZIONI DELLA RICERCA

MATTONI FORATI:

- Strutture portanti fatte con mattoni **NON PORTANTI**
- Fori orizzontali



$\varnothing > 60\%$

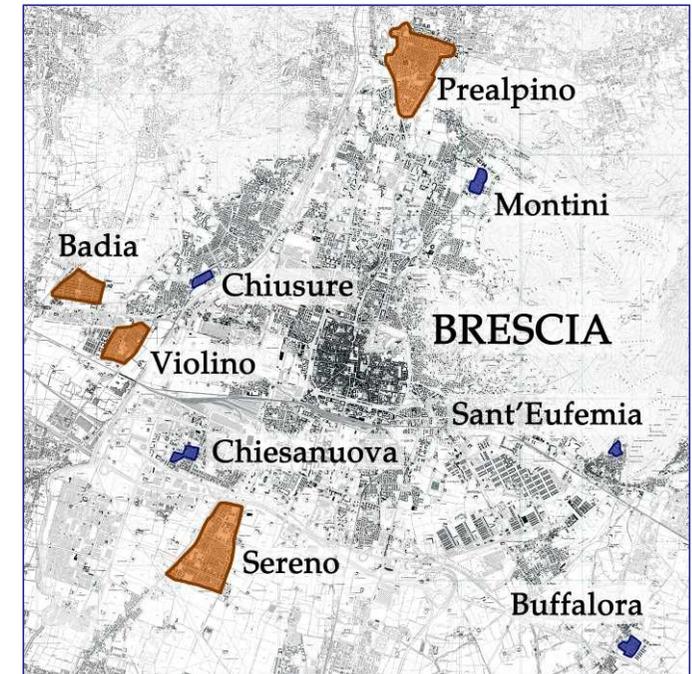
Saggio effettuato in una farmacia (Villaggio Badia, Brescia)

EDILIZIA POPOLARE
CASE MARCOLINI(1950-60)

Provincia di brescia
7598 case

BRESCIA

- Provincia di Brescia
- Municipi con più di 60 case Marcolini



4305 nel comune di Brescia

- 633 in villaggio **Violino** (1953-1968)
- 1004 in villaggio **Badia** (1955-1961)
- 1097 in villaggio **Prealpino** (1959-1966)
- 861 in villaggio **Sereno** (1960-1967)
- 710 in altri villaggi

Edifici con murature “tipo Marcolini”

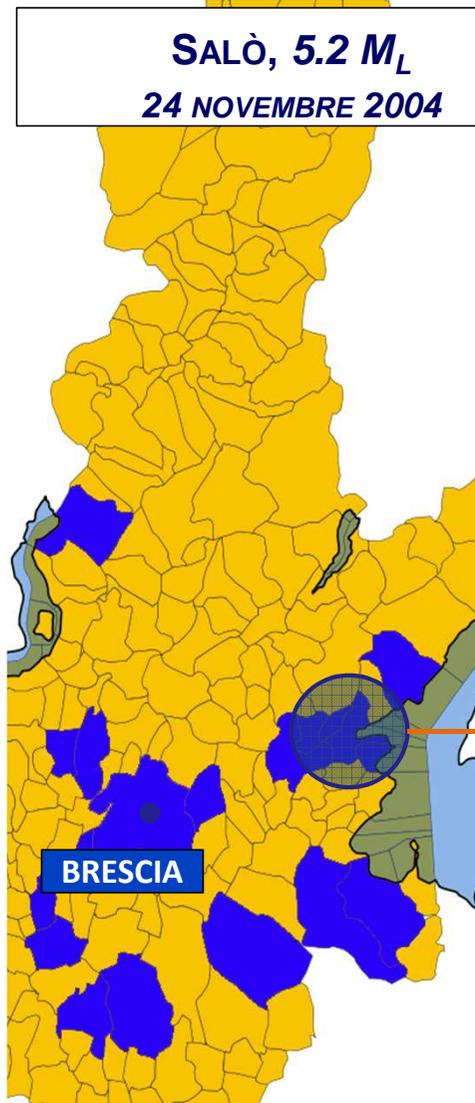


**Bagnolo Mella
(BS)**



Roma (2016)

CASE MARCOLINI LE MOTIVAZIONI DELLA RICERCA



Tipologia edificio	n°	%
case bifamiliari a due piani	2897	67.3 %
case bifamiliari un piano	786	18.3%
Due piani - capannoni	314	7.3%
Altre tipologie	308	7.2 %
Totale	4305	100%

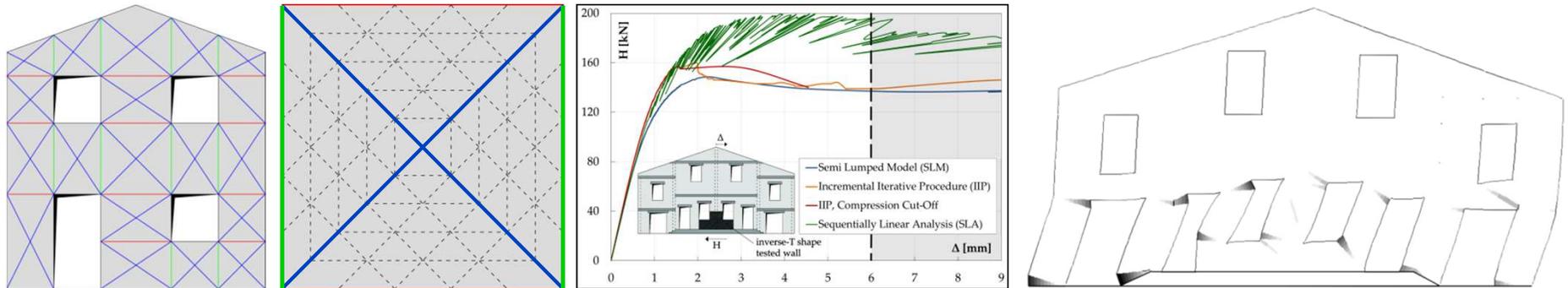
IL RETROFITTING SISMICO ED ENERGETICO DEGLI EDIFICI CIVILI

Il consolidamento sismico degli edifici civili e storici in muratura. Nuovi intonaci nanocompositi ad alte prestazioni
Dott.ing. Stefano Sacrato, Ph.D. – C.E.O. TRI srl.

CAMPAGNA SPERIMENTALE



MODELLAZIONE NUMERICA

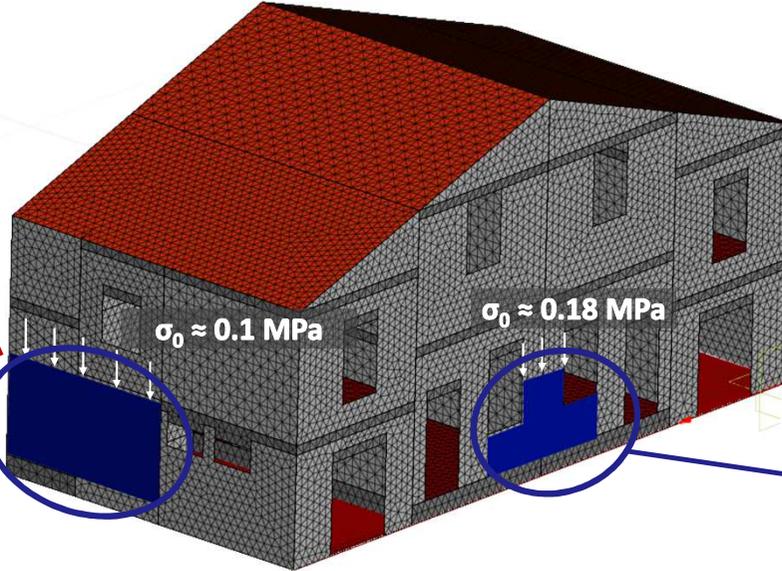


CAMPAGNA SPERIMENTALE

SOLLECITAZIONI A TAGLIO



CARICHI SISMICI



CARICHI SISMICI



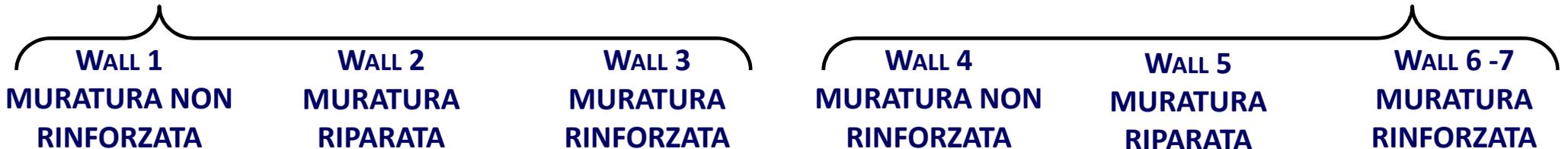
SOLLECITAZIONI A FLESSIONE



CASA MARCOLINI BI-FAMILIARE

**MURATURE RETTANGOLARI TOZZE
1-3**

**MURATURE A T ROVESCIA
WALLS 4-7**



IL RETROFITTING SISMICO ED ENERGETICO DEGLI EDIFICI CIVILI

Il consolidamento sismico degli edifici civili e storici in muratura. Nuovi intonaci nanocompositi ad alte prestazioni
Dott.ing. Stefano Sacrato, Ph.D. – C.E.O. TRI srl.

CAMPAGNA SPERIMENTALE CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI



ARMOX

f_{bH} [MPa]	f_{bV} [MPa]	f_{bt} [MPa]
3.88	<< 8.14	12

MALTA DI ALLETTAMENTO

E_{m0} [MPa]	f_m [MPa]	f_{mt} [MPa]
5170	3.91	1.40

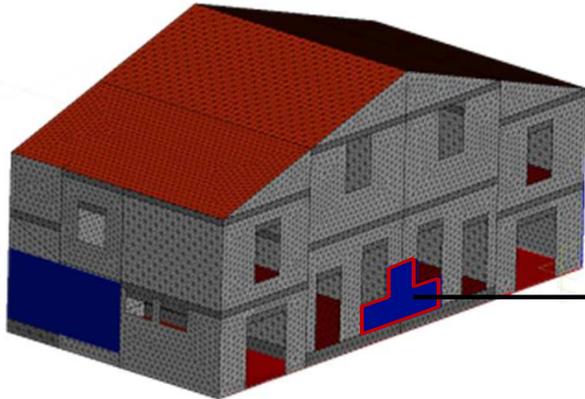


MATTONI A FORI ORIZZONTALI

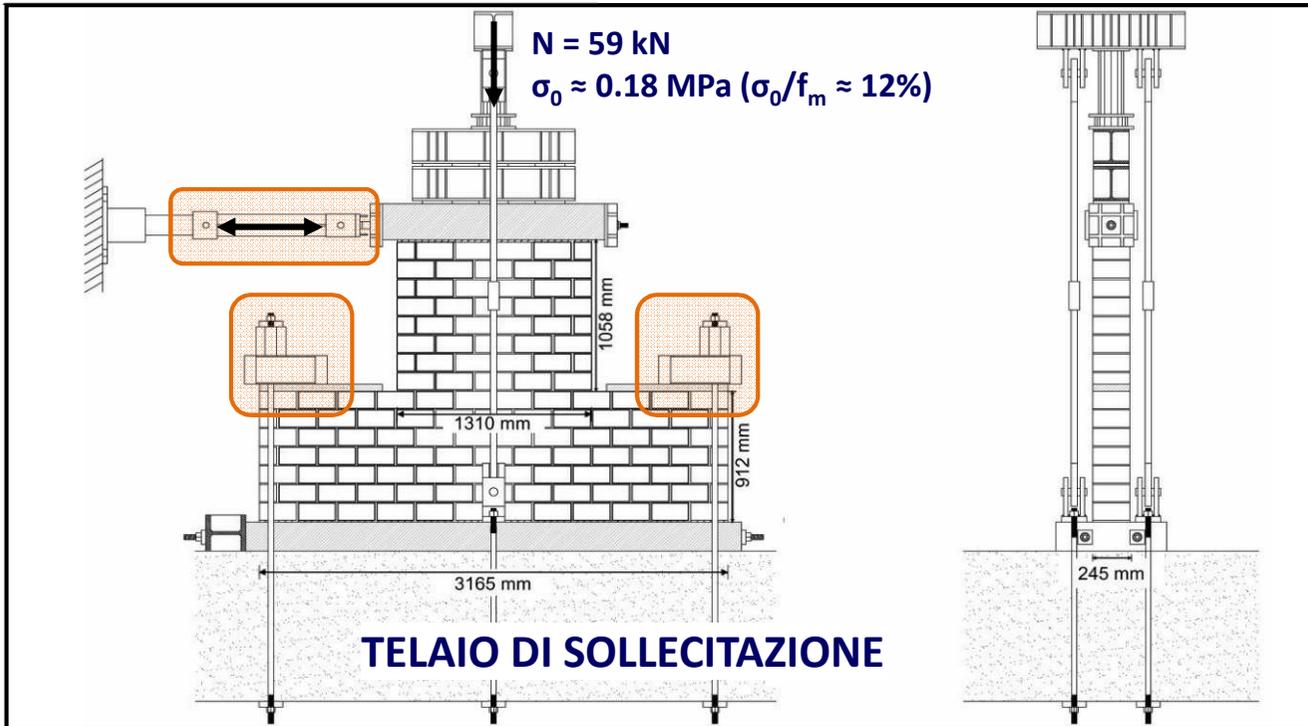
E_m [MPa]	f_m [MPa]
2370	1.57

MATTONI A FORI VERTICALI

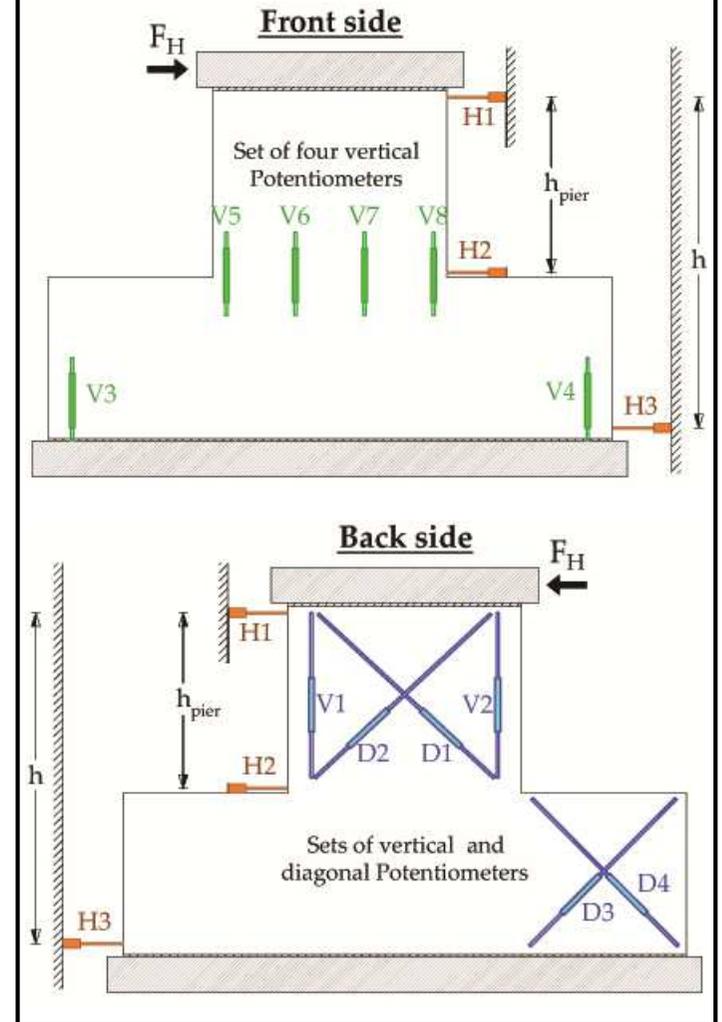
E_m [MPa]	f_m [MPa]
4370	1.56

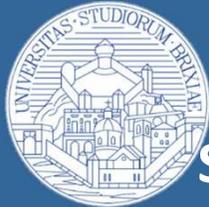


WALL 4



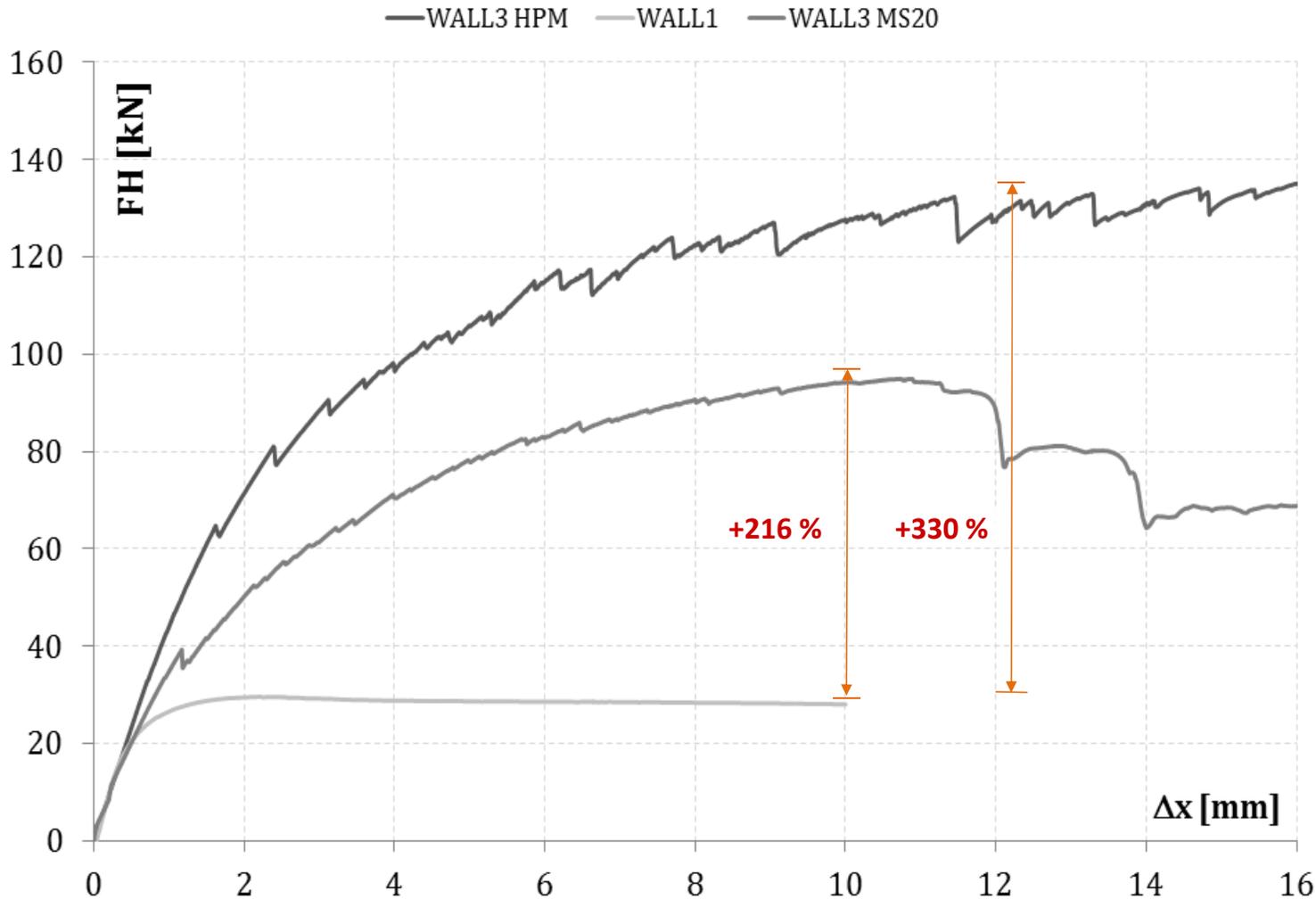
STRUMENTAZIONE



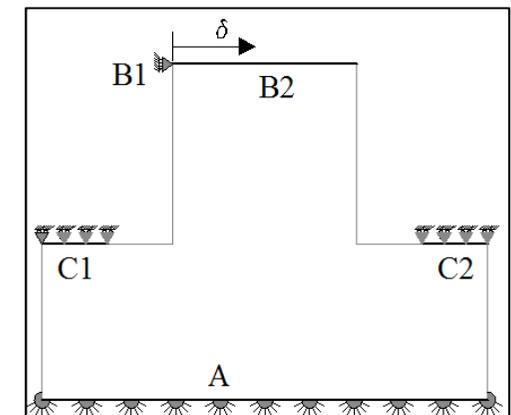


MODELLAZIONE NUMERICA

Simulazione del comportamento della facciata principale



MALTA MS20	
f_t [MPa]	f_c [MPa]
1,5	3,5
ϵ_{um} [-]	E [MPa]
0,7%	5000



IL RETROFITTING SISMICO ED ENERGETICO DEGLI EDIFICI CIVILI

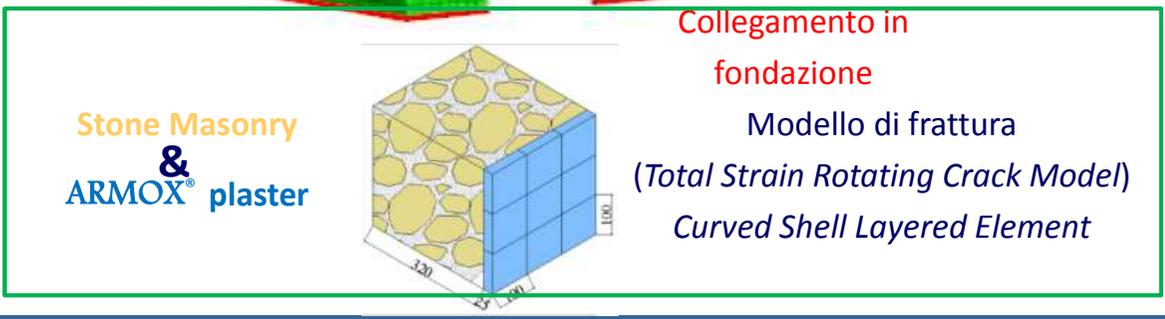
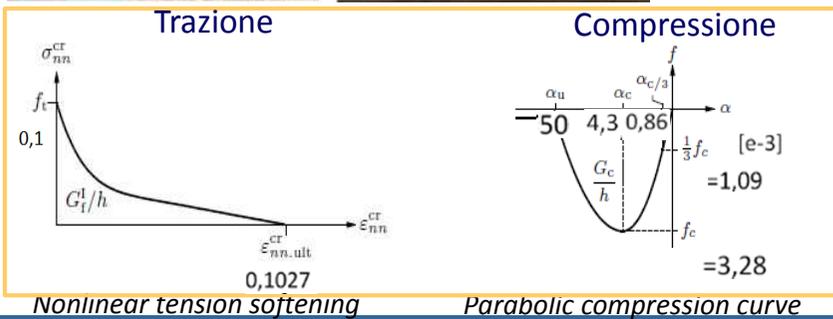
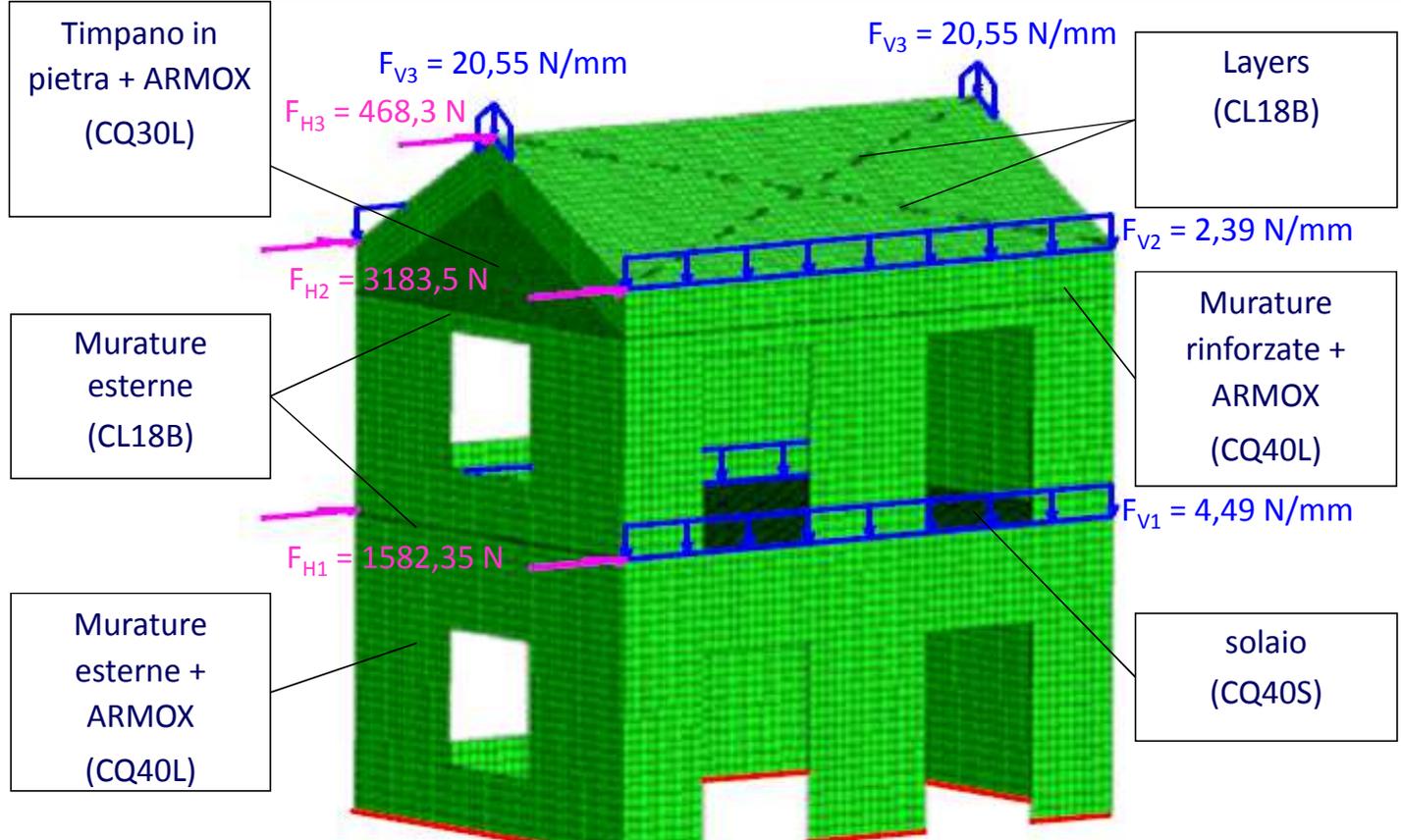
Il consolidamento sismico degli edifici civili e storici in muratura. Nuovi intonaci nanocompositi ad alte prestazioni

Dott.ing. Stefano Sacrato, Ph.D. – C.E.O. TRI srl.



MODELLAZIONE NUMERICA

Simulazione del comportamento di una casa in mattoni



IL RETROFITTING SISMICO ED ENERGETICO DEGLI EDIFICI CIVILI

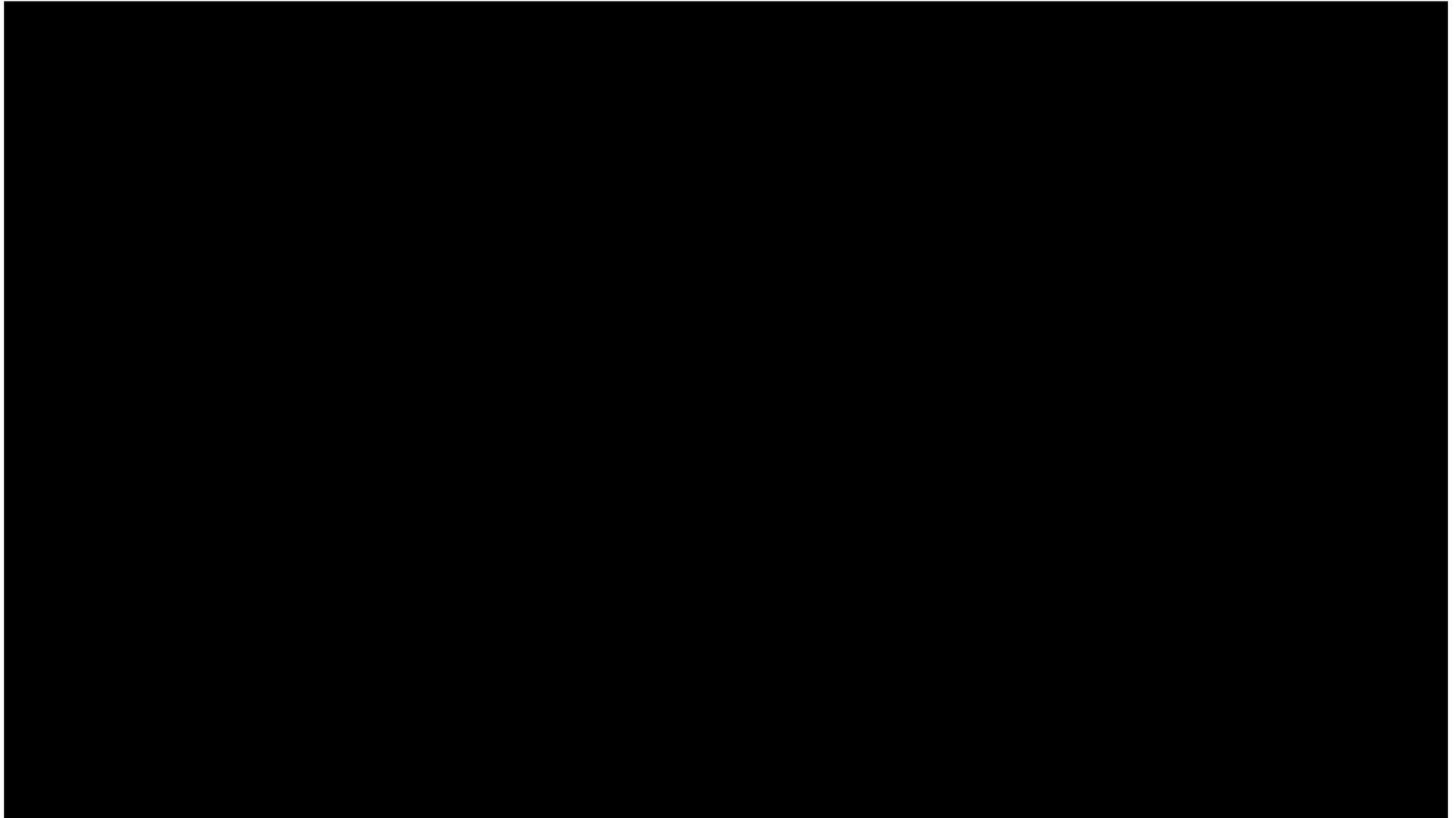
Il consolidamento sismico degli edifici civili e storici in muratura. Nuovi intonaci nanocompositi ad alte prestazioni

Dott.ing. Stefano Sacrato, Ph.D. – C.E.O. TRI srl.



MODELLAZIONE NUMERICA

Simulazione del comportamento di una casa in mattoni

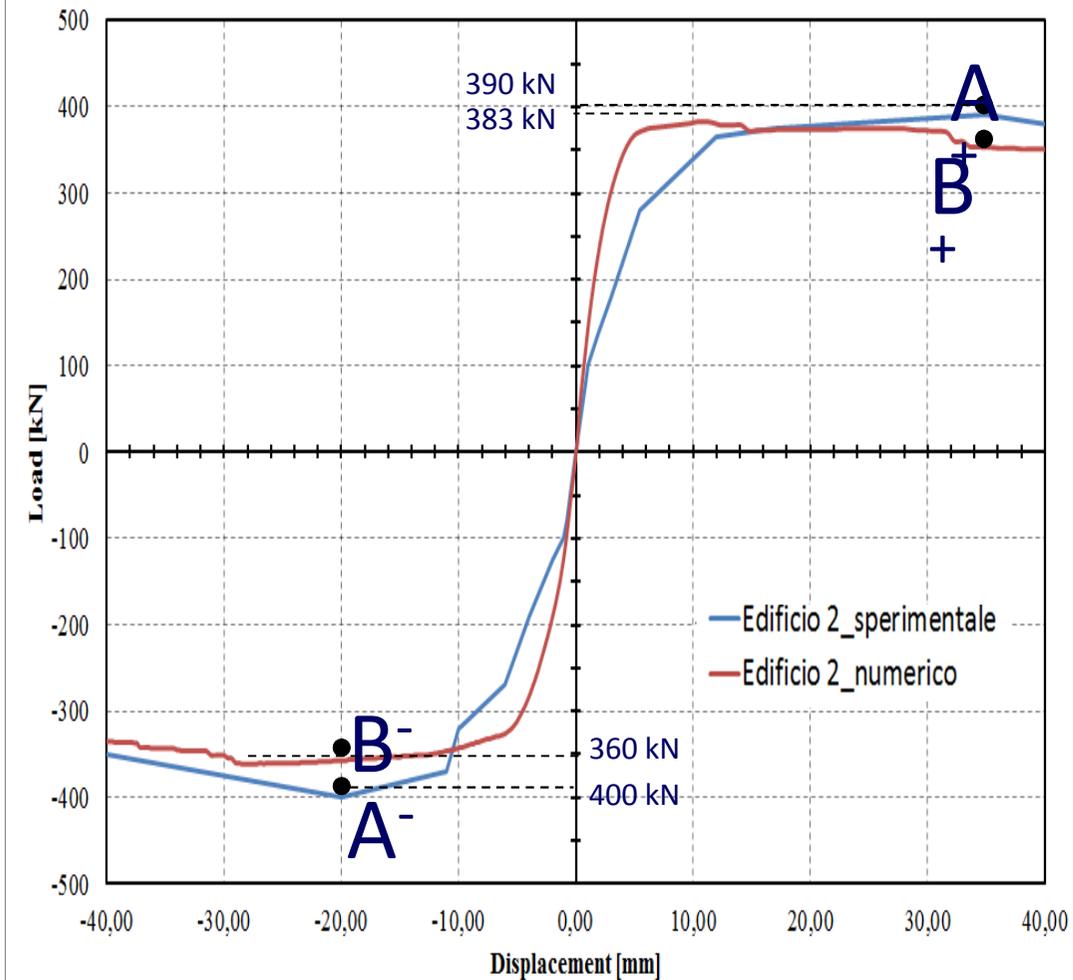




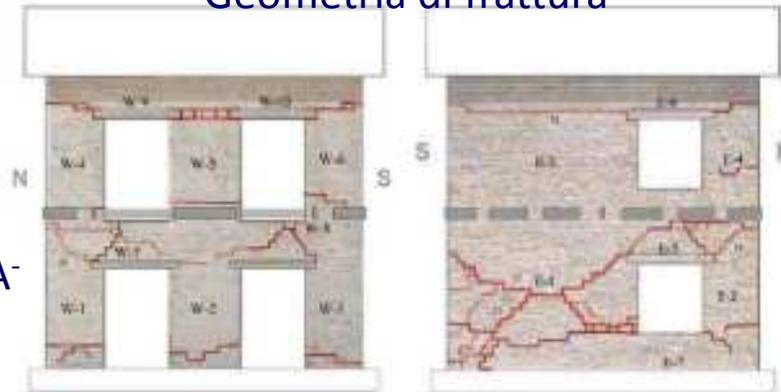
MODELLAZIONE NUMERICA

Simulazione del comportamento di una casa in mattoni

Load-Displacement Curves



Geometria di frattura



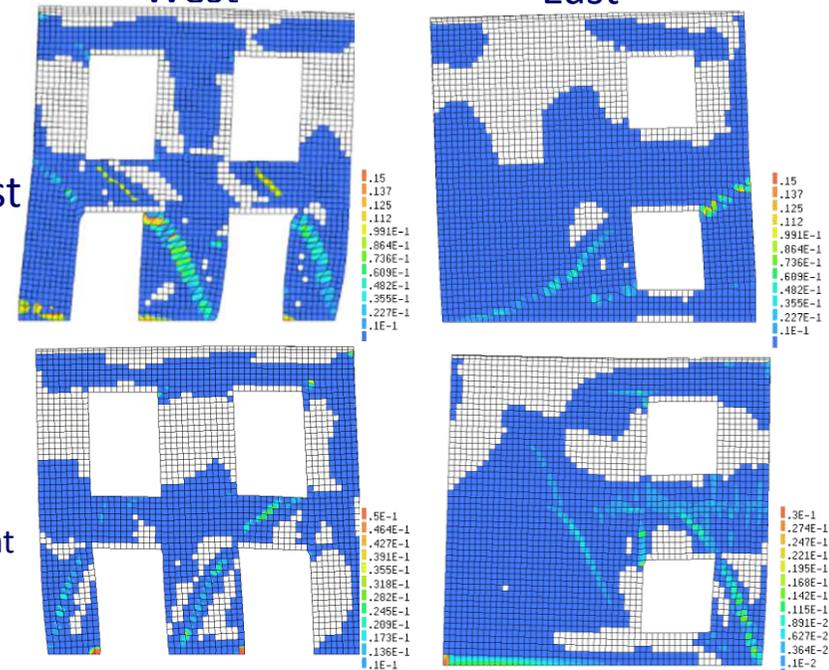
A⁺ e A⁻

West

East

Thrust
B⁺

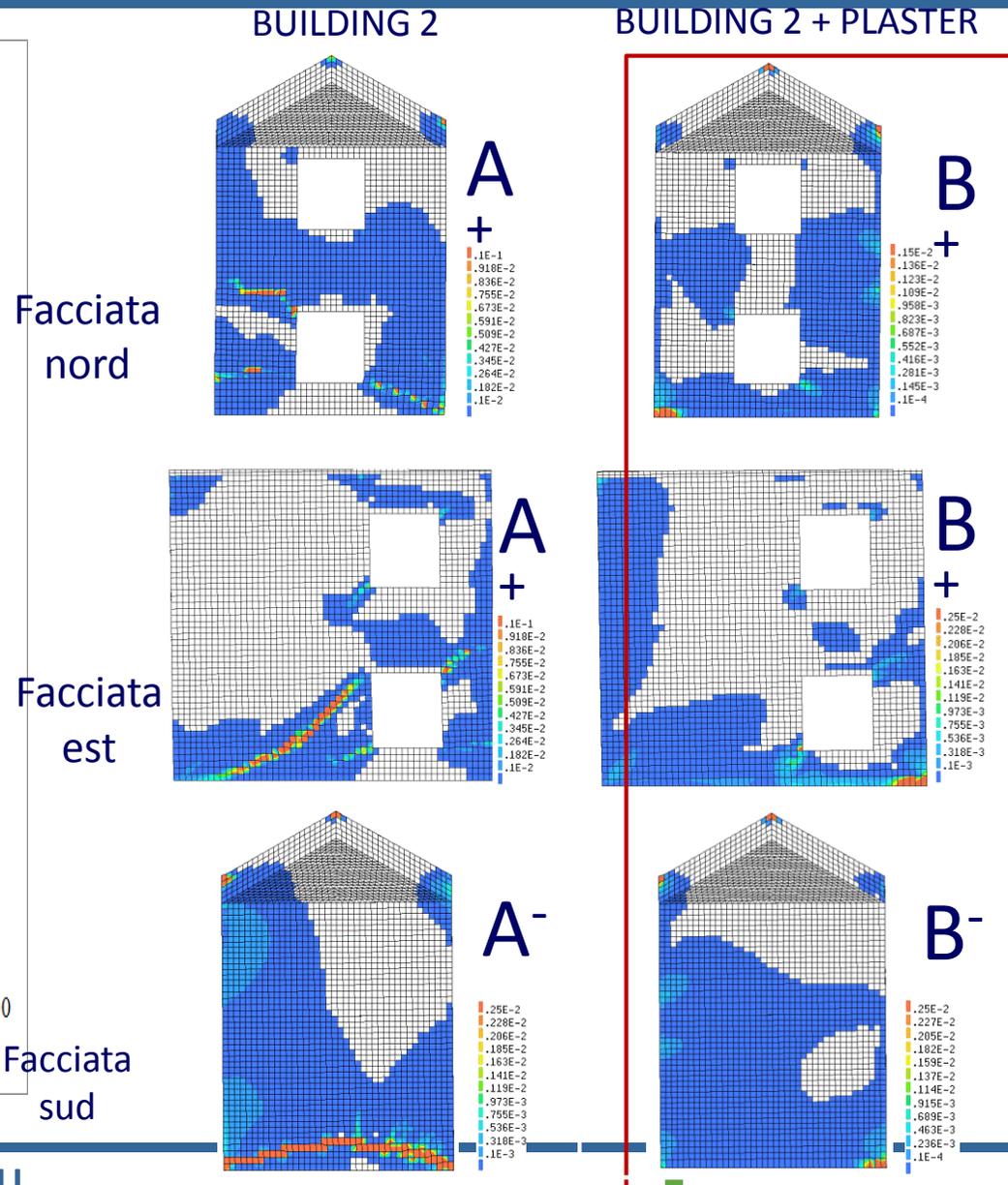
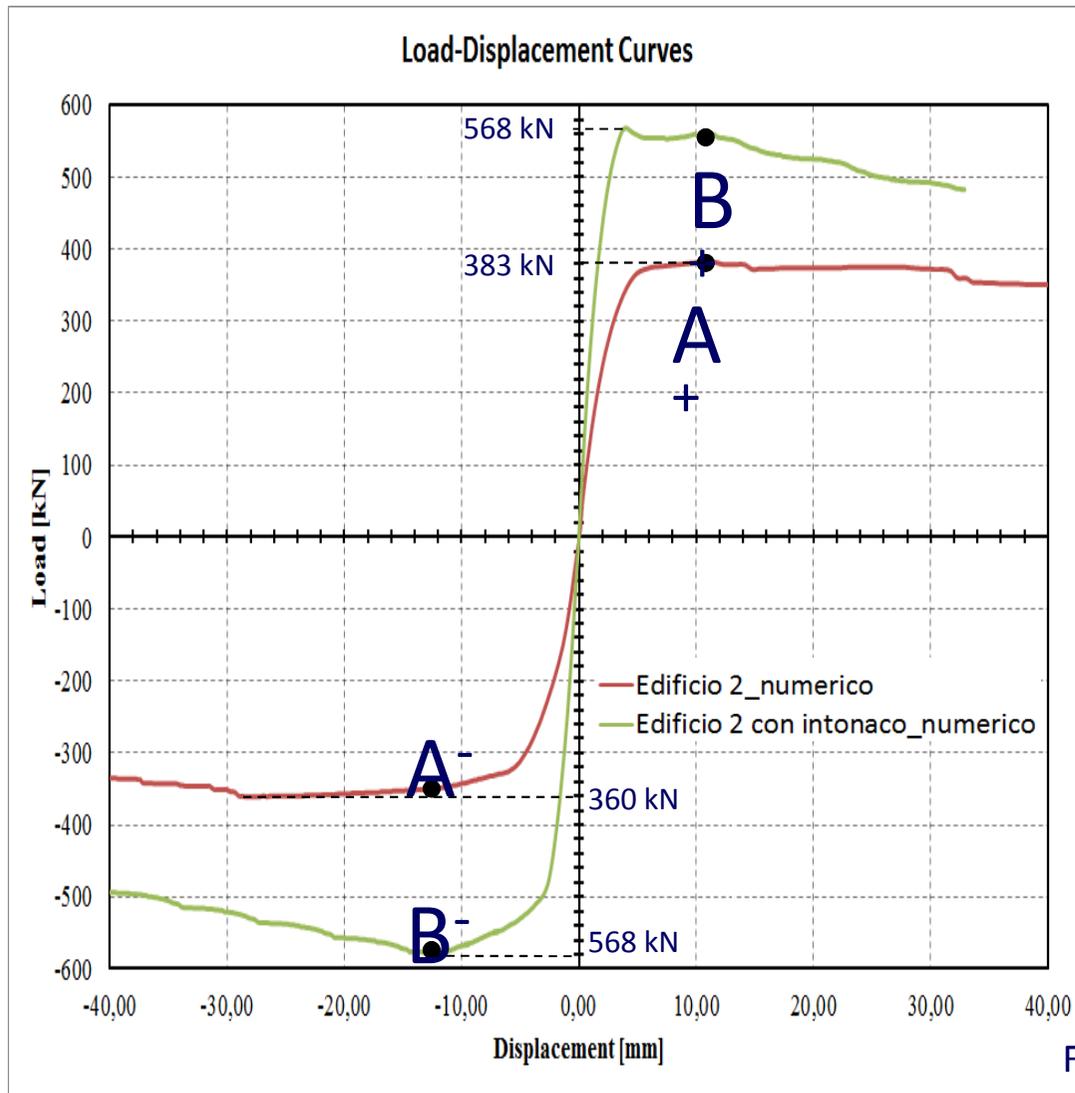
Draught
B⁻





MODELLAZIONE NUMERICA

Simulazione del comportamento di una casa in mattoni



IL RETROFITTING SISMICO ED ENERGETICO DEGLI EDIFICI CIVILI

Il consolidamento sismico degli edifici civili e storici in muratura. Nuovi intonaci nanocompositi ad alte prestazioni

Dott.ing. Stefano Sacrato, Ph.D. – C.E.O. TRI srl.



L'AVANZAMENTO DELLA RICERCA



BANDO HEALTH&WEALTH 2015 UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI BRESCIA

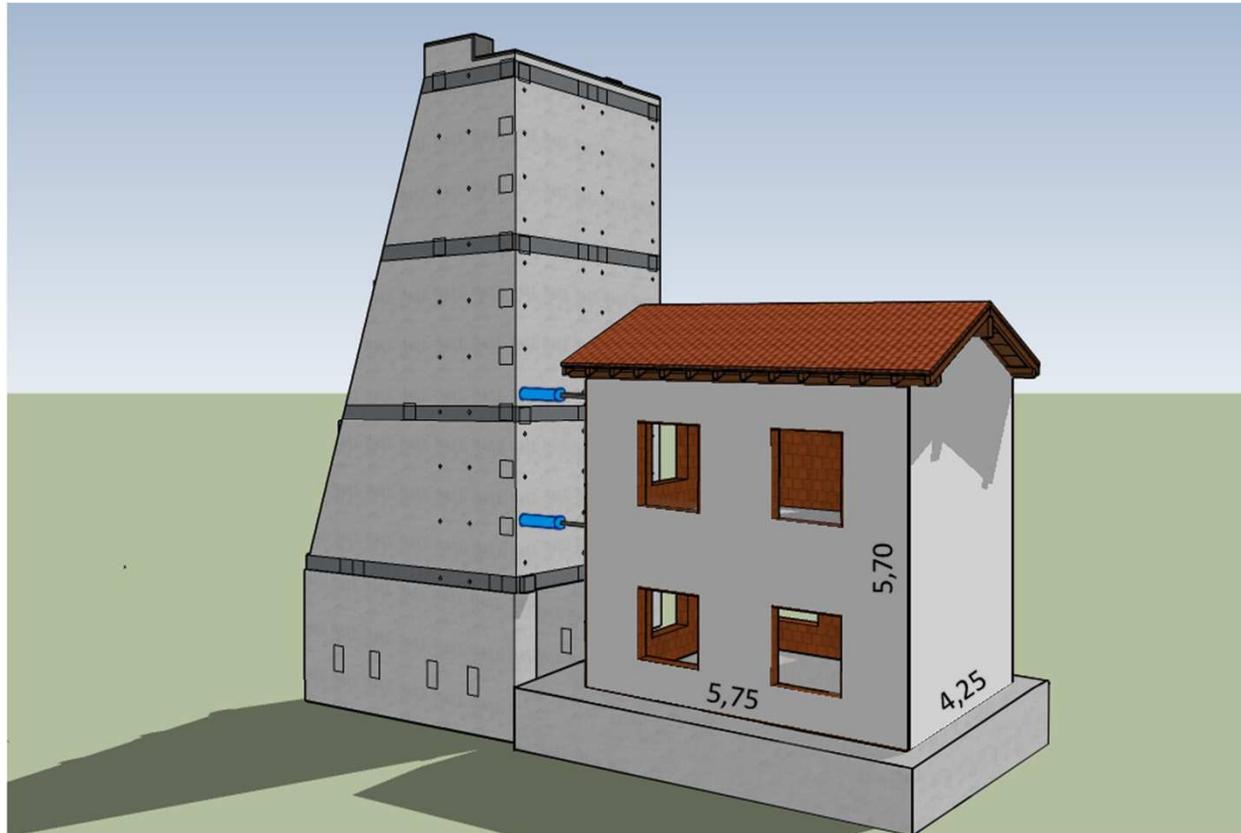
**ACCORDO DI COFINANZIAMENTO E COLLABORAZIONE PER LA REALIZZAZIONE
DEL PROGETTO**

**“RIQUALIFICAZIONE DEL COSTRUITO IN MURATURA: SICUREZZA
SISMICA E COMFORT ABITATIVO”, ACRONIMO SISMACOMF**

IL RETROFITTING SISMICO ED ENERGETICO DEGLI EDIFICI CIVILI

Il consolidamento sismico degli edifici civili e storici in muratura. Nuovi intonaci nanocompositi ad alte prestazioni

Dott.ing. Stefano Sacrato, Ph.D. – C.E.O. TRI srl.



STRUTTURA

- Muratura Portante
- Solaio in legno lamellare
- Cappa e cordoli in C.A.

CARICHI

- Applicazione quasi statica tramite martinetti idraulici fissati alla torre di contrasto

Torre di spinta

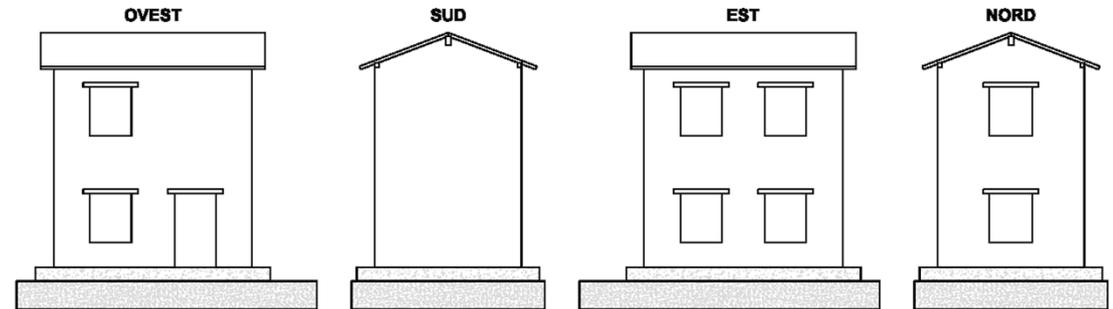
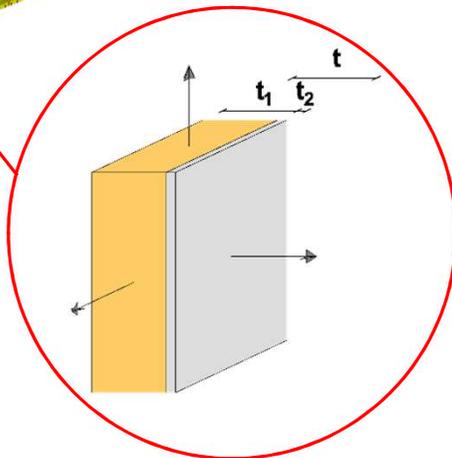
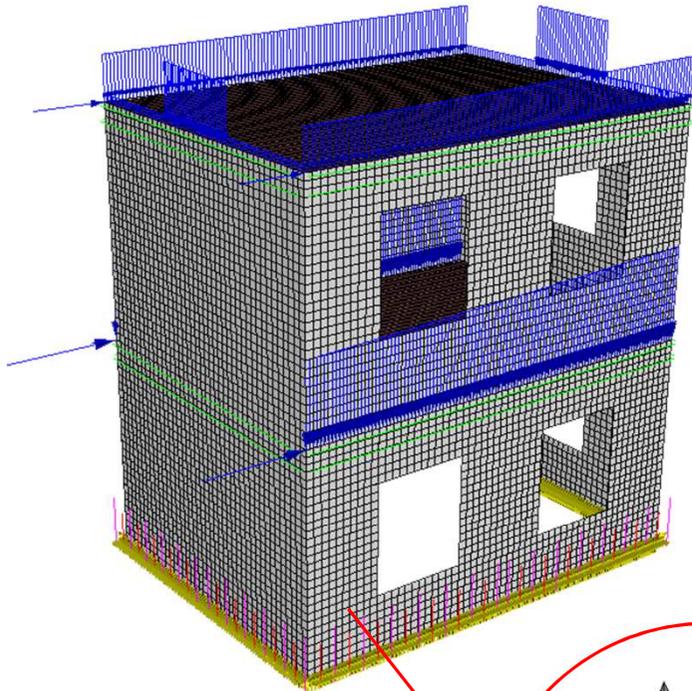


Solettone di fondazione

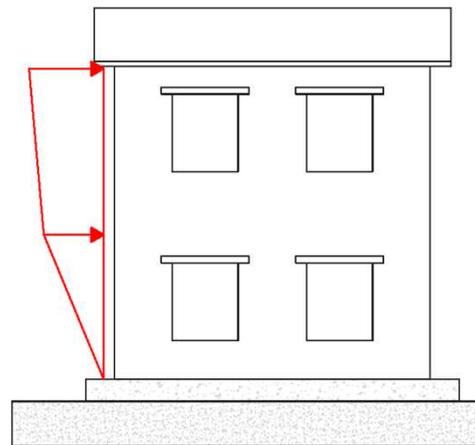




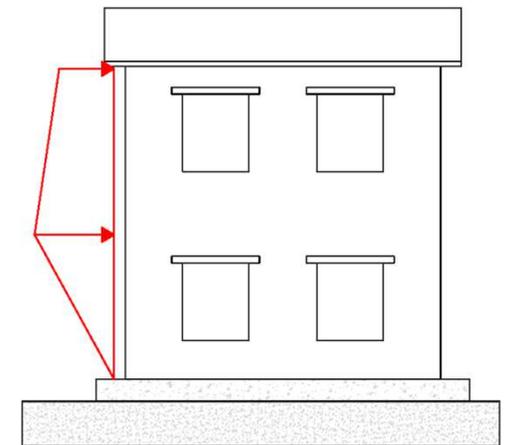
L'AVANZAMENTO DELLA RICERCA



GRUPPO 1
(Proporzionale al 1° modo di vibrare)



GRUPPO 2
(Proporzionale alla distribuzione di massa)



IL RETROFITTING SISMICO ED ENERGETICO DEGLI EDIFICI CIVILI

Il consolidamento sismico degli edifici civili e storici in muratura. Nuovi intonaci nanocompositi ad alte prestazioni
Dott.ing. Stefano Sacrato, Ph.D. – C.E.O. TRI srl.



L'AVANZAMENTO DELLA RICERCA

Construction and Building Materials 141 (2017) 619–630

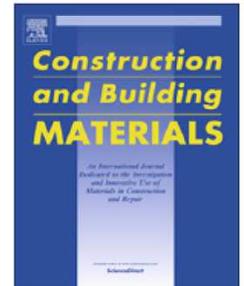


ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Construction and Building Materials

journal homepage: www.elsevier.com/locate/conbuildmat



Experimental results on the retrofitting of hollow brick masonry walls with reinforced high performance mortar coatings



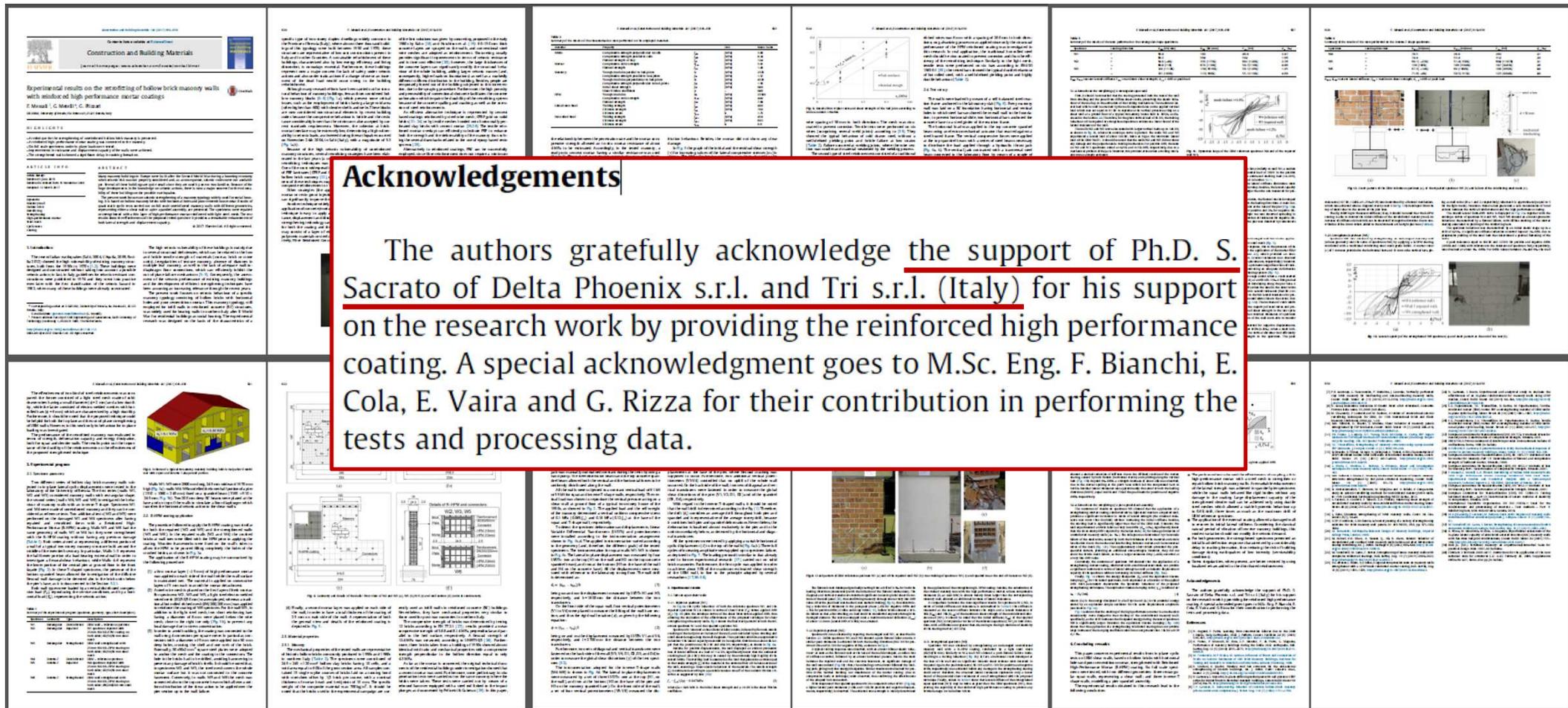
F. Messali¹, G. Metelli*, G. Plizzari

DICATAM, University of Brescia, Via Branze 43, 25123 Brescia, Italy

IL RETROFITTING SISMICO ED ENERGETICO DEGLI EDIFICI CIVILI

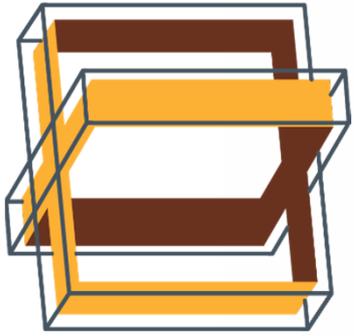
Il consolidamento sismico degli edifici civili e storici in muratura. Nuovi intonaci nanocompositi ad alte prestazioni

Dott.ing. Stefano Sacrato, Ph.D. – C.E.O. TRI srl.



Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the support of Ph.D. S. Sacrato of Delta Phoenix s.r.l. and Tri s.r.l. (Italy) for his support on the research work by providing the reinforced high performance coating. A special acknowledgment goes to M.Sc. Eng. F. Bianchi, E. Cola, E. Vaira and G. Rizza for their contribution in performing the tests and processing data.



ARMOR

