

OTTAVA EDIZIONE DELLA GIORNATA NAZIONALE DELLA PREVENZIONE SISMICA - EVENTI FORMATIVI SULLA PREVENZIONE SISMICA -

MODULO 1: INTERVENTI COMBINATI DI RETROFIT ANTISISMICO ED EFFICIENTAMENTO ENERGETICO

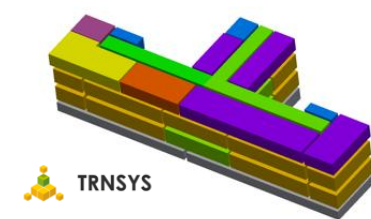
Esempi di interventi integrati su edifici in
muratura

Ing. Elisa Saler, PhD

Università di Padova

Progetto ReLUIS WP5 – Task 1

- Tecniche **integrate** per miglioramento sismico ed efficientamento energetico simultaneo.
- **Prove sperimentali**, modellazione e progettazione di tecniche di intervento



- Valutazione di interventi combinati/integrati sismico-energetici su edifici reali → approccio per **casi studio**



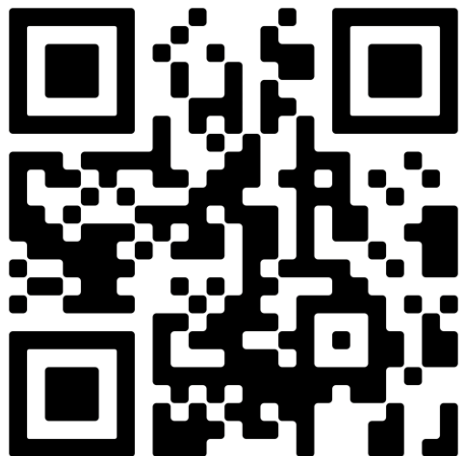
Edifici residenziali



Edifici pubblici
rilevanti e strategici



Edifici in aggregato



Link al sito del
progetto



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



Università di Genova
S. Lagomarsino / S. Cattari



Università Roma Tre
G. de Felice



Università di Trento
I. Giongo



Università di Trieste
N. Gattesco



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



Università di Cagliari
M. Sassu/F. Stochino



Università di Catania
I. Calì



Università di Brescia
G. Metelli



Università di Pavia
G. Magenes/G. Guerini
R. Pinho



Università di Bergamo
A. Marini



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



Università di Udine
M. Pauletta



Università della Basilicata
G. Santarsiero/Masi



Università del Sannio
C. Del Vecchio



IUSS – Pavia
R. Monteiro



Politecnico di Torino
G. Ferro

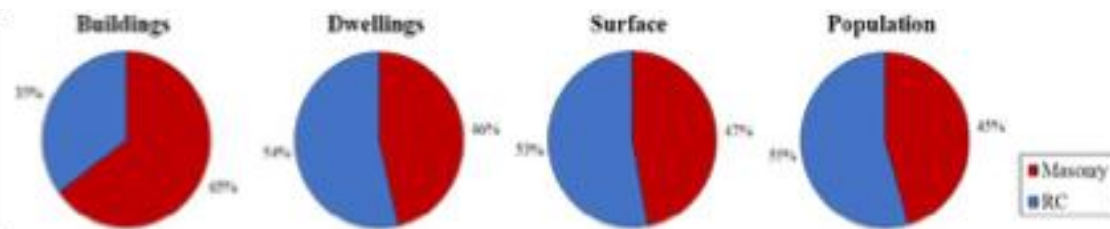


Università della Campania
A. Mandara/M. Ferraioli

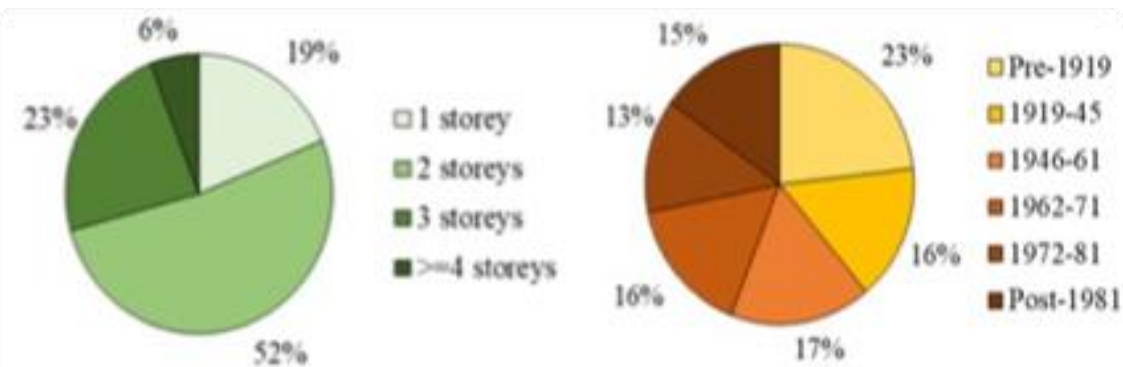


Università di Salerno
G. Rizzano

DISTRIBUZIONE EDILIZIA RESIDENZIALE (ISTAT)



MURATURA



EDIFICI IN MURATURA IN ITALIA



MAGGIORANZA DELL'EDILIZIA RESIDENZIALE



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



L'85% COSTRUITO PRIMA DEL 1981
IL 72% PRIMA DEL 1971

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





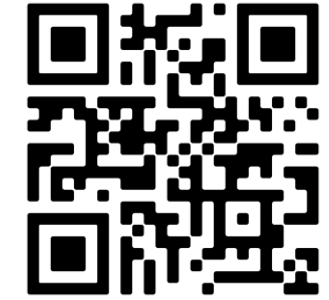
Link al volume



Muratura



Calcestruzzo armato



Link ai casi studio



Acciaio



1

Edificio residenziale
Classe d'uso 2

2

Edificio scolastico
Classe d'uso 3

3

Edificio pubblico strategico
Classe d'uso 4

4

Edificio residenziale
Classe d'uso 2

5

Edificio con affollamento rilevante
Classe d'uso 3

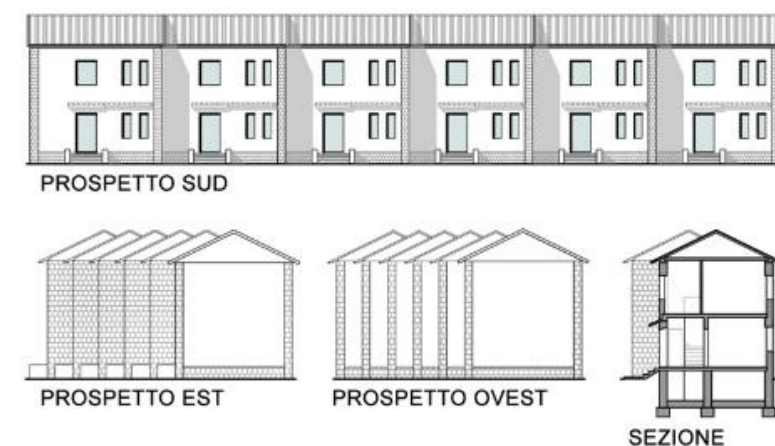
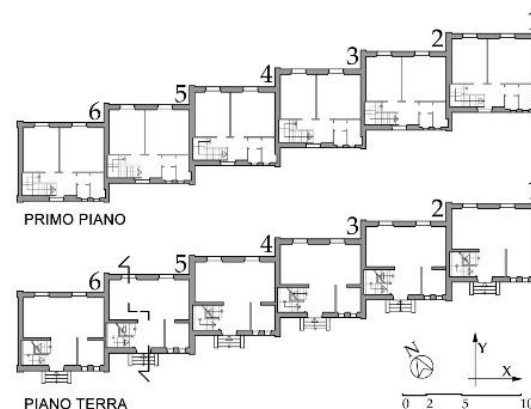
6

Edificio scolastico
Classe d'uso 3

Edificio residenziale – case a schiera

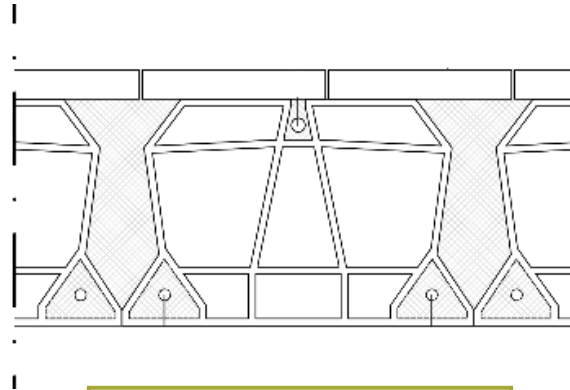
FABBRICATO AD USO RESIDENZIALE IN PROVINCIA DI MACERATA

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

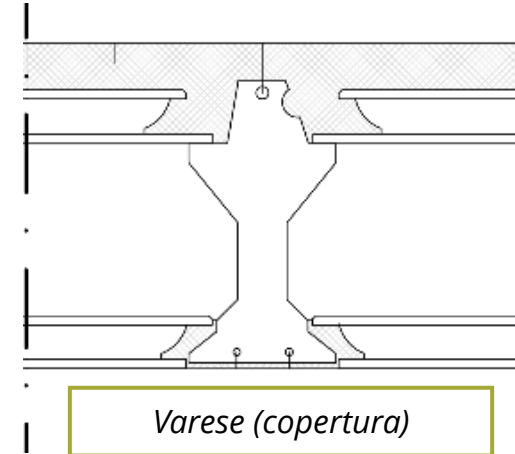




Caratteristiche strutturali del fabbricato



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

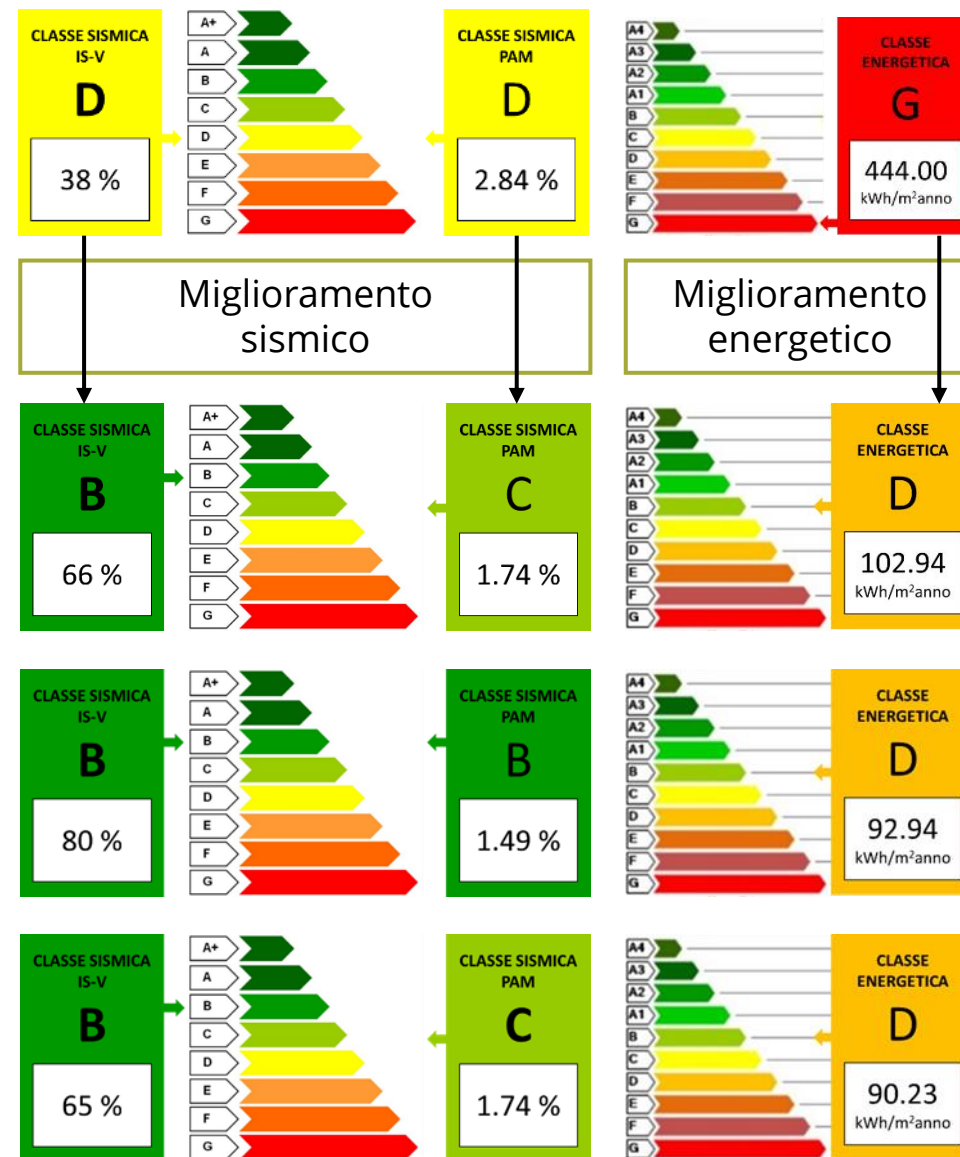
Iniezioni e tirantini trasversali sulle pareti; **catene** sulle celle di estremità; irrigidimento nel piano dei solai con controventi e della copertura con **cappa armata**

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**





INTERVENTO 1

Sismico (impatto minimo)

- 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

Energetico

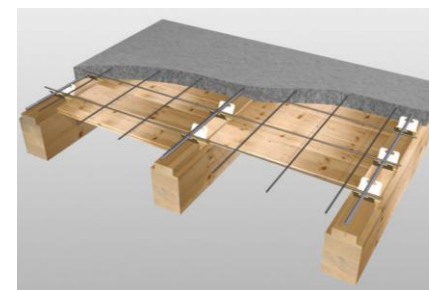
- Isolamento pareti
- Isolamento copertura
- Sostituzione serramenti
- Sostituzione caldaia
- Valvole termostatiche su termosifoni esistenti



METODO DI ANALISI

S) Statica non lineare (pushover)
su modello a telaio equivalente

E) Quasi stazionario (consumi
annui di gas ed energia elettrica)

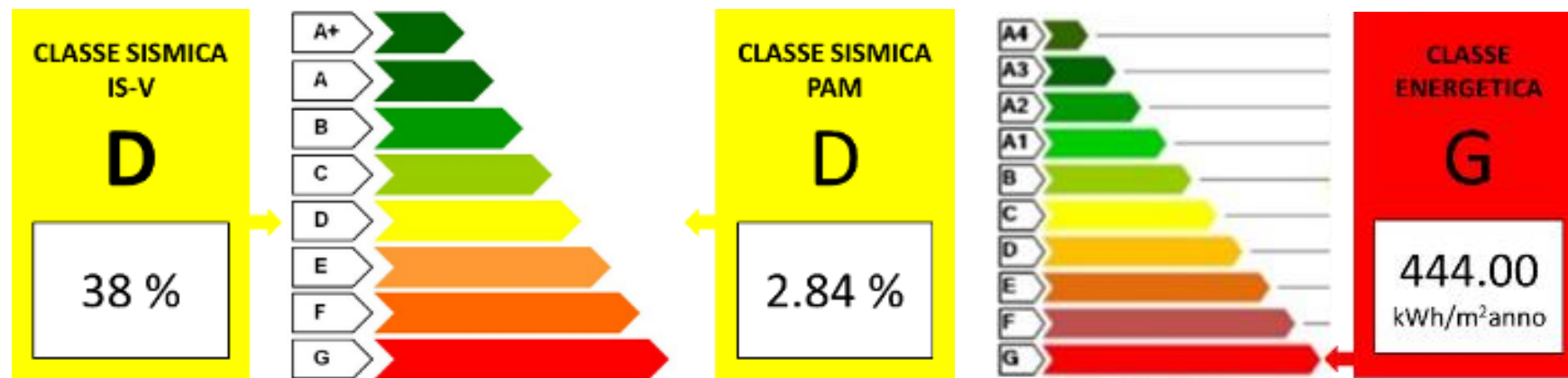




Risultati pre- e post-intervento

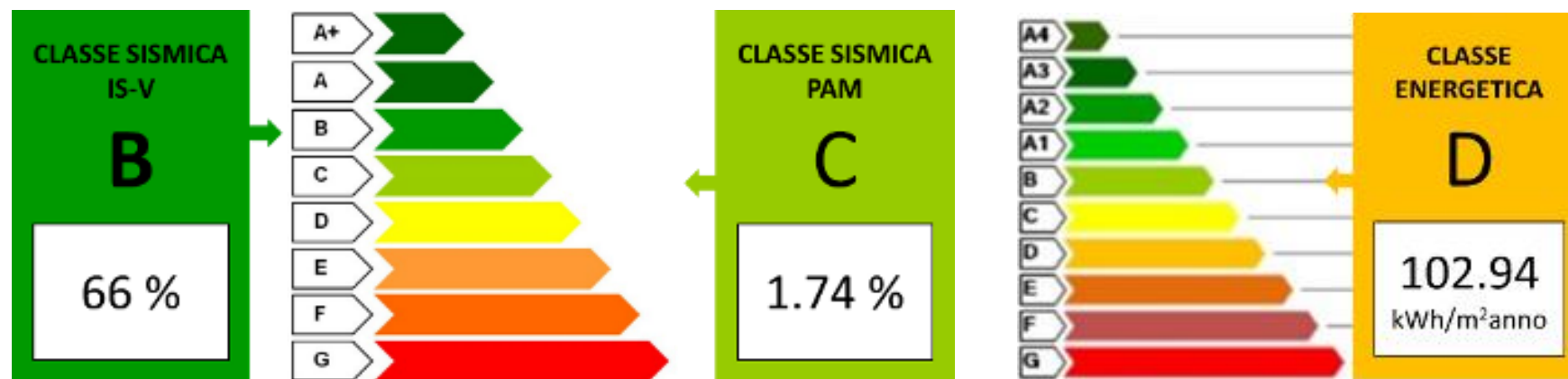
Tempi*
3.5 mesi

AS-BUILT



Costi†
505'080 €
(842 €/m²)

INTERVENTO



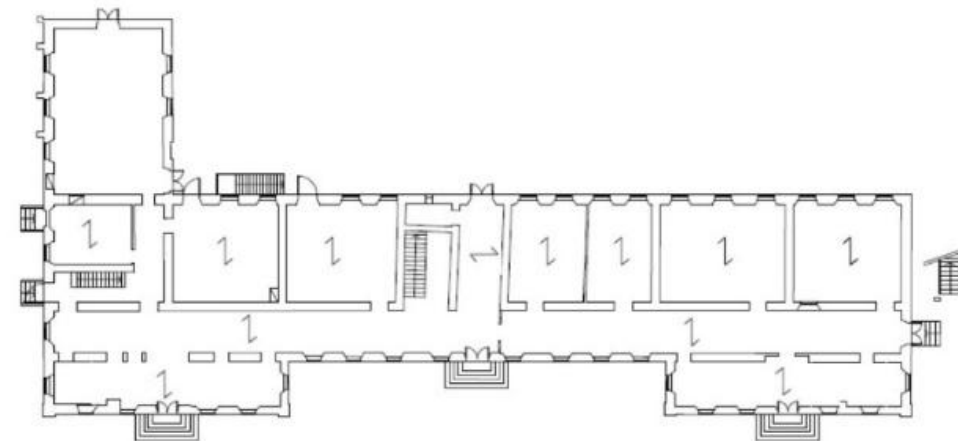
* Considerando 2 squadre per opere civili ed energetiche.

† L'analisi di costo fa riferimento al Prezziario regionale dei lavori pubblici della Regione Marche dell'anno 2019. I costi sono comprensivi di oneri per la sicurezza.

Edificio scolastico

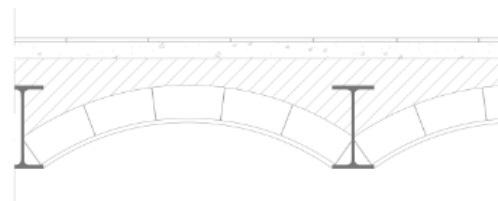
EDIFICIO SCOLASTICO IN PROVINCIA DI MACERATA

Epoca di costruzione	1930 – 1940
Nr. piani	2 fuori terra
Area in pianta	750 m ²
Zona sismica	2
$a_{g,SLV}$	0.244 g
Zona climatica	D
Gradi giorno	2007

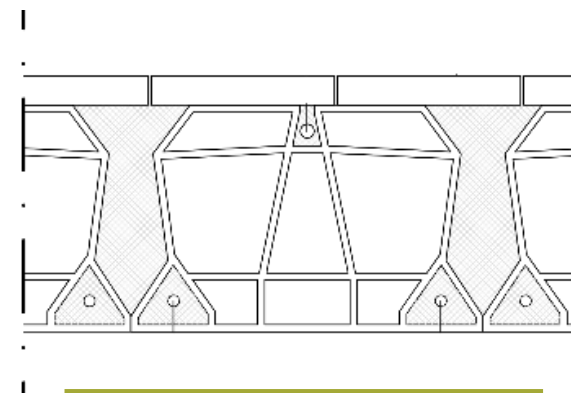




Caratteristiche strutturali del fabbricato



Interpiano in putrelle e voltine



Sottotetto e copertura in SAP



*Muratura a conci sbozzati, con
paramenti di spessore disomogeneo*





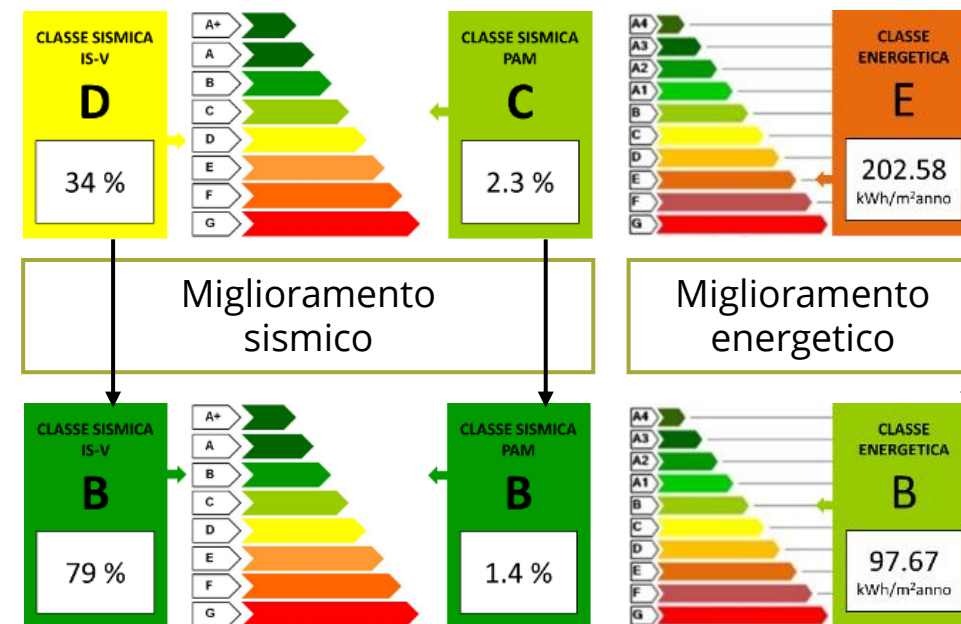
INTERVENTO 1

Sismico

- Intonaco armato FRCM su entrambi i lati delle pareti e su tutte le pareti
- Inserimento sistematico di catene

Energetico

- Isolamento pareti
- Sostituzione infissi
- Sostituzione corpi illuminanti
- Sostituzione caldaia

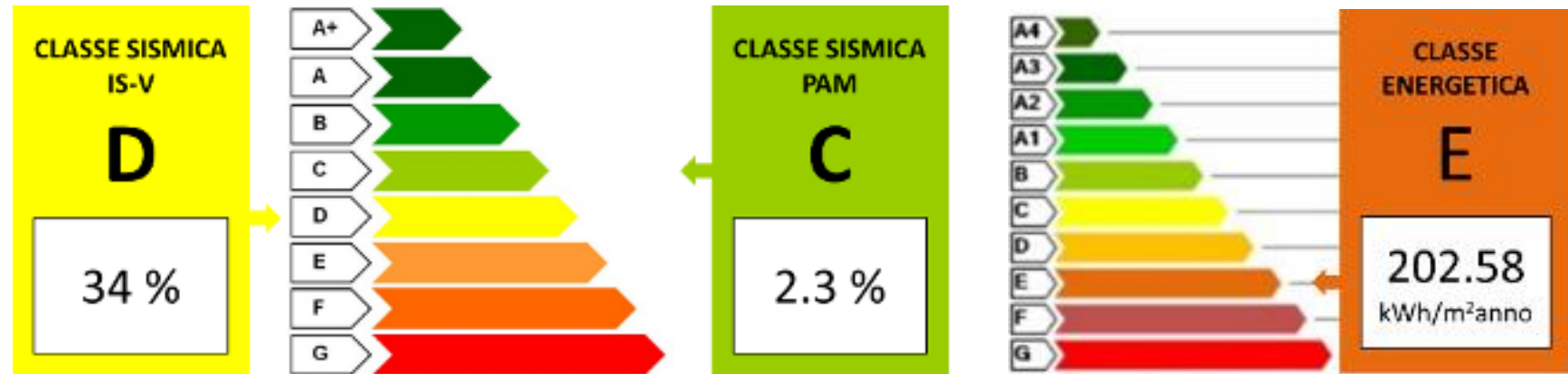




Risultati pre- e post-intervento

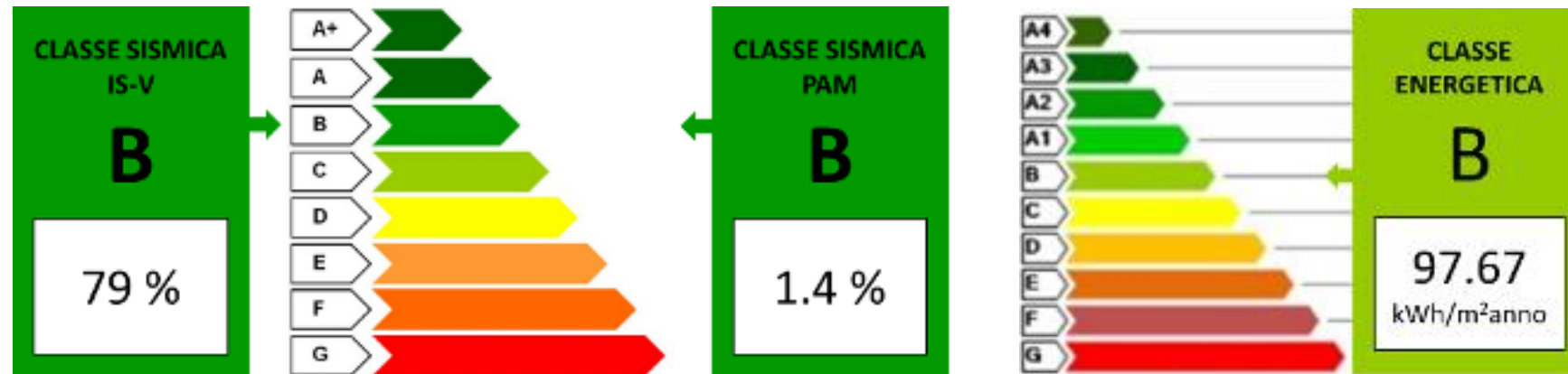
Tempi*
15 mesi

AS-BUILT



Costi†
1'024'655 €
(854 €/m²)

INTERVENTO



* Considerando 1 squadra per opere civili + 1 squadra per opere energetiche.

† L'analisi di costo fa riferimento al Prezziario regionale dei lavori pubblici della Regione Marche dell'anno 2019. I costi sono comprensivi di oneri per la sicurezza.

FABBRICATO AD USO PUBBLICO IN PROVINCIA DI ANCONA

Epoca di costruzione 1940 – 1950

Nr. piani 4 fuori terra

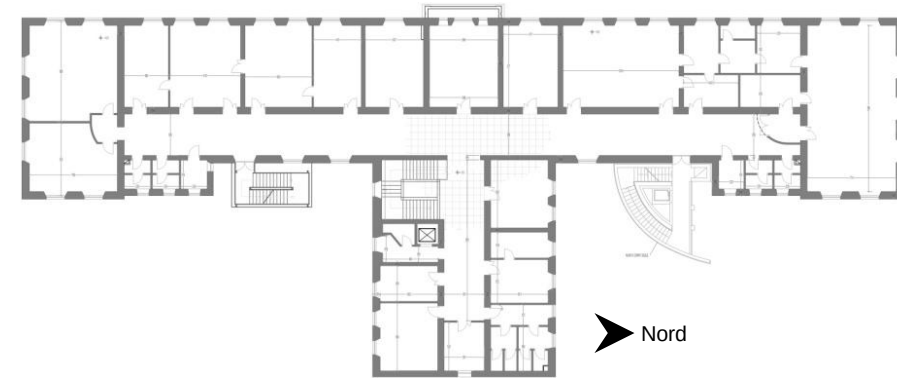
Area in pianta 1300 m²

Zona sismica 2

$a_{g,SLV}$ 0.228 g

Zona climatica E

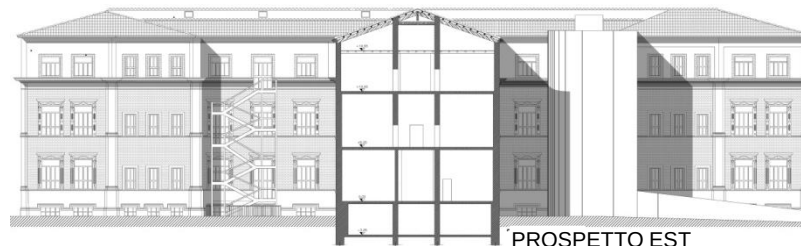
Gradi giorno 2198



PROSPETTO OVEST



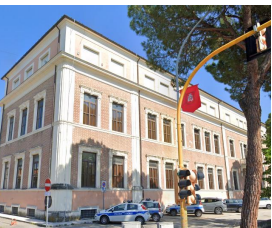
PROSPETTO NORD



PROSPETTO EST



PROSPETTO SUD

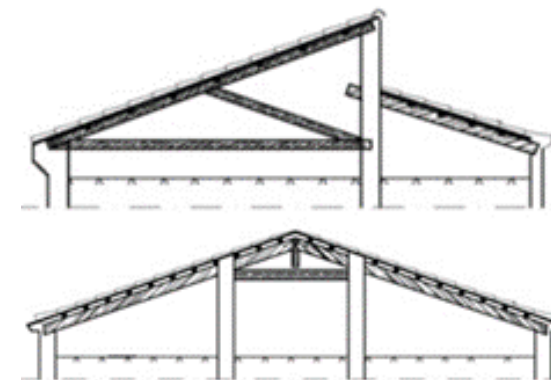


Caratteristiche strutturali del fabbricato

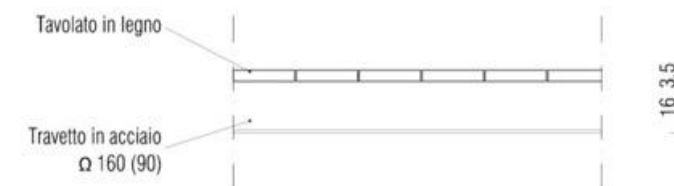
*Pietre a spacco con buona tessitura
(interna principale ed esterna) e
mattoni facciavista (solo esterna)*



*Copertura a falde
con capriate lignee*



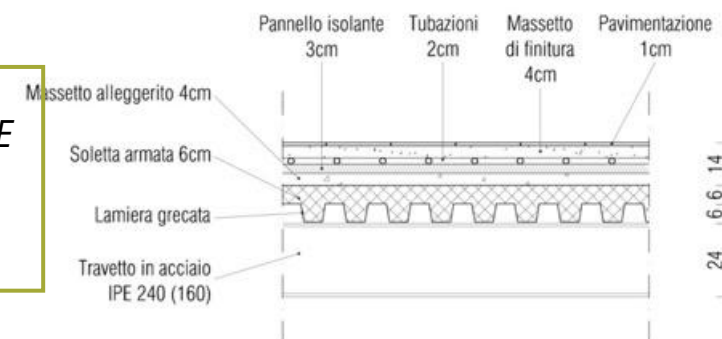
*Profili in acciaio Ω e
tavolato in legno
(sottotetto)*

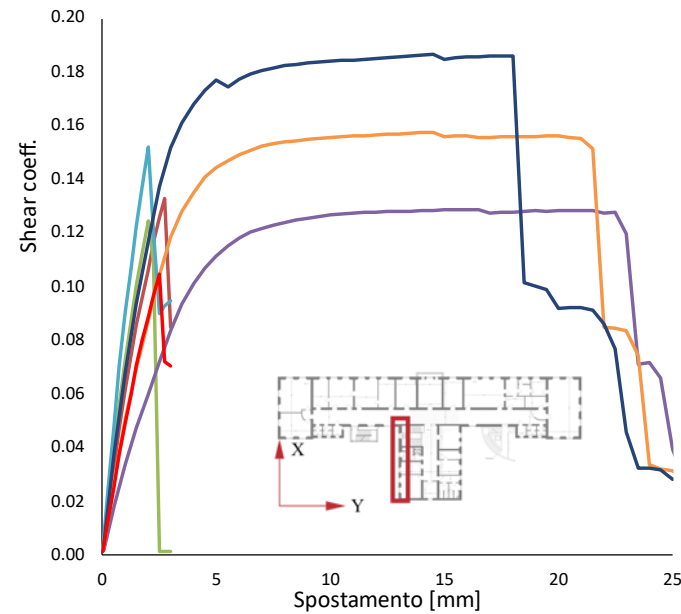
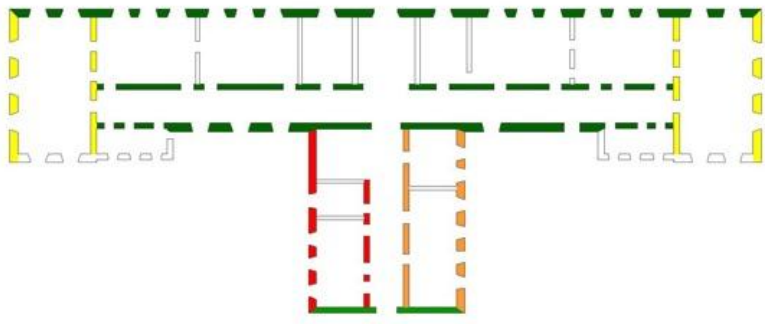
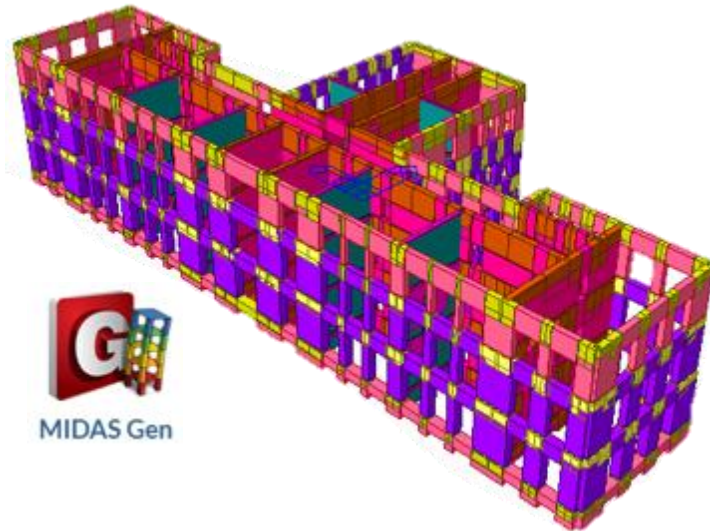


*Putrelle in acciaio e voltine in laterizio
forato
(piano rialzato e piano 1)*

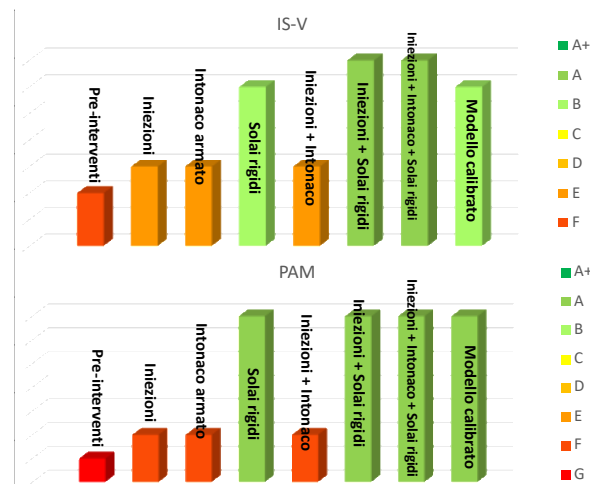


*Profili in acciaio IPE
e lamiera grecata
(piano 2)*

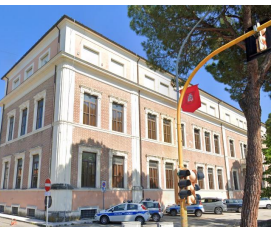




- Pre-interventi
- Iniezioni di malta
- Iniezioni+intonaco
- Iniezioni+intonaco+sol. Rigidi
- Intonaco armato
- Solai rigidi
- Iniezioni+sol. Rigidi

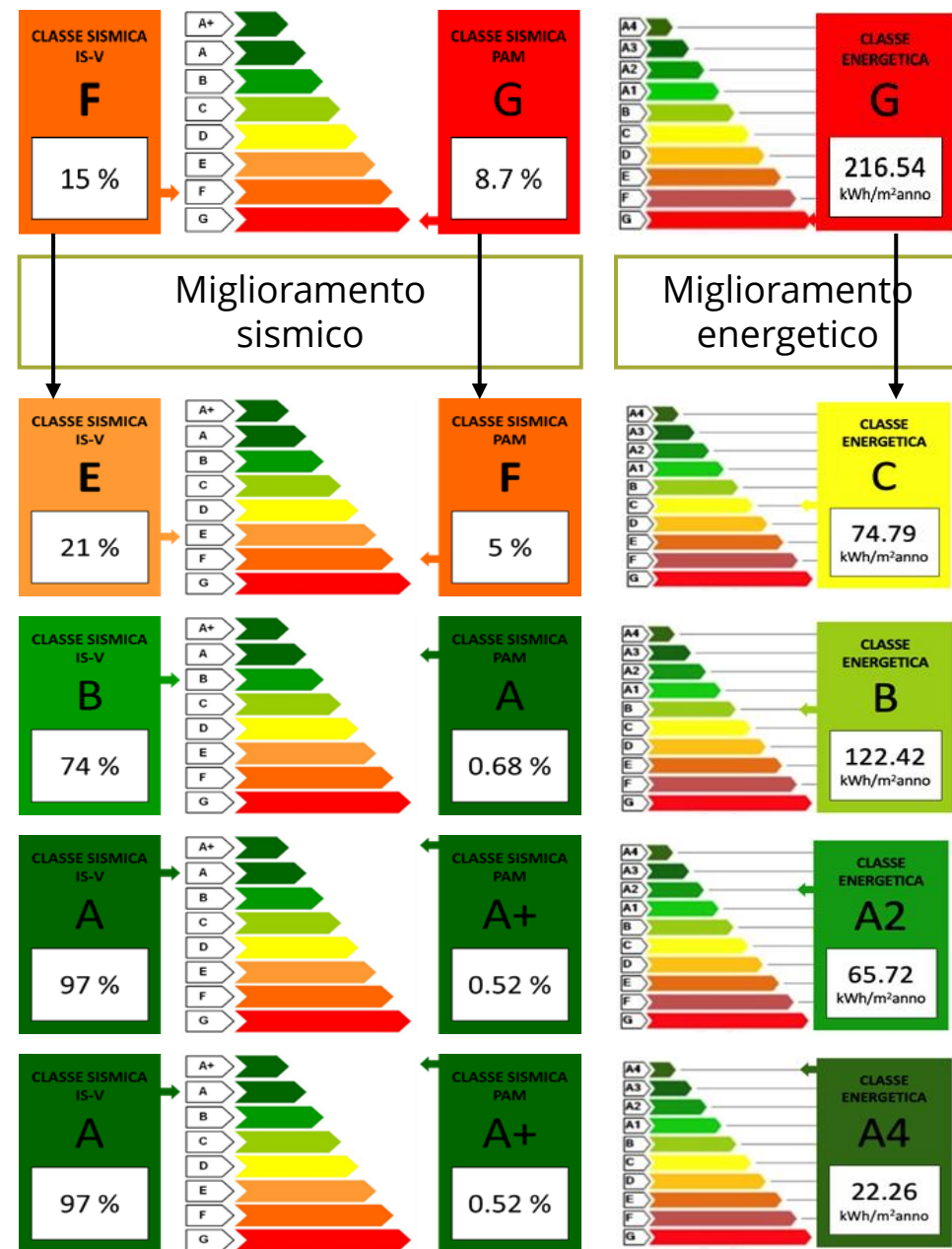


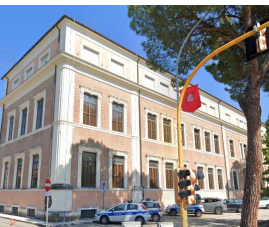
Miglioramento significativo
della performance
raggiungibile solo migliorando
la capacità di ripartizione dei
solai → necessità di rinunciare
ad interventi a basso impatto



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 .





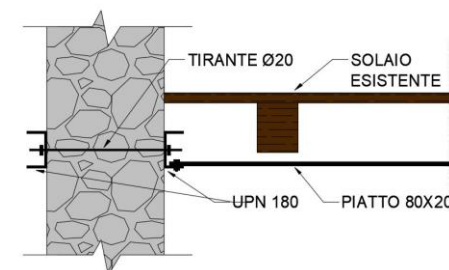
INTERVENTO 2

Sismico

- Interventi sulle strutture orizzontali: irrigidimento nel piano dei solai.

Energetico

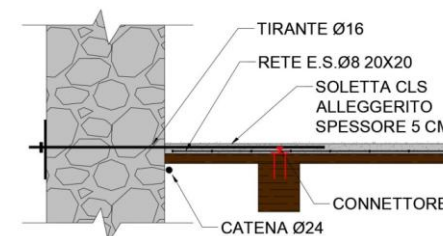
- Isolamento solai
- Sostituzione impianti (pavimento radiante)

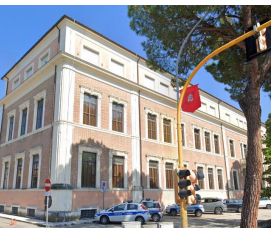


METODO DI ANALISI

S) Statica non lineare (pushover)

E) Quasi stazionario e dinamico

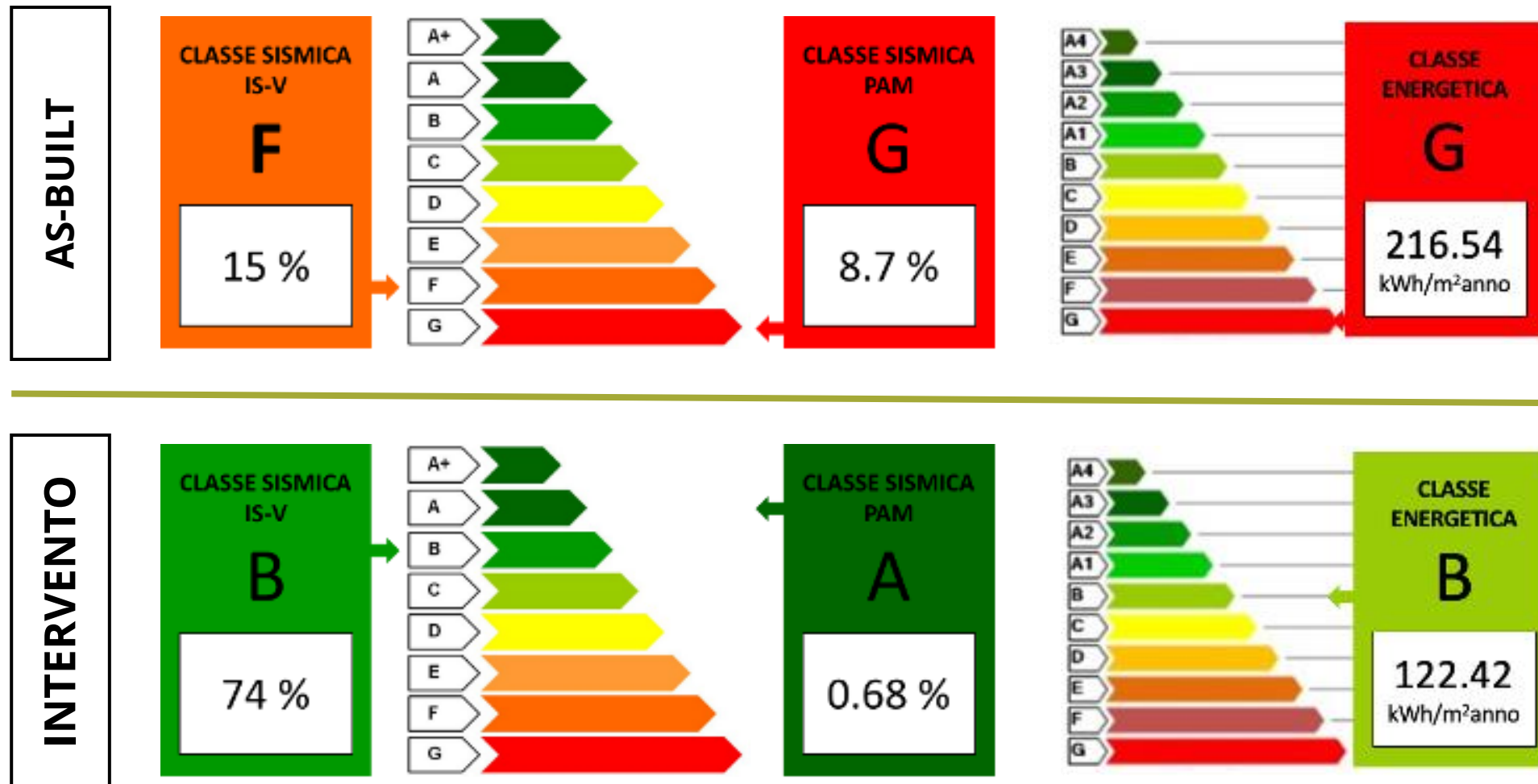




Risultati pre- e post-intervento

Tempi*
9 mesi

Costi†
1'881'150 €
(386 €/m²)



* Considerando 4 squadre per opere civili + 2 squadra per opere energetiche.

† L'analisi di costo fa riferimento al Prezziario regionale dei lavori pubblici della Regione Marche dell'anno 2019. I costi sono comprensivi di oneri per la sicurezza.

FABBRICATO AD USO RESIDENZIALE IN PROVINCIA DI BERGAMO

Epoca di costruzione 1950

Nr. piani 3 fuori terra + interrato

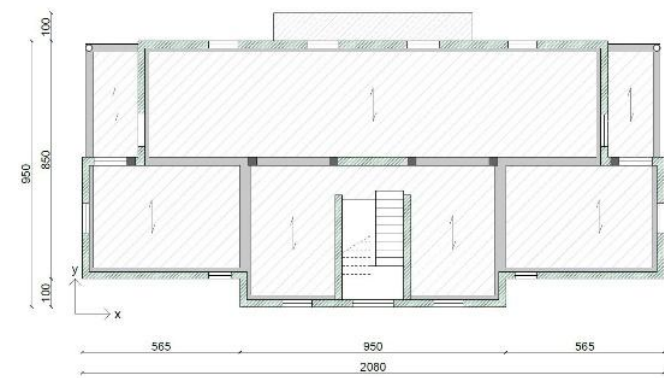
Area in pianta 179 m²

Zona sismica 2

$a_{g,SLV}$ 0.158 g

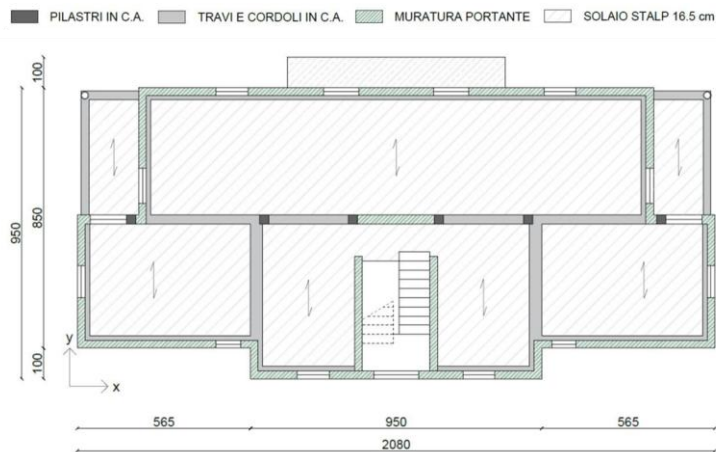
Zona climatica E

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

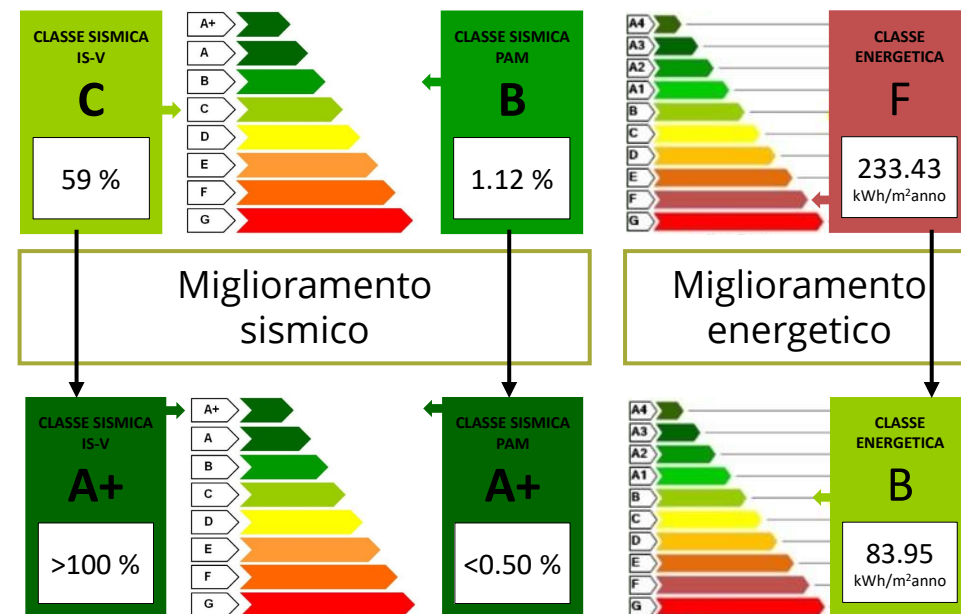


Solaio laterocemento altezza 16.5 con travetti prefabbricati tipo «STALP»



INTERVENTI PROPOSTI

	Intervento sismico	Intervento energetico
Int. 1	Esoscheletro composto da pareti sismo-resistenti di <u>diversa tipologia</u>	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)



NB. La valutazione di questo caso studio è stata fatta facendo variare la tecnica di intervento sismico a parità di prestazione raggiunta (**isoperformance**). Pertanto, il risultato raggiunto in termini di classe sismica ed energetica è la stessa.



INTERVENTI PROPOSTI

Sismico

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

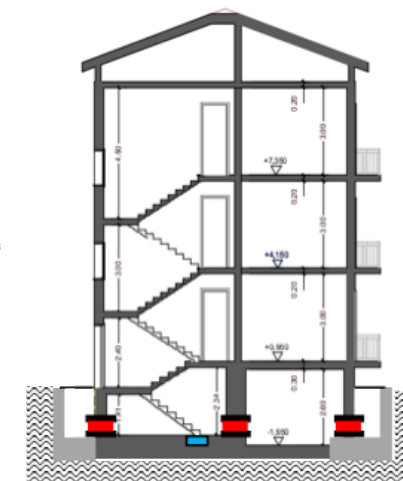
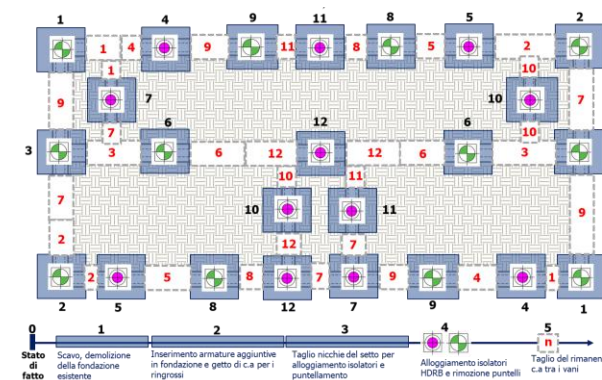
Energetico

- 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

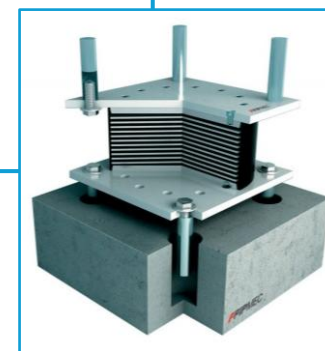


12 - Isolatori HDRB FIP SI-N 300/100



12 - Appoggi multidirezionali

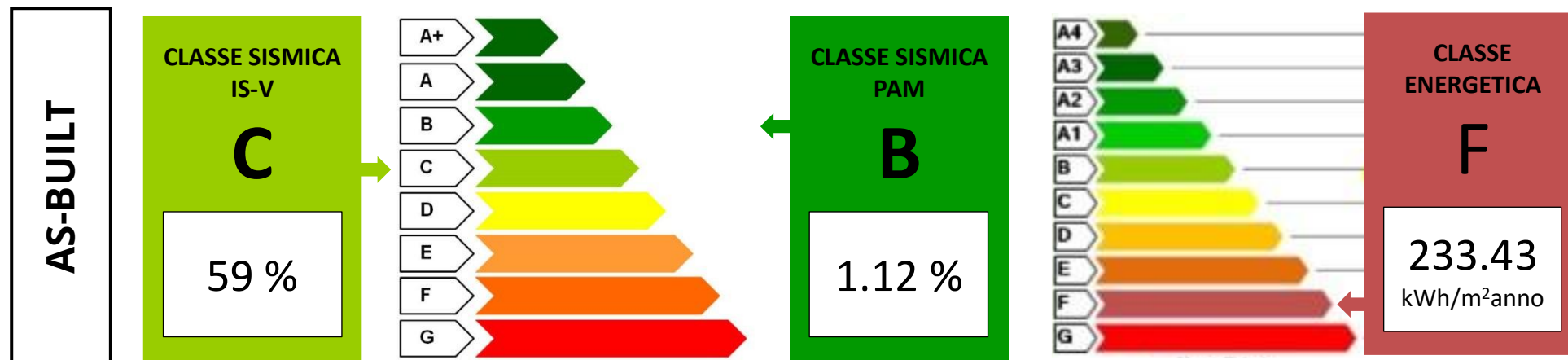
Elastomerici diametro
30 cm e spessore
strati 10 cm, (mescola
a media morbidezza)



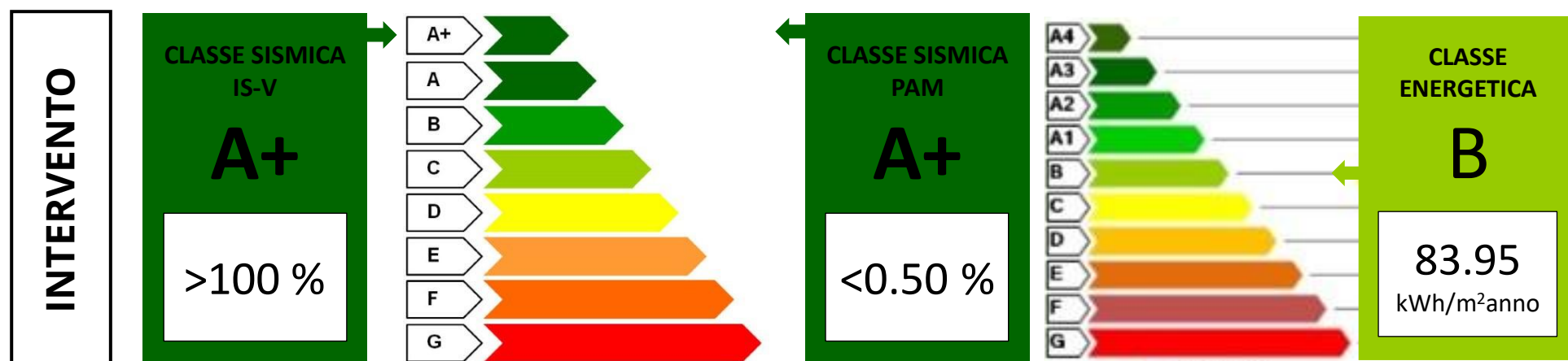


Risultati pre- e post-intervento

Tempi*
8 mesi



Costi†
624'819 €
(1'165 €/m²)



* Considerando 1 squadra per opere civili e energetiche.

† L'analisi di costo fa riferimento al Prezziario regionale dei lavori pubblici della Regione Lombardia dell'anno 2019. I costi sono comprensivi di oneri per la sicurezza.

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)



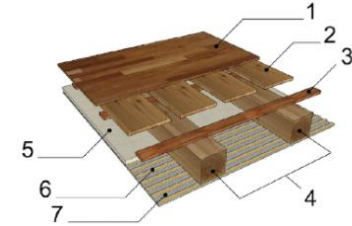


Caratteristiche strutturali del fabbricato

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)





Modellazione rinforzo

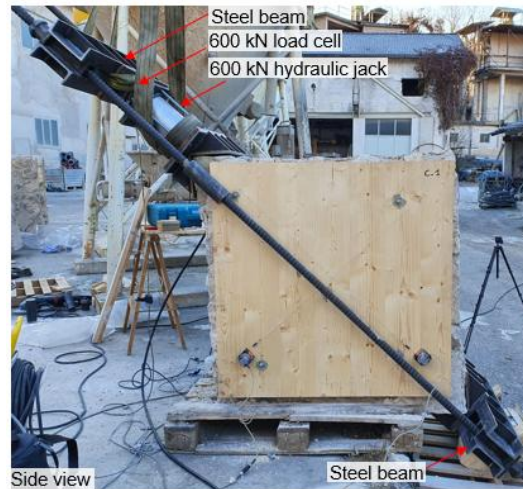
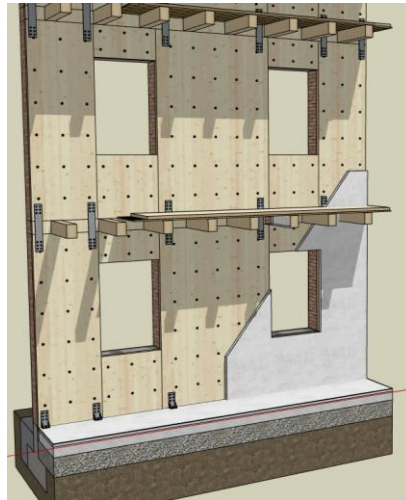
Analisi sperimentali e numeriche



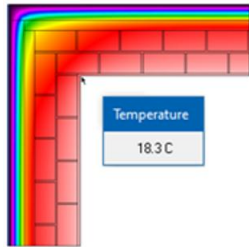
Prestazioni pannello

Incremento capacità
portante $\geq 25\%$

Incremento capacità di
spostamento $\geq 30\%$



Camera termica - Sustainable Energy Laboratory (DICAM UniTN)



Parete muraria
Pannello ligneo



Soluzione 0

Parete muraria
Freno/barriera al vapore
Pannello ligneo



Soluzione 1

Parete muraria
Isolante termico
Freno/barriera al vapore
Pannello ligneo



Soluzione 2



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*FE

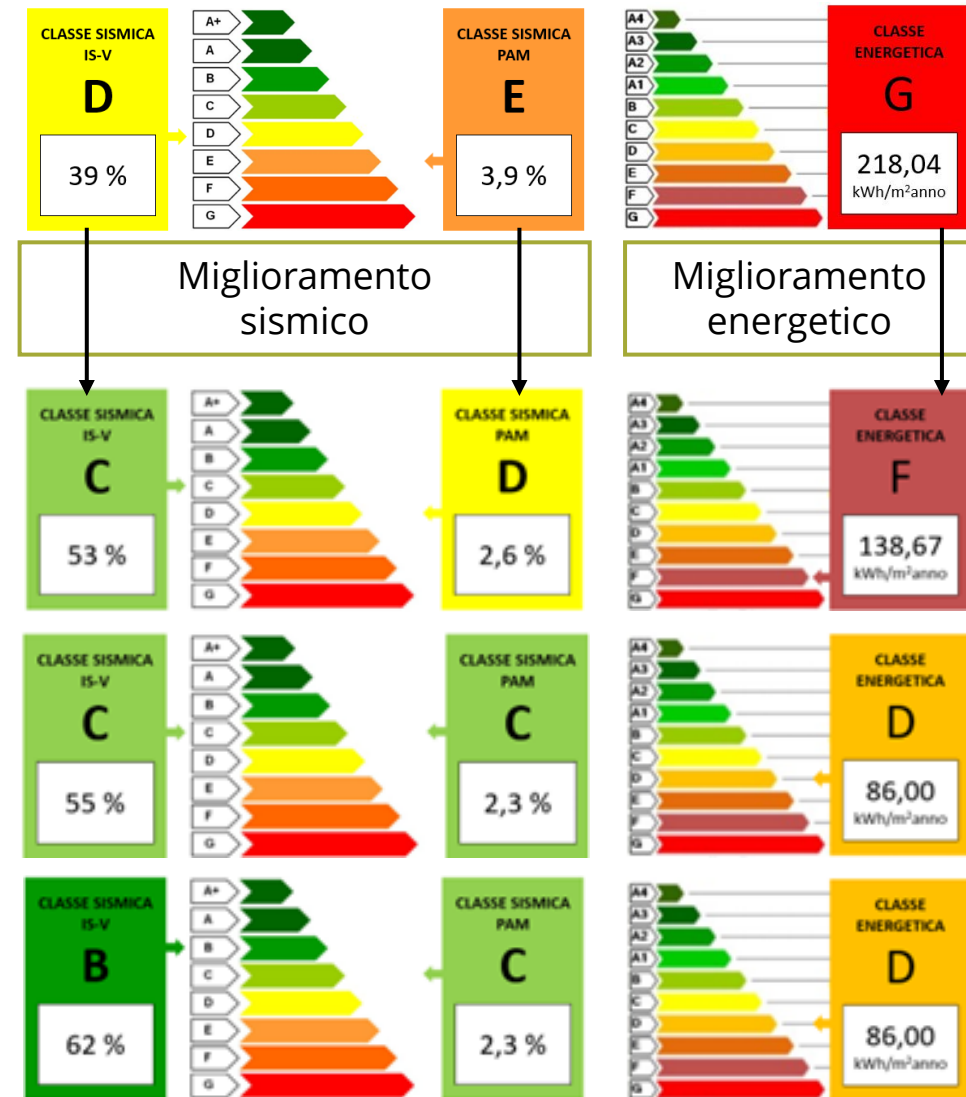
Intervento di rinforzo dei **solai** e della **copertura**, rinforzo dei **maschi murari** e delle **fasce di piano** appartenenti alle sole pareti perimetrali del piano terra e del primo piano mediante l'uso di pannelli in **CLT**

Isolamento solaio di **copertura** e **pareti** perimetrali.

Int.
2FE

Intervento di rinforzo dei **solai** e della **copertura**, rinforzo dei **maschi murari** e delle **fasce di piano** appartenenti alle sole pareti perimetrali del piano terra, del primo piano e del secondo piano mediante l'uso di pannelli in **CLT**

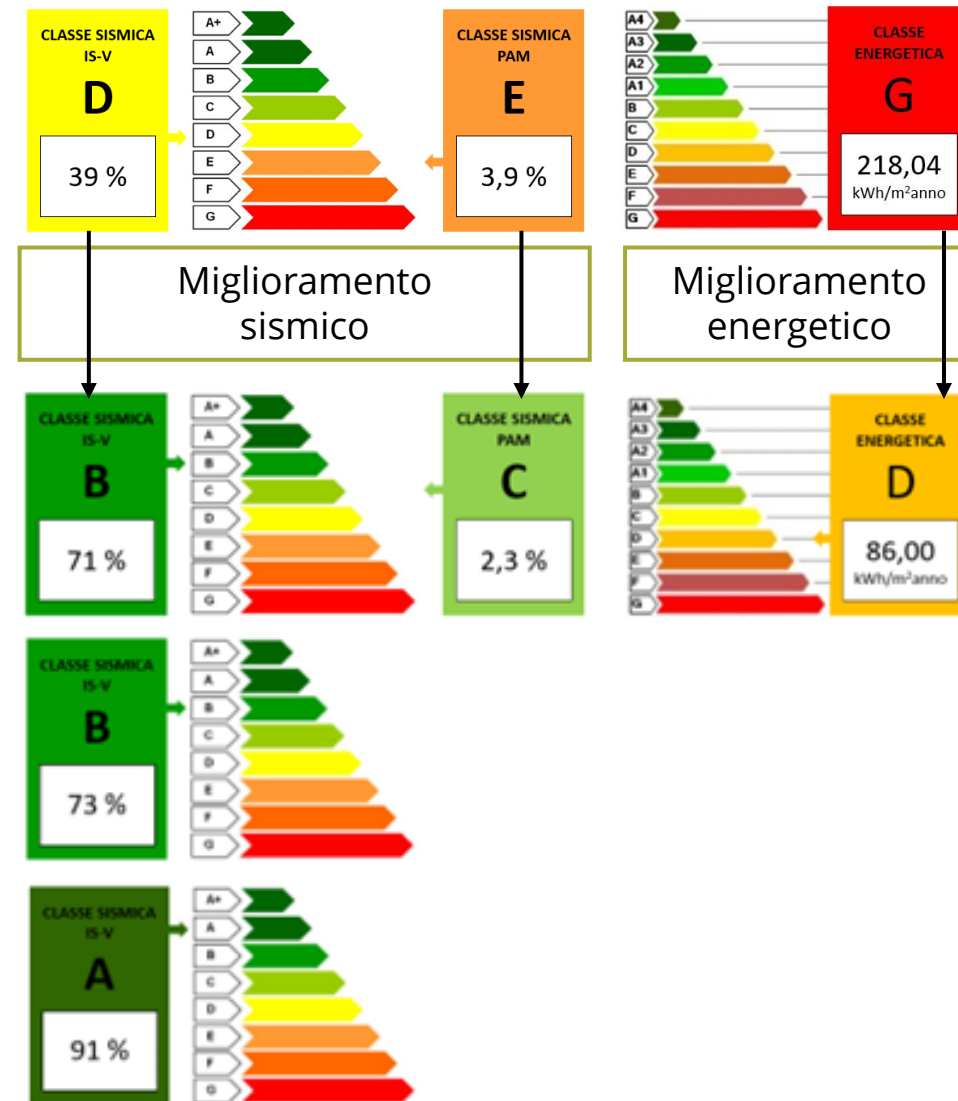
Isolamento solaio di **copertura** e **pareti** perimetrali.





INTERVENTI PROPOSTI (continua)

	Intervento sismico	Intervento energetico
Int. 3FE	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</u> mediante l'uso di pannelli in CLT	Isolamento solaio di copertura e pareti perimetrali.
Int. R1	Intervento di rinforzo con CRM applicato su <u>un solo lato</u> delle pareti perimetrali esterne e della corte interna	-
Int. R2	Intervento di rinforzo con CRM applicato su <u>un entrambi i lati</u> di tutte le pareti portanti della struttura	-





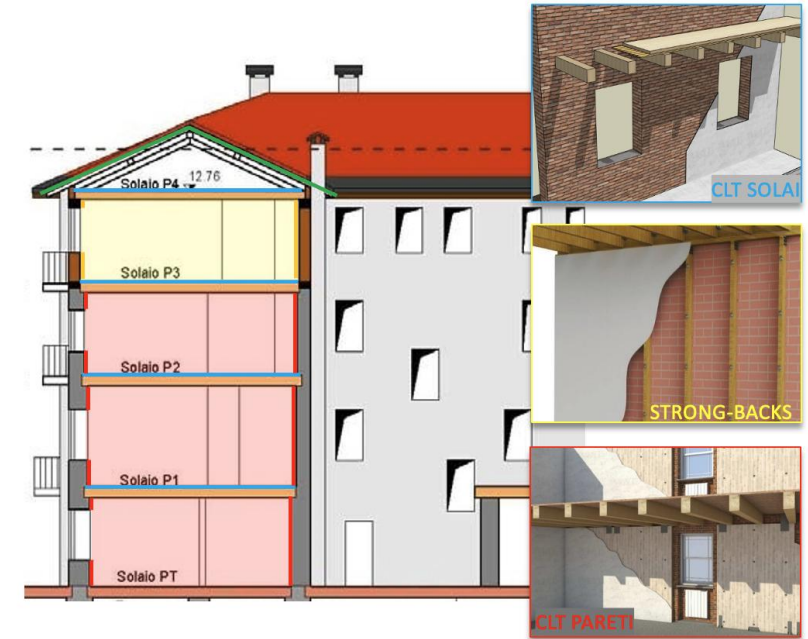
INTERVENTO 2*FE

Sismico

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

Energetico

- Isolamento pareti
- Isolamento copertura



METODO DI ANALISI

S) Statica non lineare (pushover)

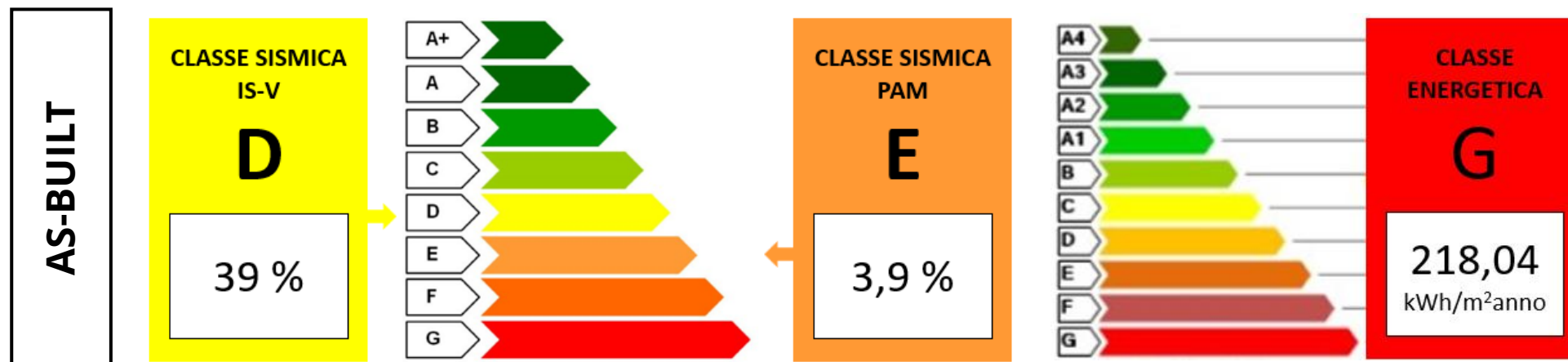
E) Quasi stazionario



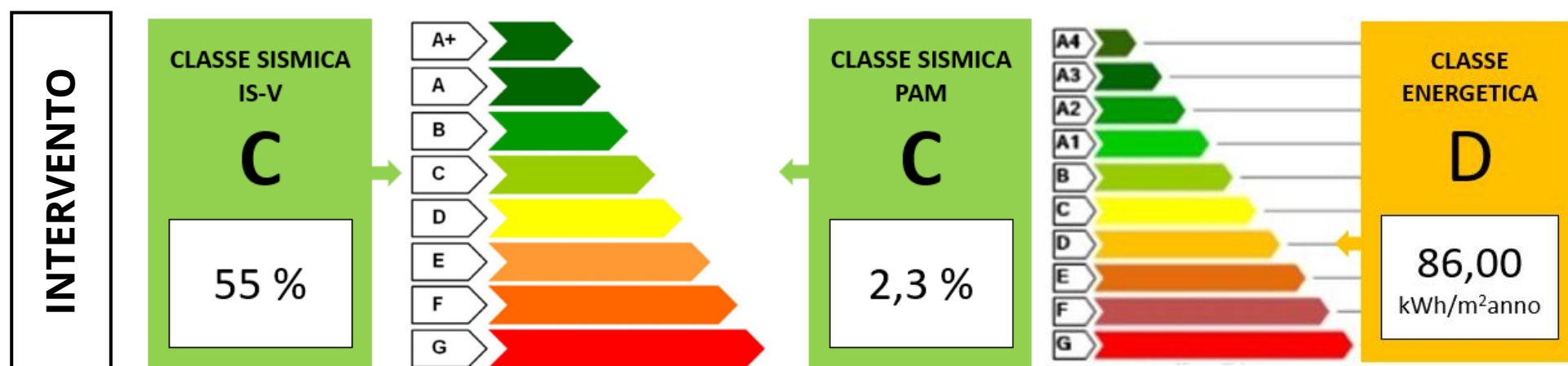


Risultati pre- e post-intervento

Tempi*
5 mesi



Costi†
779'306 €
(385.50 €/m²)



* Considerando 1 squadra per opere civili e energetiche.

† L'analisi di costo fa riferimento al Prezziario regionale dei lavori pubblici della Provincia di Trento dell'anno 2019. I costi sono comprensivi di oneri per la sicurezza.



1

Combinazione di tecniche di intervento tradizionale per migliorare contestualmente la performance sismica ed energetica

2

Necessità di migliorare innanzitutto la qualità muraria

3

Necessità di migliorare innanzitutto la capacità di ripartizione dei solai

4

Progettazione con criterio di iso-performance, esempio di applicazione di isolamento sismico

5

Tecniche innovative e integrate di miglioramento energetico e sismico con sistemi in legno

6

Necessità di migliorare innanzitutto la capacità di ripartizione dei solai, ulteriori esempi di combinazione di interventi sismici ed energetici



Link ai casi studio

OTTAVA EDIZIONE DELLA GIORNATA NAZIONALE DELLA PREVENZIONE SISMICA - EVENTI FORMATIVI SULLA PREVENZIONE SISMICA -

Grazie per la
partecipazione

