



Rete dei Laboratori Universitari  
di Ingegneria Sismica

Progetto Triennale DPC-ReLUIIS 2019-2021  
WP5 "Interventi di rapida esecuzione a basso  
impatto ed integrati"



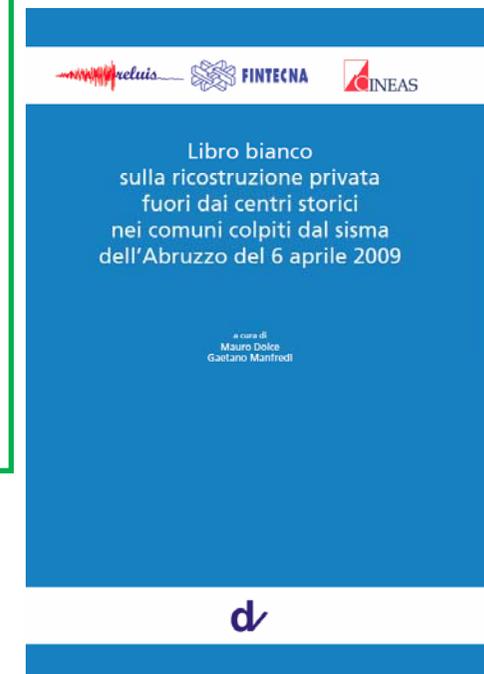
# INTERVENTI SU EDIFICI RESIDENZIALI E SCOLASTICI IN CEMENTO ARMATO

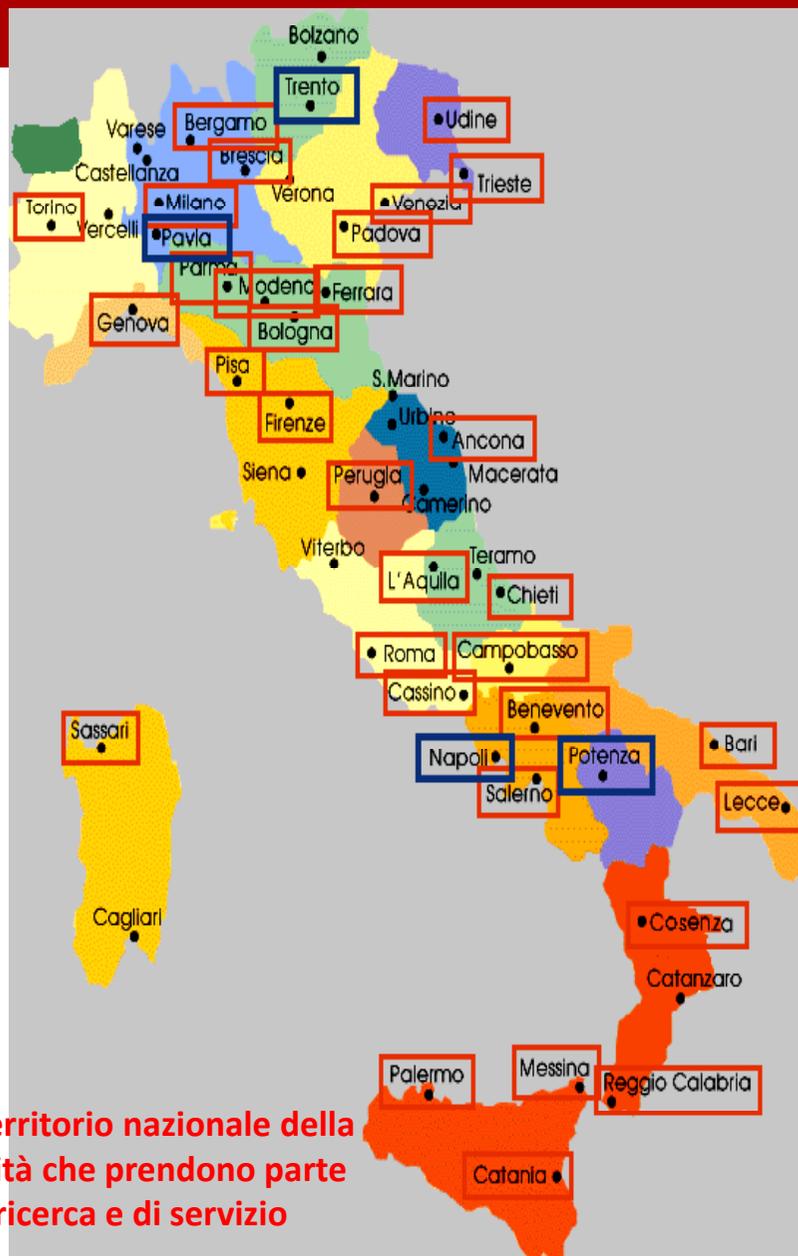
Prof. Ing. Andrea Prota

Università degli Studi di Napoli Federico II  
Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura  
[aprota@unina.it](mailto:aprota@unina.it)

**Napoli**

**25 Giugno 2020**





**Distribuzione sul territorio nazionale della Rete delle Università che prendono parte alle attività di ricerca e di servizio**

## Accordo 2019-2021

- Università coinvolte: 47
- Unità coinvolte: 257
- Ricercatori coinvolti : 872  
(Professori/Ricercatori/  
Assegnisti/Borsisti/  
Dottorandi/Collaboratori)

# PROGETTO DPC-ReLUIIS 2019-2021

WP 1 – Coordinamento scientifico ed amministrativo

WP 2 - *Inventario delle tipologie strutturali ed edilizie esistenti (CARTIS)*

WP 3 - RINTC

WP 4 - *MAppe di Rischio e Scenari di danno sismico (MARS)*

WP 5 - *Interventi di rapida esecuzione Interventi di rapida esecuzione a basso impatto ed integrati*

WP 6 - *Monitoraggio e dati satellitari*

WP 7 - *Analisi Dati Post Sisma*

WP 8 - *Divulgazione (DIV)*

WP 9 - Contributi normativi per Sistema Informativo ReLUIIS

WP 10 - Contributi normativi relativi a Costruzioni Esistenti in Muratura

WP 11 - Contributi normativi relativi a Costruzioni Esistenti in Cemento Armato

WP 12 - Contributi normativi relativi a Costruzioni civili e industriali di acciaio e composte acciaio-calcestruzzo

WP 13 - Contributi normativi relativi a Strutture in Legno

WP 14 - Contributi normativi relativi a Materiali Innovativi per Interventi su Costruzioni Esistenti

WP 15 - Contributi normativi relativi a Isolamento e Dissipazione

WP 16 - Contributi normativi - Geotecnica

WP 17 - Contributi normativi relativi a Componenti non strutturali

WP 18 - Contributi normativi relativi ad Azione Sismica

Centro Vulnerabilità e Rischio



Collaborazione nelle attività di predisposizione della normativa tecnica di interesse (art.19 D.LGS 1/2018 lett. d)

# JRC PILOT PROJECT - *Integrated techniques for the seismic strengthening and energy efficiency of existing buildings*



## Objectives

- define tools and guidelines for a combined upgrading of buildings
- stimulate the use of integrated solutions
- create awareness about the topic with the aim of prevention

### Action 1

Overview and classification of technologies for seismic strengthening and energy upgrading of existing buildings

### Action 2

Overview of technologies for combined upgrading of existing buildings

### Action 3

Methodologies for assessing the combined effect of buildings' upgrading

### Action 4

Regional impact assessment and proposal for the Action Plan

### Action 5

Stakeholders' involvement

**Courtesy: Paolo Negro and Elvira Romano**

## 8.4. CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI

Si individuano le seguenti categorie di intervento:

**interventi di riparazione o locali:** interventi che interessino singoli elementi strutturali e che, comunque, non riducano le condizioni di sicurezza preesistenti;

**interventi di miglioramento:** interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, senza necessariamente raggiungere i livelli di sicurezza fissati al § 8.4.3;

**interventi di adeguamento:** interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, conseguendo i livelli di sicurezza fissati al paragrafo 8.4.3.

Solo gli interventi di miglioramento ed adeguamento sono sottoposti a collaudo statico.

Per gli interventi di miglioramento e di adeguamento l'esclusione di provvedimenti in fondazione dovrà essere in tutti i casi motivata esplicitamente dal progettista, attraverso una verifica di idoneità del sistema di fondazione in base ai criteri indicati nel §8.3.

Qualora l'intervento preveda l'inserimento di nuovi elementi che richiedano apposite fondazioni, queste ultime dovranno essere verificate con i criteri generali di cui ai precedenti Capitoli 6 e 7, così come richiesto per le nuove costruzioni.

Per i beni di interesse culturale ricadenti in zone dichiarate a rischio sismico, ai sensi del comma 4 dell'art. 29 del DLgs 22 gennaio 2004, n. 42 "Codice dei beni culturali e del paesaggio", è in ogni caso possibile limitarsi ad interventi di miglioramento effettuando la relativa valutazione della sicurezza.

#### 8.4.2. INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO

La valutazione della sicurezza e il progetto di intervento dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.

Per la combinazione sismica delle azioni, il valore di  $\zeta_E$  può essere minore dell'unità. A meno di specifiche situazioni relative ai beni culturali, per le costruzioni di classe III ad uso scolastico e di classe IV il valore di  $\zeta_E$ , a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere comunque non minore di 0,6 mentre per le rimanenti costruzioni di classe III e per quelle di classe II il valore di  $\zeta_E$ , sempre a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere incrementato di un valore comunque non minore di 0,1.

Nel caso di interventi che prevedano l'impiego di sistemi di isolamento, per la verifica del sistema di isolamento si deve avere almeno  $\zeta_E = 1,0$ .

scuole

edifici  
residenziali



## 8.4.3. INTERVENTO DI ADEGUAMENTO

L'intervento di adeguamento della costruzione è obbligatorio quando si intenda:

- a) sopraelevare la costruzione;
- b) ampliare la costruzione mediante opere ad essa strutturalmente connesse e tali da alterarne significativamente la risposta;
- c) apportare variazioni di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali verticali in fondazione superiori al 10%, valutati secondo la combinazione caratteristica di cui alla Equazione 2.5.2 includendo i soli carichi gravitazionali. Resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione;
- d) effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un sistema strutturale diverso dal precedente; nel caso degli edifici, effettuare interventi strutturali che trasformano il sistema strutturale mediante l'impiego di nuovi elementi verticali portanti su cui grava almeno il 50% dei carichi gravitazionali complessivi riferiti ai singoli piani.
- e) apportare modifiche di classe d'uso che conducano a costruzioni di classe III ad uso scolastico o di classe IV.

In ogni caso, il progetto dovrà essere riferito all'intera costruzione e dovrà riportare le verifiche dell'intera struttura post-intervento, secondo le indicazioni del presente capitolo.

Nei casi a), b) e d), per la verifica della struttura, si deve avere  $\zeta_E \geq 1,0$ . Nei casi c) ed e) si può assumere  $\zeta_E \geq 0,80$ .

## CS.4.3 INTERVENTO DI ADEGUAMENTO

L'intervento di adeguamento ha l'obiettivo di raggiungere i livelli di sicurezza richiesti per gli edifici di nuova costruzione così come specificati nel § 8.4.3 delle NTC.

dei carichi verticali in fondazione superiori al 10% (caso c) del § 8.4.3 delle NTC è ammesso un valore minimo di  $\zeta_E$  pari a 0.8. È assimilabile a tale situazione anche l'adeguamento sismico deciso dal proprietario a seguito di inadeguatezza riscontrata attraverso la valutazione di sicurezza di cui al § 8.3 delle NTC, ma non ricadente nei casi a), b) o d).

## Gli interventi di rinforzo sismico si sono dimostrati efficaci



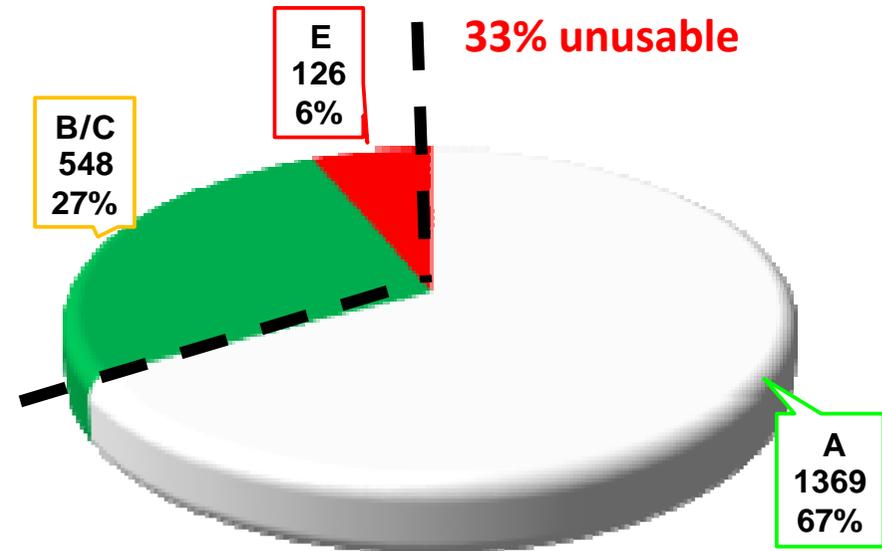
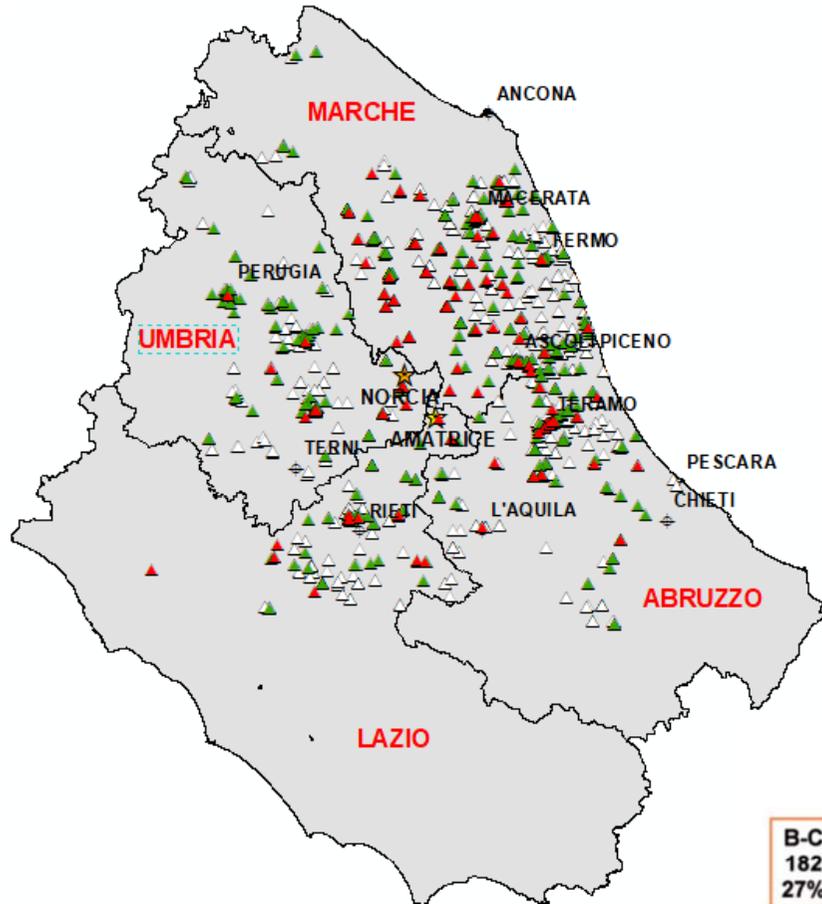
**SCUOLA ROMOLO CAPRANICA (Amatrice)**



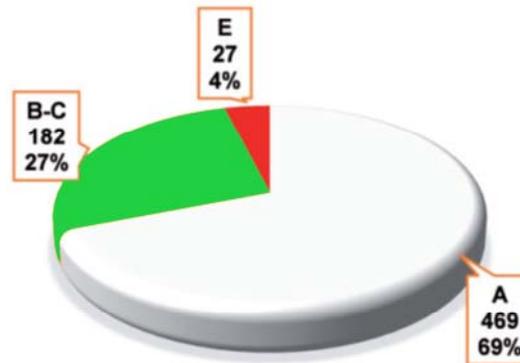
**SCUOLA DI MUSICA  
ARMANDO BARTOLONI  
(Norcia)**

# OSSERVAZIONI DOPO I TERREMOTI

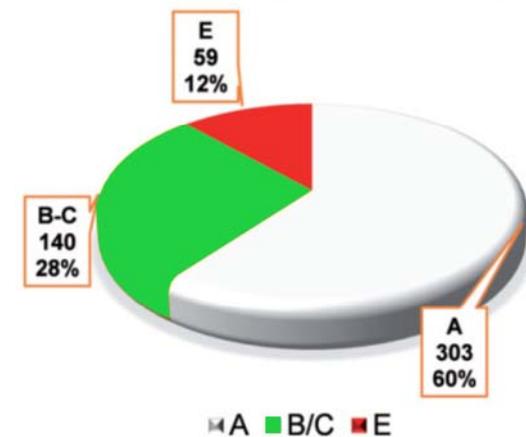
## ➤ Seismic safety and usability surveys of SCHOOL BUILDINGS



RC schools



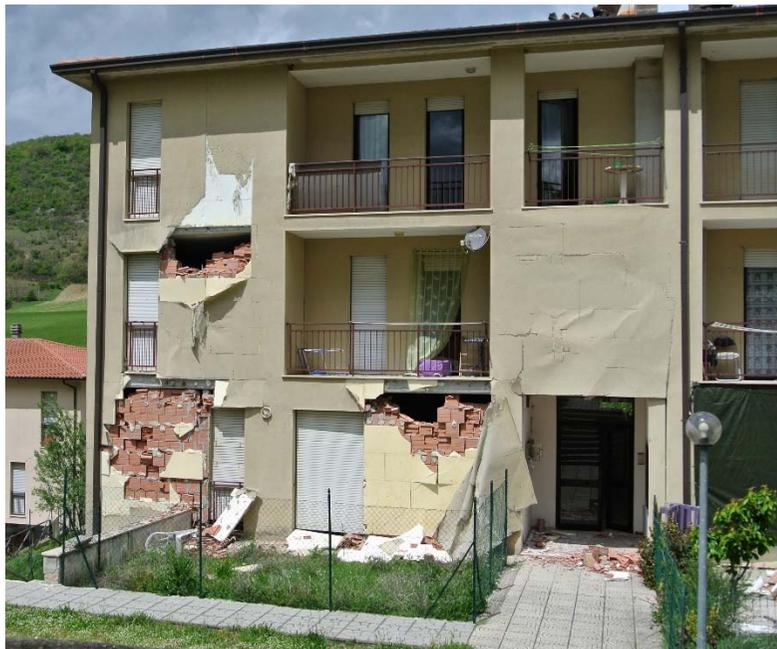
Masonry schools



**2,043 surveys in 4 Regions at the end of the sequence**

# NECESSARI INTERVENTI INTEGRATI

**Molti edifici sono stati rinnovati di recente facendo attenzione principalmente a migliorarne l'efficienza energetica**



Necessità di un **approccio di progettazione integrato** che combini rinforzo sismico ed efficientamento energetico

# NECESSARI INTERVENTI INTEGRATI: INCENTIVI



DPC-ReLuis

## MISURE di INTERVENTO

Governo Italiano  
Presidenza del Consiglio dei Ministri

Detrazione fiscale, ossia, uno sconto IRPEF considerevole, per edifici che effettuano interventi di **risparmio energetico** e/o di **adeguamento antisismico** e di ristrutturazione

## LEGGE DI BILANCIO 2018

*Bilancio di previsione dello Stato per l'anno finanziario 2018 e bilancio pluriennale per il triennio 2018-2020 (disegno di legge)*

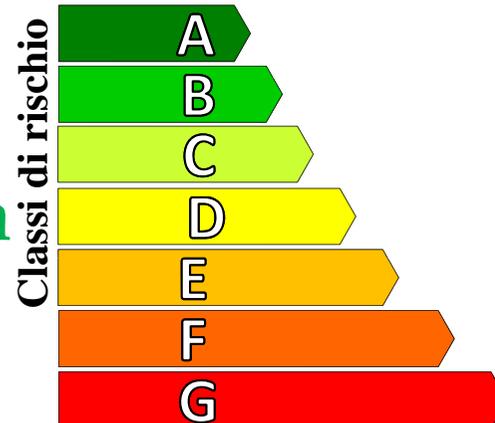
«[...] Per le spese relative agli interventi su parti comuni di edifici condominiali ricadenti nelle zone sismiche 1, 2 e 3 **finalizzati congiuntamente alla riduzione del rischio sismico e alla riqualificazione energetica** spetta, in alternativa alle detrazioni previste rispettivamente dal comma 2-quater del presente articolo e dal comma 1-quinquies dell'articolo 16, **una detrazione nella misura dell'80 per cento**, ove gli interventi determinino il passaggio ad una classe di rischio inferiore, **o nella misura dell'85 per cento** ove gli interventi determinino il passaggio a due classi di rischio inferiori. La predetta detrazione e' ripartita in dieci quote annuali di pari importo e si applica su un ammontare delle spese non superiore a euro 136.000 moltiplicato per il numero delle unita' immobiliari di ciascun edificio [...]

**Classe minima tra quella relativa a:**

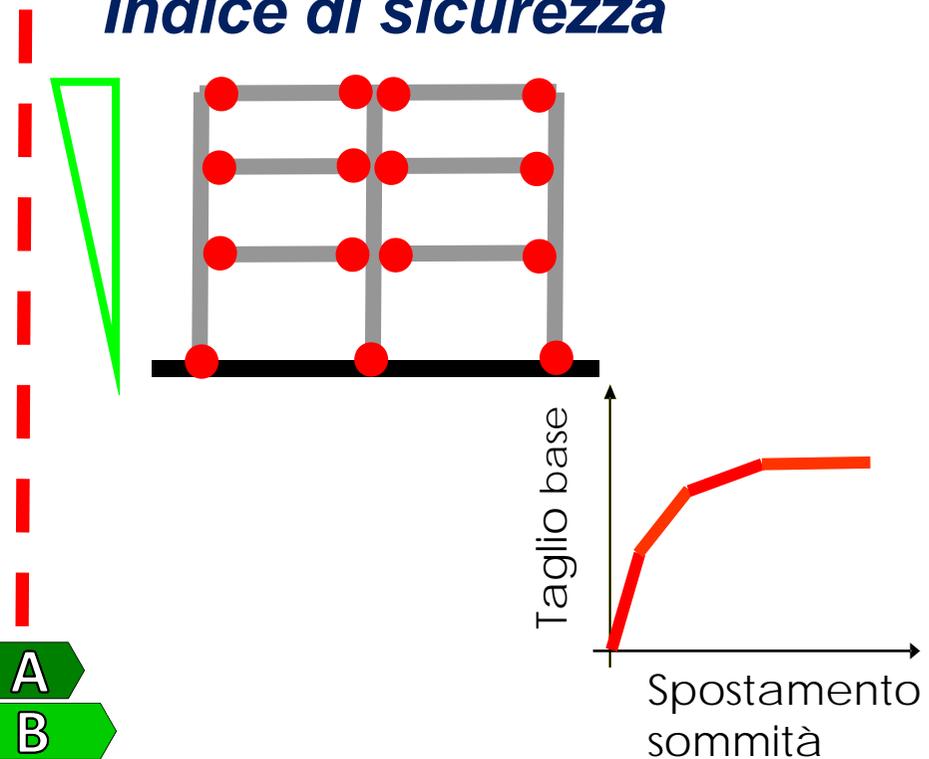
**Analisi delle perdite attese**



**Calcolo Perdita Annua  
Media Attesa: PAM  
Classe PAM**



**Indice di sicurezza**



**Calcolo sicurezza  
allo SLV  
Classe IS-V**

## Titolo VI Misure fiscali

### *Art.128*

#### *Incentivi per efficientamento energetico, sisma bonus, fotovoltaico e colonnine di ricarica di veicoli elettrici*

1. La detrazione di cui all'articolo 14 del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63, convertito, con modificazioni, dalla legge 3 agosto 2013, n. 90, si applica nella misura del 110 per cento, per le spese documentate e rimaste a carico del contribuente, sostenute dal 1° luglio 2020 e fino al 31 dicembre 2021, da ripartire tra gli aventi diritto in cinque quote annuali di pari importo, nei seguenti casi:

- a) interventi di isolamento termico delle superfici opache verticali e orizzontali che interessano l'involucro dell'edificio con un'incidenza superiore al 25 per cento della superficie disperdente lorda dell'edificio medesimo. La detrazione di cui alla presente lettera è calcolata su un ammontare complessivo delle spese non superiore a euro 60.000 moltiplicato per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio. I materiali isolanti utilizzati devono rispettare i criteri ambientali minimi di cui al decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare 11 ottobre 2017, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale del 6 novembre 2017.
- b) interventi sulle parti comuni degli edifici per la sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti con impianti centralizzati per il riscaldamento, il raffrescamento o la fornitura di acqua calda sanitaria a condensazione, con efficienza almeno pari alla classe A di prodotto prevista dal regolamento delegato (UE) n. 811/2013 della Commissione del 18 febbraio 2013, a pompa di calore, ivi inclusi gli impianti ibridi o geotermici, anche abbinati all'installazione di impianti fotovoltaici di cui al comma 5 e relativi sistemi di accumulo di cui al comma 6, ovvero con impianti di microgenerazione. La detrazione di cui alla presente lettera è calcolata su un ammontare complessivo delle spese non superiore a euro 30.000 moltiplicato per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio ed è riconosciuta anche per le spese relative allo smaltimento e alla bonifica dell'impianto sostituito;

# Motivazioni del WP5



Sia per l'edilizia residenziale che per le scuole è necessaria un'azione diffusa di riduzione del rischio sismico. Per ottenere questo obiettivo: interventi rapidi e di costo contenuto

Per l'edilizia residenziale: basso impatto significa interventi che si possono eseguire senza lavorazioni importanti all'interno, senza richiedere lo sgombero degli spazi e possibilmente senza interrompere l'uso delle case da parte dei condomini

Per le scuole: politiche generali legate non solo al rischio sismico, ma anche allo stato di manutenzione, alle condizioni degli impianti e dei servizi, a considerazioni su altri rischi e alle esigenze legate alla popolazione scolastica.

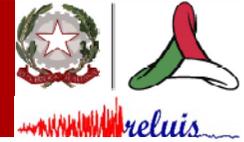
Dove si decide di intervenire: basso impatto significa mirare ad interventi effettuabili in pochi mesi (pausa estiva) e/o compatibili con continuità di utilizzo della scuola

# Interventi locali per strutture in c.a.



Spesso questo porta a ricorrere ad interventi locali (8.4.1 delle NTC 2008)

E' sempre necessario valutare caso per caso se ci sono le condizioni per effettuare un intervento locale (ad esempio escludendo che ci siano cedimenti in fondazione, quadri fessurativi significativi, gravi carenze nei materiali, gravi carenze di tipo gravitazionale, etc.)



## Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 13 novembre 2010, n. 3907

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

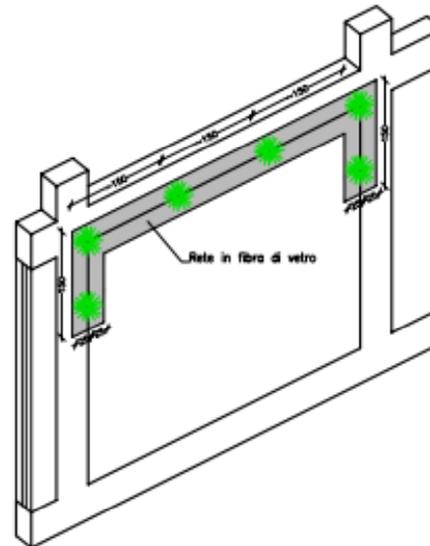
Per gli interventi di rafforzamento locale su edifici, la verifica di assenza di carenze gravi richiamate al comma 3 dell'articolo 9 può essere considerata soddisfatta se l'edificio rispetta contemporaneamente tutte le condizioni di seguito riportate. Tali condizioni sono valide solo ai fini del contributo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

- b. Per edifici in calcestruzzo armato, in acciaio o in combinazione con le seguenti caratteristiche:
- realizzazione successiva al 1970;
  - struttura caratterizzata da un sistema resistente alle forze orizzontali in entrambe le direzioni ortogonali,
  - altezza non oltre 4 piani fuori terra;
  - forma in pianta relativamente compatta;
  - assenza di danni strutturali medio - gravi visibili,
  - tensione media di compressione negli elementi strutturali verticali portanti in cemento armato per effetto dei soli carichi permanenti e variabili inferiore a 4 MPa;
  - tensione media di compressione negli elementi strutturali verticali portanti in acciaio per effetto dei soli carichi permanenti e variabili inferiore a 1/3 della tensione di snervamento e snellezza massima delle colonne inferiore a 100
  - buone condizioni di conservazione.

## METODO SEMPLIFICATO LG SISMA BONUS

### ➤ EDIFICI IN C.A.

- E' possibile passare alla classe di rischio immediatamente superiore se:
- **Presenza di telai in entrambe le direzioni**
  - **Confinamento di tutti i nodi perimetrali non confinati dell'edificio**
  - **Anti-ribaltamento su tutte le tamponature di facciata**
  - **Ripristino di eventuali zone danneggiate o degradate**



**Incremento di 1 classe**

# IL PROGETTO DPC-ReLUIS 2019-2021

(WP5 Interventi di rapida esecuzione a basso impatto ed integrati)



## **Task 5.1 – Interventi di rapida esecuzione e a basso impatto**

- ✓ messa a punto di strategie e tecniche di intervento volte alla ottimizzazione dei risultati a fronte di tempi, costi e grado di invasività limitato

## **Task 5.2 – Interventi integrati e sostenibili per la riqualificazione di edifici esistenti**

- ✓ messa a punto di strategie di intervento che integrino l'incremento di prestazioni strutturali con l'efficienza energetica valutando le prestazioni e la sostenibilità generale degli interventi con riferimento alla riduzione dei consumi e delle perdite attese

## **Task 5.3 – Interventi su edifici vincolati monumentali e/o di culto**

- ✓ messa a punto di strategie di intervento per gli edifici vincolati monumentali e di culto

## **Task 5.4 – Interventi di miglioramento ed adeguamento di ponti esistenti**

- ✓ definizione di interventi per i ponti esistenti al fine di migliorarne le prestazioni strutturali e valutare e contenere gli effetti del degrado

# UNITA' COINVOLTE

(WP5- C.A.)



## Unità coinvolte nell'analisi di edifici in C.A.:



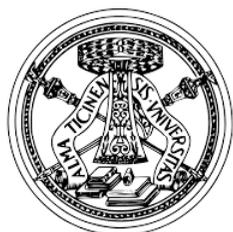
Università di Napoli Federico II  
(prof. A. Prota, R. Landolfo,  
E. Nigro, G.M. Verderame,  
G. Della Corte, C. Menna)



Università della Basilicata  
(Prof. A. Masi)



Università di Udine  
(Prof. G. Russo/M. Pauletta)



Università di Pavia  
(prof. R. Pinho)



Università di Brescia  
(prof. M. Preti)



Politecnico di Torino  
(prof. G. Ferro)



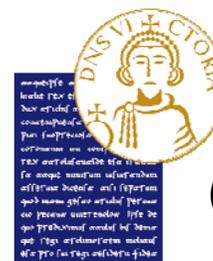
Università di Napoli Parthenope  
(prof. N. Caterino)



Università di Bergamo  
(prof. A. Marini)



IUSS – Pavia  
(prof. R. Monteiro)



Università del Sannio  
(prof. M. Pecce, C. Del Vecchio,  
L. Di Sarno)

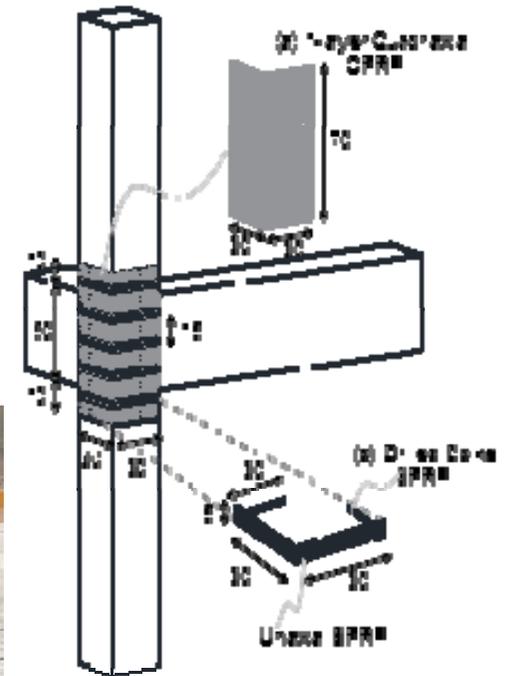
## Rinforzo nodi CAM

(UniNA – Verderame)



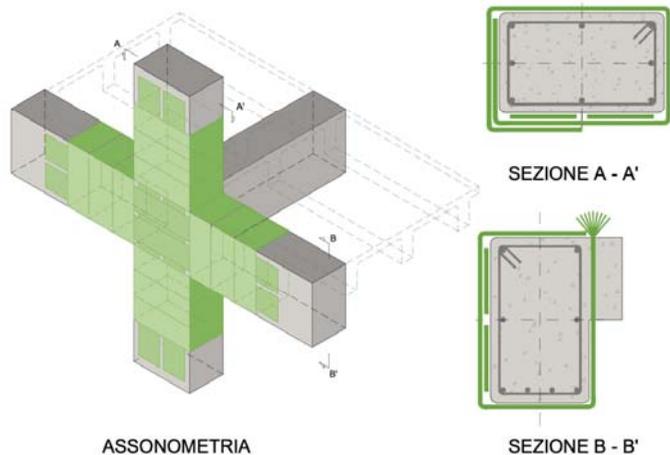
## Rinforzo nodi FRP, soluzioni solo esterno

(UniNA – Verderame, Prota, Del Vecchio)



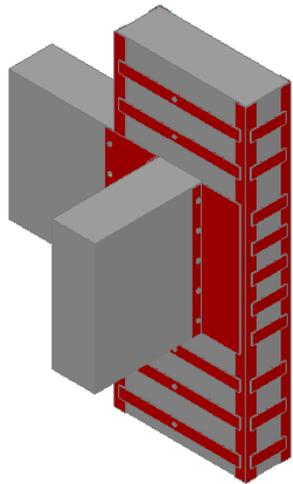
## Rinforzo nodi SFRP

(UniPV – Pinho)

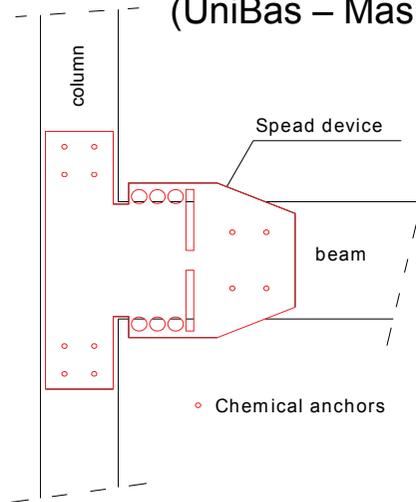


# INTERVENTI CON ACCIAIO

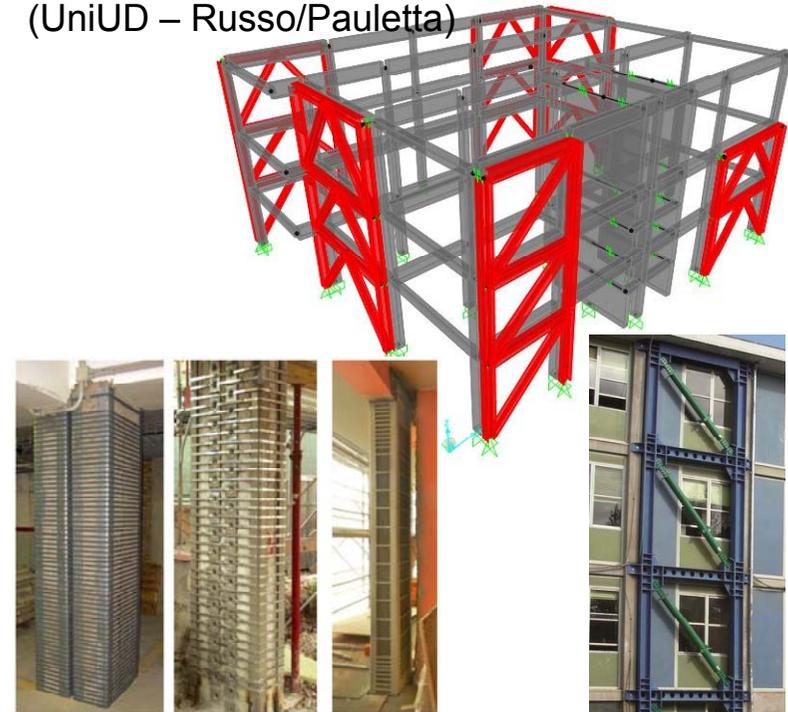
**Rinforzi a taglio con calastrelli**  
(UniSannio – Pecce)



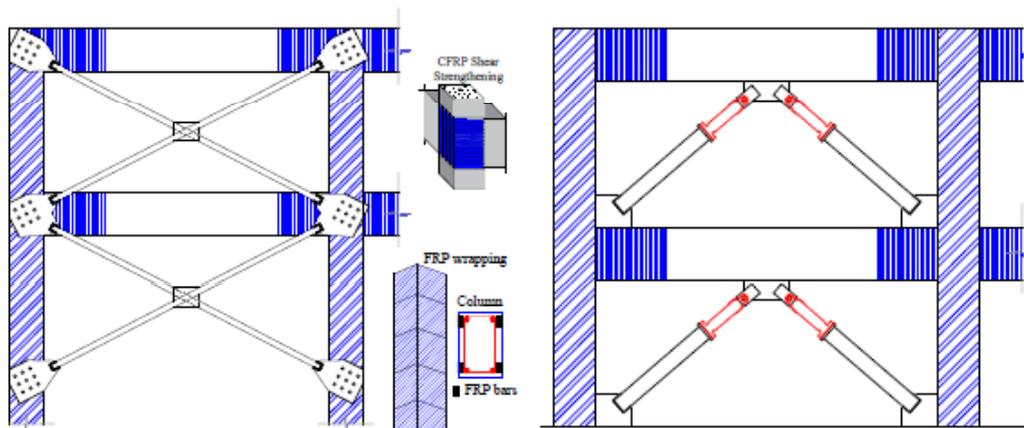
**Rinforzi con piatti dissipativi**  
(UniBas – Masi)



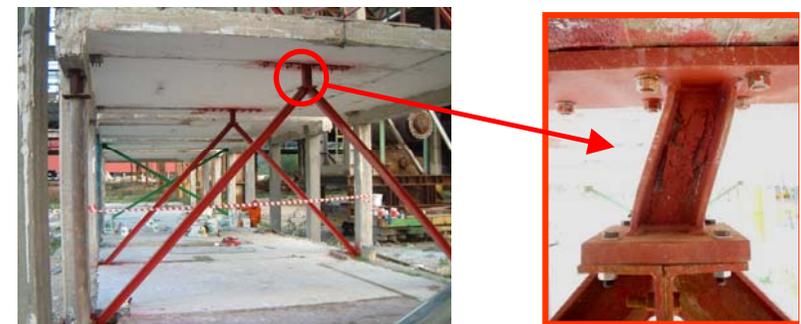
**Controventi esterni + CAM**  
(UniUD – Russo/Pauletta)



**Controventi + FRP** (IUSS – Monteiro)

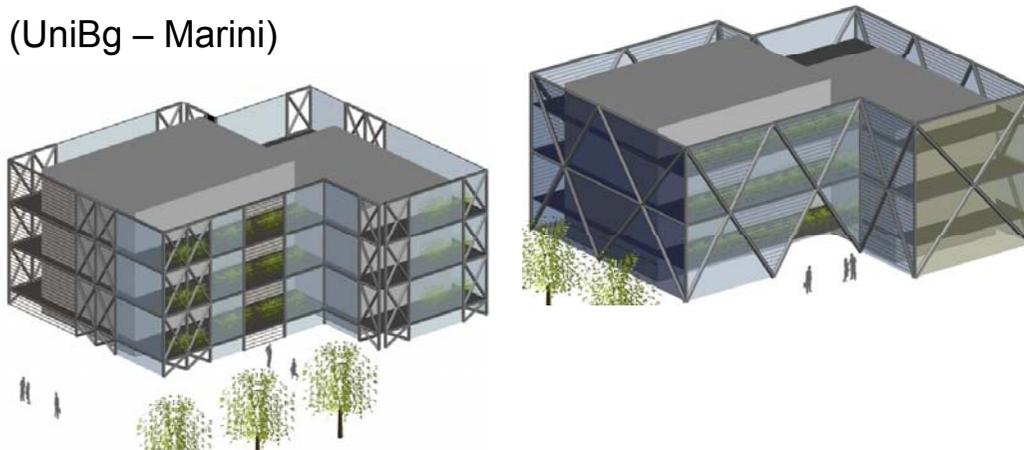


**Controventi con shear key**  
(UniNa – Della Corte)



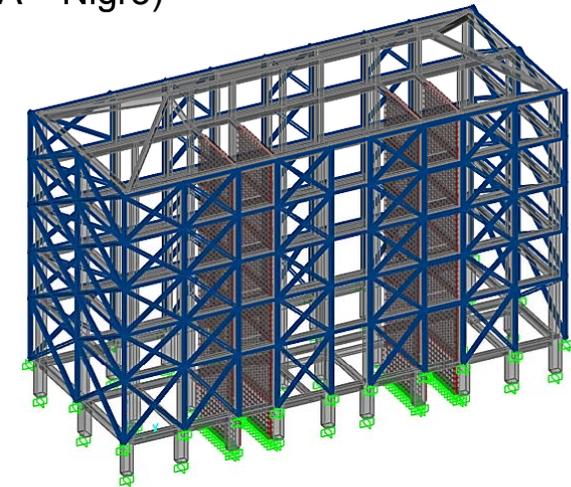
## Esoscheletri in acciaio

(UniBg – Marini)

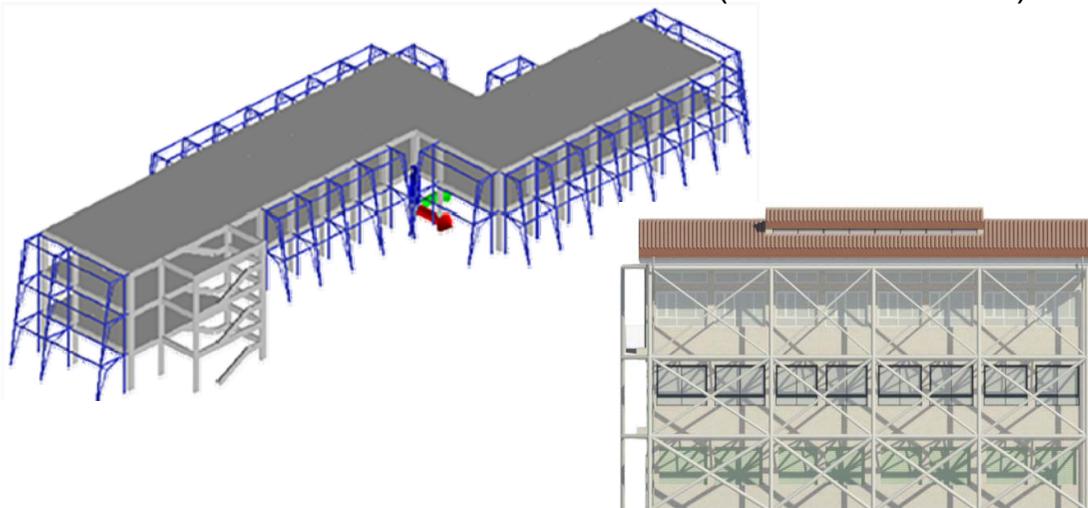


## Esoscheletri + interazione SSI

(UniNA – Nigro)

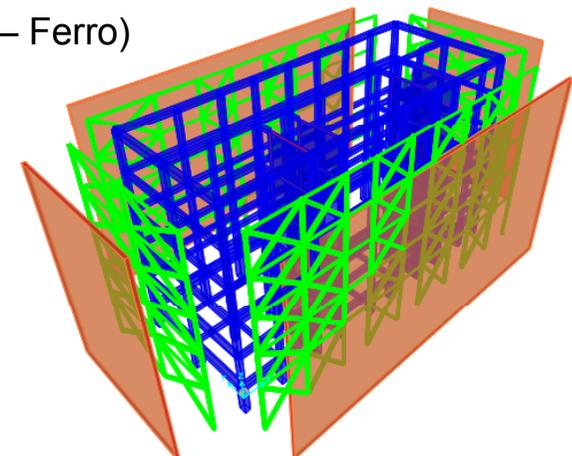


## Esoscheletri in acciaio (UniNa – Landolfo)



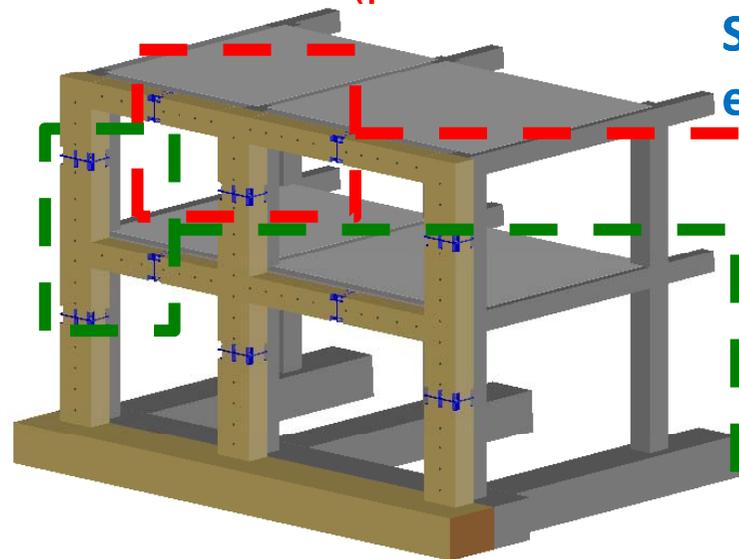
## Esoscheletri + cappotto termico

(PoliTO – Ferro)

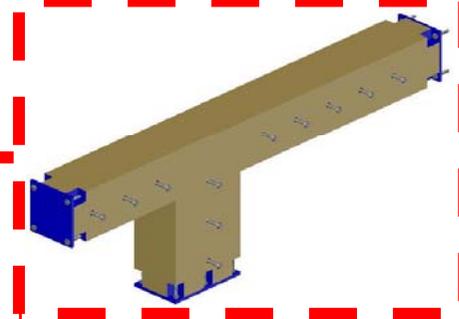


# NUOVI TELAI IN C.A.

Nuovi telai in c.a. (prefabbricati o in opera) (UniBas – Masi)



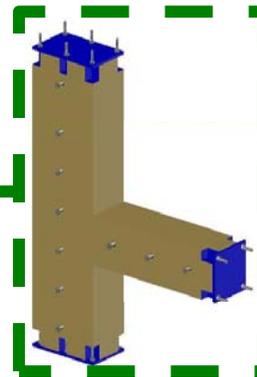
**Struttura  
esistente**



*Nodo con due travi-una colonna*

**Nuovi telai**

**Schema resistente**



*Nodo con due colonne-una trave*

- **Nuovi telai** → **azioni sismiche**

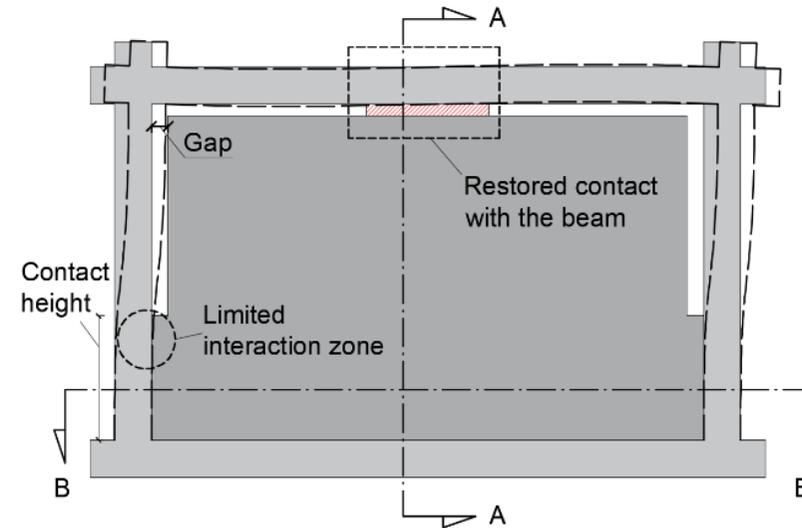
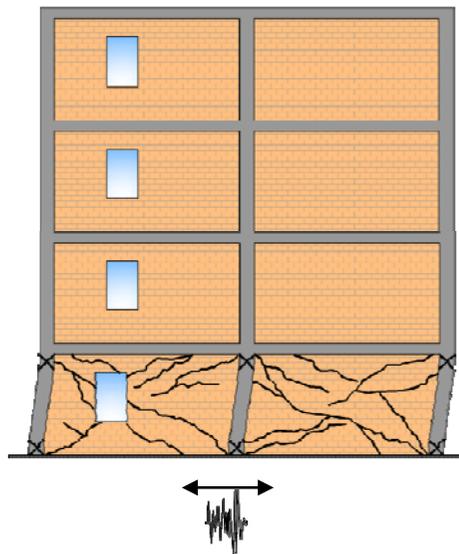
**VANTAGGI**- **Struttura esistente** → **carichi verticali**

- Incremento «modulare» progressivo delle prestazioni sismiche (in funzione di  $\zeta_E$  richiesto)
- Possibilità di regolarizzare la risposta strutturale
- Sostituibilità futura dei singoli «moduli» (es. var. di destinazione d'uso)
- Possibilità di inserire nuovi pannelli di tamponatura (ulteriore incremento prestazioni energetiche e sismiche)
- **Lavorazioni solo dall'esterno** → **pieno utilizzo degli ambienti interni**

# INTERVENTI DI PROTEZIONE DELLE TAMPONATURE

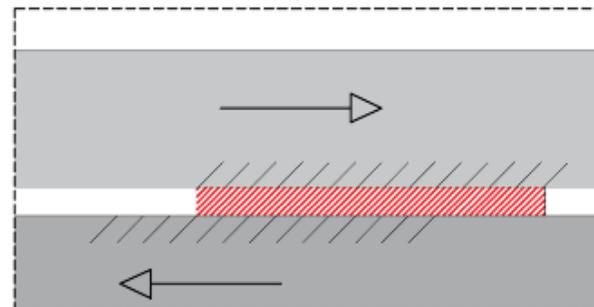
## Tamponature non collaboranti (UniBG – Preti)

### INTERAZIONE TELAIO-TAMPONAMENTO

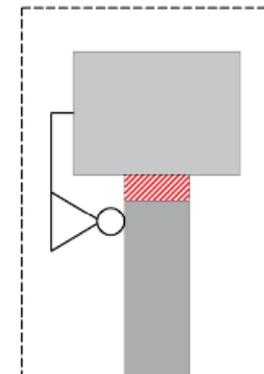


## Giunto superiore

In-plane

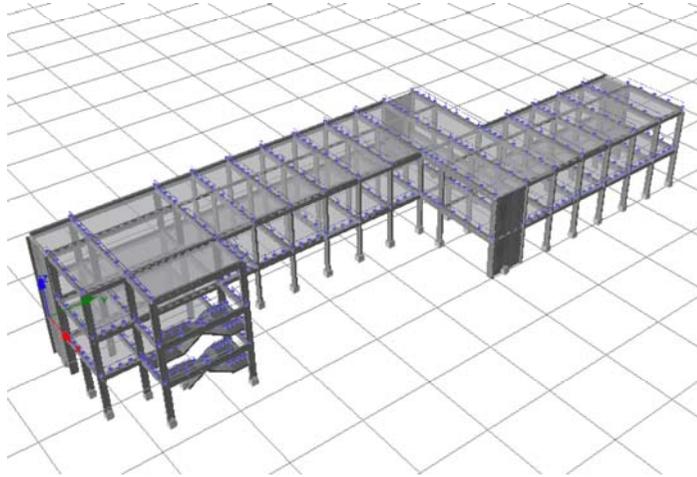


Out-of-plane

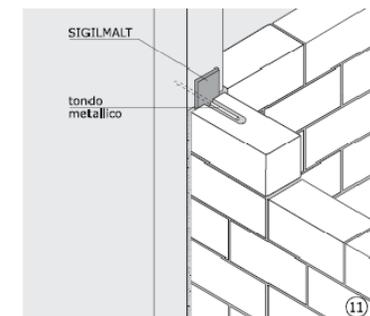
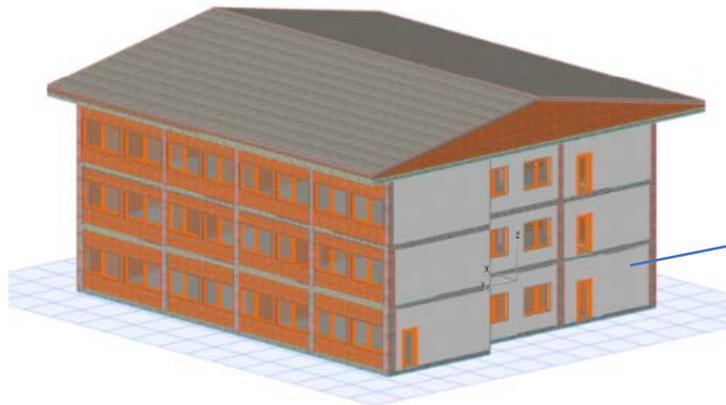


# NUOVI ELEMENTI IN C.A. / TAMPONATURE COLLABORANTI

## Nuovi setti perimetrali in c.a. (UniPV – Pinho)



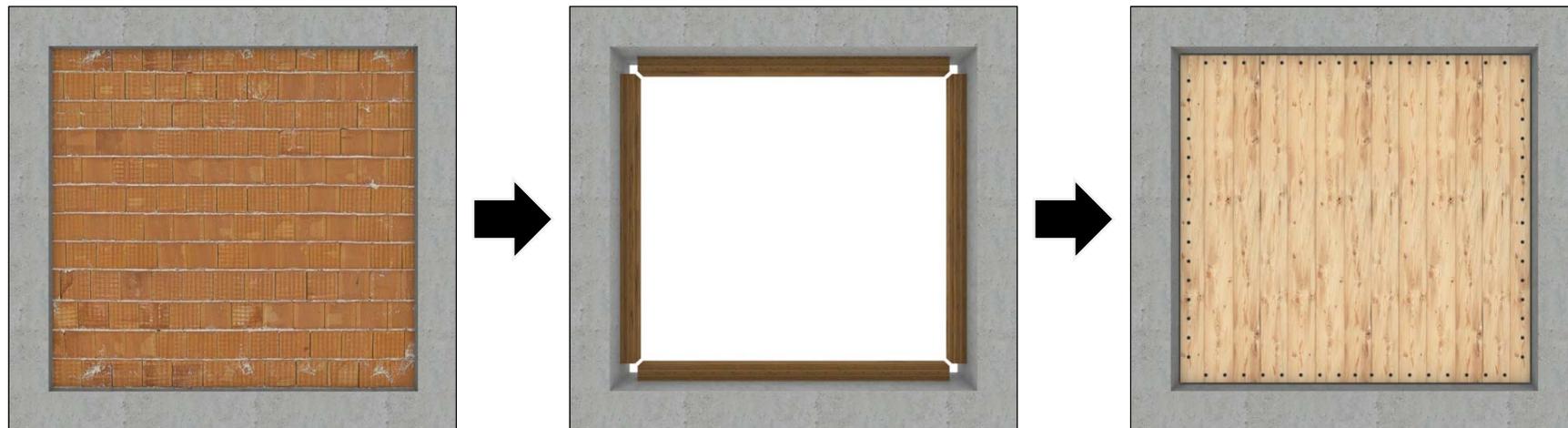
## Tamponature collaboranti in calcestruzzo autoclavato (UniNA – Prota/Menna)



# INTERVENTI CON LEGNO

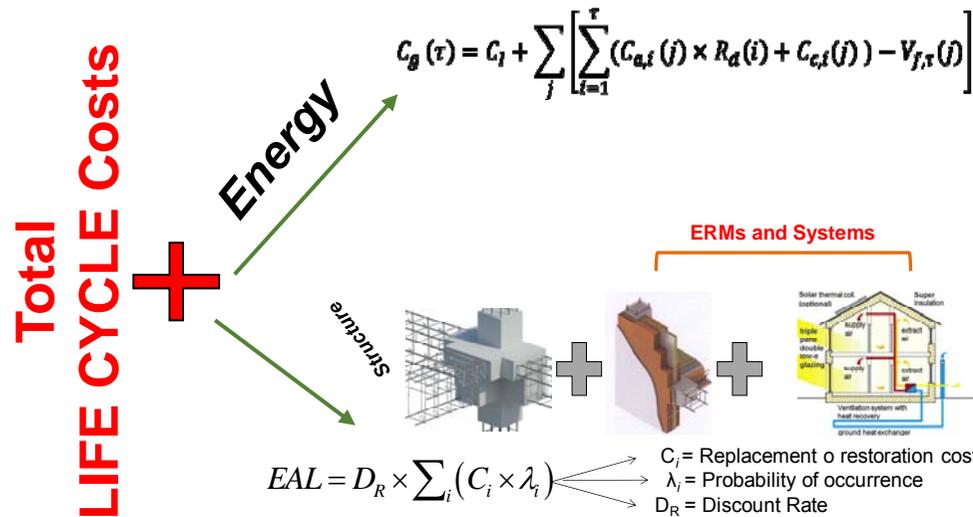
## Interventi con tamponamenti in legno (UniTN – Piazza/Giongo)

Miglioramento sismico di edifici a telaio in c.a. attraverso la sostituzione dei tamponamenti murari con pannelli in CLT

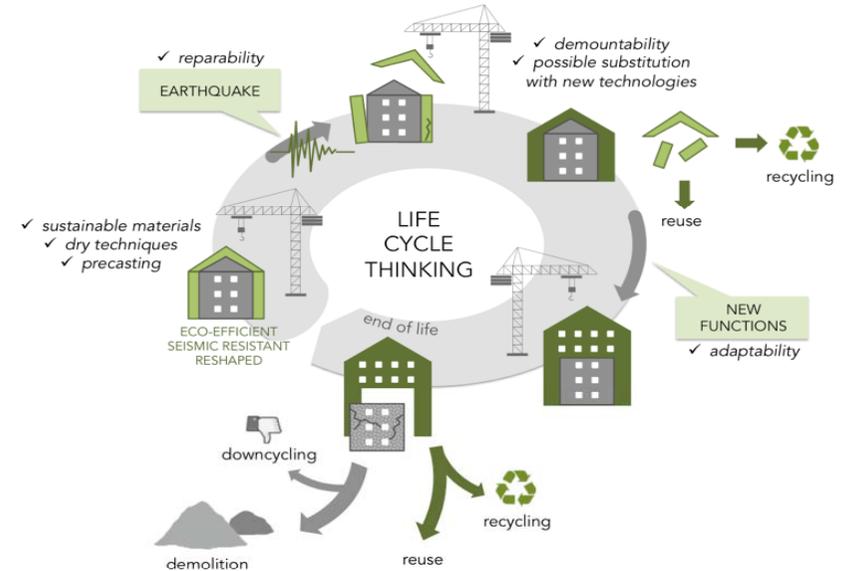


# METODOLOGIE DI SELEZIONE DELL'INTERVENTO

## Metodologia di progettazione integrata (UniNA – Prota/Menna)

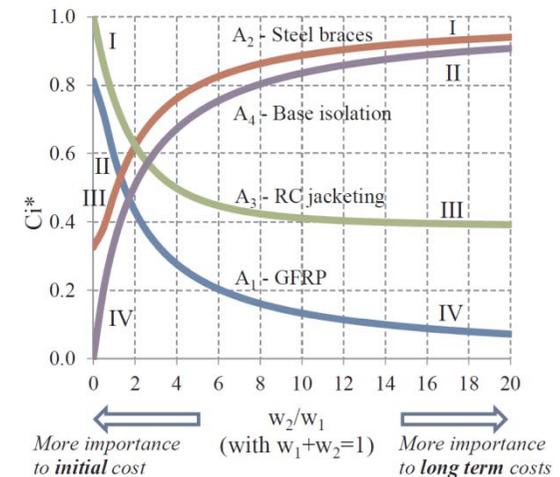


## Life Cycle thinking (UniBG – Marini)



## Analisi costi-benefici (UniParthenope - Caterino)

- C1: Spese sostenute
- C2: Costi di manutenzione
- C3: Disturbo agli occupanti (durata dei lavori)
- C4: Compatibilità architettonica
- C5: Detrazioni fiscali
- C6: Numero di classi di rischio sismiche incrementate
- C7: Perdite economiche attese



# I CASI STUDIO

(edilizia scolastica e residenziale in C.A.)

Sono stati selezionati 4 casi studio rappresentativi del costruito esistente:

Edilizia scolastica:

1) Scuola media Parozzani, Isola del Gran Sasso (TE)



2) Scuola Primaria Santini, Loro Piceno (MC)



Edilizia residenziale:

3) Edificio residenziale ALER - social housing  
Toscolano Maderno (BS)



4) Edificio residenziale IACP, Torino (TO)



## Livello 1

**Interventi di rafforzamento locale (solo esterno)**

*(rinforzo locale nodi e pilastri vano scala con FRP, FRCM, calastrelli acciaio, antiribaltamento tamponature di facciata)*

*(sostituzione infissi, isolamento copertura, valvole termostatiche)*

## Livello 2

**Interventi di rafforzamento locale (anche interno)**

*(Livello 1 + rinforzo pilastri per azioni da interazione tamponatura)*

*(Livello 1 + insufflaggio tamponature perimetrali  
efficientamento impianti)*

## Livello 3

**Interventi di miglioramento (impatto e prestazioni elevate)**

*(controventi dissipativi esterni + FRP, esoscheletri, setti in c.a.,  
isolamento alla base)*

*(Livello 1 + cappotto termico, impianti ad alto rendimento, fonti rinnovabili)*

Invasività crescente

Prestazioni crescenti

# APPLICAZIONE AI CASI STUDIO

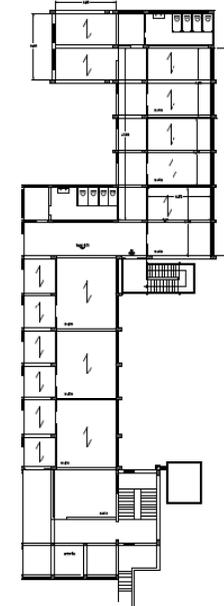
(edilizia scolastica C.A.)

In prima istanza la metodologia è stata applicata a due edifici scolastici:

## 1) Scuola media Parozzani, Isola del Gran Sasso (TE), (1960-1970)



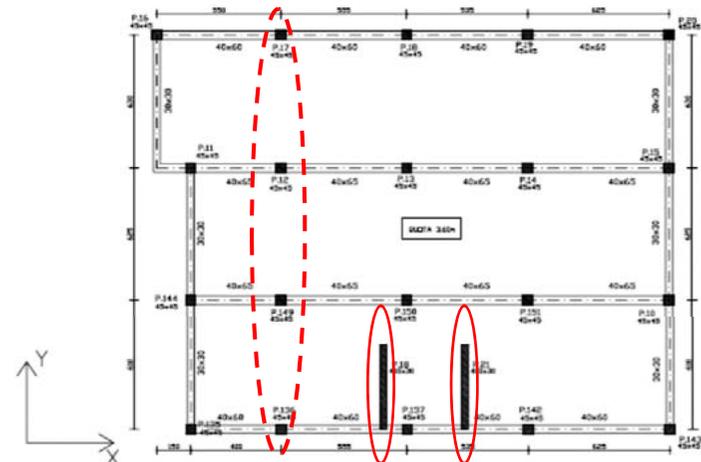
- Pianta allungata ( 2 livelli)
- Zona sismica 1
- Telai in entrambe direzion
- $f_{cm} = 20$  Mpa
- carenza di staffe e dettagli sismici



## 2) Scuola Primaria Santini, Loro Piceno (MC), (1960- 1970)



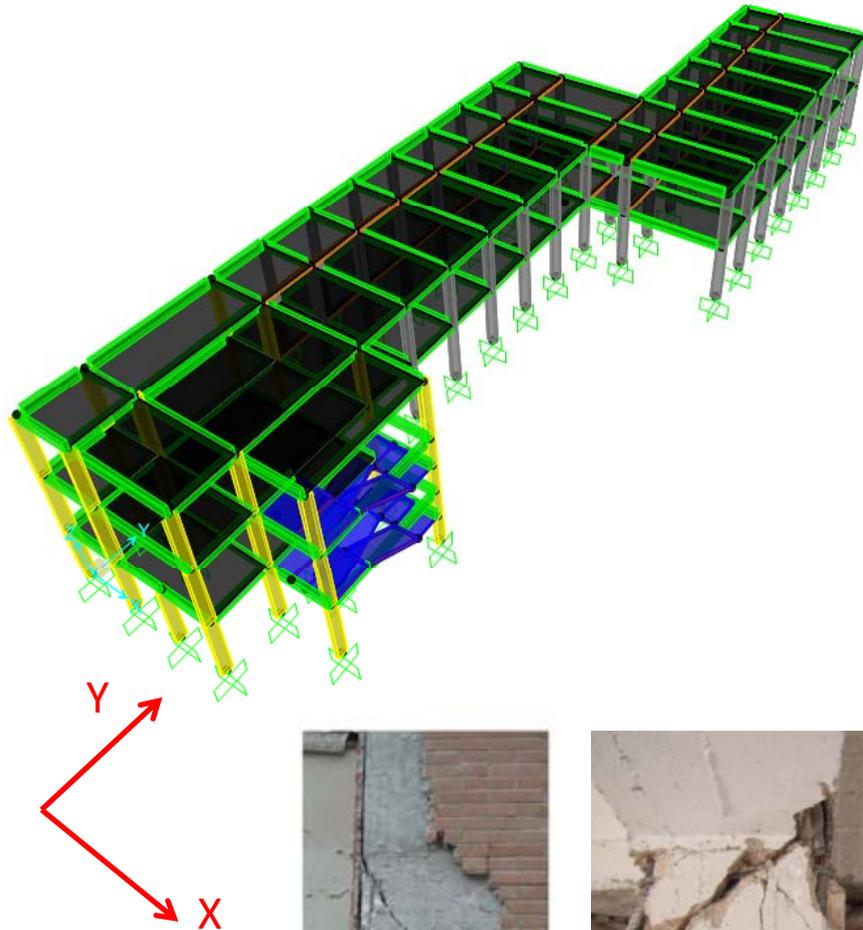
- Pianta compatta ( 3 livelli)
- Zona sismica 1
- Telai in una sola direzione
- Setti in c.a.
- $f_{cm} = 20$  Mpa
- carenza di staffe e dettagli sismici



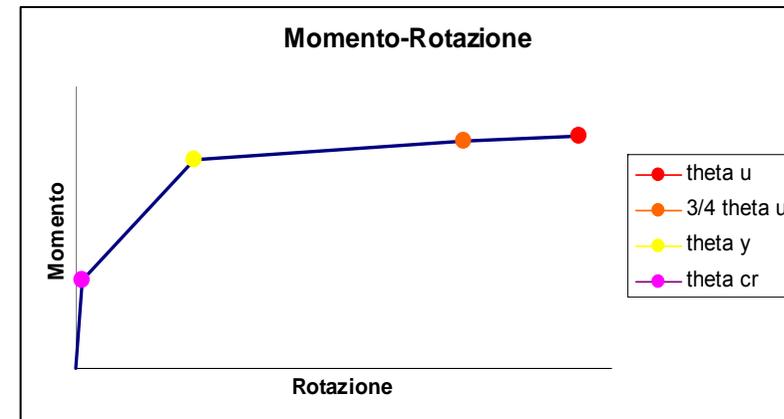
# APPLICAZIONE AI CASI STUDIO

(edilizia scolastica C.A.)

Analisi non lineare a plasticità concentrata:



Cerniere plastiche caratterizzate secondo NTC 2018 (Circ. 2019)

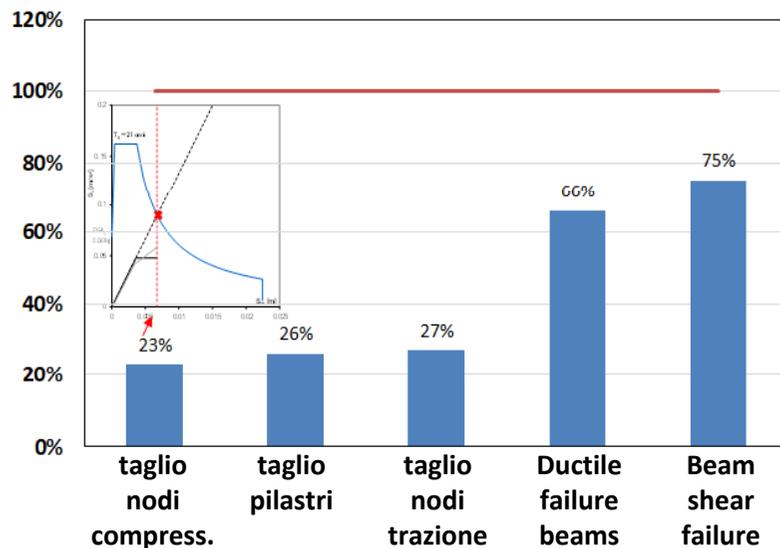
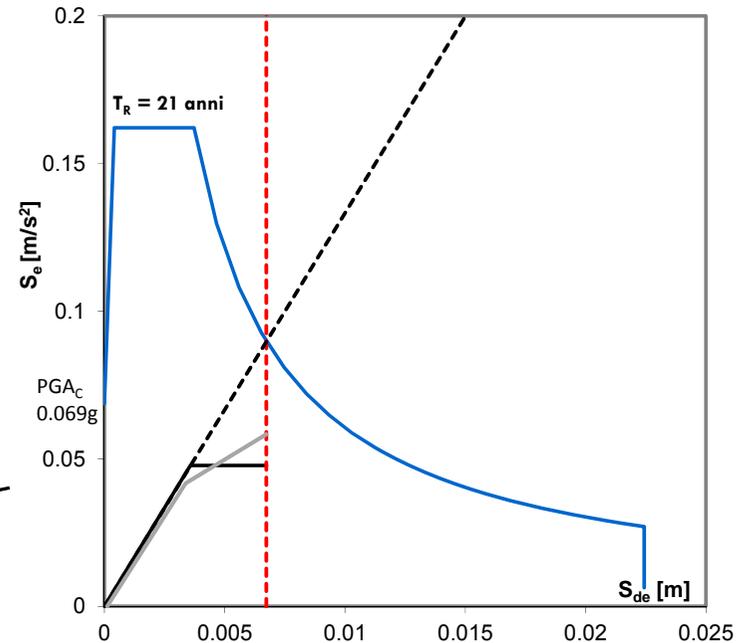
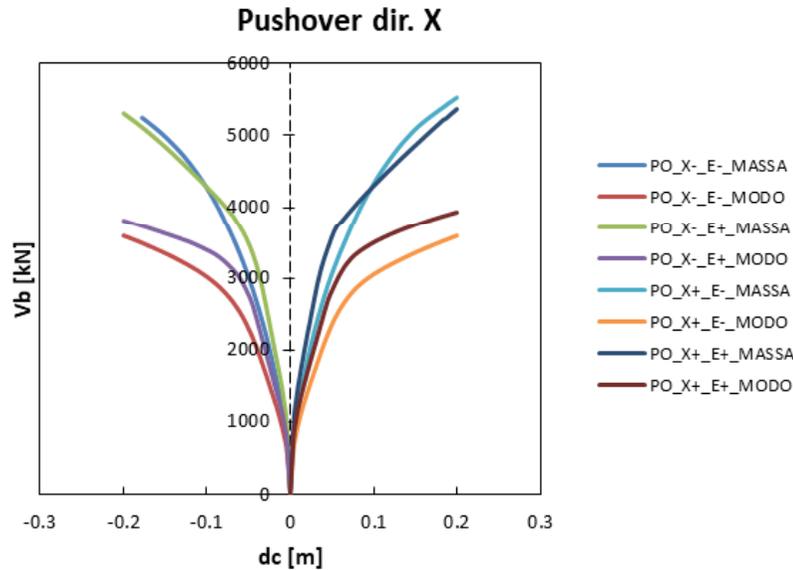


L'occorenza di crisi fragili di travi, pilastre nodi è stata verificata in fase di post-processing dei dati

# APPLICAZIONE AI CASI STUDIO

(edilizia scolastica C.A.)

L'analisi di vulnerabilità sismica nella configurazione as-built:



$$\zeta_E = \text{PGA}_C / \text{PGA}_D = 23\% \text{ (caso studio 1)}$$

Crisi a taglio nodi e pilastri vano scala

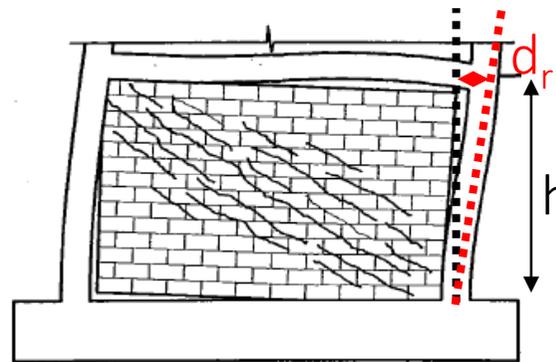
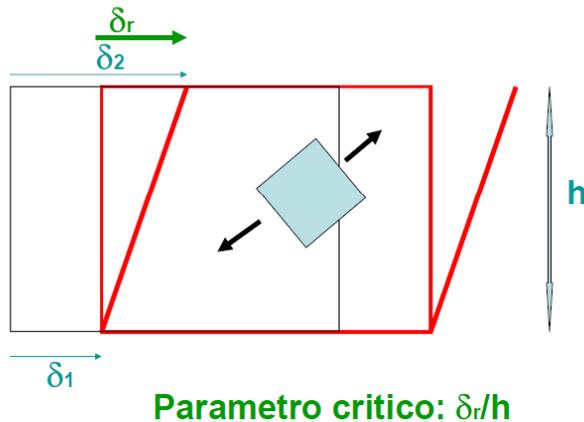
$$\zeta_E = \text{PGA}_C / \text{PGA}_D = 11\% \text{ (caso studio 2)}$$

Crisi a taglio nodi e pilastri vano scala

# APPLICAZIONE AI CASI STUDIO

(edilizia scolastica C.A.)

## Verifiche Stato Limite di Danno (SLD) :



(caso studio 1)

Direz. X  $\frac{\delta_{rX}}{h} = \frac{9.27 \text{ mm}}{3750 \text{ mm}} = 0,0025 < 0,005 \rightarrow \text{Verificato}$

Direz. Y  $\frac{\delta_{rY}}{h} = \frac{16.57 \text{ mm}}{3750 \text{ mm}} = 0,0044 < 0,005 \rightarrow \text{Verificato}$

(caso studio 2)

Direz. X  $\frac{\delta_{rX}}{h} = \frac{9.00 \text{ mm}}{3950 \text{ mm}} = 0,0023 < 0,005 \rightarrow \text{Verificato}$

Direz. Y  $\frac{\delta_{rY}}{h} = \frac{6.66 \text{ mm}}{3950 \text{ mm}} = 0,0017 < 0,005 \rightarrow \text{Verificato}$

→ Pareti collaboranti

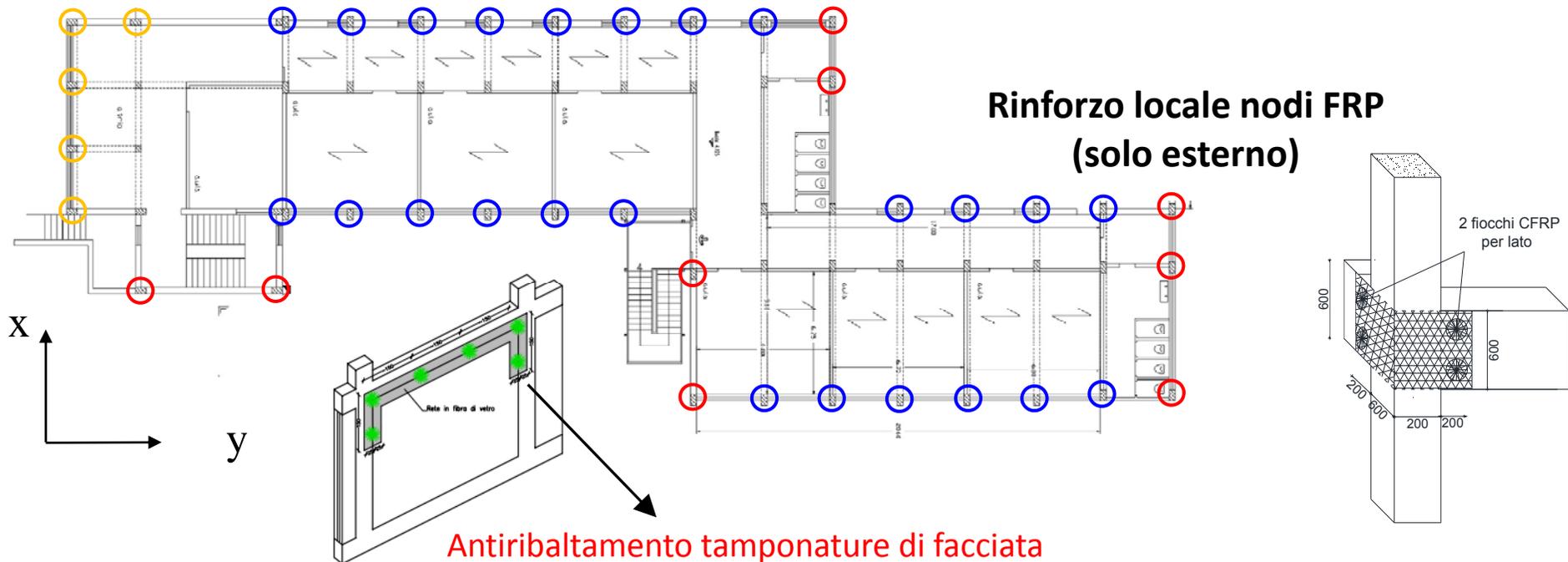
# INTERVENTI LIVELLO 1

(edilizia scolastica C.A.)

## Livello 1

**Interventi di rafforzamento locale (solo esterno)**  
*(rinforzo locale nodi e pilastri vano scala con FRP, antiribaltamento tamponature)*  
*(sostituzione infissi, isolamento copertura, valvole termostatiche)*

- Target prestazionali:
- $\zeta_E = 60\%$  (minimo richiesto NTC 2018 per le scuole)
  - riduzione consumi energetici PEC = -20%



# INTERVENTI LIVELLO 1

(edilizia scolastica C.A.)



DPC-ReLUIS  
2019-2021 WP5

Sono stati integrati con interventi di efficientamento energetico a basso impatto ed applicabili prevalentemente dal solo esterno:

## Involucro: Interventi locali dall'esterno

### 1. Isolamento termico della copertura

(trasmissione termica da 1.2 W/m<sup>2</sup>K a 0.26 W/m<sup>2</sup>K)

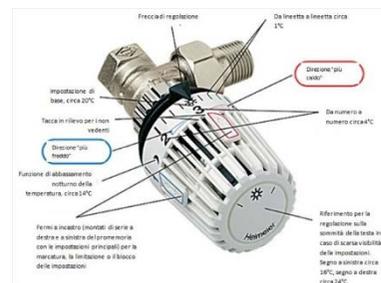
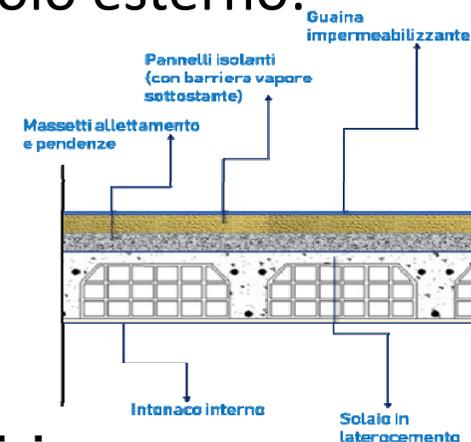
### 2. Sostituzione dei componenti trasparenti dell'involucro edilizio

(La trasmissione termica passa da 5.7 W/m<sup>2</sup>K a 1.9 W/m<sup>2</sup>K

il fattore solare passa da 0.80 a 0.55)

## Impianti

### 3. Installazione di valvole termostatiche e in corrispondenza dei corpi scaldanti



Risultato atteso: Salto di 1/2 classi energetiche, da F a E

(se non si interviene sugli impianti)

D (se si interviene sugli impianti).

# INTERVENTI LIVELLO 2

(edilizia scolastica C.A.)

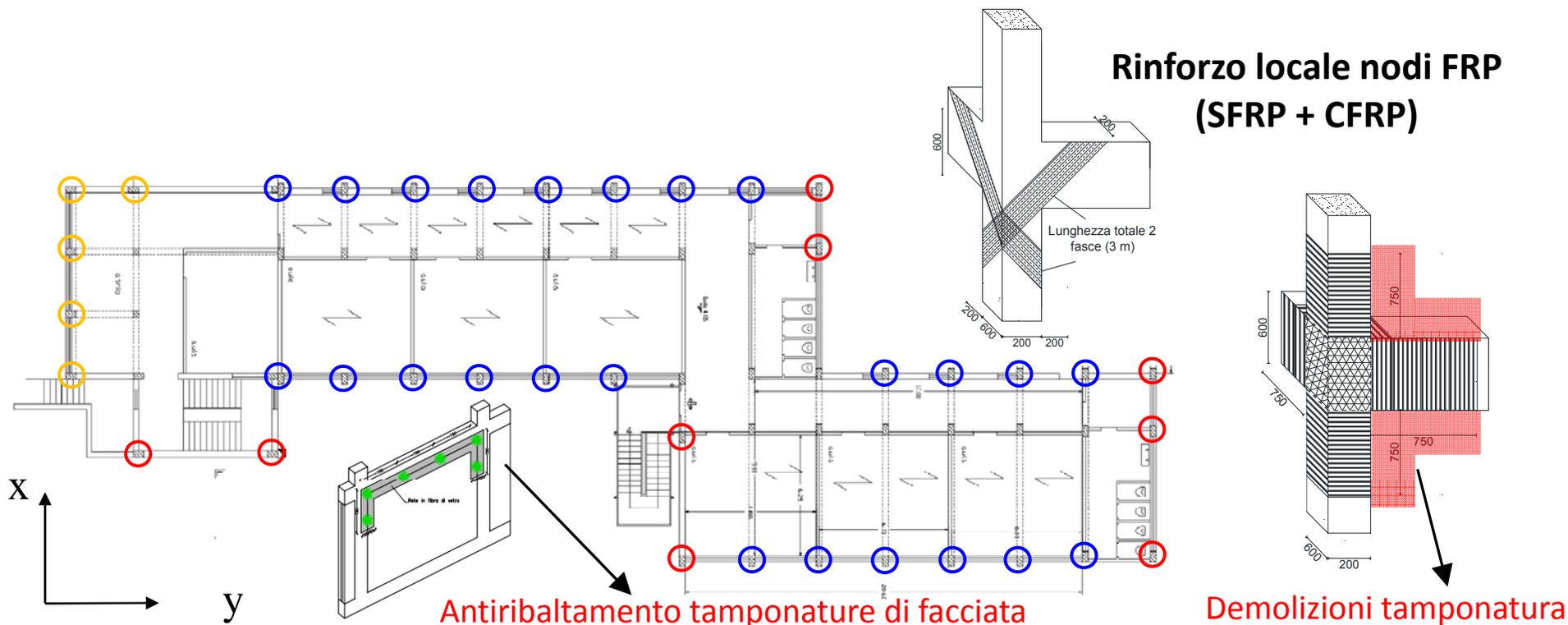
## Livello 2

### Interventi di rafforzamento locale *(anche interno)*

*Livello 1 + rinforzo pilastri per azioni da interazione con la tamponatura*

*(Livello 1 + insufflaggio tamponature perimetrali, efficientamento impianti)*

- Target prestazionali:
- $\zeta_E = 60\%$  (minimo richiesto NTC 2018 per le scuole)
  - riduzione consumi energetici **PEC = -40%**



# INTERVENTI LIVELLO 2

(edilizia scolastica C.A.)



DPC-ReLUIS  
2019-2021 WP5

Sono stati integrati con interventi di efficientamento energetico a compatibili con il livello di disturbo:

## In aggiunta agli interventi proposti al Livello 1

### Involucro: Interventi diffusi dall'esterno

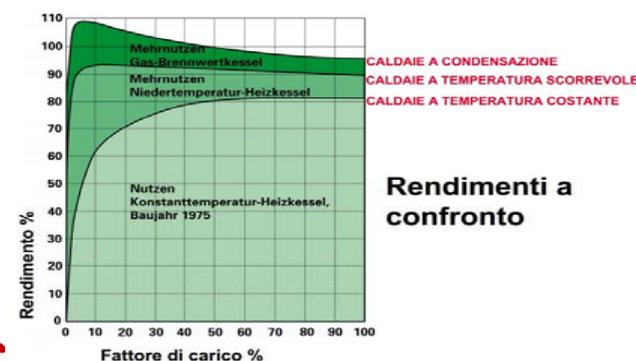
1. **Isolamento termico delle pareti verticali a cassa vuota attraverso l'insufflaggio di isolante termico** (trasmittanza termica da 1.1 W/m<sup>2</sup>K a 0.28 W/m<sup>2</sup>K)



### Impianti

2. **Installazione di una caldaia ad alto rendimento della potenza di circa 80kW**

Risultato atteso: Salto di **3/4 classi energetiche, da F a C**  
(se non si interviene sugli impianti)  
**B** (se si interviene sugli impianti).



# INTERVENTI LIVELLO 3

(edilizia scolastica C.A.)

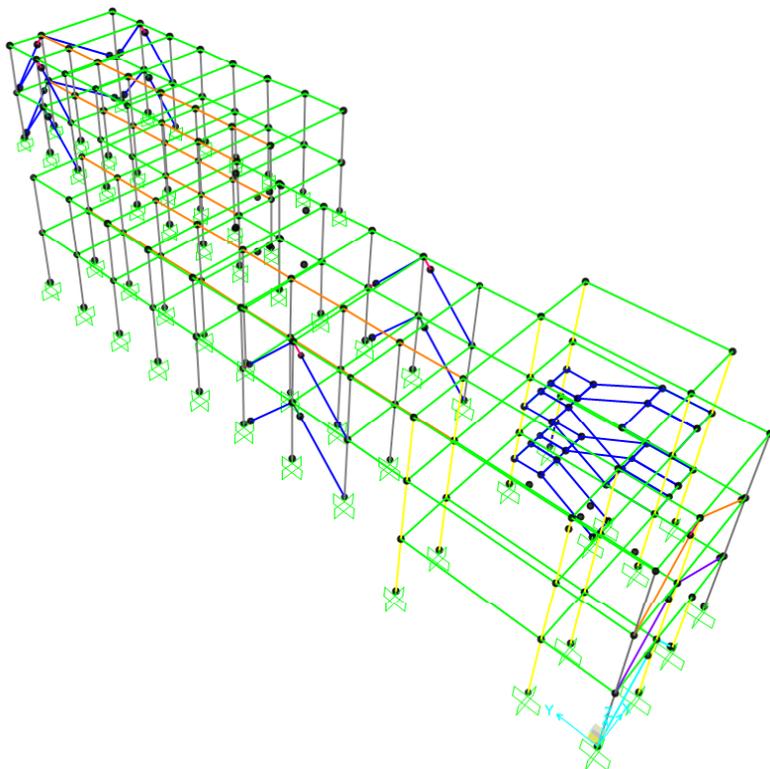
## Livello 3

**Interventi di miglioramento (*impatto e prestazioni elevate*)**

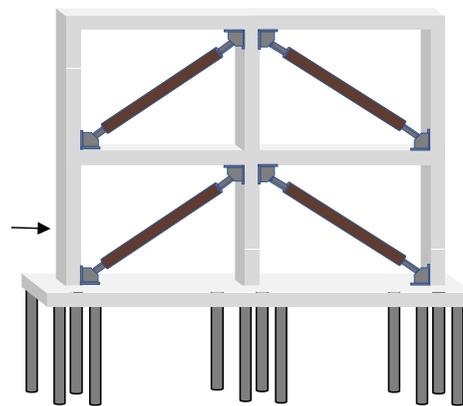
*(controventi dissipativi esterni, ringrossi + FRP, ringrosso fondazioni)*

*(Livello 1 + cappotto termico, impianti ad alto rendimento, fonti rinnovabili)*

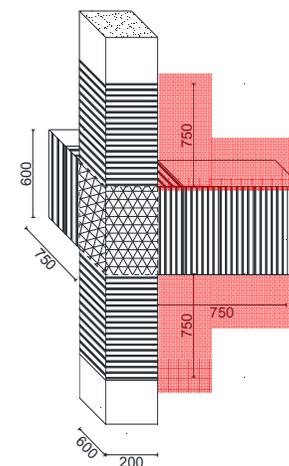
- Target prestazionali:
- $\zeta_E = 100\%$  (adeguamento)
  - riduzione consumi energetici **PEC = -60%**



**Controventi dissipativi  
(campate perimetrali)**



**Rinforzo locale nodi FRP  
(SFRP + CFRP)**



# INTERVENTI LIVELLO 3

(edilizia scolastica C.A.)

Sono stati integrati con interventi su involucro ed impianti per raggiungere elevata efficienza energetica:

In aggiunta agli interventi proposti al Livello 1

## Involucro: Interventi diffusi dall'esterno

### 1. cappotto termico esterno dello spessore di 8 cm

(trasmissione termica da 1.1 W/m<sup>2</sup>K a 0.27 W/m<sup>2</sup>K)

## Impianti

### 2. Installazione di una pompa di calore aria-acqua (raffreddata ad aria)

### 3. Installazione di pannelli fotovoltaici in copertura in silicio polii-cristallino

potenza elettrica dell'impianto fotovoltaico circa 60 kW

### 4. Sostituzione dei corpi illuminanti con sistemi LED ad alta efficienza

Salto di **3/4 classi energetiche, da F a C**

**A3** (se si interviene sugli impianti).



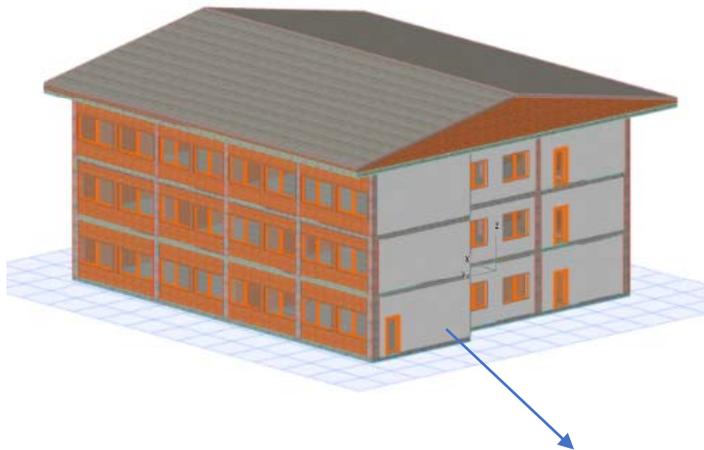
# INTERVENTI LIVELLO 3-bis

(edilizia scolastica C.A.)

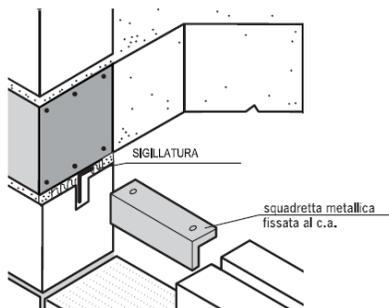
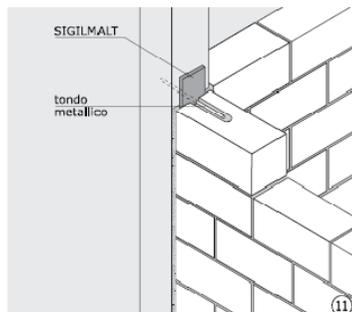
## Livello 3

**Interventi di miglioramento** (*impatto e prestazioni elevate*)  
(*tamponature collaboranti in calcestruzzo autoclavato*)  
(*Livello 1 impianti ad alto rendimento, fonti rinnovabili*)

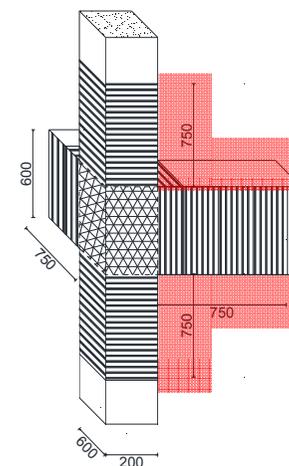
- Target prestazionali:
- $\zeta_E = 100\%$  (adeguamento)
  - riduzione consumi energetici **PEC = -60%**



### Collegamento al pilastro



### Rinforzo locale nodi FRP (SFRP + CFRP)



# ANALISI DEI COSTI

(edilizia scolastica C.A.)

## Livello 1-2-3: Confronto analisi costi-benefici

Livello di Progettazione	Descrizione	Caso Studio 1)				Caso Studio 2)			
		OPERE CIVILI	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>3</sup>	Sismica	Energ	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>3</sup>	Sismica
Livello I	Parziale strutturale	85.37	26.70			77.92	25.97		
	Opere di efficientamento energetico	173.47	54.26			105.83	35.28		
	<b>TOTALE INTERVENTI</b>	<b>275.85</b>	86.28	<b>B</b>	<b>D</b>	<b>203.75</b>	67.92	<b>B</b>	<b>D</b>
Livello II	Parziale strutturale	204.42	63.94			188.75	62.92		
	Opere di efficientamento energetico	196.60	61.49			132.50	44.17		
	<b>TOTALE INTERVENTI</b>	<b>462.25</b>	144.58	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>341.25</b>	113.75	<b>B</b>	<b>B</b>
Livello III - Controventi	Parziale strutturale	298.64	93.4			285.25	95.08		
	Opere di efficientamento energetico	349.32	109.26			276.67	92.22		
	<b>TOTALE INTERVENTI</b>	<b>664.97</b>	207.98	<b>A+</b>	<b>A3</b>	<b>581.92</b>	193.98	<b>A</b>	<b>A2</b>
Livello III - AAC	Parziale strutturale	-----	-----			309.63	103.21		
	Opere di efficientamento energetico	-----	-----			241.50	80.50		
	<b>TOTALE INTERVENTI</b>	-----	-----	-----	-----	<b>571.13</b>	190.38	<b>A</b>	<b>A3</b>
costi inclusi di	<b>ONERI DELLA SICUREZZA (PSC)</b>								
	Oneri comuni ai vari livelli di progettazione	17.01	5.32			20.00	6.67		

# ANALISI DEI TEMPI DI ESECUZIONE

(edilizia scolastica C.A.)



Livello di Progettazione	Descrizione	Caso Studio 1)			Caso Studio 2)		
		Giorni lavorativi			Giorni lavorativi		
		1 squadra	2 squadre	3 squadre	1 squadra	2 squadre	3 squadre
<b>Livello I</b>	OPERE CIVILI						
	Parziale strutturale	58.33	29.17	19.44	44.69	22.35	14.90
	Opere di efficientamento energetico	72.11	60.38	56.47	37.55	37.55	37.55
	Sicurezza e cantiere	12.78	12.78	12.78	6.21	6.21	6.21
	<b>TOTALE INTERVENTI</b>	<b>5 mesi</b>	<b>3.5 mesi</b>	<b>3 mesi</b>	<b>3 mesi</b>	<b>2.5 mesi</b>	<b>2 mesi</b>
<b>Livello II</b>	Parziale strutturale	169.88	84.94	56.63	108.27	54.13	<b>36.09</b>
	Opere di efficientamento energetico	84.96	69.39	64.20	47.02	47.02	47.02
	Sicurezza e cantiere	18.36	18.36	18.36	8.13	8.13	8.13
	<b>TOTALE INTERVENTI</b>	<b>9 mesi</b>	<b>6 mesi</b>	<b>5 mesi</b>	<b>6 mesi</b>	<b>4 mesi</b>	<b>3 mesi</b>
<b>Livello III - Controventi</b>	Parziale strutturale	<b>204.05</b>	102.02	68.02	163.62	81.81	54.54
	Opere di efficientamento energetico	156.94	102.13	94.30	98.17	49.09	49.09
	Sicurezza e cantiere	23.24	23.24	23.24	11.47	11.47	11.47
	<b>TOTALE INTERVENTI</b>	<b>13 mesi</b>	<b>8 mesi</b>	<b>6.5 mesi</b>	<b>9.5 mesi</b>	<b>5 mesi</b>	<b>4 mesi</b>
<b>Livello III - AAC</b>	Parziale strutturale				140.68	70.34	46.89
	Opere di efficientamento energetico				85.69	42.85	42.85
	Sicurezza e cantiere				11.47	11.47	11.47
	<b>TOTALE INTERVENTI</b>				<b>8 mesi</b>	<b>4.5 mesi</b>	<b>3.5 mesi</b>

# CONSIDERAZIONE CONCLUSIVE



- Le soluzioni di intervento integrate ad impatto crescente risultano efficaci per **incrementare significativamente classe sismica ed efficienza energetica**
- Le soluzioni proposte hanno costi al massimo pari a circa **50% del costo di sostituzione edilizia**
- Saranno necessarie ulteriori **analisi costi-benefici** per confrontare le diverse soluzioni tenendo conto di diverse variabili
- Estensione all'edilizia residenziale (in corso)
- Pubblicazione dei **Casi Studio** per supportare i professionisti e i decisori

Dopo 6 MESI... abbiamo persino  
voglia di TORNARE A SCUOLA  
Buon anno a tutti!!!

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE!**