RIQUALIFICAZIONE DEL COSTRUITO IN MURATURA: SICUREZZA SISMICA E COMFORT ABITATIVO

Bando Health and Wealth 2015 @ UniBS

UNIVERSITY OF BRESCIA

Enti Partners

tri
tecnologia e ricerca italiana®

University of Toronto (Canada)

Obiettivi della ricerca

L'obiettivo della ricerca è quello di migliorare il benessere delle persone che abitano le numerosissime abitazioni in muratura rendendole più sicure e confortevoli mediante l'utilizzo di intonaci realizzati con materiali avanzati che, oltre a fornire all'edificio un'adeguata protezione dagli eventi sismici eccezionali, garantiscano la salubrità e il comfort abitativo degli ambienti nella vita di tutti i giorni.

La tecnica innovativa è ancora più interessante perché non richiede l'evacuazione dell'edificio durante i lavori. Inoltre, essa interessa un numero molto elevato di edifici in muratura; infatti molti di questi edifici sono stati realizzati prima che il normatore (in Italia lo Stato) riconoscesse il rischio sismico nella progettazione strutturale che, viceversa, riguarda oggi tutto il territorio nazionale.

Il rinforzo sismico si basa sull'impiego di un intonaco costituito da una malta nanocomposita fibrorinforzata con ottime caratteristiche di impermeabilità e traspirabilità. L'intonaco verrà rinforzato esclusivamente con fibre d'acciaio, senza l'impiego di armature metalliche continue.

Un altro aspetto fondamentale per la sostenibilità e la riqualificazione delle strutture esistenti è quello energetico. Accoppiando l'intonaco sismo-resistente con uno strato a bassa conducibilità termica sarà possibile migliorare anche l'isolamento dell'edificio.

Gruppo di ricerca

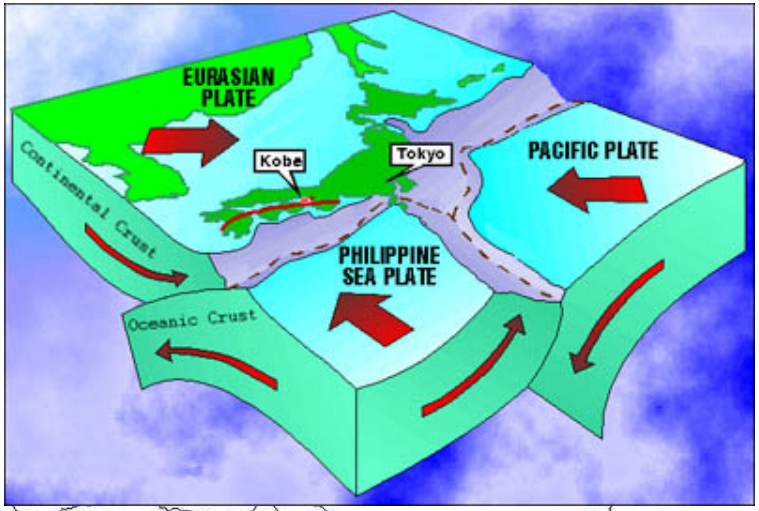
DICATAM

Prof. Giovanni Plizzari
Prof. Fausto Minelli
Dott. Luca Facconi
Dott.ssa Sara Lucchini

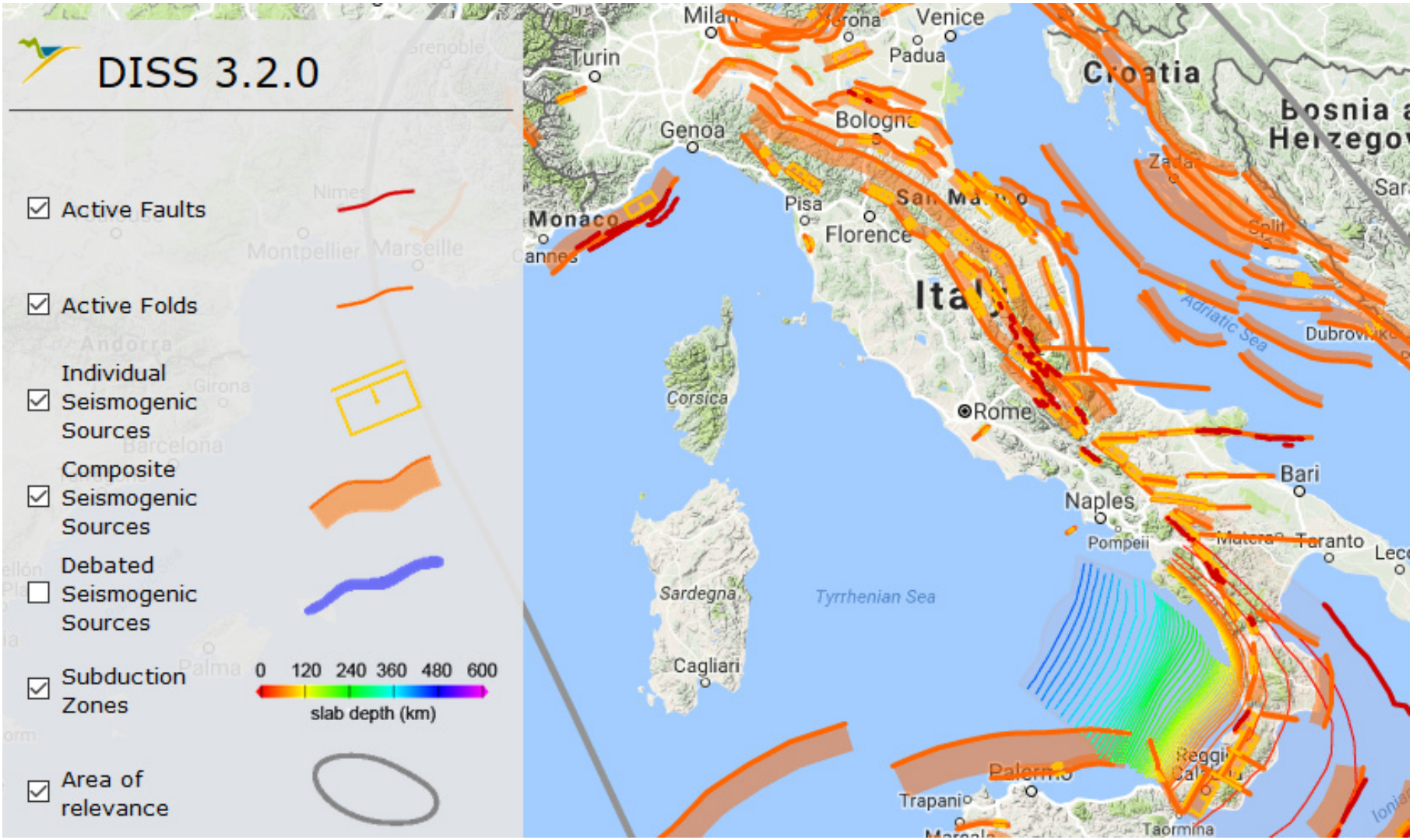
DIMI

Mariagrazia Pilotelli
Manuela Neri
Benedetta Grassi

Mappa sismica



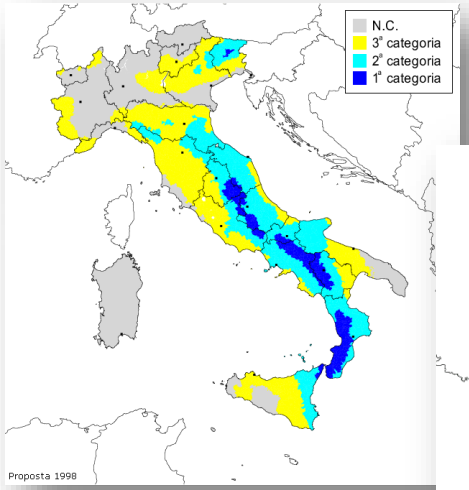
Mappa sismica



Sismic map development

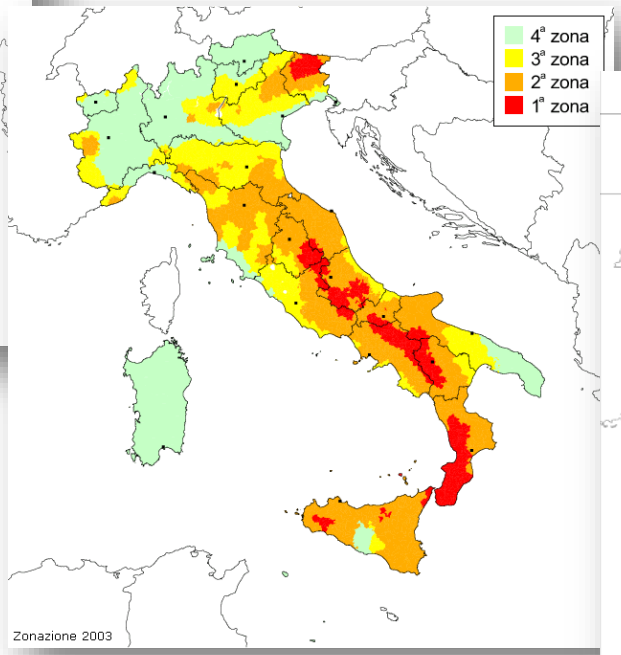
1984

1998

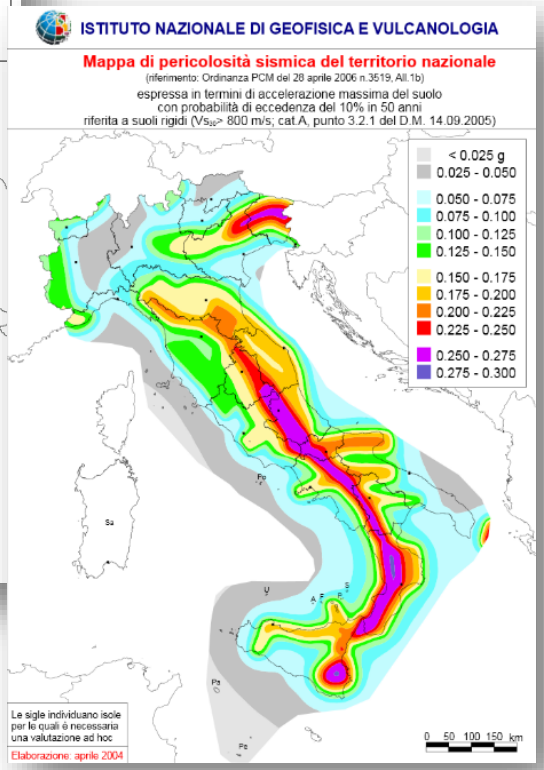


Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

2003

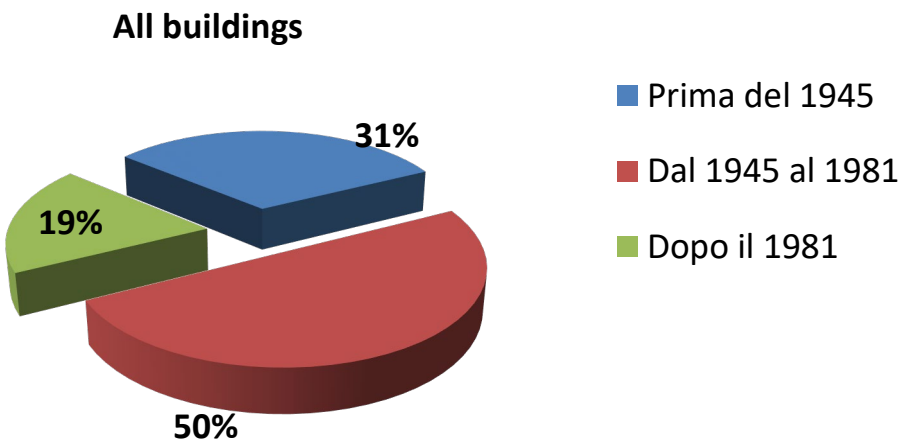


Today

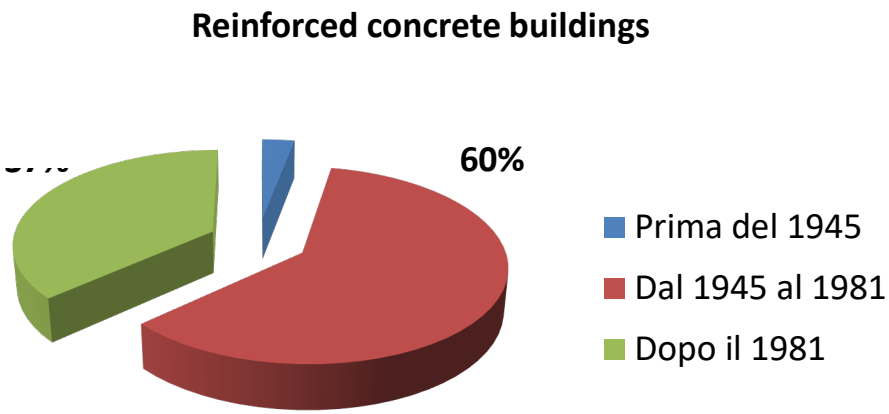


Increment of vehicle number and traffic loads (also heavy loading) and new seismic regulations are setting new requirements to adapt the existing infrastructure, which should be otherwise replaced.

Residential building costructions in Italy



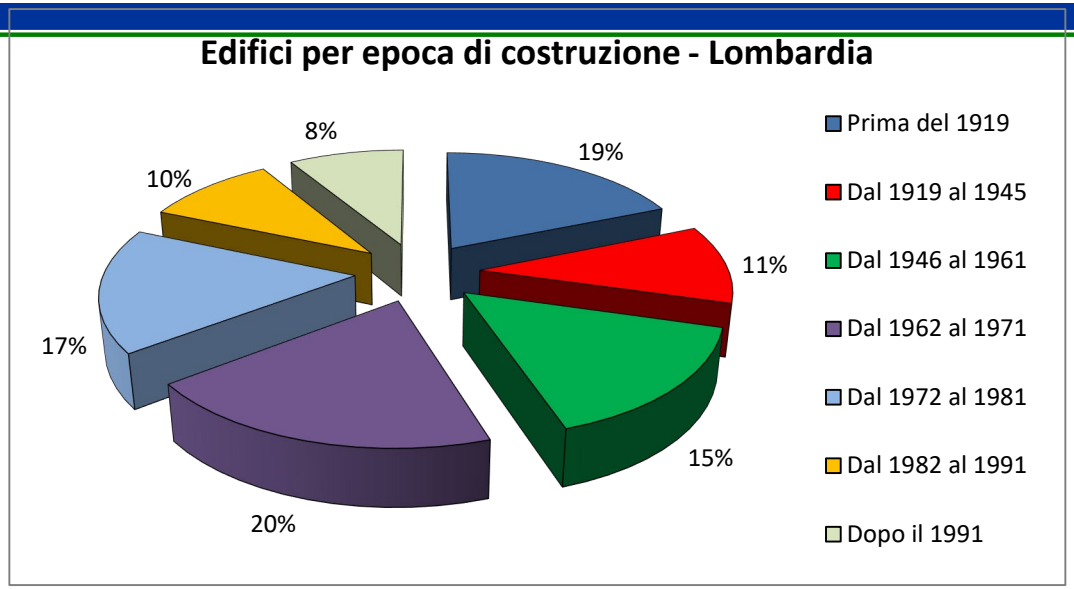
Most of the residential buildings were built between ‘50 and ’80s.



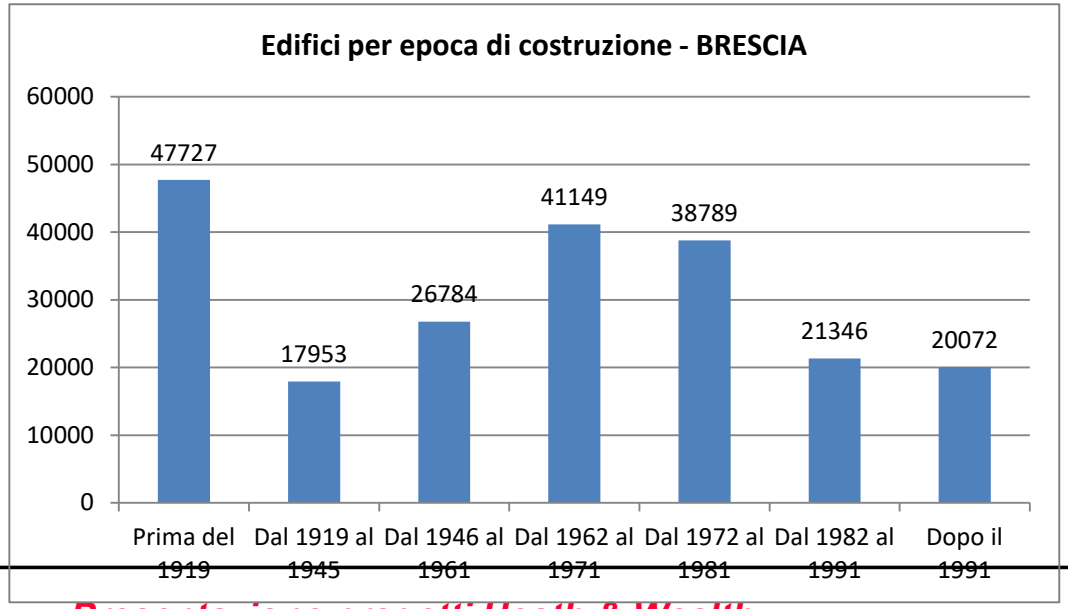
About **61%** (**1.670.000** blds) were built between 1950-1980.

About **9 milions** were designed without any seismic concern (**1,8 milions** in r.c.)

Vulnerabilità sismica e consistenza del patrimonio edilizio



Il **36%** degli edifici ad uso abitativo in Lombardia risale agli anni del II dopoguerra.



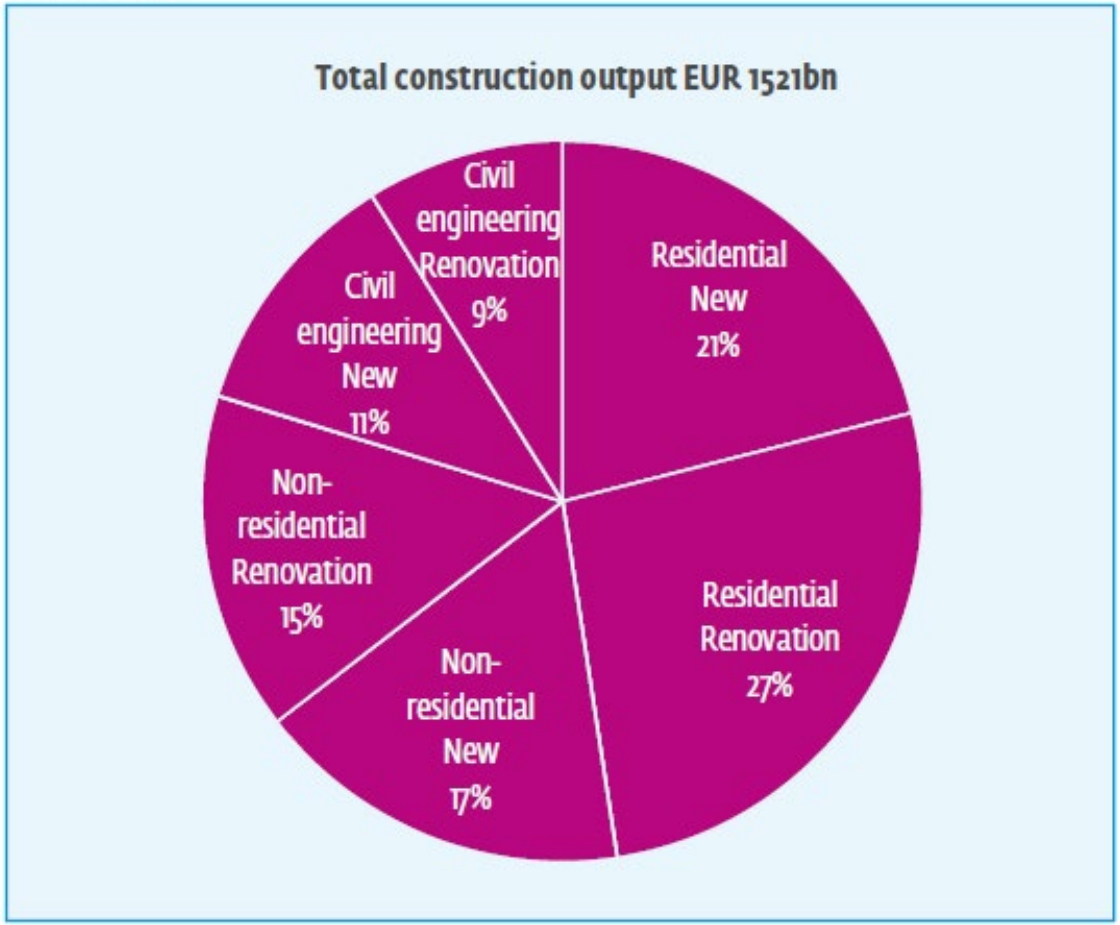
Il **37%** degli edifici ad uso abitativo (pari a **79.938 unità**) risale agli anni '60 e '70.

In tali abitazioni vivono circa 180.000 famiglie.

Market outlook

Construction market by subsectors (EC-19, 2017)

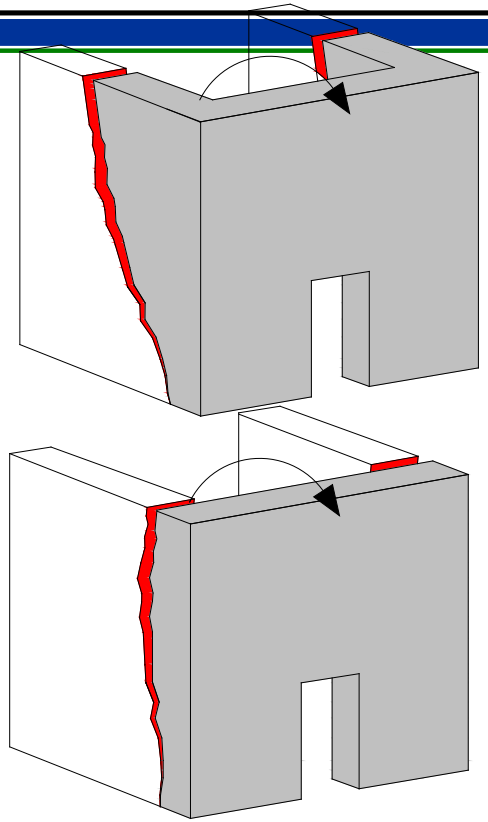
share in %, 2017

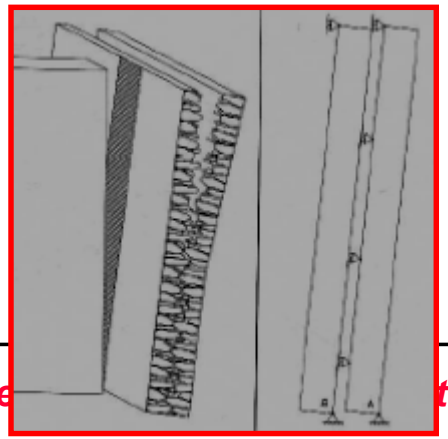


Source: EUROCONSTRUCT, June 2018

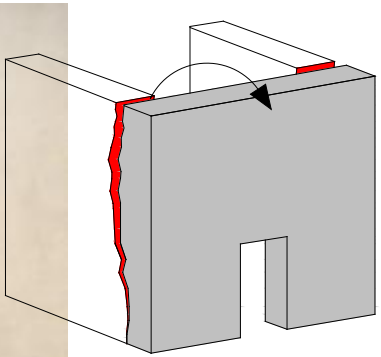
Collasso locale (fuori piano)

Ribaltamento delle facciate e pareti perimetrali





Ribaltamento delle facciate



Cr

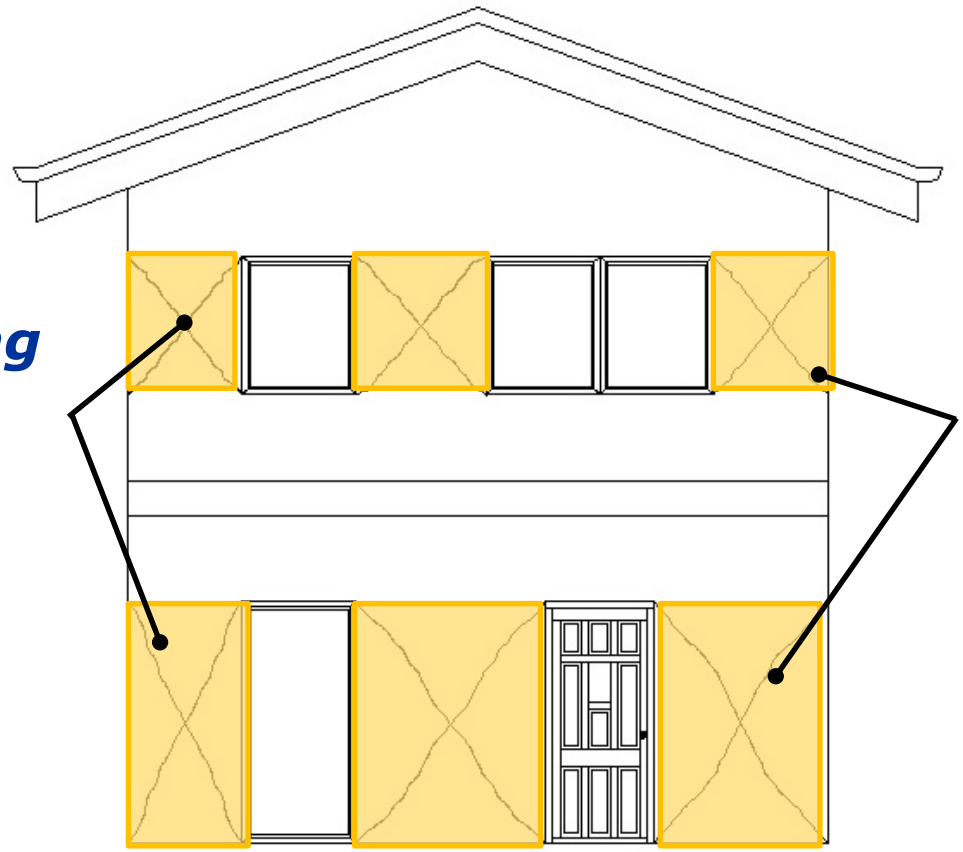
pe

m
a

Masonry house after central Italy earthquake

Fiber Reinforced Concrete (FRC)

Strengthening with Fiber Reinforced Mortar



Strengthening with Fiber Reinforced Mortar

Diagonal cracks in bearing walls

Ground acceleration

FRC properties

Volume fraction V_f = 0,82%

L_f , Φ_f

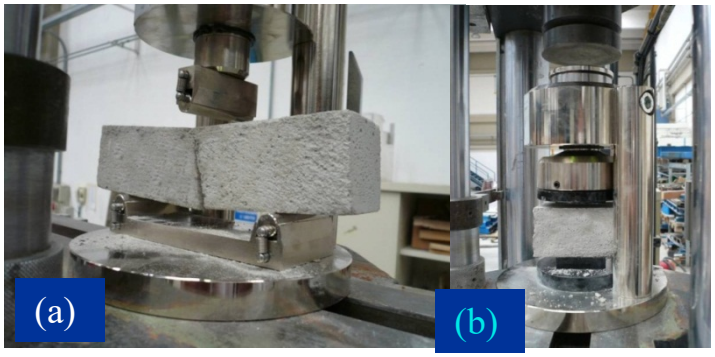
LUNGHEZZA L_f [mm]	DIAMETRO Φ_f [mm]	RAPPORTO D'ASPETTO L_f / Φ_f [-]	RESISTENZA A TRAZIONE [MPa]	FORMA
15	0,40	38	> 2400	Uncinate

Flexural tensile strength (a) (EN 1015-11,2007) → 6 MPa

Compression strength (b) (EN 1015-11,2007) → 48,3MPa

Average elastic modulus (EN 12390-1) → 33600MPa

Tensile strength (EC2) → 3,85MPa



Full scale test on a two-stories house

STRUCTURE

- Hollow-clay brick masonry
- Wooden floors and roof
- Seismic floor diaphragms

LOADS

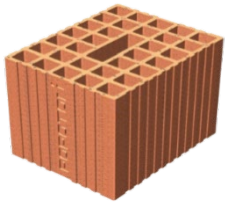
- Quasi-static reverse cyclic test

RETROFITTING: SFRM coating

- on the external surface
- 25 mm thick
- Anchored in foundation

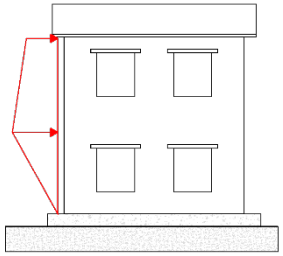
Masonry units

TYPE OF UNITS



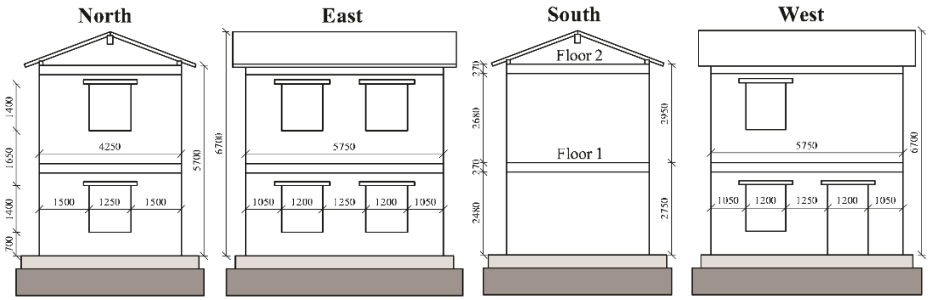
Thickness=200mm; vertical holes 60%

LOADING DISTRIBUTION



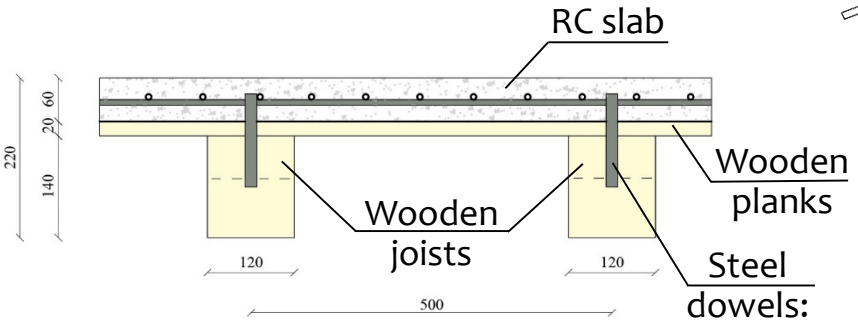
Proportional to floor mass

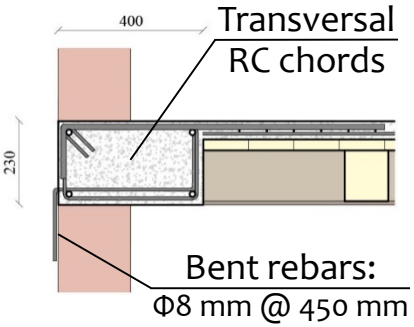
OPENINGS CONFIGURATION

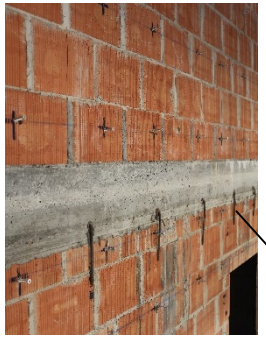


1 door + 8 windows

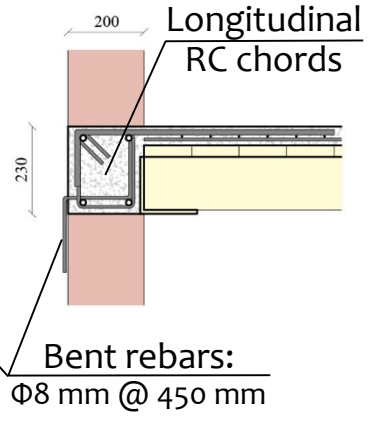
Specimen geometry

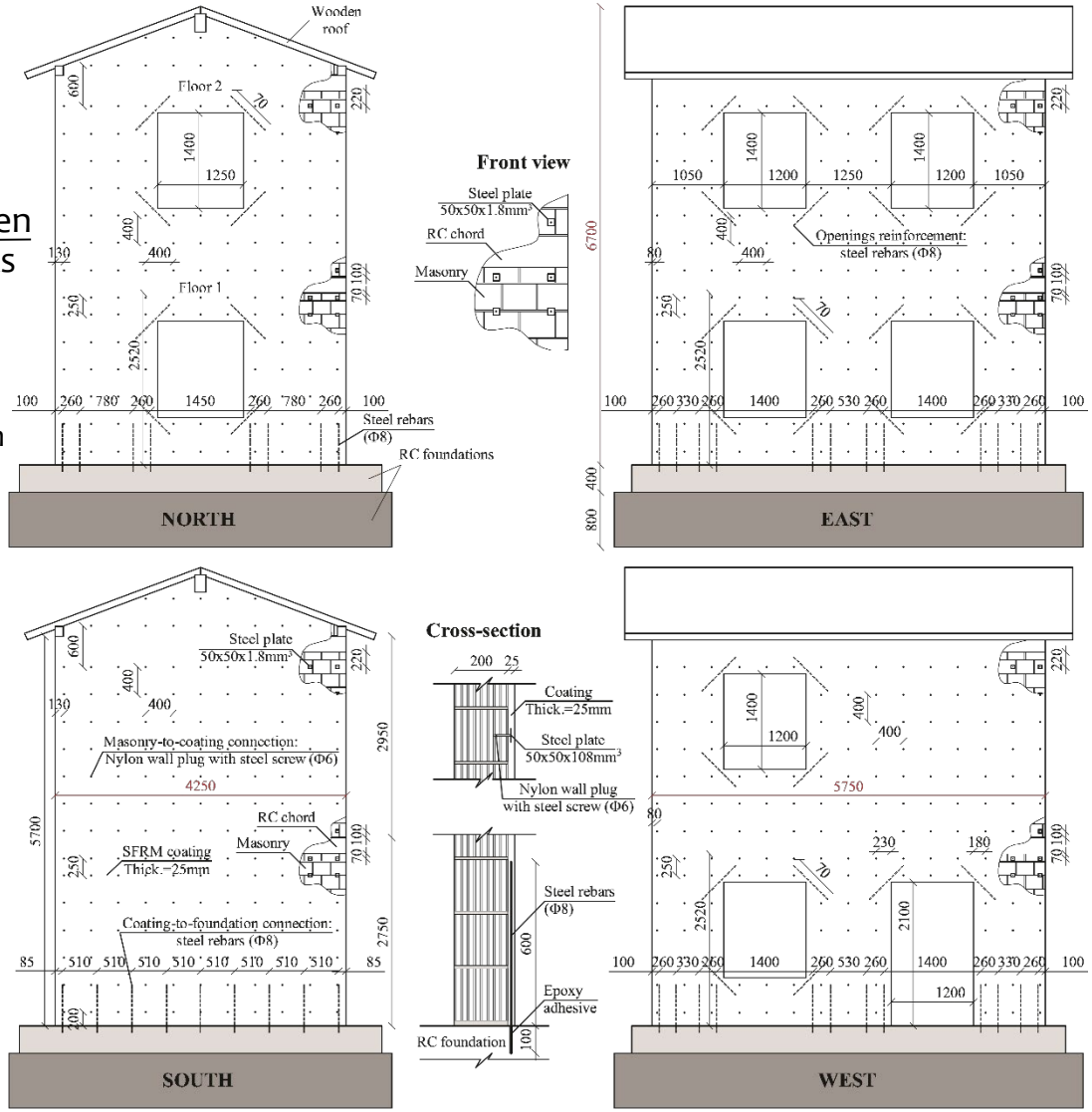






SEISMIC FLOOR DIAPHRAGM

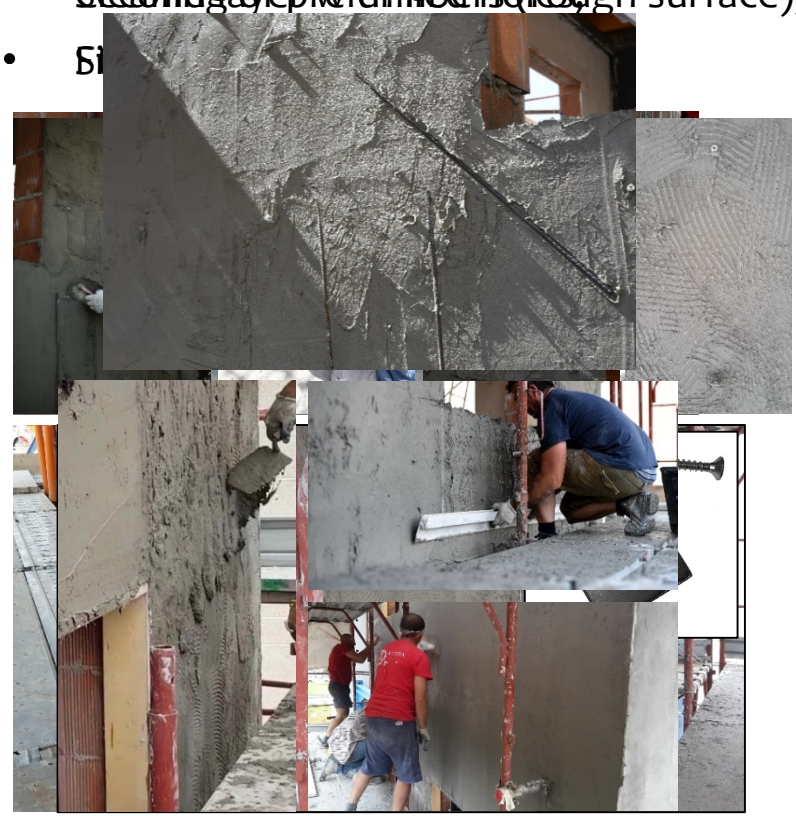


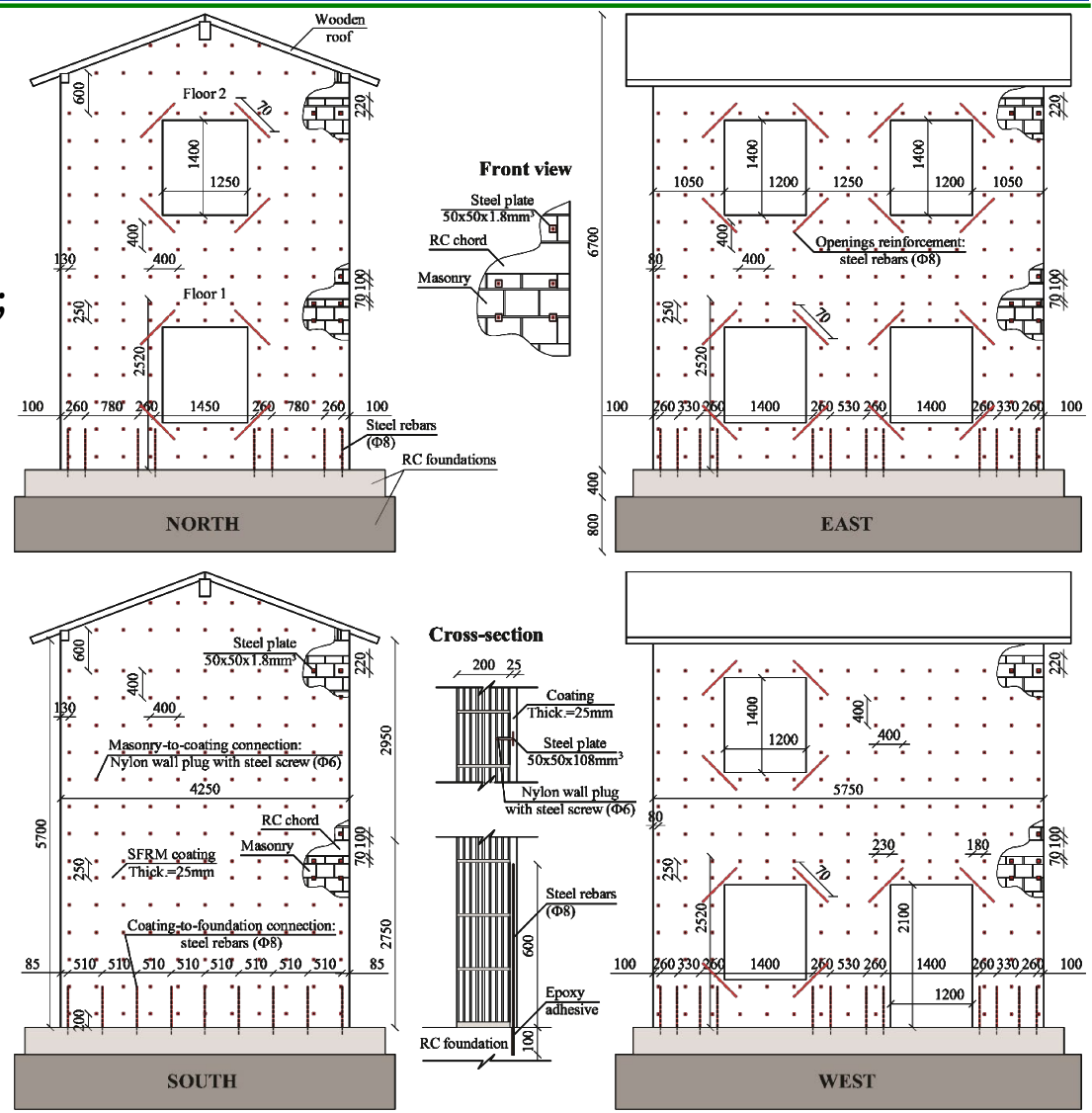


Additional reinforcement and connectors

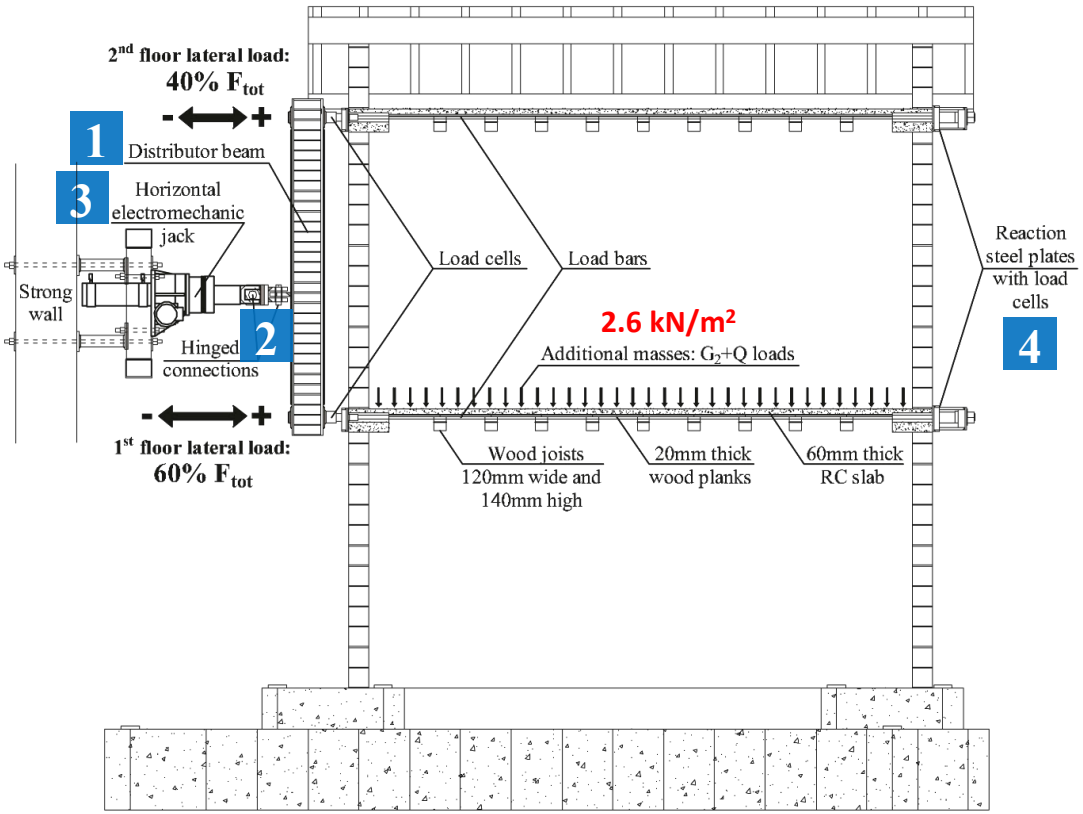
COATING-TO-FOUNDATION CONNECTIONS

- Steel rebars embedded in SFRM;
- Series of layers of SFRM up to 25 mm;
- First layer with dowels;
- Finishing and curing;
- Second layer without dowels (rough surface);
- Si



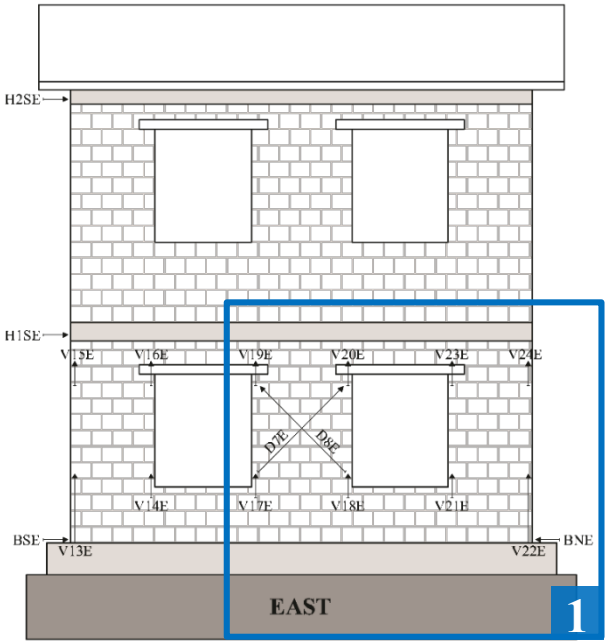


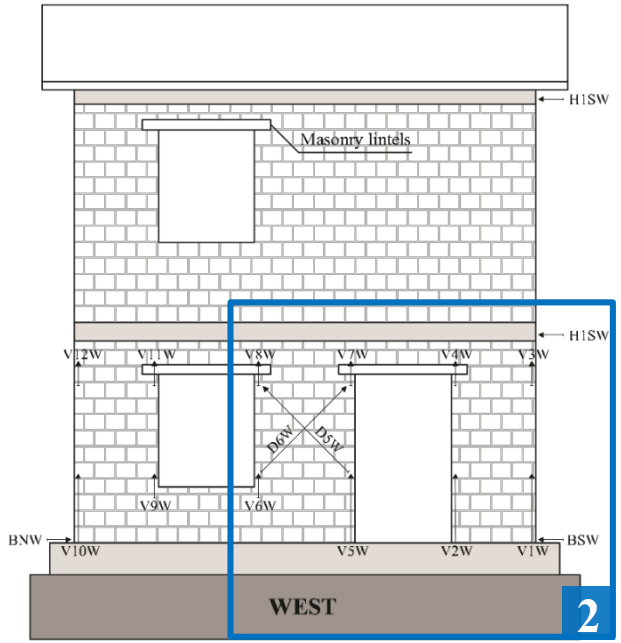
Test set-up

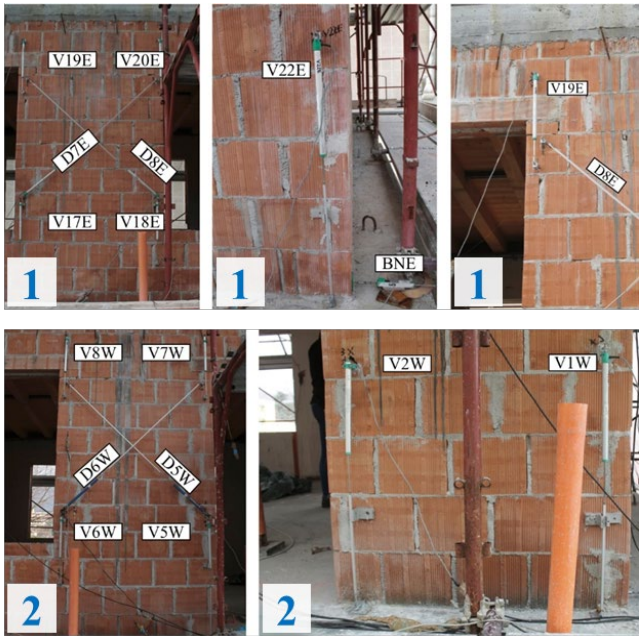


$$Drift\ (\%) = \frac{\delta_2}{h_2} = \frac{\frac{[(H2SW-BSW)+(H2SE-BSE)]}{2}}{h_2} = \frac{average\ top\ floor\ displacement}{height\ of\ 2nd\ floor\ horizontal\ load}$$

Instrumentation

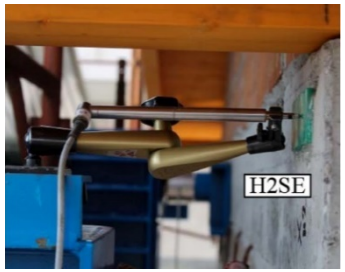


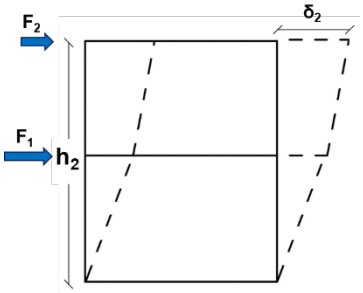




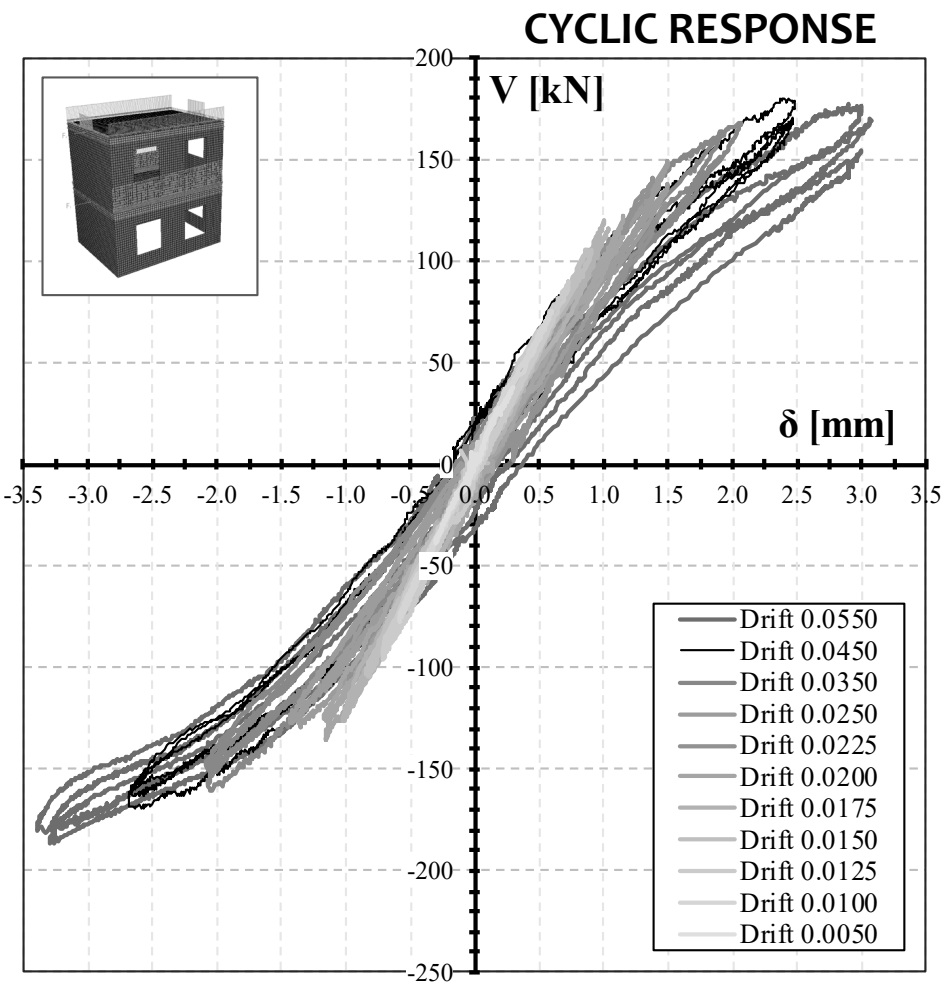
DISPLACEMENT CONTROL:

$$Drift\ (\%) = \frac{\delta_2}{h_2} = \frac{\frac{[(H2SW-BSW)+(H2SE-BSE)]}{2}}{h_2} = \frac{average\ top\ floor\ displacement}{height\ of\ 2nd\ floor\ horizontal\ load}$$





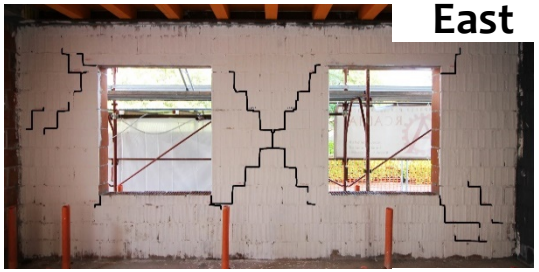
Experimental results from the un-strengthened building

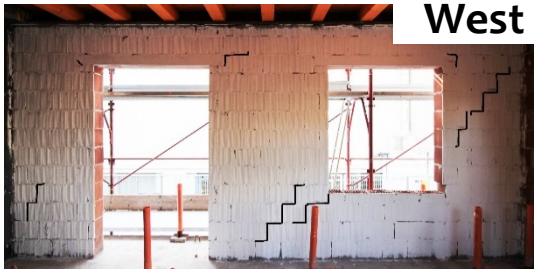


FAILURE MODE:

In-plane longitudinal wall response

Diagonal shear failure of masonry piers at ground floor

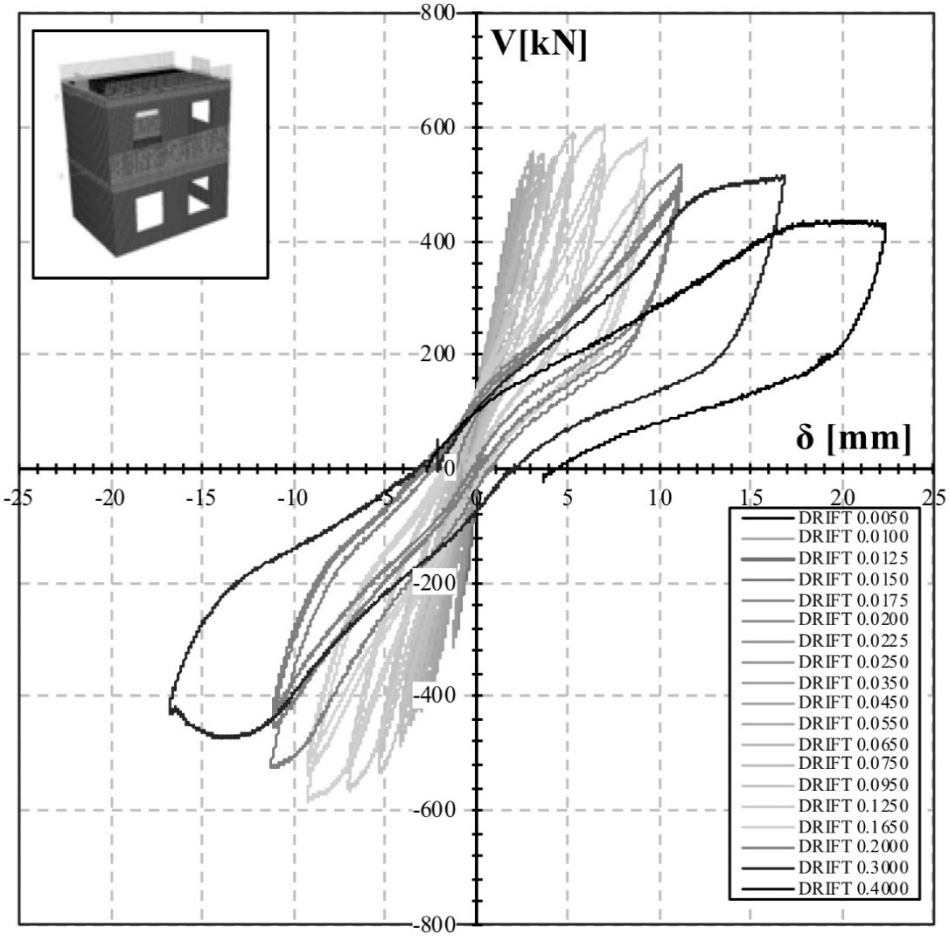




	Positive loading direction	Negative loading direction
K_S [kN/mm]	134	128
$V_{cracking}$ [kN]	120	128
V_{peak} [kN]	180	179
δ_{peak} [mm]	2.4	3.4

Experimental results from the strengthened building

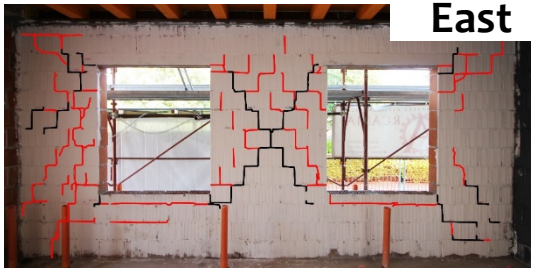
CYCLIC RESPONSE



FAILURE MODE:

In-plane longitudinal wall response

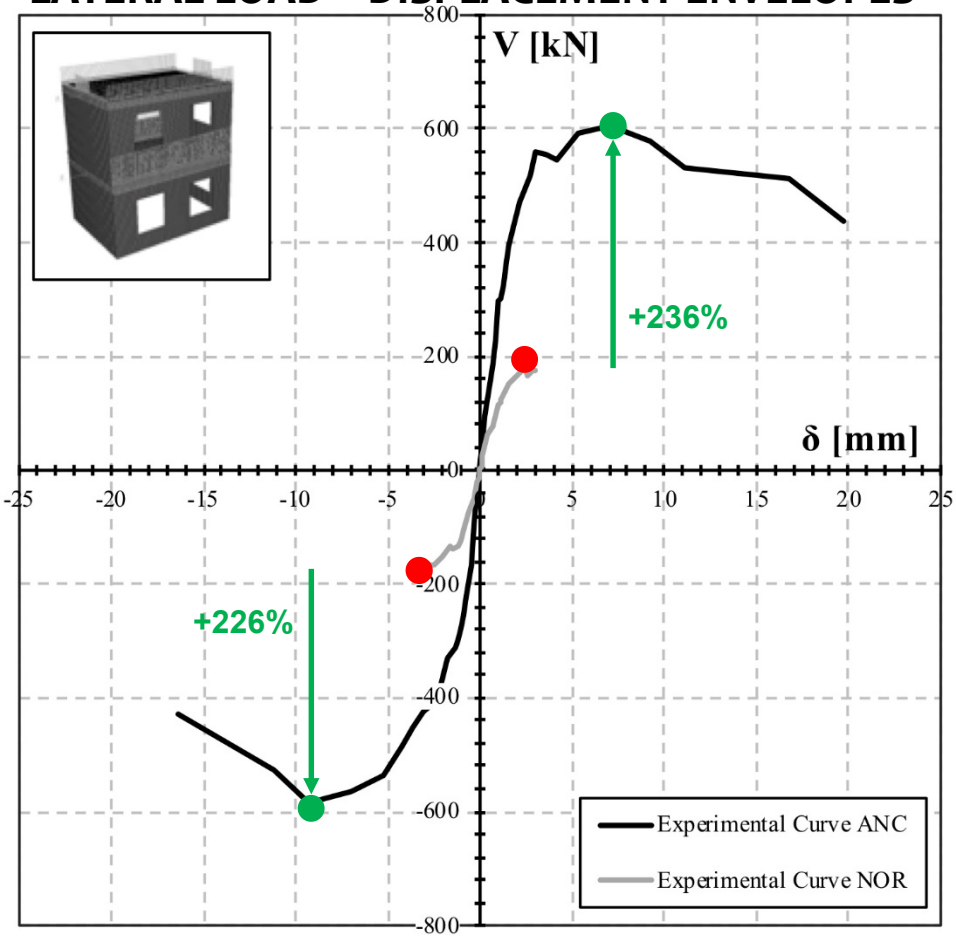
Very spread crack pattern of inner masonry piers at ground floor



	Positive loading direction	Negative loading direction
K_S [kN/mm]	348	318
$V_{cracking}$ [kN]	515	405
V_{peak} [kN]	605	584
δ_{peak} [mm]	6.99	9.22

Strengthened vs. unstrengthened response

LATERAL LOAD – DISPLACEMENT ENVELOPES

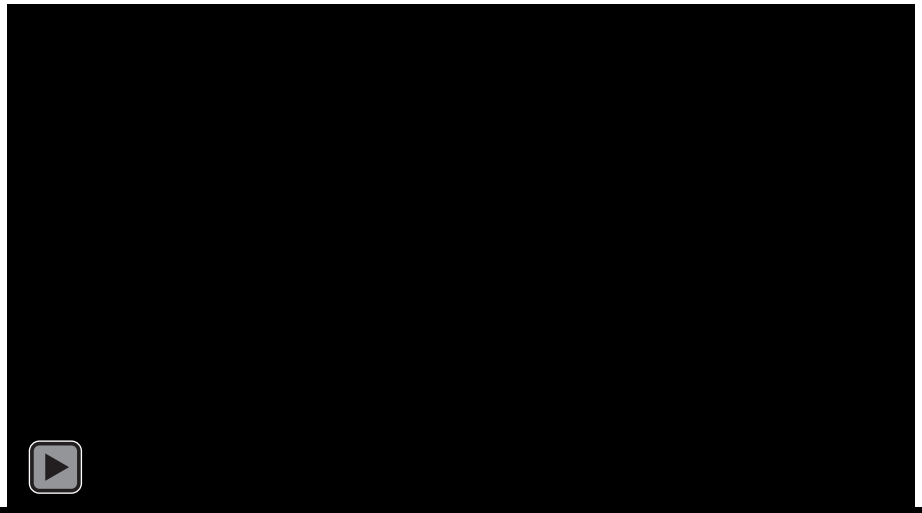


	MB	MB-R+SR
K^+_S [kN/mm]	134	348 (+160%)
K^-_S [kN/mm]	128	318 (+148%)
$V^+_{cracking}$ [kN]	120	515 (+329%)
$V^-_{cracking}$ [kN]	128	405 (+216%)
V^+_{peak} [kN]	180	605 (+236%)
V^-_{peak} [kN]	179	584 (+226%)

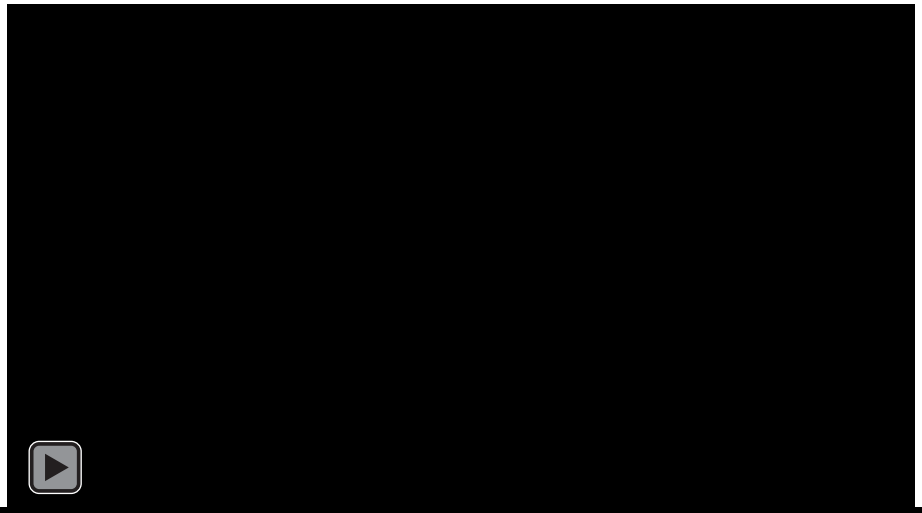
Strength and stiffness improvement provided by 25 mm of SFRM on the external surface of the building

Experimental crack development

UN-STRENGTHENED BUILDING



STRENGTHENED BUILDING



Il FRC nelle nuove NTC

11.2.12. CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO (FRC)

Il calcestruzzo fibrorinforzato (FRC) è caratterizzato dalla presenza di fibre discontinue nella matrice cementizia; tali fibre possono essere realizzate in acciaio o materiale polimerico, e devono essere marcate CE in accordo alle norme europee armonizzate, quali la UNI EN 14889-1 ed UNI EN 14889-2 per le fibre realizzate in acciaio o materiale polimerico.

La miscela del calcestruzzo fibrorinforzato deve essere sottoposta a valutazione preliminare secondo le indicazioni riportate nel precedente § 11.2.3 con determinazione dei valori di resistenza a trazione residua f_{R1k} per lo Stato limite di esercizio e f_{R3k} per lo Stato limite Ultimo determinati secondo UNI EN 14651:2007.

Per la qualificazione del calcestruzzo fibrorinforzato e la progettazione delle strutture in FRC si dovrà fare esclusivo riferimento a specifiche disposizioni emanate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Le nuove linee guida per la progettazione di elementi in FRC

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Servizio Tecnico Centrale

Linee guida per l'identificazione, la qualificazione, la certificazione d'idoneità tecnica all'impiego ed il controllo di accettazione dei fibrorinforzati FRC (Fiber Reinforced Concrete)

Elenco delle pubblicazioni scientifiche

JOURNAL ARTICLES

[1] Facconi L., Minelli F., Lucchini S. S., Plizzari G. (2018). *Experimental study of solid and hollow clay brick masonry walls retrofitted by steel fibre reinforced mortar coating. Journal of Earthquake Engineering*, 24(3), 381-402.

[2] Lucchini, S. S., Facconi, L., Minelli, F., Plizzari, G. (2020). *Retrofitting unreinforced masonry by steel fiber reinforced mortar coating: uniaxial and diagonal compression tests.* Materials and Structures, 53(6), 1-22.

[3] Lucchini, S. S., Facconi, L., Minelli, F., Plizzari, G. (2021). *Cyclic Test on a Full-Scale Unreinforced Masonry Building Repaired with Steel Fiber-Reinforced Mortar Coating*. Journal of Structural Engineering, 147(6).

NATIONAL CONFERENCE PAPERS

[1] Lucchini S. S., Facconi L., Minelli F., Plizzari G. A., *Full Scale Tests on Hollow Brick Masonry Walls Repaired with Steel Fiber Reinforced Mortar Coating.* XVII Convegno ANIDIS: "L'Ingegneria Sismica in Italia", Pistoia, 17-21 Settembre 2017, 138-144.

[2] Lucchini S. S., Facconi L., Minelli F., Plizzari G. A., *Numerical Study of a Full Scale Hollow Brick Masonry Building Strengthened with Steel Fiber Reinforced Mortar Coating.* XVII Convegno ANIDIS: "L'Ingegneria Sismica in Italia", Pistoia, 17-21 Settembre 2017, 145-153.

[3] Lucchini, S. S., Facconi, L., Minelli, F., Plizzari, G. A., *Retrofitting Masonry Buildings by Steel Fiber Reinforced Mortar Coating: from the experimental tests to a practical design approach*. XVIII Convegno ANIDIS: "L'Ingegneria Sismica in Italia", Ascoli Piceno, 15-19 Settembre 2019, 136-142.

INTERNATIONAL CONFERENCE PAPERS

[1] Lucchini S.S., Facconi L., Minelli F., Plizzari G.A., *Retrofitting a full-scale two-story hollow clay block masonry building by Steel Fiber Reinforced Mortar coating*. ACI-fib-RILEM Joint Workshop "Fibre Reinforced Concrete: from Design to Structural Applications", Desenzano, 28-30 Giugno 2018.

Tesi di laurea magistrale

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

[1] Luca Ferrari, Studio numerico sul comportamento sismico di edifici esistenti in muratura rinforzati con intonaci innovativi . *A.A. 2015/2016.*

[2] Paolo Bodei e Luca Remigi, Intonaci fibrorinforzati per il miglioramento sismico di edifici esistenti in muratura: studio sperimentale. A.A. 2016/2017

[3] Silvia Martini e Roberto Vecchi, Rinforzo sismico di un edificio in muratura in scala reale con intonaci armati fibrorinforzati. A.A. 2016/2017

[4] Samuele Bedussi e Stefano Toninelli, Intonaci armati fibrorinforzati per il rinforzo sismico di edifici esistenti in muratura: studio sperimentale. A.A. 2016/2017

[5] Gessica Valentina Paterlini, Studio sperimentale su edificio in muratura in scala reale rinforzato con intonaci innovativi fibrorinforzati. A.A. 2017/2018

[6] Alessandro Cavalleri, Comportamento della muratura rinforzata con intonaci fibrorinforzati: studio analitico e sperimentale. A.A. 2018/2019

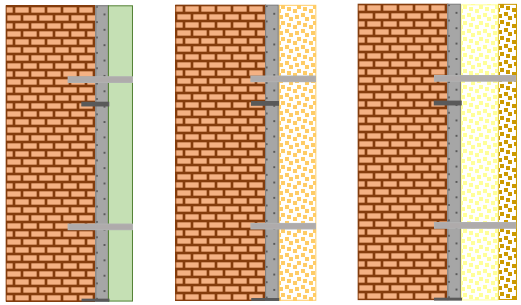
[7] Alessandro Roviaro, Out-of-plane behaviour of masonry walls retrofitted with steel fibre reinforced mortar coating. A.A. 2019/2020

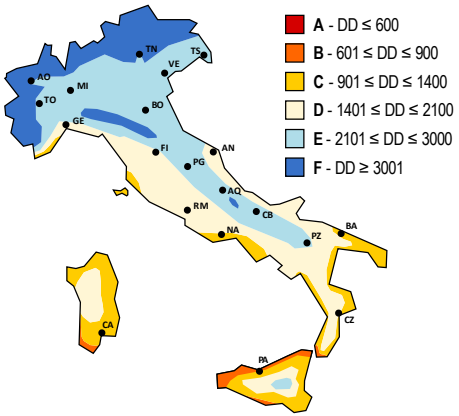
[8] Bergoli Matteo, Studio del comportamento nel piano e fuori piano di edifici in muratura rinforzati con intonaci fibrorinforzati . A.A. 2019/2020

[9] Debora Pagnoni, Studio numerico e sperimentale del comportamento fuori piano di edifici in muratura rinforzati con intonaci fibrorinforzati. A.A. 2019/2020

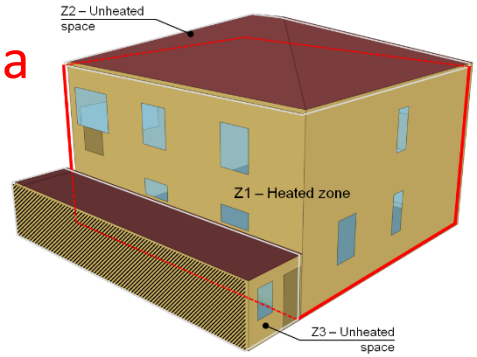
Sismacomf H&W - Riqualificazione energetica

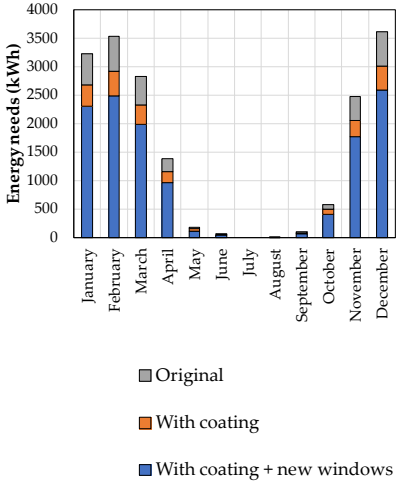
- Analisi delle caratteristiche degli edifici in muratura costruiti in Italia tra gli anni ‘60 e ’90
- Valutazione di tre diverse soluzioni di cappotto: scelta spessore (5-12 cm) e materiale (aerogel/fibra di legno) in relazione alle zone climatiche italiane
- Simulazioni per la stima dei ponti termici dovuti ai connettori per il fissaggio
- Simulazioni su un caso test per determinare la riduzione dei consumi energetici invernali





Sono stati già presentati due articoli a conferenze nazionali del settore.





ARMOX®
REVOLUTIONARY ANTI-SEISMIC TECHNOLOGY

tri
tecnologia e ricerca italiana®

Delta Phœnix®
Refrattari Speciali - *Special Refractories*
Divisione Edilizia - *Civil Department*

LA COLLABORAZIONE AZIENDA – UNIVERSITA'

Tecnologia e Ricerca Italiana, Delta Phoenix srl e Studio AIRCON, sono aziende che rappresentano in maniera virtuosa il costruttivo rapporto di collaborazione tra Università ed Imprenditoria. Il primo progetto risale al 2002 e ha permesso di raggiungere risultati straordinari sia sul piano della ricerca scientifica che del ritorno di mercato.

UNIVERSITA'	AZIENDE
80 tesi magistrali e triennali	4 prodotti innovativi nanocompositi studiati in azienda e ottimizzati grazie al contributo dell'Università
25 articoli scientifici su riviste internazionali	Visibilità internazionale che ha permesso di instaurare rapporti di collaborazione con multinazionali quali SHELL&EXXON MOBIL, NAM, MAPEI, HENKEL, SAINT GOBAIN, ARUP, BASF, SABIC
6 Dottorati di Ricerca	1 Brevetto industriale
5 progetti di finanziamento a fondo perduto italiani ed europei (POR-FESR, LIFE, HORIZON 2020)	Vincitori dello startup challenge del WORLD MATERIALS FORUM di Nancy del 2019

Perché armox® Sta Rivoluzionando il mondo dell'edilizia?

ARMOX® è il primo intonaco nano-composito al mondo che, grazie alla tecnologia brevettata, rivoluziona le modalità di consolidamento sismico degli edifici.

Il progetto di ricerca inizia nel 2009 come proseguo del Dottorato di Ricerca in Materiali per l'Ingegneria dell'ing. Stefano Sacrato e vede l'entrata nel mercato del prodotto nel 2020 grazie al Certificato di Valutazione Tecnica con cui il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici certifica ARMOX come il primo intonaco strutturale per il consolidamento sismico di edifici in muratura e pietra.

Il suo ingresso sul mercato ha suscitato subito forte interesse, complici anche gli incentivi fiscali presenti in Italia (Sismabonus e Superbonus 110%).

ARMOX® consente di riqualificare sismicamente gli edifici in tempi brevissimi: è necessario semplicemente rimuovere il vecchio intonaco e ripristinarlo con questa **straordinaria tecnologia** negli spessori originali dell'intonaco esistente.

ARMOX® ha stravolto il mercato del sismabonus elevato al 110%. Le imprese sin subito hanno colto l'opportunità in quanto è l'unico materiale certificato per poter essere applicato solo su un lato della muratura. Per nulla invasivo, l'intervento consente inoltre di creare un supporto perfettamente ocmpatibile al cappotto termico consentendo una riqualificazione completa degli edifici.

Qual'è il mercato di armox®?

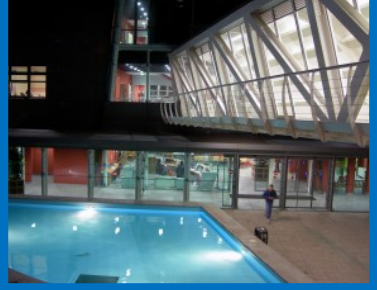
ARMOX® trova impiego negli edifici in muratura e pietra, strutture che occupano circa l'80% del territorio italiano. La divulgazione delle informazioni tecnico/commerciali ed i proficui incontri con professionisti ed imprese, hanno dato origine ad interventi mirati ai **villaggi Padre Marcolini** presenti nella provincia di Brescia. Questi consolidamenti non sono passati inosservati, tant'è che l'interesse ha portato ARMOX alla **riqualificazione di edifici storici e palazzi vincolati**, trovando impiego su larga scala.

ARMOX® oggi viene utilizzato anche **nelle zone colpite dal sisma**, perché oltre a prevenire la distruzione dei terremoti, consente di ripristinare quegli edifici lesionati proteggendo e rigenerando ciò che abbiamo di più caro.

ARMOX® ha avuto un impatto esplosivo sul mercato. La facilità di applicazione e la velocità di consolidamento senza precedenti, ha generato una richiesta esponenziale del materiale. Gli interventi per nulla invasivi, ad oggi, assorbono **17.000 mq/mese** di intonacatura.

Tutto questo è stato possibile anche grazie all'eccezionale rapporto che TRI e Delta Phoenix all'Università di Brescia, collaborazione che dopo vent'anni si può dire solo all'inizio.

Department of
Civil, Architectural,
Environmental,
Land Planning
Engineering and
Mathematics



UNIVERSITY
OF BRESCIA

Grazie per la Vostra attenzione!!