



X EDIZIONE SEISMIC ACADEMY

Think smart,
build safe

13 giugno 2023



Prestazioni sismiche ed energetiche di
edifici esistenti e storici in muratura:
problematiche e possibilità

Prof. Ing. Francesca da Porto

Alcuni aspetti specifici dell'edificio in muratura

ASPETTI STRUTTURALI

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



ASPETTI ENERGETICI

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

ASPETTI FORMALI

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

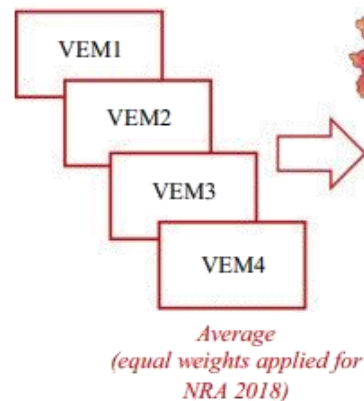


Aspetti sismici: perdite legate ad edifici in muratura

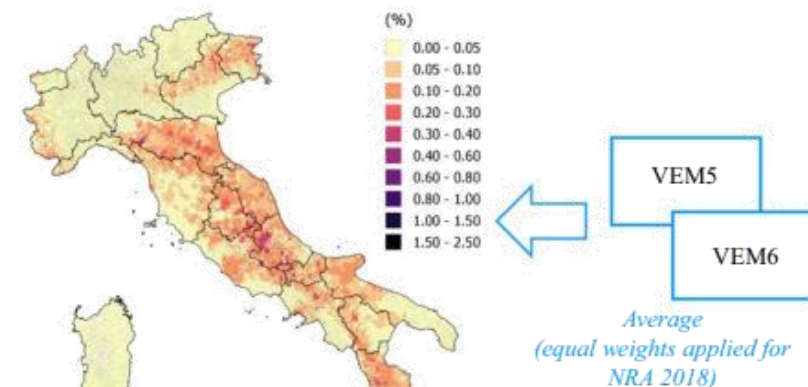
STIMA PERDITE ECONOMICHE [MLD€]

MURATURA	MIN	MAX
Costi (1 y)	1,9	3,0
Costi (50 y)	73,8	113,6

Fonte: Donà e da Porto, 2021



Average results for RC building stock



Fonte: Dolce et al., 2021

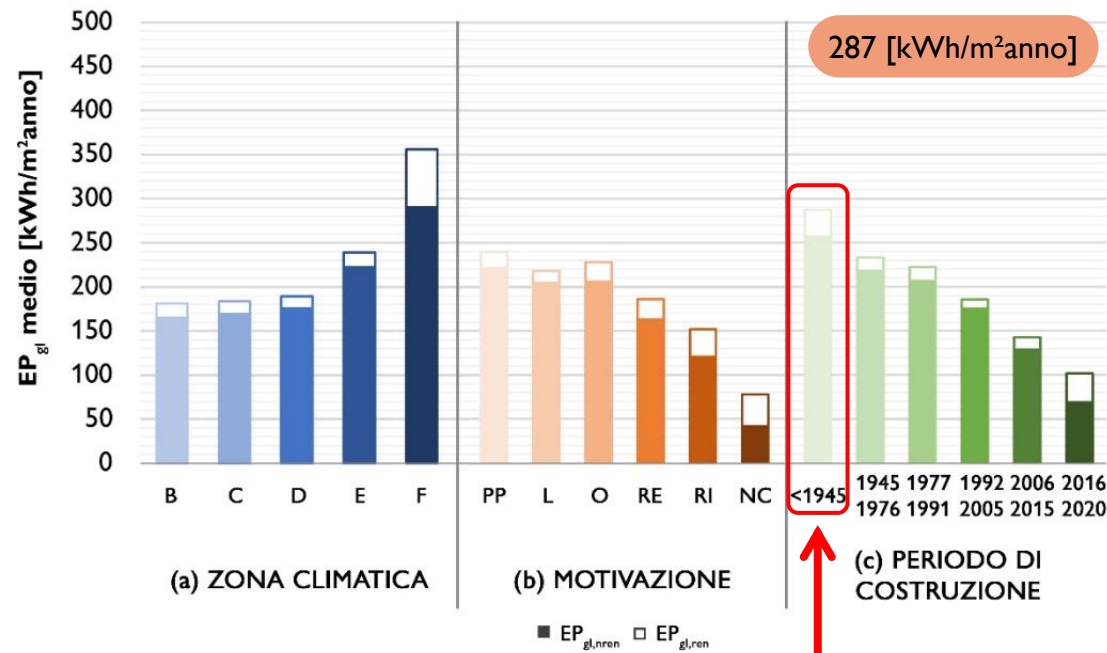
Percentuale media di edifici inagibili in ogni comune (rischio incondizionato ad 1 anno)

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

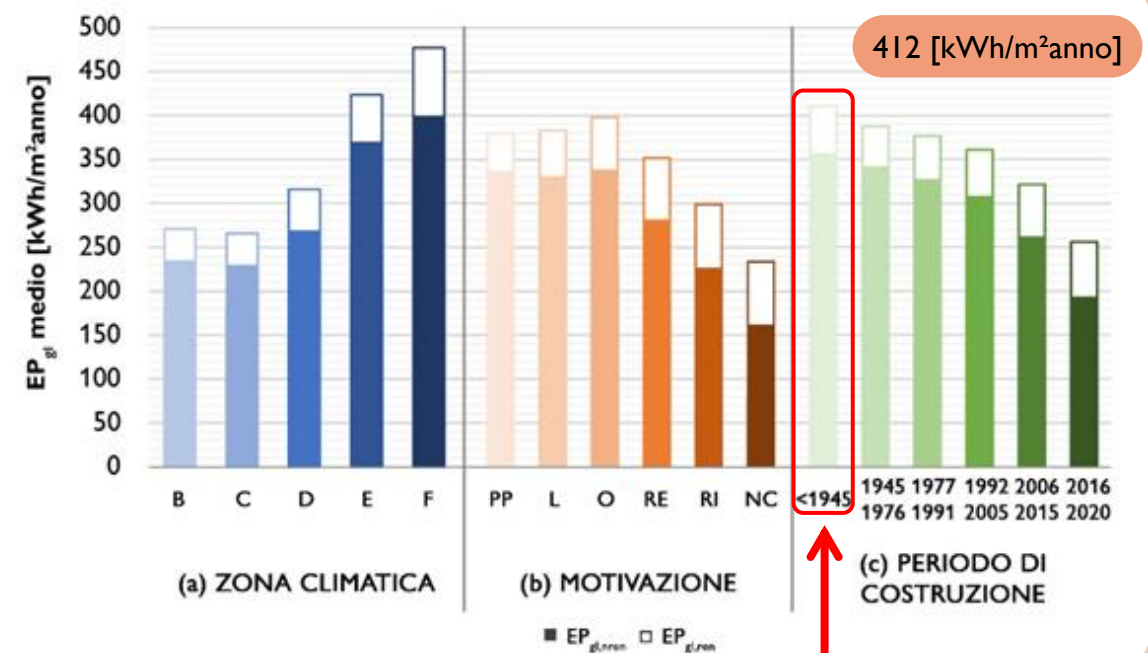
Aspetti energetici: consumi energia primaria



Consumi energia primaria globale – RESIDENZIALE



Consumi energia primaria globale – NON RES.

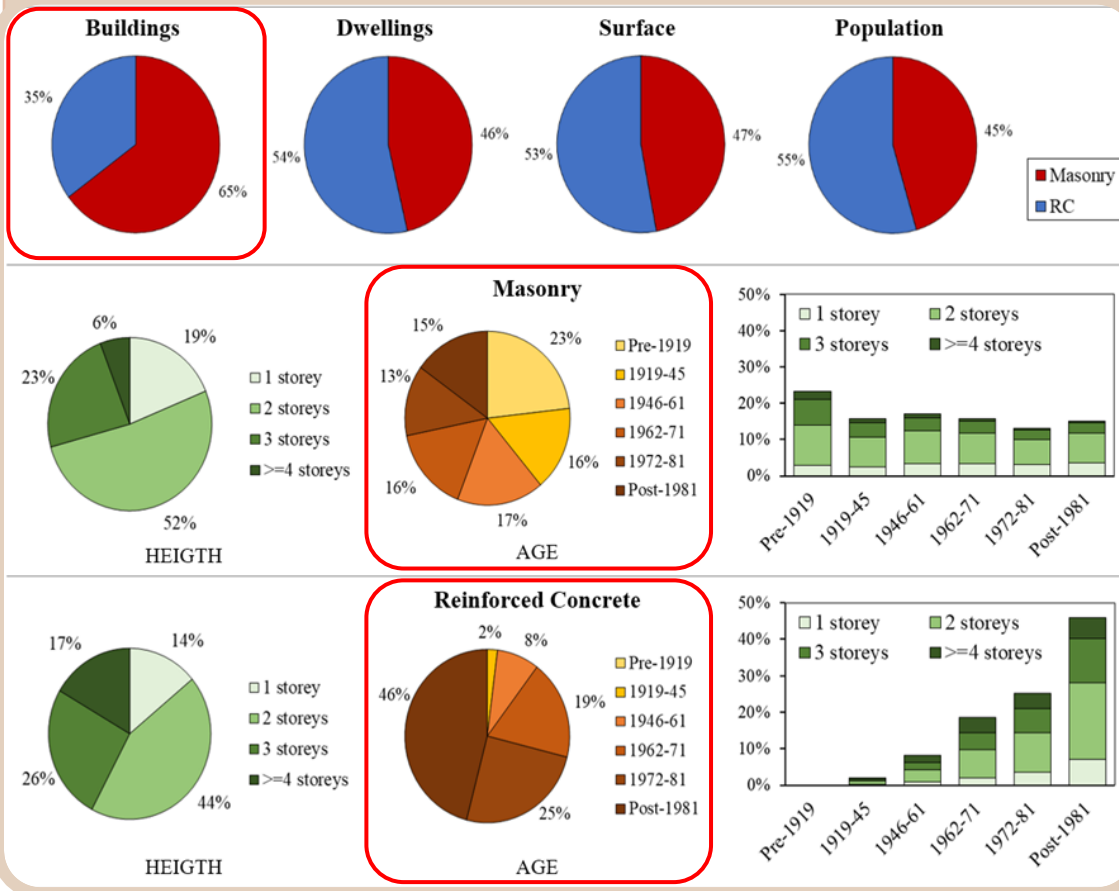


Fonte: Agenzia Nazionale Efficienza Energetica - ENEA (2021) "Report annuale sulla certificazione energetica degli edifici"

Perché l'edificio in muratura?



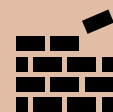
DISTRIBUZIONE EDILIZIA RESIDENZIALE (ISTAT)



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

Barriere all'implementazione degli interventi

ORGANIZZATIVE



Landlord-tenant dilemma



Edifici multi-familiari

ECONOMICHE



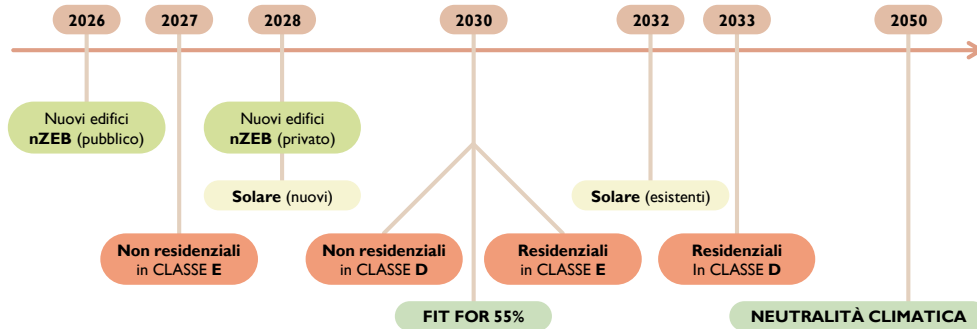
CULTURALI



Sistema regolatorio

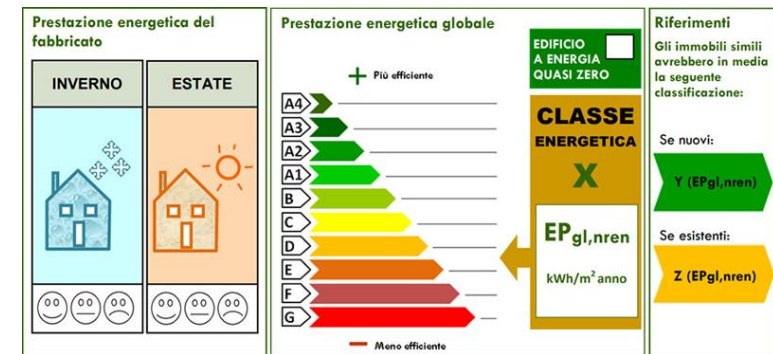
**MARZO
2023**

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



Effetti del sistema



©  www.reluis.it



Agosto 2016 Terremoto Centro Italia

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



Agosto 2016 Terremoto Centro Italia

ENEA Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

AGENZIA NAZIONALE EFFICIENZA ENERGETICA **ENEA**

 **MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA**

Super Ecobonus 110%

31 maggio 2023

		Dato Nazionale		
		% lavori realizzati	% edifici	% Invest.
N. di edifici		411.871		
Totale investimenti(*)		78.353.945.998,78 €		
Totale investimenti ammessi a detrazione		77.057.998.817,16 €		
Totale investimenti per lavori conclusi ammessi a detrazione		62.300.966.991,84 €	80,8%	
Detrazioni maturate per i lavori conclusi		68.107.435.558,42 €	Onere a carico dello Stato	
Condomini				
N. di edifici condominiali		64.038	15,5%	
Totale investimenti(*)		39.686.358.792,76 €		
Tot. Inv. Condominiali ammessi a detrazione		39.398.240.506,45 €		51,1%
Tot. Lavori Condominiali realizzati ammessi a detrazione		28.549.667.183,56 €	72,5%	
Edifici unifamiliari				
N. di edifici unifamiliari		233.722	56,7%	
Totale investimenti(*)		27.429.188.917,24 €		
Tot. Inv. in edifici unifamiliari ammessi a detrazione		26.653.860.004,22 €		34,6%
Tot. Lavori in edifici unifam. realizzati ammessi a detrazione		23.669.842.876,00 €	88,8%	
U.I. funzionalmente indipendenti				
N. di unità immobiliari funzionalmente indipendenti		114.105	27,7%	
Totale investimenti(*)		11.236.708.771,70 €		
Tot. Inv. in unità immob. indipend. ammessi a detrazione		11.005.058.774,32 €		14,3%
Tot. Lavori in unità immob. indipend. realizzati		10.080.731.907,12 €	91,6%	
Castelli				
N. di castelli		6	0,0%	
Totale investimenti(*)		1.689.517,08 €		
Tot. Inv. in castelli ammessi a detrazione		839.532,17 €		0,0%
Tot. Lavori in castelli realizzati ammessi a detrazione		725.025,16 €	86,4%	
		Investimento medio(*)		
Condomini		619.731,39 €		
Edifici unifamiliari		117.358,18 €		
U.I. funzionalmente indipendenti		98.476,92 €		
Castelli		281.586,18 €		

(*) Investimento compreso le somme non ammesse a detrazione

Barriere tecniche

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



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



Aspetti del comportamento sismico: meccanismi 1° modo



Aspetti del comportamento sismico: catene e tiranti



Aspetti del comportamento sismico: qualità muraria



Illica, Accumoli 2016-17



Illica, Accumoli 2016-17



ABRUZZO



EMILIA

Aspetti del comportamento sismico: interventi locali

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»

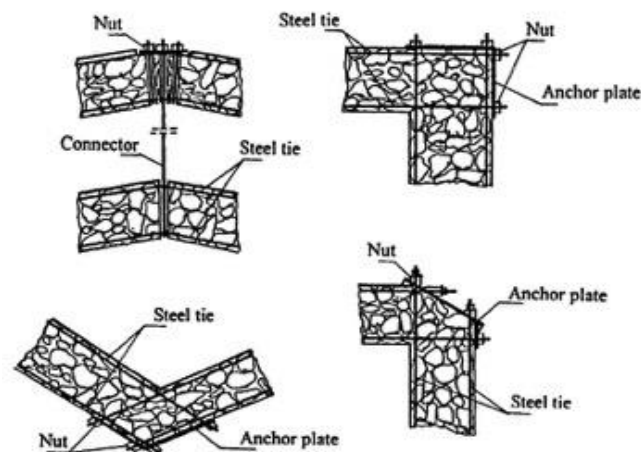
Meccanismi globali o di 2° modo



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

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

Tecniche di intervento sismico: collegamenti



Fonte: M. Tomazevic, 1999

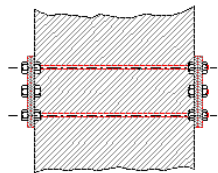
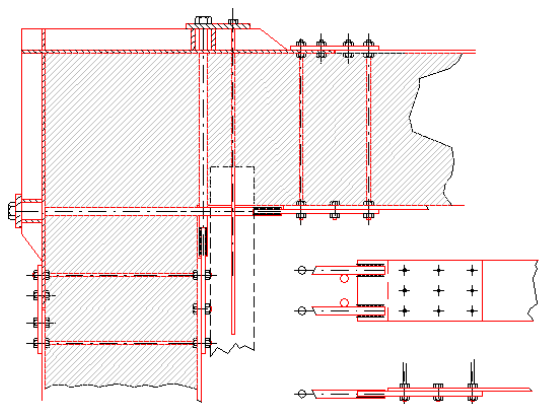


Scuola Monteforte D'Alpone (VR)

Tecniche di intervento sismico: collegamenti



Cordolature in muratura armata e in acciaio



S. Stefano, Monselice (PD)



Cerchiature con funi metalliche

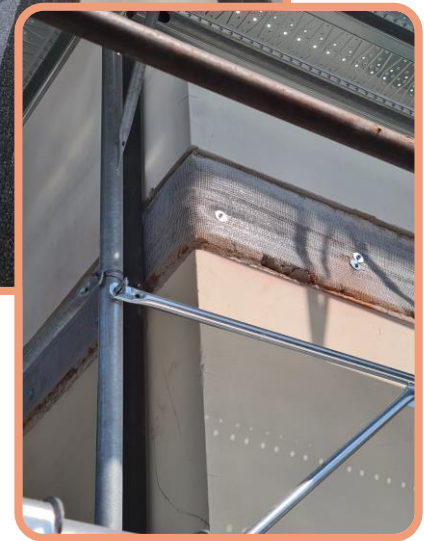
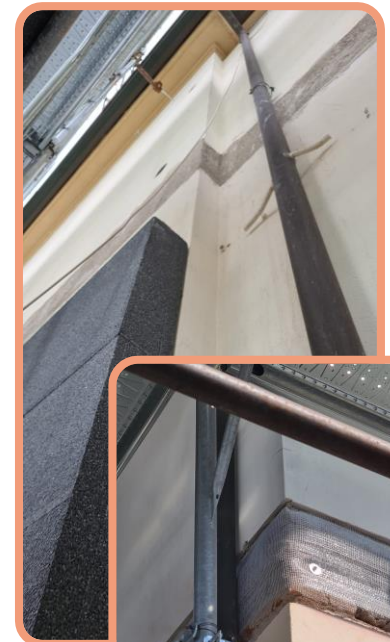


S. M. in Organo (VR)

Tecniche di intervento integrabili: collegamenti



Cerchiatura di edifici con materiali compositi innovativi



Palazzo Lui, Padova

Casa Olivi, Padova

Tecniche di intervento sismico: le murature



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



Condizione non rinforzata

0.25g



Tiranti trasversali

0.45g



Iniezione di miscele

0.60g



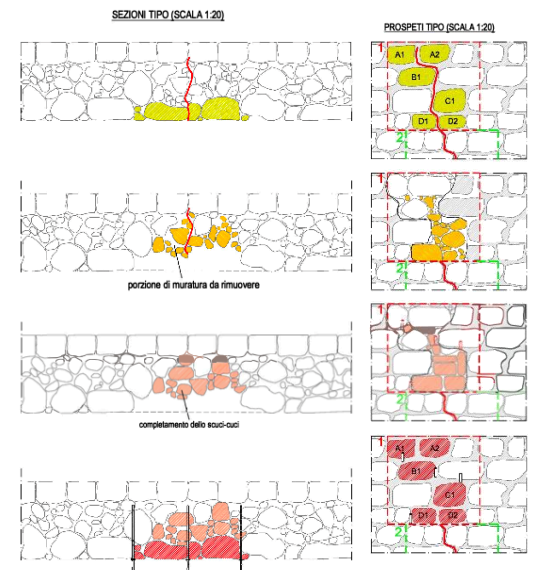
Rinforzo mediante iniezione e tiranti

0.75g - no collasso



Fonte: Giaretton e Valluzzi, 2017

Tecniche di intervento sismico: le murature



Scuola e palestra, Cologna Veneta (VR)



Tecniche di intervento integrabili: le murature

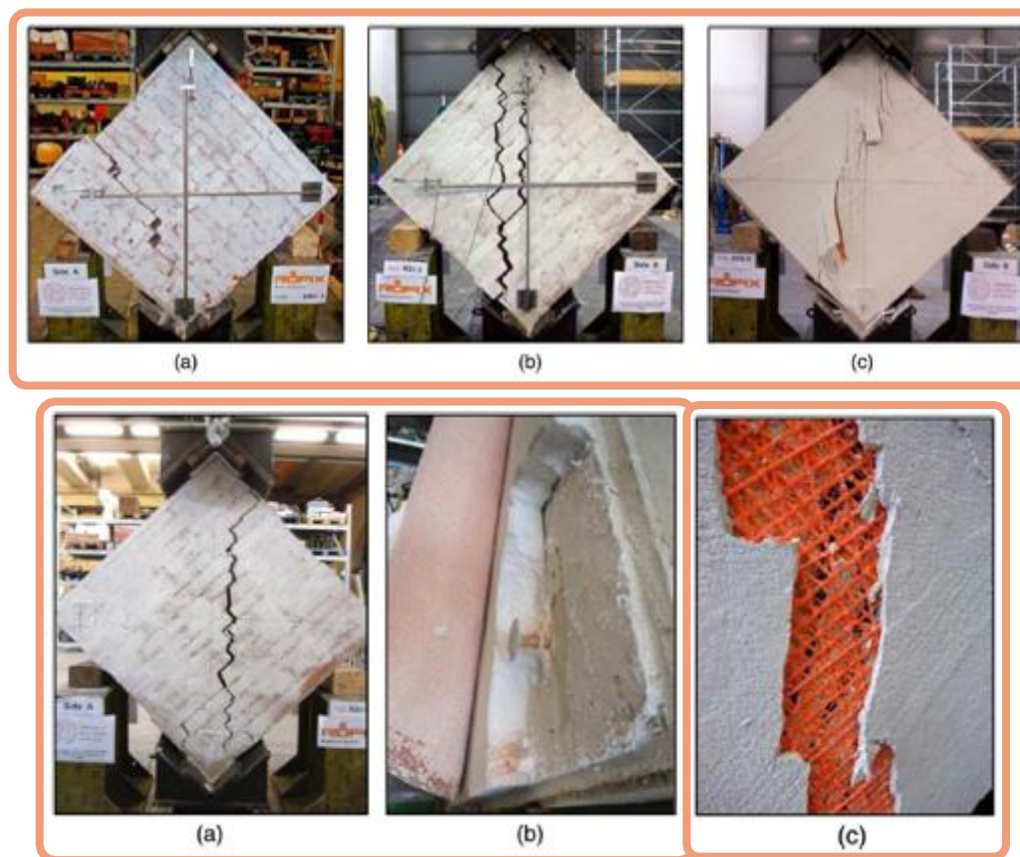
Sample type	Identifier	P_{max} (kN)	τ_{max} (MPa)	$\tau_{max}/\tau_{as-built}$
Two-leaf-thick solid clay-brick wall panels (11 samples)				
As-built ^a	UR2-1	121.2	0.32	—
	UR2-2	71.9	0.19	—
	UR2-3	104.6	0.28	—
	Average	99.2	0.26	—
Single-sided	R2s-1	181.1	0.48	—
	R2s-2	142.7	0.37	—
	R2s-3	125.6	0.33	—
	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

CNR-DT215-2018

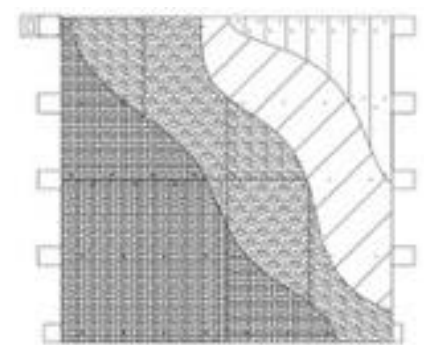
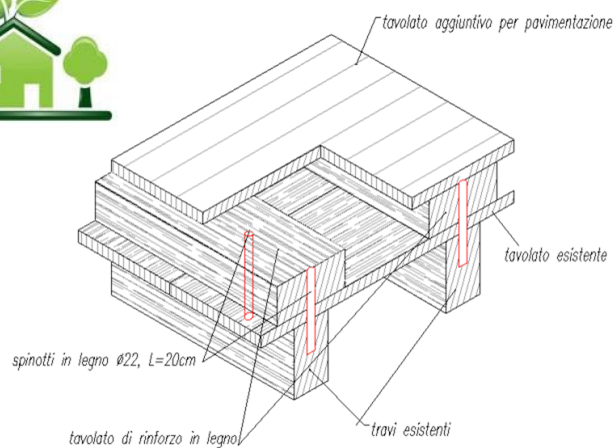
Istruzioni

per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo
di Interventi di Consolidamento Statico
mediante l'utilizzo di
Compositi Fibrorinforzati a Matrice Inorganica

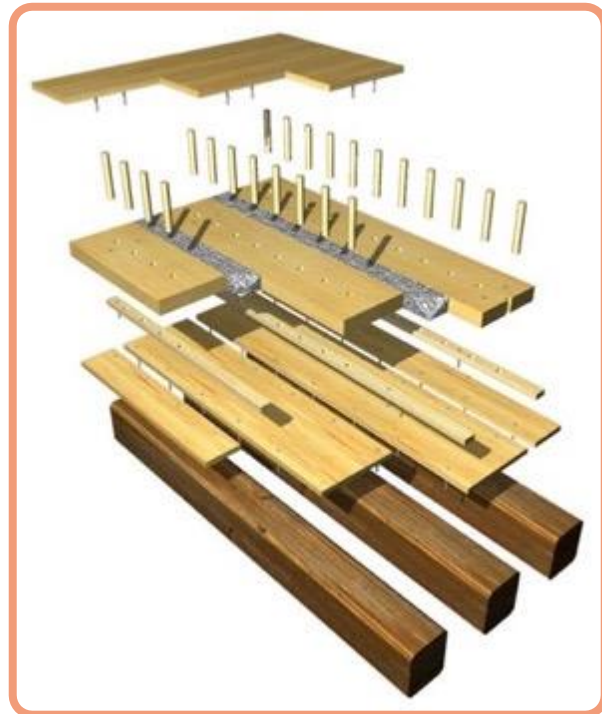
Intonaci di calce idraulica armati con reti in fibra di vetro e polipropilene ed eventuale cappotto isolante integrato



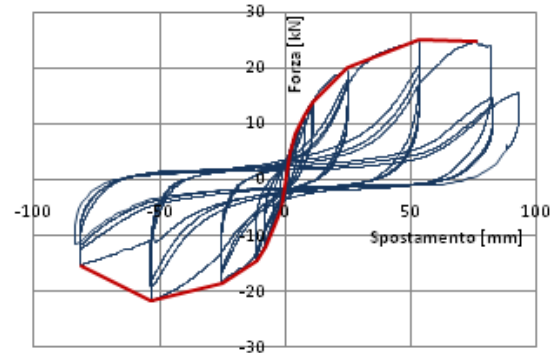
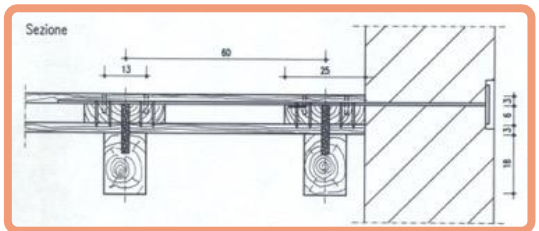
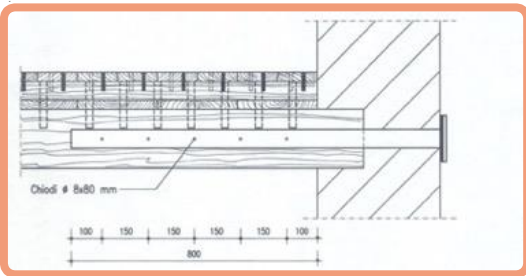
Tecniche di intervento integrabili: irrigidimento solai



+45°SP.LDF.OSB - Simple planking + Panel wood-wool + OSB panel



Fonte: Valluzzi et a., 2005



Consolidamento tavolato esistente, posa in opera dei tavoloni irrigidenti

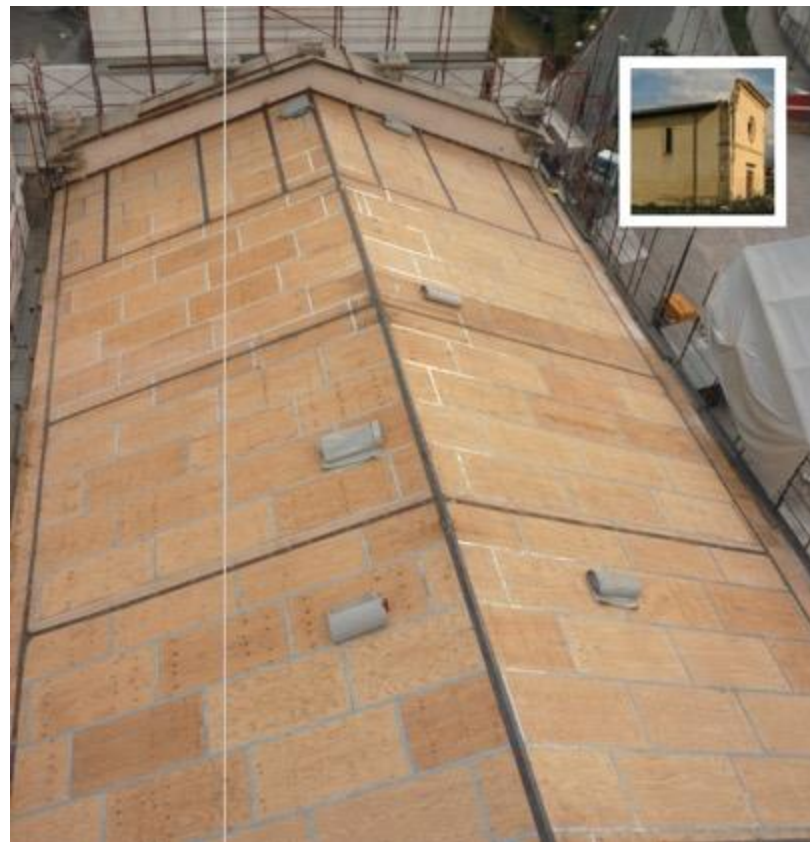
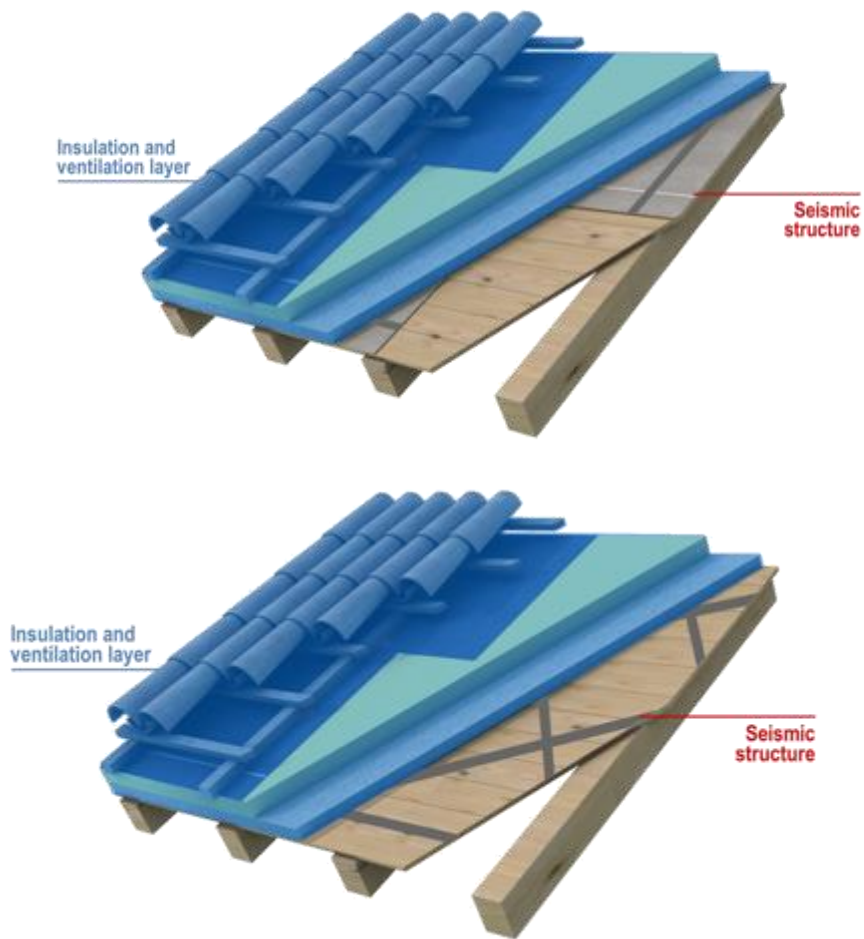


Conservazione intradosso



Collegamento impiantistica

Tecniche di intervento integrabili: irrigidimento coperture

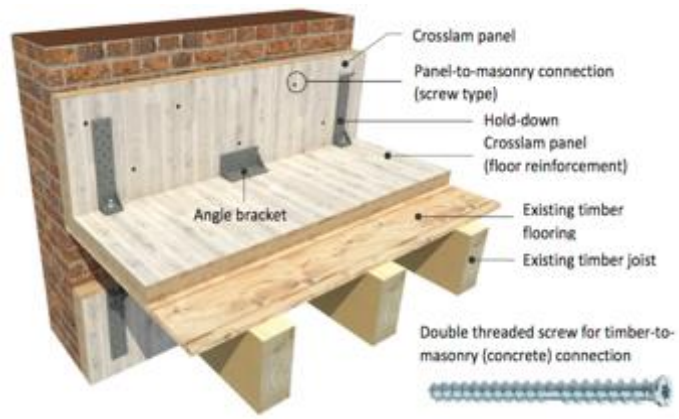
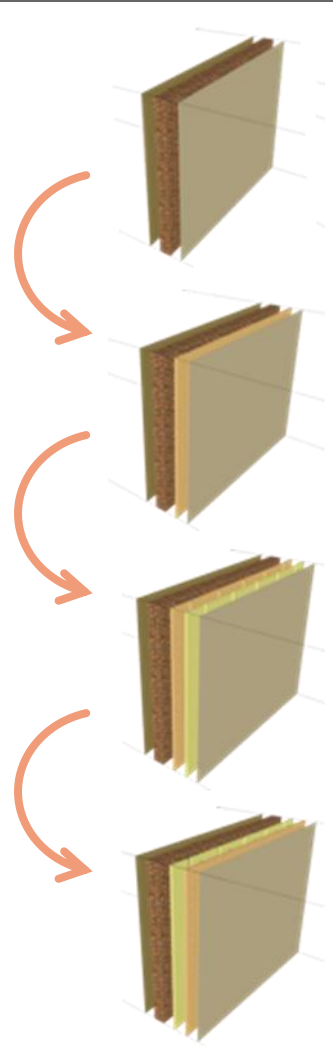


Fonte: Giuriani and Marini, 2008



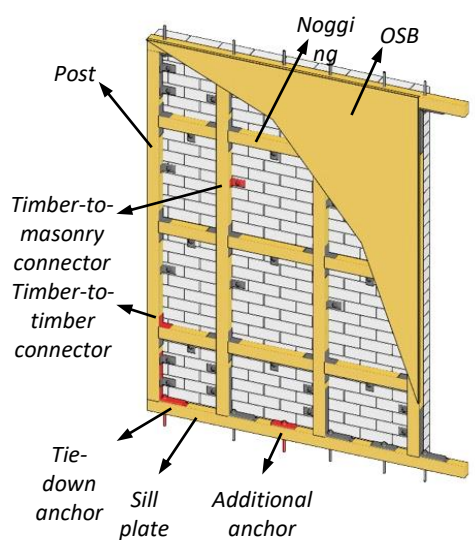
Fonte: Modena, 2010

Tecniche di intervento integrate con pannelli in legno



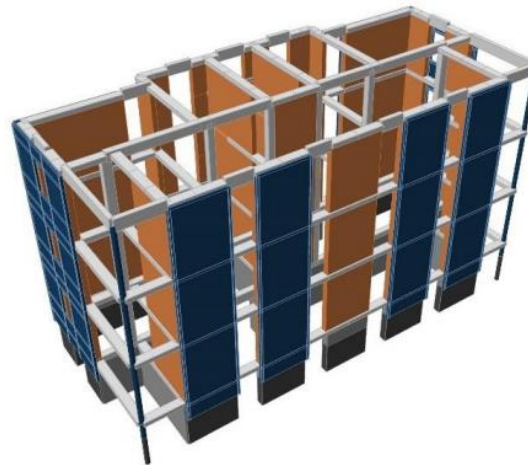
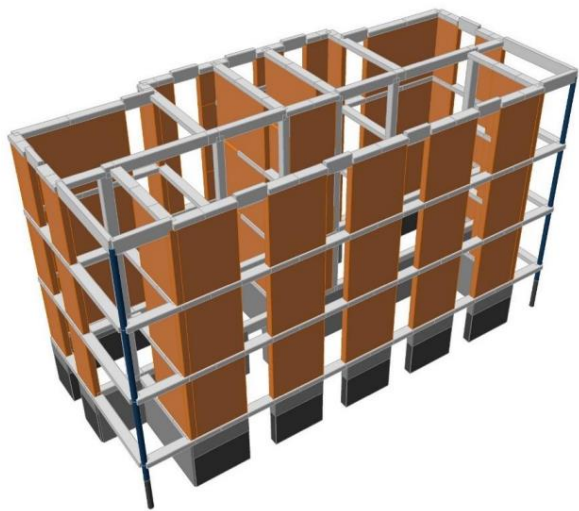
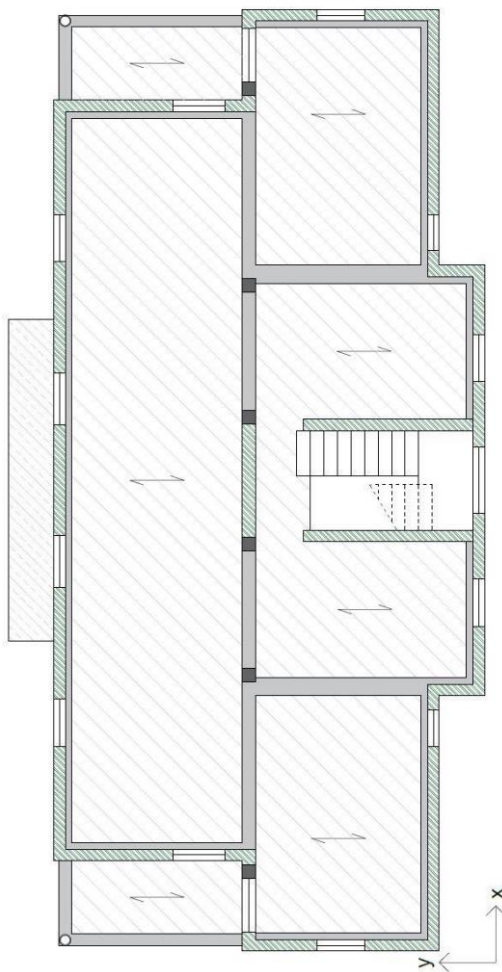
Fonte: Giongo e Piazza, 2022

Miglioramento sismico ed efficientamento energetico con pannelli CLT e OSB



Fonte: Guerrini e Graziotti, 2022

Tecniche di intervento integrate con esoscheletri



Fonte: Marini et al., 2021



Progetto Reluis WP5



Rilevanti
ACCIAIO



Produttivo
ACCIAIO



Rilevanti MUR



Residenziali CA



PROGETTO WP5

Coordinatori:
Prof. A. Prota
Prof. F. da Porto

40 UR



Residenziale
MUR



Scuole CA



Scuole MUR



Metodi di valutazione integrata delle prestazioni



INTERVENTI INCREMENTALI
Target prestazionali sism. / ener.

Livello 1

PARETI

Livello 2

ORIZZONTAMENTI

Livello 3

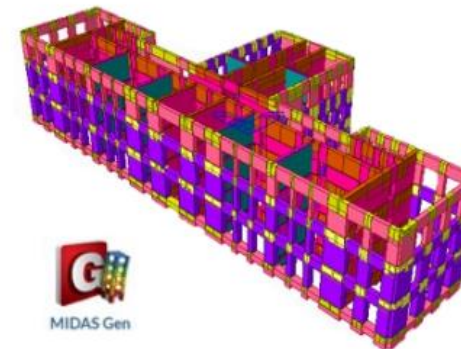
PARETI E ORIZZONTAMENTI

Livello 4

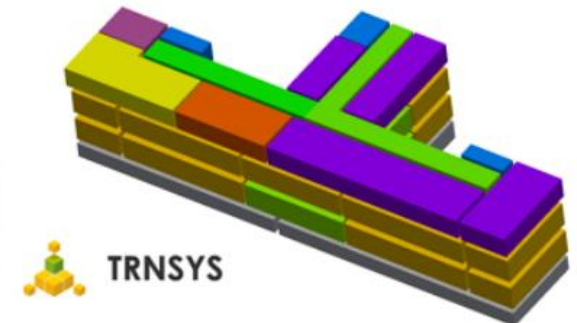
EDIFICIO NZEB



Ex tribunale di Fabriano (MC)



MIDAS Gen



TRNSYS

Metodi di valutazione integrata delle prestazioni



INTERVENTI INCREMENTALI
Target prestazionali sism. / ener.

Livello 1

Livello 2

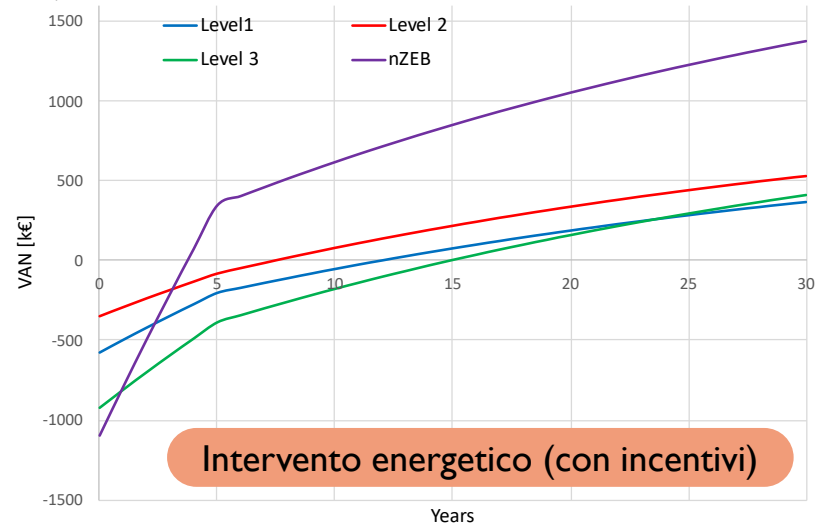
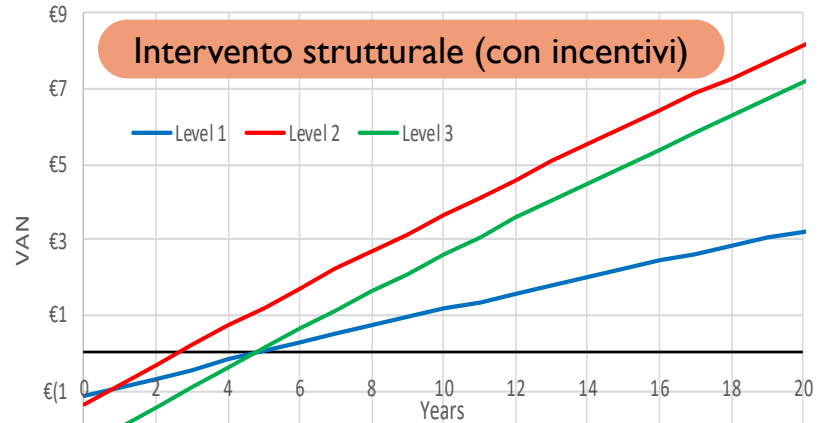
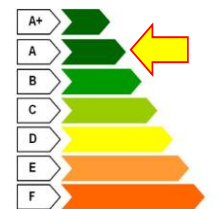
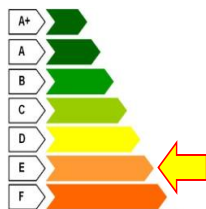
Livello 3

Livello 4

Upgrade energetico



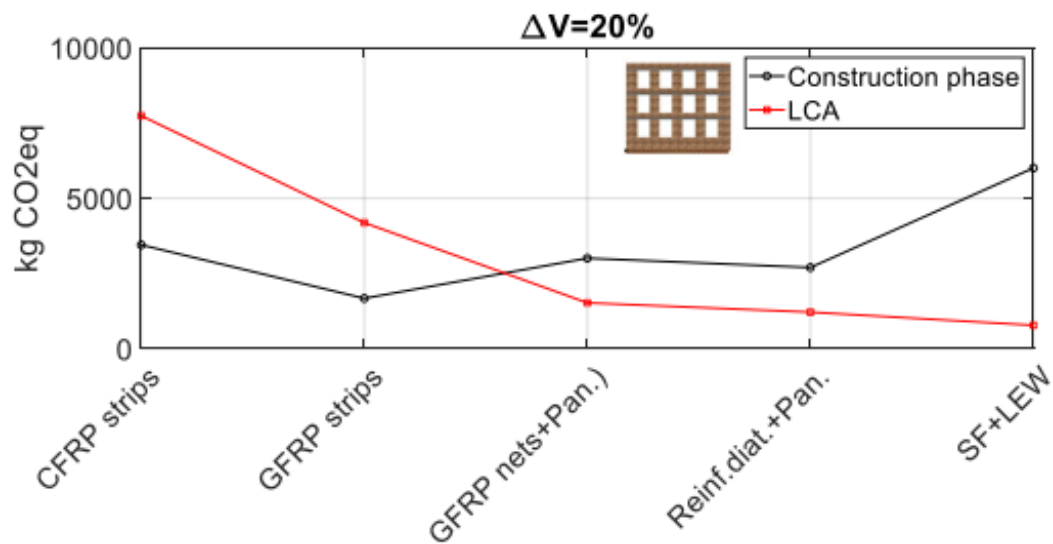
Upgrade sismico



Metodi di valutazione integrata delle prestazioni

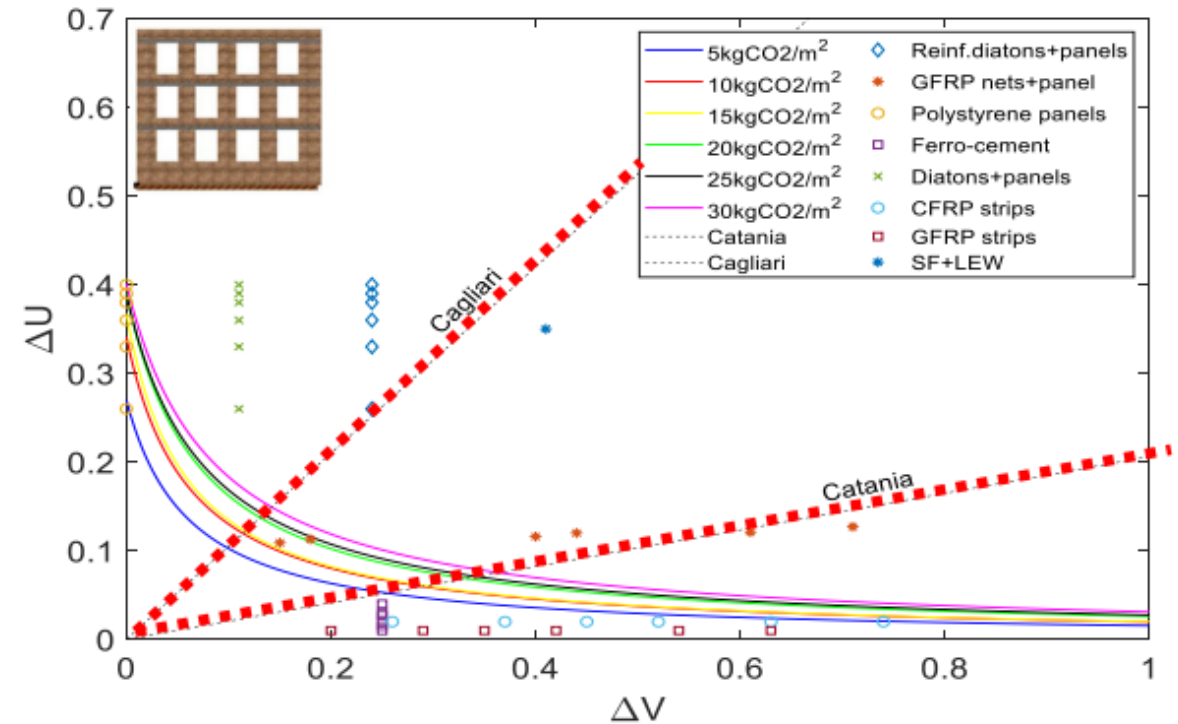


Definizione di curve ISO-COSTO e ISO-PERFORMANCE



ISO-PERFORMANCE

Fonte: Giresini et al. (2021)



ISO-COSTO

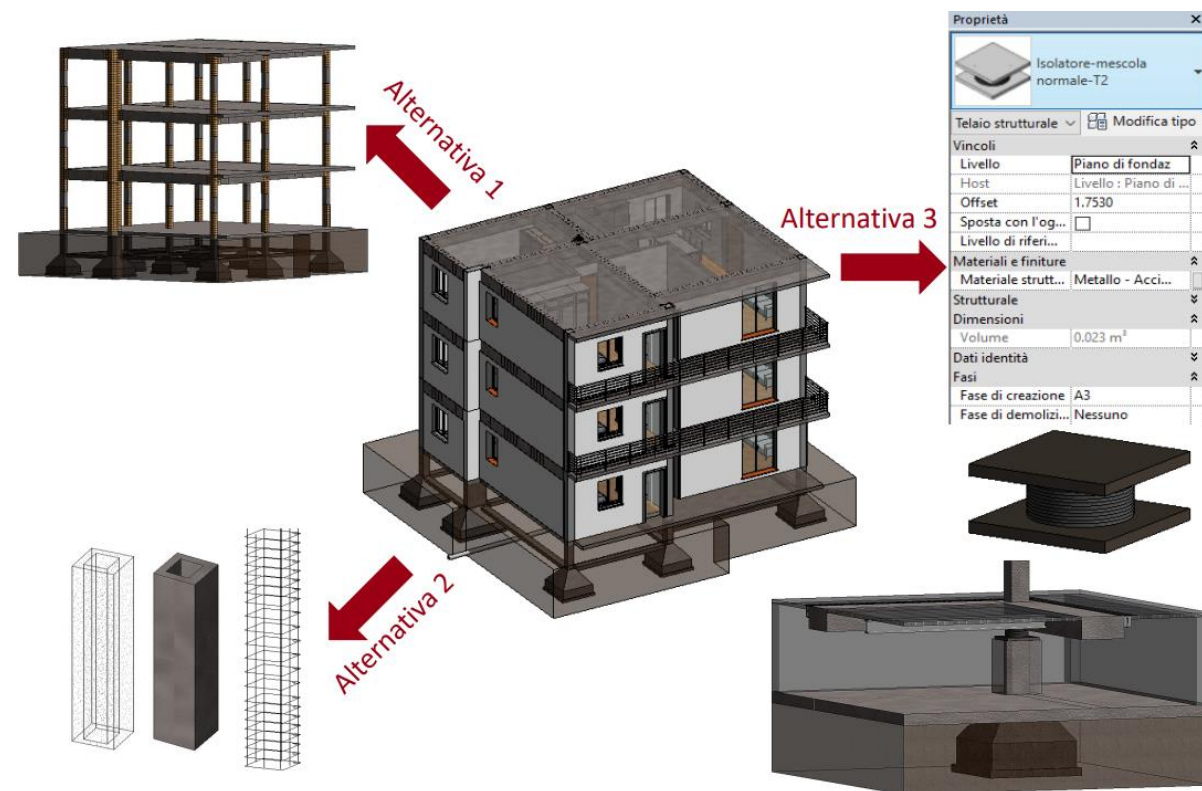
Metodi di valutazione integrata delle prestazioni



OTTIMIZZAZIONE DEI COSTI Optimal, multi-criterio

Definizione dei CRITERI

- C_1 – Costi di installazione
- C_2 – Costi di manutenzione
- C_3 – Durata dei lavori
- C_4 – Compatibilità architettonico/funzionale
- C_5 – Ammontare del rimborso fiscale
- C_6 – Numero di classi sismiche/energetiche
- C_7 – Perdite economiche e risparmi in bolletta

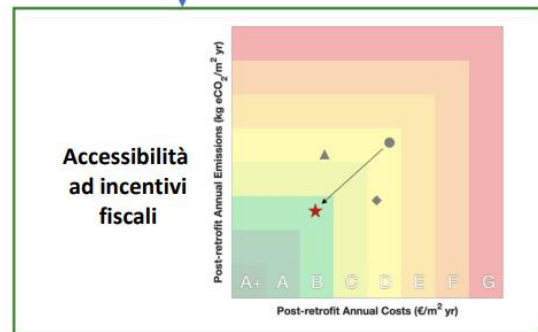
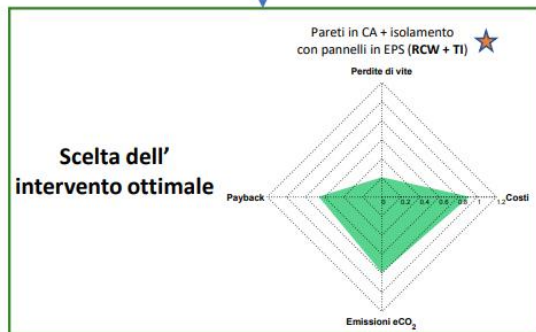
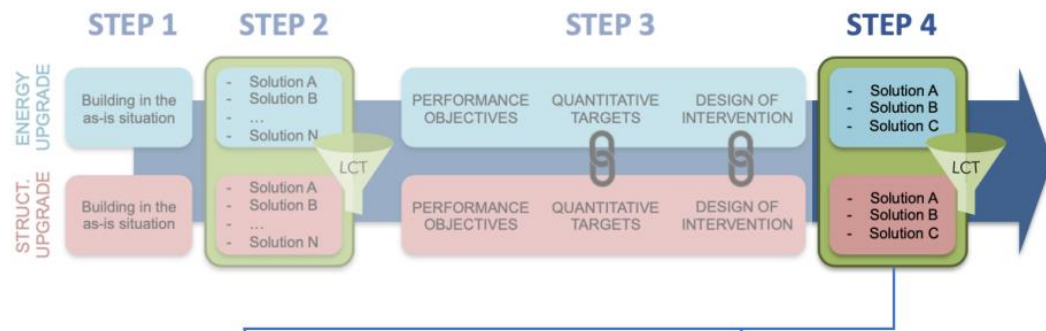


Fonte: Caterino et al. (2021)

Metodi di valutazione integrata delle prestazioni



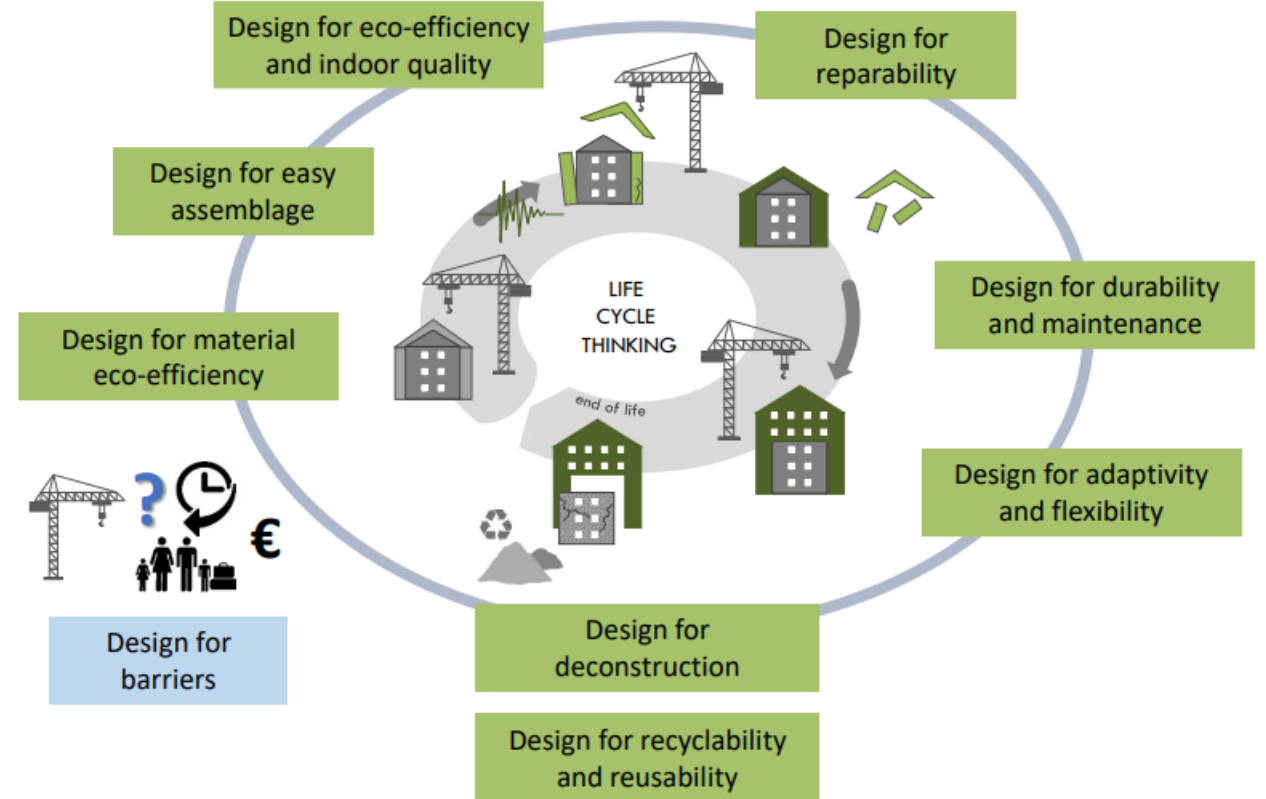
Metodi olistici e/o basati su LIFE CYCLE THINKING (LCT)



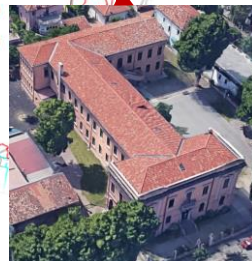
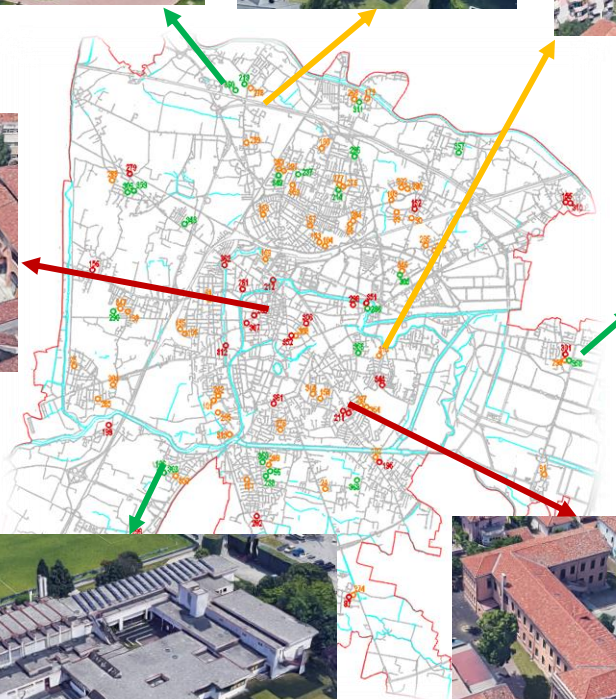
Fonte: Caruso et al. (2021)

LIFE CYCLE STRUCTURAL ENGINEERING

Fonte: Marini et al. (2022)



Valutazione a livello di stock



Comune di Padova



ANAGRAFICA E INFORMAZIONI GENERALI EDIFICI

	NAZIONALE	NORD	CENTRO	SUD	ISOLE
SICUREZZA E ANTISISMICA:					
Edifici zona sismica 1 progettati o adeguati alla normativa tecnica di costruzione antisismica	7,3%	4,5%	0,0%	20,8%	4,0%
Edifici zona sismica 2 progettati o adeguati alla normativa tecnica di costruzione antisismica	11,5%	15,4%	4,6%	7,4%	26,8%
Edifici in cui sono stati realizzati interventi di adeguamento sismico negli ultimi 5 anni	3,1%	2,4%	5,0%	4,4%	2,3%
Edifici in cui non è stata ancora effettuata la verifica di vulnerabilità sismica	63,8%	74,5%	33,3%	61,8%	67,0%

RISPARMIO ED EFFICIENZA ENERGETICA

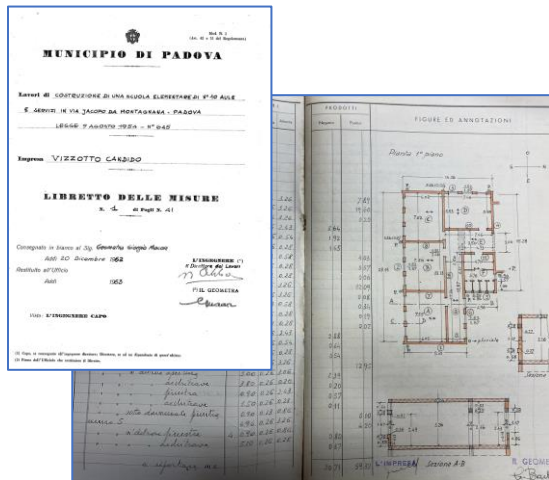
	NAZIONALE	NORD	CENTRO	SUD	ISOLE
EFFICIENTAMENTO ENERGETICO:					
Amministrazioni che hanno realizzato interventi di efficientamento energetico negli ultimi 5 anni	81,1%	94,1%	88,2%	61,5%	50,0%
Edifici in cui sono stati realizzati interventi per l'efficientamento energetico	17,1%	21,2%	12,7%	14,7%	5,8%

Fonte: Legambiente (2023) "XXII Rapporto nazionale sulla qualità degli edifici e dei servizi scolastici"

Valutazione a livello di stock



ISPEZIONE / CONOSCENZA



Processo di conoscenza



REPERIMENTO
DOCUMENTAZIONE DI
ARCHIVIO

RILIEVI GEOMETRICI,
STRUTTURALI E
FOTOGRAFICI IN SITO



Analisi

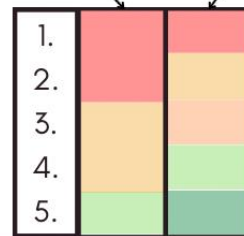


SCHEDA CARENZE
(METODO QUALITATIVO)

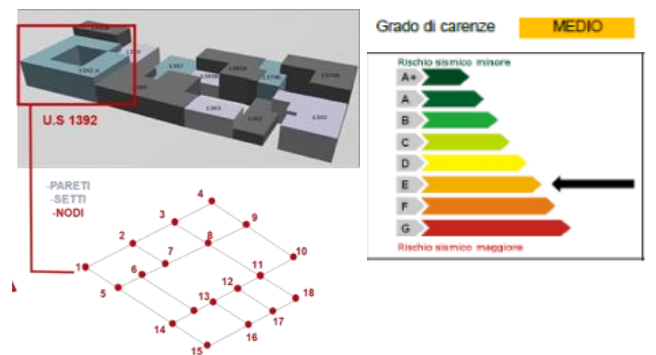
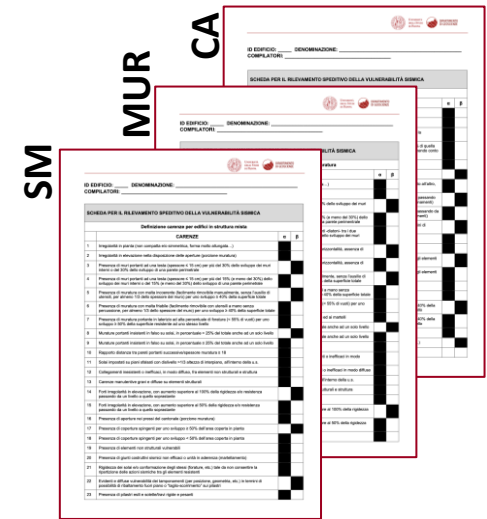
MODELLO MECCANICO
SEMPLIFICATO (METODO
QUANTITATIVO)



Lista di priorità



ANALISI SEMPLIFICATA



Fonte: Saler e da Porto (2023)

Valutazione a livello di stock



ISPEZIONE / CONOSCENZA



Università di Padova – Dipartimento di Geoscienze
Analisi di prestazione energetica su scala urbana per gli edifici scolastici del Comune di Padova
Convenzione fra il Comune di Padova e il Dipartimento di Geoscienze

SCHEDA PER IL RILIEVO SPEDITIVO DELLE CARATTERISTICHE ENERGETICHE DI EDIFICI AD USO SCOLASTICO DEL COMUNE DI PADOVA

1) ANAGRAFICA
Regione Veneto Provincia Padova Comune Padova
id 103 Ordine Primaria Denominazione Lambruschini
Indirizzo Via Montà, 58 Nr. Occupanti 250

2) GEOMETRIA

Unità	Anno	Materiale	Uso principale	Piani FT	H edificio [m]
u1	1966	CLS	Aula	2	6.80
u2	2012	CLS	Collegamento	1	3.10
u3	2012	CLS	Palestra	1	7.00
u4	2012	CLS	Collegamento	1	3.10

3) FOTO

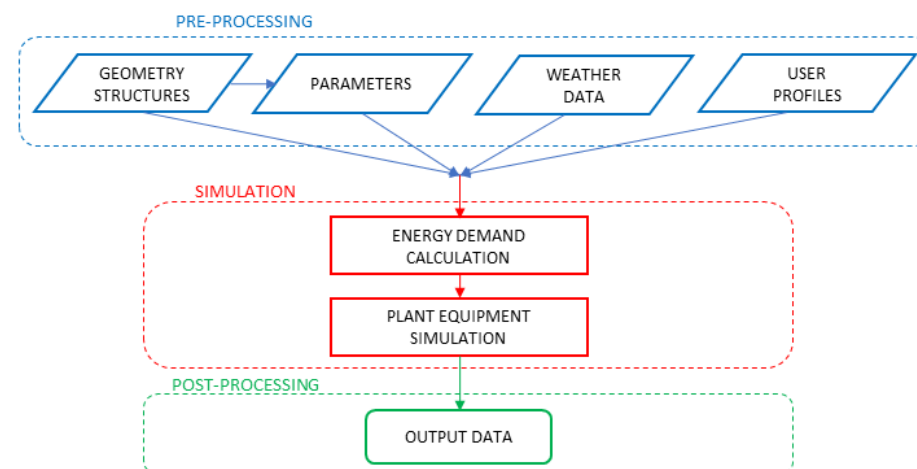
Vista 3D

Unità

Caldale scuola (sx) e palestra (dx)

Accumulo ACS palestra

ANALISI SEMPLIFICATA



Valutazione a livello di stock



Output analisi

- SISMICO → grado carenze; rapporto capacità/domanda
- ENERGETICO → consumi specifici; consumi assoluti; risparmio in bolletta
- COSTO dell'intervento
- DURATA dell'intervento
-

Scelta dei pesi (Saaty, 1977)

$$P = \begin{matrix} & a_1 & \cdots & a_m \\ a_1 & \left[\begin{array}{ccc} p_{(1,1)} & \cdots & p_{(1,m)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{(m,1)} & \cdots & p_{(m,m)} \end{array} \right] & & \end{matrix} p_{(i,i)} = 1$$

PRIORITIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI SULLO STOCK DI EDIFICI

Ordine e nome	Media A	Media B
Tipo di intervento	Infissi e cappotto	Cappotto
Riduzione uso gas	15'346 m ³ (61%)	11'324 m ³ (35%)
Riduzione uso elettricità	271 kWh (0,7%)	185 kWh (0,5%)
Riduzione uso energia primaria	161'310 kWh	118'991 kWh
Rid. en. primaria (single building)	46%	28%
Rid. en. primaria (stock related)	99%	73%
Risparmi in fattura (costo dell'energia)	11'815 €	8'714 €
Costo dell'investimento	558'471 €	207'367 €
Tempo di ritorno dell'investimento	47 anni	24 anni

Ordine e nome	Media C	Media D
Tipo di intervento	Caldaia	LED
Riduzione uso gas	4'075 m ³ (8%)	-
Riduzione uso elettricità	-	20'881 kWh (31%)
Riduzione uso energia primaria	42'654 kWh	50'532 kWh
Rid. en. primaria (single building)	7%	8%
Rid. en. primaria (stock related)	26%	31%
Risparmi in fattura (costo dell'energia)	3'166 €	6'158 €
Costo dell'investimento	29'282 €	98'605 €
Tempo di ritorno dell'investimento	9 anni	16 anni

Age	N. of storeys	Deficiency level	I _s	Seismic class
1976-1986	2	HIGH	6.7%	F
1961-1975	2	HIGH	7.8%	F
1961-1975	2	HIGH	9.2%	F
1961-1975	2	HIGH	10.6%	F
1961-1975	2	HIGH	12.9%	F
1961-1975	1	HIGH	12.9%	F
1961-1975	2	HIGH	12.9%	F
1987-1995	2	HIGH	13.4%	F
1976-1986	2	HIGH	13.6%	F
1976-1986	3	HIGH	14.8%	F
1976-1986	2	HIGH	15.2%	E
1961-1975	2	HIGH	15.9%	E
1961-1975	3	HIGH	18.8%	E
1976-1986	2	HIGH	22.0%	E
1961-1975	2	HIGH	28.2%	E
1976-1986	1	MEDIUM	24.1%	E
1961-1975	1	MEDIUM	37.2%	D
2003-2007	3	MEDIUM	69.8%	B
1976-1986	1	MEDIUM	83.6%	A
2003-2007	2	LOW	30.2%	D
Post 2008	2	LOW	52.4%	C
Post 2008	1	LOW	96.3%	A
Post 2008	2	LOW	99.2%	A
Post 2008	1	LOW	101.1%	A+
2003-2007	1	LOW	114.1%	A+

Integrated techniques for the seismic and energy retrofit of buildings - Project



Azione 1 Panoramica delle tecnologie per il retrofit combinato

Azione 2 Analisi delle tecnologie per il miglioramento combinato

Azione 3 Metodologie per la valutazione dell'effetto combinato

Azione 4 Valutazione di impatto sulle regioni europee

Azione 5 Impegno da parte degli stakeholder



JRC CONFERENCE AND WORKSHOP REPORT

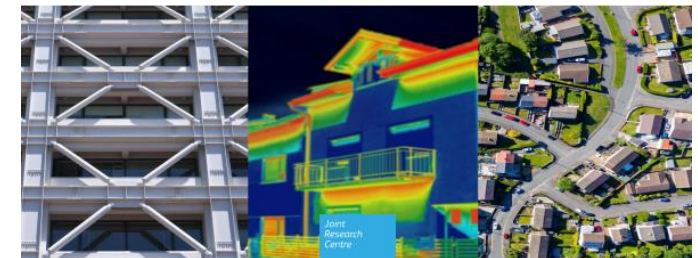
Integrated techniques for the seismic strengthening and energy efficiency of existing buildings

*Pilot Project Workshop
16–19 November 2020*

Editors: Gkatzogias, K., Sousa, L., Tsionis, G., Dimova, S., Pinto, A.

Authors: Gkatzogias, K., Tsionis, G., Romano, E., Negro, P., Pohoryles, D., Bournas, D., Sousa, L.

2021



Take-home messages



1



- Elevata vulnerabilità degli edifici in 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



X EDIZIONE SEISMIC ACADEMY

Think smart,
build safe

13 giugno 2023



Grazie per l'attenzione



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