Tecnologie per la riduzione del rischio sismico sugli edifici.
Non solo SuperBonus

26 gennaio 2022

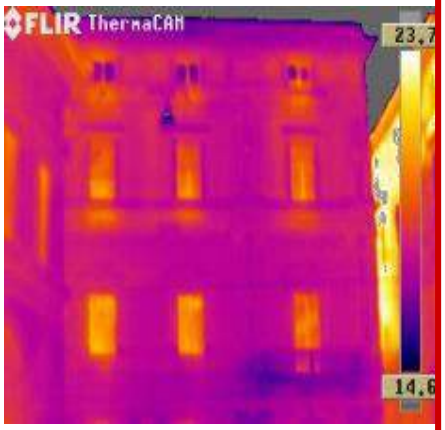
Tecnologie di intervento integrate e a bassa invasività per il miglioramento sismico delle costruzioni

Dott. Luca Pozza

CIRI EC – Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

Danni provocati dai terremoti dal 1944 al 2013: **188 Mld (2,7 Mld l'anno)**

Zone a rischio sismico 1,2,3:
11,1 Mln di edifici



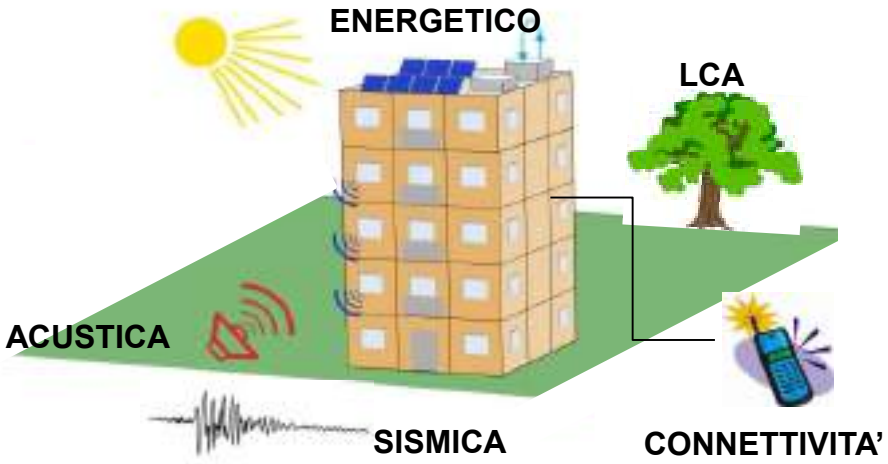
Nel 2017 il solo settore residenziale ha rappresentato il 27,2% dell'energia finale consumata; in particolare, il 64% del consumo energetico era legato al riscaldamento degli ambienti, a causa del basso isolamento termico. Il 75% degli edifici dell'UE e oltre l'80% dei residenziali sono stati costruiti prima del 1990, vale a dire prima dell'applicazione della maggior parte delle normative energetiche dell'UE

APPROCCIO INTEGRATO PER RIQUALIFICAZIONE DEGLI EDIFICI ESISTENTI

TECNOLOGIE DI INTERVENTO CON «LIMITATA INTERRUZIONE D'USO» DEL FABBRICATO

TECNOLOGIE SMART PER IL CONTROLLO E LA GESTIONE DEL FABBRICATO

TECNOLOGIE INFORMATIZZATI PER LA PROGETTAZIONE E GESTIONE DELL'INTERVENTO BASETE SUL SISTEMA «BIM»



POR-FESR 2014-2020

ASSE 1 Ricerca e Innovazione

Azione 1.2.2 Supporto alla realizzazione di progetti complessi di attività di ricerca e sviluppo su poche aree tematiche di rilievo e all'applicazione di soluzioni tecnologiche funzionali alla realizzazione della strategia di S3

Bando per progetti di ricerca industriale strategica rivolti agli ambiti prioritari della Strategia di Specializzazione Intelligente

EDILIZIA E COSTRUZIONI	
Conservazione e valorizzazione del patrimonio costruito, storico ed artistico	1. Migliorare le prestazioni del patrimonio costruito attraverso l'utilizzo di materiali smart ecosostenibili (o di nuova generazione)
	2. Manutenzione predittiva, preventiva e programmata per la conservazione, il recupero e il restauro
	3. Building Information Modeling (BIM): digitalizzazione del processo edilizio applicata al patrimonio costruito
Efficienza energetica e sostenibilità in edilizia	4. Nuovi materiali e componenti edilizi a basso impatto per edifici sostenibili
	5. Edifici decarbonizzati e reti efficienti
	6. Incremento della resilienza degli edifici e rigenerazione urbana
Sicurezza delle costruzioni e delle infrastrutture civili	7. Miglioramento della sicurezza del patrimonio esistente
	8. Tecnologie innovative per un'edilizia industrializzata
	9. Sicurezza, resilienza e gestione intelligente delle reti infrastrutturali

Sistemi di specializzazione industriale
Agroalimentare
Edilizia e costruzioni
Meccatronica e Motoristica
Industrie salute e benessere
Industrie culturali e creative
Industria del turismo
Energia e Sviluppo Sostenibile
Innovazione nei servizi

Europa più intelligente	Europa più verde	Europa più connessa	Europa più sociale	Europa più vicina ai cittadini

15 AMBITI TEMATICI CROSS SETTORIALI

1. Energia pulita, sicura e accessibile
2. Economia circolare
3. Clima e risorse naturali (aria, acqua, territorio)
4. Blue growth
5. Innovazione nei materiali
6. Digitalizzazione, intelligenza artificiale, big data (imprese e PA)
7. Manufacturing 4.0 e future evoluzioni
8. Connettività di sistemi a terra e nello spazio
9. Mobilità e motoristica sostenibile e innovativa
10. Città e comunità del futuro
11. Patrimonio territoriale e identità regionale: beni e contenuti culturali, attività creative, turismo e prodotti Made in E-R
12. Benessere della persona, nutrizione, stili di vita
13. Salute
14. Innovazione sociale e partecipazione
15. Inclusione e coesione sociale: educazione, lavoro e territori

AREE PRODUTTIVE AD ALTO POTENZIALE DI SVILUPPO

- Aerospazio
- Progettazione, realizzazione e gestione di infrastrutture critiche

SIAMO PARTITI DA….

SOLUZIONI A PARETI – CONTROVENTI ESTERNI

Soluzione a parete e a guscio (Marini et al., 2016)

TIMESAFE

Tecnologie integrate ed innovative a limitato impatto ed invasività per il miglioramento sismico degli edifici senza interruzione d'uso

COORDINATORE

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE
DI RICERCA INDUSTRIALE EDILIZIA E COSTRUZIONI

Responsabile scientifico:
Prof. Marco Savoia

PARTNER

TekneHub

CENTRO CERAMICO Bologna

IUAV

UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MODENA E REGGIO EMILIA
Centro Interdipartimentale di Ricerca e per i servizi nel settore delle Costruzioni e del Territorio - CRICT

AZIENDE PARTNER

ATMA engineering

FIBRE NET composite engineering

SAFE CERTIFIED STRUCTURE
fratelli possibile

FILI&FORME

PANARIAgroup

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
UNIMORE
TekneHub
IUAV
CENTRO CERAMICO

www.timesafe.it

COSA È TIMESAFE?

Il progetto ha sviluppato tecnologie innovative in un ambito TRAINANTE del settore edilizio attuale incentivato da azioni di sostegno messe in atto a livello nazionale.

Tutte le tecnologie sviluppate risultano applicabili nel contesto della riqualificazione integrata del costruito esistente

COSA È TIMESAFE?

«Tecnologie integrate ed innovative a limitato impatto ed invasività per il miglioramento sismico degli edifici senza interruzione d'uso»

TIMESAFE

A COMUNE DENOMINATORE:

- **Basso impatto degli Interventi**: *tempo ridotto* per la messa in opera;
- **Customizzazione**: per poterli adattare a vari contesti edilizi: messa in opera per fasi successive e senza limitare significativamente l'uso della costruzione, sia in edifici residenziali che pubblici, da parte dei residenti o degli utenti;
- **Tecnologie efficaci per edifici residenziali e pubblici**: gli interventi possono essere *coordinati* con altri interventi di rigenerazione del patrimonio edilizio ed *integrati* con *nuove impiantistiche e sistemi di monitoraggio*.

PRINCIPALI ATTIVITÀ E TECNOLOGIE

a. PARETI CON CASSERI COIBENTANTI
- CIRI-EC - ATMA Engineering - Fili&Forme

→ Interventi sulle facciate esterne

b. PANNELLI DI LEGNO INGEGNERIZZATI
- CIRI-EC - Coop FratellièPossibile – Fibrenet

→ Interventi interni a livello di solaio o parete

c. SISTEMI DI MONITORAGGIO INTEGRATO
- CRICT – UNIMORE - Sacertis

→ Controllo di parametri significativi del fabbricato

d. CERAMICHE A BASSO SPESSORE CON MEMBRANE DISACCOPPIANTI
- Centro Ceramico - Panaria Group

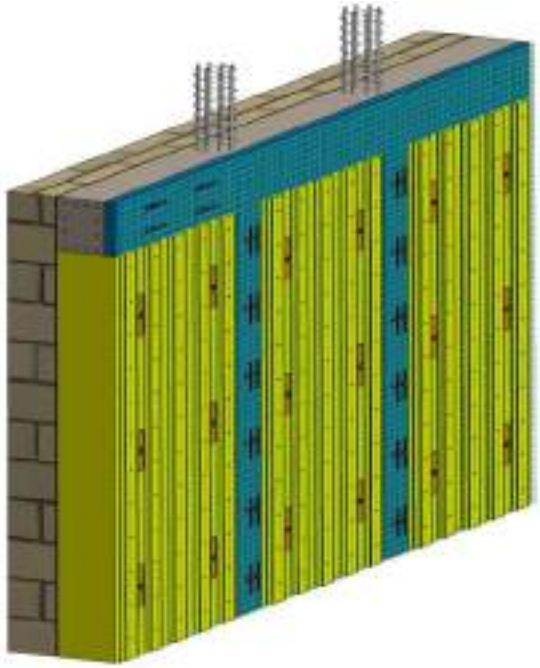
→ Sistema integrato con le tecnologie di consolidamento

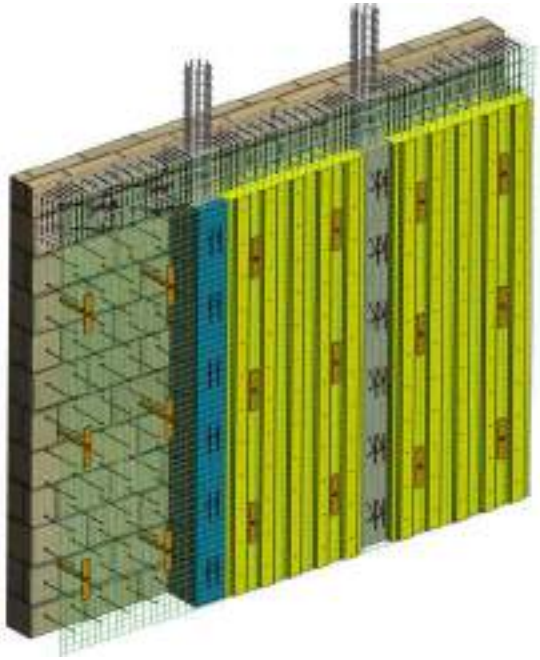
e. STRUMENTI PER LA PROGETTAZIONE INTEGRATA
- IUAV

→ Strumenti di progetto delle tecnologie sviluppati in coerenza con il sistema normativo

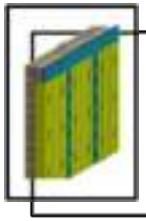
PARETE CON CASSERI COIBENTANTI

Sistema innovativo di rinforzo esterno dei fabbricati basato sull'utilizzo di casseforme coibentanti in polistirene con armature metalliche integrate e getti di calcestruzzo e relativo sistema di collegamento alle strutture portanti.

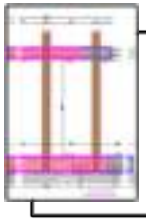




PARETE CON CASSERI COIBENTANTI
PRINCIPALI ATTIVITÀ



Definizione della geometria del modulo a gabbia e ottimizzazione del sistema mediante approccio multidisciplinare



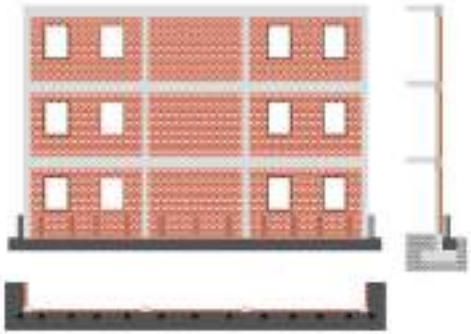
Progettazione delle campagna sperimentale

Realizzazione dei telai

Esecuzione delle prove sperimentali

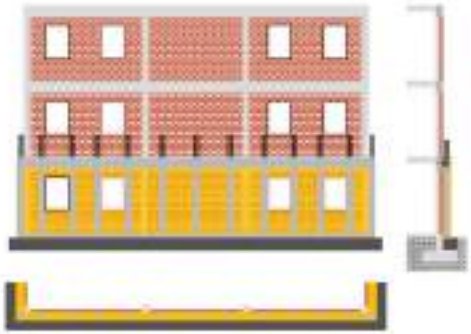
PARETE CON CASSERI COIBENTANTI

Sono state analizzate le **FASI COSTRUTTIVE** e di applicazione del sistema



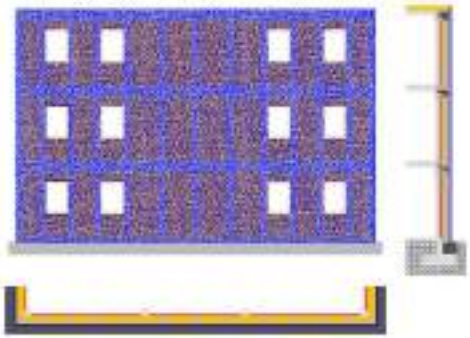
STEP 1

Getto del nuovo cordolo di fondazione ed eliminazione di tutte le interferenze in facciata (impianti, scarichi).



STEP 2

Installazione dei moduli in EPS; posa delle armature; getto del frame di rinforzo, piano per piano.

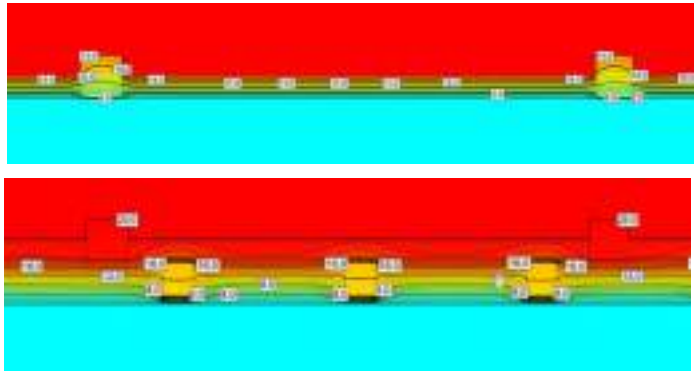


STEP 3

Intonacatura esterna e finitura.

PARETE CON CASSERI COIBENTANTI

Sono state effettuate delle ANALISI TERMICHE pre e post INTERVENTO per valutarne nell'efficacia

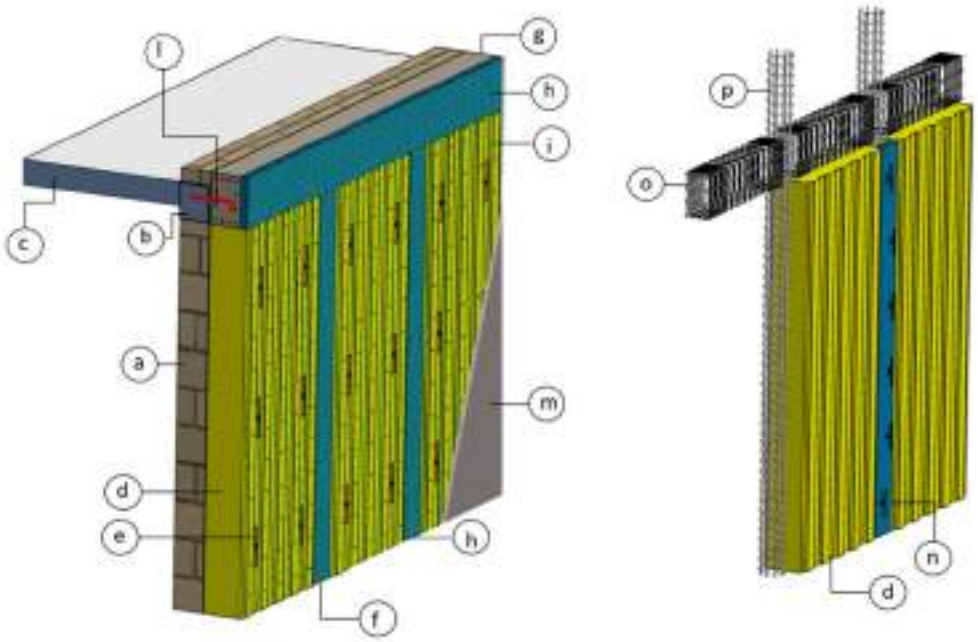


PRE-INTERVENTO
U= 1.86 W/m^{2}K)
T_{min} = 11.5°C

POST-INTERVENTO
U= 0.15 W/m^{2}K)
T_{min} = 19.5°C

- ✓ Significativo aumento dell'isolamento termico
- ✓ Nessun fenomeno di condensa solo se i pilastri e i cordoli sono rivestiti con <u>almeno 5cm di isolante</u>

LAYOUT DEL SISTEMA

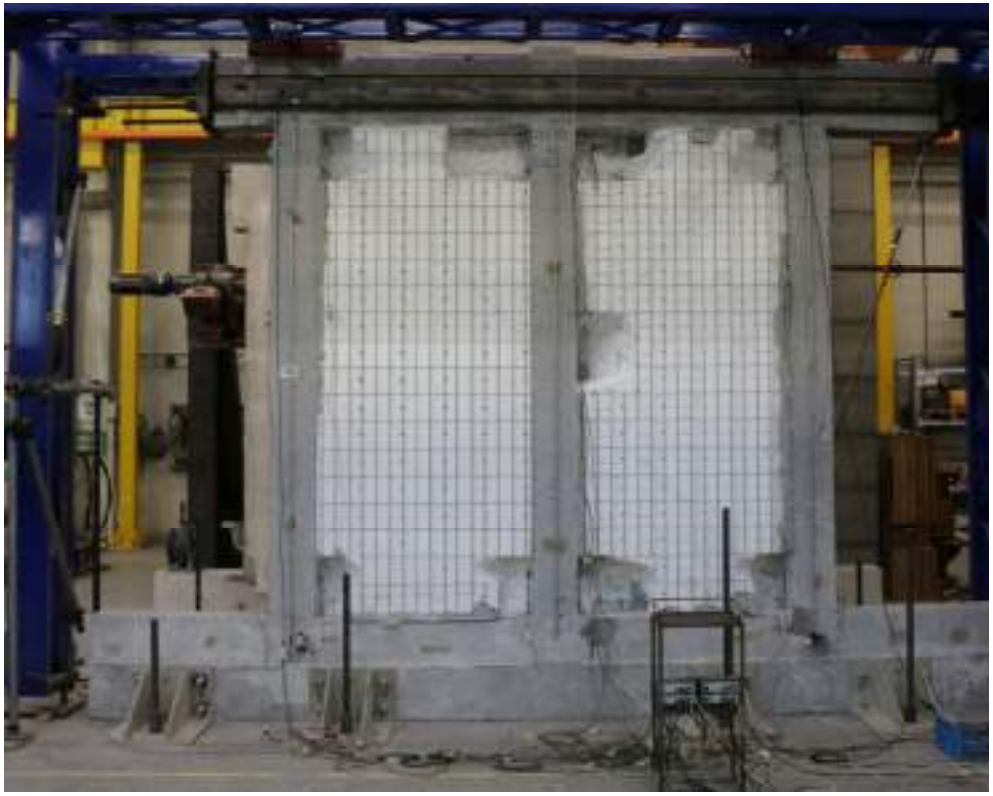


a Existing structure
b Perimeter beam
c Existing floor
d EPS modules
e EPS to Existing structure connection point
f Column of RC-framed skin
g Cross beam of RC-framed skin
h EPS layers
l Plaster steel mesh
l RC-frame to existing structure anchors
m Plaster
n Plaster to RC-frame connection
o RC-frame Cross Beam reinforcement with rectangular stirrups
p RC-frame column reinforcement with continuous spiral

PARETE CON CASSERI COIBENTANTI

PARETE CON CASSERI COIBENTANTI

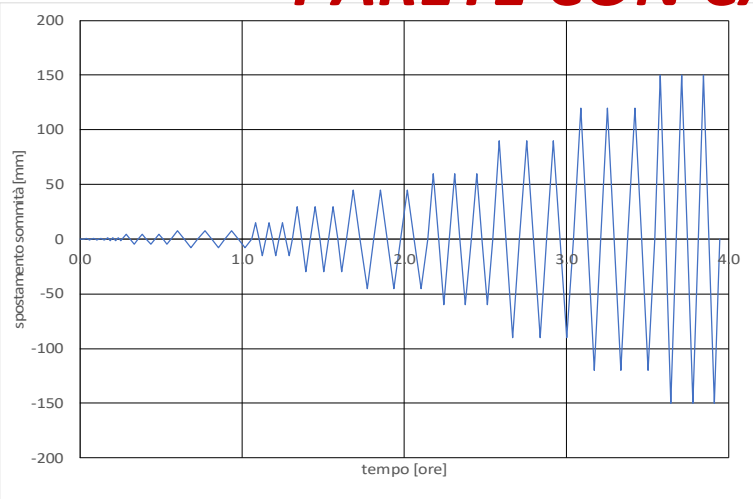
PARETE CON CASSERI COIBENTANTI

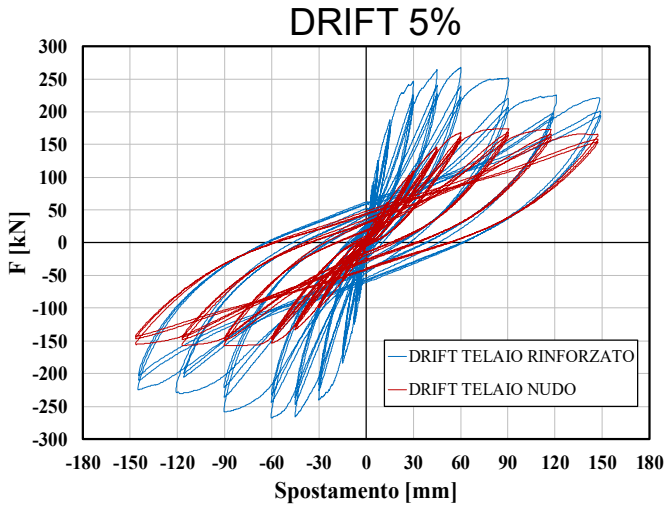


Prospetto DX

Prospetto SN

PARETE CON CASSERI COIBENTANTI



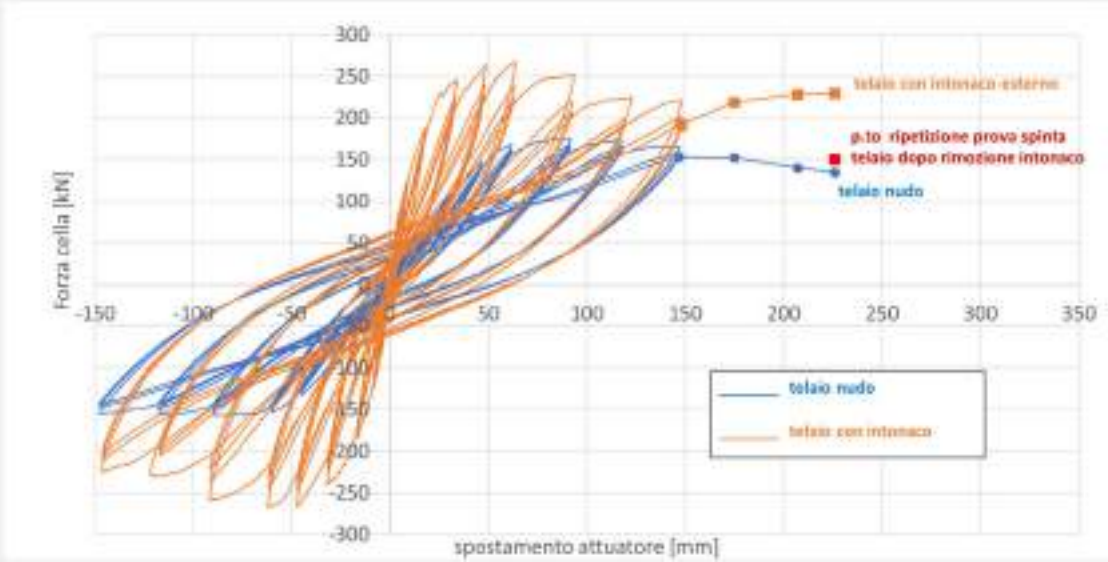


Medesimo protocollo di carico ciclico per caratterizzare il telaio nudo ed il telaio completo di soletta di rinforzo

Spostamento	Drift	Velocità (mm/sec)	Numero di cicli
± 0,5 mm	± 0,017%	0,02	1 ciclo
± 1 mm	± 0,034%	0,025	3 cicli
± 1,5 mm	± 0,05%	0,025	3 cicli
± 4,5 mm	± 0,15%	0,05	3 cicli
± 7,5 mm	± 0,25%	0,05	3 cicli
± 15 mm	± 0,5%	0,2	3 cicli
± 30 mm	± 1%	0,3	3 cicli
± 45 mm	± 1,5%	0,3	3 cicli
± 60 mm	± 2%	0,5	3 cicli
± 90 mm	± 3%	0,6	3 cicli
± 120 mm	± 4%	0,8	3 cicli
± 150 mm	± 5%	1,25	3 cicli

Drift = Spostamento della trave in sommità - Spostamento della trave di fondazione.

PARETE CON CASSERI COIBENTANTI



Per verificare la risposta del sistema a grandi spostamenti si è eseguito, al termine della prova ciclica una prova di spinta fino al drift del 7% circa.
Il contributo resistente dell'intonaco permane anche con grandi spostamenti.
Rimosso l'intonaco la risposta dei telai nudi testati nelle due prove coincide.

La presenza dell'intonaco esterno:

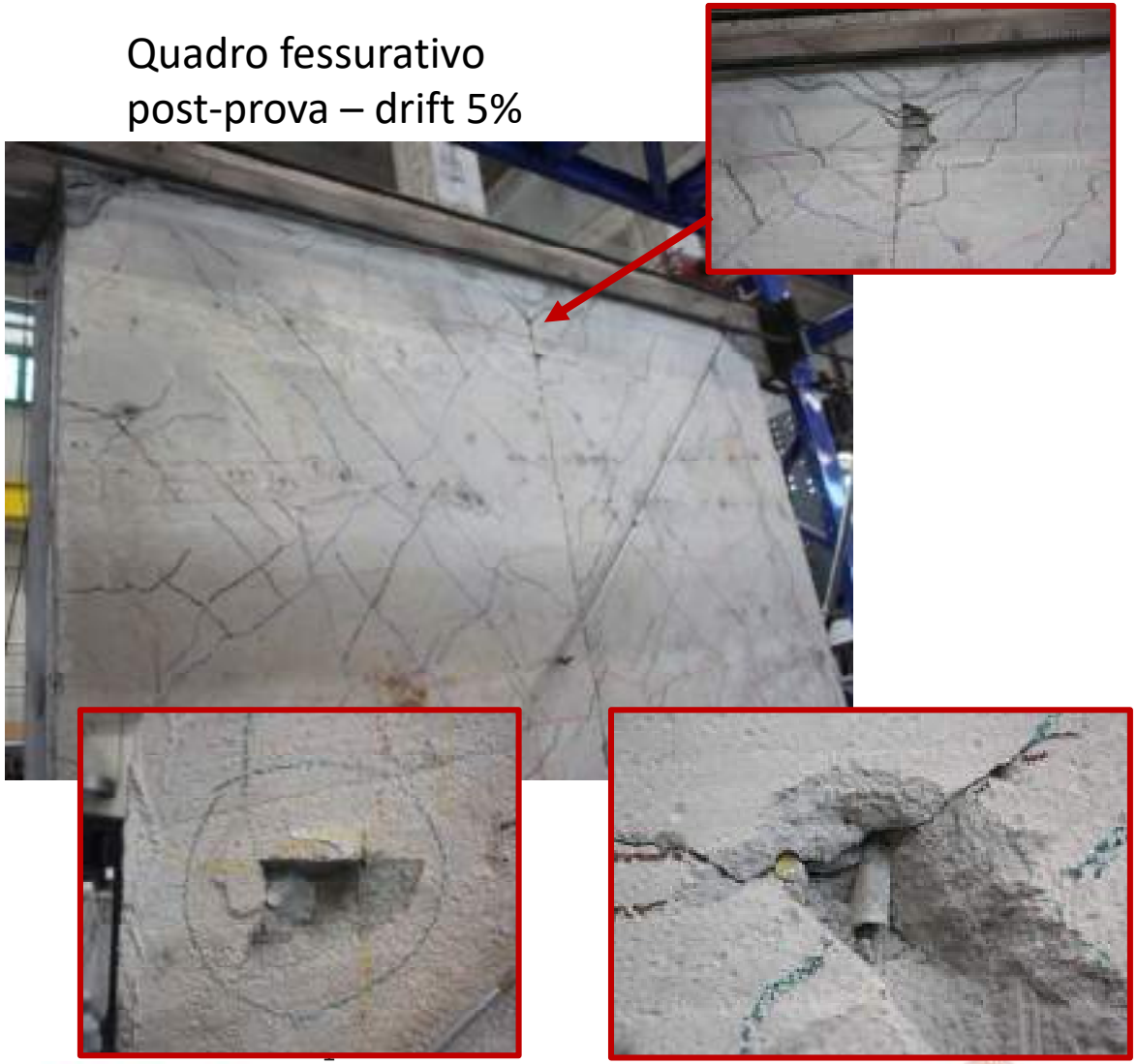
- **Irrigidisce** significativamente il sistema: la rigidezza elastica risulta più che raddoppiata;
- Incrementa la **resistenza** in condizioni di esercizio (circa di un fattore 2) oltre che incrementare anche la **dissipazione energetica**.

PARETE CON CASSERI COIBENTANTI

Prospetto SN

Quadro fessurativo pre-prova

Quadro fessurativo post-prova – drift 5%



PARETE CON CASSERI COIBENTAN

TELAIO CON SOLETTA

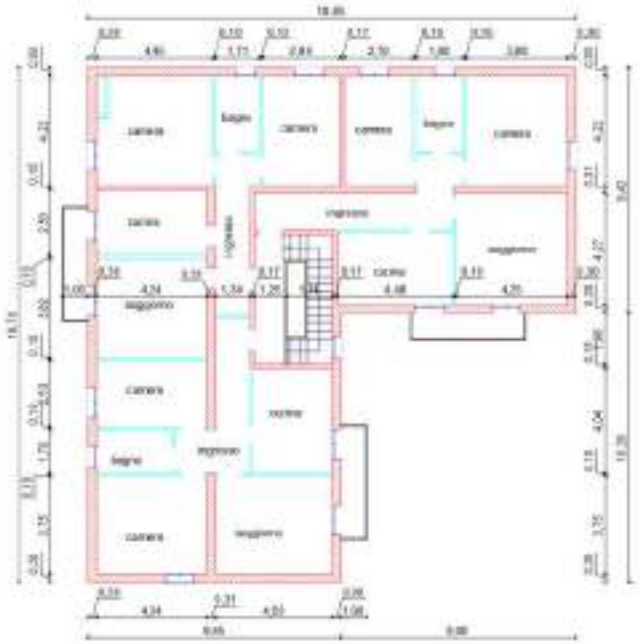
Prospetto DX

PROTOTIPO DI PARETE CON CASSERI COIBENTANTI

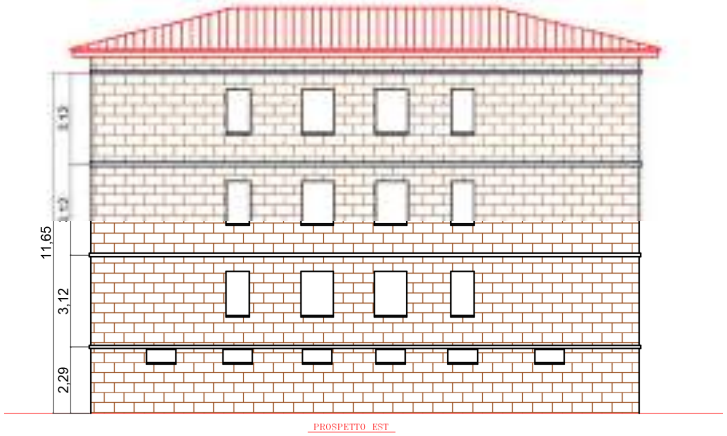
MODALITÀ DI ROTTURA TELAIO CON SOLETTA

CASO DI STUDIO IN MURATURA

Edificio residenziale per civile abitazione, ubicato in Emilia-Romagna e avente pianta ad “L”, sviluppato su tre livelli e avente aperture differenti tra piano terra e piani superiori.



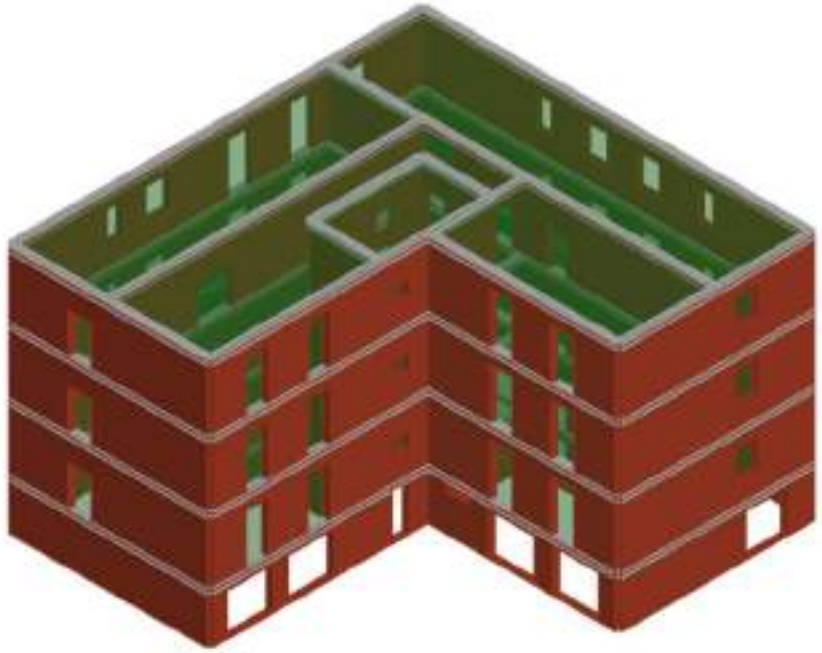
PROSPETTO EST



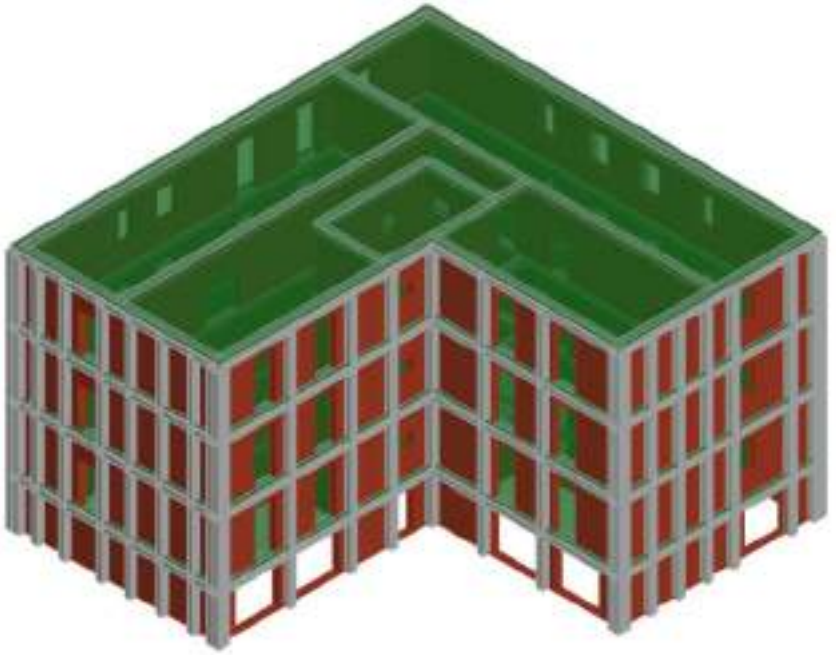
PROSPETTO OVEST

CASO DI STUDIO IN MURATURA

3D – Vista Assonometrica modello PRE - intervento:

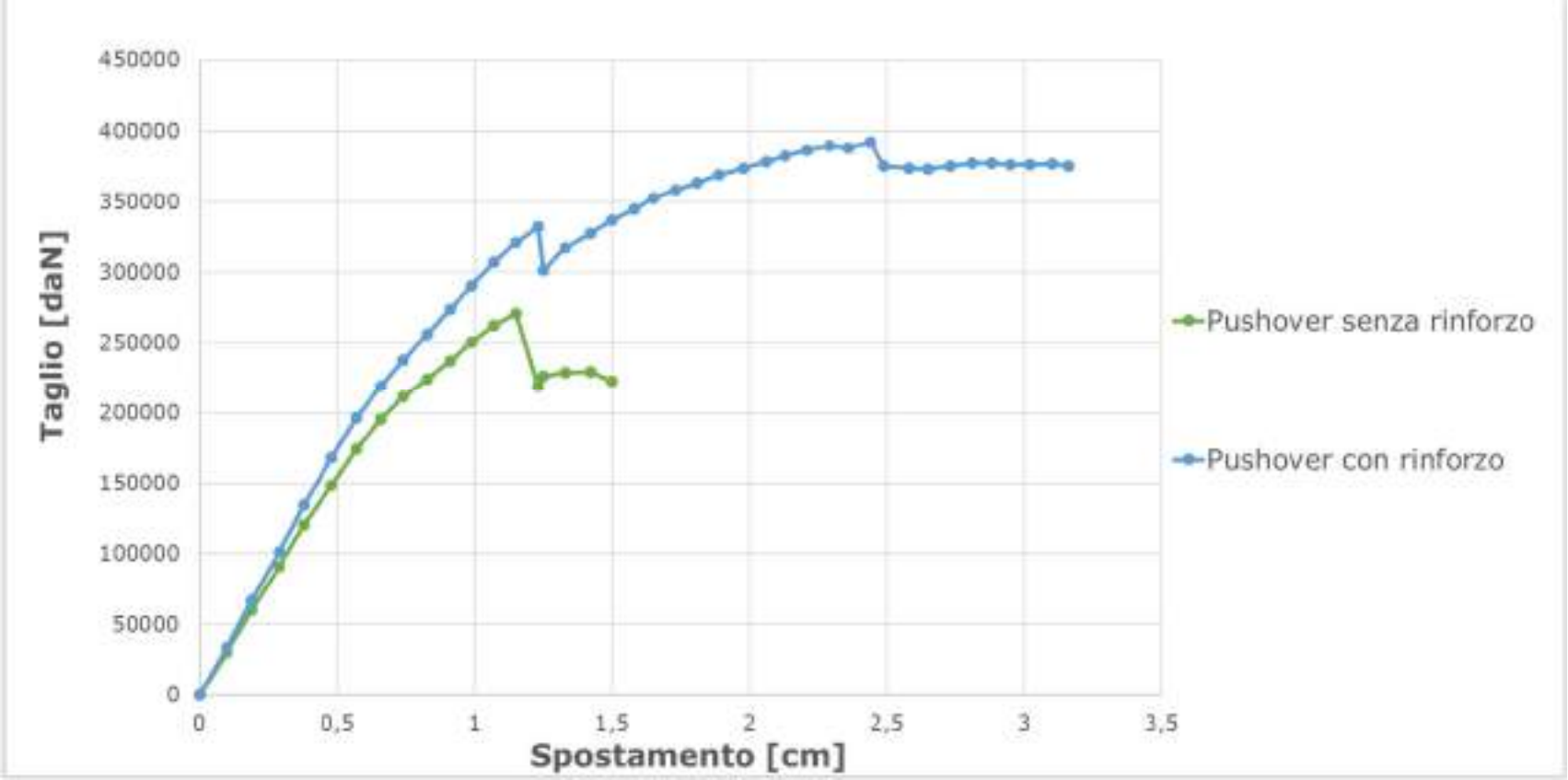


3D – Vista Assonometrica modello POST - intervento:



CASO DI STUDIO IN MURATURA

Confronto ANALISI PUSHOVER – esempio Analisi più gravosa

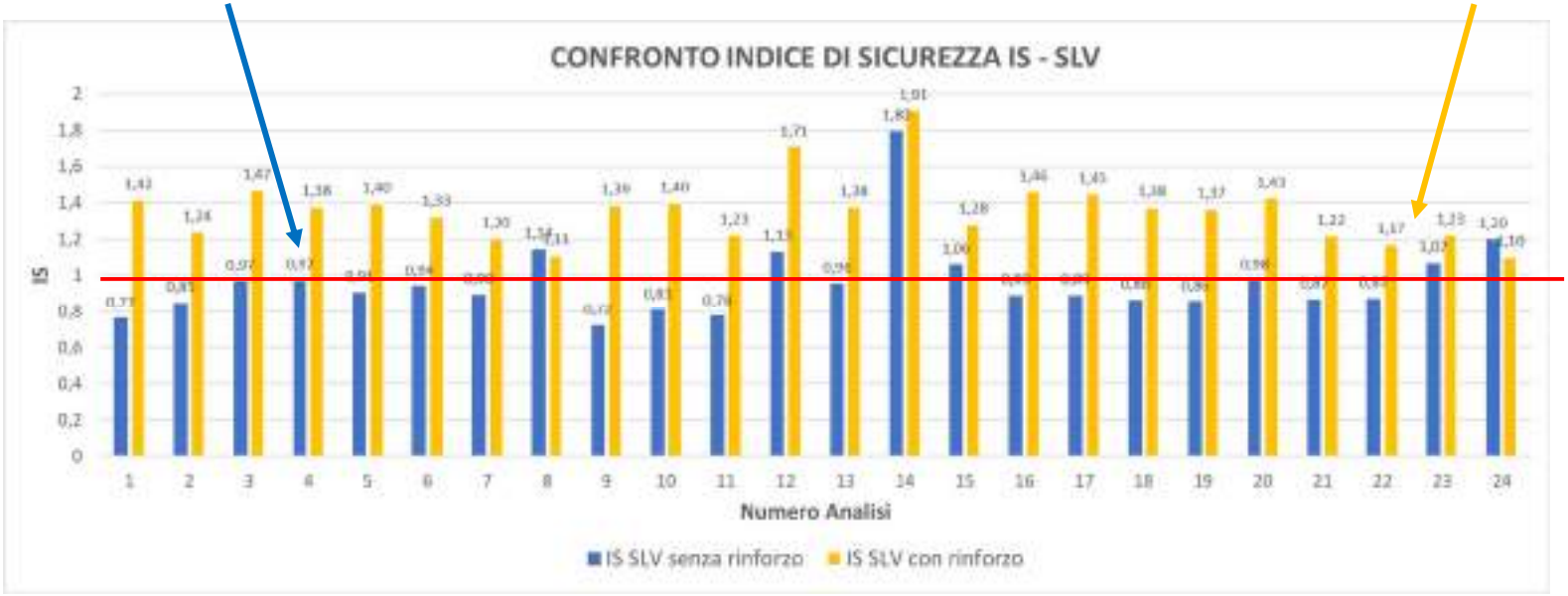


CASO DI STUDIO IN MURATURA

RISULTATI INDICE DI SICUREZZA

IS < 1 PRE-INTERVENTO

IS > 1 POST-INTERVENTO



CONCLUSIONI

LA VERIFICA MULTIPRESTAZIONALE DEL SISTEMA HA CONSETITO DI VERIFICARE TUTTE LE PESTAZIONI IN UN CASO APPLICATIVO RAPPRESENTATIVO.

LA FASE DI PROTOTIPIZZAZIONE HA CONSETITO DI:

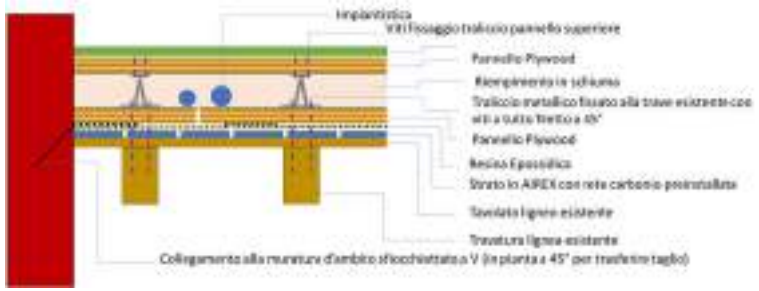
- **verificare la fattibilità della tecnologia;**
- individuare **metodologie operative** per la realizzazione in opera del sistema.

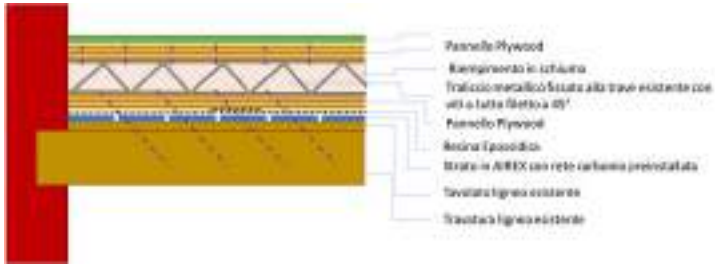
LA CAMPAGNA SPERIMENTALE HA PERMESSO DI:

- **Caratterizzare la risposta del sistema**
- Verificare l'effetto dell'intonaco esterno sulla risposta strutturale
- Definire le modalità di rottura del sistema

ELEMENTI PREFABBRICATI PER IL RINFORZO DI SOLAI IN PANNELLI SANDWICH CLT-SCHIUMA

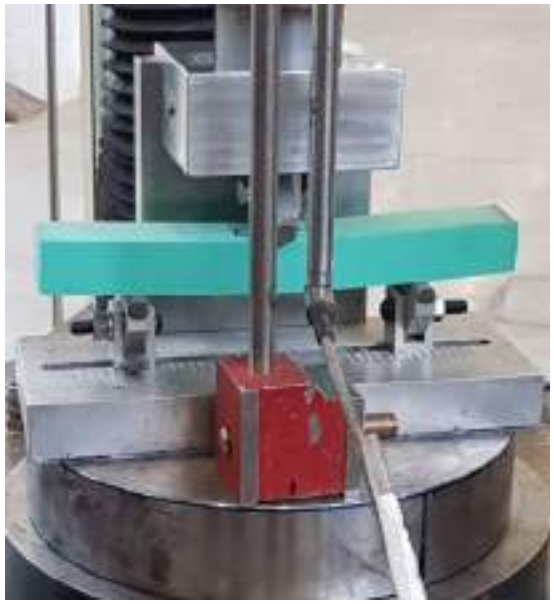
- Scelta e caratterizzazione dei materiali costituenti (pannelli lignei, schiume poliuretaniche, materiali compositi)
- Validazione del sistema (prove di flessione su elementi di solaio)
- Comportamento a lungo termine

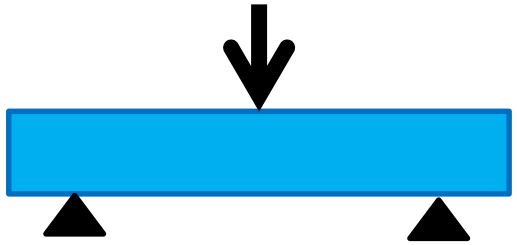




RINFORZO DI SOLAI IN PANNELLI SANDWICH CLT-SCHIUMA

Caratterizzazione meccanica dei materiali

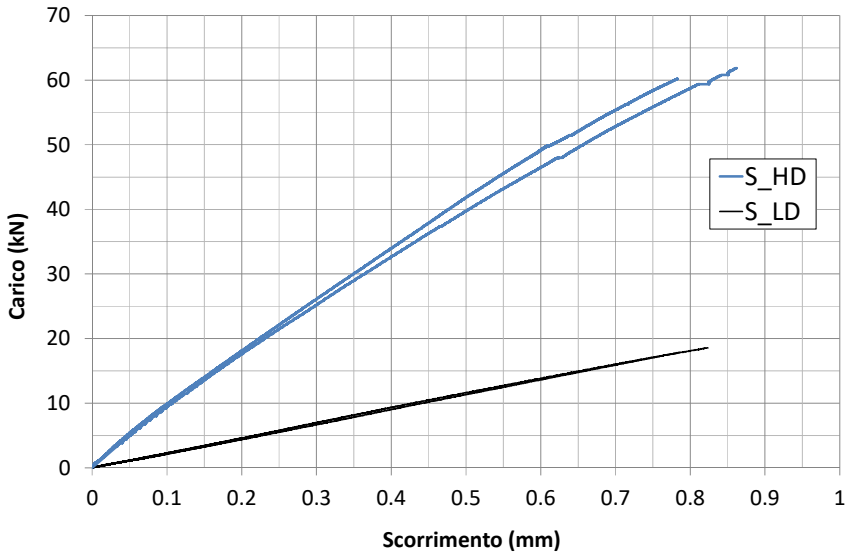




	ρ (kg/m³)	σ_u (MPa)	E (MPa)
Low Density (LD)	196	3.16	183
High Density (HD)	448	10.85	427

RINFORZO DI SOLAI IN PANNELLI SANDWICH CLT-SCHIUMA

Prove a taglio e valutazione del comportamento a lungo termine



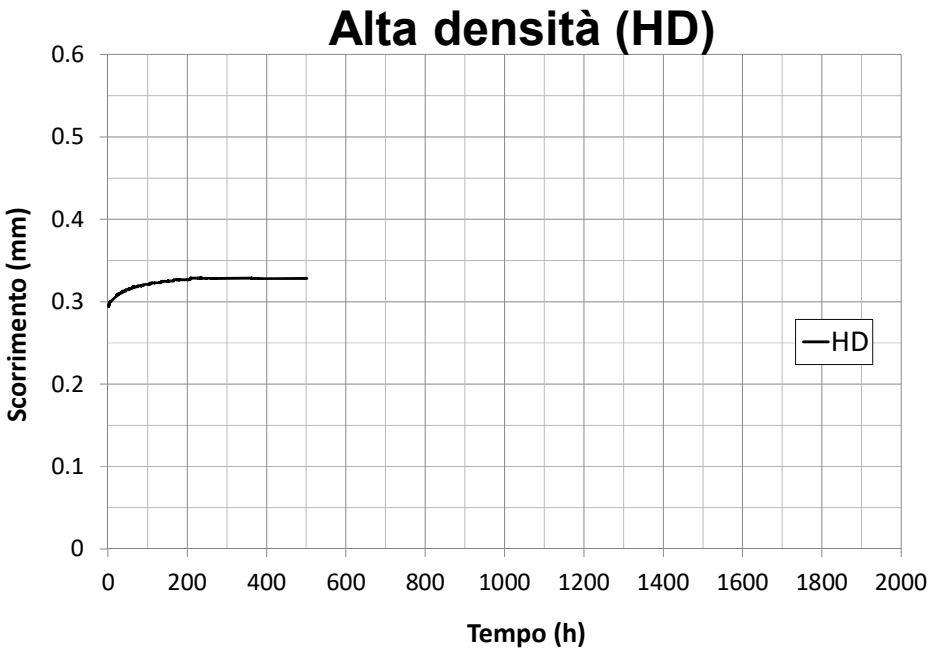
Modalità di rottura:

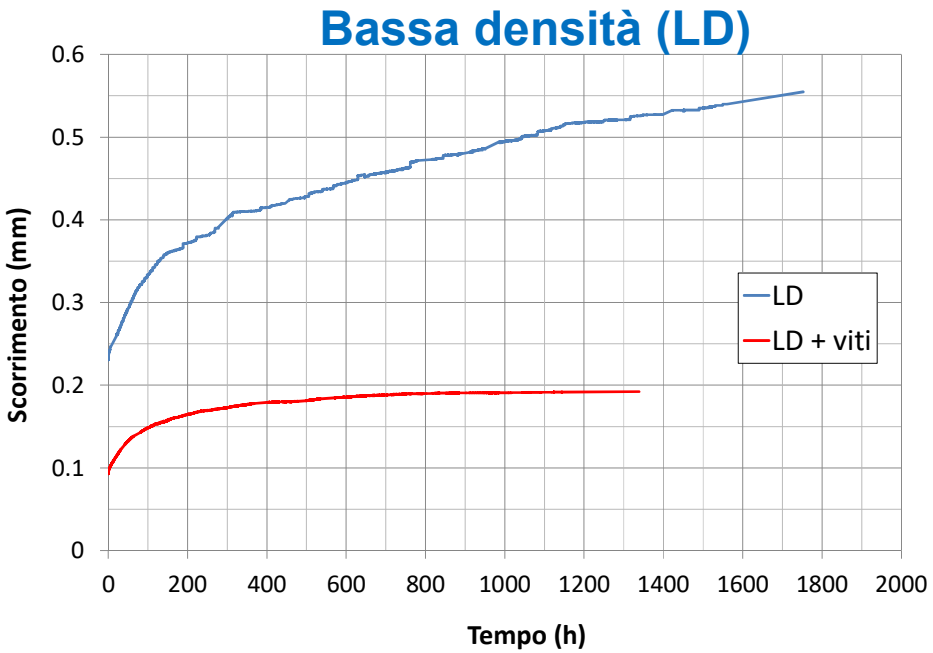
LD = crisi a taglio all'interno dello strato di schiuma poliuretanica

HD = crisi finale nel pannello ligneo senza perdite di aderenza o rotture a taglio all'interno dello strato di schiuma

RINFORZO DI SOLAI IN PANNELLI SANDWICH CLT-SCHIUMA

Comportamento a taglio a lungo termine

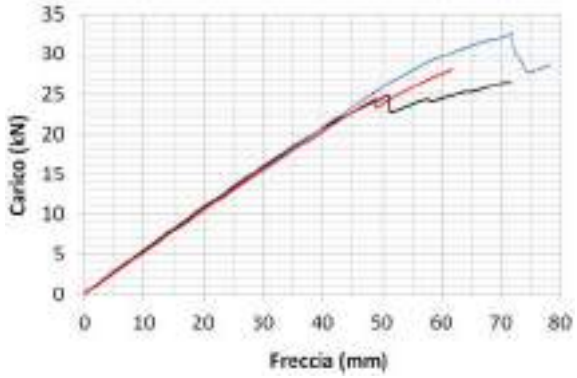




Schiuma HD: comportamento viscoso poco accentuato, con un aumento di deformazione a carico costante dell'ordine del 12%

Schiuma LD: elevata deformazione a carico costante, assenza di completa stabilizzazione senza l'ausilio di altri elementi resistenti a taglio. Comportamento notevolmente migliorato con ausilio di viti inclinate a 45°, sia in termini di scorrimento massimo, sia in termini di comportamento meccanico, con stabilizzazione completa dopo approssimativamente 1000 h di carico

ELEMENTI PREFABBRICATI PER IL RINFORZO DI SOLAI IN PANNELLI SANDWICH CLT-SCHIUMA

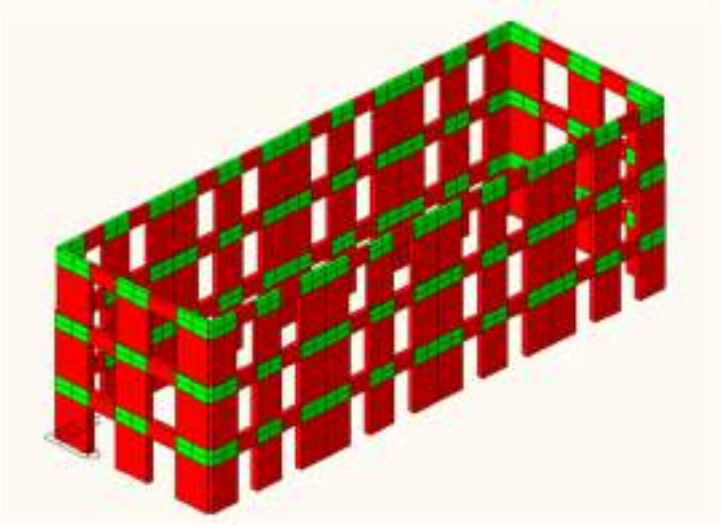


Comportamento meccanico: elastico-lineare

Crisi: rottura a trazione pannello ligneo inferiore

SETTI DI CONTROVEMENTO IN CLT

Modellazione numerica di interventi di miglioramento sismico di edifici esistenti in muratura che prevedano l'utilizzo di setti di controventamento in CLT.

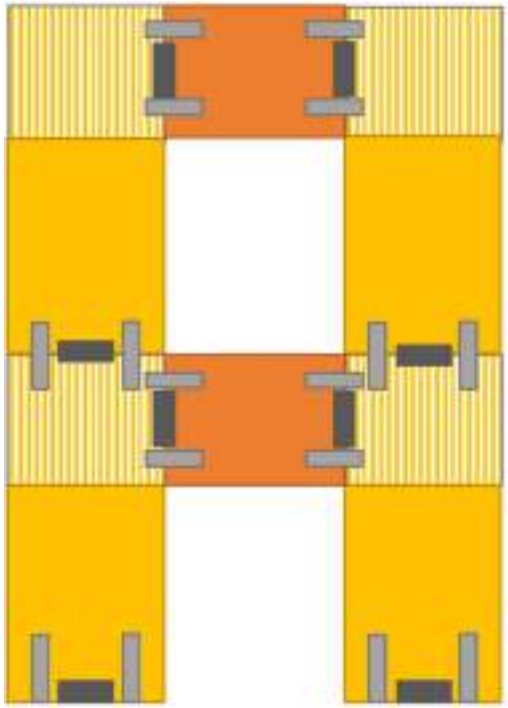


STUDIO PRELIMINARE:

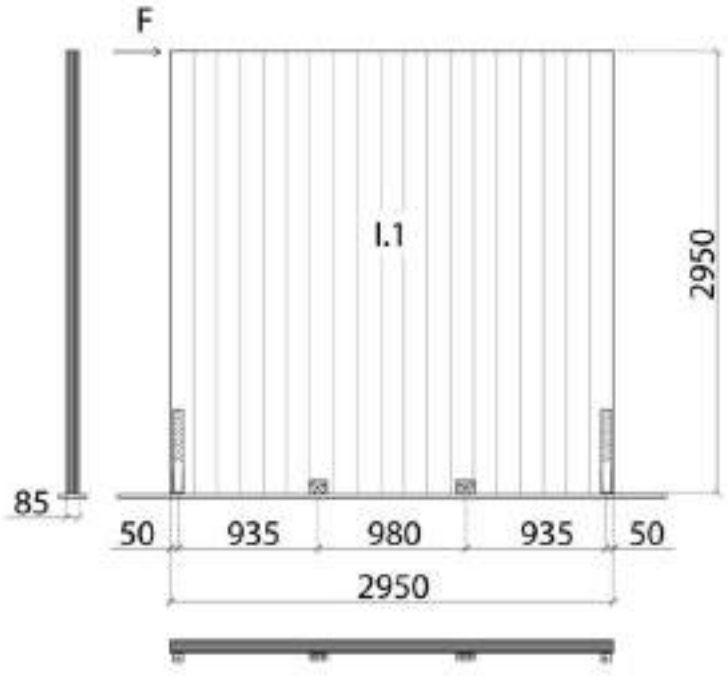
- Calibrazione e validazione modello a telaio equivalente per pannelli in CLT
- Modellazione e analisi pushover di un edificio a pianta rettangolare privo di tamponature interne
- Modellazione e analisi pushover dell'intervento di miglioramento tramite inserimento di setti in CLT

SETTI DI CONTROVEMENTO IN CLT

Calibrazione e validazione modello a telaio equivalente per pannelli in CLT



Parete in CLT



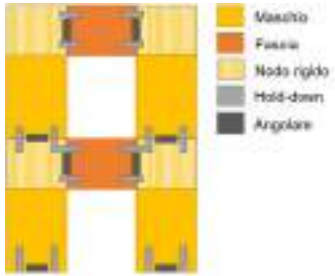
SINGOLO PANNELLO

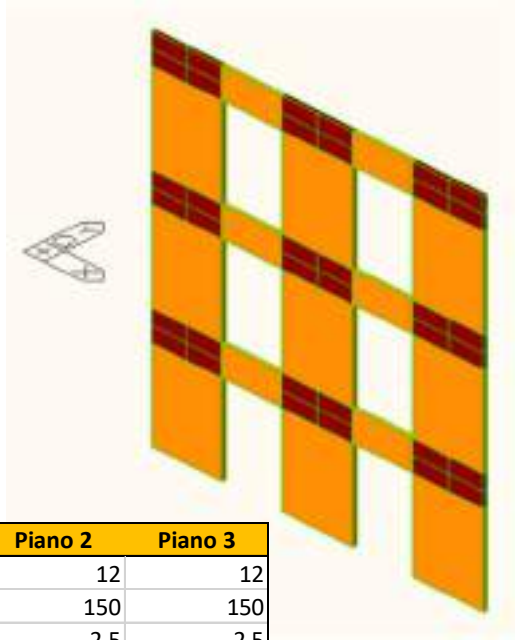
Parete in muratura

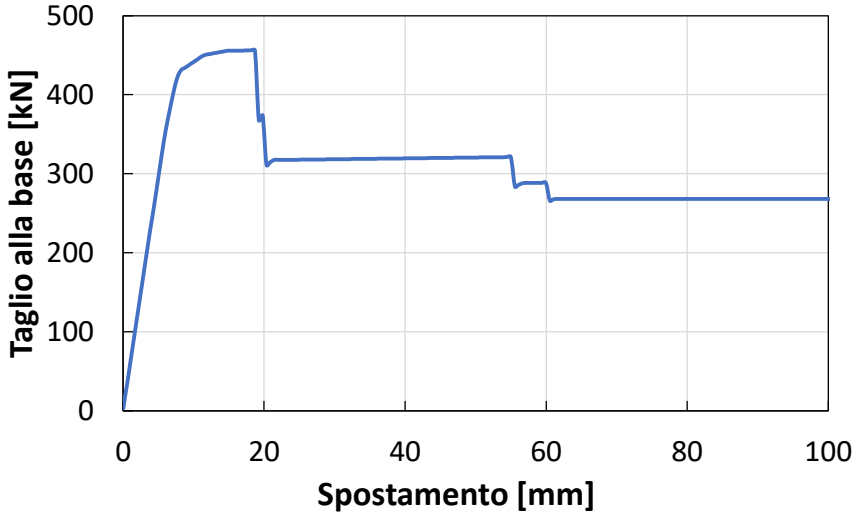
(Calderini et al. 2009)

SETTI DI CONTROVEMENTO IN CLT

PARETE CLT – 3 piani

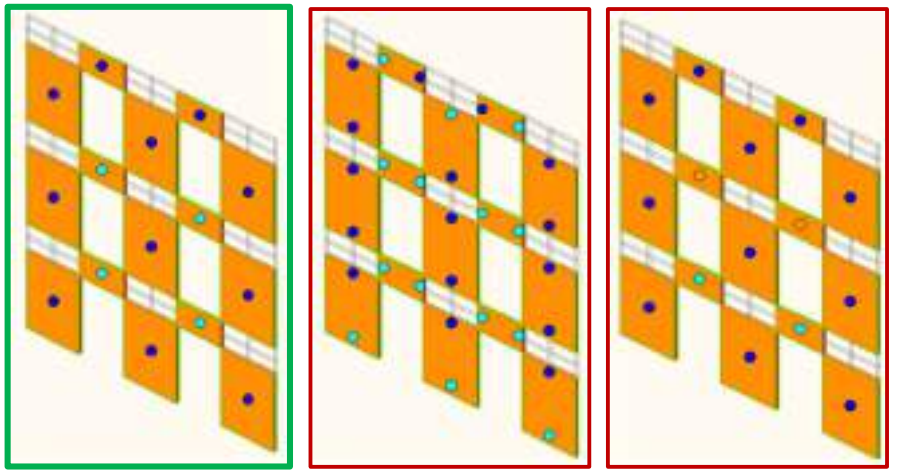






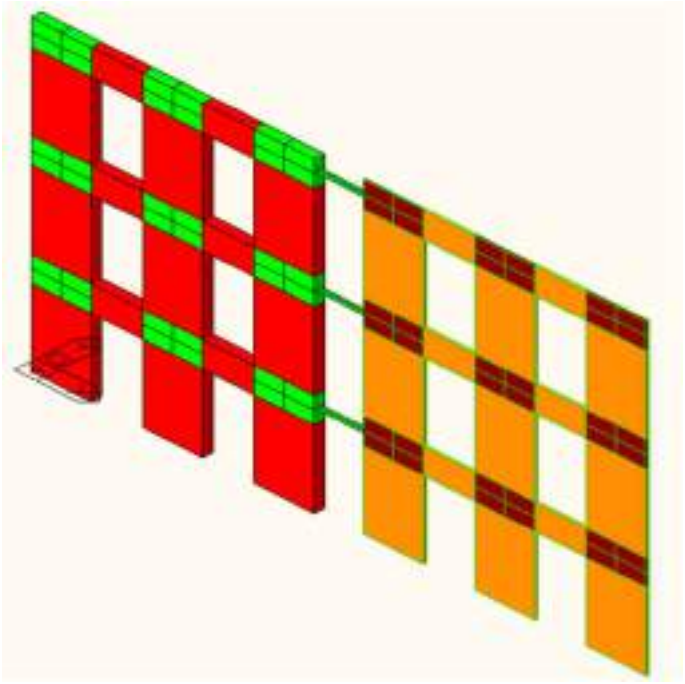
MASCHIO	Piano 1	Piano 2	Piano 3
fhd [MPa]	12	12	12
Rtaglio ang [kN]	150	150	150
fvk0 [Mpa]	2,5	2,5	2,5
Rhold down [kN]	200	150	100
Hp [kN]	400	300	200

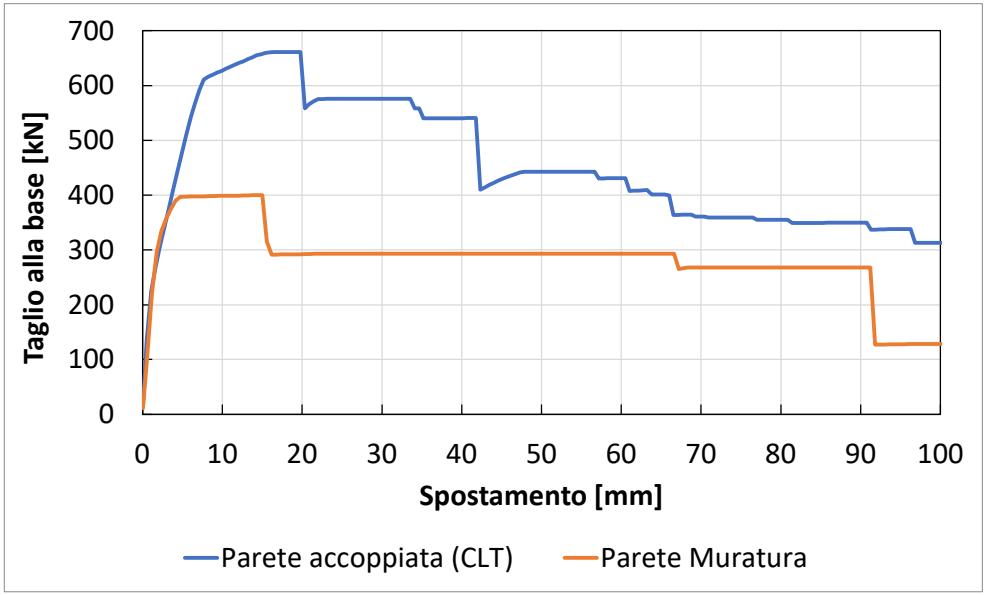
FASCIA	Piano 1	Piano 2	Piano 3
fhd [MPa]	12	12	12
Rtaglio ang [kN]	150	150	150
fvk0 [Mpa]	3,125	3,125	3,125
Rhold down [kN]	100	100	100
Hp [kN]	200000	200000	200000

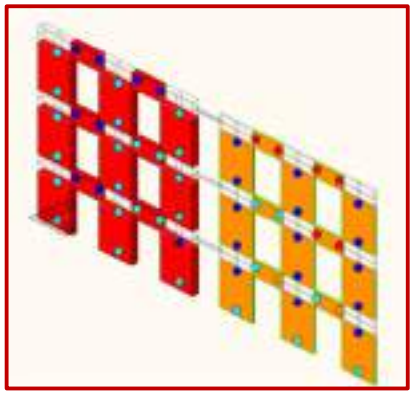


SETTI DI CONTROVEMENTO IN CLT

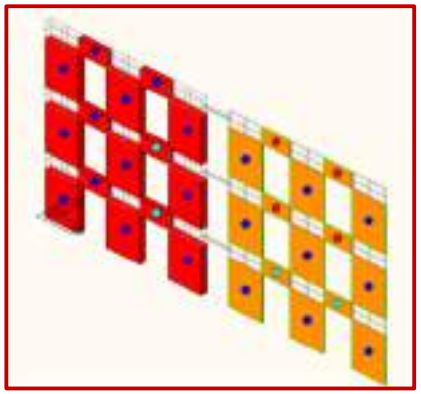
PARETE CLT ACCOPPIATA A PARETE IN MURATURA





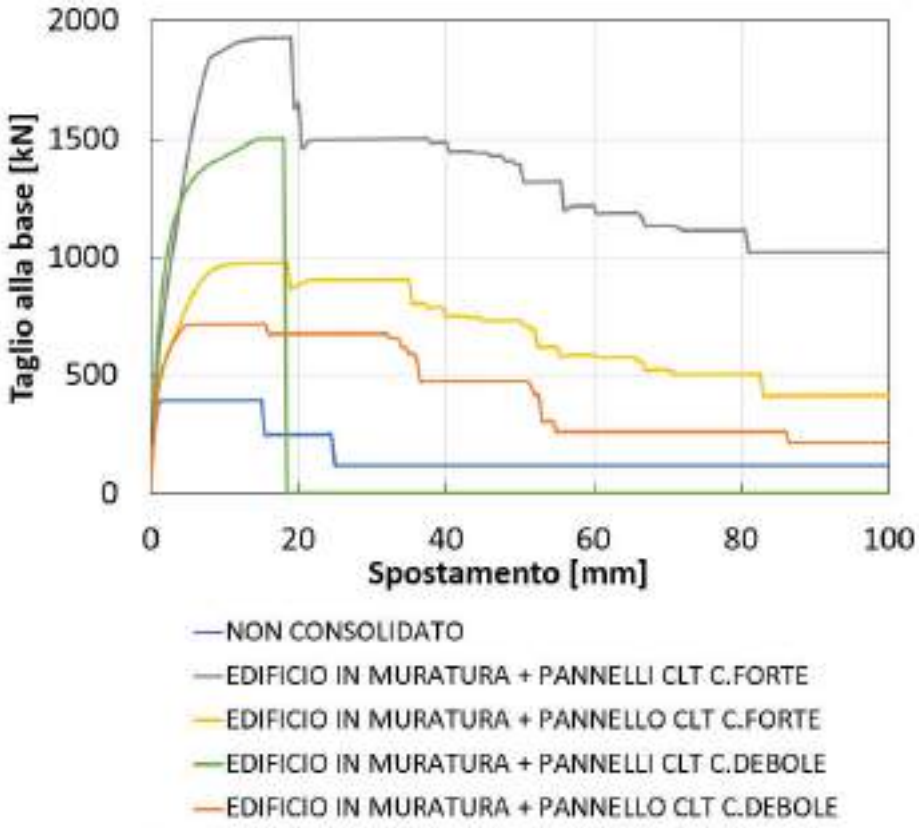


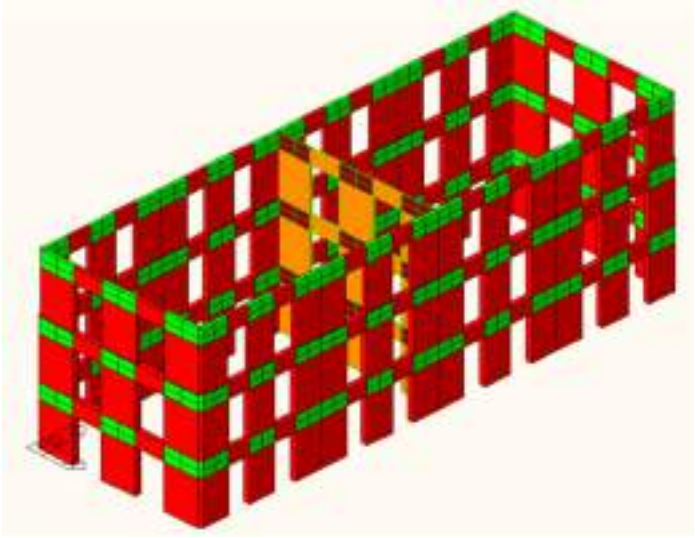
Flessione

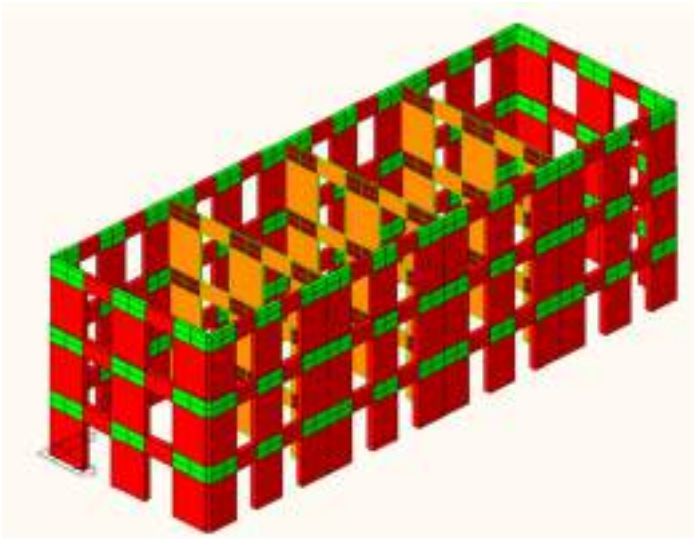


Taglio

SETTI DI CONTROVEMENTO IN CLT







CERAMICHE A BASSO SPESSORE CON MEMBRANE DISACCOPPIANTI

Soluzioni per il rivestimento con ceramiche a basso spessore con membrane disaccoppianti e antifrattura. In questo contesto vengono testate diverse tipologie di membrane: membrane disaccoppianti semplici, membrane disaccoppianti con dispositivi per il riscaldamento integrati e membrane con materiale fonoassorbente.

- ✓ Definizione dei componenti e delle tecnologie
- ✓ Prototipizzazioni in piccola scala
- ✓ Definizione delle modalità di prova
- ✓ Applicazione al prototipo di solaio in pannelli sandwich
- ✓ Verifica sperimentale

CONCLUSIONI

I principali risultati ottenuti con TIMESAFE sono:

a) Insieme di tecnologie integrate per il retrofit del costruito esistente
b) Approccio a basso impatto per l'esecuzione di retrofit integrato
c) Strumenti applicativi e software per una verifica multi- prestazionale dell'intervento di retrofit

Chi può beneficiare dei risultati:

- Enti gestori di patrimoni immobiliari a basse prestazioni
- Amministratori di condomini
- Filiera del mercato della ristrutturazione

Principali impatti sulla collettività:

Riqualificazione urbana – Minor consumi energetici – Maggiore sicurezza/resilienza

Occupazione – Volano per la ripresa economica – Aumento competitività imprese

GRAZIE PER L'ATTENZIONE