



Rete dei Laboratori Universitari
di Ingegneria Sismica e Strutturale



6 / 13
OTTOBRE
2024

#settimanadiPC

SCUOLA DI INGEGNERIA STRUTTURALE – RELUIS

Bologna, 9-11 ottobre 2024

INTERVENTI INTEGRATI PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO ED ENERGETICO DI EDIFICI IN CA E MURATURA: SPERIMENTAZIONI E CASI STUDIO

**Prof. Ing. Andrea Prota, Prof. Ing. Francesca da Porto,
Dott. Ing. Elisa Saler, Prof. Ing. Ciro Del Vecchio**

Attività del gruppo ReLUIS WP5 - Sub-task 5.1 & 5.2

Prof. Ing. Andrea Prota, Prof. Ing. Francesca da Porto

Interventi integrati

INTERVENTI INTEGRATI



EFFICIENTAMENTO ENERGETICO



RETROFIT SISMICO ED ENERGETICO INDEPENDENTI



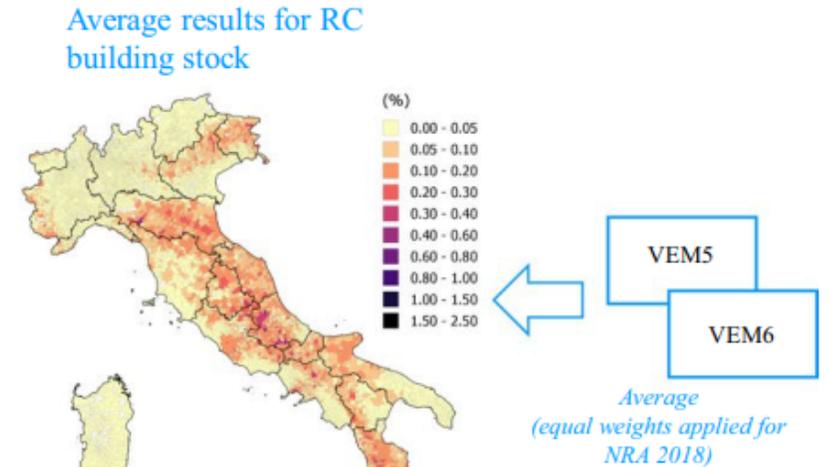
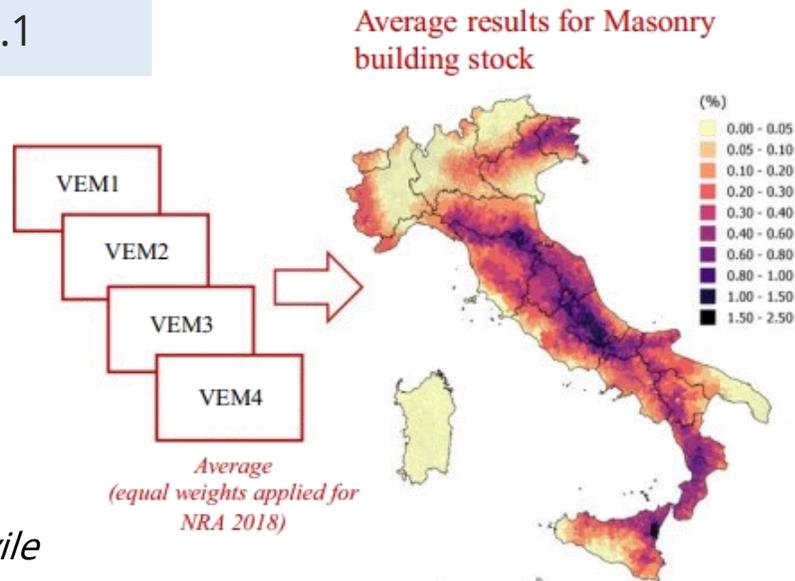
MIGLIORAMENTO SISMICO



STIMA PERDITE ECONOMICHE [MLD€]		
Costi (1 y)	MIN	MAX
MURATURA	1.9	3.0
C.A.	1.3	2.1

Dolce et al. (2021)

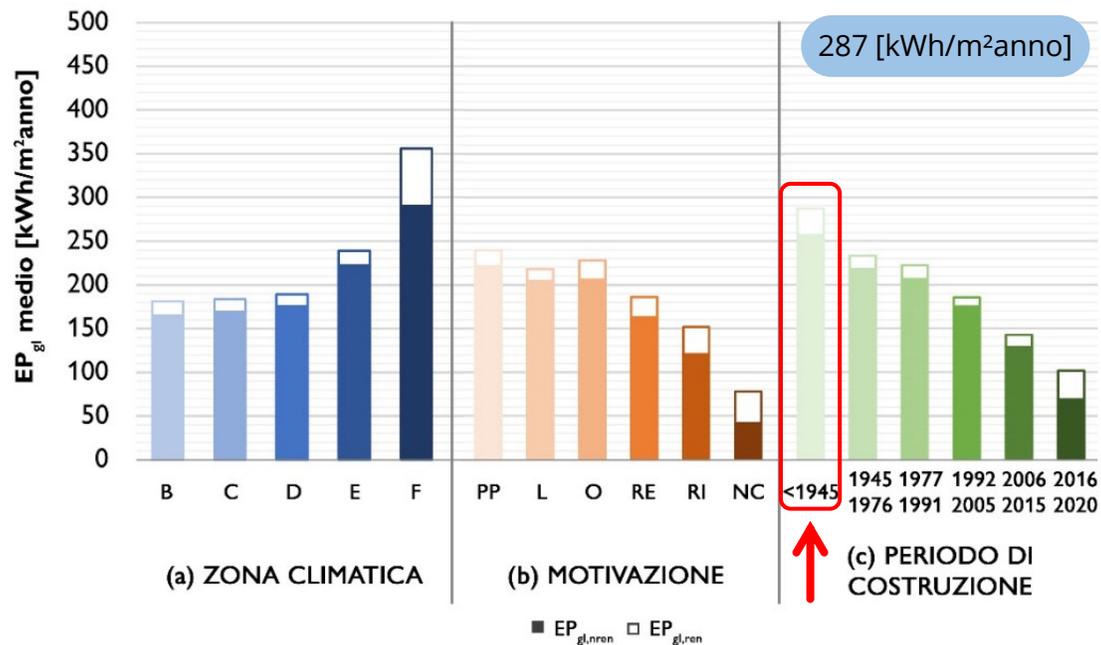
Fonte: Dipartimento della Protezione Civile (2018)
"National risk assessment: Overview of the potential major disasters in Italy"



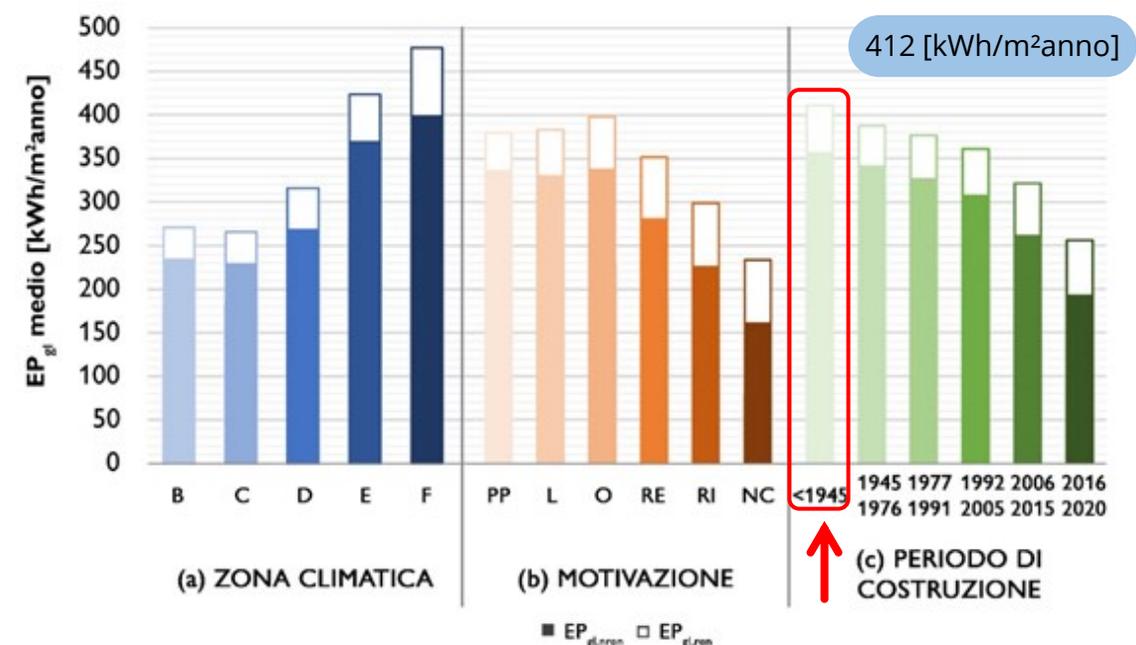
Fonte: Dolce et al., 2021

Percentuale media di edifici inagibili in ogni comune (rischio incondizionato ad 1 anno)

Consumi energia primaria globale – RESIDENZIALE

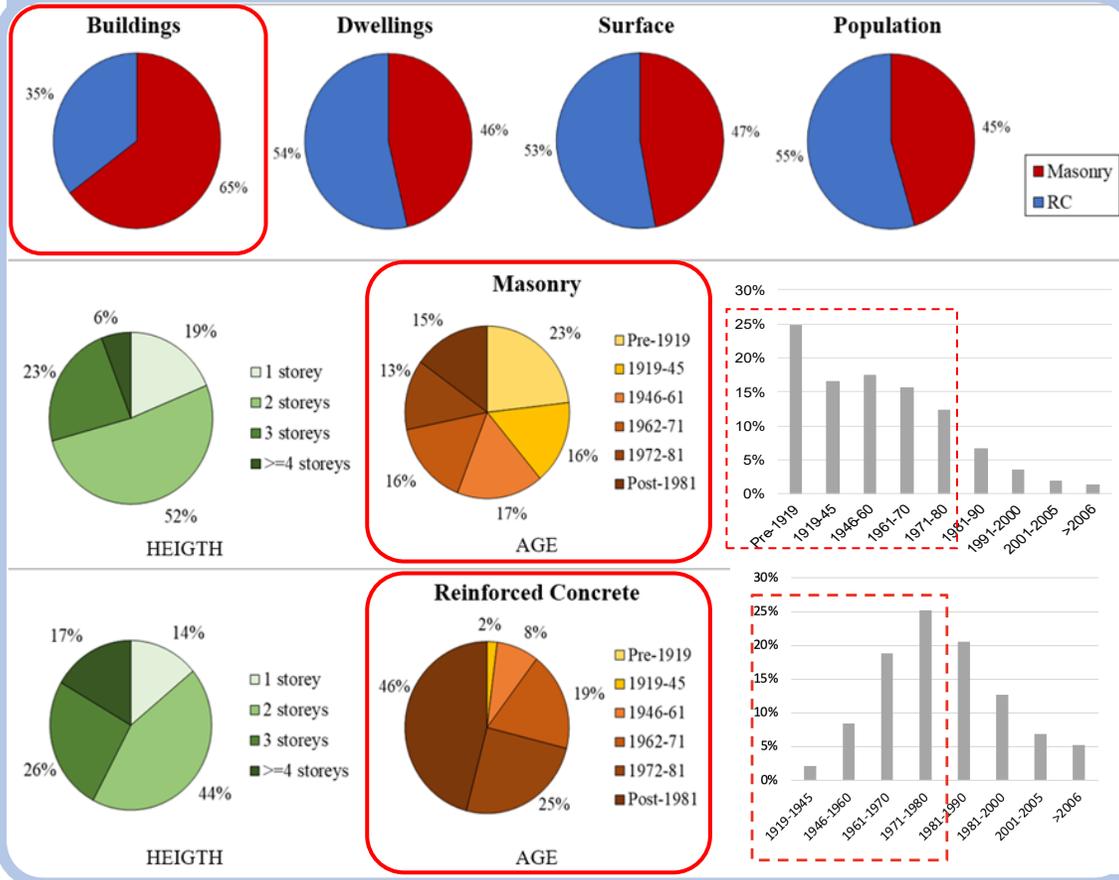


Consumi energia primaria globale – NON RES.



Fonte: Agenzia Nazionale Efficienza Energetica - ENEA (2021) "Report annuale sulla certificazione energetica degli edifici"

DISTRIBUZIONE EDILIZIA RESIDENZIALE (ISTAT)



MAGGIORANZA DELL'EDILIZIA RESIDENZIALE
(12,5 M vs 1,5 M NON RESIDENZIALI)



IL 54% DEGLI EDIFICI IN CA È COSTRUITO
PRIMA DEL 1981 E IL 29% PRIMA DEL 1971

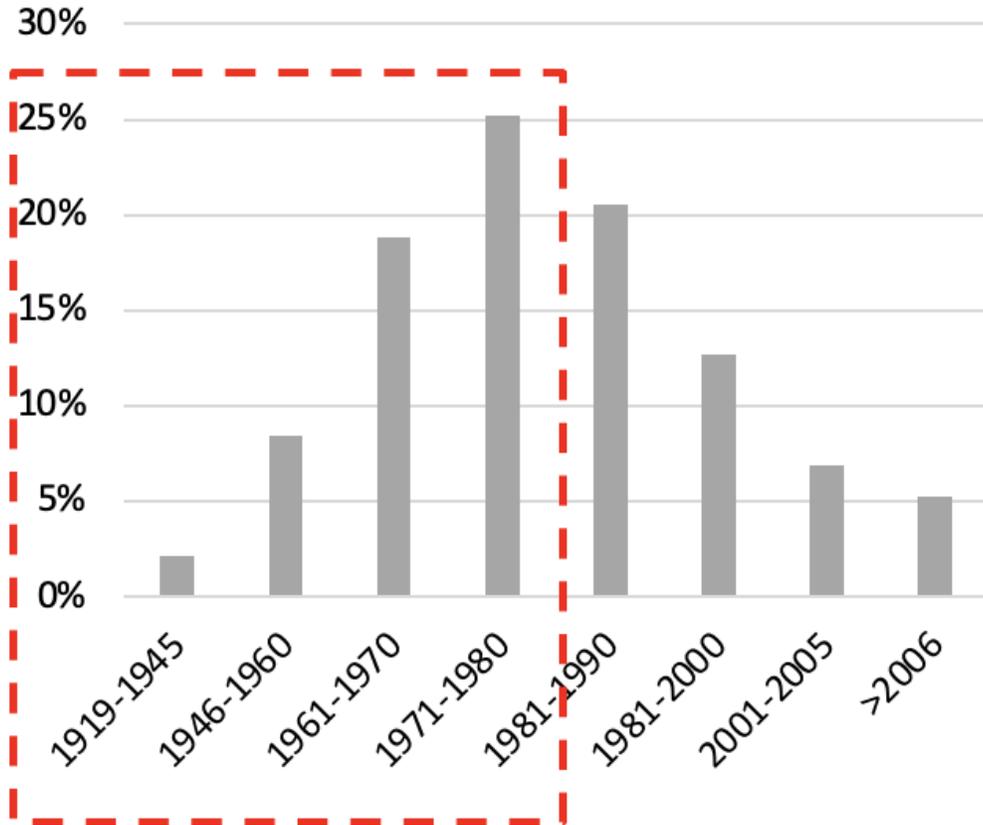


L'85% DEGLI EDIFICI IN MURATURA È COSTRUITO
PRIMA DEL 1981 E IL 72% PRIMA DEL 1971

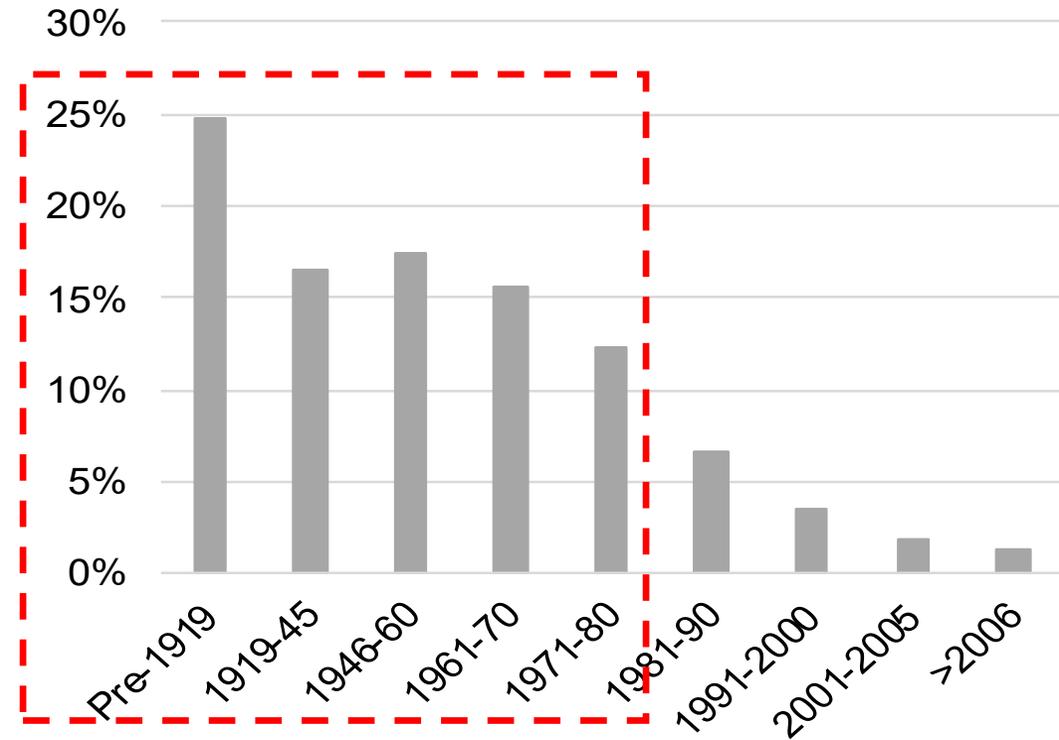


PER MURATURA, PREVALGONO EDIFICI (94%) FINO A
3 PIANI, MONO- E BI-FAMILIARI

Obsolescenza del patrimonio edilizio



Edifici residenziali in c.a.



Edifici residenziali in muratura

ORGANIZZATIVE



Landlord-tenant dilemma



Edifici multi-familiari

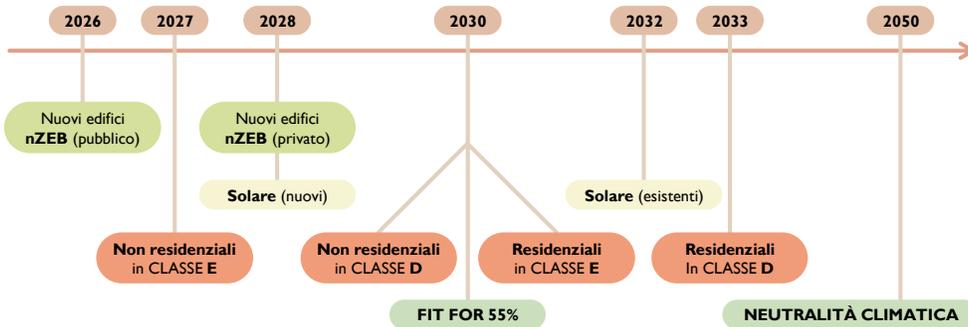
ECONOMICHE



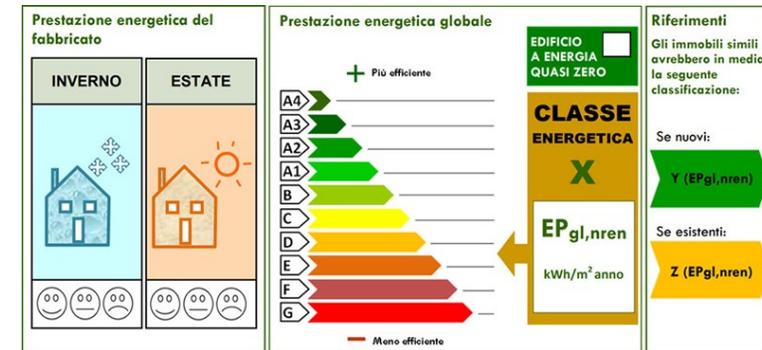
CULTURALI



MARZO 2023 **Direttiva "Case Green"** Efficienza energetica degli edifici



Legge 90/2013 **Obbligatorietà Attestato di Prestazione Energetica**



OPCM 3274/03 **Ordinanza sismica** e successive norme, sino ad NTC18

- Obbligatorietà verifica sismica per edifici strategici e rilevanti
- Intervento locale, miglioramento (0,6), adeguamento (0,8) per ed. strategici e rilevanti
- +0,10 per miglioramento di strutture ordinarie

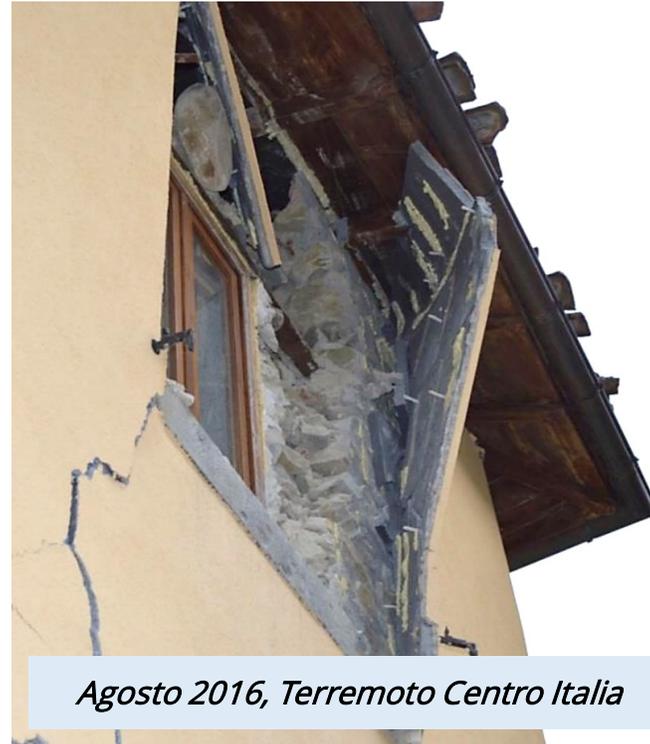
DM n. 65 07/03/17 **Classificazione del rischio sismico degli edifici**

Possibilità legata all'utilizzo di incentivi per l'intervento





Necessità di un ripensamento, verso l'integrazione e ottimizzazione di interventi di miglioramento sismico ed energetico



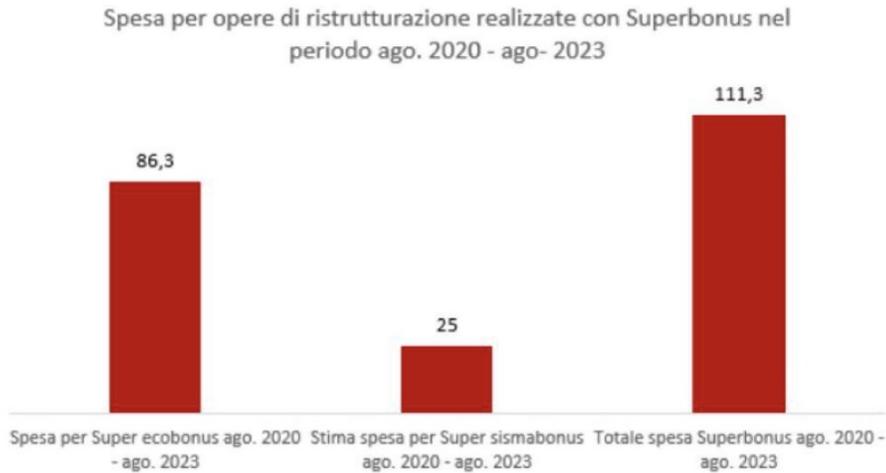
Agosto 2016, Terremoto Centro Italia

Super Ecobonus 110%

31 agosto 2024

		Dato Nazionale		
		% lavori realizzati	% edifici	% Invest.
N. di edifici		496.315		
Totale investimenti(*)		119.574.407.738,75 €		
Totale investimenti ammessi a detrazione		116.962.233.649,00 €		
Totale investimenti per lavori conclusi ammessi a detrazione		112.440.427.416,04 €	96,1%	
Detrazioni maturate per i lavori conclusi		122.996.275.350,23 €	Onere a carico dello Stato	
Condomini				
N. di edifici condominiali		133.902	27,0%	
Totale investimenti(*)		79.328.533.133,36 €		
Tot. Inv. Condominiali ammessi a detrazione		77.752.233.276,97 €		66,5%
Tot. Lavori Condominiali realizzati ammessi a detrazione		73.885.023.482,42 €	95,0%	
Edifici unifamiliari				
N. di edifici unifamiliari		245.034	49,4%	
Totale investimenti(*)		28.710.722.591,26 €		
Tot. Inv. in edifici unifamiliari ammessi a detrazione		27.911.663.895,03 €		23,9%
Tot. Lavori in edifici unifam. realizzati ammessi a detrazione		27.454.321.368,39 €	98,4%	
U.I. funzionalmente indipendenti				
N. di unità immobiliari funzionalmente indipendenti		117.371	23,6%	
Totale investimenti(*)		11.533.214.315,01 €		
Tot. Inv. in unità immob. indipend. ammessi a detrazione		11.297.253.643,85 €		9,7%
Tot. Lavori in unità immob. indipend. realizzati		11.100.103.395,50 €	98,3%	
Castelli				
N. di castelli		8	0,0%	
Totale investimenti(*)		1.937.699,12 €		
Tot. Inv. in castelli ammessi a detrazione		1.082.833,15 €		0,0%
Tot. Lavori in castelli realizzati ammessi a detrazione		979.169,73 €	90,4%	
		Investimento medio(*)		
Condomini		592.437,25 €		
Edifici unifamiliari		117.170,36 €		
U.I. funzionalmente indipendenti		98.262,90 €		
Castelli		242.212,39 €		

(*) Investimento compreso le somme non ammesse a detrazione



Fonte: elaborazione Centro Studi CNI su dati Enea e Agenzia delle Entrate

Investimenti per super-ecobonus circa 3 volte superiori rispetto al super-sismabonus!

PNCS Portale Nazionale delle Classificazioni Sismiche

Dipartimento Casa Italia

Progetto PNCS

PNCS è il progetto promosso dal Dipartimento Casa Italia (DCI) a valere sulle risorse Pon Governance e Capacità Istituzionale 2014-2020.

Il progetto nasce per consentire la raccolta in forma digitale, attraverso un Portale appositamente predisposto, dei dati contenuti nella pratica amministrativa edilizia necessari per ottenere l'agevolazione del cosiddetto sisma bonus e si pone come obiettivo quello di migliorare le scelte di policy in materia di programmazione del territorio e di concessioni di incentivi per interventi di mitigazione del rischio sismico.

Il Portale consente anche di acquisire la georeferenziazione degli interventi ad esso connessi e di individuare le classi di rischio degli immobili oggetto degli interventi medesimi.

1 - 100 1000 records

_id	Identific...	Anno	Mese	Anno pr...	Comune	Provincia	Regione	Costo la...	Zona sis...	Cl. risch...	Cl. risch...	ISV ante	ISV post	PAM ante	PAM post	Tip. cos...	Tecn. co...	Tip. inte...	Piani totali
1	0af05a1...	2023	9	2023	Albignas...	Padova	Veneto	48763.4	Zona 3 - ...							Capanno...	Cemento...	Rinforzo	1
2	aadbe49...	2023	9	2023	Anagni	Frosinone	Lazio	375267.82	Zona 2 - ...	G	A+	15	200	7.5	0.45	Edificio r...	Muratura...	Demolzi...	1
3	0811c9b...	2023	9	2023	Ancona	Ancona	Marche	138524.57	Zona 2 - ...	C	C	74.05	74.05	1.89	1.89	Edificio r...	Cemento...	Rinforzo	3
4	a9f2259...	2023	9	2023	Ascoli Pi...	Ascoli Pi...	Marche	122943.34	Zona 2 - ...	C	A	49.598	97.322	1.383	0.56	Edificio r...	Muratura...	Ripristino	2
5	c40e8bd...	2023	9	2023	Avezzano	L'Aquila	Abruzzo	186385.99	Zona 1 - ...							Edificio r...	Cemento...	Rinforzo	4
6	60f1748...	2023	9	2023	Avigliana	Torino	Piemonte	351807.98	Zona 3 - ...	D	A	40	100.07	3	0.559	Edificio r...	Muratura...	Rinforzo	2

- Localizzazione
- Costo
- Zona sismica
- Classe, ISV, PAM ante e post
- Tipo costruzione (capannone, ed. residenziale, commerciale/uffici)
- Tecnologia costruttiva
- Tipo di intervento
- Nr. piani



Dati 2022 e 2023

1690 pratiche caricate

Barriere tecniche

Tecniche efficaci, affidabili ed economiche, in grado di soddisfare a più requisiti contemporaneamente



ABRUZZO

Metodologie per la valutazione degli effetti combinati, per il supporto al processo decisionale e la progettazione





Università di Padova
F. da Porto, M.R. Valluzzi



Università di Napoli Federico II
A. Prota, R. Landolfo,
E. Nigro, G.M. Verderame, C. Menna,
G. Brandonisio, F. M. De Sciarra



Università di Salerno
G. Rizzano



Università di Pavia
R. Pinho, G.
Magenes/G.
Guerrini



Università di Bergamo
A. Marini



Università di Genova
S. Lagomarsino / S. Cattari



Università della Basilicata
G. Santarsiero/Masi



Università della Campania
A. Mandara/M. Ferraioli



Università Roma Tre
G. de Felice



Università La Sapienza
L. Sorrentino, L. Giresini,
G. Monti / N. Nisticò



Università di Udine
M. Pauletta



Università di Brescia
G. Metelli



IUSS – Pavia
R. Monteiro



Università del Sannio
C. Del Vecchio



Università di Cagliari
M. Sassu/F. Stochino



Università di Catania
I. Calì



Università di Trento
I. Giongo



Università di Trieste
N. Gattesco



Politecnico di Torino
G. Ferro

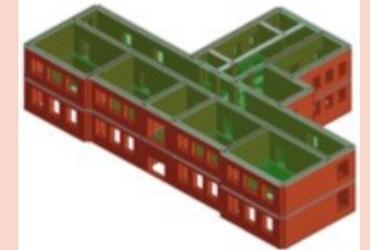
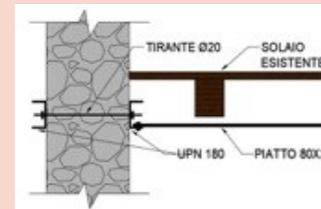


Link al sito del progetto



SUB-TASK 5.1.A
Rilievo efficace
interventi su edifici

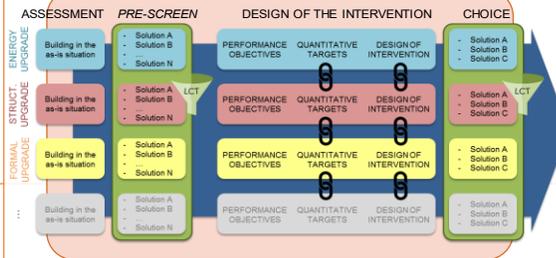
5.1 – sviluppo di strategie e tecniche di intervento



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



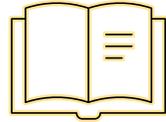
SUB-TASK 5.2.A
Decision making
process e/o metodi di
valutazione pre/post

SUB-TASK 5.2.B
Sviluppo/analisi di
tecniche integrate

5.2 – interventi integrati



Link al volume



Volume di sintesi dell'attività del triennio 19-21 + biennio 22-24



Collaborazione delle UR partecipanti al progetto su temi trasversali

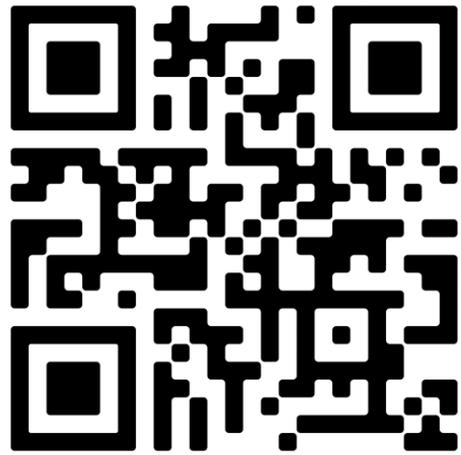


Disponibile in copia cartacea

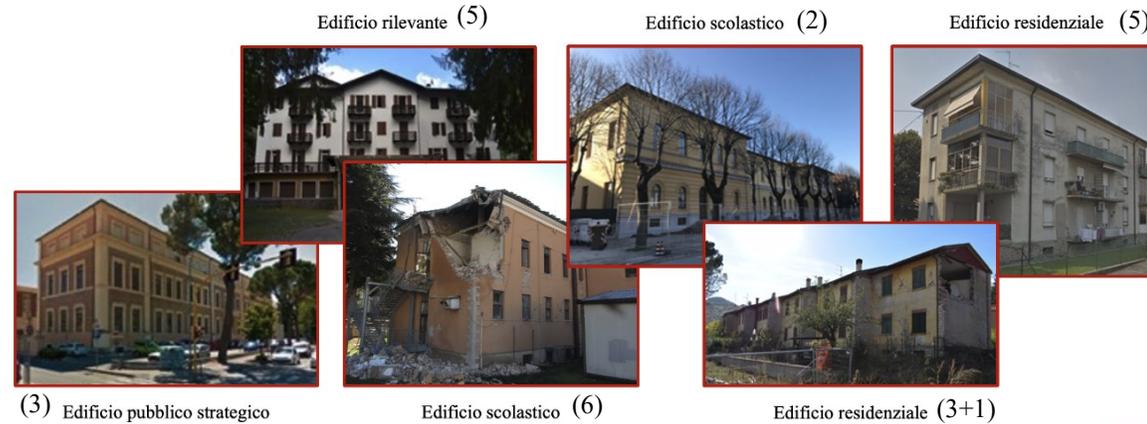


File disponibile sul sito ReLUI5 per download gratuito

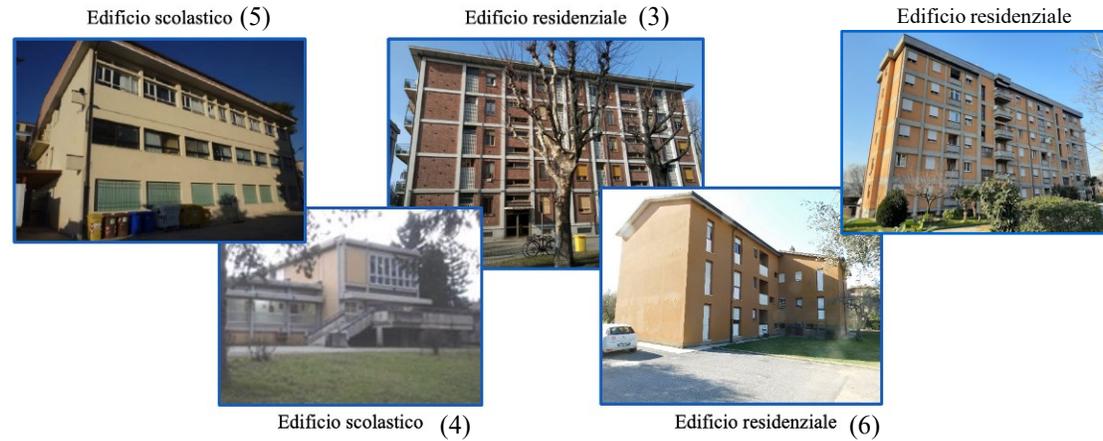




Link ai casi studio



Muratura



Calcestruzzo armato



Acciaio

- 1 Interventi locali su nodi in c.a. e rinforzo delle tamponature
- 2 Interventi locali sui collegamenti e rinforzo delle murature
- 3 Esoscheletri in acciaio
- 4 Criticità e interventi sui solai
- 5 Interventi con sistemi in legno
- 6 Interventi mediante tecniche di isolamento sismico

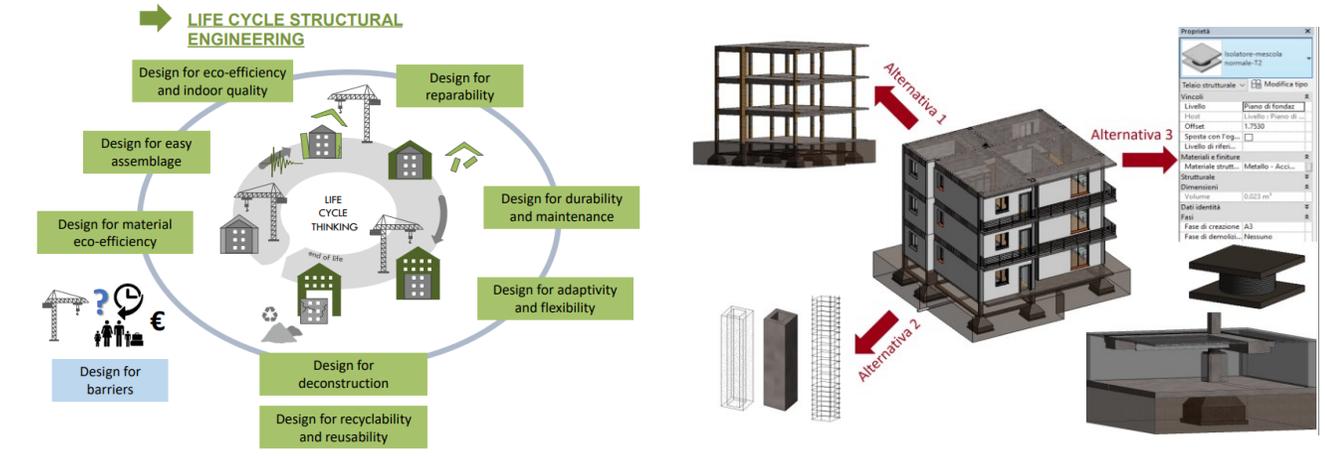
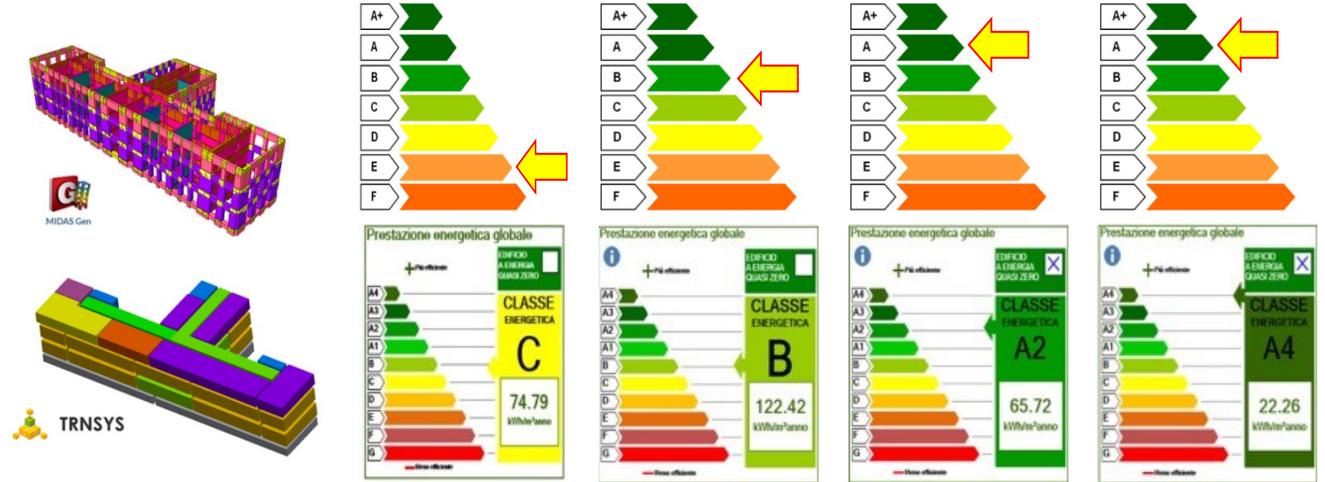


INTERVENTI INCREMENTALI
Target prestazionali sism. / ener.

Definizione di curve
ISO-COSTO e ISO-PERFORMANCE

OTTIMIZZAZIONE DEI COSTI
Optimal, multi-criterio

Metodi olistici e/o basati su
LIFE CYCLE THINKING (LCT)



Appendice – Schede di sintesi dei casi studio

Caso studio 1: edificio scolastico in cemento armato sito in provincia di Teramo

https://www.reluis.it/docs/DPC-RaLUTS-2022-2024/WP5/07_BIOLA_DEI_GRAN_SASSO_terrada_CA.pdf



TIPOLOGIA	
Destinazione d'uso	Edificio scolastico
Sistema costruttivo	Tela in cemento armato
Epoca di costruzione	1960-1970
Numero di piani	2 fuori terra
Area in pianta	735 mq a piano
Superficie calpestabile	1470 mq
Regolare in pianta	No
Reg. in elevazione	Si
Classe d'uso	III



119

Caso studio 2: edificio scolastico in cemento armato sito in provincia di Macerata

https://www.reluis.it/docs/DPC-RaLUTS-2022-2024/WP5/08_LOBO_PICENO_terrada_CA.pdf



TIPOLOGIA	
Destinazione d'uso	Edificio scolastico
Sistema costruttivo	Tela in cemento armato
Epoca di costruzione	1950-1960
Numero di piani	3 fuori terra
Area in pianta	400 mq a piano
Superficie calpestabile	1200 mq
Regolare in pianta	Si
Reg. in elevazione	Si
Classe d'uso	III



PARAMETRI DI DOMANDA			
Zona Sismica: 2		Zona Climatica: D	
$\mu_{s,ELV} = 0,202$ [g]	Classe di suolo: B	Cat. top: T1	Gradi giorno: 2150

Caso studio 3: edificio residenziale in cemento armato sito in provincia di Brescia

https://www.reluis.it/docs/DPC-RaLUTS-2022-2024/WP5/09_TUSCOLANO_MADDERNO_terrada_CA.pdf



TIPOLOGIA	
Destinazione d'uso	Edificio residenziale
Sistema costruttivo	Tela in cemento armato
Epoca di costruzione	1960
Numero di piani	3 fuori terra
Area in pianta	250 mq a piano
Superficie calpestabile	690 mq
Regolare in pianta	No
Reg. in elevazione	Si
Classe d'uso	II



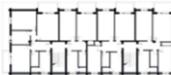
PARAMETRI DI DOMANDA			
Zona Sismica: 2		Zona Climatica: E	
$\mu_{s,ELV} = 0,233$ [g]	Classe di suolo: C	Cat. top: T1	Gradi giorno: 2265

Caso studio 4: edificio residenziale in cemento armato sito in provincia di Torino

https://www.reluis.it/docs/DPC-RaLUTS-2022-2024/WP5/10_TORINO_terrada_CA.pdf



TIPOLOGIA	
Destinazione d'uso	Residenziale e commerciale
Sistema costruttivo	Tela (intambe le direzioni) e reti (direzioni trasversali) in ca
Epoca di costruzione	1955
Numero di piani	3 fuori terra
Area in pianta	1800 mq a piano
Superficie calpestabile	5000 mq
Regolare in pianta	Si
Reg. in elevazione	Si
Classe d'uso	II

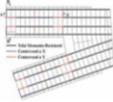
PARAMETRI DI DOMANDA			
Zona Sismica: 3		Zona Climatica: E	
$\mu_{s,ELV} = 0,052$ [g]	Classe di suolo: B	Cat. top: T1	Gradi giorno: 2617

Caso studio 5: edificio ad uso pubblico strategico in acciaio sito a Napoli

https://www.reluis.it/docs/DPC-RaLUTS-2022-2024/WP5/11_NAPOLI_Gesio_Cerda_Ammio.pdf



TIPOLOGIA	
Destinazione d'uso	Edificio pubblico strategico
Sistema costruttivo	Sistema Ibrido (MRF, X-CBF, Y-CBF)
Epoca di costruzione	1960-1970
Numero di piani	6 fuori terra
Area in pianta	1400 mq piano tipo; 1200 ultimi due piani
Superficie calpestabile	8000 mq
Regolare in pianta	No
Reg. in elevazione	No
Classe d'uso	III

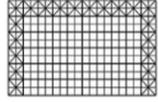
PARAMETRI DI DOMANDA			
Zona Sismica: 2		Zona Climatica: -	
$\mu_{s,ELV} = 0,192$ [g]	Classe di suolo: C	Cat. top: T1	Gradi giorno: -

Caso studio 6: edificio industriale in acciaio sito in provincia di Avellino

https://www.reluis.it/docs/DPC-RaLUTS-2022-2024/WP5/12_NUSCO_Ingrosso_Arcore.pdf



TIPOLOGIA	
Destinazione d'uso	Edificio industriale
Sistema costruttivo	Tela con colonne in composizione validata e travi reticolari
Epoca di costruzione	1992-1997
Numero di piani	Edificio monospazio
Area in pianta	1998 mq
Superficie calpestabile	1998 mq
Regolare in pianta	Si
Reg. in elevazione	Si
Classe d'uso	II

PARAMETRI DI DOMANDA			
Zona Sismica: 2		Zona Climatica: -	
$\mu_{s,ELV} = 0,243$ [g]	Classe di suolo: C	Cat. top: T1	Gradi giorno: -

Caso studio 7: edificio ad uso pubblico in muratura in provincia di Ancona

https://www.reluis.it/docs/DPC-RaLUTS-2022-2024/WP5/01_Falisco_MUR.pdf



TIPOLOGIA	
Destinazione d'uso	Uso pubblico
Sistema costruttivo	Muratura
Epoca di costruzione	1940-1950
Numero di piani	4 fuori terra
Area in pianta	1300 mq a piano
Superficie calpestabile	4800 mq
Regolare in pianta	No
Reg. in elevazione	Si
Classe d'uso	IV



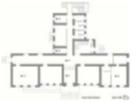

PARAMETRI DI DOMANDA			
Zona Sismica: 2		Zona Climatica: E	
$\mu_{s,ELV} = 0,228$ [g]	Classe di suolo: B	Cat. top: T1	Gradi giorno: 2198

Caso studio 8: edificio scolastico in muratura in provincia di Macerata

https://www.reluis.it/docs/DPC-RaLUTS-2022-2024/WP5/02_Senoli_Casone_MUR.pdf



TIPOLOGIA	
Destinazione d'uso	Uso pubblico
Sistema costruttivo	Muratura
Epoca di costruzione	1930-1940
Numero di piani	2 fuori terra
Area in pianta	600 mq a piano
Superficie calpestabile	920 mq
Regolare in pianta	No
Reg. in elevazione	Si
Classe d'uso	III

PARAMETRI DI DOMANDA			
Zona Sismica: 1		Zona Climatica: E	
$\mu_{s,ELV} = 0,285$ [g]	Classe di suolo: B	Cat. top: T1	Gradi giorno: 2350

Caso studio 9: edificio ad uso pubblico in muratura in provincia di Trento

https://www.reluis.it/docs/DPC-RaLUTS-2022-2024/WP5/03_GAT_Casone_MUR.pdf



TIPOLOGIA	
Destinazione d'uso	Struttura zoccheria
Sistema costruttivo	Muratura
Epoca di costruzione	fine XIX sec.
Numero di piani	5 fuori terra ¹
Area in pianta	715 mq a piano
Superficie calpestabile	3291 mq
Regolare in pianta	No
Reg. in elevazione	Si
Classe d'uso	II




¹ Il quarto livello fuori terra (piano quarto), non visibile nell'immagine, è costituito dalla sopraelevazione parzialmente in piano terra con a esso l'organizzazione edilizia degli usi 90.

PARAMETRI DI DOMANDA			
Zona Sismica: 2		Zona Climatica: D	
$\mu_{s,ELV} = 0,244$ [g]	Classe di suolo: B	Cat. top: T1	Gradi giorno: 2007

Caso studio 10: edificio scolastico in muratura in provincia di Macerata

https://www.reluis.it/docs/DPC-RaLUTS-2022-2024/WP5/04_Senoli_Casone_MUR.pdf



TIPOLOGIA	
Destinazione d'uso	Uso pubblico
Sistema costruttivo	Muratura
Epoca di costruzione	1930-1940
Numero di piani	2 fuori terra
Area in pianta	750 mq a piano
Superficie calpestabile	1500 mq
Regolare in pianta	No
Reg. in elevazione	Si
Classe d'uso	III



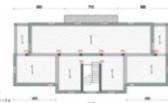

PARAMETRI DI DOMANDA			
Zona Sismica: 2		Zona Climatica: D	
$\mu_{s,ELV} = 0,244$ [g]	Classe di suolo: B	Cat. top: T1	Gradi giorno: 2007

Caso studio 11: edificio residenziale in muratura in provincia di Bergamo

https://www.reluis.it/docs/DPC-RaLUTS-2022-2024/WP5/05_Dalmine_MUR.pdf



TIPOLOGIA	
Destinazione d'uso	Edificio residenziale
Sistema costruttivo	Muratura
Epoca di costruzione	1950
Numero di piani	3 fuori terra
Area in pianta	179 mq a piano
Superficie calpestabile	536 mq
Regolare in pianta	No
Reg. in elevazione	Si
Classe d'uso	II

PARAMETRI DI DOMANDA			
Zona Sismica: 2		Zona Climatica: E	
$\mu_{s,ELV} = 0,158$ [g]	Classe di suolo: C	Cat. top: T1	Gradi giorno: 2473

Caso studio 12: edificio residenziale in muratura in provincia di Macerata

https://www.reluis.it/docs/DPC-RaLUTS-2022-2024/WP5/06_Piano_Toscani_MUR.pdf



TIPOLOGIA	
Destinazione d'uso	Residenziale
Sistema costruttivo	Muratura
Epoca di costruzione	1962-63
Numero di piani	2 fuori terra / 1 interrato
Area in pianta	52 mq (totali) / 312 mq (totali)
Superficie calpestabile	104 mq (totali) / 624 mq (totali)
Regolare in pianta	No
Reg. in elevazione	Si
Classe d'uso	II




PARAMETRI DI DOMANDA			
Zona Sismica: 2		Zona Climatica: E	
$\mu_{s,ELV} = 0,158$ [g]	Classe di suolo: C	Cat. top: T1	Gradi giorno: 2473

Caso studio 9: edificio ad uso pubblico in muratura in provincia di Trento

https://www.reluis.it/doc/DPC-ReLUI5-2022-2024/WP5/03_GAT_Comano_MUR.pdf



TIPOLOGIA	
Destinazione d'uso	Struttura ricettiva
Sistema costruttivo	Muratura
Epoca di costruzione	fine XIX sec.
Numero di piani	5 fuori terra ¹
Area in pianta	718 mq a piano
Superficie calpestabile	3291 mq
Regolare in pianta	No
Reg. in elevazione	No
Classe d'uso	II



¹ Il quinto livello fuori terra (piano quarto), non visibile nell'immagine, è costruito dalla sopraelevazione parziale del piano terzo nella zona a nord (sopraelevazione realizzata negli anni '60).

Info generali

Destinazione d'uso	Struttura ricettiva
Sistema costruttivo	Muratura
Epoca di costruzione	fine XIX sec.
Numero di piani	5 fuori terra ¹
Area in pianta	718 mq a piano
Superficie calpestabile	3291 mq
Regolare in pianta	No
Reg. in elevazione	No
Classe d'uso	II

Confronto as-built vs. intervento

CONFIGURAZIONE AS-BUILT			
IS-V 39,6 %	PAM 3,9 %	EP 218,04 kWh/(m ² y)	
CLASSE SISMICA IS-V D 39%	CLASSE SISMICA PAM E 3,9%	CLASSE ENERGETICA G 218,04 kWh/(m ² y)	
INTERVENTO I			
IS-V 53 %	PAM 2,6 %	EP 138,67 kWh/(m ² y)	
CLASSE SISMICA IS-V C 53%	CLASSE SISMICA PAM D 2,6%	CLASSE ENERGETICA F 138,67 kWh/(m ² y)	
INTERVENTO II*FE			
IS-V 55 %	PAM 2,3 %	EP 86,00 kWh/(m ² y)	
CLASSE SISMICA IS-V C 55%	CLASSE SISMICA PAM C 2,3%	CLASSE ENERGETICA D 86,00 kWh/(m ² y)	

RISULTATI			
CONFIGURAZIONE AS-BUILT			
IS-V 39,6 %	PAM 3,9 %	EP 218,04 kWh/(m ² y)	
CLASSE SISMICA IS-V D 39%	CLASSE SISMICA PAM E 3,9%	CLASSE ENERGETICA G 218,04 kWh/(m ² y)	
INTERVENTO I			
IS-V 53 %	PAM 2,6 %	Tempi ² 109 giorni	Costi ³ 593.691 € 180,41 €/m ²
CLASSE SISMICA IS-V C 53%	CLASSE SISMICA PAM D 2,6%	CLASSE ENERGETICA F 138,67 kWh/(m ² y)	
INTERVENTO II*FE			
IS-V 55 %	PAM 2,3 %	Tempi ² 142 giorni	Costi ³ 779.306 € 385,50 €/m ²
CLASSE SISMICA IS-V C 55%	CLASSE SISMICA PAM C 2,3%	CLASSE ENERGETICA D 86,00 kWh/(m ² y)	
INTERVENTO III*FE			
IS-V 62 %	PAM 2,3 %	Tempi ² 150 giorni	Costi ³ 829.069 € 251,93 €/m ²
CLASSE SISMICA IS-V B 62%	CLASSE SISMICA PAM C 2,3%	CLASSE ENERGETICA D 86,00 kWh/(m ² y)	
INTERVENTO III*FE			
IS-V 71 %	PAM 2,3 %	Tempi ² 161 giorni	Costi ³ 895.472 € 272,11 €/m ²
CLASSE SISMICA IS-V B 71%	CLASSE SISMICA PAM C 2,3%	CLASSE ENERGETICA D 85,96 kWh/(m ² y)	
		Tempi ² 5 mesi	Costi ³ 804.090 € 244,40 €/m ²
		Tempi ² 8 mesi	Costi ³ 1.307.730 € 397,49 €/m ²

mento ai parametri sismici ed energetici dell'Aquila (AQ). Sono stati studiati ulteriori livelli diificazione del rinforzo anche sulle pareti interne e che considerano sia il caso di rinforzo applicato maschi murari e fasce di piano. Tali interventi fanno raggiungere all'edificio le classi A+ e B b) e PAM (1.5). Utilizzando invece i parametri sismici di Stenico (TN), ove è situato l'edificio, esso ell'intervento di livello I oppure all'intervento R1, passa in classe A+. Gli interventi di tipo R1 e R2 mento anche ad uno scenario alternativo che vede l'edificio situato a Udine (UD).

o al Prezzario della Provincia autonoma di Trento. I costi sono comprensivi di oneri per la sicurezza.

EDIFICI IN C.A.

Tecniche di Intervento e sperimentazione

Prof. Ing. Andrea Prota

ASPETTI STRUTTURALI

- Bassa resistenza del cls
- Carenza di dettagli costruttivi antisismici
- Avanzati fenomeni di degrado



ASPETTI FORMALI

- Edifici condominiali spesso con molte unità abitative
- Spesso progettati a soli carichi gravitazionali o con basse azioni sismiche
- Elevata diffusione sul territorio nazionale

ASPETTI ENERGETICI

- Involucro con ponti termici evidenti
- Coperture poco isolanti
- Serramentistica obsoleta
- Impianti tecnologici vetusti

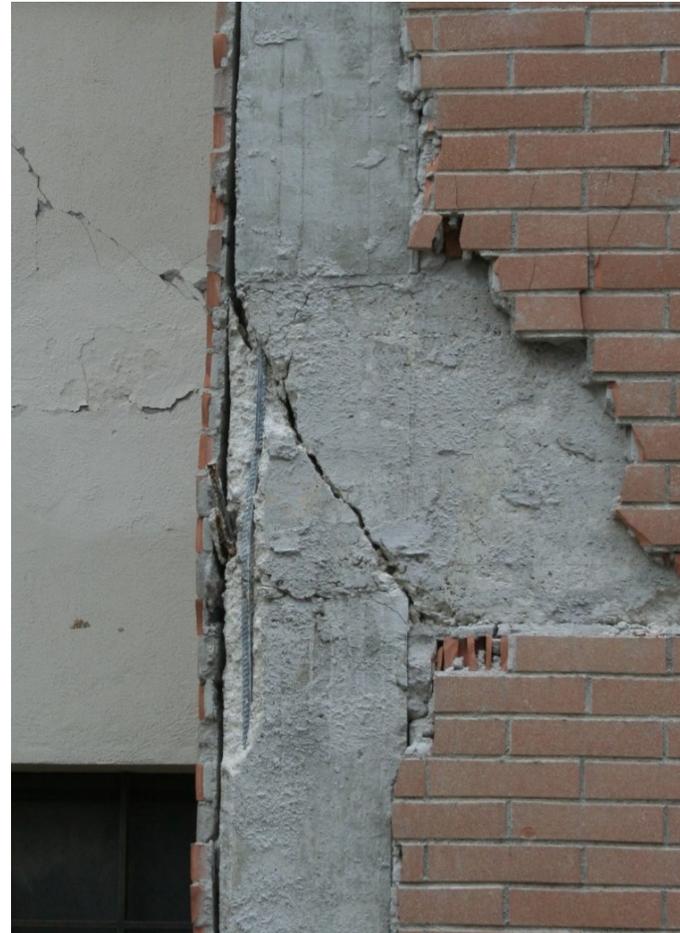


Danni post-sisma agli elementi strutturali

CRISI A TAGLIO NODI TRAVE-PILASTRO NON CONFINATI



L'AQUILA, 2009

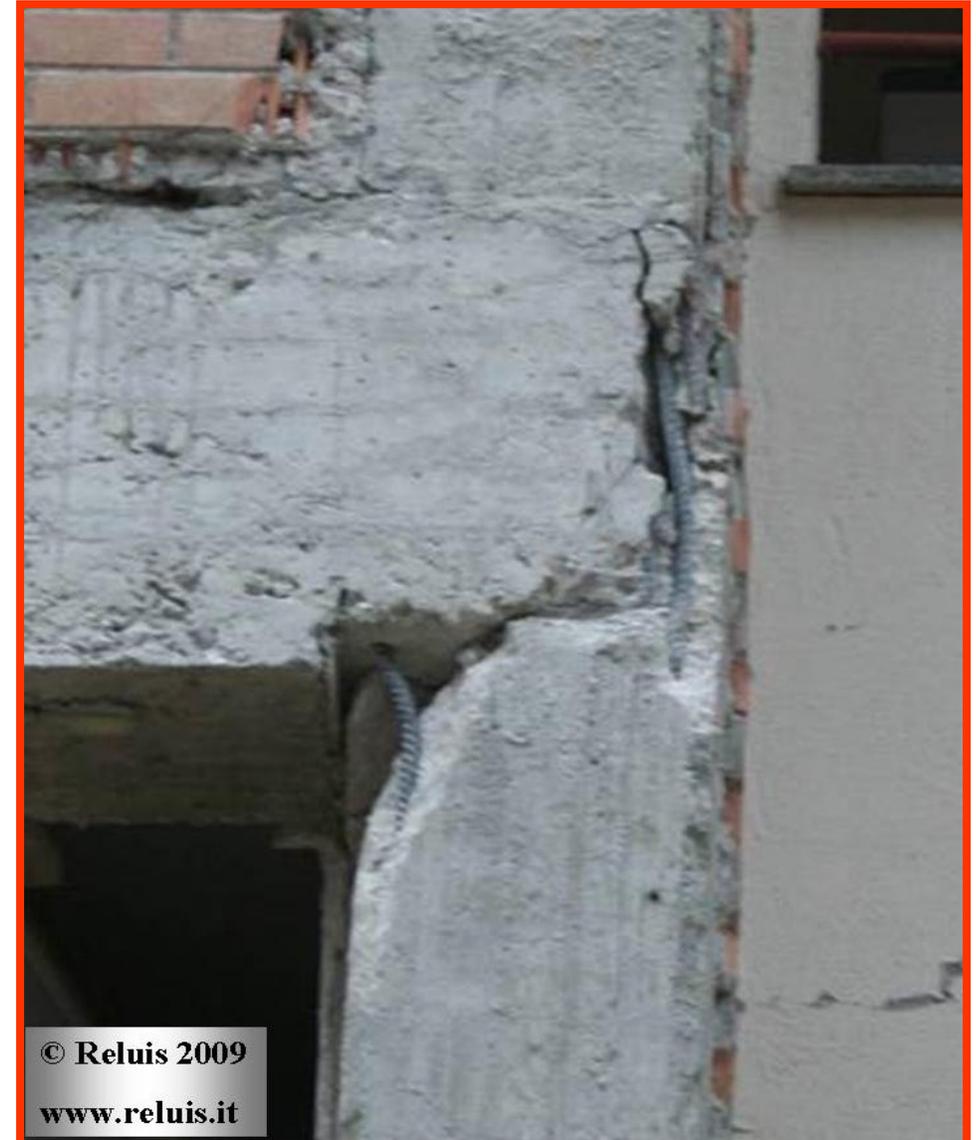


CENTRO ITALIA, 2016

CRISI A TAGLIO SULLA RIPRESA DI GETTO



L'AQUILA, 2009

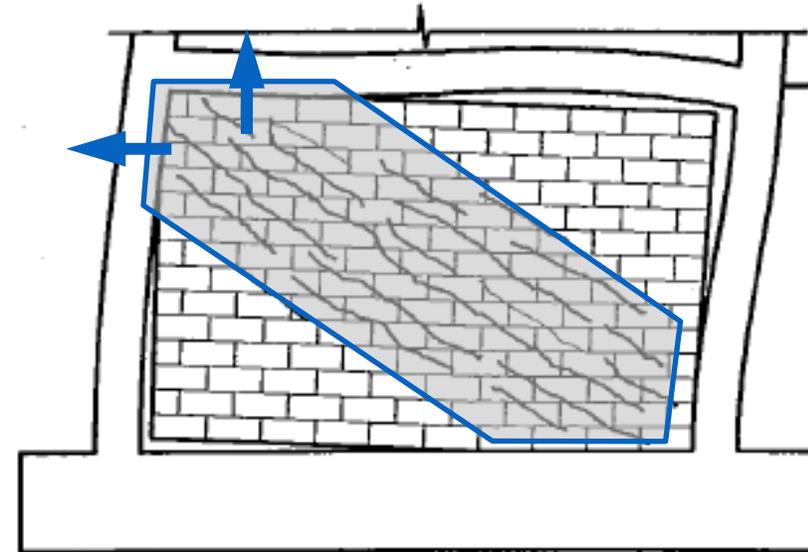


© Reluis 2009

www.reluis.it

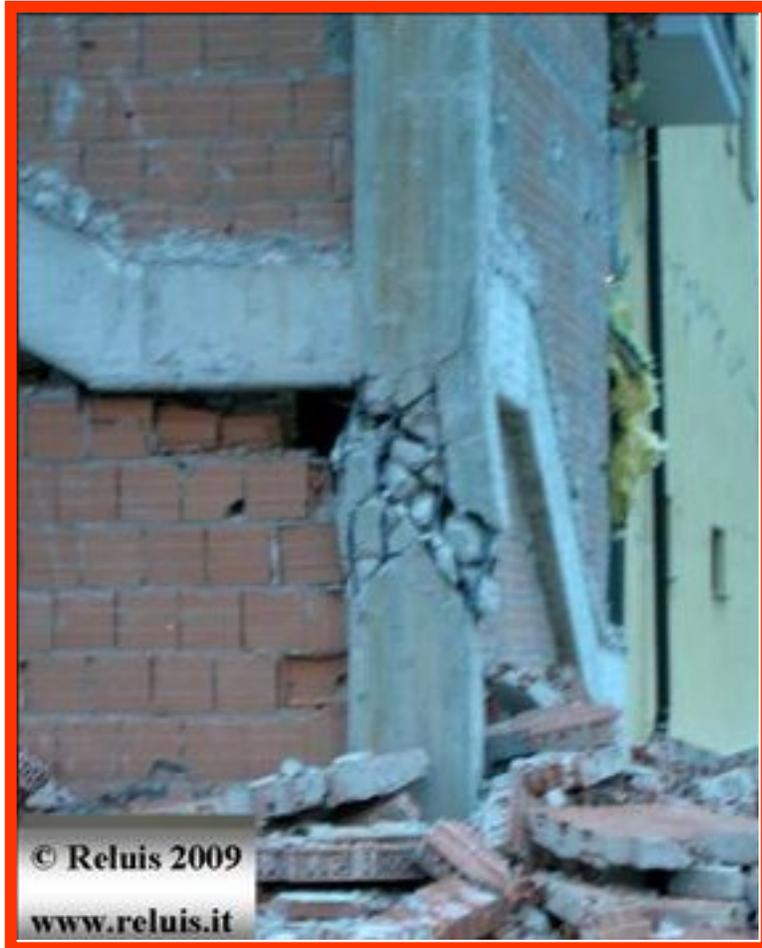
Danni post-sisma agli elementi strutturali

CRISI A TAGLIO NODI TESTA PILASTRI PER SPINTA DELLA TAMPONATURA



L'AQUILA, 2009

CRISI A TAGLIO DI PILASTRI TOZZI



L'AQUILA, 2009



CENTRO ITALIA, 2016

MECCANISMI DI PIANO SOFFICE



L'AQUILA, 2009

MECCANISMI DI PIANO SOFFICE



RIBALTAMENTO FUORI PIANO TAMPONATURE



L'AQUILA, 2009



CENTRO ITALIA, 2016

DANNI AI CAPPOTTI TERMICI



CENTRO ITALIA, 2016



TURCHIA, 2023



A seguito della ricostruzione post-sisma di L'Aquila del 2009
crescente interesse dei professionisti per gli interventi locali

Tecniche d'intervento e sperimentazioni: Interventi locali



Linee guida per

Riparazione e rafforzamento
di elementi strutturali,
tamponature e partizioni

a cura di
Mauro Dolce
Gaetano Manfredi



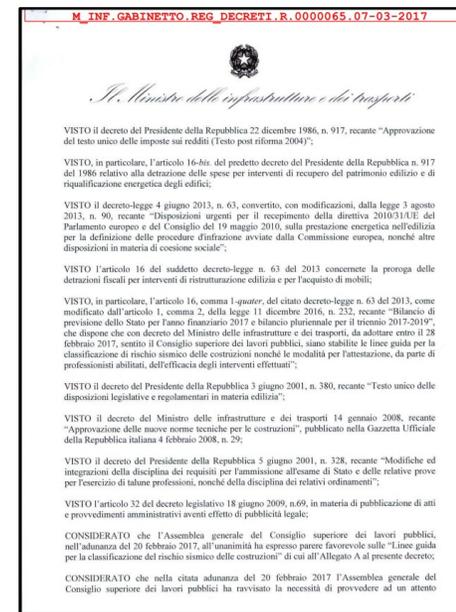
A seguito della ricostruzione post-sisma di L'Aquila del 2009
crecente interesse dei professionisti per gli interventi locali



Ciò è stato tenuto in conto nell'evoluzione delle norme tecniche



NTC 2008



Linee guida classificazione
rischio sismico (2017)



NTC 2018



Gli interventi locali sono la prima categoria di intervento menzionata dalle NTC 2018



«interventi che interessino singoli elementi strutturali e che, comunque, non riducano le condizioni di sicurezza preesistenti.

Essi non debbono cambiare significativamente il comportamento globale della costruzione»

Gli interventi locali sono la prima categoria di intervento menzionata dalle NTC 2018



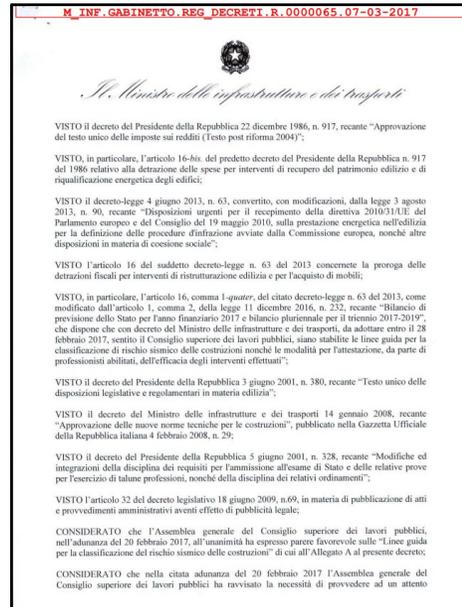
«interventi che interessino singoli elementi strutturali e che, comunque, non riducano le condizioni di sicurezza preesistenti.

Essi non debbono cambiare significativamente il comportamento globale della costruzione»

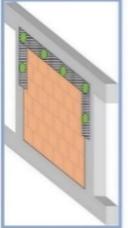
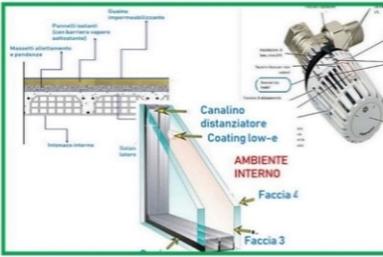
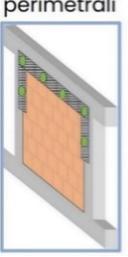
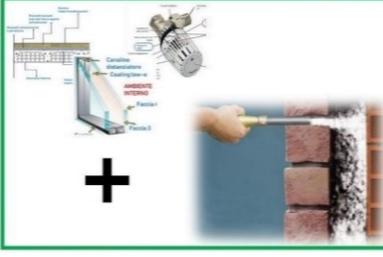
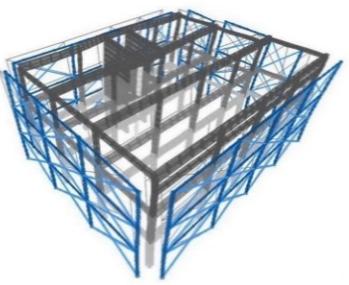
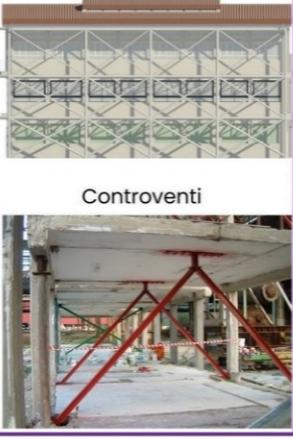
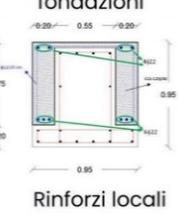
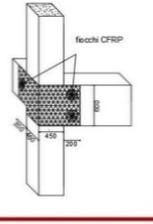


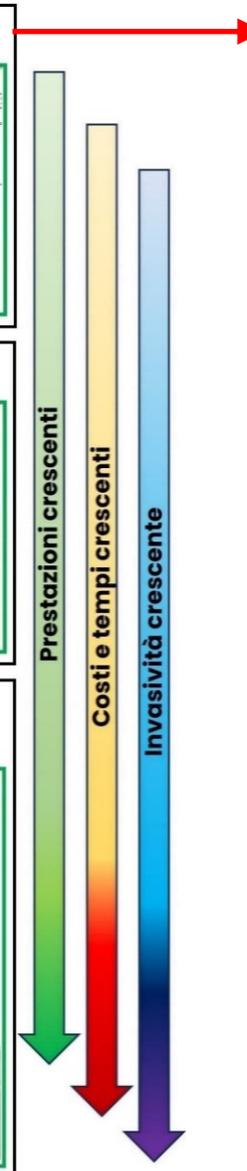
Linee guida classificazione
rischio sismico (2017)

nelle linee guida per la classificazione del rischio sismico è previsto il salto di **Una alla Classe di Rischio**



Tecniche d'intervento e sperimentazioni: Interventi locali

<p>Interventi locali (applicabili dal solo esterno)</p> 	<p>Rinforzo locale dei nodi</p>  <p>Nessuna demolizione tamponatura</p>	<p>Antiribaltamento tamponature perimetrali</p> 	<p>Isolamento copertura, sostituzione infissi e valvole termostatiche</p>  <p>Canalino distanziatore Coating low-e AMBIENTE INTERNO Faccia 4 Faccia 3</p>
<p>Interventi locali (a basso impatto)</p> 	<p>Rinforzo locale dei nodi</p>  <p>Demolizione di porzioni limitate di tamponatura</p>	<p>Antiribaltamento tamponature perimetrali</p> 	<p>Interventi precedenti + insufflaggio delle intercapedini tamponatura</p> 
<p>Interventi globali (a maggiore invasività)</p> 	<p>Esoscheletri esterni</p>  <p>Controventi</p>	<p>Ringrosso fondazioni</p>  <p>Rinforzi locali</p> 	<p>Cappotto termico, sostituzione impianti, fonti rinnovabili</p>  <p>Muratura massiva Ambiente Interno Esterno Isolamento termico</p>



Impiegare interventi locali in ottica di interventi integrati e a basso impatto:

Tecniche d'intervento e sperimentazioni: Interventi locali



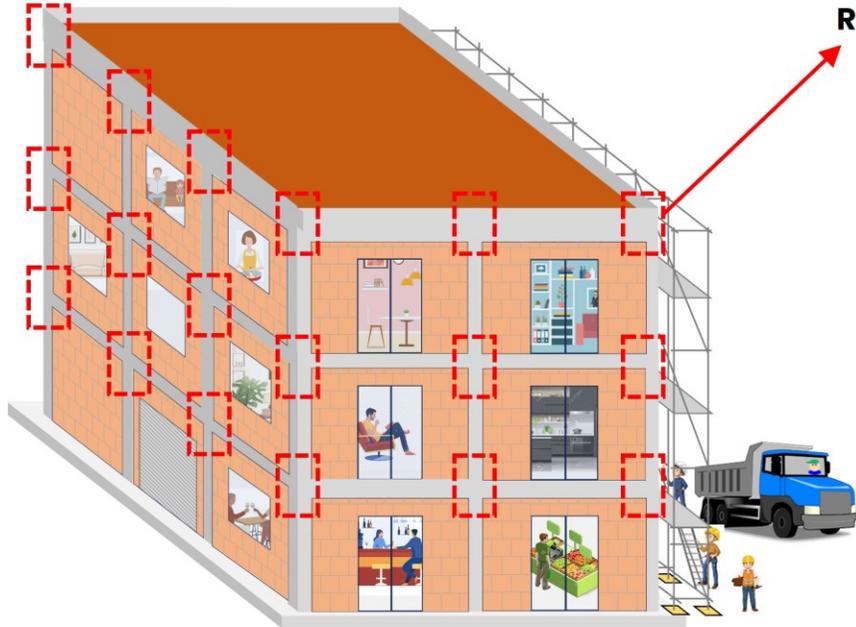
**Cercare di evitare la
demolizione di piccole
porzioni di tamponatura**

La sfida è:

**Interventi applicabili
dal solo esterno**



Tecniche d'intervento e sperimentazioni: Interventi locali



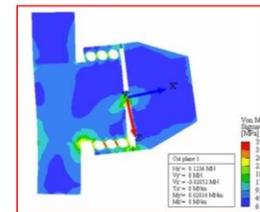
Rinforzo locale di elementi strutturali critici
 (interventi a bassa invasività, applicabili senza interruzione fruibilità del fabbricato)



Rinforzo nodi con FRP + fiocchi



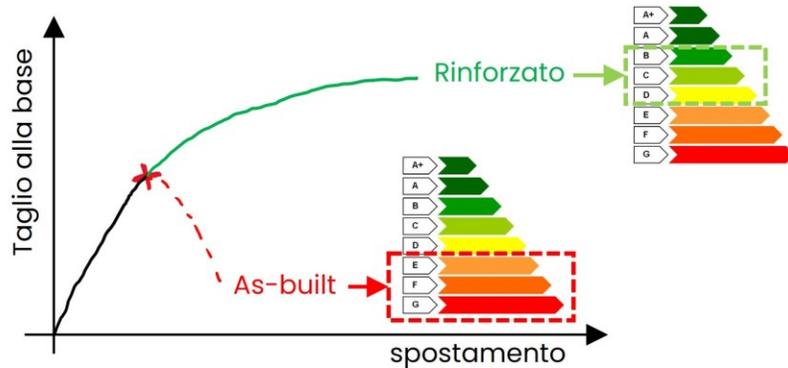
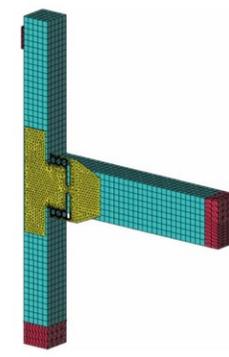
Nastri di acciaio pretesi



Piastre metalliche dissipative



Validazione sperimentale e numerica



Università di Napoli Federico II
 A. Prota, G.M. Verderame

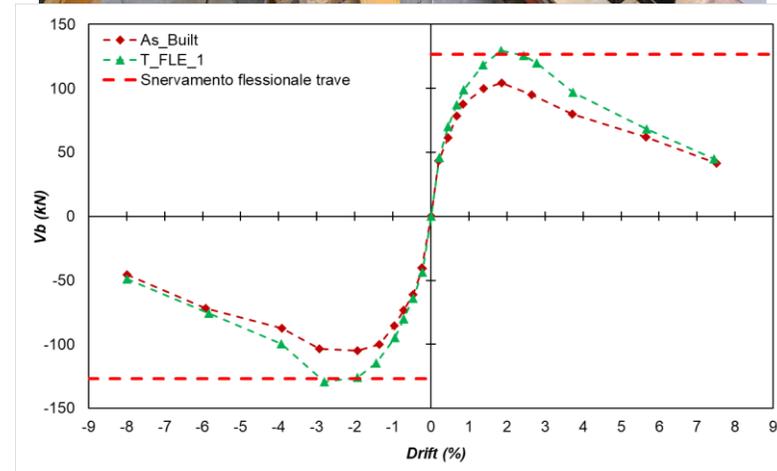
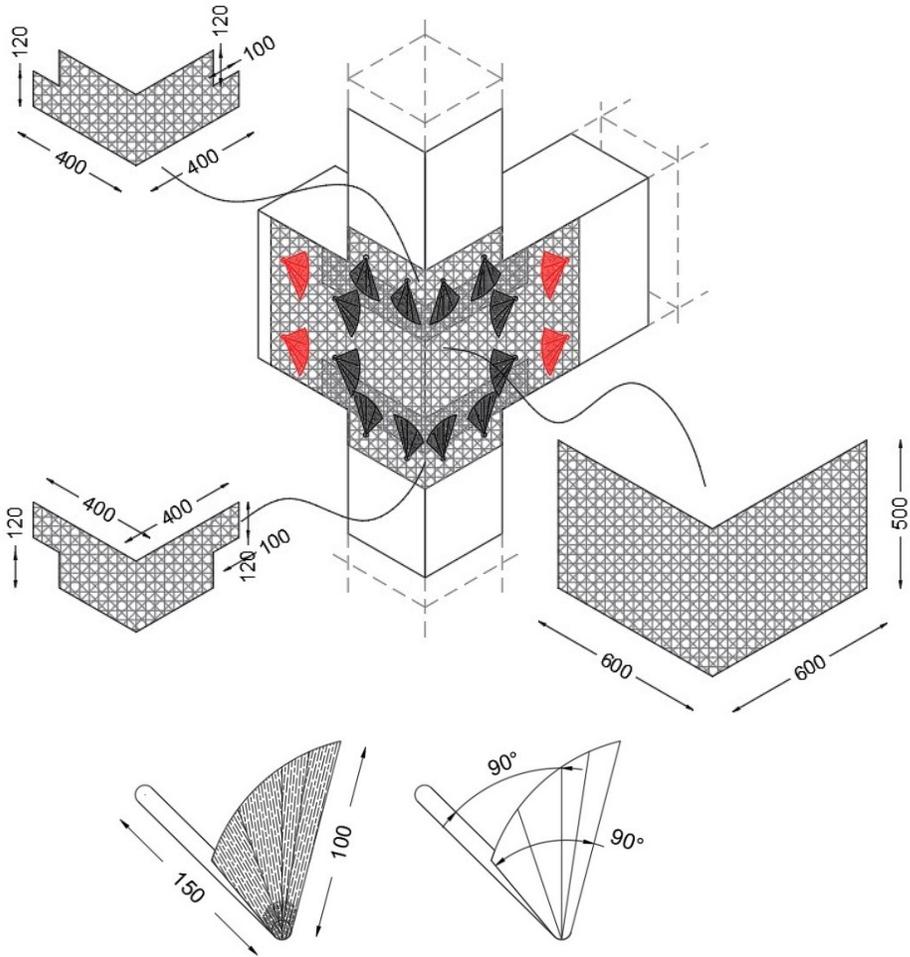


Università del Sannio
 C. Del Vecchio

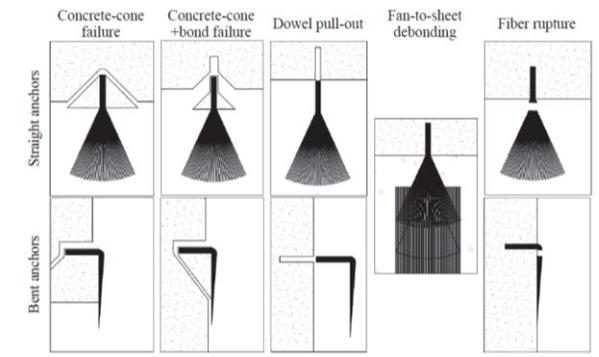


Università della Basilicata
 G. Santarsiero

ANALISI DATI SPERIMENTALI E CALIBRAZIONE MODELLI NUMERICI

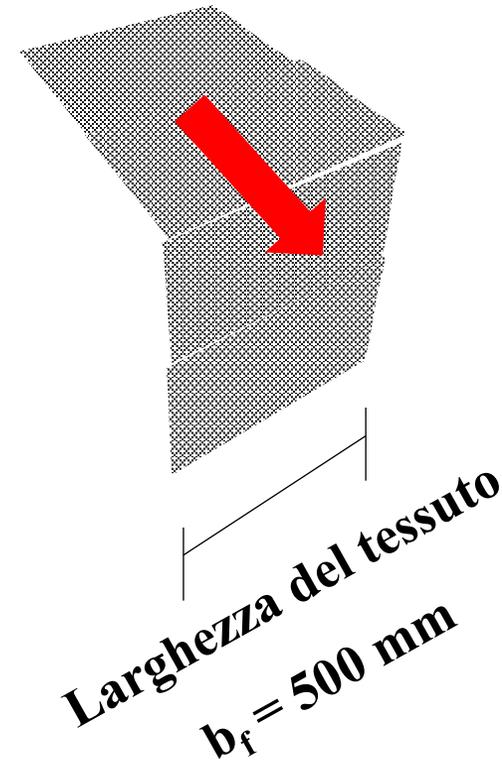
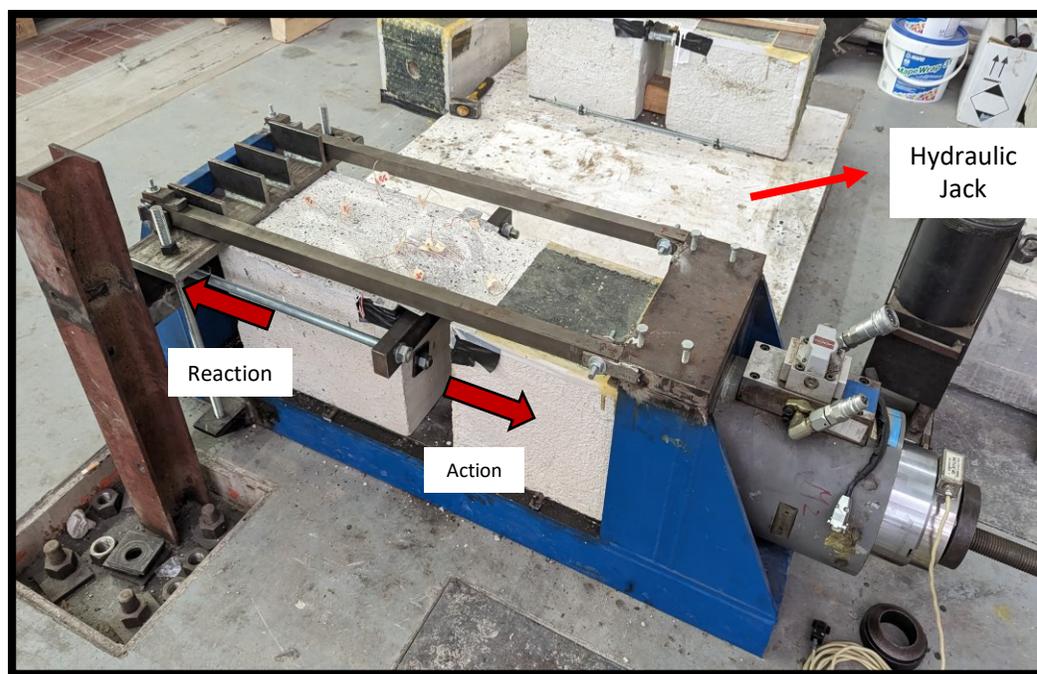


Per progettare rinforzo in FRP è stato impiegato l'Approccio 2 del *fib* Bulletin 90 (2019)

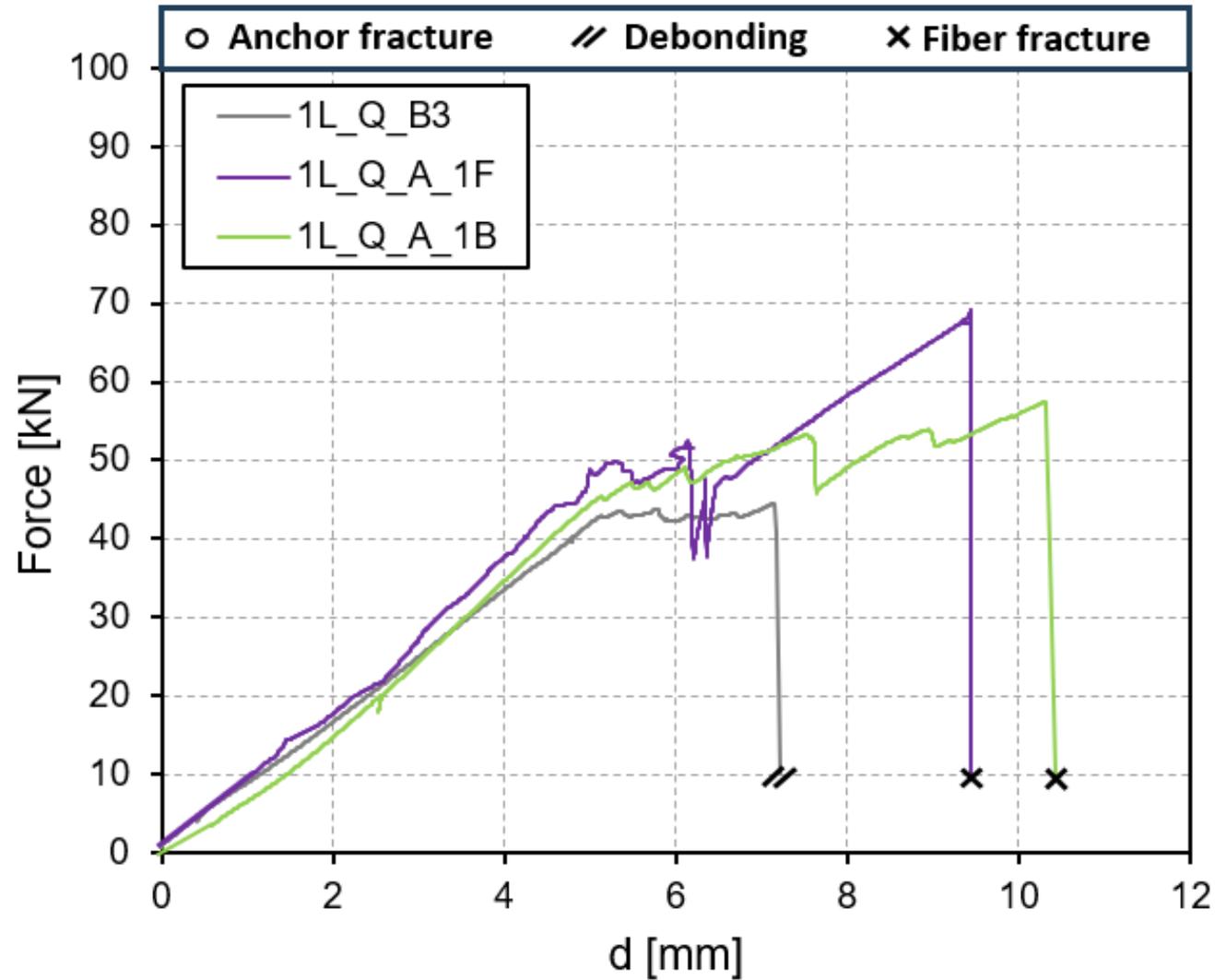


Necessità di fornire approcci progettuali per gli ancoraggi meccanici

Tecniche d'intervento e sperimentazioni: Interventi locali



Tecniche d'intervento e sperimentazioni: Interventi locali



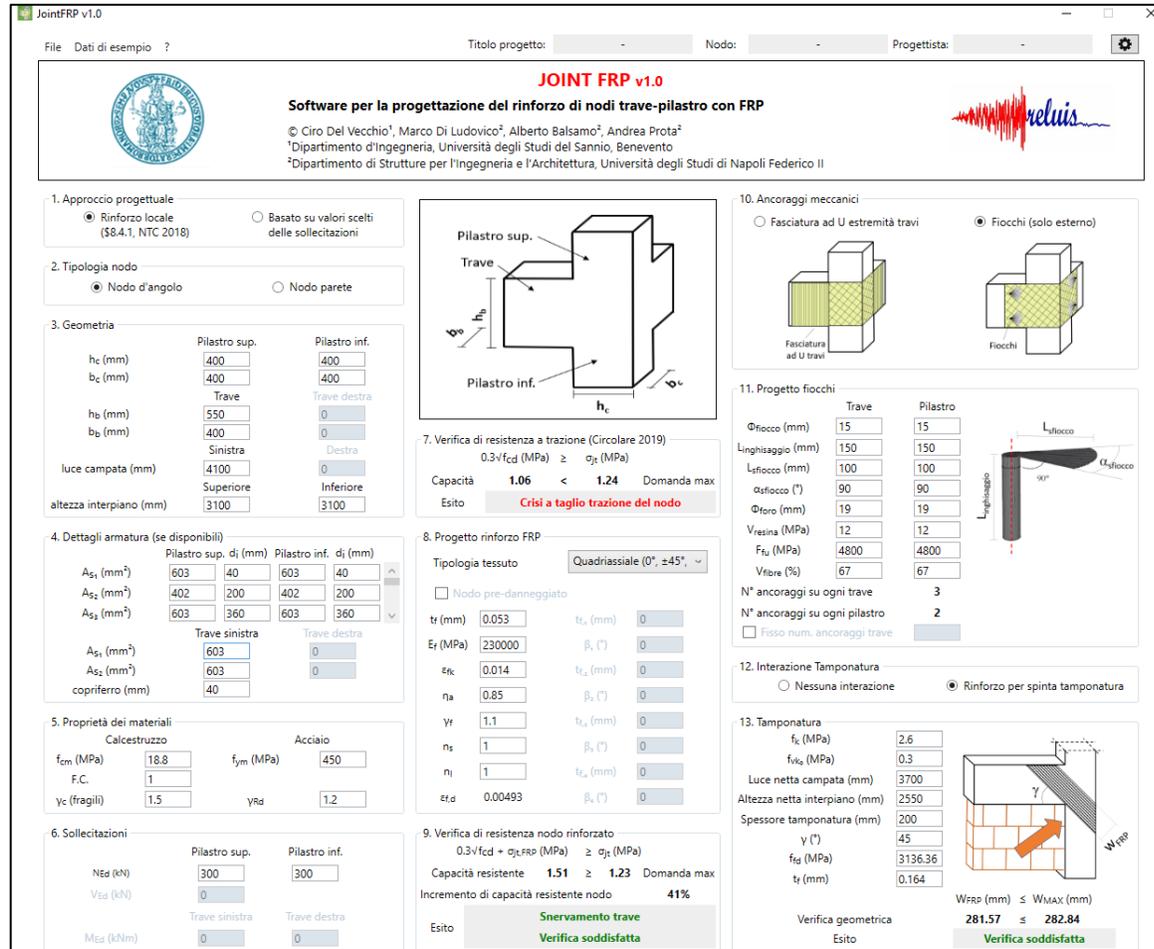
1L_Q_A_1F



1L_Q_A_1B



Tecniche d'intervento e sperimentazioni: Interventi locali



JOINT FRP v1.0
Software per la progettazione del rinforzo di nodi trave-pilastro con FRP

© Ciro Del Vecchio¹, Marco Di Ludovico², Alberto Balsamo², Andrea Prota²
¹Dipartimento d'Ingegneria, Università degli Studi del Sannio, Benevento
²Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II

1. Approccio progettuale
 Rinforzo locale (S8.4.1, NTC 2018) Basato su valori scelti delle sollecitazioni

2. Tipologia nodo
 Nodo d'angolo Nodo parete

3. Geometria

	Pilastro sup.	Pilastro inf.
h_c (mm)	400	400
b_c (mm)	400	400
h_b (mm)	550	0
b_b (mm)	400	0
luce campata (mm)	4100	0
altezza interpiano (mm)	3100	3100

4. Dettagli armatura (se disponibili)

	Pilastro sup. di (mm)	Pilastro inf. di (mm)
A_{s1} (mm ²)	603	40
A_{s2} (mm ²)	402	200
A_{s3} (mm ²)	603	360

5. Proprietà dei materiali

	Calcestruzzo	Acciaio
f_{cm} (MPa)	18.8	f_{ym} (MPa) 450
F.C.	1	
γ_c (fragili)	1.5	γ_{rd} 1.2

6. Sollecitazioni

	Pilastro sup.	Pilastro inf.
N_{Ed} (kN)	300	300
V_{Ed} (kN)	0	0
M_{Ed} (kNm)	0	0

7. Verifica di resistenza a trazione (Circolare 2019)
 $0.3\sqrt{f_{cd}} \geq \sigma_T$ (MPa)
 Capacità **1.06** < **1.24** Domanda max
 Esito **Crisi a taglio trazione del nodo**

8. Progetto rinforzo FRP
 Tipologia tessuto: **Quadrassiale (0°, ±45°, ...)**
 Nodo pre-danneggiato

t_r (mm)	0.053	$t_{r,45}$ (mm)	0
E_r (MPa)	230000	β_r (°)	0
ϵ_{rk}	0.014	$t_{r,90}$ (mm)	0
n_a	0.85	β_r (°)	0
γ_r	1.1	$t_{r,135}$ (mm)	0
n_s	1	β_r (°)	0
n_l	1	$t_{r,180}$ (mm)	0
ϵ_{rd}	0.00493	β_r (°)	0

9. Verifica di resistenza nodo rinforzato
 $0.3\sqrt{f_{cd}} + \sigma_{T,FRP} \geq \sigma_T$ (MPa)
 Capacità resistente **1.51** \geq **1.23** Domanda max
 Incremento di capacità resistente nodo **41%**
 Esito **Snerveramento trave**
Verifica soddisfatta

10. Ancoraggi meccanici
 Fasciatura ad U estremità travi Fiochetti (solo esterno)

11. Progetto fiochetti

	Trave	Pilastro
Φ_{fiocco} (mm)	15	15
$L_{inghessaggio}$ (mm)	150	150
L_{fiocco} (mm)	100	100
α_{fiocco} (°)	90	90
Φ_{foro} (mm)	19	19
V_{resina} (MPa)	12	12
F_{tk} (MPa)	4800	4800
V_{fibre} (%)	67	67

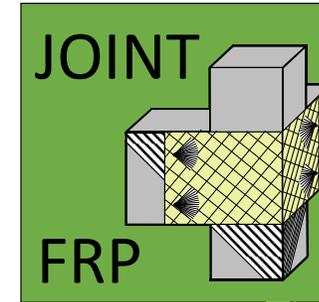
N° ancoraggi su ogni trave: **3**
 N° ancoraggi su ogni pilastro: **2**
 Fisso num. ancoraggi trave

12. Interazione Tamponatura
 Nessuna interazione Rinforzo per spinta tamponatura

13. Tamponatura

f_k (MPa)	2.6
f_{vk} (MPa)	0.3
Luca netta campata (mm)	3700
Altezza netta interpiano (mm)	2550
Spessore tamponatura (mm)	200
γ (°)	45
f_{td} (MPa)	3136.36
t_r (mm)	0.164

Verifica geometrica
 $W_{sdp} \leq W_{MAX}$ (mm)
281.57 \leq **282.84**
 Esito **Verifica soddisfatta**



**Scaricabile
gratuitamente**

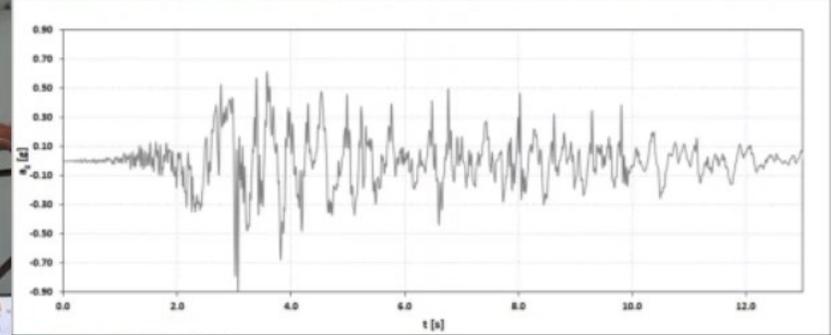
- Unica schermata
- Non necessita di installazione
- Stampa Report di sintesi

Oltre 300 downloads



FRCM sulla cornice della
tamponatura

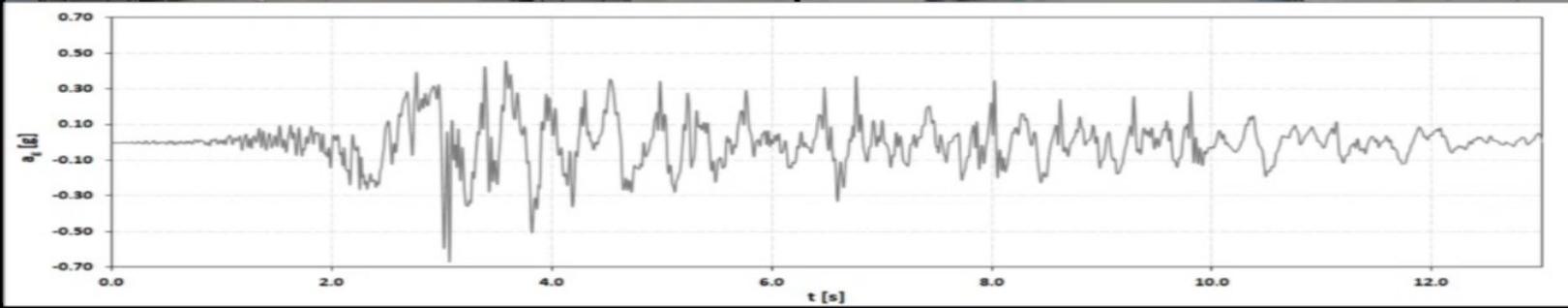
Presidio anti-ribaltamento della
tamponatura



200% AQQ
L'Aquila 2009

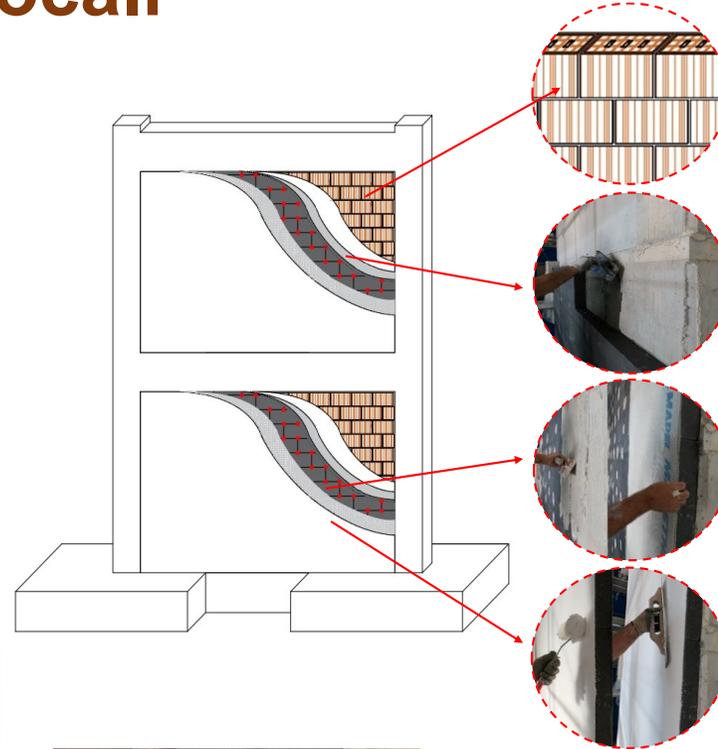
As-built

FRP strengthened

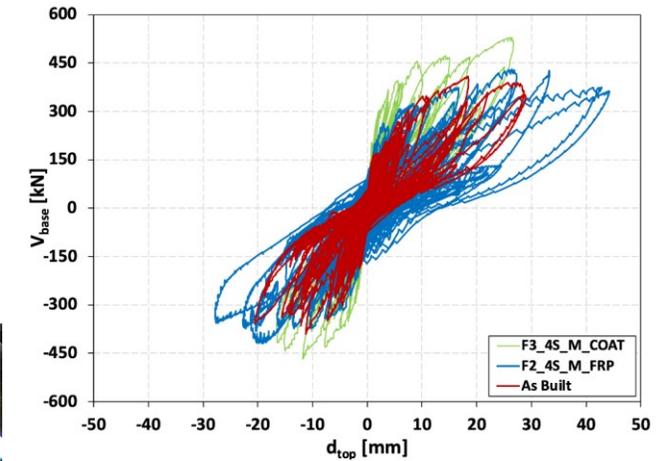


150%_AQQ
L'Aquila 2009

Tecniche d'intervento e sperimentazioni: Interventi locali



- Masonry infill
- Cementitious plaster;
 ▪ Primer;
 ▪ Cementitious adhesive application
 ▪ Expanded polyester (EPS) insulating panels.
- Installation plastic anchors;
 ▪ Cementitious adhesive
 ▪ Fiberglass mesh application.
- Cementitious mortar;
 ▪ Primer;
 ▪ Finishing with outdoor coating

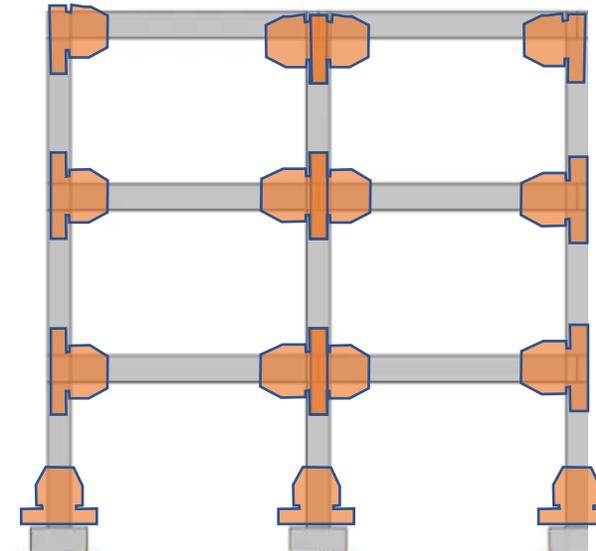
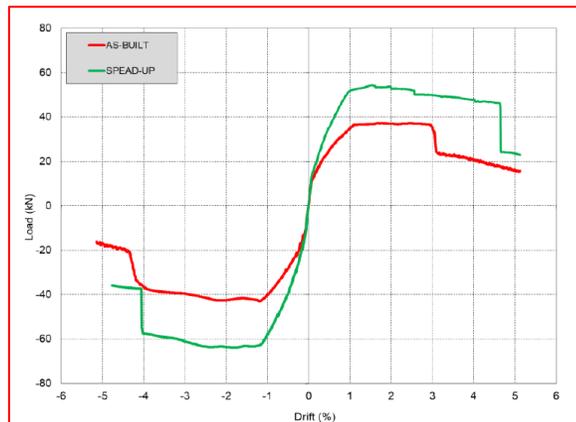
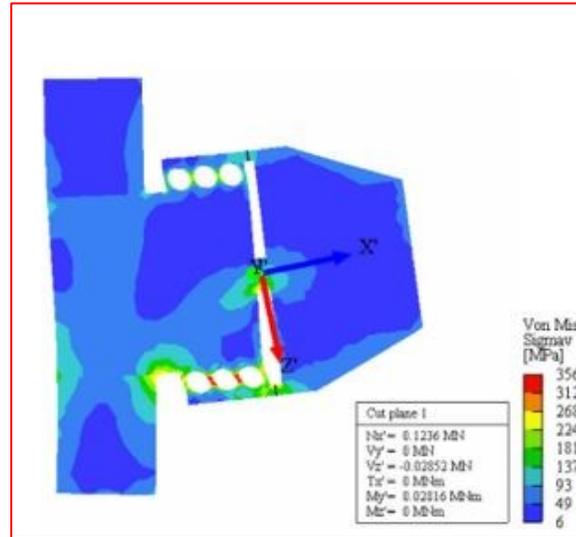
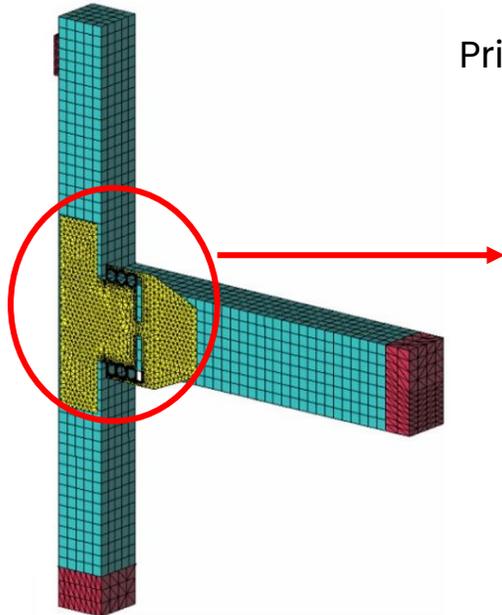


Tecniche d'intervento e sperimentazioni: Interventi locali

Principali obiettivi

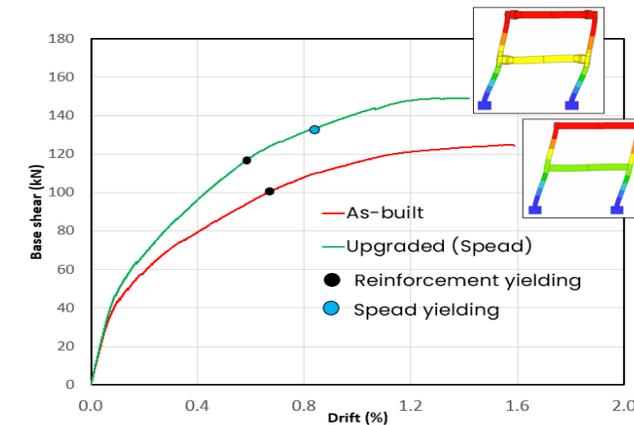


- Miglioramento prestazioni sismiche
- Riduzione del danno
- Minimo impatto



Miglioramento dell'**efficienza energetica** compatibile con l'intervento strutturale e messa a punto di un **metodo di progetto** semplificato

UR-UNIBAS Masi/Santarsiero



1. Formalizzazione di STRUMENTI DI PROGETTAZIONE per CAM sui nodi per fornire quantitativo di nastri metallici da applicare (A_{sh}) in funzione della massima domanda attesa al nodo + futuro tool Excel o GUI Matlab

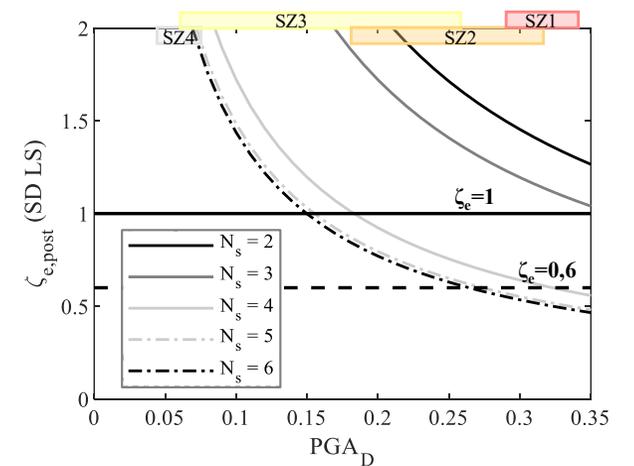
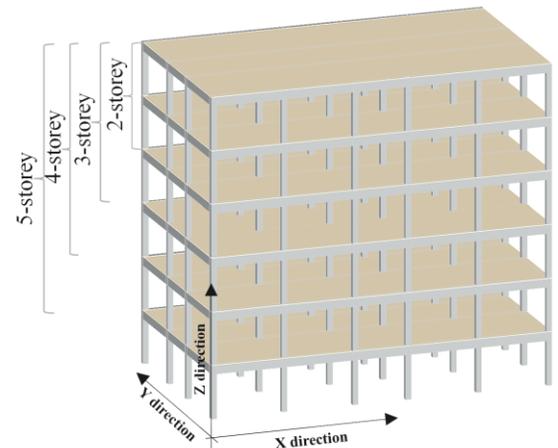
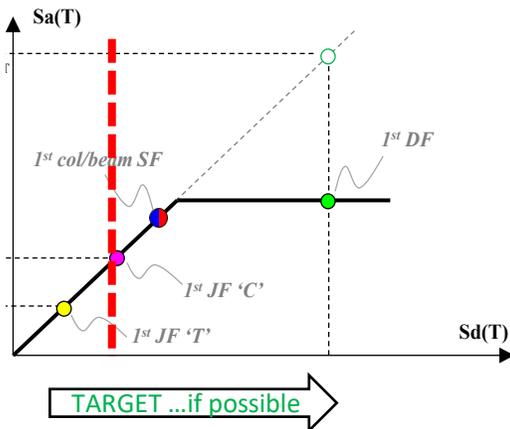
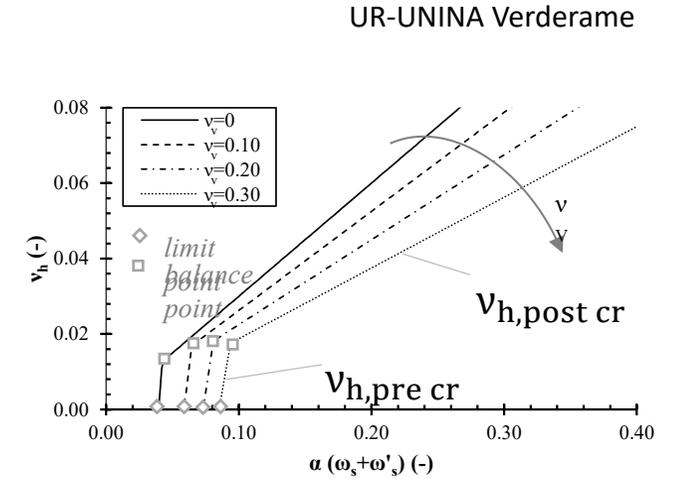


Approccio pre-fessurativo →

$$v_{h,pre\ cr} = \alpha^2 (\omega_s + \omega'_s)^2 \left(\frac{h_{jv}}{h_j} \right)^2 \frac{1}{\left(\frac{f_{ct}}{f_c} + v_v \right)} - \frac{f_{ct}}{f_c}$$

Approccio post-fessurativo →

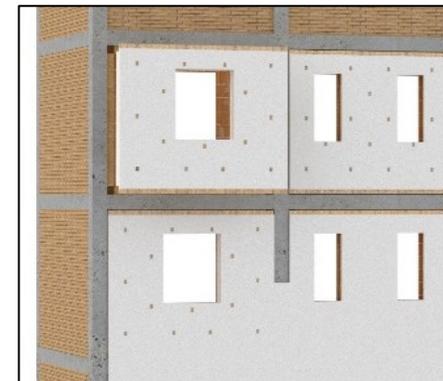
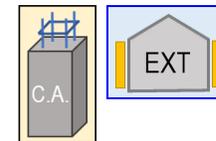
$$v_{h,post\ cr} = \left(\frac{f_p}{f_{02}} \right) \alpha (\omega_s + \omega'_s) (1 - x_c/h_c)$$



INTERVENTI CON SISTEMI IN LEGNO

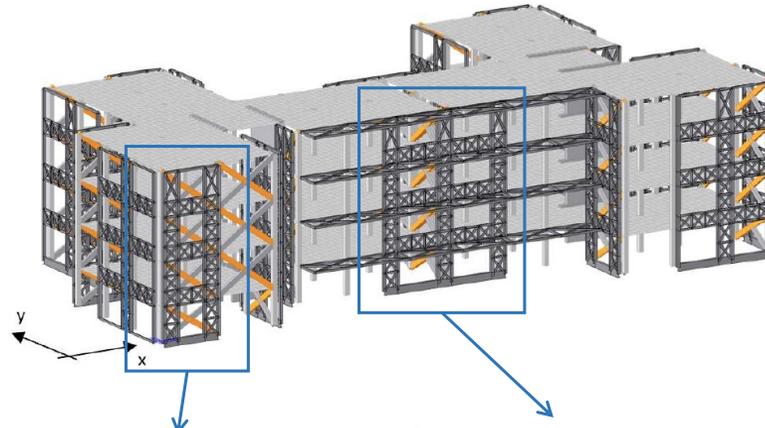
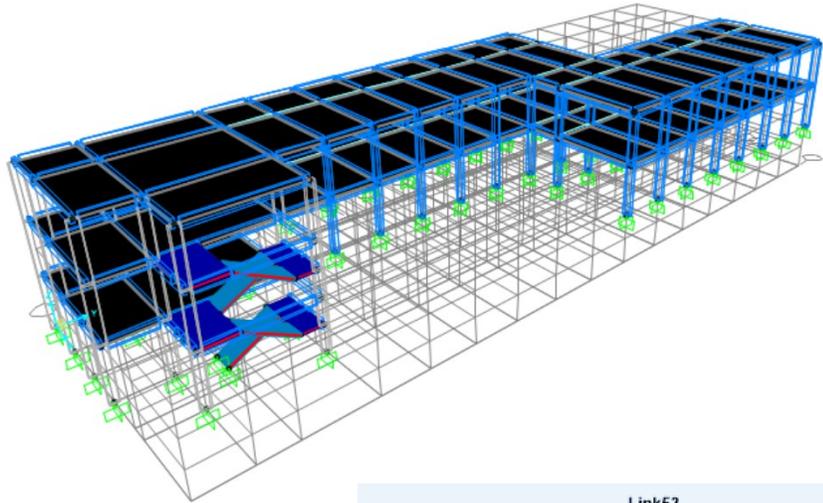
PLACCAGGI TAMPONATURE CON PANNELLI (C.A)

- ✓ Rinforzo fuori piano e nel piano
- ✓ Pannelli in CLT/LVL collegati esclusivamente al telaio esistente con connettori a gambo cilindrico
- ✓ Mantenimento (a) /parziale rimozione (b) /completa rimozione dei tamponamenti (c)
- ✓ Collegamenti diffusi pannello ligneo – tamponamento [(a) e (b)]
- ✓ Tagli verticali all'interfaccia tamponamento/colonna (a)
- ✓ Non necessità di un nuovo sistema di fondazioni
- ✓ Incremento resistenza e capacità di def. a fronte di una riduzione significativa della rigidità iniziale [(a)-(b)]
- ✓ Le travi devono presentare una certa «riserva di resistenza»

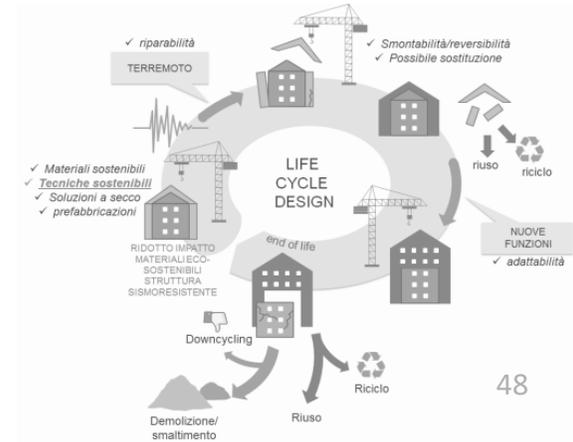
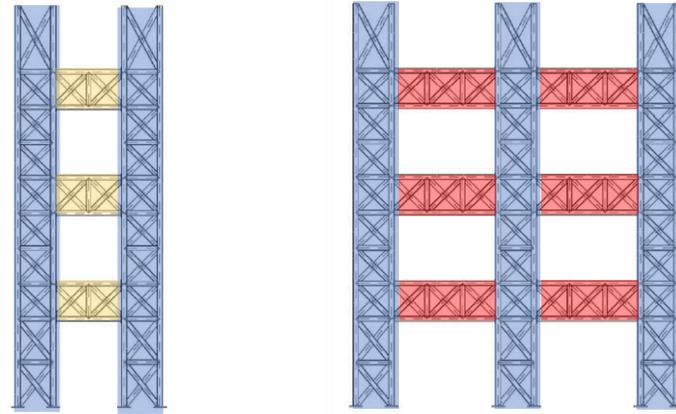
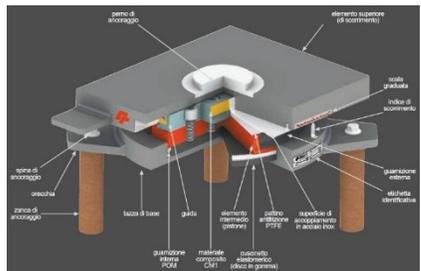
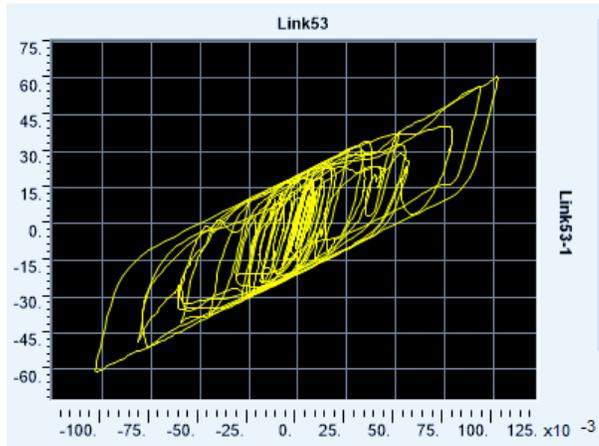


Tecniche d'intervento e sperimentazioni: Interventi globali

UR-UNIUD Pauletta



UR-UNIBG Marini



EDIFICI IN C.A.

Casi studio

Prof. Ing. Andrea Prota

Casi studio cemento armato



1

Edificio scolastico (classe d'uso III)
a pianta allungata

2

Edificio scolastico (classe d'uso III)
multipiano

3

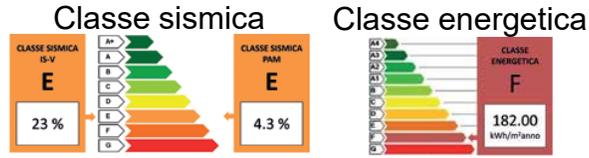
Edificio residenziale (classe d'uso II)

4

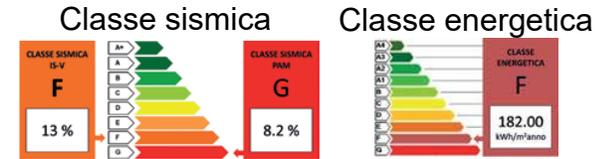
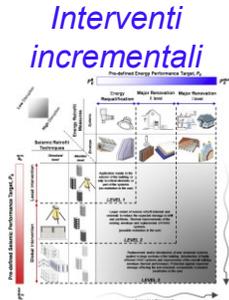
Edificio residenziale (classe d'uso II)



Caso Studio 1: Edificio scolastico in Provincia di Teramo



Epoca costruttiva: 1960-1970,
2 piani, 1470 m²

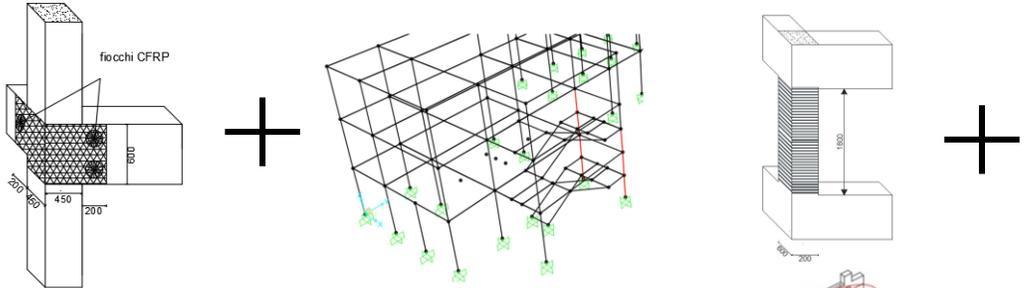


Epoca costruttiva: 1950-1960,
3 piani, 1200 m²

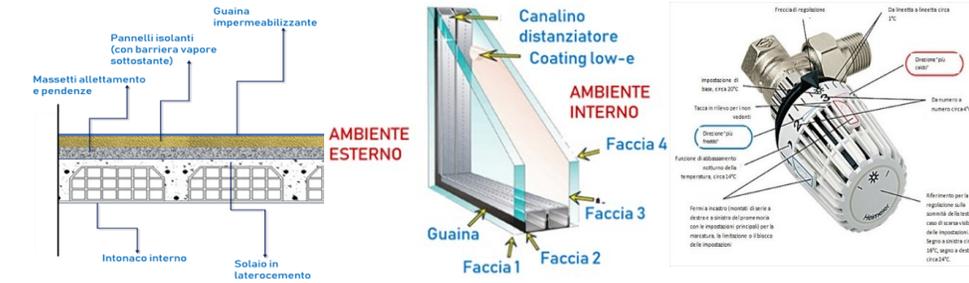
Caso Studio 2: Edificio scolastico in Provincia di Macerata



Sismico: Interventi locali solo esterno FRP + tamponature



Energetico: isolamento copertura, sostituzione infissi, valvole termostatiche



Tempi: 2-4 mesi

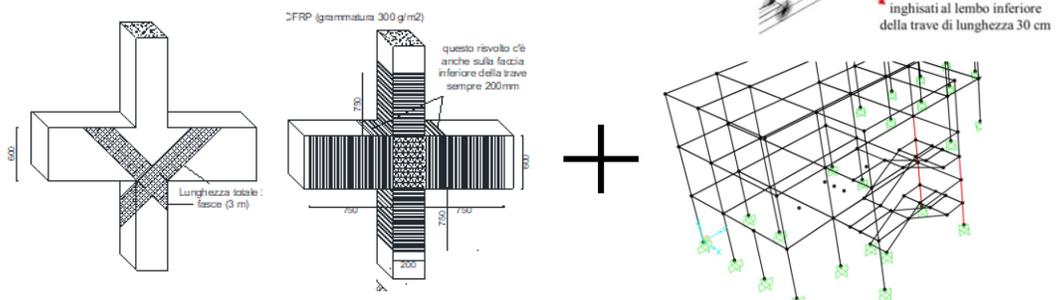
Costi: 200-300 €/m²



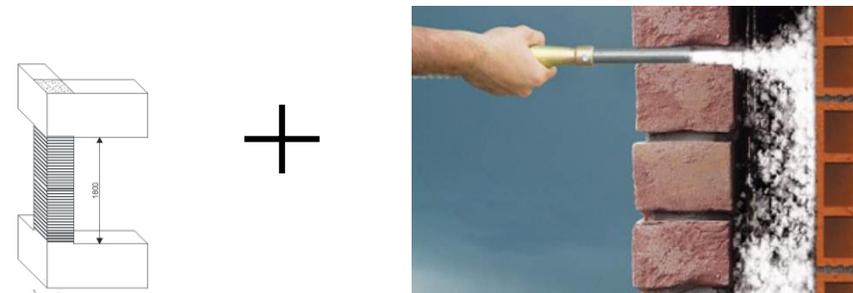
+1/2 classi energetiche



Sismico: Interventi locali FRP + tamponature



Energetico: Intervento 1 + Insufflaggio delle intercapedini



Tempi: 3-6 mesi

Costi: 300-400 €/m²



+4 classi energetiche

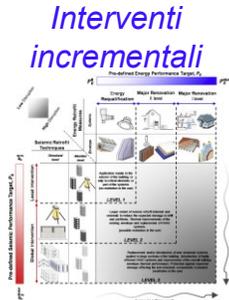
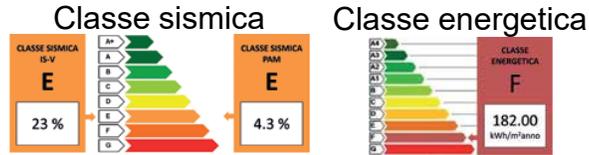


INTERVENTO 1

INTERVENTO 2



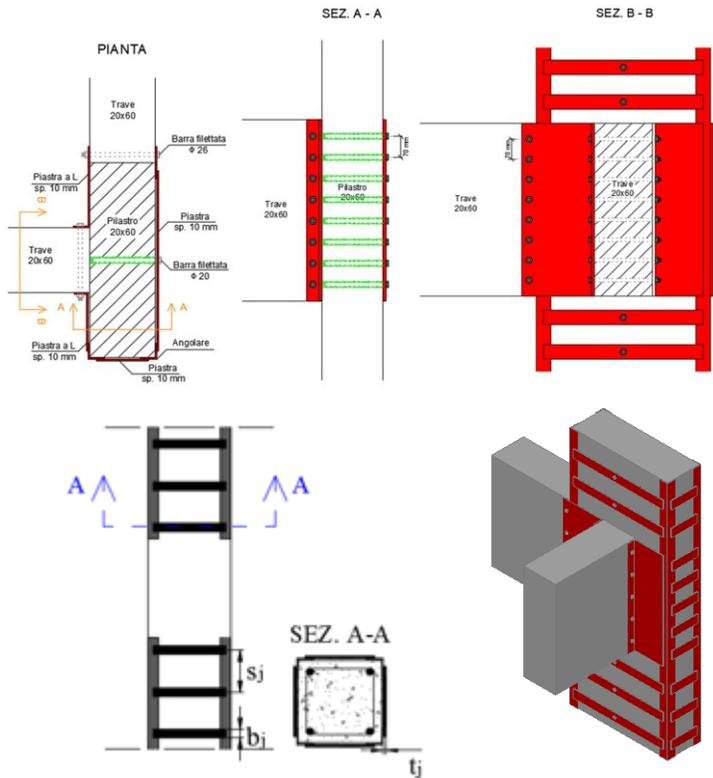
Interventi locali nodi, pilastri e rinforzo tamponature



Epoca costruttiva: 1960-1970,
2 piani, 1470 m²

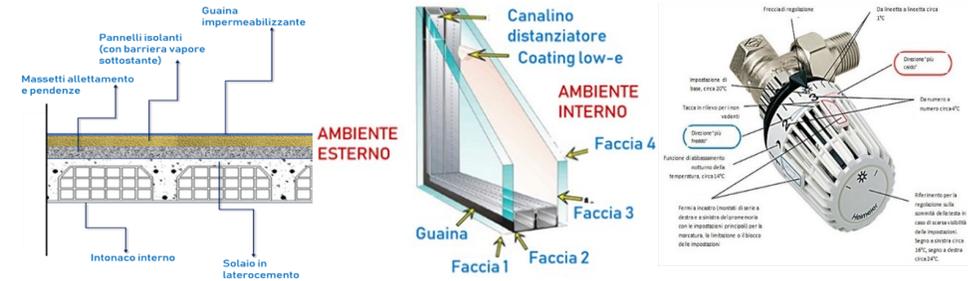
Caso Studio 1: Edificio scolastico in Provincia di Teramo

Sismico: Interventi locali con placcaggi metallici



INTERVENTO 3

Energetico: isolamento copertura, sostituzione infissi, valvole termostatiche + insuflaggio intercapedini



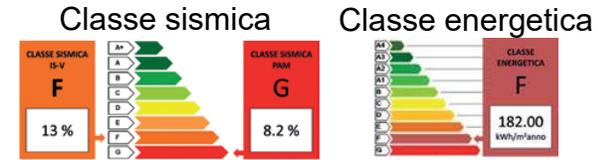
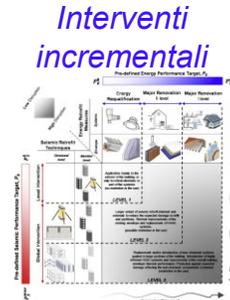
Tempi: 7 mesi

Costi: 500 €/m²

Risultati raggiunti: applicazioni ai casi studio



Interventi globali con tamponature collaboranti in cls autoclavato



Epoca costruttiva: 1950-1960,
3 piani, 1200 m²



Caso Studio 2: Edificio scolastico in Provincia di Macerata

Sismico: tamponature collaboranti in blocchi cls autoclavato (AAC) + rinforzo locale nodi e pilastri

Energetico: cappotto termico, sostituzione serramenti, isolamento copertura, sostituzione impianti, energie rinnovabili

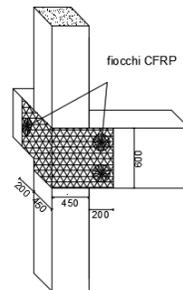
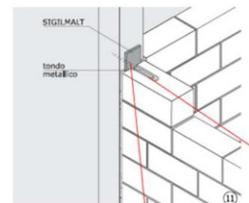
INTERVENTO 3



+6 classi sismiche



+8 classi energetiche



Tempi: 4 mesi

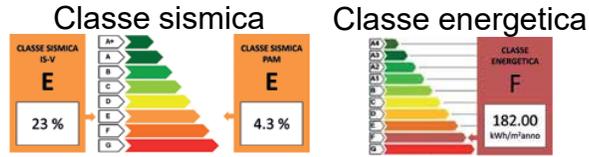
Costi: 570 €/m²



Risultati raggiunti: applicazioni ai casi studio

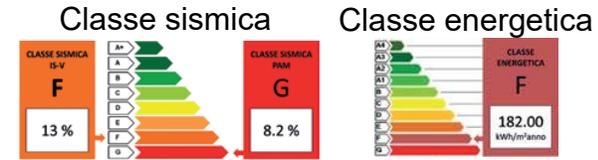
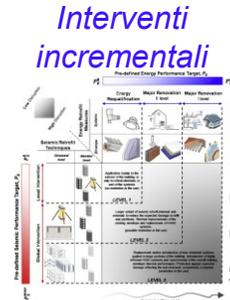


Interventi globali con controventi



Epoca costruttiva: 1960-1970,
2 piani, 1470 m²

Caso Studio 1: Edificio scolastico in Provincia di Teramo



Epoca costruttiva: 1950-1960,
3 piani, 1200 m²

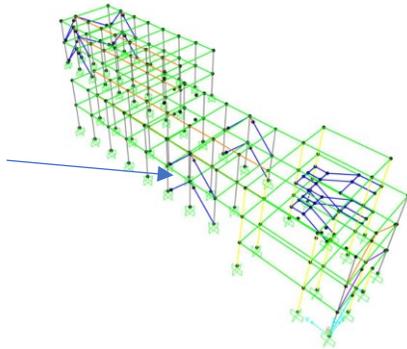
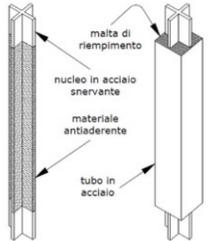
Caso Studio 2: Edificio scolastico in Provincia di Macerata



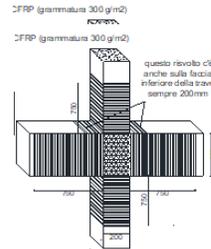
Sismico: Interventi globali con controventi, rinforzi a taglio FRP, + ringrosso fondazioni e micropali fondazioni

Energetico: cappotto termico, sostituzione serramenti, isolamento copertura, sostituzione impianti, energie rinnovabili

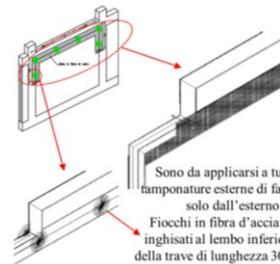
Controvento ad instabilità impedita



+



+



+4 classi sismiche



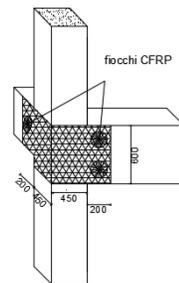
+8 classi energetiche



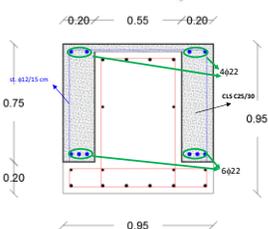
Controventi con shear link



+



+



Tempi: 6-8 mesi

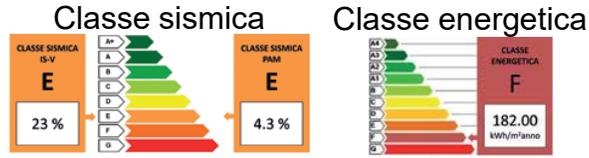
Costi: 600- 700 €/m²



Risultati raggiunti: applicazioni ai casi studio



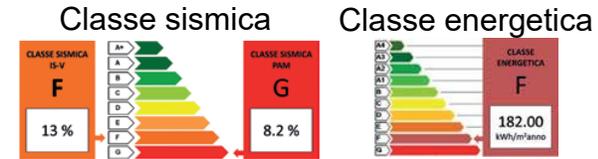
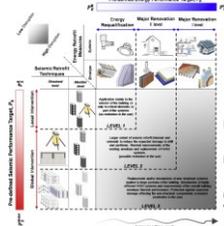
Interventi globali con esoscheletri acciaio o misti acciaio c.a.



Epoca costruttiva: 1960-1970,
2 piani, 1470 m²

Caso Studio 1: Edificio scolastico in Provincia di Teramo

Interventi incrementali

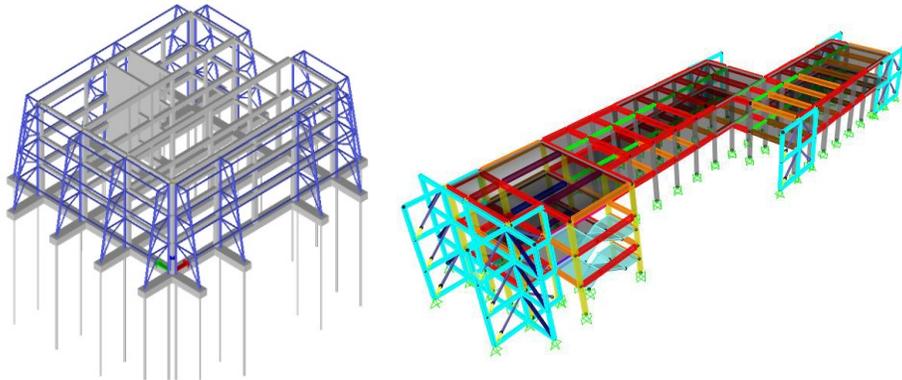


Epoca costruttiva: 1950-1960,
3 piani, 1200 m²

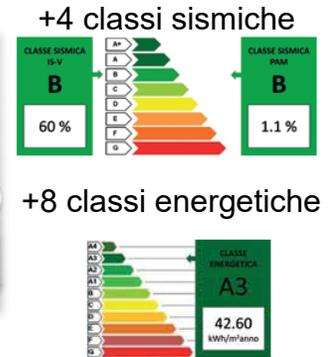
Caso Studio 2: Edificio scolastico in Provincia di Macerata



Sismico: Esoscheletri esterni in acciaio

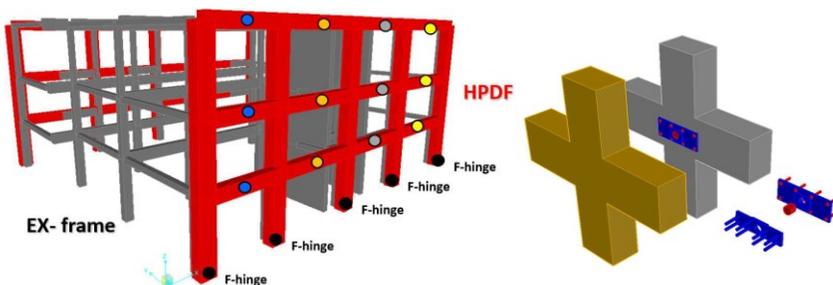


Energetico: isolamento copertura, sostituzione infissi, valvole termostatiche

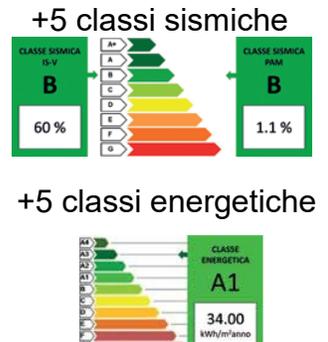
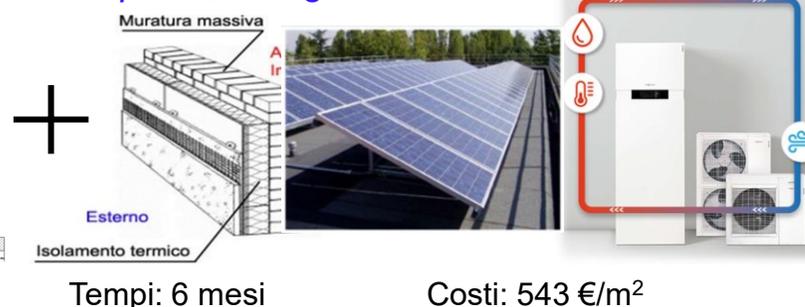
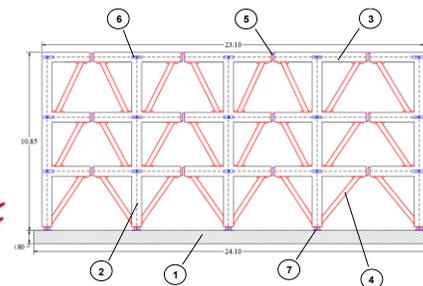


INTERVENTO 5

Sismico: esoscheletro esterno misto c.a. e acciaio



Energetico: cappotto termico, sostituzione serramenti, isolamento copertura, sostituzione impianti, energie rinnovabili

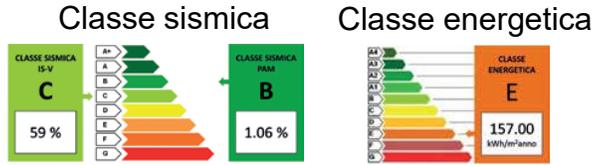


INTERVENTO 6



Caso Studio 3: Edificio residenziale in Provincia di Bergamo

Interventi globali con esoscheletri esterni

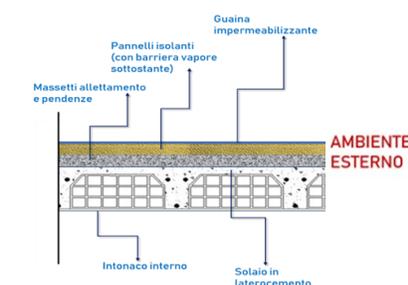
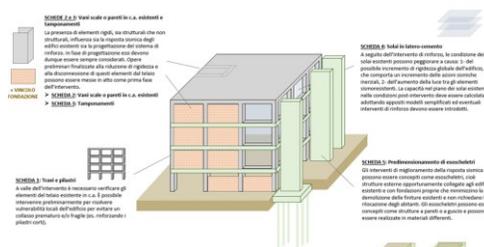
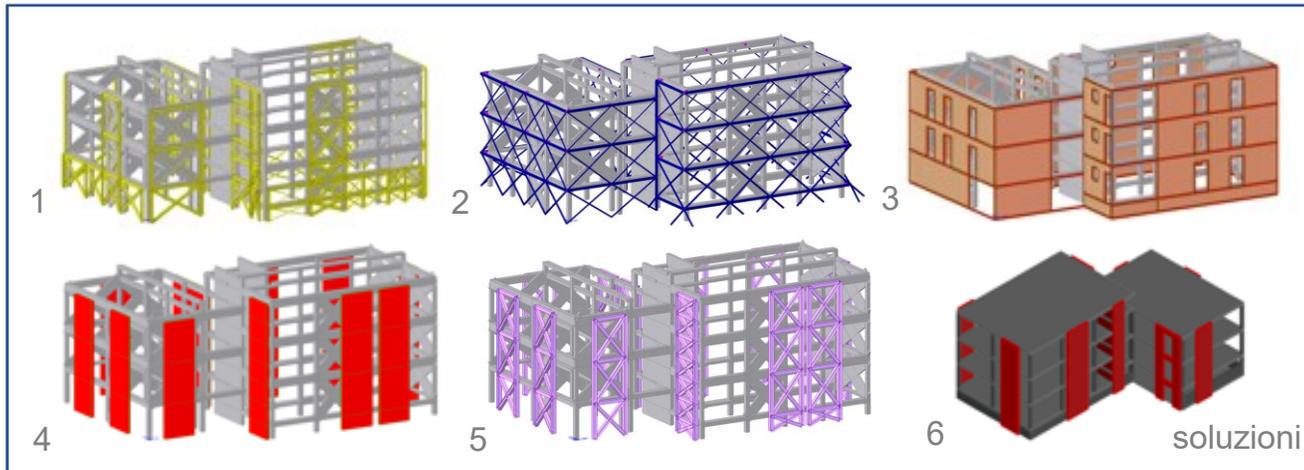


Epoca costruttiva: 1960,
3 piani, 690 m²

*Sismico: Interventi globali con diverse tipologie di controventi
Acciaio, Diagrid, pannelli legno, pareti C.A.*

Energetico: cappotto termico, sostituzione serramenti, isolamento copertura,

INTERVENTO 1-5

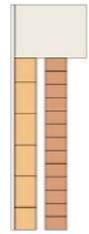
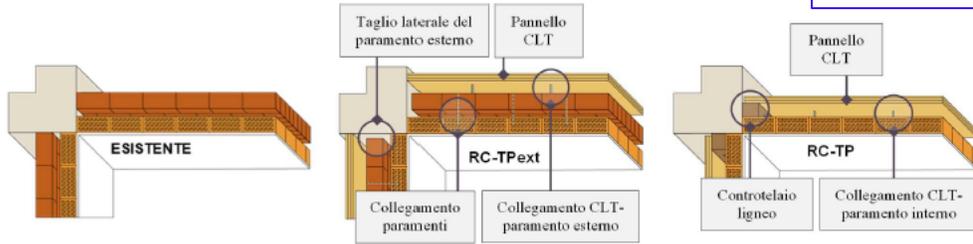


Tempi: 6-8 mesi

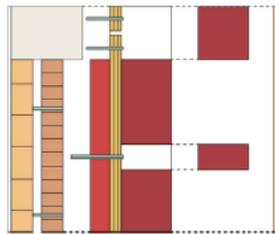
Costi: 600-700 €/m²



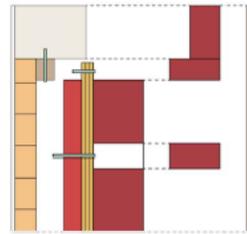
Interventi globali con pannelli in legno



Edificio esistente



Livelli 1 e 2



Livello 3



Esistente



Livello 1



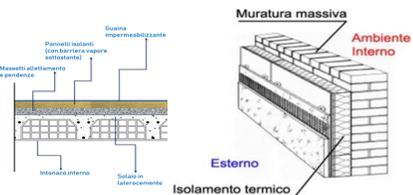
Livello 2



Livello 3

Classe Sismica F	Classe Sismica B	Classe Sismica B	Classe Sismica B
Classe Energetica G	Classe Energetica D	Classe Energetica A3	Classe Energetica A4

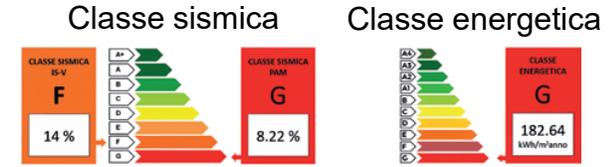
- Isolamento pareti e sottotetto



- Isolamento pareti e sottotetto
- Isolamento solaio di base
- Sostituzione infissi
- Sostituzione impianti

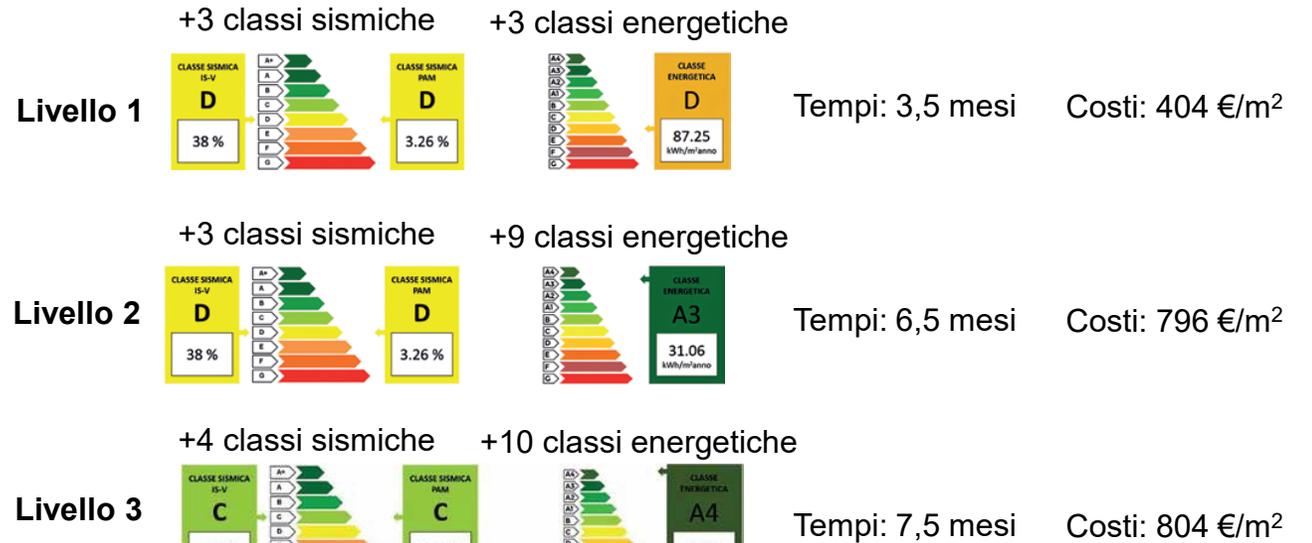


- Isolamento pareti e sottotetto
- Isolamento solaio di base
- Sostituzione infissi
- Sostituzione impianti
- Uso di un impianto solare termico



Epoca costruttiva: 1955,
5 piani, 9000 m²

Caso Studio 4: Edificio residenziale in Provincia di Torino



EDIFICI IN MURATURA

Tecniche di Intervento e sperimentazione

Prof. Ing. Francesca da Porto

ASPETTI STRUTTURALI

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



ASPETTI FORMALI

- Edifici, anche se non vincolati, di pregio
- Realizzati in aderenza ad altre strutture
- Tessuto dei centri storici

ASPETTI ENERGETICI

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



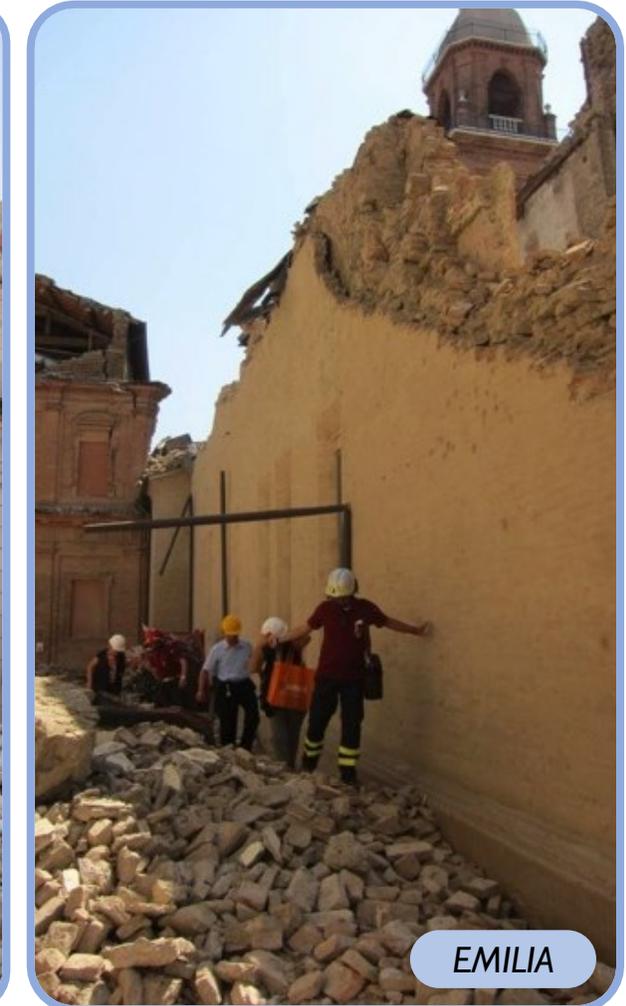
Aspetti del comportamento sismico: Meccanismi di 1° modo



Aspetti del comportamento sismico: Catene e tiranti



Aspetti del comportamento sismico: Qualità muraria



SISMABONUS
D.M. 28 FEBBRAIO 2017
n. 58 e S.M.I.

TIPOLOGIA STRUTTURALE

- PIETRA GREZZA
- MATTONI IN TERRA CRUDA



INTERVENTI DI
RAFFORZAMENTO LOCALE
NON APPLICABILI

ARQUATA DEL TRONTO
(dopo scossa 24/08)



ACCUMOLI
(dopo scossa 24/08)



Aspetti del comportamento sismico: Coperture e solai



Orizzontamenti deformabili e non collegati alle murature, coperture degradate e «spingenti»

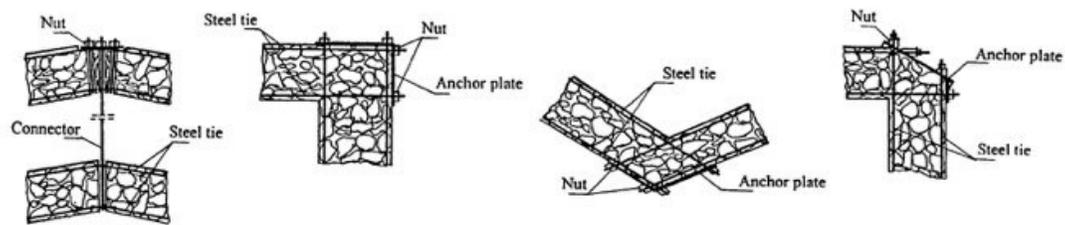
Aspetti del comportamento sismico: Meccanismi globali o 2° modo



In **ROSSO**
Lesioni a taglio
nei maschi tozzi

In **BLU**
Lesioni a presso
flessione
nei maschi snelli

Tecniche d'intervento e sperimentazioni: Collegamenti

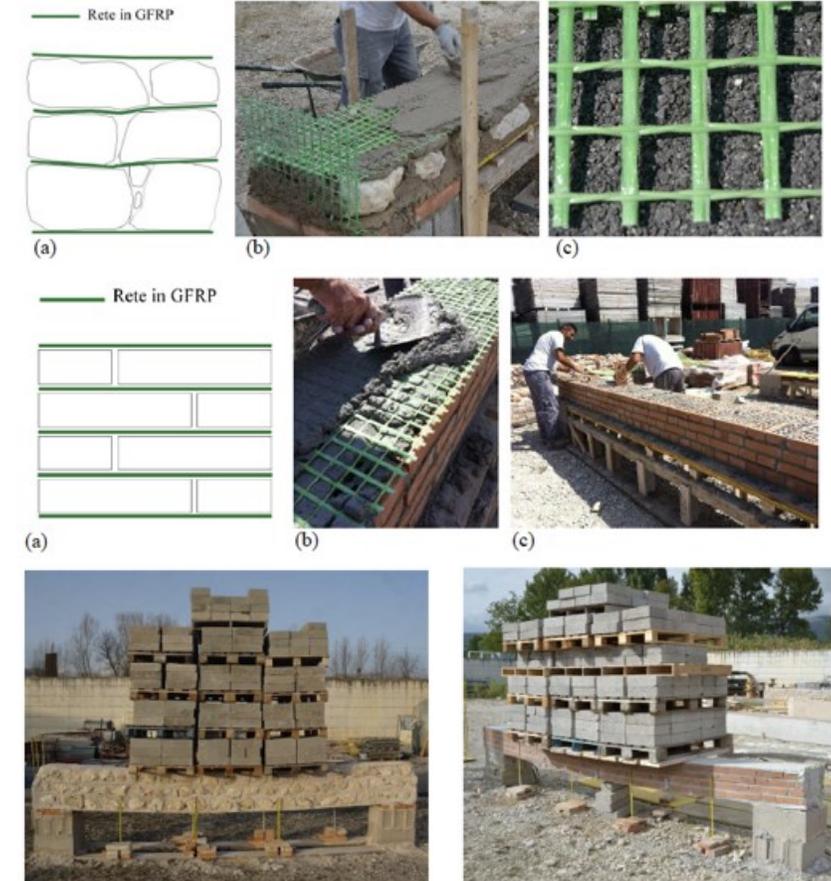


Fonte: M. Tomazevic, 1999

Cordolature in muratura armata e in acciaio *S. Stefano, Monselice (PD)*



Cordolature in muratura armata e reti in GFRP

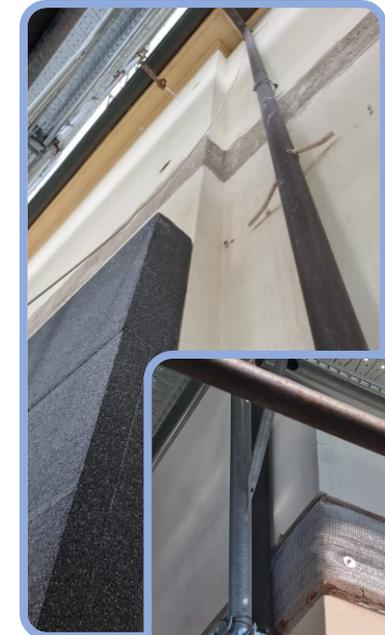




Cerchiatura di edifici con materiali compositi innovativi



Palazzo Lui, Padova



Casa Olivi, Padova

Tecniche d'intervento e sperimentazioni: Le murature



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



Non rinforzata (0.25 g)



Tiranti trasversali (0.45 g)

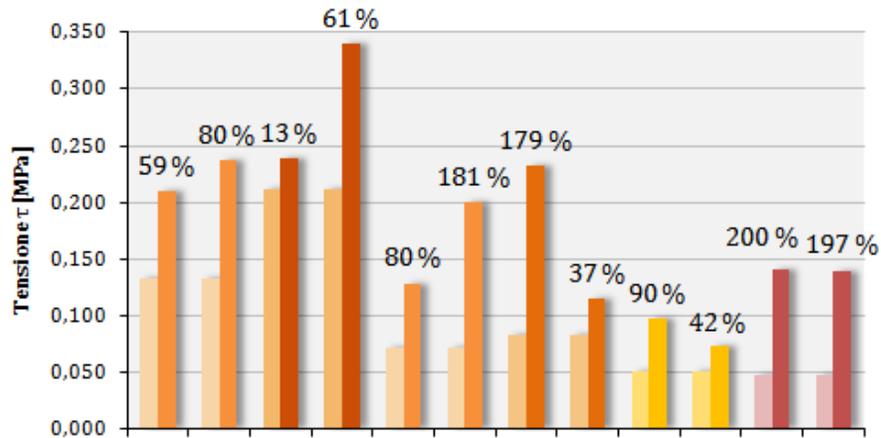


Iniezione di miscele (0.60 g)

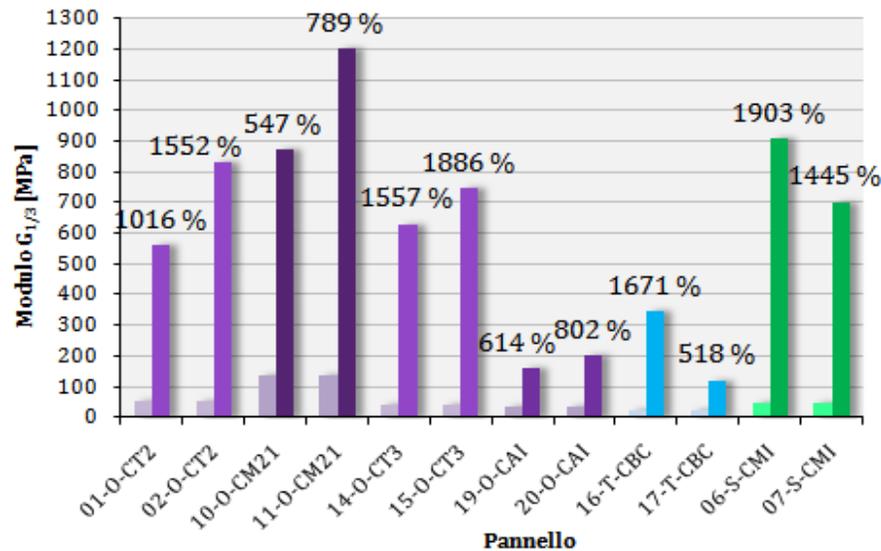


Iniezione e tiranti (0.75 g)
→ non collassa





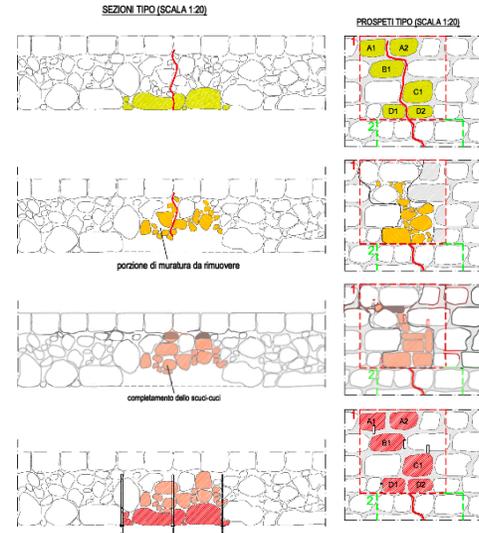
Variazioni percentuali della **resistenza** dei pannelli consolidati



Variazioni percentuali della **rigidezza** dei pannelli consolidati



Tecniche d'intervento e sperimentazioni: Le murature

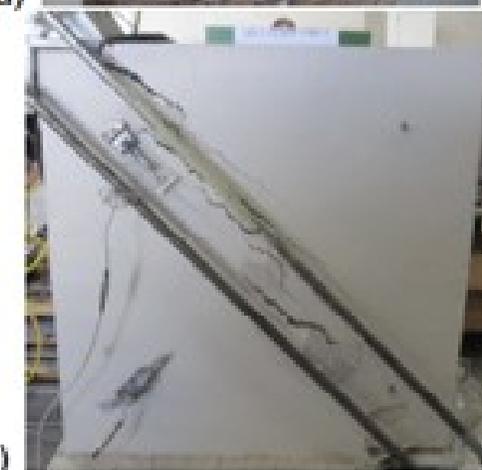
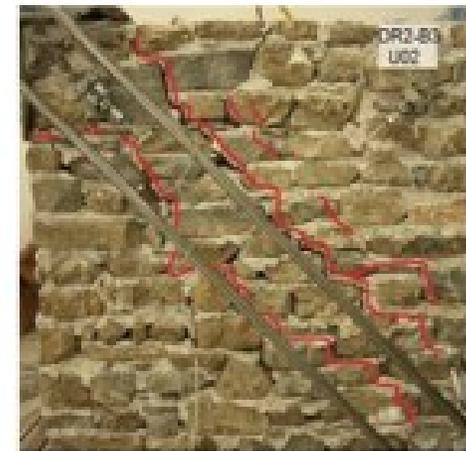
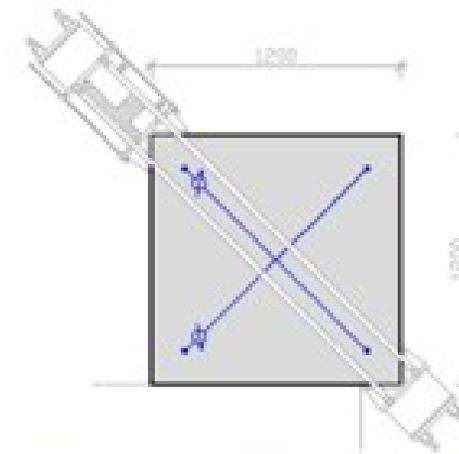
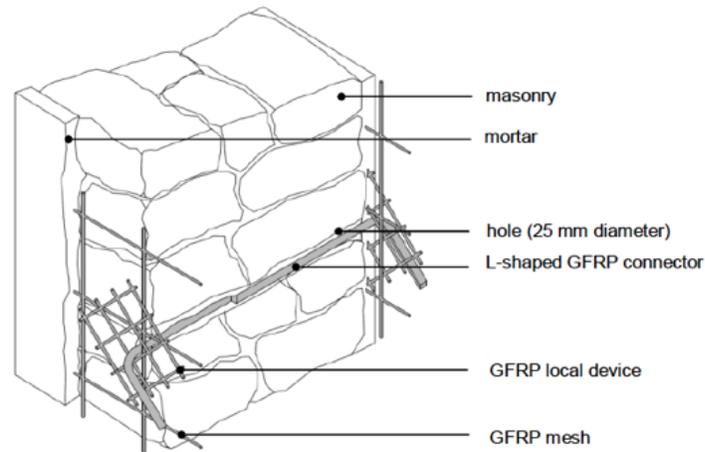


Scuola e palestra, Cologna Veneta (VR)



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


 UNITS – N. Gattesco

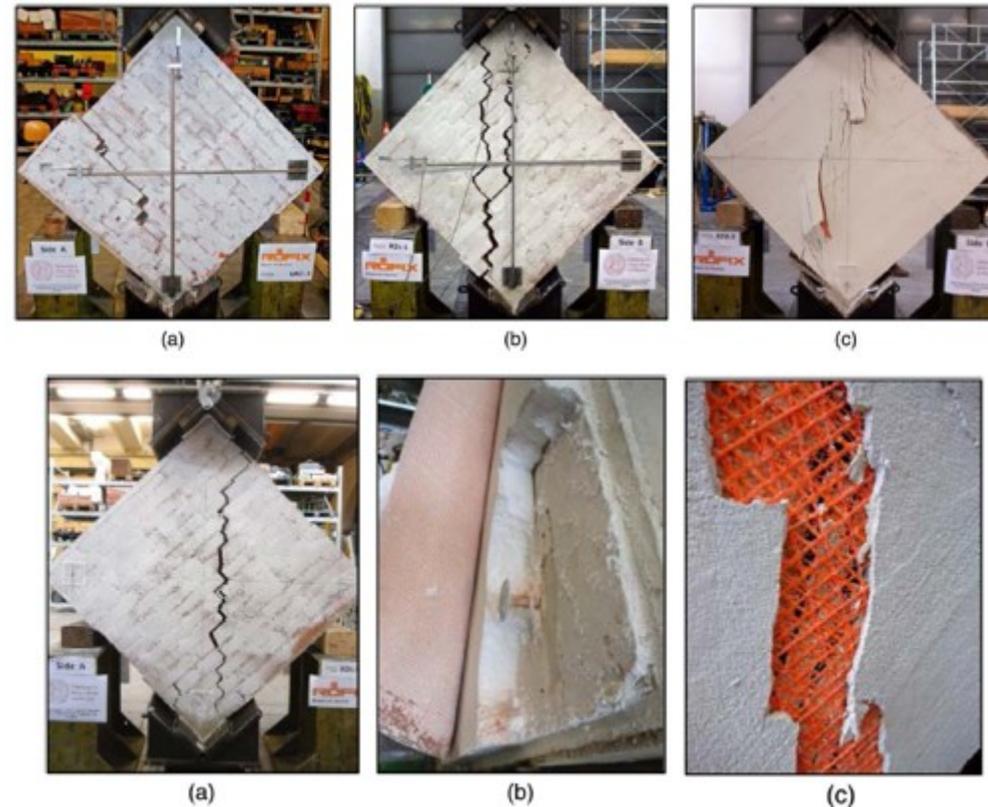


**Istruzioni
per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo
di Interventi di Consolidamento Statico
mediante l'utilizzo di
Compositi Fibrorinforzati a Matrice Inorganica
CNR-DT215-2018**

Sample type	Identifier	P_{max} (kN)	τ_{max} (MPa)	$\tau_{max}/\tau_{as-built}$
Two-leaf-thick solid clay-brick wall panels (11 samples)				
As-built ^a	UR2-1	121.2	0.32	—
	UR2-2	71.9	0.19	—
	UR2-3	104.6	0.28	—
	Average	99.2	0.26	—
Single-sided	R2s-1	181.1	0.48	—
	R2s-2	142.7	0.37	—
	R2s-3	125.6	0.33	—
	R2s-4	116.7	0.31	—
	R2s-th	173.7	0.46	—
	Average	148.0	0.39	1.5
Double-sided	R2d-1	238.0	0.62	—
	R2d-2	255.9	0.67	—
	R2d-3	270.4	0.71	—
	Average	254.8	0.67	2.6
One-leaf-thick solid clay-brick wall panels (2 samples)				
As-built ^a	UR1-1	34.2	0.19	—
Single-sided	R1s-1	149.6	0.82	4.4
Hollow clay-block wall panels (2 samples)				
As-built ^a	URh-1	304.9	0.69	—
Single-sided	Rhs-1	338.6	0.77	1.1

Note: P_{max} = peak diagonal load applied; τ_{max} = peak shear stress.

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



UNIPD – F. da Porto

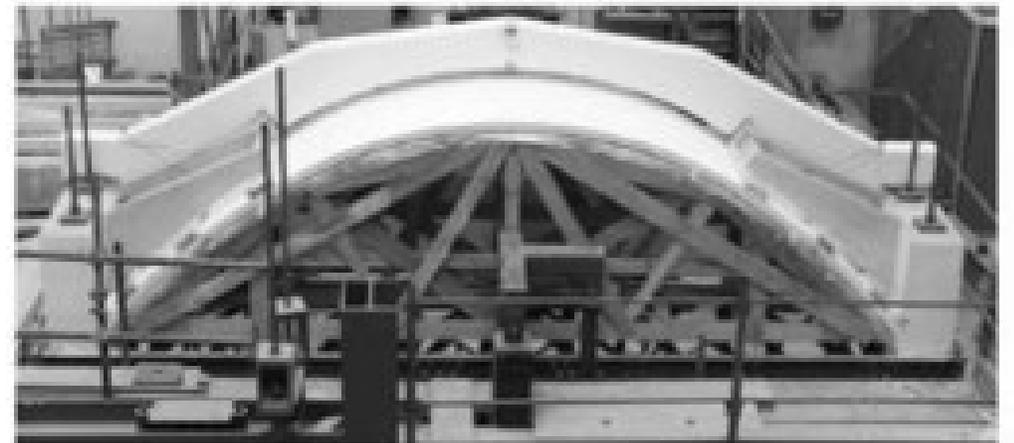
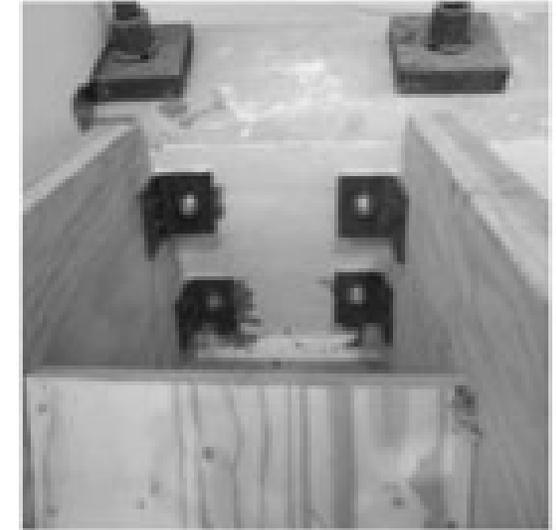
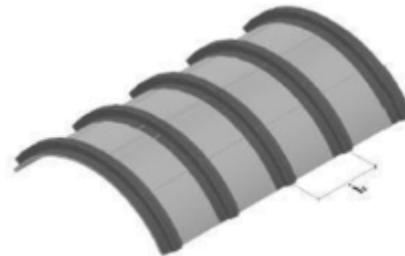
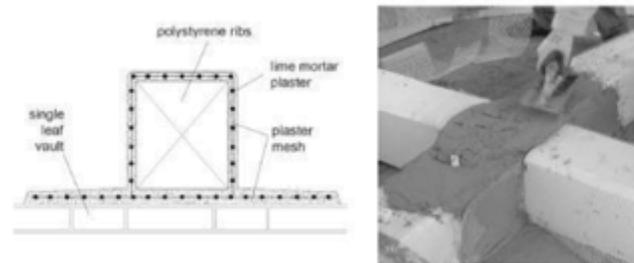
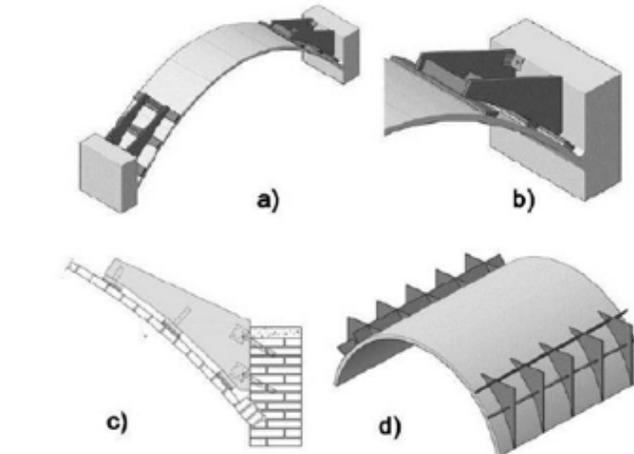
Rinforzo di volte in foglio con pannelli lignei estradossali laterali, con centine lignee, con costoloni estradossali



UNIBG – A. Marini

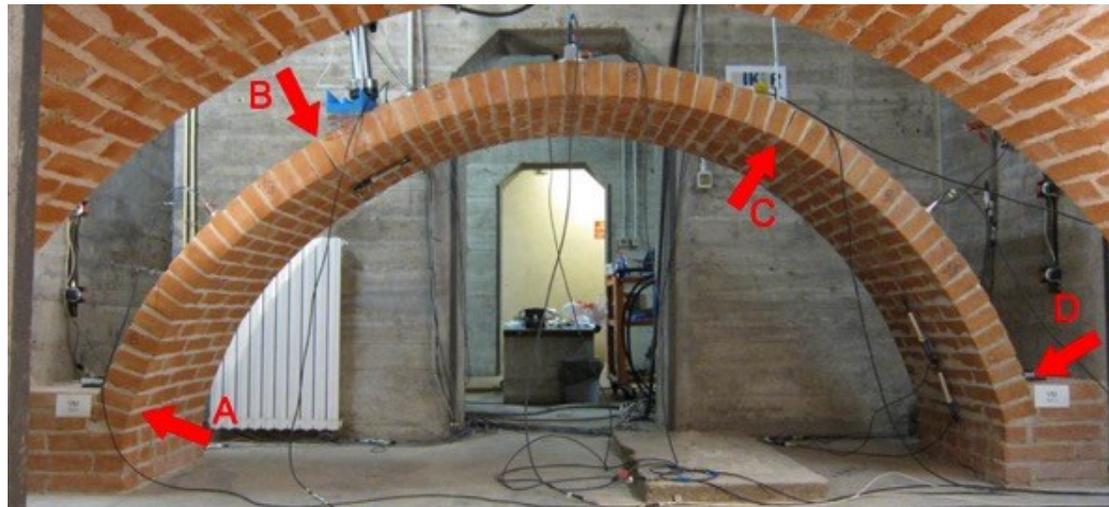


UNIBS – E. Giuriani



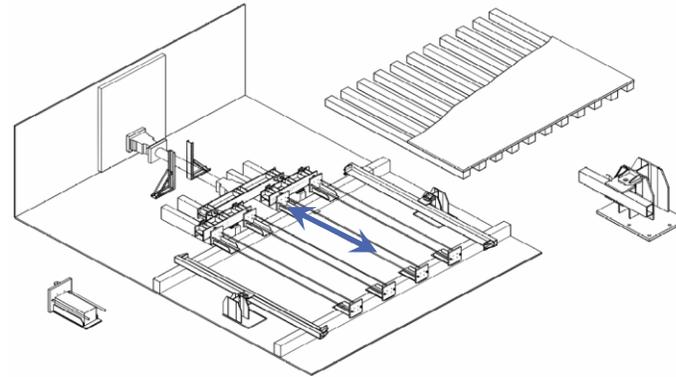
Tecniche d'intervento e sperimentazioni: Volte in muratura

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

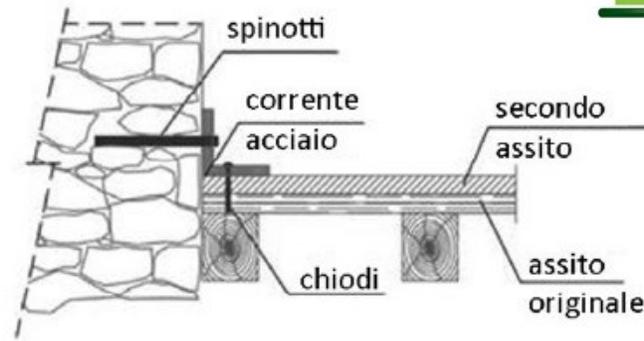


Tecniche d'intervento e sperimentazioni: Solai lignei

Aumento della rigidezza nel piano degli orizzontamenti e collegamento alle murature




 UNITN – M. Piazza




 UNIBS – G. Metelli

Tavolato semplice



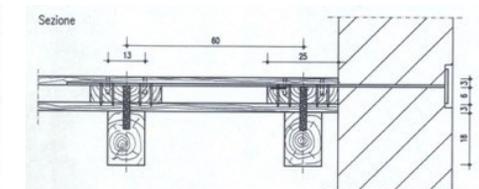
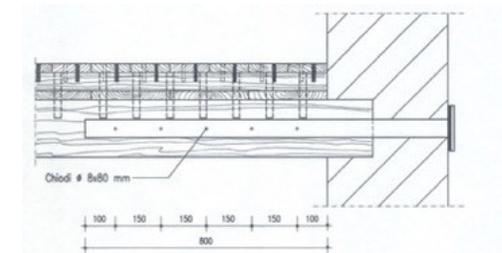
Tavolato doppio



Bandelle metalliche/CFRP

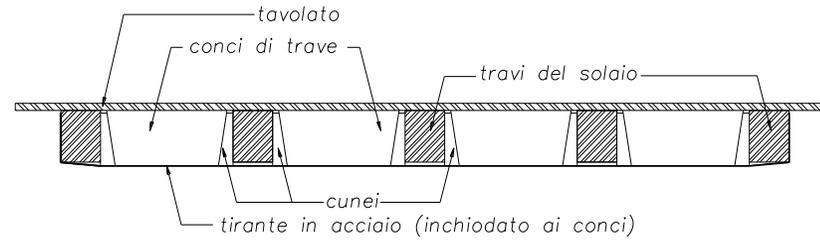


Compensato (3 strati)



UNIPD – C. Modena, M.R. Valluzzi

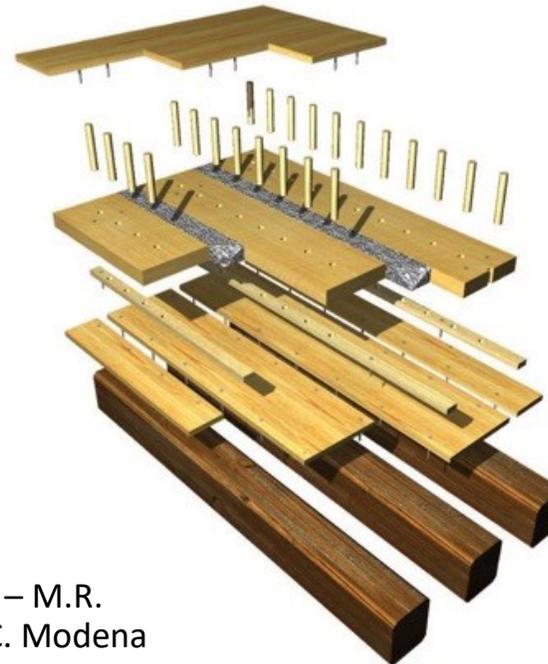
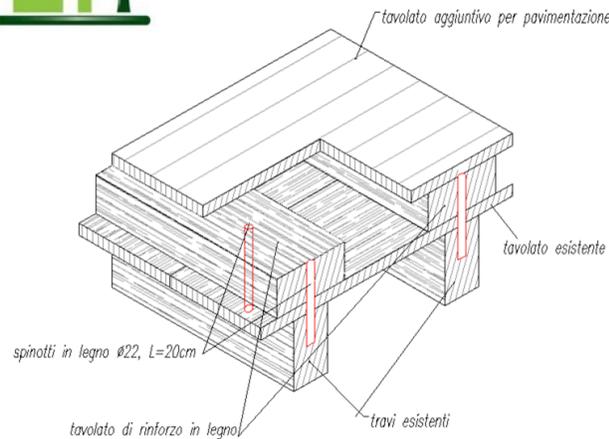
Tecniche d'intervento e sperimentazioni: Solai lignei



Inserimento conci lignei e tiranti metallici all'intradosso



Soluzioni
 alternative con
 rinforzi
 estra/intradossali
 e integrazione
 impiantistica



UNIPD – M.R.
 Valluzzi, C. Modena



Consolidamento tavolato esistente, posa in opera dei tavoloni irrigidenti



Conservazione intradosso



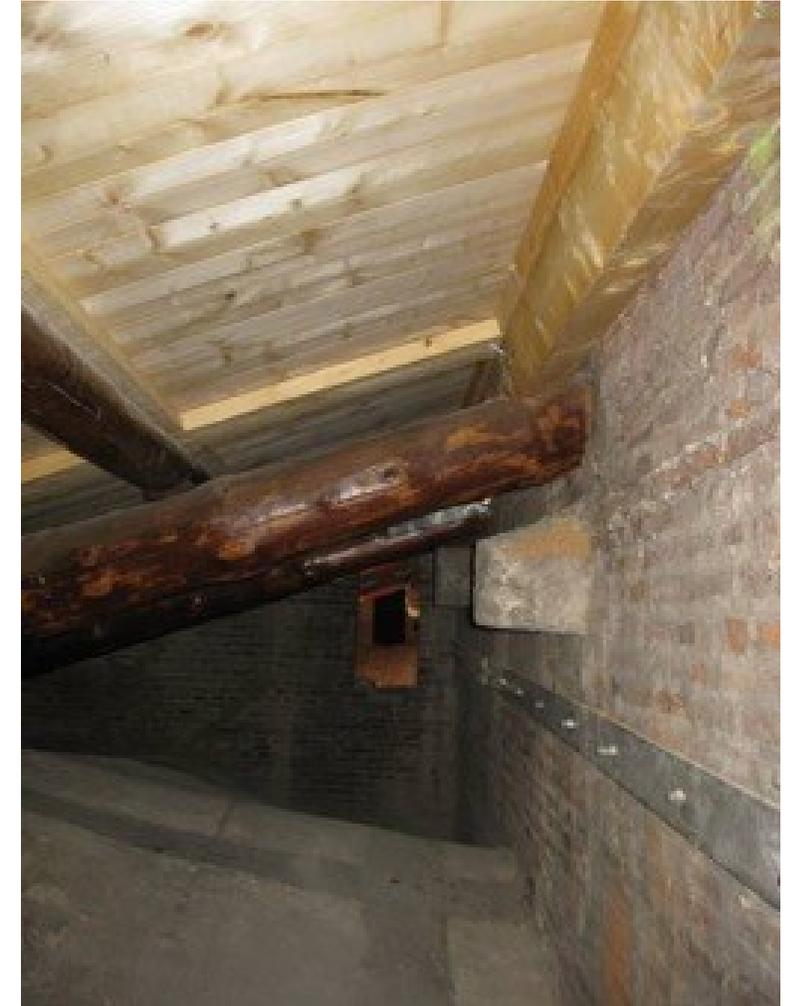
Collegamento impiantistica



- Controventamento con tavolato e nastri forati
- Irrigidimento orditura secondaria con tavoloni fissati con viti
- Ancoraggi alle murature

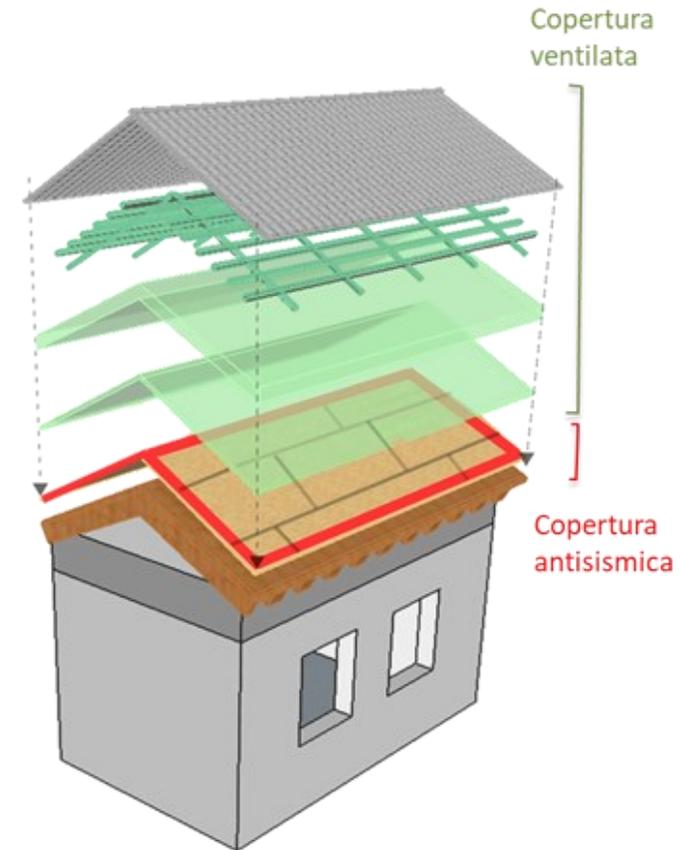
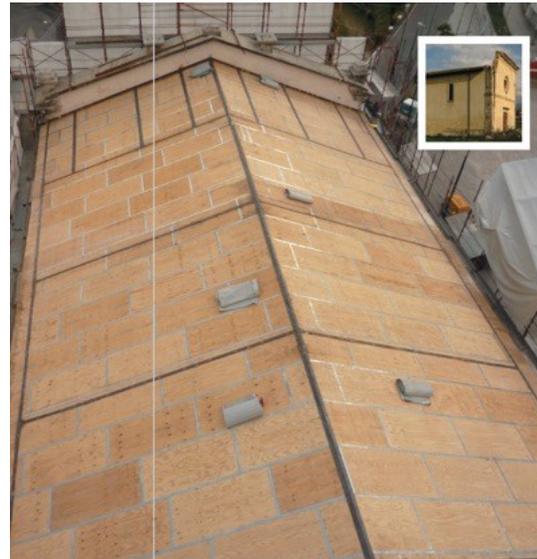
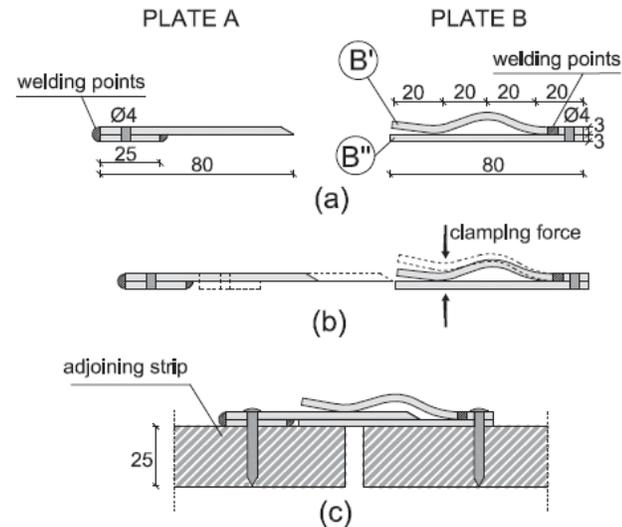


UNIPD – C. Modena



Tecniche d'intervento e sperimentazioni: Coperture

Coperture scatolari, integrazione con tetto ventilato ed eventuali dispositivi dissipativi



UNITN – M. Piazza



UNIBG – A. Marini



UNIBS – E. Giuriani

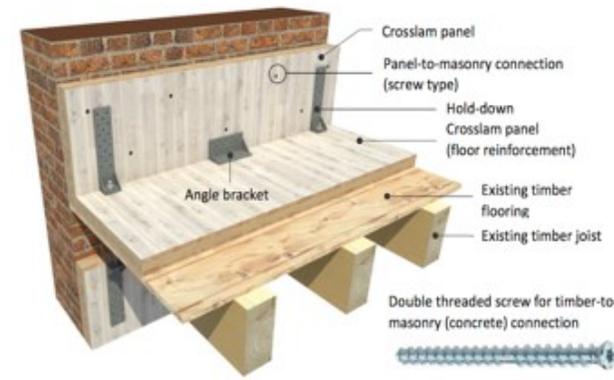
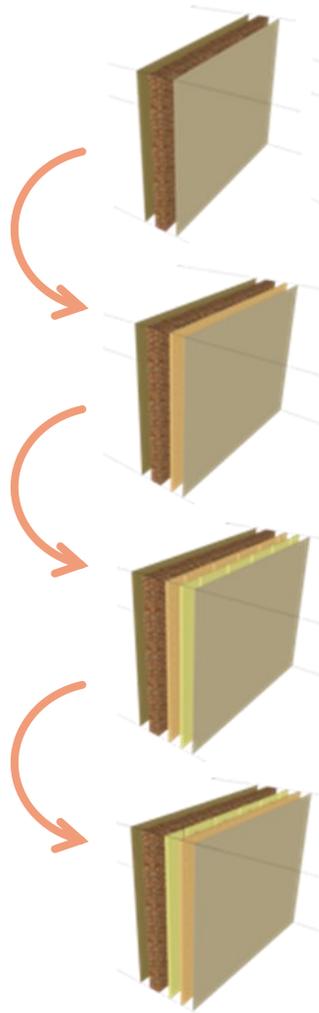


UNIBS – M. Preti

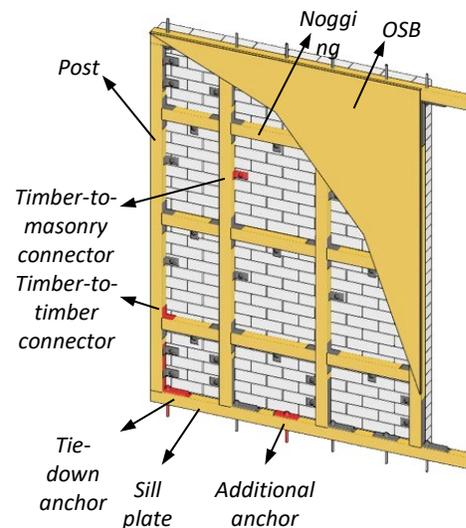
Tecniche d'intervento e sperimentazioni: Tecniche basate su rinforzi lignei



Giongo e Piazza, 2022



Miglioramento sismico ed efficientamento energetico con pannelli CLT e OSB



EDIFICI IN MURATURA

Casi studio

Prof. Ing. Francesca da Porto

Casi studio muratura



1

Edificio residenziale (classe d'uso II)



2

Edificio scolastico (classe d'uso III)



3

Edificio scolastico (classe d'uso III)

Casi studio muratura



4

Edificio pubblico (classe d'uso IV)

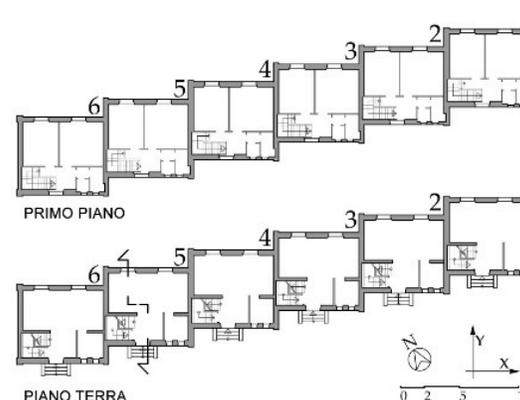
5

Edificio ricettivo (classe d'uso III)

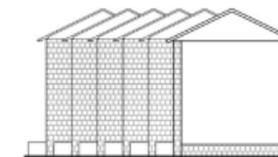
6

Edificio residenziale (classe d'uso II)

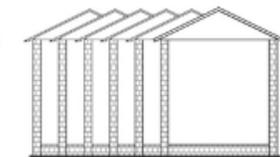
FABBRICATO AD USO RESIDENZIALE IN PROVINCIA DI MACERATA	
Epoca di costruzione	1962 – 1963
Nr. piani	2 fuori terra, 1 interrato
Area in pianta	52 m ² (unità) – 312 m ² totali
Zona sismica	1
$a_{g,SLV}$	0.226 g
Zona climatica	E
Gradi giorno	2189



PROSPETTO SUD



PROSPETTO EST



PROSPETTO OVEST



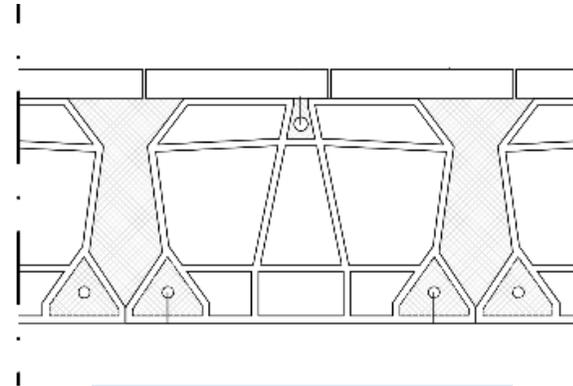
SEZIONE



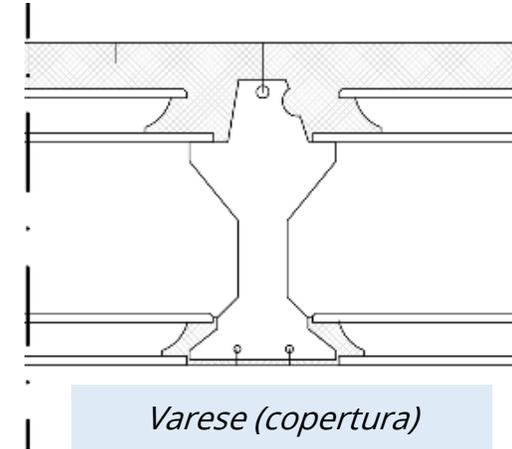
Caso studio: incatenamento e rinforzo murario

Edificio residenziale

Caratteristiche
strutturali del
fabbricato



SAP 16+3 (interpiano)



Varese (copertura)



Conci sbozzati (perim. principale)



Conci squadrati (perim. secondaria)



Blocchi forati (scala interna)

INTERVENTI PROPOSTI

	Intervento sismico	Intervento energetico
Int. 1	Intonaco armato FRCM solo lato esterno delle pareti; catene sulle celle di estremità ; irrigidimento nel piano dei solai con controventi e della copertura con cappa armata	Isolamento pareti , sostituzione serramenti , isolamento copertura ; cambio caldaia e inserimento valvole termostatiche su termosifoni esistenti
Int. 2	Iniezioni e tirantini trasversali sulle pareti; catene sulle celle di estremità ; irrigidimento nel piano dei solai con controventi e della copertura con cappa armata	Isolamento pareti, sostituzione serramenti, isolamento copertura; sostituzione termosifoni con soffitto radiante e sostituzione caldaia con pompa di calore
Int. 3	Intonaco armato FRCM solo lato esterno delle pareti; catene su tutte le celle ; irrigidimento nel piano dei solai con cappa armata nella copertura e nei solai	Isolamento pareti, sostituzione serramenti, isolamento copertura; sostituzione termosifoni con pavimento radiante e sostituzione caldaia con pompa di calore



METODOLOGIA

- VALUTAZIONE STATO DI FATTO
 - Consumi energetici
 - Analisi pushover
- PROGETTO DI DETTAGLIO
 - Consumi energetici
 - Analisi pushover
- VALUTAZIONE STATO DI PROGETTO
 - Consumi energetici
 - Analisi pushover
- COMPUTO METRICO

3 COMBINAZIONI DI INTERVENTO

	Combinazione 1 Impatto minimo	Combinazione 2 Impatto basso	Combinazione 3 Impatto medio
Obiettivo 0 Qualità muraria	Intonaco armato sul lato esterno + connettori trasversali	Iniezioni + connettori trasversali	Intonaco armato sul lato esterno + connettori trasversali
Obiettivo 1 Connessioni tra pareti	Catene	Catene	Catene
Obiettivo 2a Rinforzo copertura	Cappa in copertura	Cappa in copertura	Cappa in copertura
Obiettivo 2b Rinforzo solai	Controventi	Controventi	Cappa sui solai
pareti	$U = 0,022$	$U = 0,022$	$U = 1,40$

DOCUMENTO SINTESI

Costo di interventi miglioramento strutturale

Costo di interventi di efficientamento energetico

Progetto BPC-86/L.UBS 2019-2021

WPI Interventi di rigoglioramento a basso impatto ed integrati

Costo di interventi di efficientamento energetico

ABAQUS (mappa spostamenti)

ABAQUS (mappa danno)

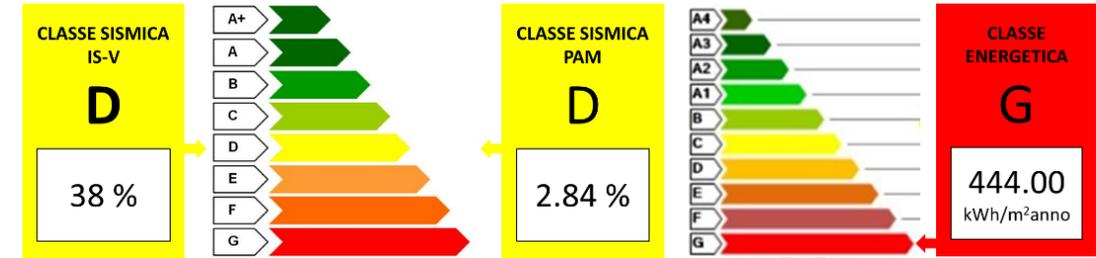
INTERVENTO 1

Sismico	Energetico
<ul style="list-style-type: none"> Intonaco armato FRCM solo lato esterno delle pareti Catene sulle celle di estremità Irrigidimento nel piano dei solai con controventi e della copertura con cappa armata 	<ul style="list-style-type: none"> Isolamento pareti Isolamento copertura Sostituzione serramenti Sostituzione caldaia Valvole termostatiche su termosifoni esistenti

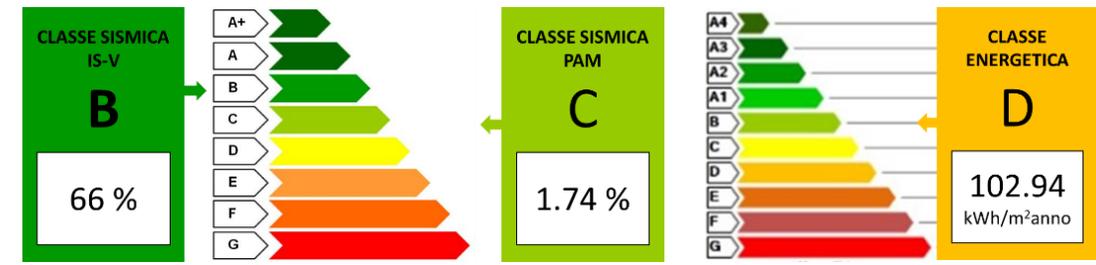
METODO DI ANALISI

S) Statica non lineare (pushover) su modello a telaio equivalente	E) Quasi stazionario (consumi annui di gas ed energia elettrica)
---	--

AS-BUILT



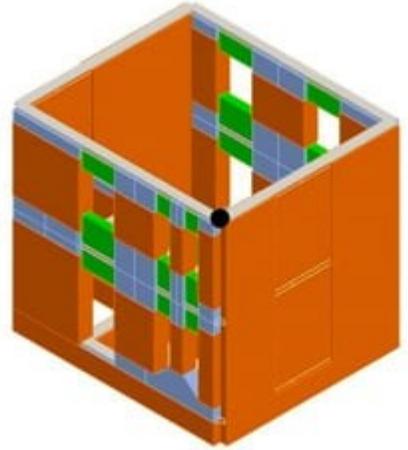
INTERVENTO



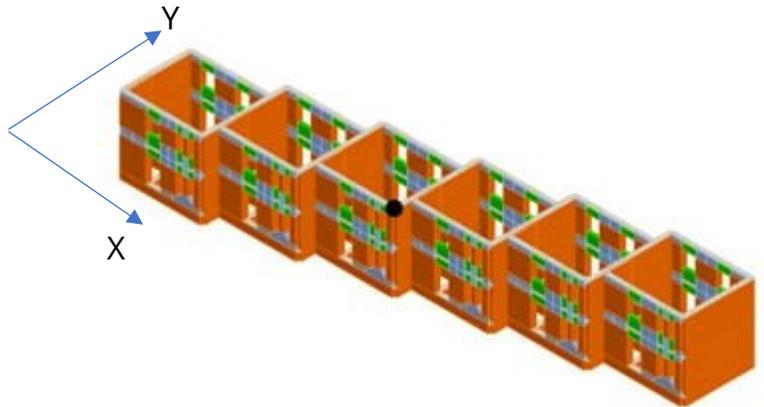
Costo
 505'080 €
 (841.80 €/m²)

Tempo
 3.5 mesi

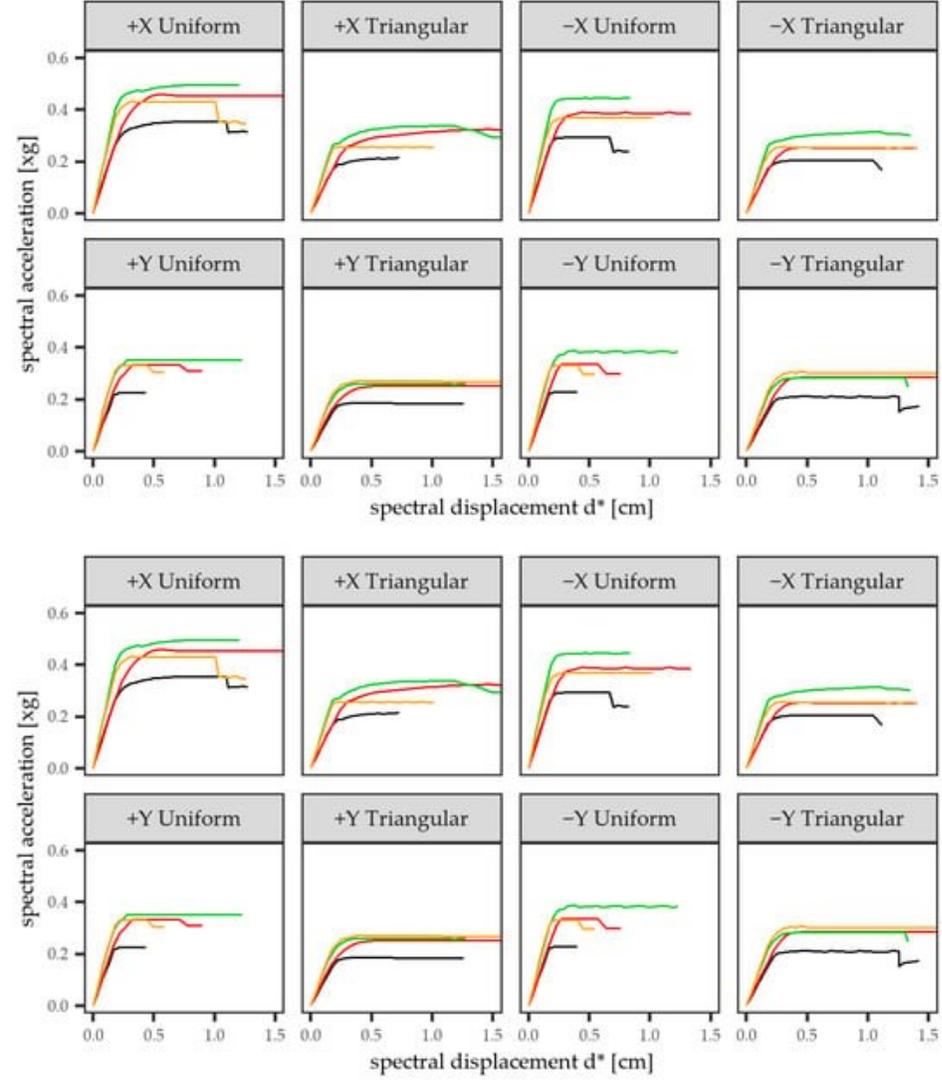
Caso studio: incatenamento e rinforzo murario Edificio residenziale



Modellazione singola unità



Modellazione intero blocco



- As-built single unit
- Comb. 1 FRCM + catene (estremità)
- Comb. 2 Iniez. + catene (estremità)
- Comb. 3 FRCM + catene (blocco)

Confrontando le soluzioni con catene (rossa e gialla):
cambia la duttilità del sistema (più duttile con catene alle sole estremità).
Confronto catene alle estremità con FRCM e iniezioni (rossa e verde)

Confronto interventi

Classe sismica

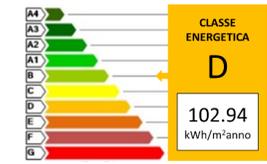
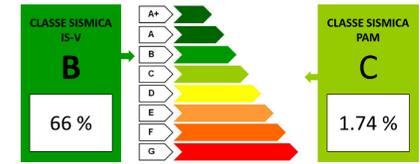
Classe energetica



+1 classe sismica

+3 classi energetiche

Int. 1

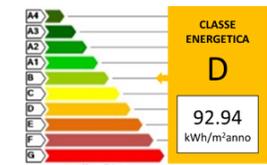


Tempi: 3.5 mesi Costi: ~ 505 k€ (842 €/m²)

+2 classi sismiche

+3 classi energetiche

Int. 2

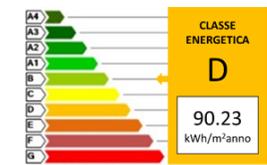


Tempi: 4 mesi Costi: ~ 580 k€ (968 €/m²)

+1 classe sismica

+3 classi energetiche

Int. 3



Tempi: 5 mesi Costi: ~ 650 k€ (1080 €/m²)

Caso studio: Irrigidimento solai

Edificio ad uso pubblico

FABBRICATO AD USO PUBBLICO IN PROVINCIA DI ANCONA

Epoca di costruzione 1940 - 1950

Nr. piani 4 fuori terra

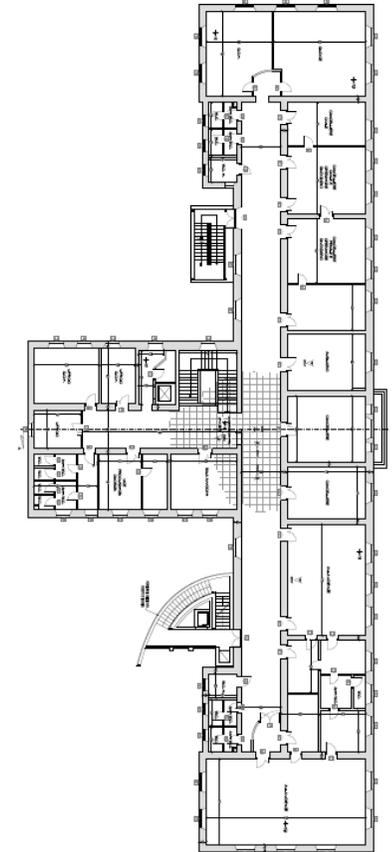
Area in pianta 1300 m²

Zona sismica 2

$a_{g,SLV}$ 0.228 g

Zona climatica E

Gradi giorno 2198

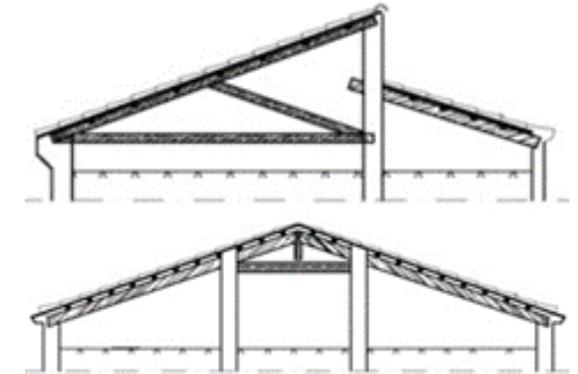


Caratteristiche strutturali del fabbricato

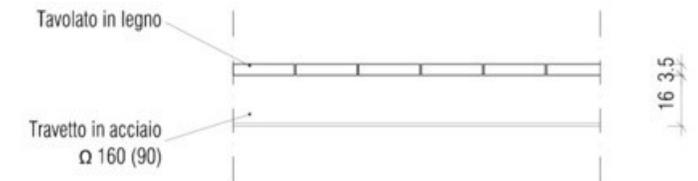
Pietre a spacco con buona tessitura (interna principale ed esterna) e mattoni facciavista (solo esterna)



Copertura a falde con capriate lignee



Profili in acciaio Ω e tavolato in legno (sottotetto)



Putrelle in acciaio e voltine in laterizio forato (piano rialzato e piano 1)

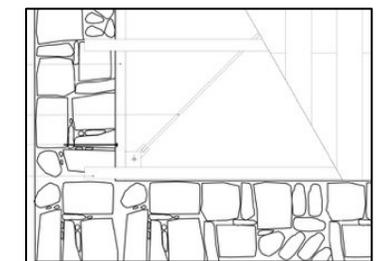
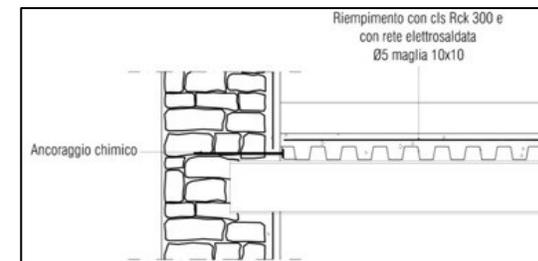
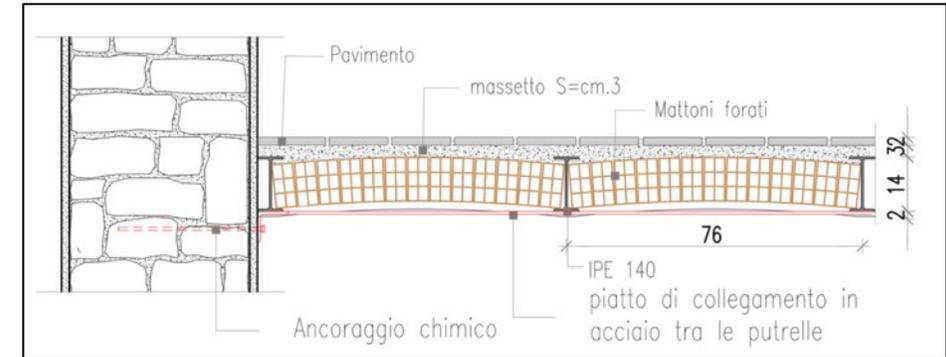


Solaio in laterocemento con cappa non armata (piano 2)



INTERVENTI PROPOSTI

	Intervento sismico	Intervento energetico
Int. 1	Miglioramento - Interventi sulle strutture verticali . Iniezioni di malta su pareti esterne, intervento combinato di iniezioni di malta e intonaco armato sulle pareti interne.	Isolamento pareti , sostituzione serramenti .
Int. 2	Miglioramento - Interventi sulle strutture orizzontali . Irrigidimento nel piano dei solai.	Isolamento solai , sostituzione impianti .
Int. 3	Adeguamento - Combinazione degli interventi 1 e 2 . Iniezioni di malta su pareti esterne, intervento combinato di iniezioni di malta e intonaco armato sulle pareti interne, irrigidimento nel piano dei solai	Isolamento pareti e solai , sostituzione impianti , sostituzione serramenti .
NZEB	Come intervento 3	Come intervento 3, con aggiunta di impianto fotovoltaico .



INTERVENTO 2

Sismico	Energetico
<ul style="list-style-type: none"> Interventi sulle strutture orizzontali: irrigidimento nel piano dei solai. 	<ul style="list-style-type: none"> Isolamento solai Sostituzione impianti (pavimento radiante)

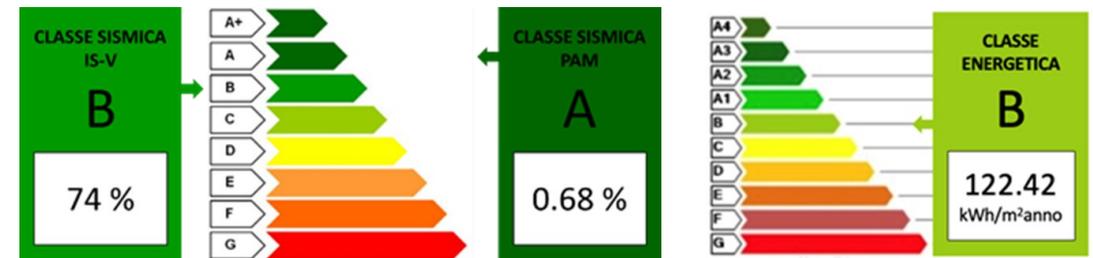
METODO DI ANALISI

S) Statica non lineare (pushover)	E) Quasi stazionario e dinamico
-----------------------------------	---------------------------------

AS-BUILT



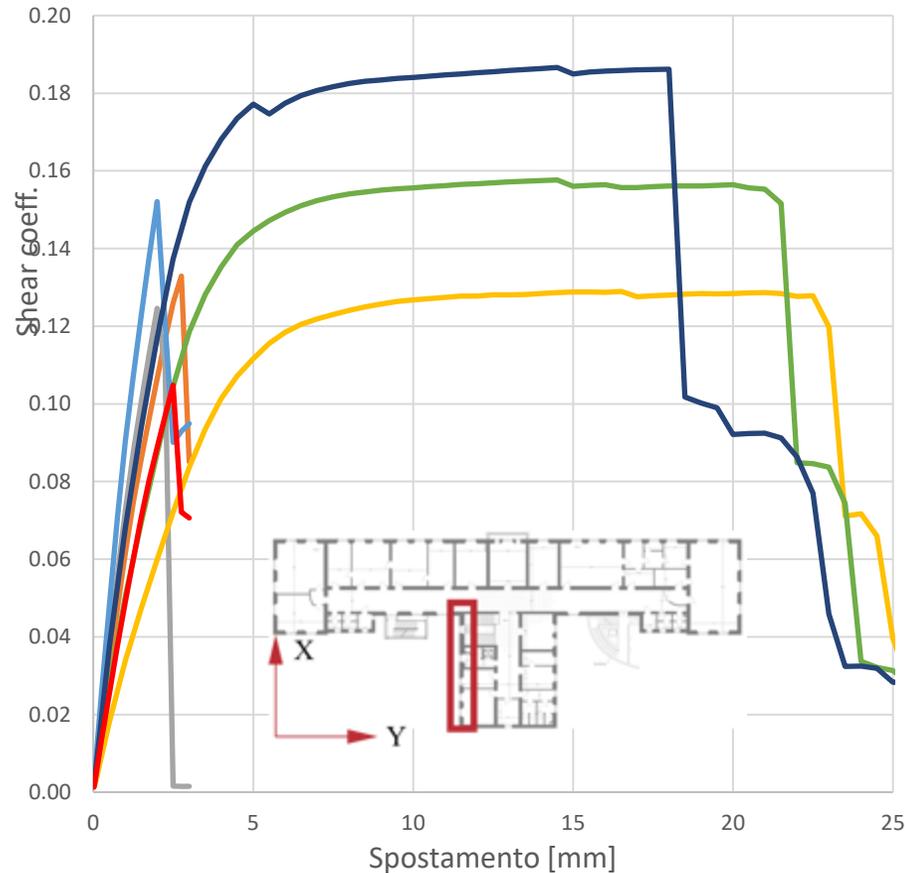
INTERVENTO



Costo
1'881'150 €
(385.50 €/m²)

Tempo
8.5 mesi

Analisi push-over nella direzione più critica

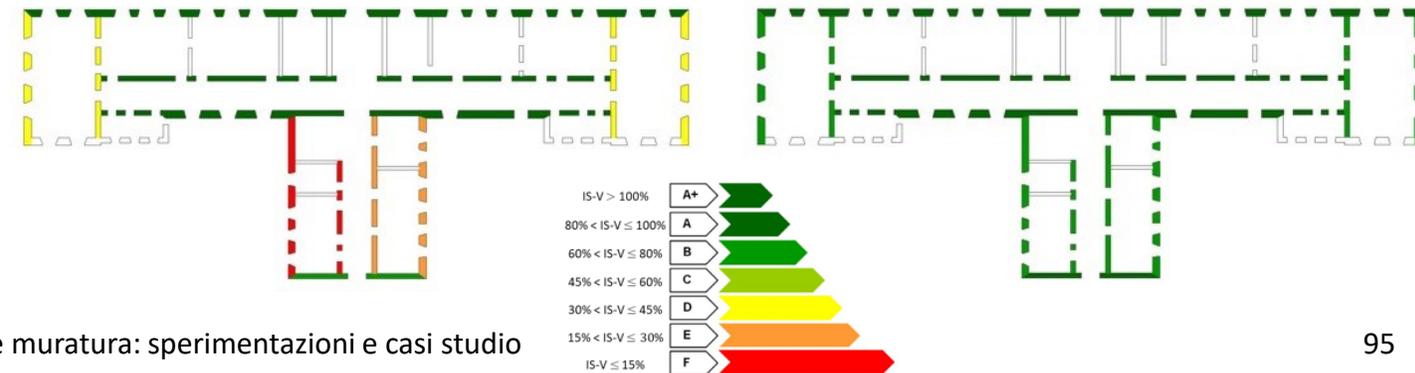


- Pre-interventi
- Iniezioni di malta
- Iniezioni+intonaco
- Iniezioni+intonaco+sol. Rigidi
- Intonaco armato
- Solai rigidi
- Iniezioni+sol. Rigidi

	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%

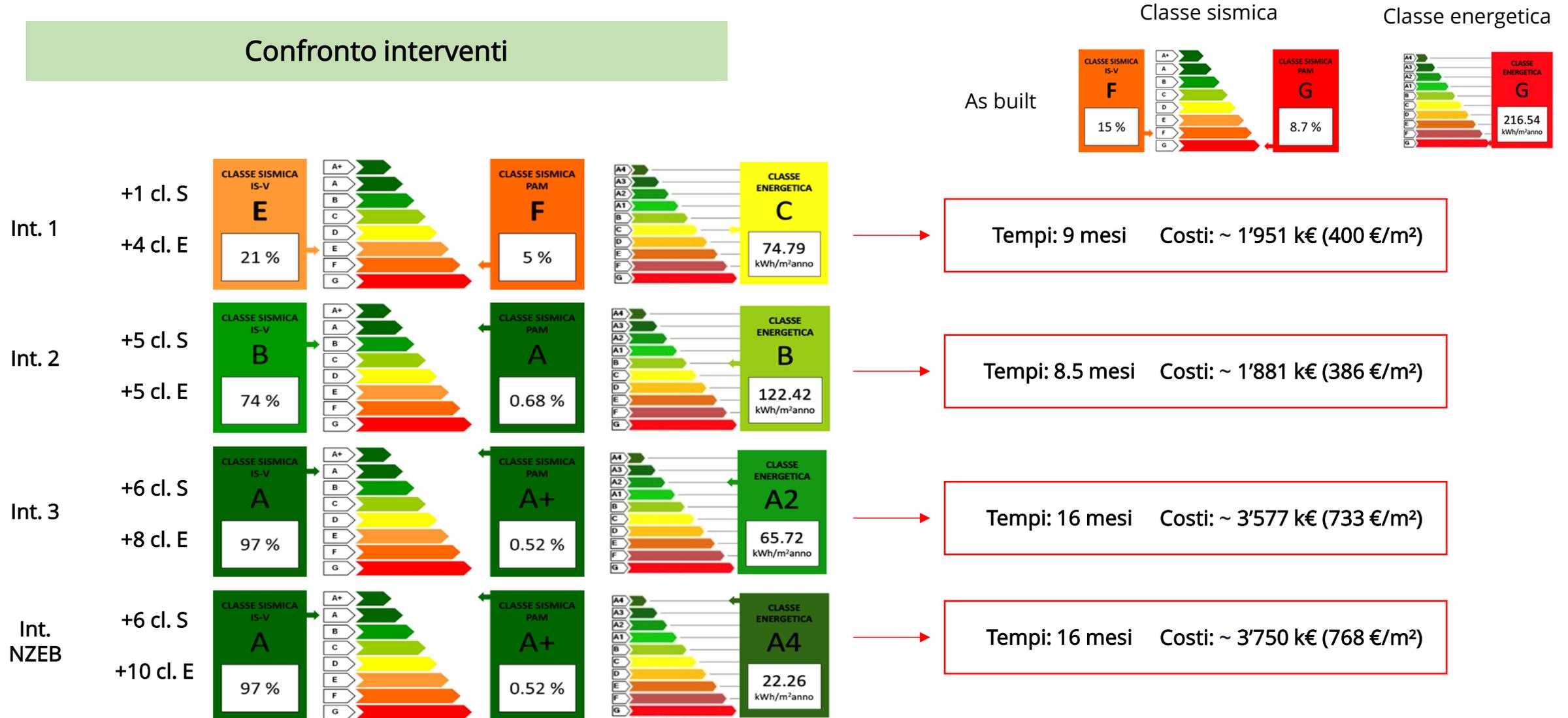
Situazione pre-interventi

Dopo interventi solo su solaio



Caso studio: Irrigidimento solai Edificio ad uso pubblico

Confronto interventi



FABBRICATO AD USO PUBBLICO IN PROVINCIA DI TRENTO

Epoca di costruzione Fine XIX sec.

Nr. piani 5 fuori terra

Area in pianta 718 m²

Zona sismica 4 (TN) ; 2 (AQ)

$a_{g,SLV}$ 0.074 g (TN) ; 0.261 g (AQ)

Zona climatica F (TN) ; E (AQ)

Gradi giorno 3411 (TN) ; 2514 (AQ)



Università di Trento
I. Giongo



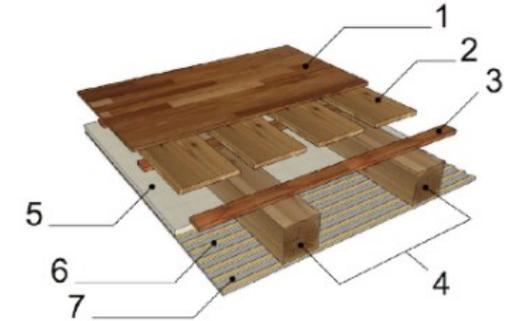
Università di Trieste
N. Gattesco

Caratteristiche strutturali del fabbricato

Pietra calcarea in blocchi (forme irregolari) e scaglie interposte (muratura principale PT, P1, P2)



Travi in legno di abete e riempimento «malta-paglia» (principale)



Copertura a falde con capriate lignee



Mattoni pieni e malta di calce (muratura principale P3)

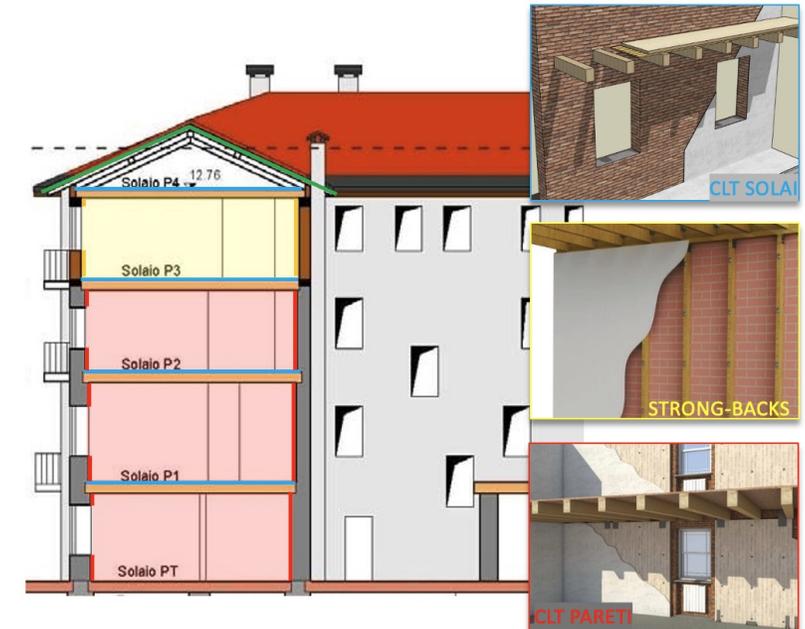


Putrelle metalliche e conglomerato di calce (porzione isolata)



INTERVENTI PROPOSTI

	Intervento sismico	Intervento energetico
Int. 1	Intervento di rinforzo dei solai lignei di interpiano e della copertura	Isolamento solaio di copertura .
Int. 2	Intervento di rinforzo dei solai e della copertura , rinforzo dei maschi murari e delle fasce di piano appartenenti alle sole <u>pareti perimetrali del piano terra e del primo piano</u> mediante l'uso di pannelli in CLT	Isolamento solaio di copertura e pareti perimetrali .
Int. 3	Intervento di rinforzo dei solai e della copertura e rinforzo di tutti i maschi murari e le fasce di piano appartenenti alle sole <u>pareti perimetrali di tutti i piani</u> mediante l'uso di pannelli in CLT	Isolamento solaio di copertura e pareti perimetrali .
Int. R1	Intervento tradizionale di rinforzo con CRM applicato su un solo lato delle pareti perimetrali esterne	-



INTERVENTO 2

Sismico

Energetico

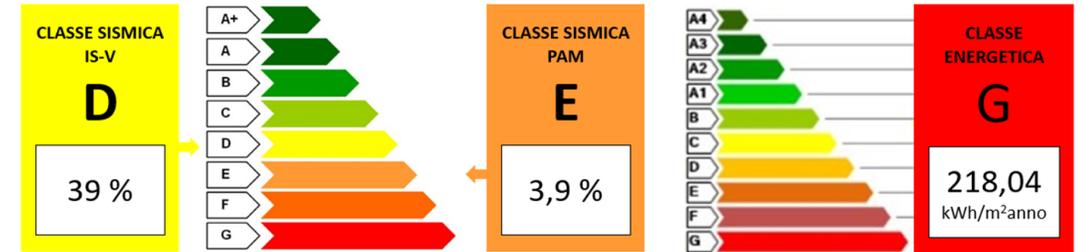
- Rinforzo dei solai e della copertura, dei maschi murari e delle fasce di piano appartenenti alle pareti perimetrali del piano terra e del primo piano mediante l'uso di pannelli in CLT
- Isolamento pareti
- Isolamento copertura

METODO DI ANALISI

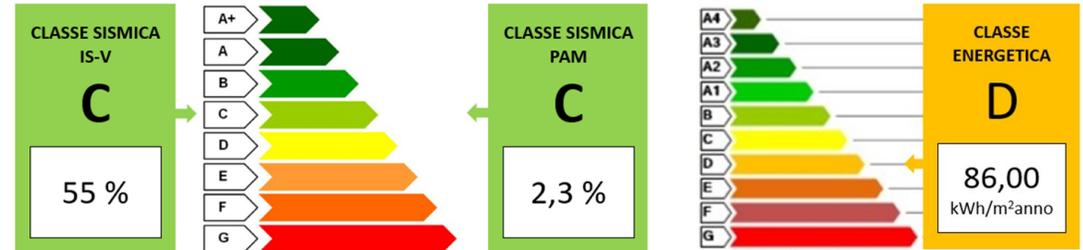
S) Statica non lineare (pushover)

E) Quasi stazionario

AS-BUILT



INTERVENTO

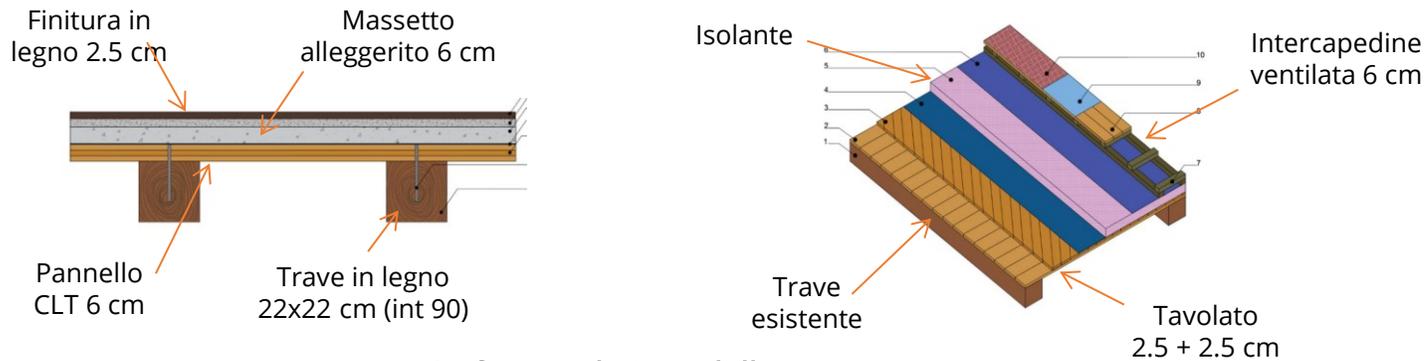


Costo
935'621 €
(284.31 €/m²)

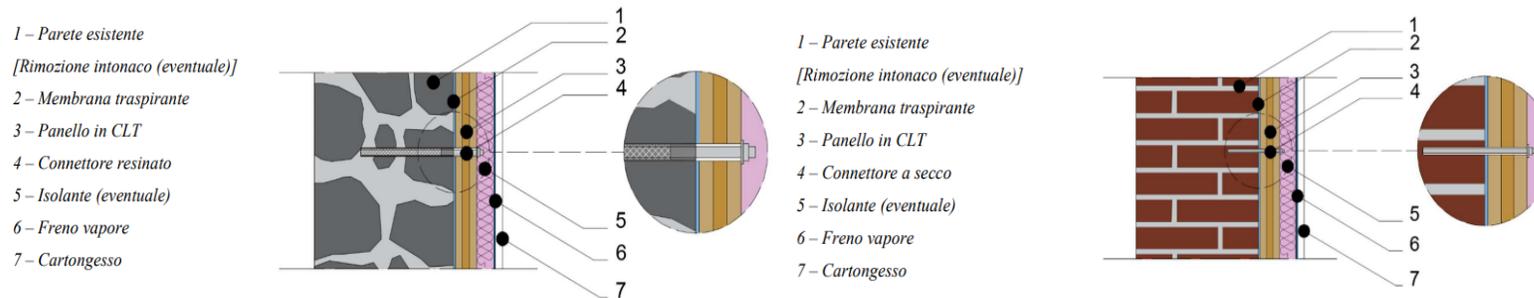
Tempo
4.5 mesi

Tecniche di miglioramento a base legno

Rinforzo dei solai interpiano (sx) e copertura (dx)



Rinforzo nel piano delle murature



Pietra

Mattoni

Rinforzo dei pannelli murari



Pannelli in CLT



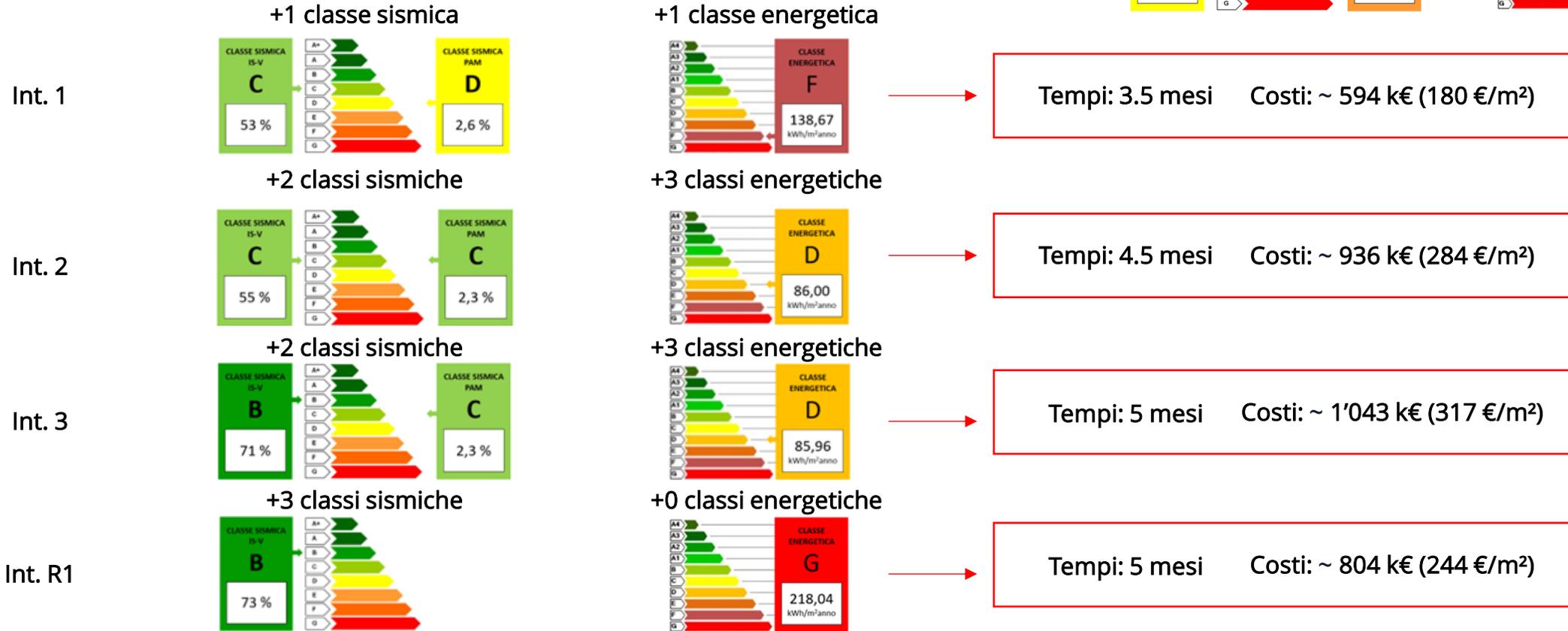
Sperimentazione



Confronto interventi

Classe sismica

Classe energetica



Caso studio: Isolamento alla base

Edificio residenziale



Università di Bergamo
A. Marini



Università di Napoli Federico II
G. Brandonisio

FABBRICATO AD USO RESIDENZIALE IN PROVINCIA DI BERGAMO

Epoca di costruzione 1950

Nr. piani 3 fuori terra

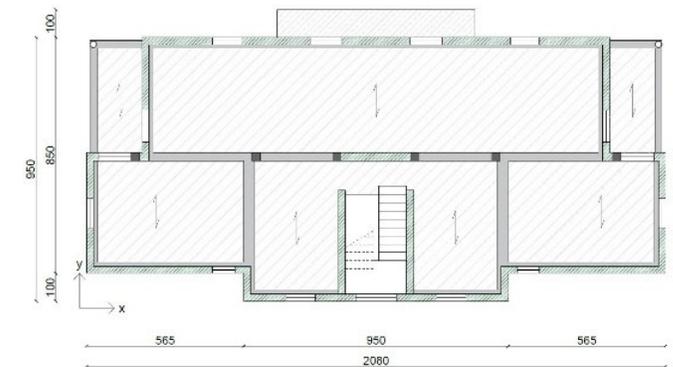
Area in pianta 179 m²

Zona sismica 2

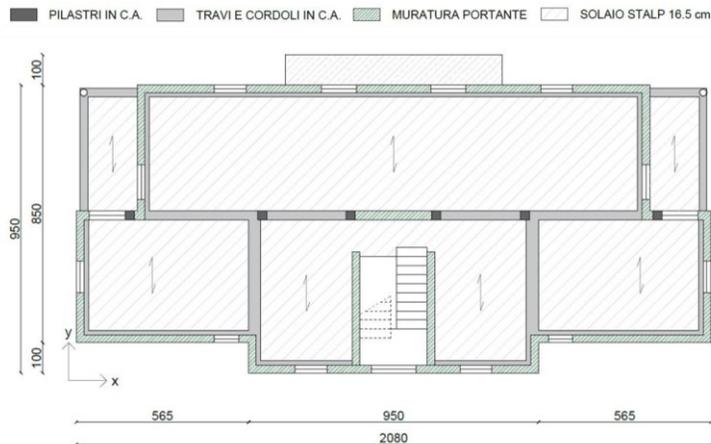
$a_{g,SLV}$ 0.158 g

Zona climatica E

Gradi giorno 2473



Caratteristiche strutturali del fabbricato



Struttura mista con pareti perimetrali in muratura e telaio di spina in c.a.



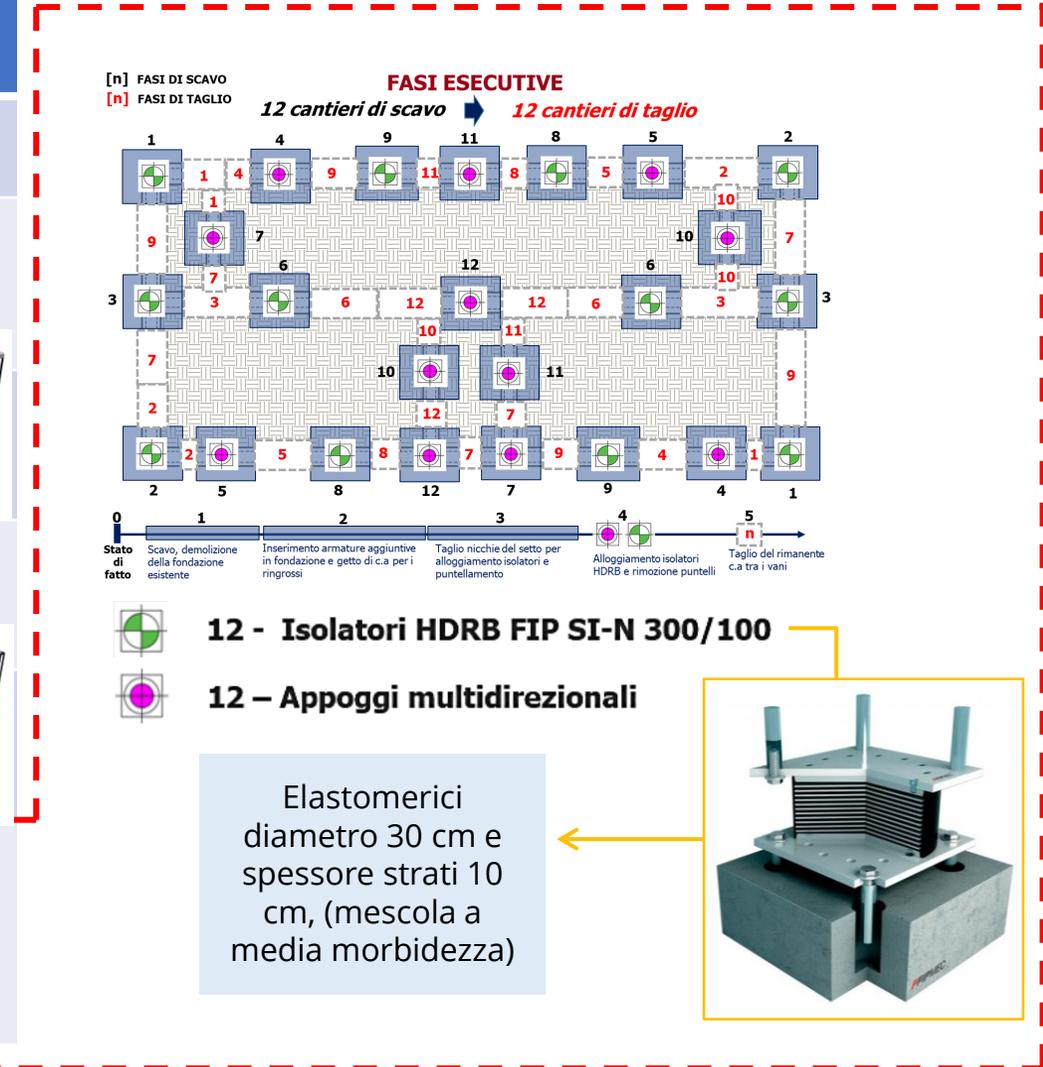
Pareti perimetrali in muratura di mattoni forati (fori disposti in orizzontale) e telaio di spina in c.a pilastri 30x30, travi 30x40



Solaio laterocemento altezza 16.5 con travetti prefabbricati tipo «STALP»

INTERVENTI PROPOSTI (continua)

	Intervento sismico	Intervento energetico
Int. 1	Esoscheletro composto da pareti sismo-resistenti di <u>diversa tipologia</u>	<ul style="list-style-type: none"> Isolamento involucro con pannelli in poliuretano 14 cm Sostituzione serramenti con nuovi ad alta efficienza
Int. 2	Esoscheletro composto da pareti sismo-resistenti <u>reticolari</u>	(come Int. 1)
Int. 3	Esoscheletro composto da pareti sismo-resistenti in <u>profili di acciaio</u> e pannello d'anima in lamiera	(come Int. 1)
Int. 4	Esoscheletro a guscio in <u>legno</u>	(come Int. 1)
Int. 5	Irrigidimento solai con controventi metallici e strisce discontinue in FRP. Adeguamento tramite isolatori sismici in fondazione (cantine)	(come Int. 1)



INTERVENTI PROPOSTI

Sismico

- Irrigidimento solai con controventi metallici e strisce discontinue in FRP
- Adeguamento tramite isolatori sismici in fondazione (cantine)

Energetico

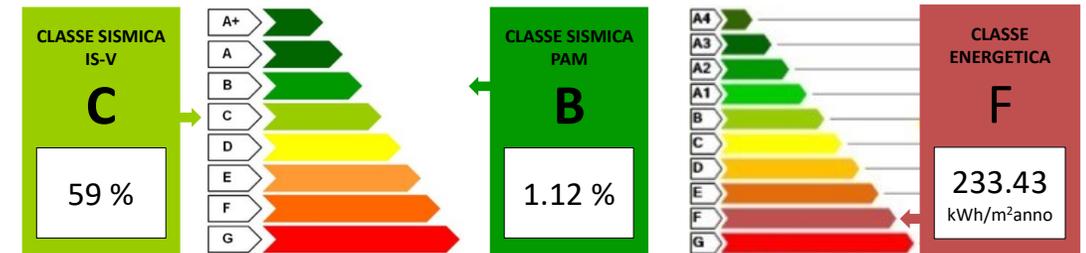
- Isolamento involucro con pannelli in poliuretano 14 cm
- Sostituzione serramenti con nuovi ad alta efficienza

METODO DI ANALISI

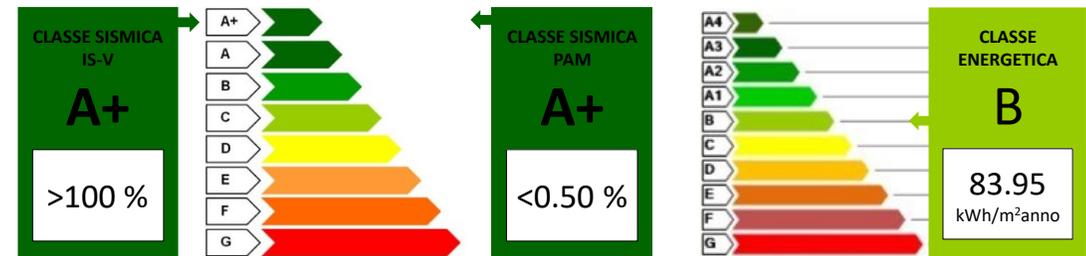
S) Statica non lineare (pushover)

E) Quasi stazionario

AS-BUILT



INTERVENTO



Costo
624'819 €
(1'165 €/m²)

Tempo
8 mesi

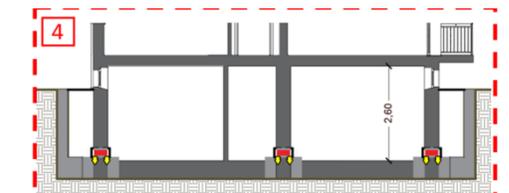
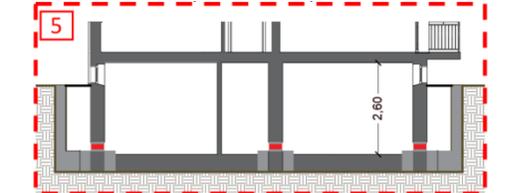
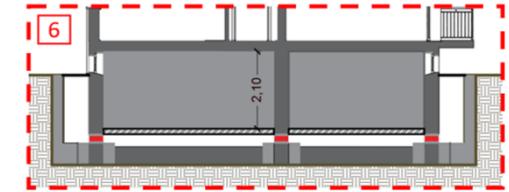
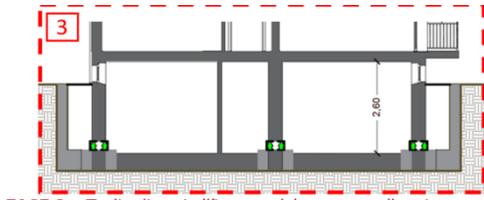
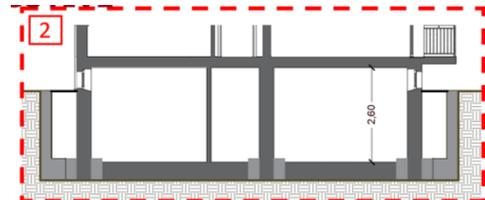
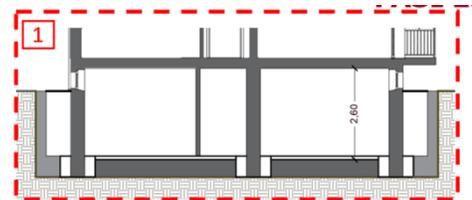
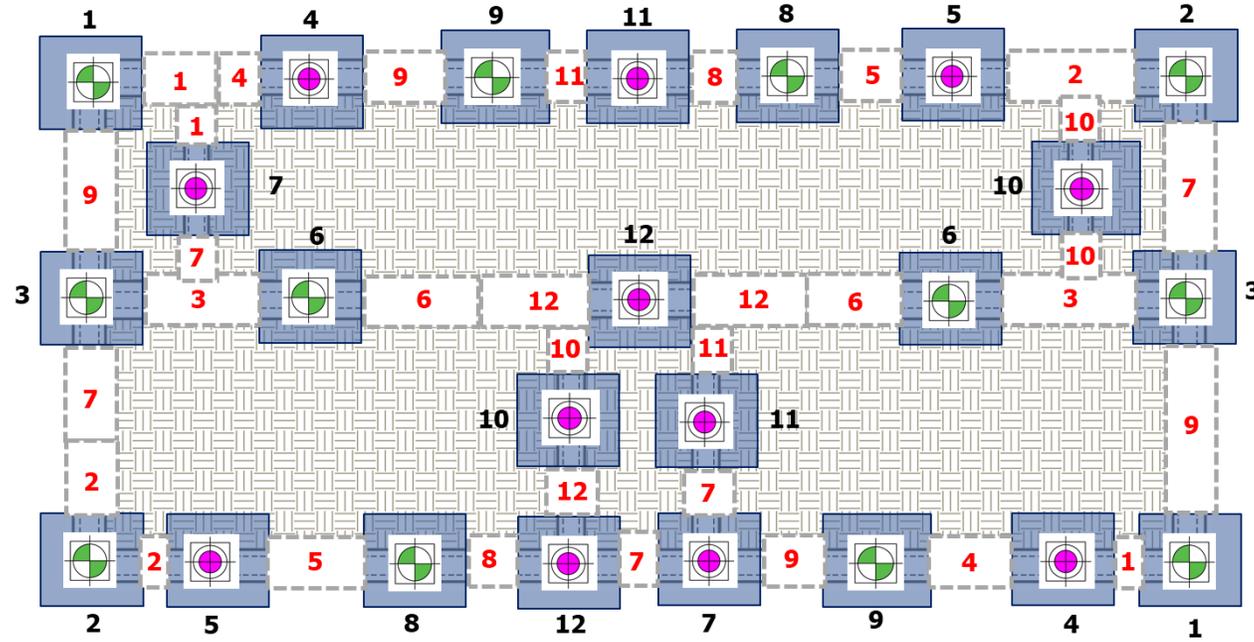
Caso studio: Isolamento alla base Edificio residenziale

Taglio pareti e inserimento isolatori

[n] FASI DI SCAVO
[n] FASI DI TAGLIO

FASI ESECUTIVE

12 cantieri di scavo ➔ 12 cantieri di taglio



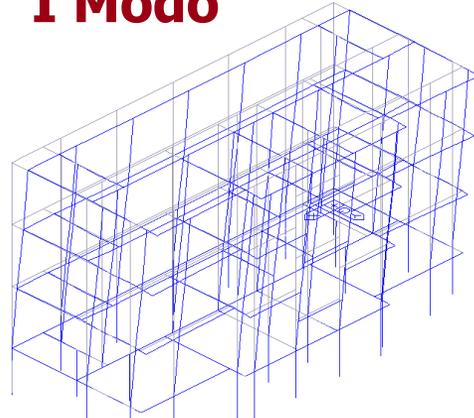
È possibile applicare l'isolamento alla base all'edificio perché:

- è isolato (nessun edificio in adiacenza)
- ha il piano seminterrato con pareti in c.a. (ok per taglio e inserimento isolatori)
- è a basso impatto (interventi solo nel piano seminterrato senza sgombrare gli occupanti delle unità abitative)

Caso studio: Isolamento alla base Edificio residenziale

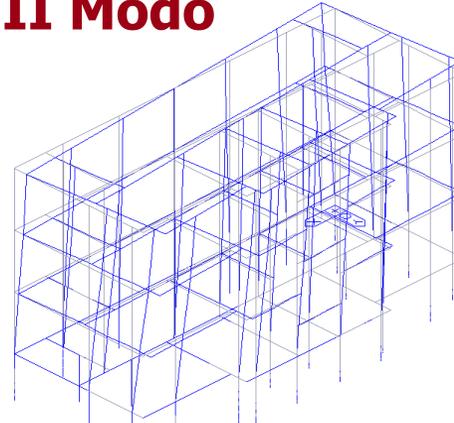
Edificio a base
fissa (BF)

I Modo



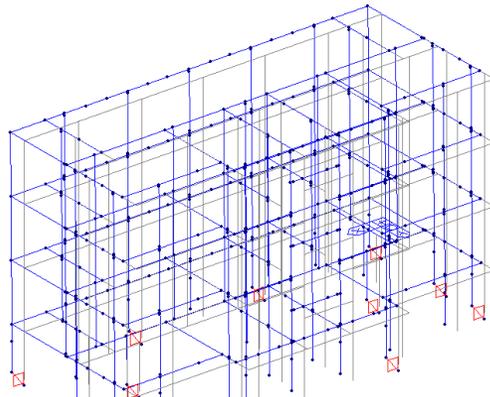
**$T=0,53s$; $M_x=0$;
 $M_y=60\%$; $M_z=0$**

II Modo

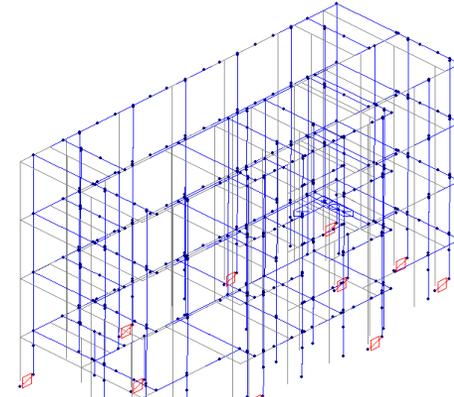


**$T=0,40s$; $M_x=16\%$;
 $M_y=0$; $M_z=45\%$**

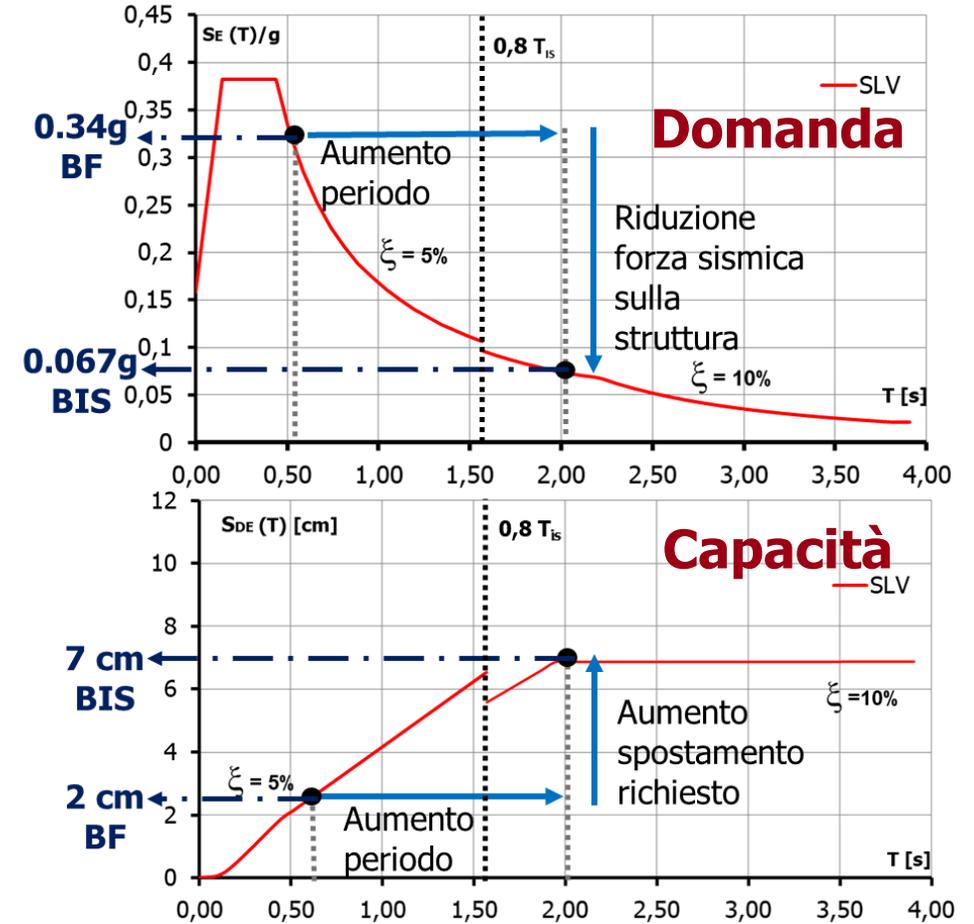
Edificio a base
isolata (BIS)



**$T=1,99s$; $M_x=0$;
 $M_y=99,8\%$; $M_z=0$**



**$T=1,96s$; $M_x=99,3\%$;
 $M_y=0$; $M_z=0$**



Confronto interventi

+3 classi sismiche



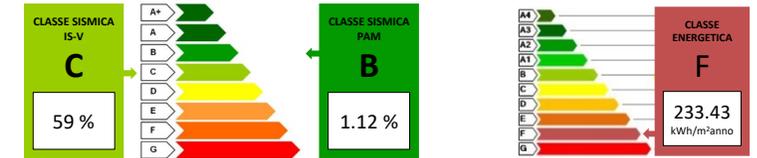
+4 classi energetiche



Classe sismica

Classe energetica

As built



NB. Tutti gli interventi proposti sono tali da consentire l'adeguamento della struttura (progettazione isoperformance)

Int. 1

Tempi: 6 mesi Costi: ~ 373 k€ (877 €/m²)

Int. 2

Tempi: 4.5 mesi Costi: ~ 287 k€ (675 €/m²)

Int. 3

Tempi: 4 mesi Costi: ~ 268 k€ (630 €/m²)

Int. 4

Tempi: 5 mesi Costi: ~ 304 k€ (715 €/m²)

Int. 5

Tempi: 8 mesi Costi: ~ 624 k€ (1'165 €/m²)

Conclusioni

Prof. Ing. Andrea Prota, Prof. Ing. Francesca da Porto

Take home messages

1



- Elevata vulnerabilità degli edifici esistenti in CA e muratura
- Tecniche di retrofit e metodi di valutazione consolidati

2



- Basso tasso di edifici su cui si effettua retrofit sismico
- Possibilità di integrare retrofit sismico ed energetico

3



- Necessità di un sistema regolatorio che prediliga interventi preventivi a quelli ricostruttivi post-evento

4



- La ricerca fornisce soluzioni, a livello tecnico e di policy, per interventi su singolo edificio e per la gestione di stock di fabbricati, in campo nazionale e internazionale



Rete dei Laboratori Universitari
di Ingegneria Sismica e Strutturale



6 / 13
OTTOBRE
2024

#settimanadiPC

SCUOLA DI INGEGNERIA STRUTTURALE – RELUIS

Bologna, 9-11 ottobre 2024

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Prof. Ing. Andrea Prota, Prof. Ing. Francesca da Porto