

INTERVENTI SU EDIFICI STRATEGICI, RILEVANTI ED ORDINARI IN MURATURA

Prof. Ing. Francesca da Porto
Università degli Studi di Padova

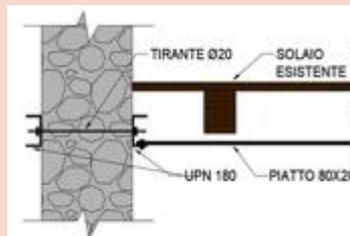
IL WP5 - STRUTTURE IN MURATURA ED ALCUNI ASPETTI SPECIFICI DI FUNZIONAMENTO DELLE STRUTTURE IN MURATURA



5.1 – sviluppo di strategie e tecniche di intervento

SUB-TASK 5.1.A

Rilievo efficace
interventi su edifici



SUB-TASK 5.1.B/C/D

Sviluppo/analisi di
interventi su pareti,
connessioni, e
orizzontamenti

SUB-TASK 5.1.E

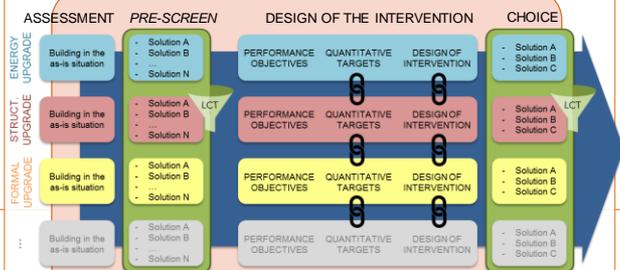
SUB-TASK 5.2.C

Casi Studio

SUB-TASK 5.2.B

Sviluppo/analisi di
tecniche integrate

5.2 – interventi integrati



SUB-TASK 5.2.A

Decision making
process e/o metodi di
valutazione pre/post

SCHEMA DELLE ATTIVITA' - MURATURA



UNIGE – S. Lagomarsino



UNIPD – M.R. Valluzzi



POLIMI – M. Parisi



UNIPI – L. Giresini



UNICA – M. Sassu



ROMATRE – G. de Felice



UNITS – N. Gattesco



UNIGE – S. Lagomarsino



UNIBS – G. Metelli



POLIMI – M. Parisi



POLIMI – G. Milani



UNIPV – A. Penna



UNITN – M. Piazza



SAPIENZA – L. Sorrentino



UNIPD – M.R. Valluzzi



UNIPR – G. Royer Carfagni



UNINA – B. Calderoni



UNIPD – F. da Porto



ROMATRE – G. de Felice



UNITS – N. Gattesco



UNIGE – S. Lagomarsino



UNIBS – G. Metelli



POLIMI – G. Milani



POLIMI – M. Parisi



UNITN – M. Piazza



UNIPV – A. Penna



SAPIENZA – L. Sorrentino



UNIPD – M.R. Valluzzi



UNIPI – L. Giresini



UNIPR – G. Royer Carfagni



UNICA – M. Sassu



UNICT – I. Calì



UNIBG – A. Marini

ASPETTI STRUTTURALI

- Bassa qualità muraria
- Mancanza o inefficienza collegamenti
- Diaframmi deformabili e non collegati



ASPETTI ENERGETICI

- Involucro tipicamente non coibentato, dotato però di significativa massa
- Serramentistica obsoleta
- Impianti tecnologici vetusti



ASPETTI FORMALI

- Edifici, anche se non vincolati, spesso di pregio architettonico
- Modifiche nella destinazione d'uso
- Minore occupazione edifici residenziali



La qualità muraria



Edifici ad Illica, Centro Italia 2016-17

La qualità muraria



ALCUNI ASPETTI SPECIFICI - MURATURA

Edificio ad Arquata del Tronto, dopo scossa 24/08



Edificio ad Accumoli, dopo scossa 24/08



| TIPOLOGIA STRUTTURALE | INTERVENTI DI RAFFORZAMENTO LOCALE | FINALITÀ DELL'INTERVENTO | PASSAGGIO DI CLASSE DI VULNERABILITA' |
|--------------------------------|--|--------------------------|---------------------------------------|
| INERTI/MAGLIA MURARIA | Non applicabili (non sono rispettate le condizioni del §3.2) | | V ₆ |
| pietra grezza | | | |
| mattoni di terra cruda (adobe) | | | |

SISMABONUS
D.M. 28 febbraio 2017,
n. 58, e S.M.I.

Attivazione dei meccanismi di primo modo



ALCUNI ASPETTI SPECIFICI - MURATURA



Edifici con collegamenti mediante catene; L'Aquila (2009, sinistra) ed Emilia (2012, destra)

8.4.1. RIPARAZIONE O INTERVENTO LOCALE

NTC 2018

Gli interventi di questo tipo riguarderanno singole parti e/o elementi della struttura. Essi non debbono cambiare significativamente il comportamento globale della costruzione e sono volti a conseguire una o più delle seguenti finalità:

Nel caso di interventi di rafforzamento locale, volti a migliorare le caratteristiche meccaniche di elementi strutturali o a limitare la possibilità di meccanismi di collasso locale, è necessario valutare l'incremento del livello di sicurezza locale.

OPCM 13/11/2010

Allegato 5: Condizioni per l'applicabilità del rafforzamento locale (assenza di carenze gravi) - articolo 11, c.2

Per gli interventi di rafforzamento locale su edifici, la verifica di assenza di carenze gravi richiamate al comma 3 dell'articolo 9 può essere considerata soddisfatta se l'edificio rispetta contemporaneamente tutte le condizioni di seguito riportate. Tali condizioni sono valide solo ai fini del contributo concesso con la presente ordinanza.

a. per edifici in muratura con le seguenti caratteristiche:

- Altezza non oltre 3 piani fuori terra,
- assenza di pareti portanti in falso,
- assenza di murature portanti costituite da elementi in laterizio non strutturale,
- assenza di danni strutturali medio - gravi visibili,
- tipologie di muratura ricomprese nella tabella C8A.2.1 dell'appendice C.8.A.2 alla circolare 2 febbraio 2009 n. 617 delle Norme Tecniche per le costruzioni emanate con d.M. 14.1.2008, con esclusione della prima tipologia di muratura - Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari),
- valore della compressione media nei setti murari per effetto dei soli carichi permanenti e variabili non superiore a 1/5 della resistenza media a compressione; quest'ultima può essere ricavata, in mancanza di più accurate valutazioni, dalla tabella C8A.2.1 della citata appendice alla circolare n. 617,
- buone condizioni di conservazione.

Validità delle osservazioni e dell'approccio dal contesto delle strutture ordinarie a quello delle strutture di valore storico-artistico

CIRCOLARE 15, 30/04/2015, MIBACT

I terremoti verificatisi nel corso del tempo hanno evidenziato che in un edificio storico ogni elemento architettonico, anche secondario e non strutturalmente portante, può influenzare la risposta strutturale in caso di sollecitazioni sismiche; nei centri storici infatti, gli effetti più disastrosi sono risultati spesso correlati a carenze strutturali limitate e locali,

L'esperienza maturata ha dimostrato altresì che un'efficace opera di riduzione del rischio sismico può essere perseguita attraverso un'attenta, scrupolosa e continua messa in atto di "buone pratiche" da attuare anzitutto in occasione di interventi che influiscono, anche solo localmente, sul comportamento strutturale. Interventi di "riparazione o locali" oppure interventi più estesi, da attuare secondo l'approccio del "miglioramento sismico", ammesso dalle vigenti norme tecniche per le costruzioni,

Particolare attenzione deve inoltre essere posta nella valutazione degli interventi di manutenzione straordinaria (secondo il D.P.R. 380/01),

Si favorisce così la previsione di interventi locali (secondo l'approccio progettuale di interventi di riparazione o locali, previsto dalle norme tecniche delle costruzioni) che, pur non snaturando la natura e gli obiettivi del progetto e malgrado il loro minimalismo, spesso, senza comportare sensibili costi aggiuntivi, portano a miglioramenti significativi della sicurezza strutturale e quindi dell'edificio.

IL WP5 - STRUTTURE IN MURATURA

ATTIVITA' DELLE UNITA' DI RICERCA

LE MURATURE



Interventi di iniezione di miscele a base di calce idraulica naturale, ristilatura e inserimento di tirantini trasversali in muratura di pietrame



Condizione non rinforzata
0.25g



Tiranti trasversali
0.45g



Iniezione di miscele
0.60g



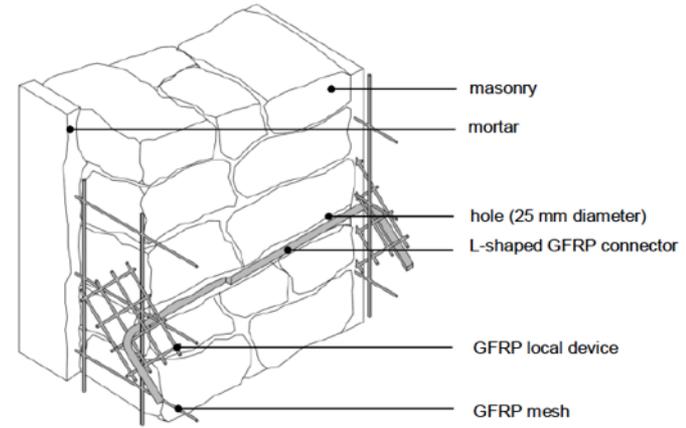
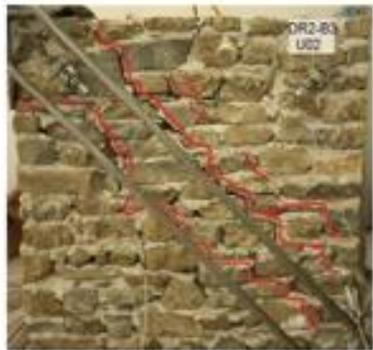
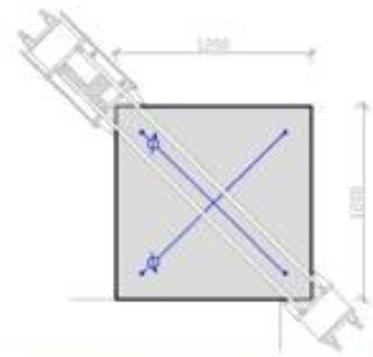
Rinforzo mediante iniezione e tiranti
0.75g - no collasso



LE MURATURE

Intonaco armato con rete in GFRP e metodo ibrido con rete in GFRP e ristilature armate sull'altro lato

 UNITS – N. Gattesco

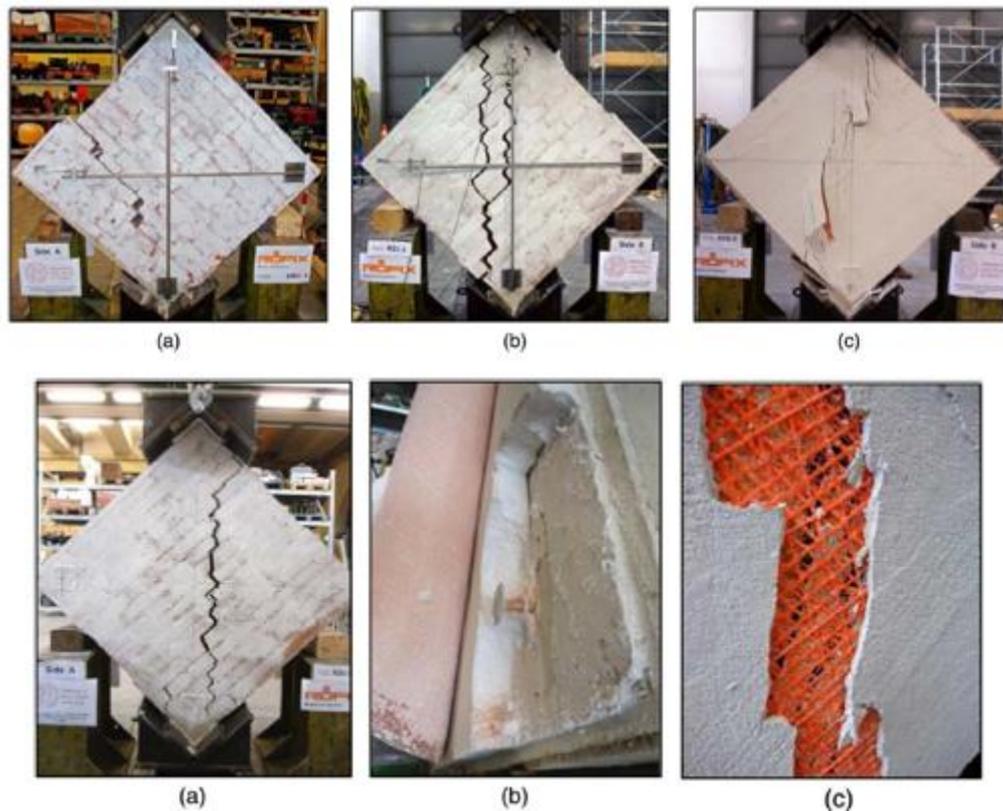


LE MURATURE

Rinforzo strutturale ed efficientamento energetico di murature con intonaci a base di calce naturale fibrorinforzati e termoisolanti



Intonaci di calce idraulica armati con reti in fibra di vetro e polipropilene ed eventuale cappotto isolante integrato



LE MURATURE

Revisione dei coefficienti correttivi contenuti nella Tab. C8A.2.2 della Circolare alle NTC2008 per le proprietà meccaniche della muratura in blocchi squadrate di tufo, prima e dopo il consolidamento

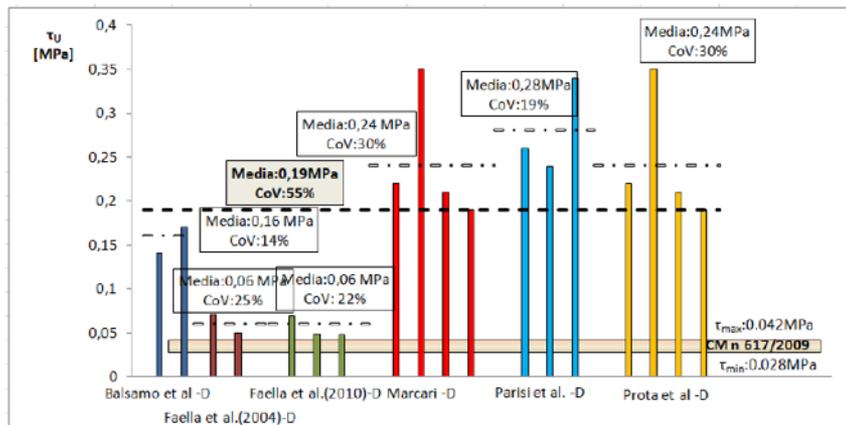


Grafico 1. Resistenza a taglio pannelli in tufo non rinforzati

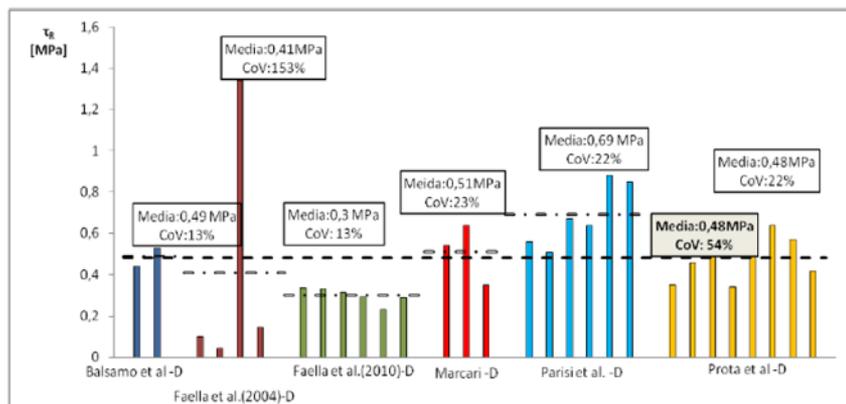


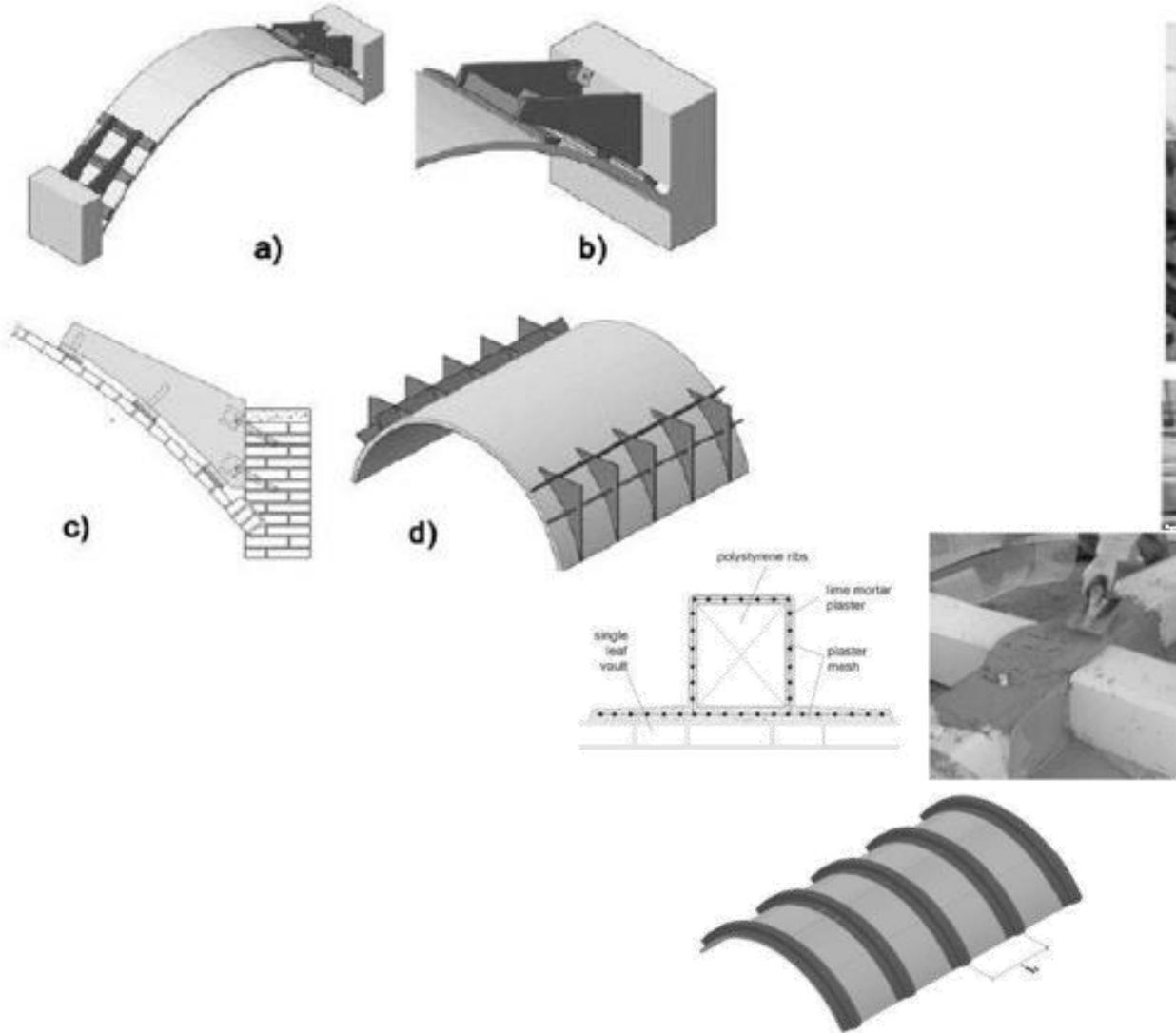
Grafico 2. Resistenza a taglio pannelli in tufo rinforzati

| Tipologia di muratura | f (N/mm ²) | tau_o (N/mm ²) | f_vo (N/mm ²) | E (N/mm ²) | G (N/mm ²) | w (kN/m ³) |
|--|---------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | min-max | min-max | | min-max | min-max | |
| Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari) | 1,0-2,0 | 0,018-0,032 | - | 690-1050 | 230-350 | 19 |
| Muratura a conci sbazzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*) | 2,0 | 0,035-0,051 | - | 1020-1440 | 340-480 | 20 |
| Muratura in pietre a spacco con buona tessitura | 2,6-3,8 | 0,056-0,074 | - | 1500-1980 | 500-660 | 21 |
| Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.) | 1,4-2,2 | 0,028-0,042 | - | 900-1260 | 300-420 | 13 + 16(**) |
| Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.) (**) | 2,0-3,2 | 0,04-0,08 | 0,10-0,19 | 1200-1620 | 400-500 | |
| Muratura a blocchi lapidei squadrate | 5,8-8,2 | 0,09-0,12 | 0,18-0,28 | 2400-3300 | 800-1100 | 22 |
| Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***) | 2,6-4,3 | 0,05-0,13 | 0,13-0,27 | 1200-1800 | 400-600 | 18 |
| Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%) | 5,0-8,0 | 0,08-0,17 | 0,20-0,36 | 3500-5600 | 875-1400 | 15 |

| Tipologia di muratura | Stato di fatto | | | Interventi di consolidamento | | | |
|--|----------------|------------------|-------------------------|----------------------------------|----------------------|---|----------------------------------|
| | Malta buona | Ricorsi o linate | Connessione trasversale | Iniezione di miscele leganti (*) | Intonaco armato (**) | Risultato armata con connessione dei paramenti (**) | Massimo coefficiente complessivo |
| Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari) | 1,5 | 1,3 | 1,5 | 2 | 2,5 | 1,6 | 3,5 |
| Muratura a conci sbazzati, con paramenti di spessore disomogeneo | 1,4 | 1,2 | 1,5 | 1,7 | 2,0 | 1,5 | 3,0 |
| Muratura in pietre a spacco con buona tessitura | 1,3 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 2,4 |
| Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.) | 1,5 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,7 | 1,1 | 2,0 |
| Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.) | 1,6 | - | 1,2 | 1,2 | 1,5 | 1,2 | 1,8 |
| Muratura a blocchi lapidei squadrate | 1,2 | - | 1,2 | 1,2 | 1,2 | - | 1,4 |
| Muratura in mattoni pieni e malta di calce | (***) | - | 1,3 (***) | 1,2 | 1,5 | 1,2 | 1,8 |
| Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%) | 1,2 | - | - | - | 1,3 | - | 1,3 |

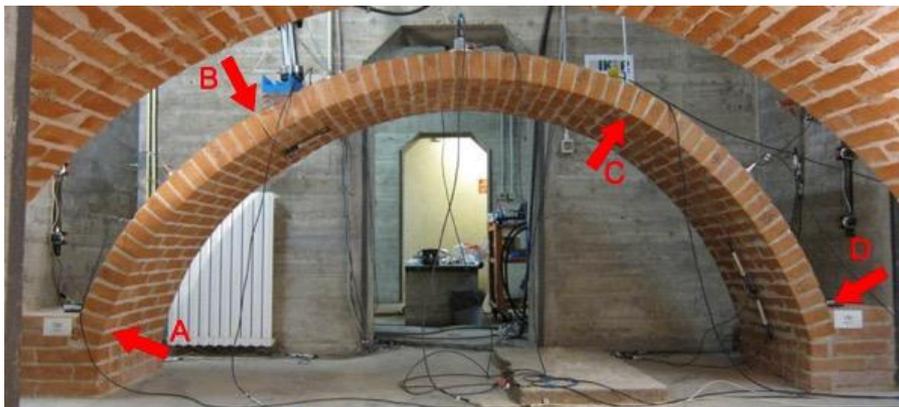
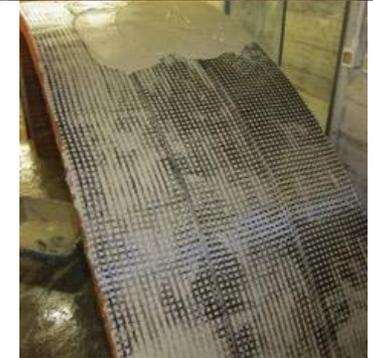
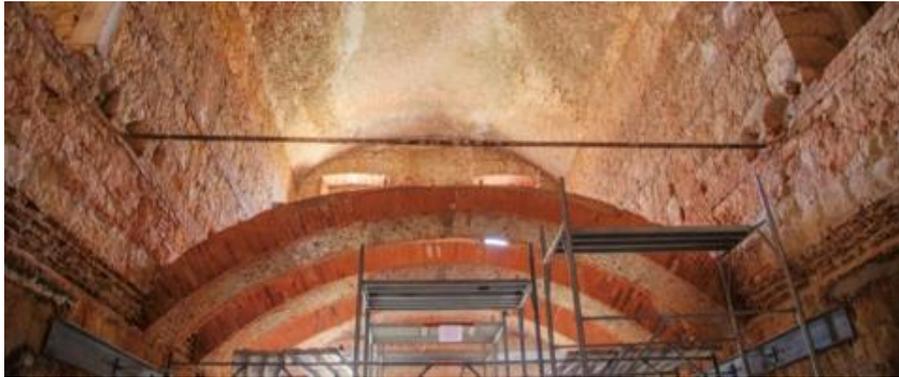
VOLTE IN MURATURA

Rinforzo di volte in foglio
con pannelli lignei estradossali laterali, con centine lignee, con costoloni estradossali



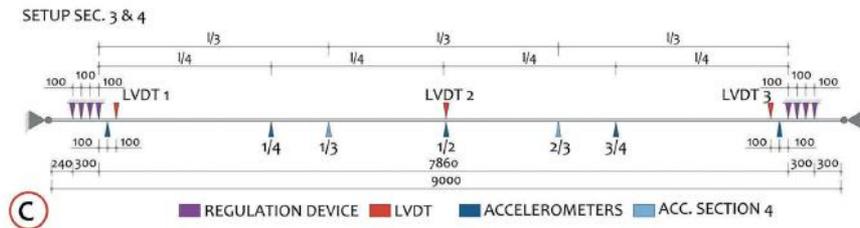
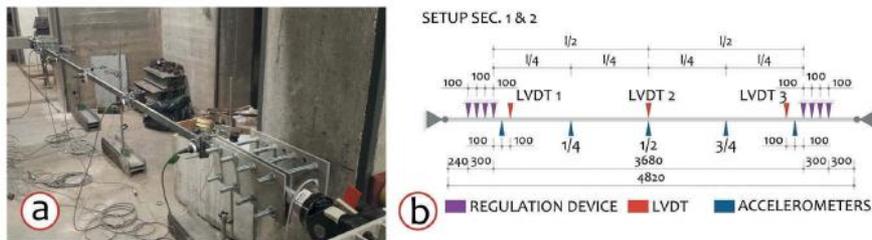
VOLTE IN MURATURA

Rinforzo di volte a botte con applicazione di materiali compositi innovativi: CFRP, SRP, SRG, BTRM e con l'utilizzo di frenelli armati

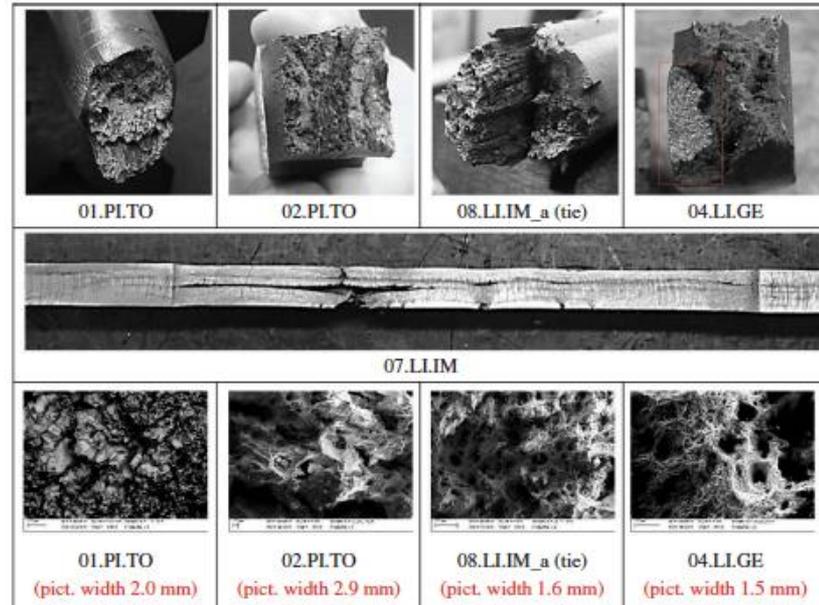


I COLLEGAMENTI

Calibrazione di metodi sperimentali per la valutazione del tiro di catene, redazione di linee guida ed esempi pratici, data base catene metalliche storiche



UNIPD – F. da Porto,
C. Modena



| Code | Section shape | Size [mm] | A ₀ [mm ²] | E *** [GPa] | R _p 0.2 [MPa] | R _m [MPa] | ε _t [%] |
|------------------|---------------|---------------|-----------------------------------|------------------|--------------------------|----------------------|--------------------|
| 03.LIIM | Round | φ = 15.09 | 178.8 | 234 | 225 | 278 | 9.40 |
| 08.LIIM_a (tie) | Round | φ = 21.58 | 365.8 | 157 (<*) | 179 | 292 | 14.1 |
| 11.LLGE | Round | φ = 20.00 | 314.2 | 202 | 233 | 370 | 34.2 |
| 01.PI.TO** | Round | φ = 22.70 | 404.7 | 173 (<) | 280 | 287 | - |
| 04.PI.TO | Round | φ = 15.32 | 184.3 | 191 | 298 | 339 | 15.1 |
| 04.LLGE*** | Rectangular | 18.42 × 24.03 | 442.6 | 410 (>) | 270 | 346 | 5.50 |
| 05.LLGE* (bolt) | Rectangular | 13.50 × 16.00 | 216.0 | 286 (>) | 222 | 266 | - |
| 06.LLGE_a | Round | φ = 15.59 | 190.9 | 251 | 204 | 325 | 29.6 |
| 06.LLGE_b*** | Round | φ = 12.94 | 131.5 | 301 (>) | 155 | 264 | 15.7 |
| 07.LIIM* | Rectangular | 9.49 × 17.55 | 166.6 | 169 (<) | 228 | 298 | - |
| 08.LIIM_b (bolt) | Rectangular | 14.46 × 18.37 | 265.6 | 179 | 194 | 271 | 17.9 |
| 10.LLGE | Rectangular | 24.88 × 22.37 | 556.6 | 125 (<*) | 158 | 202 | 14.3 |
| 02.PI.TO | Rectangular | 22.47 × 24.79 | 557.0 | 130 (<*) | 229 | 281 | 6.50 |
| 06.PI.TO | Rectangular | 25.60 × 26.46 | 677.4 | 165 (<) | 175 | 214 | 5.00 |
| | | | | Mean value | 182 | 211 | 16.7 |
| | | | | St. Deviation | 44.3 | 40.5 | 11.8 |
| | | | | 5% Percentile | 127 | 165 | 5.55 |
| | | | | Coef. of Variat. | 0.24 | 0.19 | 0.70 |



UNIGE – C. Calderini

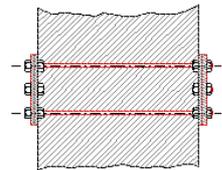
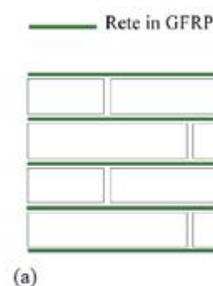
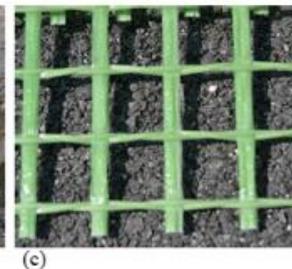
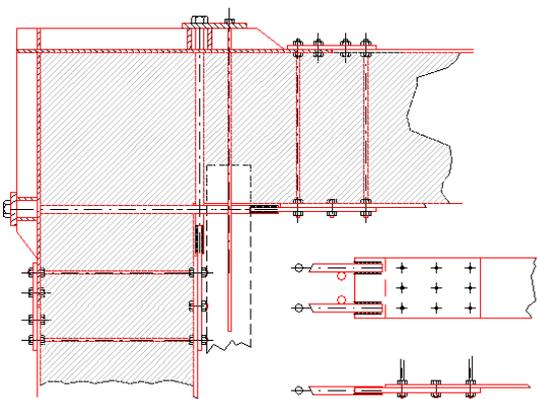
I COLLEGAMENTI

Cerchiatura di edifici con materiali compositi innovativi o funi metalliche

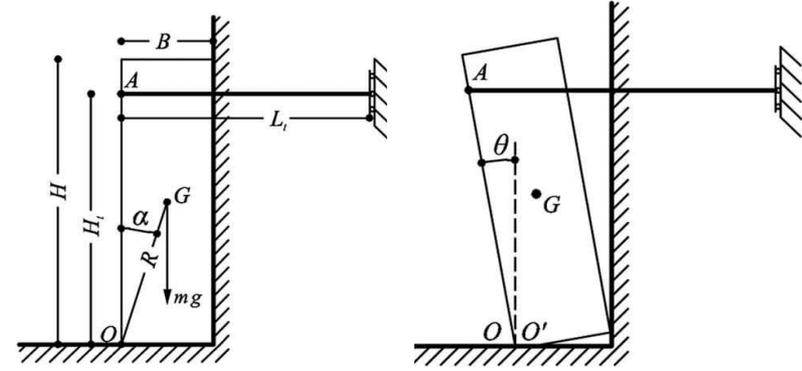
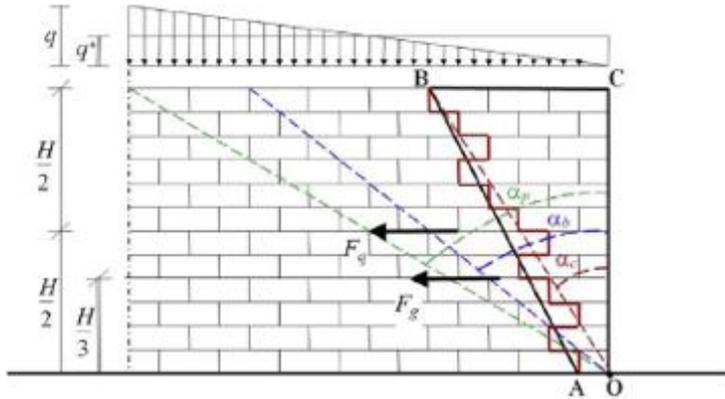


I COLLEGAMENTI

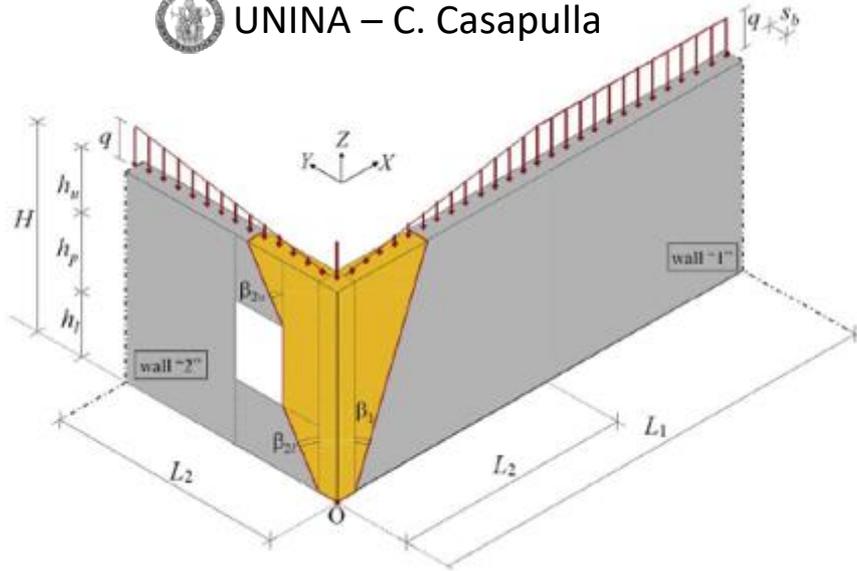
Cordolature in muratura armata e cerchiata o muratura armata con rete in GFRP



ASPETTI DI MODELLAZIONE



UNINA – C. Casapulla



SAPIENZA –
L. Sorrentino

Sviluppo di modelli aggiornati a macro-blocchi rigidi in presenza di attrito

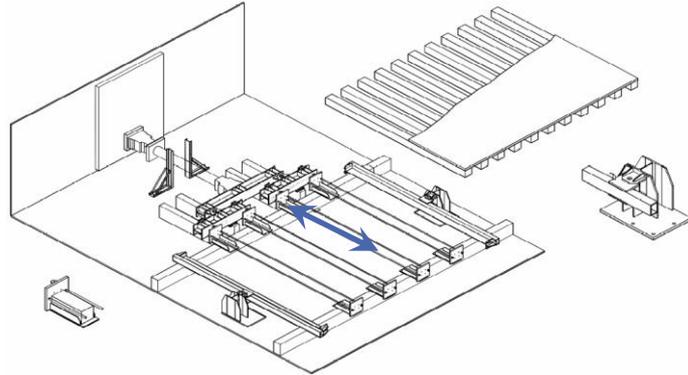
Calibrazione di metodi di progettazione agli spostamenti per catene metalliche

GLI ORIZZONTAMENTI

Aumento della rigidezza nel piano degli orizzontamenti e collegamento alle murature

Tavolato semplice

Tavolato doppio

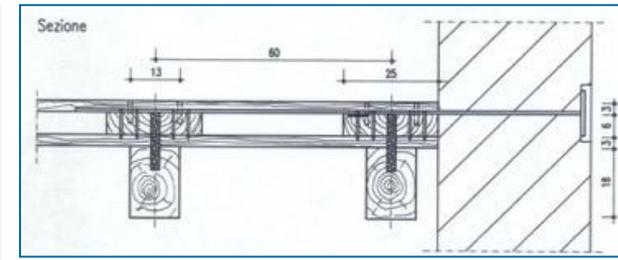
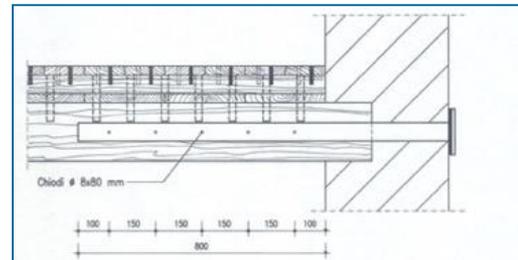
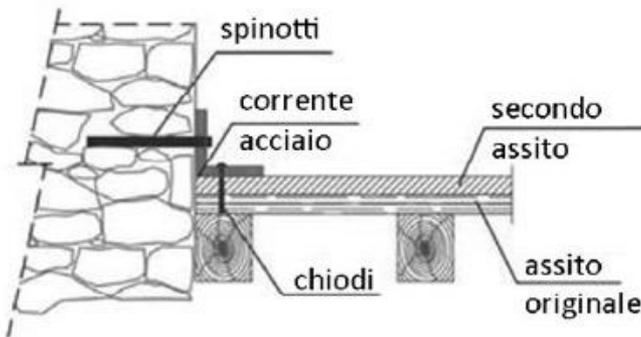


Bandelle metalliche / CFRP

Compensato (3 strati)



UNITN – M. Piazza

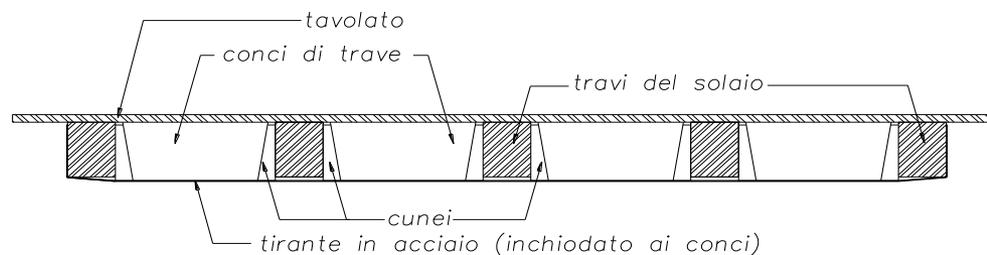
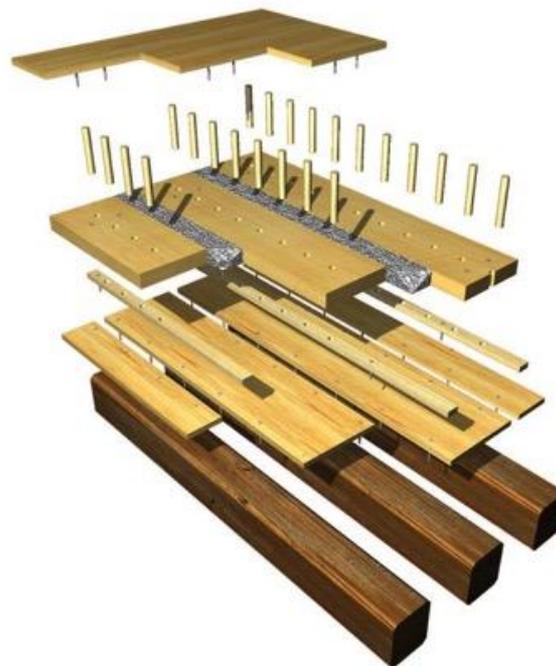
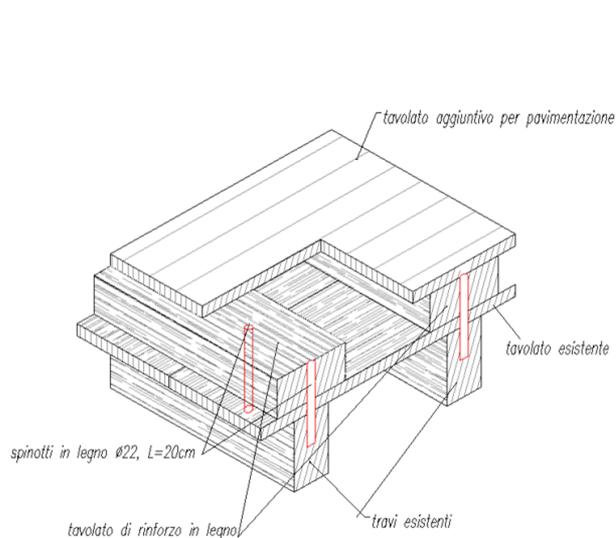


UNIBS – G. Metelli



UNIPD – C. Modena

Soluzioni alternative con rinforzi intradossali e integrazione impiantistica



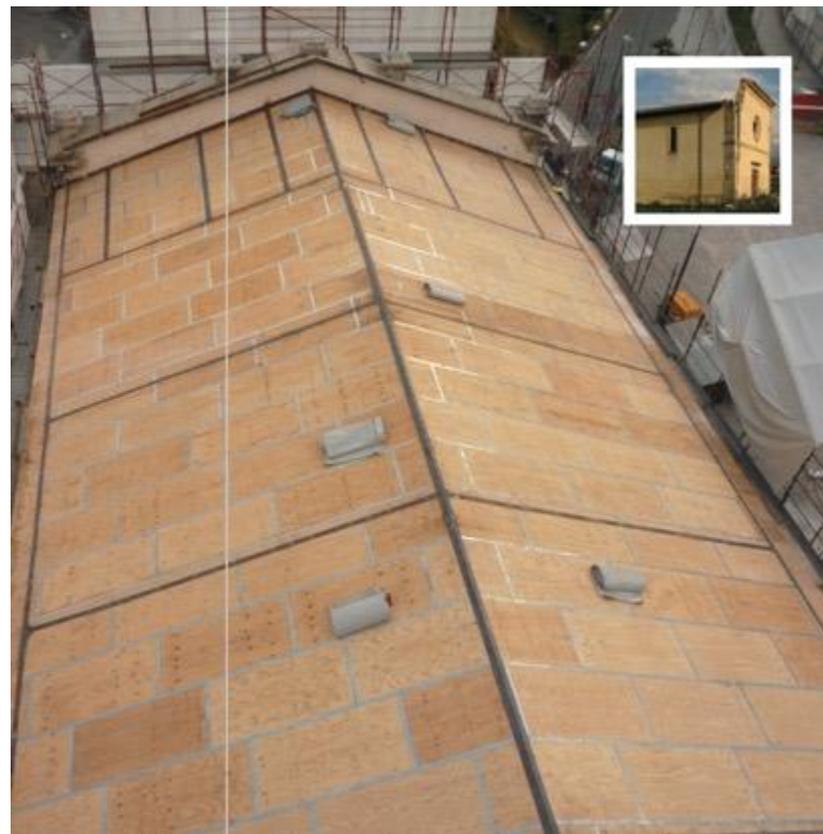
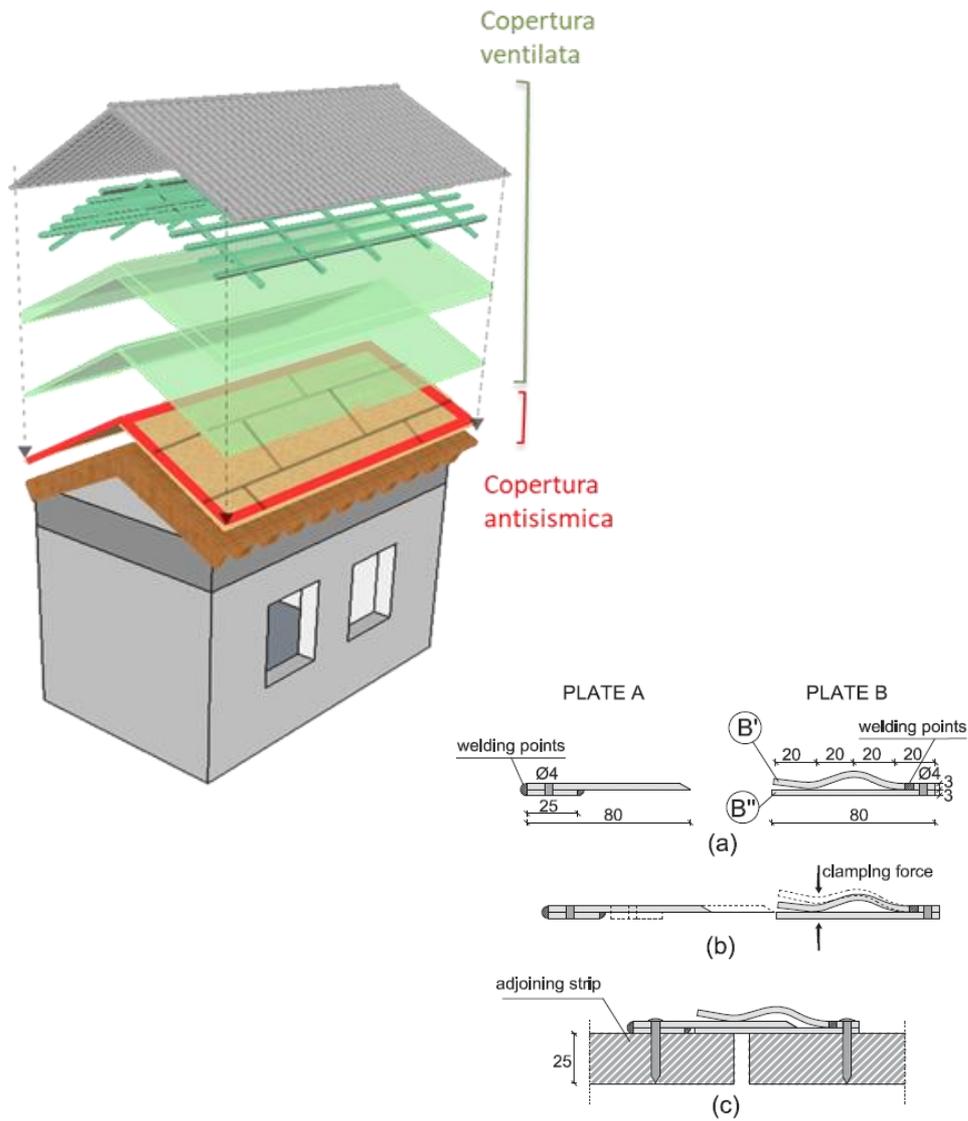
Inserimento conci lignei e tiranti metallici all'intradosso



UNIPD – M.R.
Valluzzi, C. Modena

LE COPERTURE

Coperture scatolari, integrazione con tetto ventilato ed eventuali dispositivi dissipativi



UNITN – M. Piazza



UNIBG – A. Marini



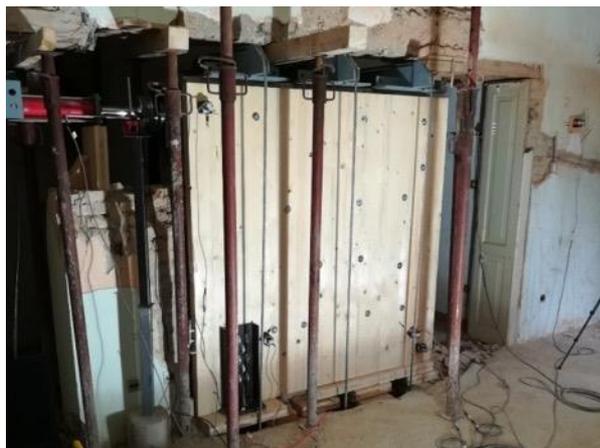
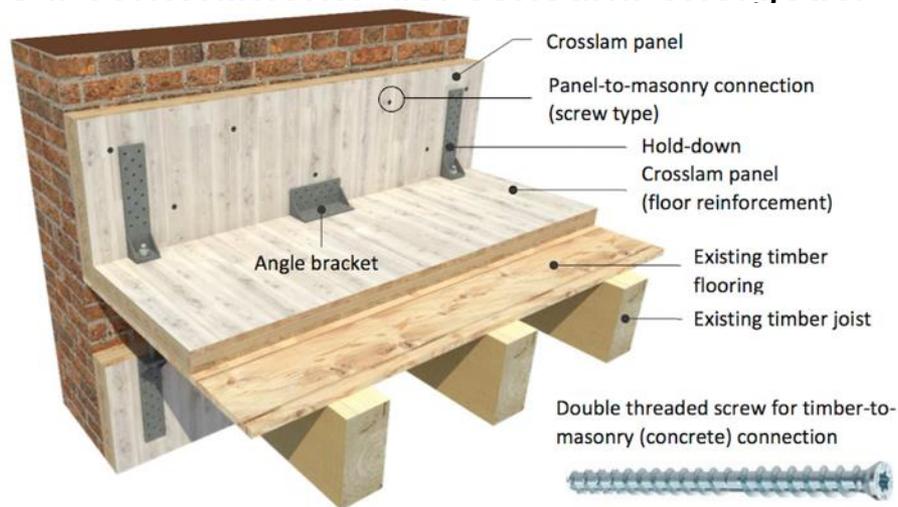
UNIBS – E. Giuriani



UNIBS – M. Preti

RINFORZO CON SISTEMI IN LEGNO

Sistema di rinforzo con pannelli a base di legno connessi alle murature per l'incremento della sicurezza sismica e il contenimento dei consumi energetici



UNITN – M. Piazza

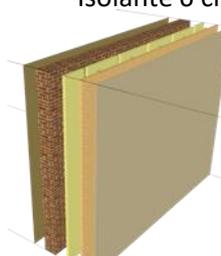
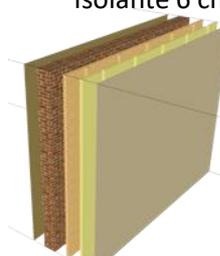
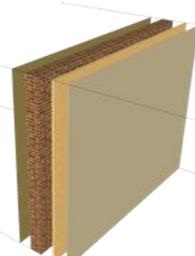
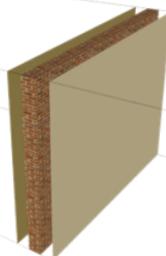


POLIMI – M. Parisi

$U = 0.85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

$U = 0.37 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Isolante 6 cmv

$U = 0.37 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Isolante 6 cmv



Stato di fatto

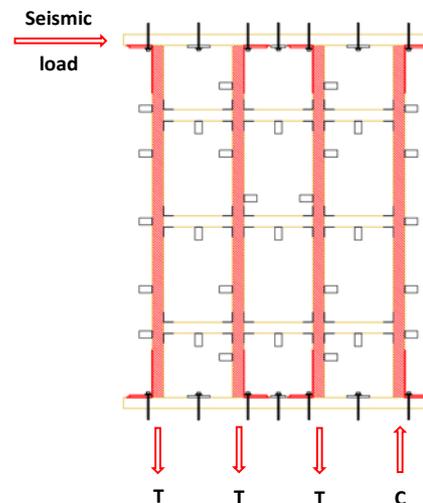
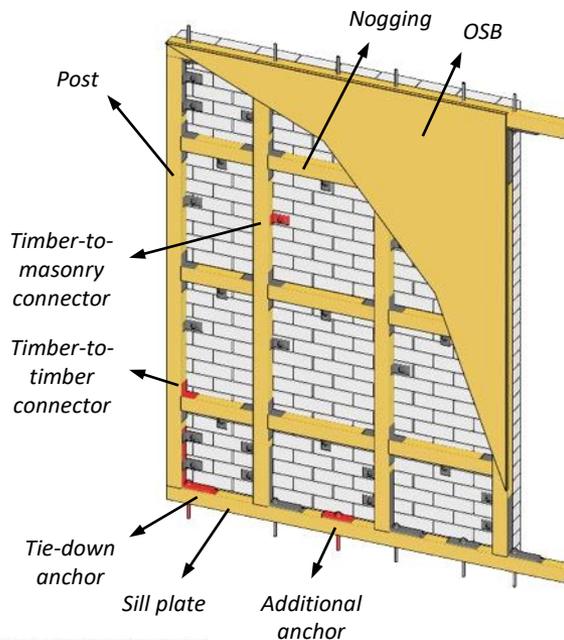
Muro+pannello strutturale

Muro+pannello strutturale+ isolante

Muro+isolante +pannello strutturale

RINFORZO CON SISTEMI IN LEGNO

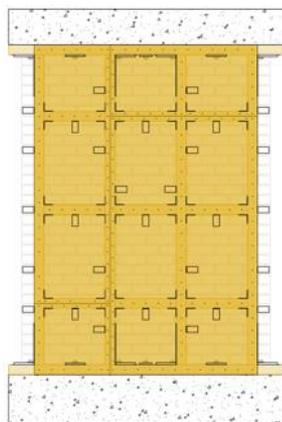
Sistema di rinforzo con pannelli a base di legno connessi alle murature per l'incremento della sicurezza sismica e il contenimento dei consumi energetici



Res. flessione:

- Montanti verticali
- Ancoraggi

Flexural strength

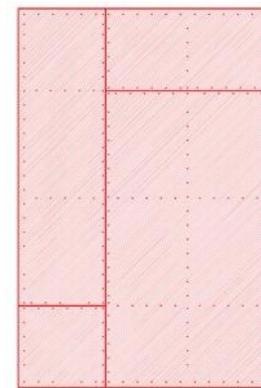


Prova su tavola di edifici in scala reale:

- Originale
- Rinforzato



Seismic load

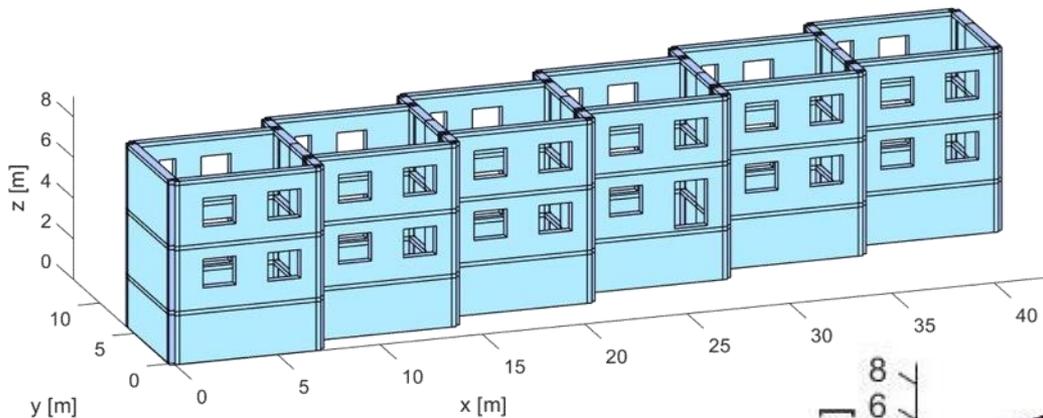


Res. a taglio:

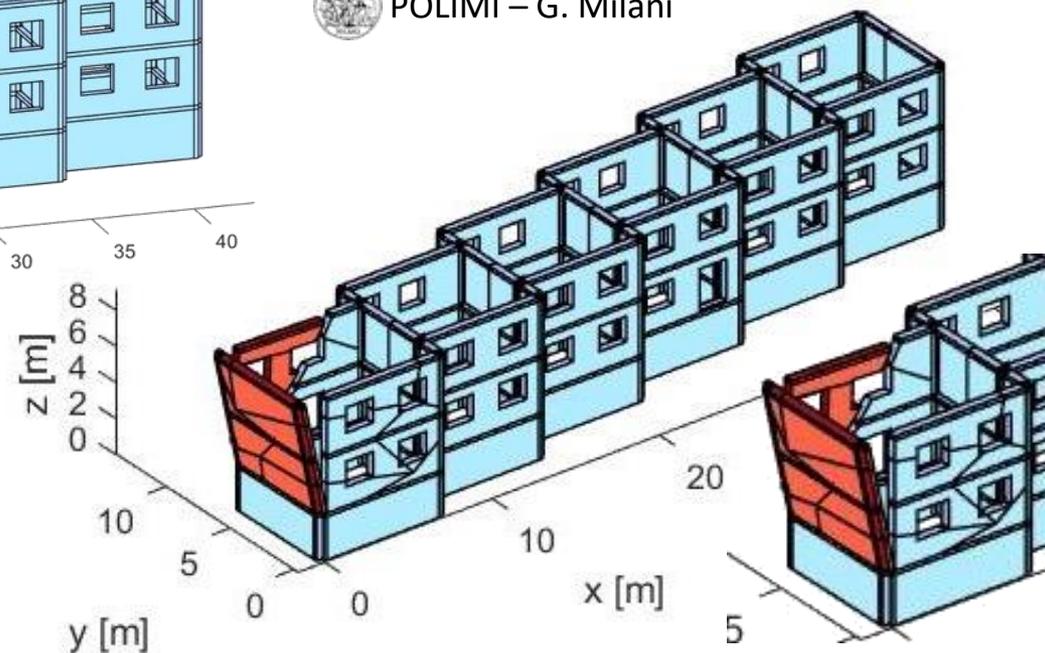
- Spessore OSB
- Spaziatura chiodi

Shear strength

ASPETTI DI MODELLAZIONE



 POLIMI – G. Milani



Metodo NURBS per
l'individuazione di meccanismi di
collasso in edifici complessi

CASI STUDIO



UNIPD – da Porto, De Carli Tribunale di Fabriano



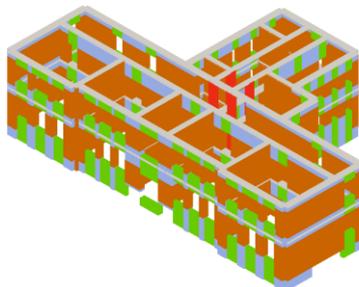
UR UNITN-POLIMI – Piazza-Parisi, Hotel Terme di Comano



UNIPD – Valluzzi, Casi studio di edilizia residenziale a Pieve Torina



UR UNIGE – Lagomarsino/Cattari, Scuola di Visso



UNIGE – Lagomarsino/Cattari, Scuola Caldarola (MC)



UNICT – Caliò, Scuola Vittoria (RG)

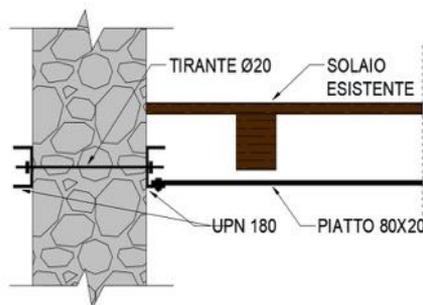
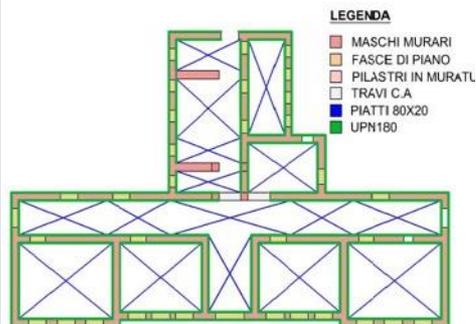


UNIBG – Marini, Edilizia residenziale, Dalmine (BG)

SCUOLA DI VISSO E SCUOLA DI CALDAROLA

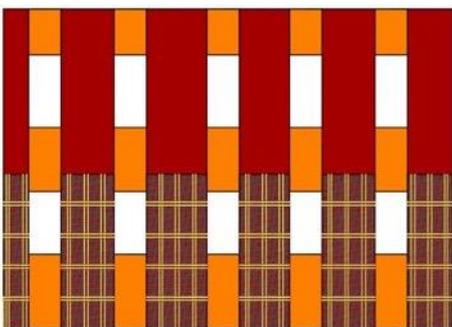


Irrigidimento dei solai e miglioramento risposta scatolare (controventi + cordoli UPN o soletta in ca+catene)



Rinforzo delle pareti tramite:

- Ristilatura
- Iniezioni
- FRP
- tecniche combinate

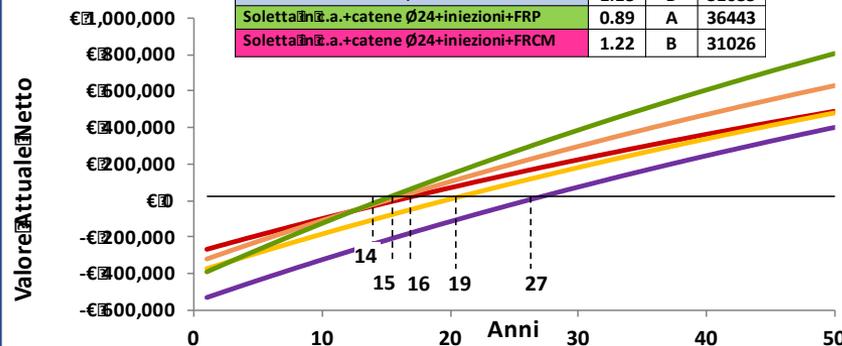


L'intervento NON è applicato in maniera generalizzata ma in modo selettivo per ottimizzare (limitare) i costi

Le diverse soluzioni sono state confrontate in termini di

- Prestazioni strutturali : indice di sicurezza
- Qualità della risposta strutturale: diffusione del danno , redistribuzione delle azioni tra le pareti, ruolo maschi/fasce
- Parametri economici: PAM e costo (effettuando un computo metrico)
- Analisi costi-benefici: VAN – Valore annuale netto

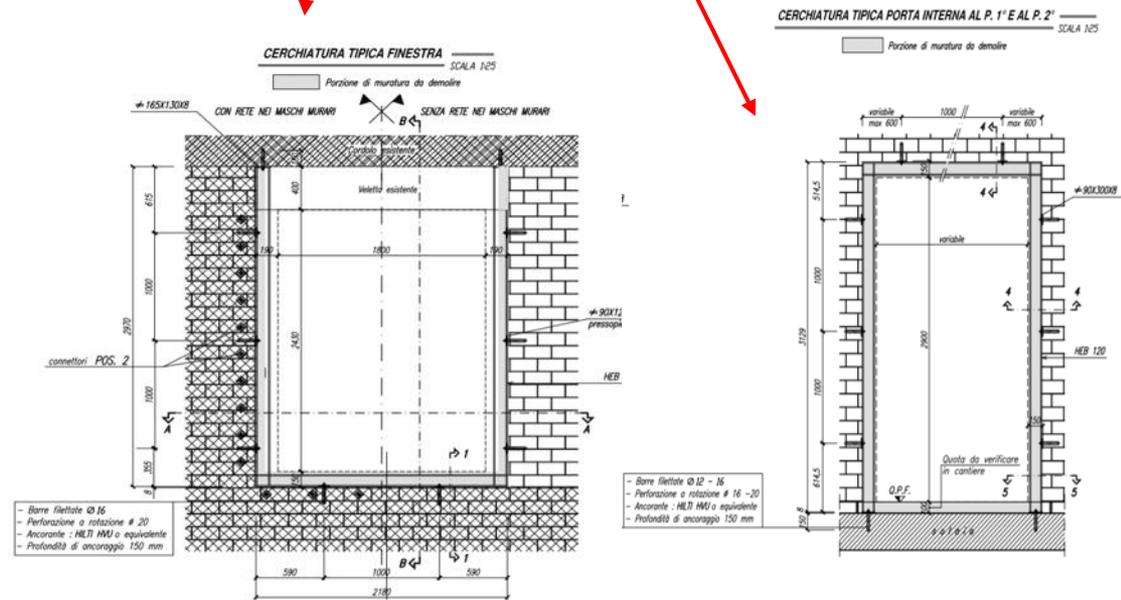
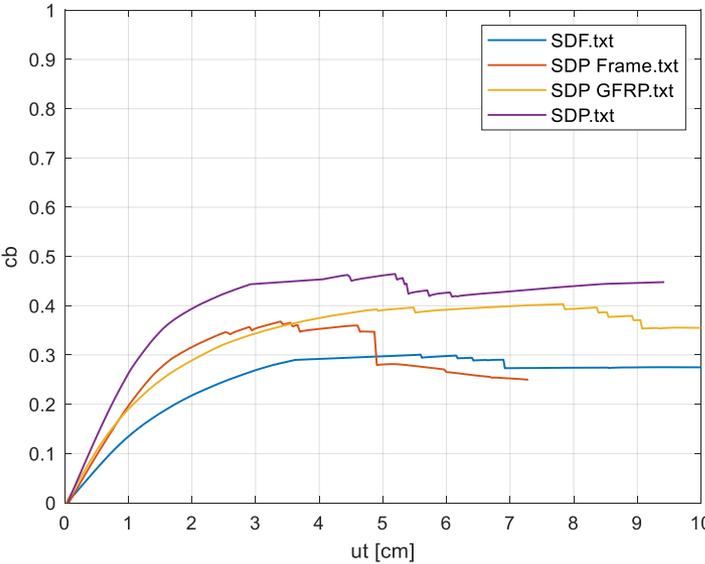
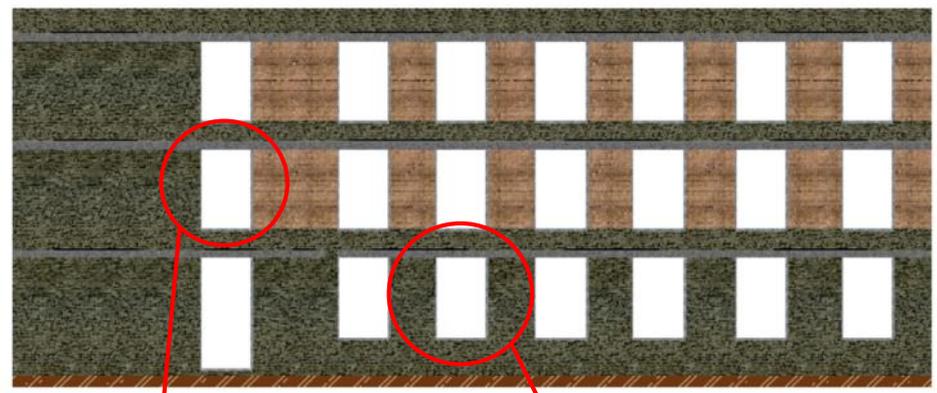
| Stato di fatto | PAM | Classe | ΔPAM |
|--|------|--------|-------|
| Soletta in ca+catene Ø24+ristilatura | 1.47 | B | 26593 |
| Soletta in ca+catene Ø24+iniezioni | 1.33 | B | 29220 |
| Soletta in ca+catene Ø24+ristilatura+FRP | 1.18 | B | 31683 |
| Soletta in ca+catene Ø24+iniezioni+FRP | 0.89 | A | 36443 |
| Soletta in ca+catene Ø24+iniezioni+FRCM | 1.22 | B | 31026 |



SCUOLA DI VITTORIA



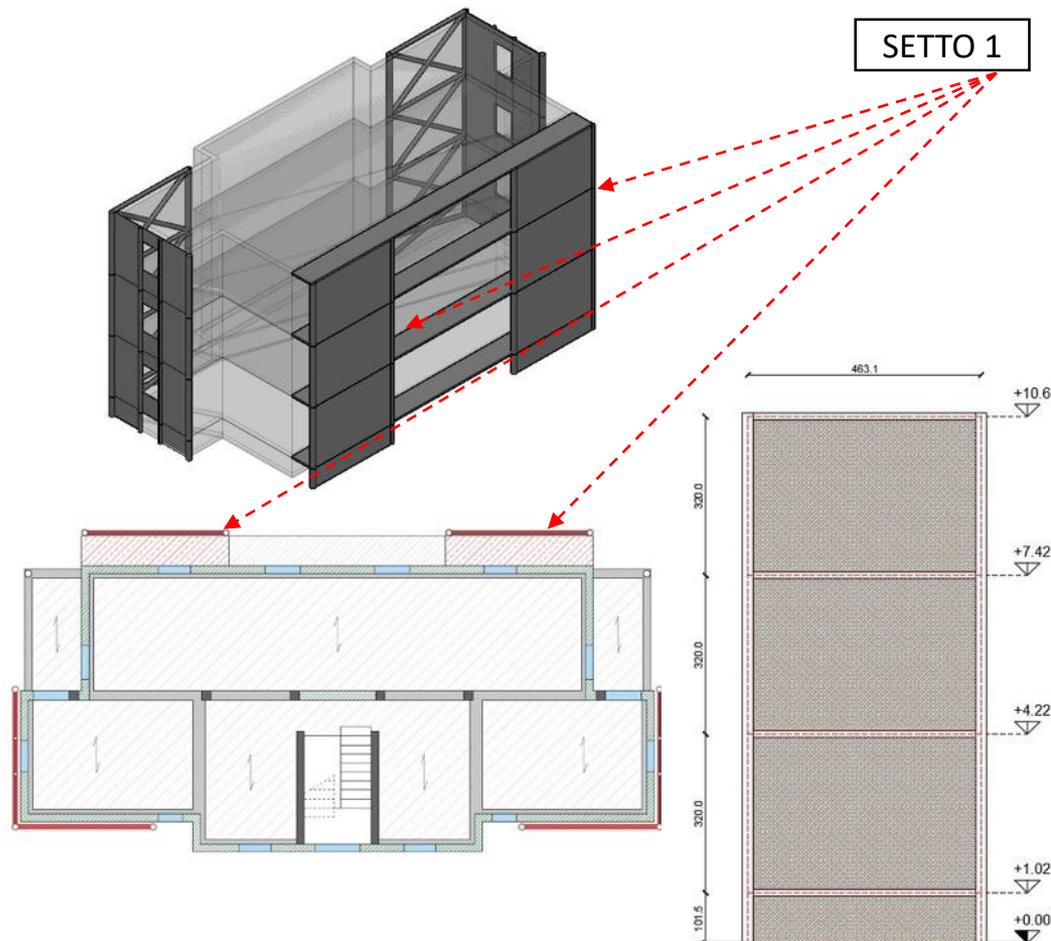
DPC-ReLUIS
2019-2021 WP5



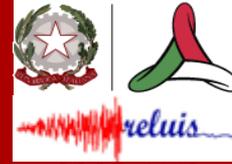
EDIFICIO RESIDENZIALE A DALMINE



- Carenze Strutturali: vulnerabilità simica dettata dalla mancata concezione strutturale nei confronti delle azioni orizzontali e dalla scarsa qualità dei materiali e dei dettagli costruttivi (Classe di rischio sismico D)
- Carenze Energetiche: involucro fortemente disperdente a causa della mancanza di un adeguato isolamento termoacustico (Classe energetica F)
- Carenze Architettoniche: edificio di scarso pregio architettonico e basso valore commerciale, sottotetto non accessibile.



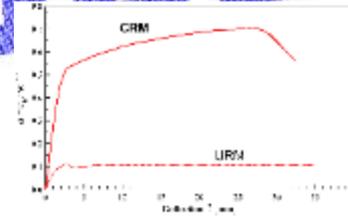
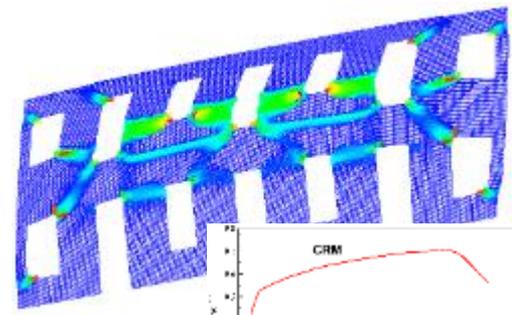
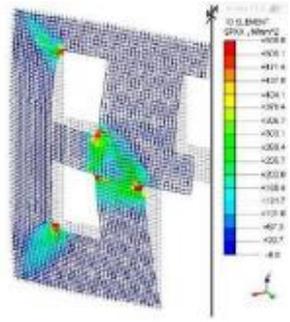
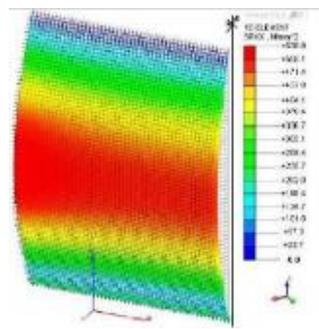
HOTEL TERME DI COMANO



DPC-ReLUIIS
2019-2021 WP5



Situazione attuale



IL CASO STUDIO: L'EX TRIBUNALE DI FABRIANO

IL CASO STUDIO: EX-TRIBUNALE FABRIANO

Caratteristiche principali

- Edificio in muratura portante, primi anni '40;
- Sopraelevazione a metà anni '50;
- Soggetto ad interventi di riparazione e miglioramento sismico effettuati dopo il sisma del 1997;
- Disponibili relazioni redatte nell'anno 2009 e successivi nell'ambito delle "indagini conoscitive su 40 edifici pubblici ed un ponte monitorati nell'ambito dell'Osservatorio Sismico delle Strutture (OSS)";
- Monitorato dall'OSS e colpito da sequenza sismica Centro-Italia 2016/2017.

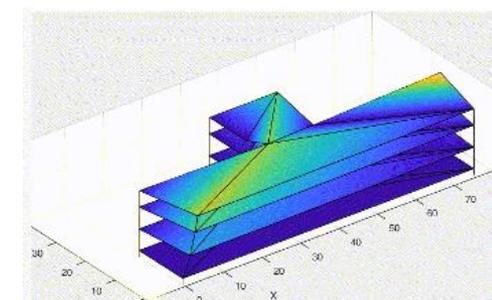
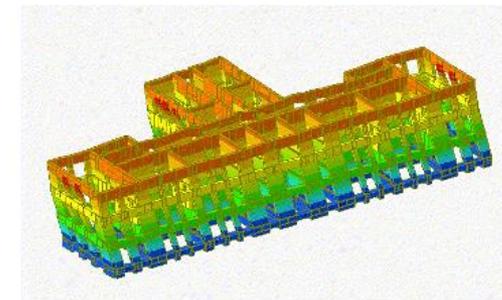
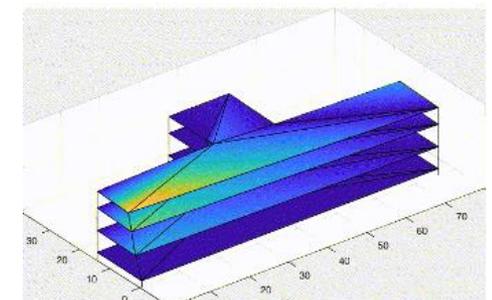
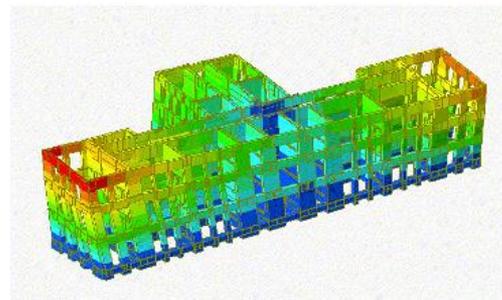
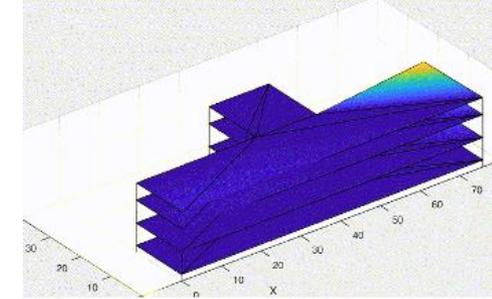
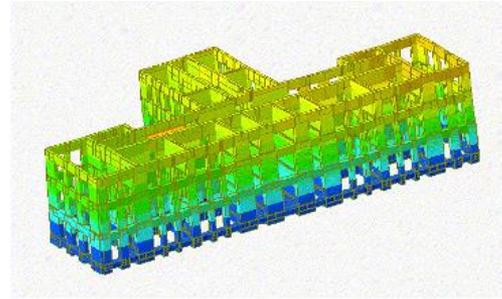
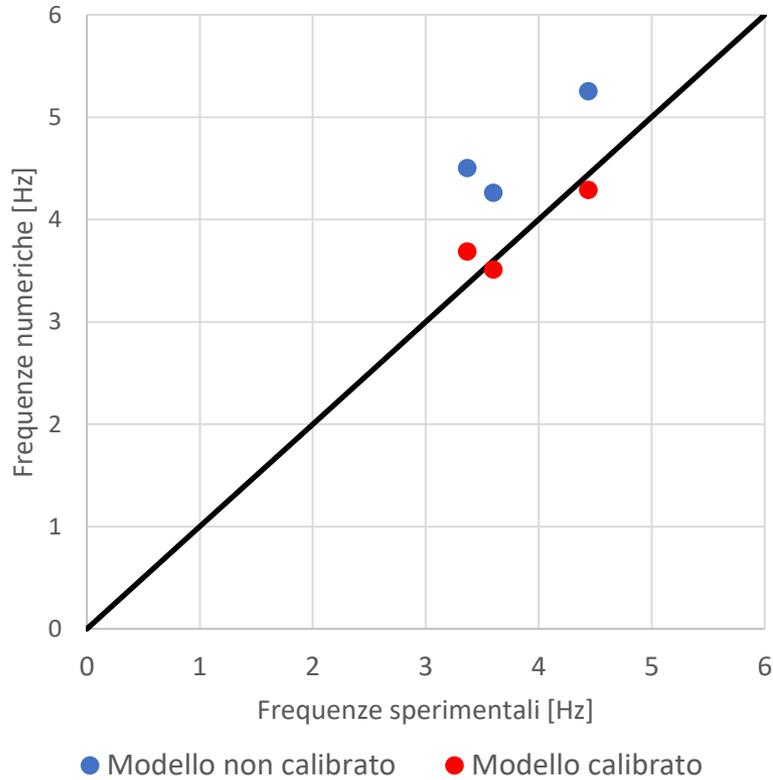


da Porto, aspetti strutturali

De Carli, aspetti energetici

MODI NUMERICI

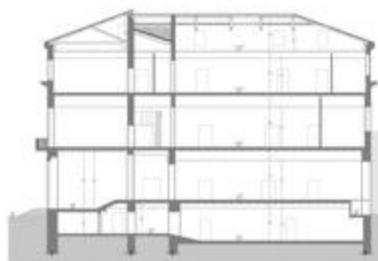
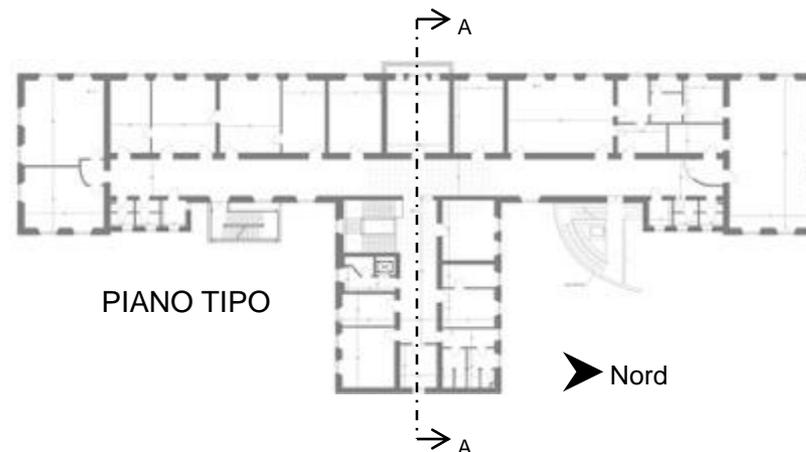
MODI SPERIMENTALI



IL CASO STUDIO: EX-TRIBUNALE FABRIANO

Rilievo geometrico

- Pianta a "T"
- 4 piani di cui 1 seminterrato
- 1220 m² per piano
- Altezza massima gronda 17 m
- Lunghezza massima 77 m



SEZIONE A-A



PROSPETTO OVEST



PROSPETTO NORD



PROSPETTO EST

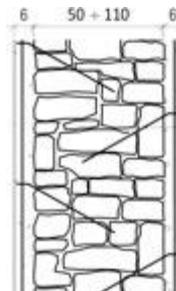


PROSPETTO SUD

IL CASO STUDIO: EX-TRIBUNALE FABRIANO

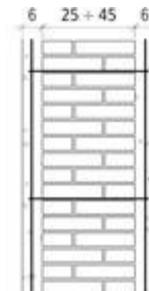
Rilievo strutturale

- 3 tipologie murarie
- 4 tipologie di solai
- Copertura con capriate lignee



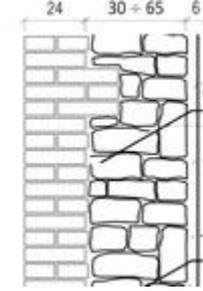
MUR1

Pietra a spacco
con buona tessitura



MUR2

Mattoni pieni

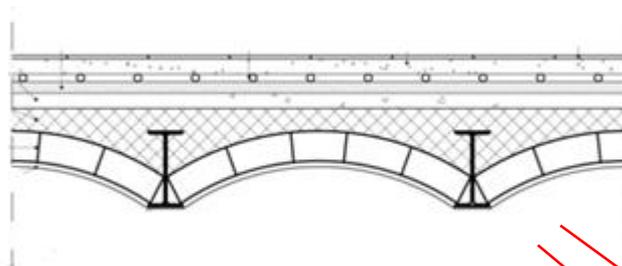


MUR3

Pietra a spacco e
“rivestimento” in
mattoni

SOL1/2

Putrelle in acciaio e
voltine in laterizio,
con soletta armata



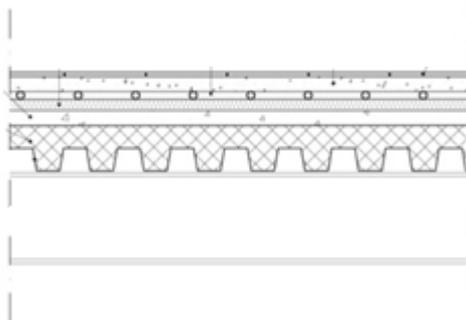
SOL4

Profili in acciaio Ω
e tavolato in legno,
con controventi di
piano in acciaio



SOL3

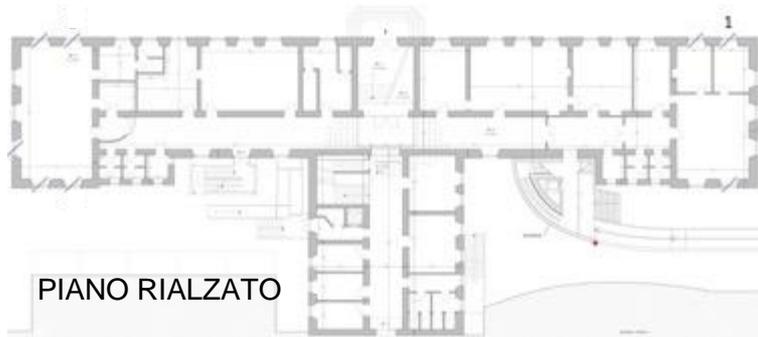
Travetti in acciaio e
lamiera grecata,
con soletta armata



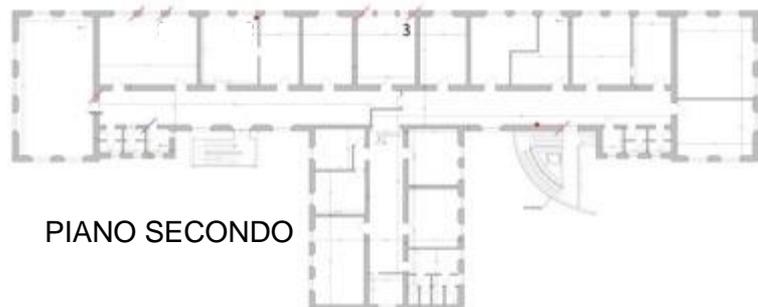
IL CASO STUDIO: EX-TRIBUNALE FABRIANO

Rilievo del danno

- Poche lesioni e superficiali
- Danno non riconducibile a sisma



- danno maschi
- danno fasce
- les. verticale
- ~ les. orizzontale



EDIFICIO ATTUALE



EDIFICIO PRE-INTERVENTI

CARATTERISTICHE STRUTTURALI

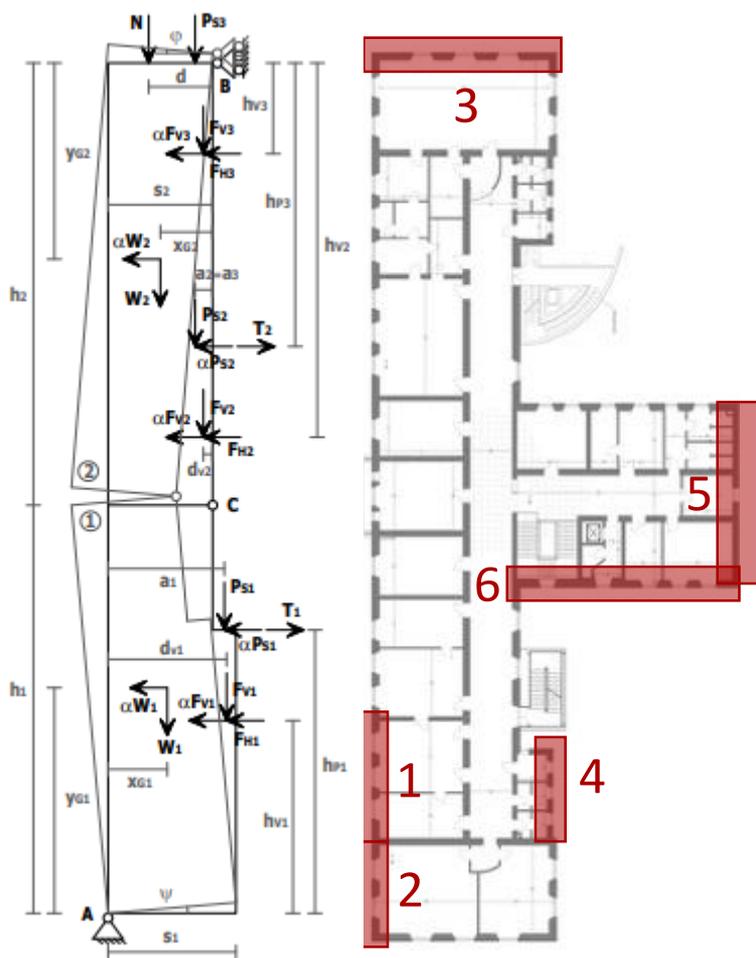
- Materiali e tessitura di buona qualità
- Pareti ortogonali ben ammorsate
- Solai orditi in una sola direzione e non ammorsati alle pareti perimetrali
- Architravi ben ammorsati alle pareti

CARATTERISTICHE ENERGETICHE

- Radiatori
- Serramenti a vetro singolo
- Caldaia tradizionale

ANALISI CINEMATISMI LOCALI

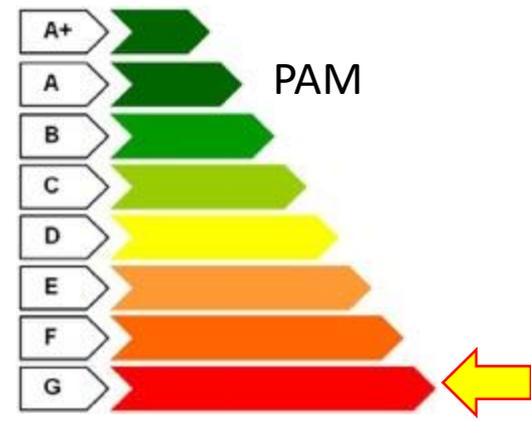
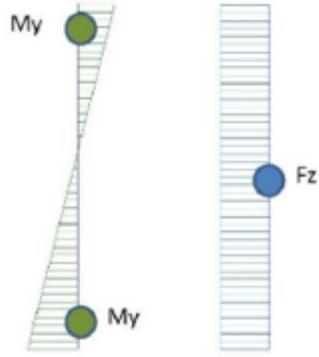
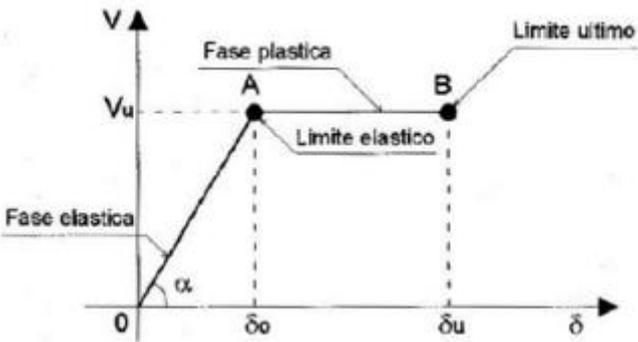
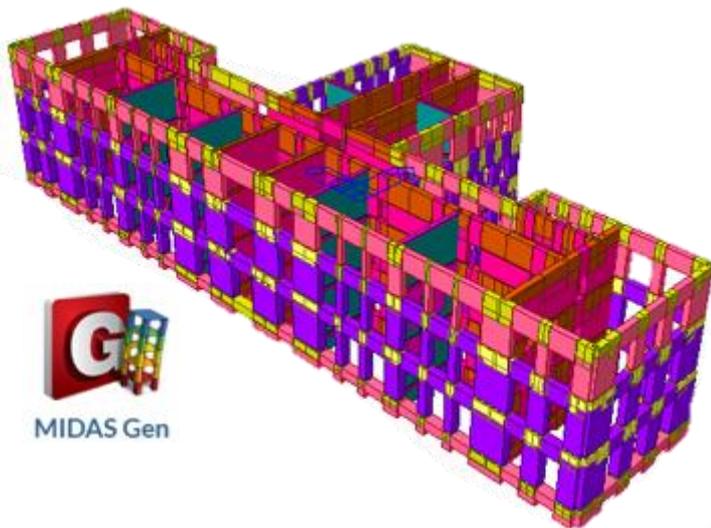
Flessione verticale 2 piani



| CINEMATISMO | ACCELERAZIONE SPETTRALE DI ATTIVAZIONE α [m/sq] | ACCELERAZIONE SPETTRALE DI RIFERIMENTO α^* [m/sq] | VERIFICA |
|-------------|--|--|----------|
| 1 | 2.169 | 3.208 | 147% |
| 2 | 2.059 | 3.074 | 149% |
| 3 | 2.184 | 3.117 | 143% |
| 4 | 2.261 | 2.876 | 127% |
| 5 | 2.130 | 2.5 | 117% |
| 6 | 2.182 | 3.008 | 138% |

VULNERABILITÀ SISMICA PRE-INTERVENTI

- Modellazione a telaio equivalente
- Modello costitutivo elastico – perfettamente plastico
- Livello di conoscenza LC2



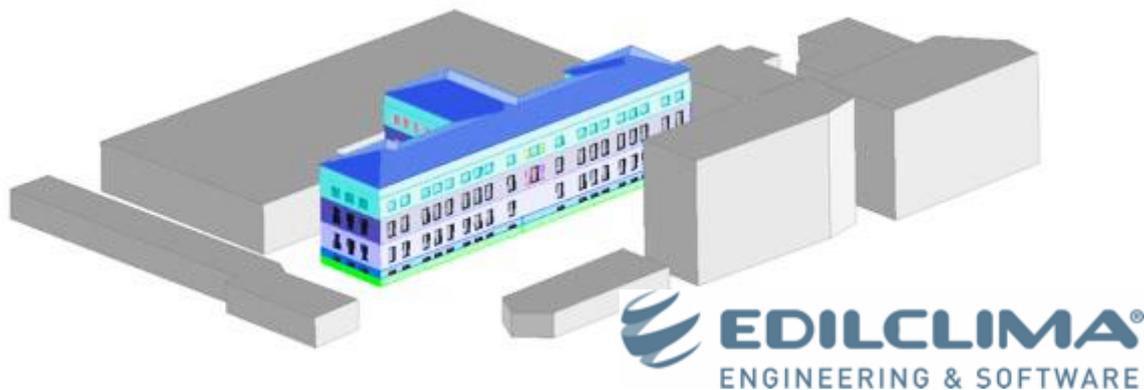
EFFICIENZA ENERGETICA PRE-INTERVENTI

Modello quasi-stazionario

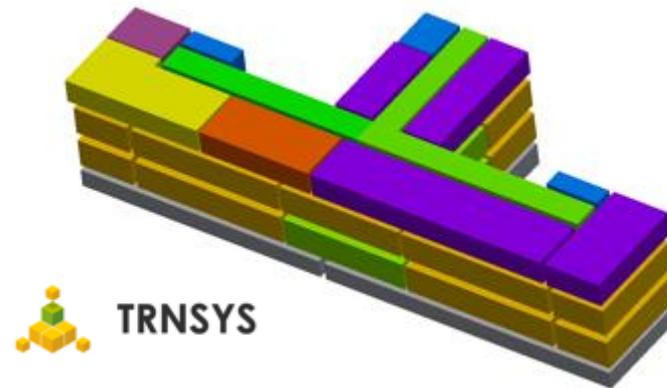


DPC-ReLUIS
2019-2021 WP5

- Metodo semplificato
- Calcolo mensile
- Norma UNI-TS 11300



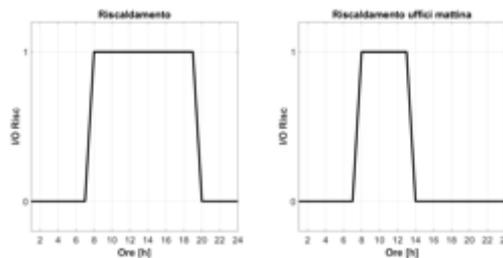
- Maggiore dettaglio
- Calcolo orario
- Fabbisogno energia utile



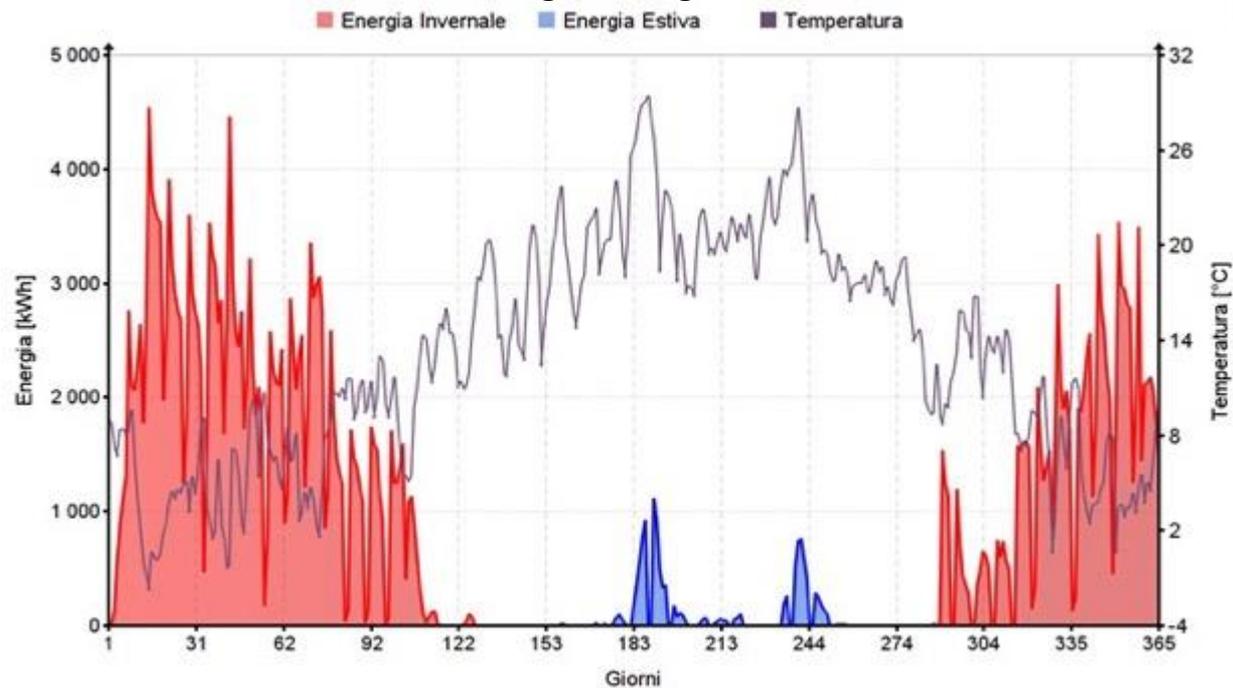
Profilo orario settimanale accensione riscaldamento



Profilo orario giornaliero accensione riscaldamento



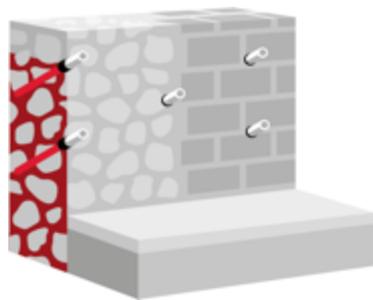
Fabbisogno energia utile



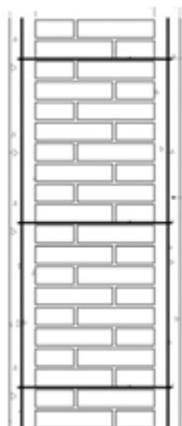
INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO

Strutture verticali

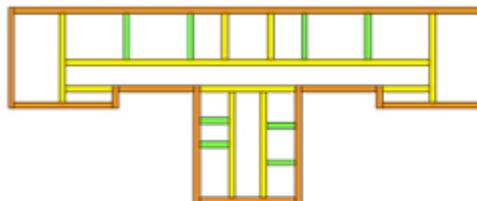
Iniezioni di malta su tutte le pareti



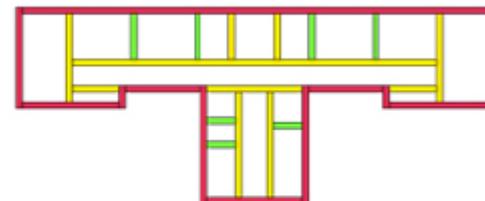
Intonaco armato su entrambe le facce delle pareti interne



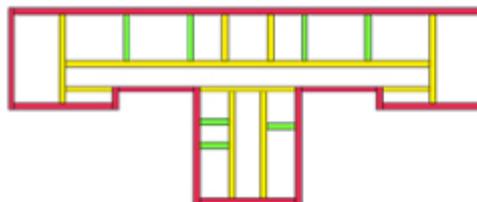
PIANO SEMINTERRATO



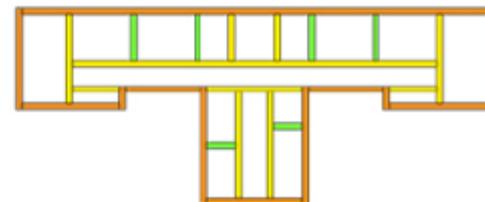
PIANO RIALZATO



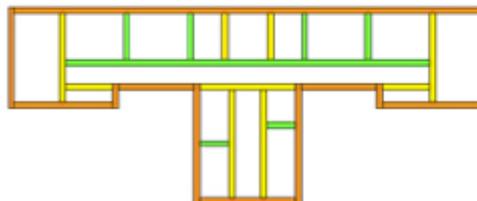
PIANO PRIMO



PIANO SECONDO



PIANO SOTTOTETTO



LEGENDA TIPOLOGIE MURARIE

| | |
|--|--|
| MUR1-A | MUR2 |
| MUR1-B | MUR3 |

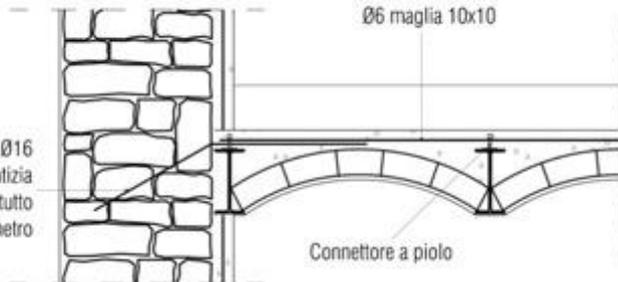
| | Posizione | Iniezioni Di Malta | Intonaco Armato | Coeff. Amplificativo |
|------|---------------------|--------------------|-----------------|----------------------|
| MUR1 | MUR1A (Interne) | X | X | 2.25 |
| | MUR1B (Perimetrali) | X | | 1.5 |
| MUR2 | Interne | X | X | 1.8 |
| MUR3 | Perimetrali | X | | 1.35 |

SOL1/2

Soletta armata ben ammassata alle pareti

Riempimento con cls 1400 Kg/mc
Rck 250 e con rete elettrosaldata
Ø6 maglia 10x10

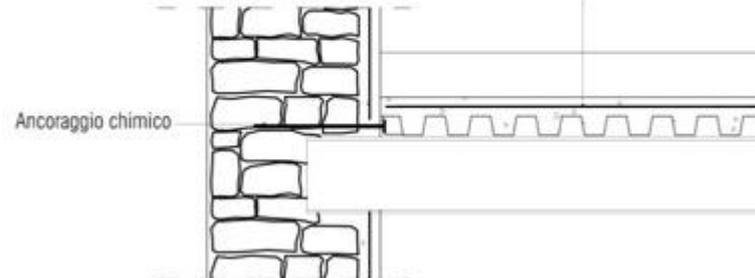
Foro da Ø30 con ferro Ø16
iniettato con malta cementizia
o resina ogni 60 cm per tutto
il perimetro



SOL3

Completa demolizione solaio in laterocemento e
ricostruzione con travetti in acciaio e lamiera
grecata, soletta armata ben ammassata alle pareti

Riempimento con cls Rck 300 e
con rete elettrosaldata
Ø5 maglia 10x10



SOL4

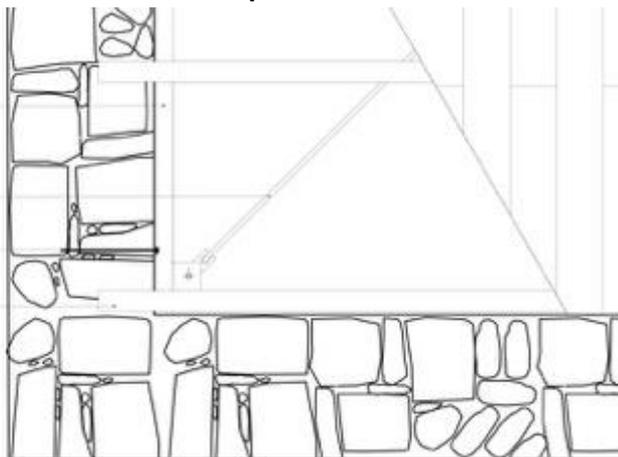
Controventamento di piano in acciaio

Angolari a Lati Uguali Spigoli
Tondi 80 x 8

Tirante in acciaio Ø20

Ancoraggio chimico

Travetto in acciaio
Ω 160 (90)



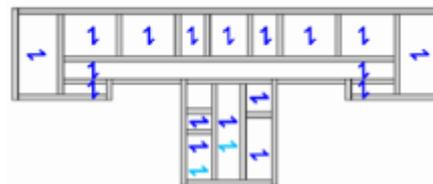
← SOL1

← SOL2

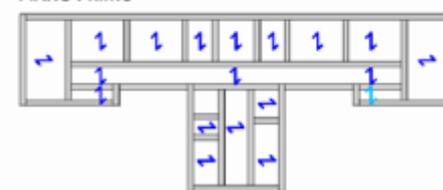
← SOL3

← SOL4

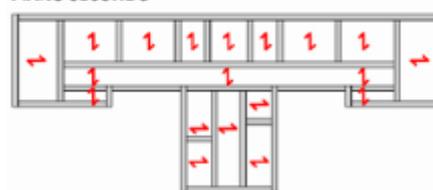
PIANO RIALZATO



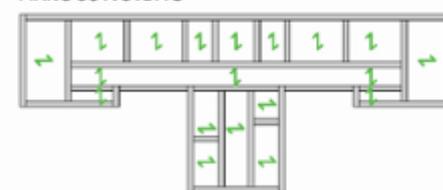
PIANO PRIMO



PIANO SECONDO

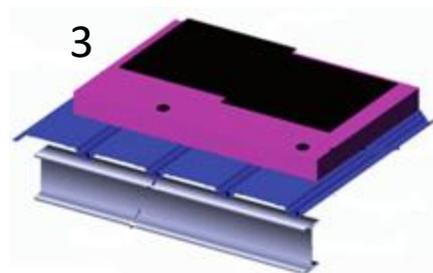
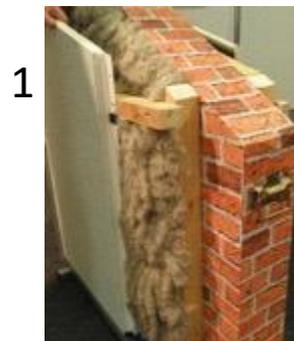


PIANO SOTTOTETTO



INTERVENTI EFFICIENTAMENTO ENERGETICO

1. Isolamento pareti perimetrali
2. Sostituzione serramenti con nuovi in alluminio con taglio termico
3. Isolamento solaio di calpestio piano rialzato e sottotetto
4. Inserimento nuovo controsoffitto
5. Impianto radiante a pavimento al piano rialzato, primo e secondo
6. Pompa di calore aria-acqua
7. Impianto di ventilazione meccanica
8. Impianto fotovoltaico



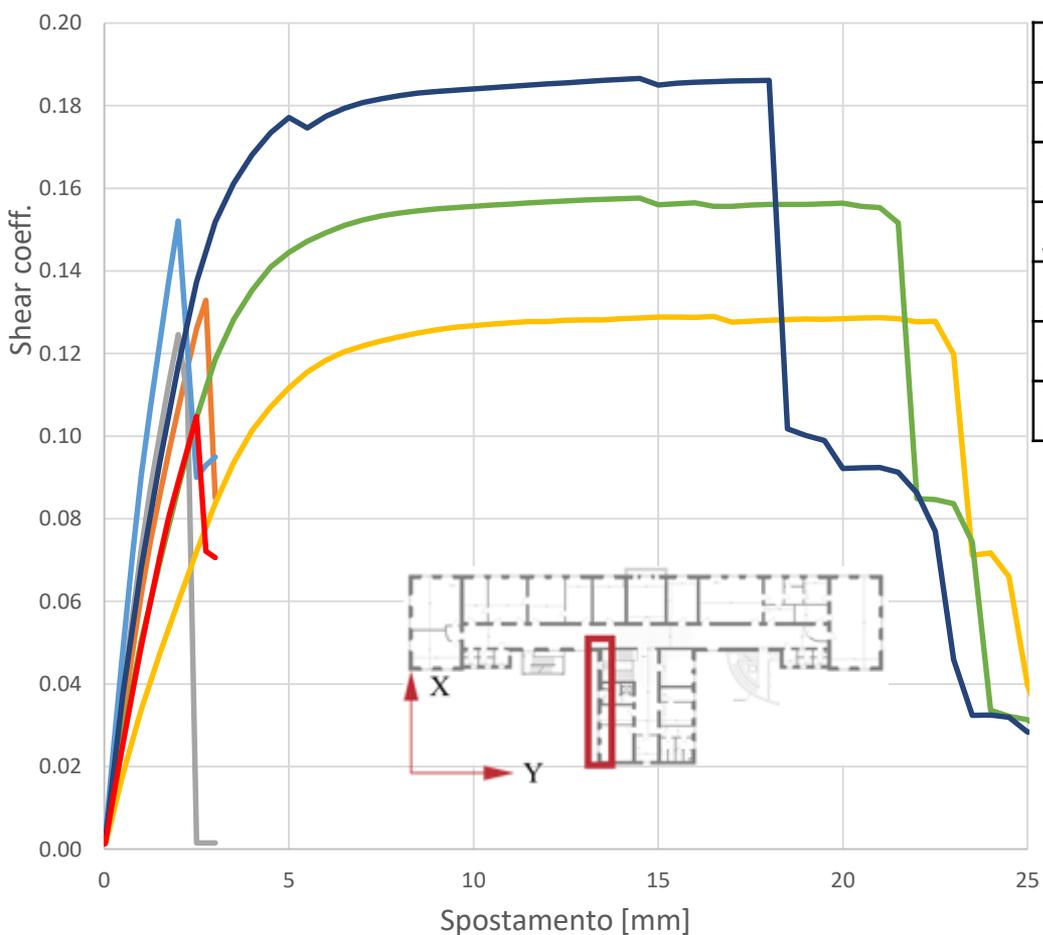
LIVELLI DI INTERVENTO INTEGRATI

| | Miglioramento sismico | Efficientamento energetico | |
|-----------|-----------------------------------|---|--|
| LIVELLO 1 | Strutture verticali | Isolamento murature, sostituzione serramenti | |
| LIVELLO 2 | Strutture orizzontali | 2.a | 2.B |
| | | Isolamento solai, sostituzione impianti | Isolamento solai, sostituzione impianti, sostituzione serramenti |
| LIVELLO 3 | Strutture verticali e orizzontali | 3.a | 3.b |
| | | Isolamento pareti e solai, sostituzione impianti, sostituzione serramenti | Isolamento pareti e solai, sostituzione impianti, sostituzione serramenti, impianto fotovoltaico |

EFFICACIA INTERVENTI STRUTTURALI

Push-over direzione X – forze proporzionali all'accelerazione

Analisi nella direzione più critica



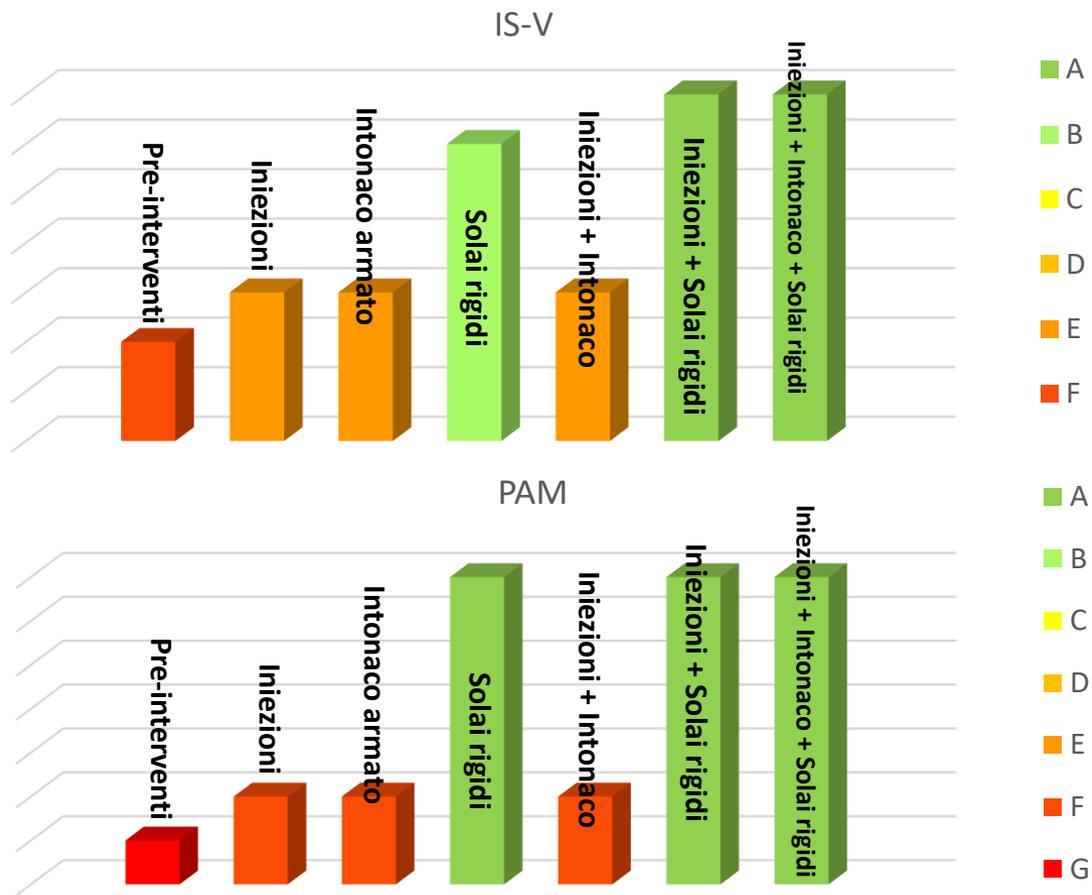
| | ACC_X PN | | |
|---------------------------------------|----------|--------|-------|
| | C [mm] | D [mm] | C/D % |
| <i>Pre-interventi</i> | 2.66 | 23.19 | 11% |
| <i>Intonaco armato</i> | 2.898 | 20.82 | 14% |
| <i>Iniezioni di malta</i> | 2.272 | 18.37 | 12% |
| <i>Solai irrigidimento</i> | 22.61 | 30.74 | 74% |
| <i>Iniezioni+intonaco</i> | 2.3 | 16.39 | 14% |
| <i>Iniezioni+sol. Rigidi</i> | 21.56 | 24.12 | 89% |
| <i>Iniezioni+intonaco+sol. Rigidi</i> | 19.66 | 20.17 | 97% |

- Pre-interventi
- Intonaco armato
- Iniezioni di malta
- Solai rigidi
- Iniezioni+intonaco
- Iniezioni+sol. Rigidi
- Iniezioni+intonaco+sol. Rigidi

EFFICACIA INTERVENTI STRUTTURALI

Valutazione classi di rischio sismico

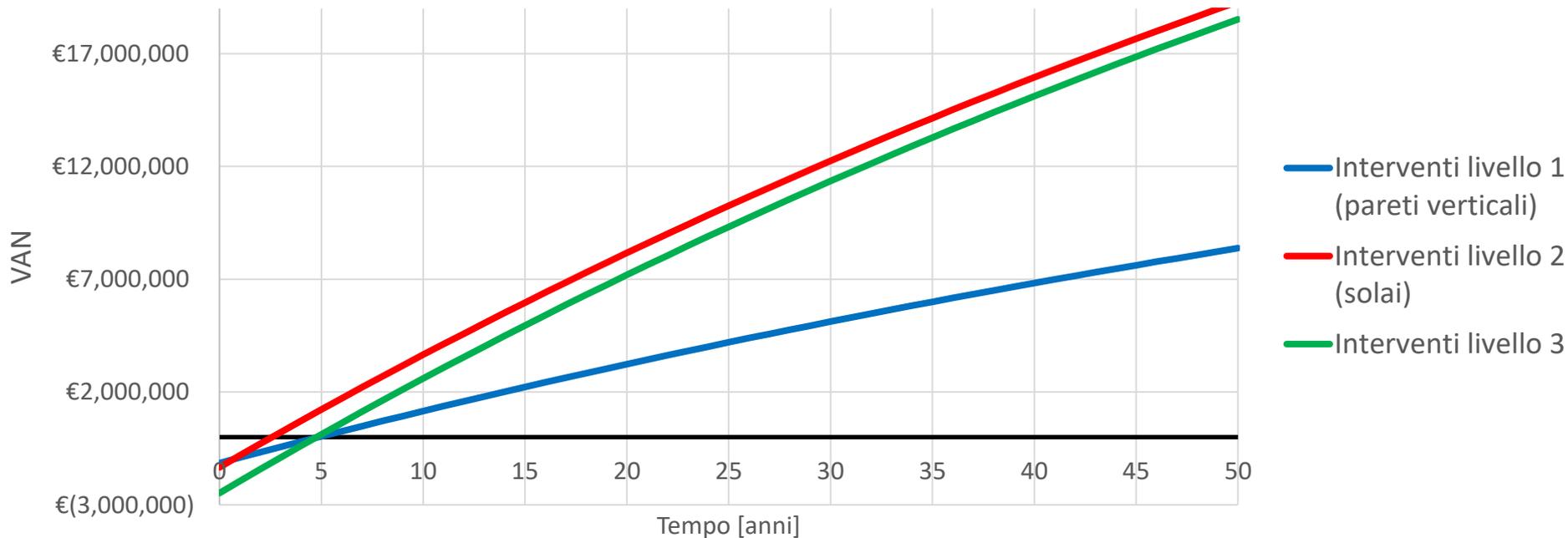
| | Classe sismica | |
|--|----------------|----------|
| | IS-V | PAM |
| <i>Pre-interventi</i> | F | G |
| <i>Iniezioni</i> | E | F |
| <i>Intonaco armato</i> | E | F |
| <i>Solai rigidi</i> | B | A |
| <i>Iniezioni + Intonaco armato</i> | E | F |
| <i>Iniezioni + Solai rigidi</i> | A | A |
| <i>Iniezioni + Intonaco + Solai rigidi</i> | A | A |



LIVELLI DI INTERVENTO INTEGRATI

Analisi costi-benefici interventi strutturali

| | Pre-interventi | Interventi livello 1 (pareti verticali) | Interventi livello 2 (solai) | Interventi livello 3 (pareti+solai) |
|------------------------------|----------------|--|---------------------------------|--|
| <i>Costo dell'intervento</i> | - | € 1,144,331.74 | € 1,332,006.77 | € 2,476,338.51 |
| <i>Classe IS-V</i> | F | E | B | A |
| <i>Classe PAM</i> | G | F | A | A |

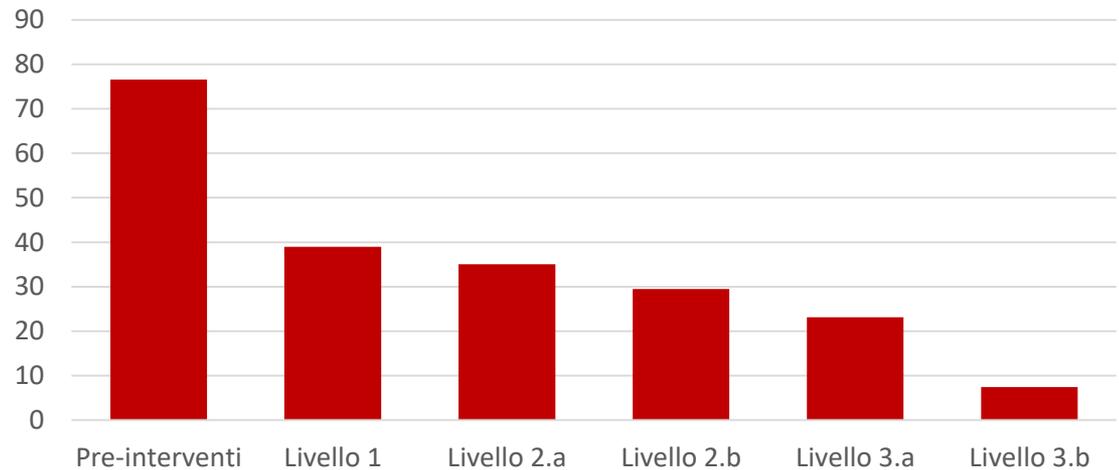


LIVELLI DI INTERVENTO INTEGRATI

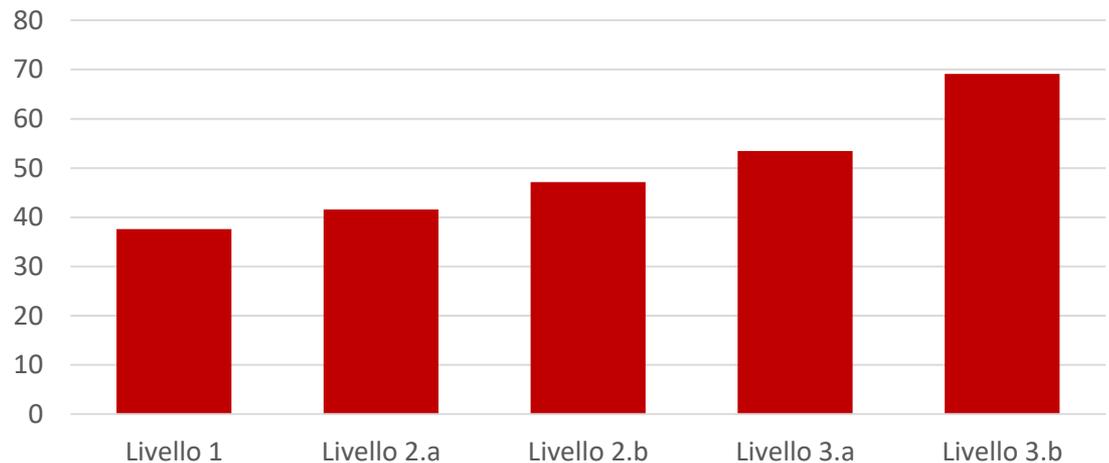
Efficacia degli interventi di efficientamento energetico

| CLASSE ENERGETICA | |
|-------------------|----------------|
| Pre-interventi | G |
| Livello 1 | C |
| Livello 2.a | C |
| Livello 2.b | B |
| Livello 3.a | A2 |
| Livello 3.b | A4 nZeb |

Spesa annua in k€



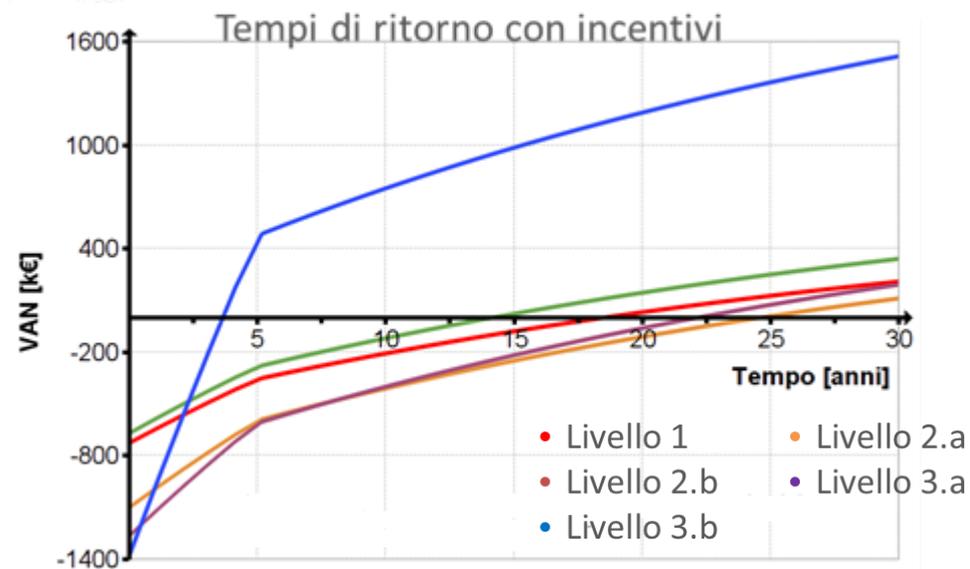
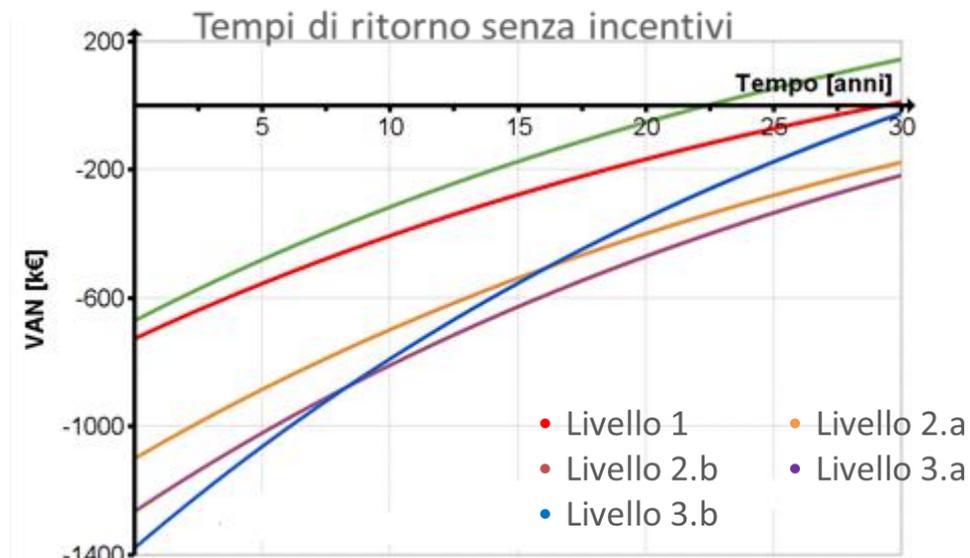
Risparmio annuo in k€



LIVELLI DI INTERVENTO INTEGRATI

Analisi costi-benefici interventi di efficientamento energetico

| CLASSE ENERGETICA | |
|-------------------|----------------|
| Pre-interventi | G |
| Livello 1 | C |
| Livello 2.a | C |
| Livello 2.b | B |
| Livello 3.a | A2 |
| Livello 3.b | A4 nZeb |



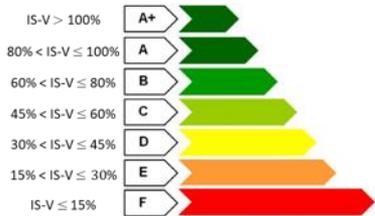
RIEPILOGO INTERVENTI INTEGRATI

| Livelli Strutturali | Livelli Energetici | Classe IS-V | Classe PAM | Classe energetica | Costo totale interventi | Totale incentivi | Percentuale Incentivo |
|-----------------------|-----------------------|-------------|------------|-------------------|-------------------------|------------------|-----------------------|
| <i>Pre-intervento</i> | <i>Pre-intervento</i> | F | G | G | - | - | - |
| <i>Livello 1</i> | <i>Livello 1</i> | E | F | C | € 1,738,568.94 | € 312,408.20 | 18% |
| <i>Livello 2</i> | <i>Livello 2.a</i> | B | A | C | € 1,870,058.52 | € 310,374.60 | 17% |
| | <i>Livello 2.b</i> | | | B | € 2,299,634.52 | € 410,374.60 | 18% |
| <i>Livello 3</i> | <i>Livello 3.a</i> | A | A | A2 | € 3,608,627.46 | € 542,103.56 | 15% |
| | <i>Livello 3.b</i> | | | A4 | € 3,722,627.46 | € 1,775,478.56 | 48% |

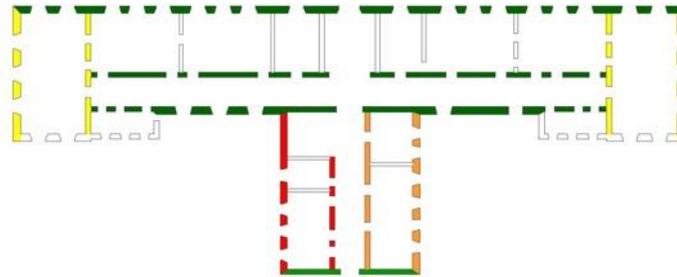
Attingendo al **Conto Termico 2.0**, regolato dal D.M. 16 febbraio 2016

ALCUNE CONSIDERAZIONI

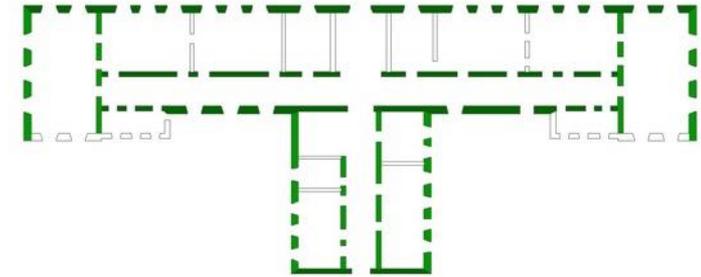
- Interventi su strutture verticali: applicazione non generalizzata



Situazione pre-interventi



Dopo interventi solo su solaio



- Sostituzione solaio laterocemento



- Irrigidimento di piano e collegamento solaio putrelle e voltine



GRAZIE PER L'ATTENZIONE!

Prof. Ing. Francesca da Porto
Università degli Studi di Padova