



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



LA RICERCA ITALIANA IN  
INGEGNERIA SISMICA E LE ATTIVITÀ DI RELUIS  
A 40 ANNI DAL TERREMOTO CAMPANO-LUCANO

WEBINAR  
LUNEDÌ 23 NOVEMBRE 2020 - ORE 14,30

## **Interventi integrati leggeri, rapidi e a basso impatto per costruzioni in cemento armato**

prof. ing. Andrea Prota

Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura

Università di Napoli Federico II

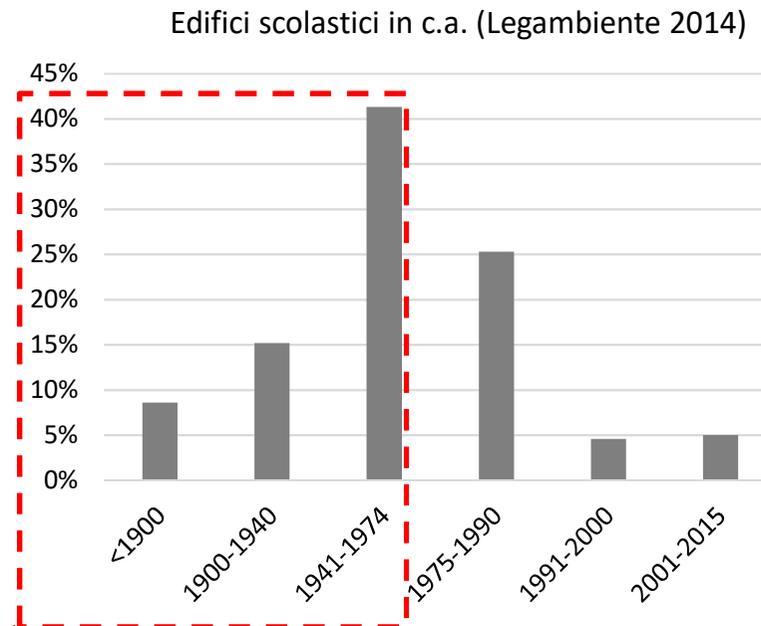
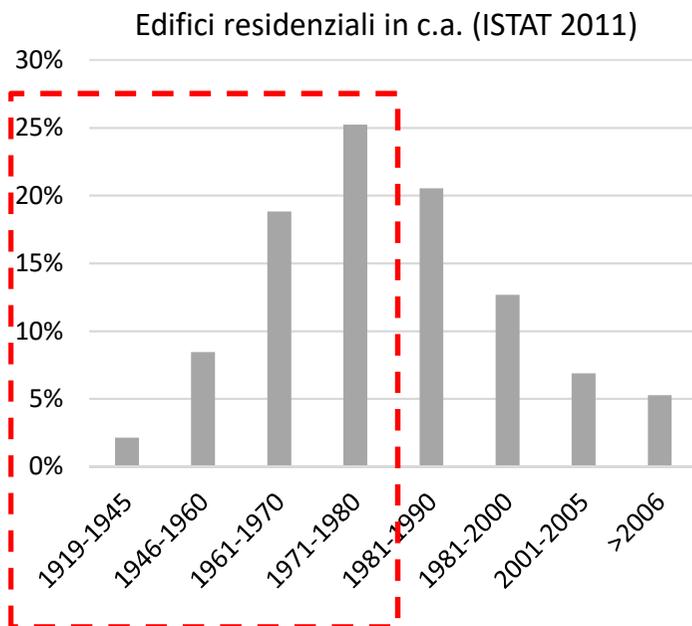
[aprota@unina.it](mailto:aprota@unina.it)

23 novembre 2020



# Problematica generale

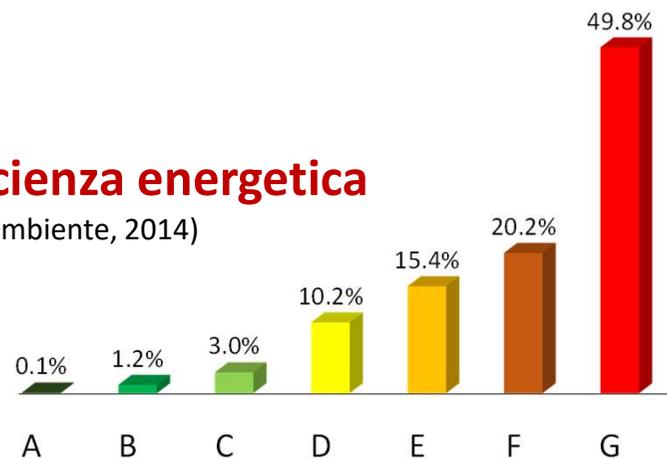
Gli edifici esistenti in c.a. (scolastici e residenziali) sono molto vetusti



Più del 50% sono stati costruiti prima degli anni 80

## Scarsa efficienza energetica

(Legambiente, 2014)



# NECESSARIO INTEGRARE STRUTTURE ED ENERGETICA

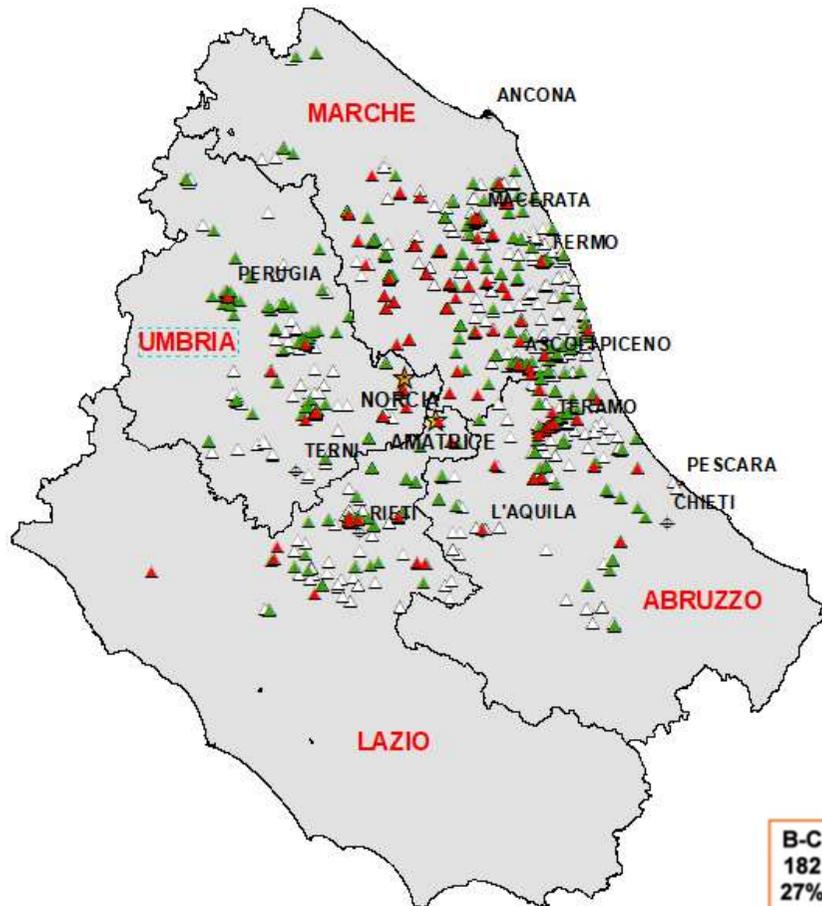
Molti edifici sono stati rinnovati di recente facendo attenzione principalmente a migliorarne l'efficienza energetica



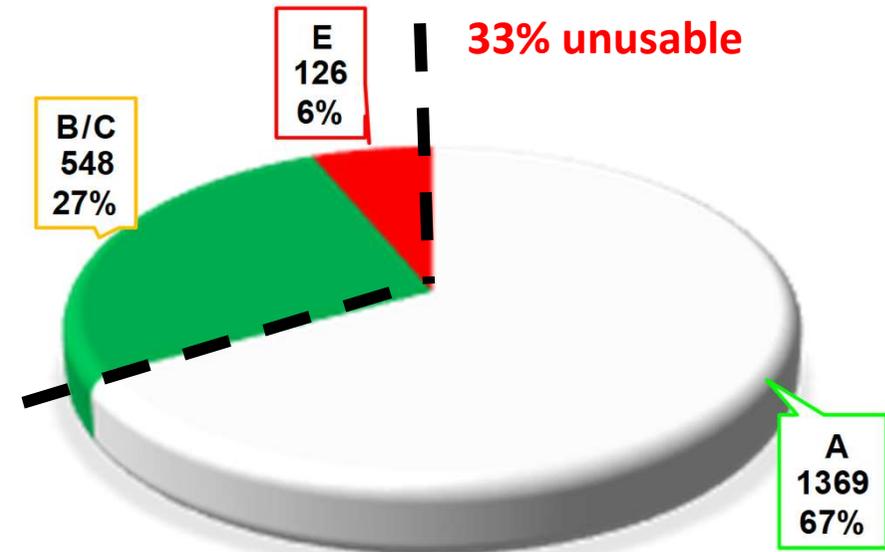
Necessità di un **approccio di progettazione integrato** che combini rinforzo sismico ed efficientamento energetico

# EVITARE CROLLI, MA LIMITANDO I DANNI

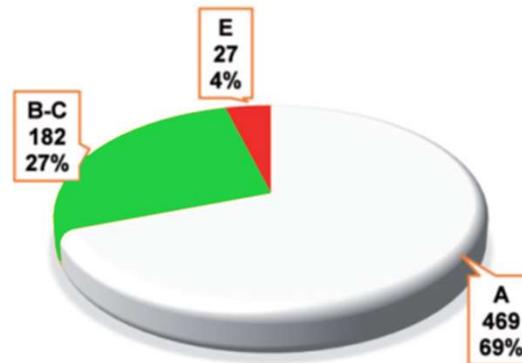
## ➤ Seismic safety and usability surveys of SCHOOL BUILDINGS



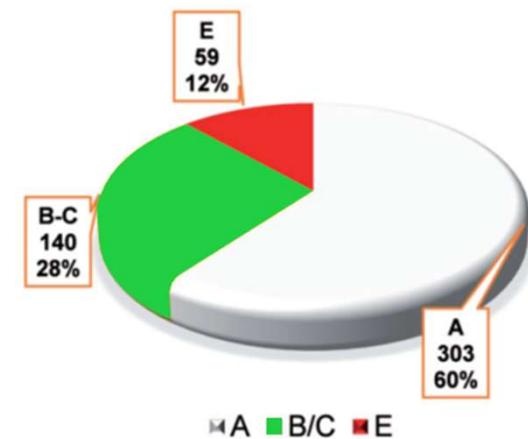
Cittadinanza attiva (2016)



RC schools



Masonry schools



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

# Sisma Bonus

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*



Ministero delle  
Infrastrutture e dei  
Trasporti

## Un passaggio fondamentale per la conoscenza del patrimonio edilizio e la cultura della prevenzione

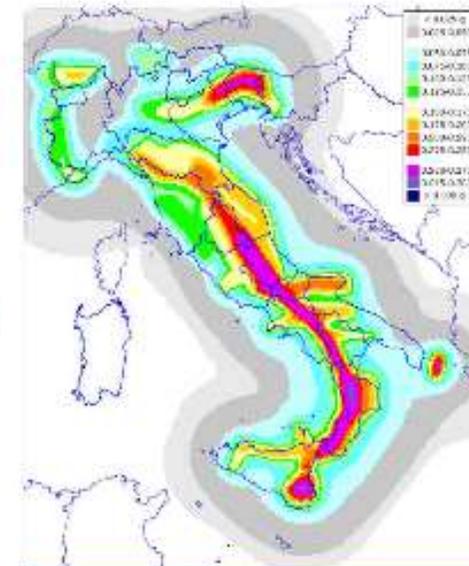
I numerosi eventi sismici che si sono verificati negli ultimi decenni hanno comportato per la collettività enormi costi sociali in termini di vittime e di incidenza sulla vita delle comunità e costi economici sostenuti per l'emergenza e la ricostruzione.

Negli ultimi 50 anni si valutano:

- circa 5.000 vittime
- spesa annua media di circa tre miliardi di euro per emergenza e ricostruzione.

Ciò è dovuto fondamentalmente, oltre alla sismicità tipica del Paese, alla elevata vulnerabilità del nostro patrimonio edilizio.

L'esigenza di elaborare le Linee Guida nasce dalla necessità, avvertita da tutto il Paese, di affrontare la mitigazione del rischio sismico, promuovendo una cultura della **conoscenza** e della **prevenzione**.



*Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici*

Servi

# 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

# 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

# (WP5 Interventi di rapida esecuzione a basso impatto ed integrati): cemento armato



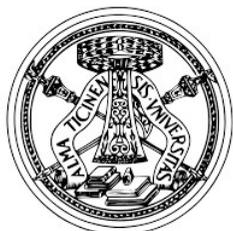
Università di Napoli Federico II  
(prof. A. Prota, R. Landolfo,  
E. Nigro, G.M. Verderame,  
G. Della Corte, C. Menna)



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)

## Unità di ricerca coinvolte

# Motivazioni del WP5 - edifici



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

# Sisma Bonus

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*



Ministero delle  
Infrastrutture e dei  
Trasporti

## Otto classi di Rischio Sismico, dalla A+ alla G

Le Linee Guida consentono di attribuire ad un edificio una specifica **Classe di Rischio Sismico**, da **A+** a **G**, mediante un unico parametro che tenga conto sia della sicurezza sia degli aspetti economici:

**classe A+ (meno rischio)**

**classe A**

**classe B**

**classe C**

**classe D**

**classe E**

**classe F**

**classe G (più rischio)**

Le Linee Guida forniscono indirizzi di massima sulla progettazione e associano ai livelli di sicurezza un costo convenzionale in base ai dati del monitoraggio della ricostruzione a seguito del terremoto del 2009 in Abruzzo.

(6)

*Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici*

**Servizio Tecnico Centrale**

# CLASSI DI RISCHIO

➤ Come si calcola la classe di rischio?

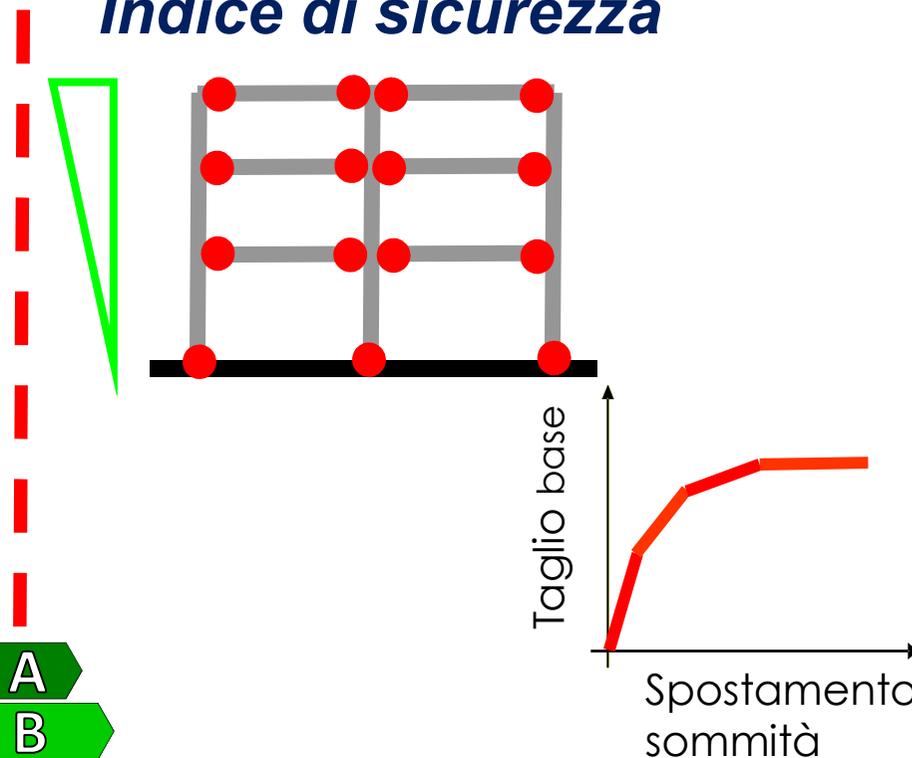
Classe minima tra quella relativa a:

*Analisi delle perdite attese*



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

*Indice di sicurezza*



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

# Sisma Bonus

*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*



Ministero delle  
Infrastrutture e dei  
Trasporti

Otto classi di Rischio Sismico, dalla A+ alla G

## La classe sismica riguarda l'intero edificio o unità minima di intervento!

classe E

classe F

classe G (più rischio)

Le Linee Guida forniscono indirizzi di massima sulla progettazione e associano ai livelli di sicurezza un costo convenzionale in base ai dati del monitoraggio della ricostruzione a seguito del terremoto del 2009 in Abruzzo.

(6)

*Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici*

Servizio Tecnico Centrale

# Inquadramento interventi nelle NTC 2018

## 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.

# Circolare 7 del 2019

11-2-2019

Supplemento ordinario n. 5 alla GAZZETTA UFFICIALE

Serie generale - n. 35

Le costruzioni esistenti rappresentano certamente argomento particolarmente significativo nell'ambito dell'applicazione delle NTC. Rispetto al D.M.14 gennaio 2008 la norma riporta alcune modifiche la cui portata concettuale assume però particolare rilievo.



L'importanza che le criticità locali assumono negli edifici esistenti, in termini di danni a persone e cose, ha portato, fra l'altro, a considerare con maggiore attenzione gli interventi locali di rafforzamento e gli interventi di miglioramento.

Tale maggiore attenzione si è anche tradotta in un diverso ordine di presentazione (le varie forme d'intervento sono ora elencate dalla meno alla più impattante, dalla riparazione e rafforzamento locale all'adeguamento), nella diversa definizione dell'intervento di adeguamento e nell'ampia considerazione dedicata alla valutazione e riduzione del rischio sismico e, in special modo, nella maggiore attenzione prestata agli interventi finalizzati a ridurre la vulnerabilità delle costruzioni esistenti.

La presente Circolare, quindi, fornisce istruzioni operative per la corretta ed uniforme applicazione dei principi riportati nel Capitolo 8 delle NTC. Si osserva, in particolare, come molti dei contenuti delle Appendici della Circolare 617 C.S.L.L.P.P. del 2 febbraio 2009, sono ora ricondotti a questo testo.

## **CS.1 OGGETTO**

Le *costruzioni esistenti* sono definite, nel § 8.1 delle NTC, come quelle costruzioni per le quali "alla data della redazione della valutazione di sicurezza e/o del progetto d'intervento" la struttura sia stata "completamente realizzata".

Detta definizione va certamente declinata per ciascun caso in esame.

In termini del tutto generali, con l'espressione *struttura completamente realizzata* può intendersi una struttura per la quale, alla data della redazione della valutazione di sicurezza e/o del progetto di intervento, sia stato redatto il certificato di collaudo statico ai sensi delle Norme Tecniche vigenti all'epoca della costruzione; se all'epoca della costruzione l'obbligo del collaudo statico non sussisteva, devono essere state almeno interamente realizzate le strutture e i muri portanti e le strutture degli orizzontamenti e delle coperture.

Per gli interventi finalizzati alla riduzione della vulnerabilità sismica dei beni del patrimonio culturale vincolato, il riferimento normativo, nelle more dell'emanazione di ulteriori disposizioni, è costituito dal D.P.C.M. 9 febbraio 2011 "Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008". Tale direttiva, in considerazione della specificità e articolazione del contenuto nonché delle

# Differenza tra i tipi di intervento: locali

## **8.4.1. RIPARAZIONE O INTERVENTO LOCALE**

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

- ripristinare, rispetto alla configurazione precedente al danno, le caratteristiche iniziali di elementi o parti danneggiate;
- migliorare le caratteristiche di resistenza e/o di duttilità di elementi o parti, anche non danneggiati;
- impedire meccanismi di collasso locale;
- modificare un elemento o una porzione limitata della struttura.

Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati, documentando le carenze strutturali riscontrate e dimostrando che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, non vengano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che gli interventi non comportino una riduzione dei livelli di sicurezza preesistenti.

La relazione di cui al § 8.3 che, in questi casi, potrà essere limitata alle sole parti interessate dall'intervento e a quelle con esse interagenti, dovrà documentare le carenze strutturali riscontrate, risolte e/o persistenti, ed indicare le eventuali conseguenti limitazioni all'uso della costruzione.

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

# Differenza tra i tipi di intervento: globali

## 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

# Criticità di strutture in c.a.: lezione dai terremoti

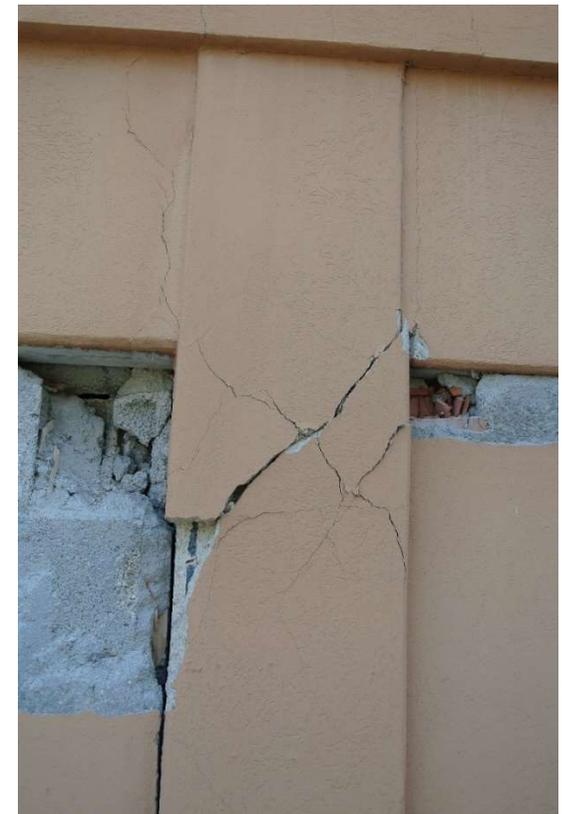


L'Aquila 2009



Camerino 2016

**Nodi non confinati  
(esterni) trave-pilastro**



# Criticità di strutture in c.a.: lezione dai terremoti



© Reluis 2009  
www.reluis.it



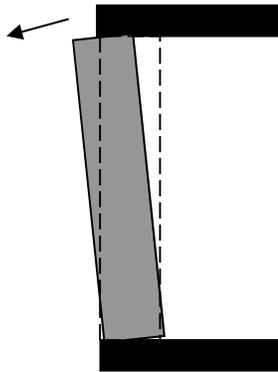
© Reluis 2009  
www.reluis.it

**Crisi fragile per taglio  
di pilastri tozzi**

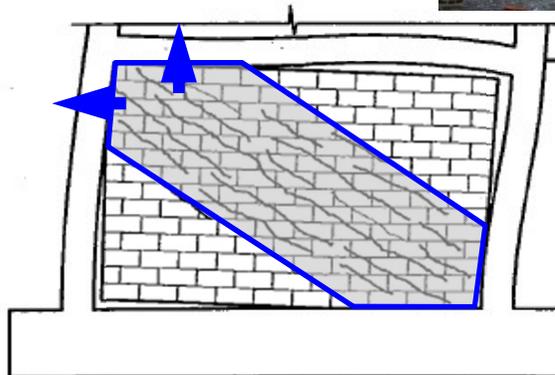
**L'Aquila 2009**



# Criticità di strutture in c.a.: lezione dai terremoti



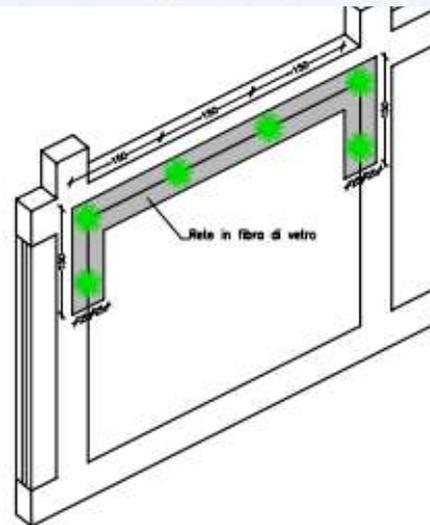
**Crisi fuori dal piano e nel piano di tamponature**



# METODO SEMPLIFICATO SISMABONUS: C.A.

Per gli edifici in calcestruzzo armato, analogamente a quanto sopra detto per le strutture assimilabili ai capannoni industriali, è prevista la possibilità di ritenere valido il passaggio alla Classe di Rischio immediatamente superiore, eseguendo solamente interventi locali di rafforzamento ed anche in assenza di una preventiva attribuzione della Classe di Rischio. Ciò è possibile soltanto se la struttura è stata originariamente concepita con la presenza di telai in entrambe le direzioni e se saranno eseguiti tutti gli interventi seguenti:

- confinamento di tutti i nodi perimetrali non confinati dell'edificio;
- opere volte a scongiurare il ribaltamento delle tamponature, compiute su tutte le tamponature perimetrali presenti sulle facciate;
- eventuali opere di ripristino delle zone danneggiate e/o degradate.



**Incremento di 1 classe**

# METODO SEMPLIFICATO SISMABONUS: MUR.

Tipologia di struttura		Classe di vulnerabilità					
		V <sub>6</sub> (≡A <sub>EMS</sub> )	V <sub>5</sub> (≡B <sub>EMS</sub> )	V <sub>4</sub> (≡C <sub>EMS</sub> )	V <sub>3</sub> (≡D <sub>EMS</sub> )	V <sub>2</sub> (≡E <sub>EMS</sub> )	V <sub>1</sub> (≡F <sub>EMS</sub> )
<b>MURATURA</b>	Muratura di pietra senza legante (a secco)	○					
	Muratura di mattoni di terra cruda (adobe)	○—					
	Muratura di pietra sbozzata	---○					
	Muratura di pietra massiccia per costruzioni monumentali	---○—					
	Muratura di mattoni e pietra lavorata	---○---					
	Muratura di mattoni e solai di rigidità elevata	—○---					
	Muratura rinforzata e/o confinata	---○—					

Figura 2 – Approccio semplificato per l'attribuzione della Classe di Vulnerabilità agli edifici in muratura

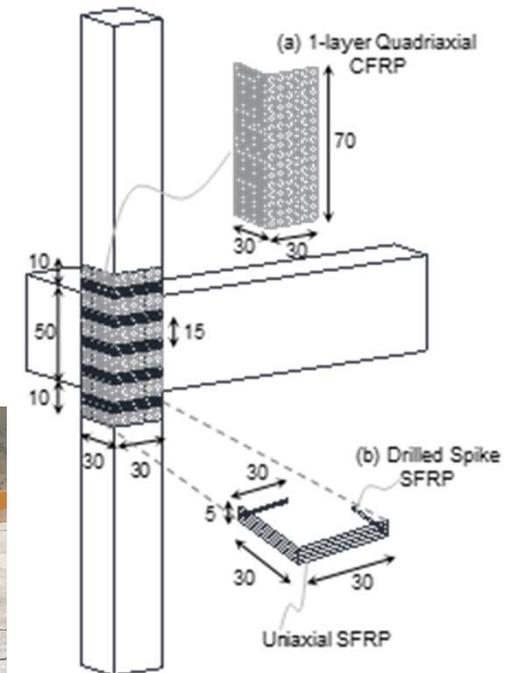
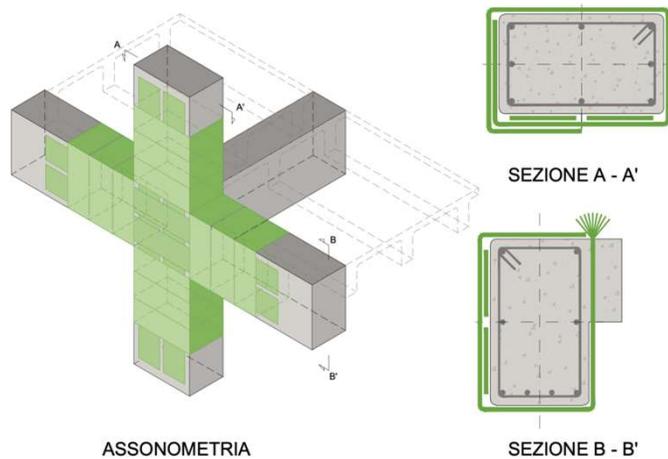
# INTERVENTI CON SISTEMI INNOVATIVI

## Rinforzo nodi CAM



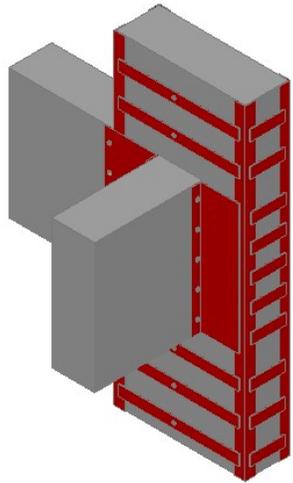
## Rinforzo nodi FRP, soluzioni solo esterno

## Rinforzo nodi SFRP

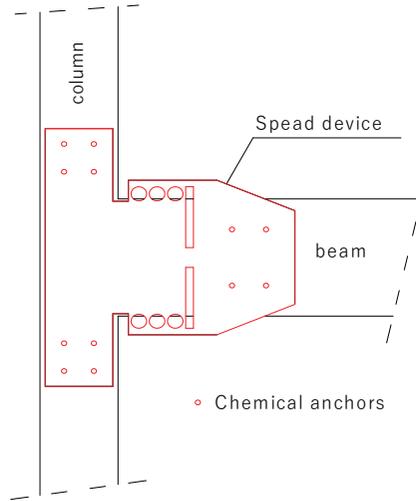


# INTERVENTI CON ACCIAIO

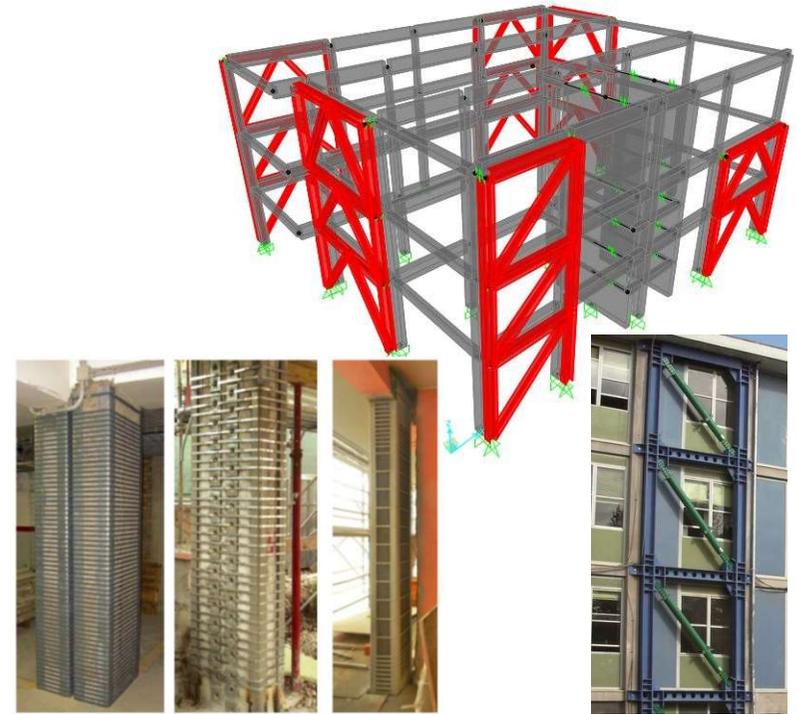
Rinforzi a taglio con calastrelli



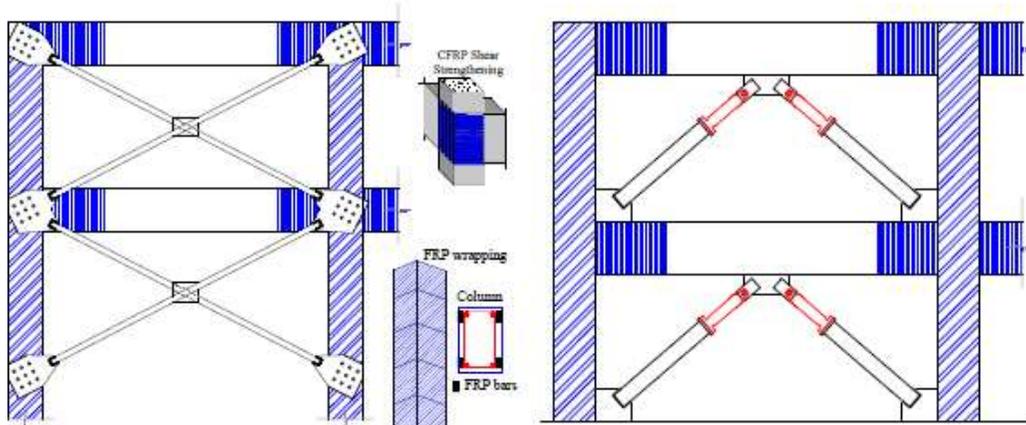
Rinforzi con piatti dissipativi



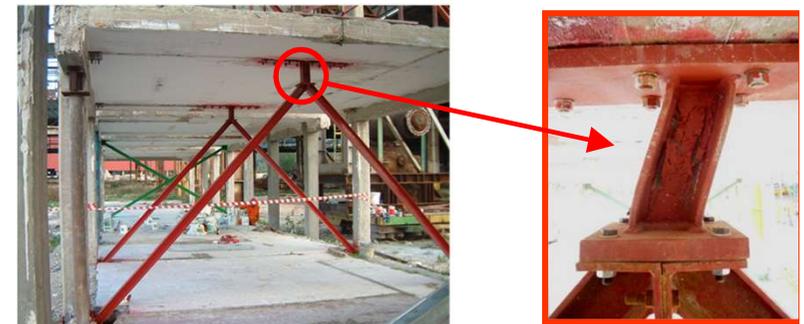
Controventi esterni + CAM



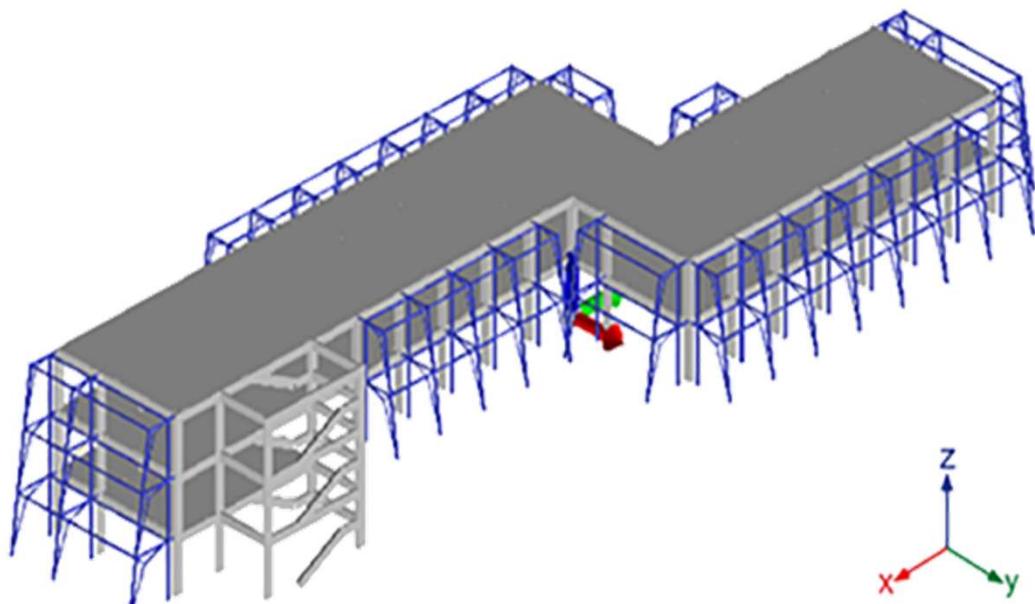
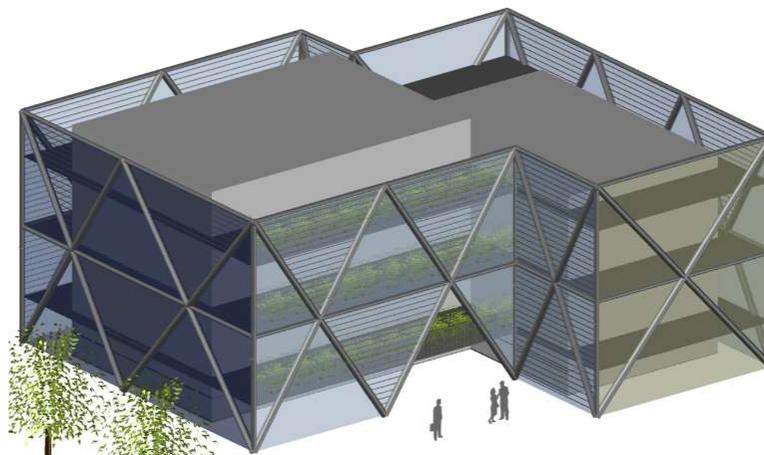
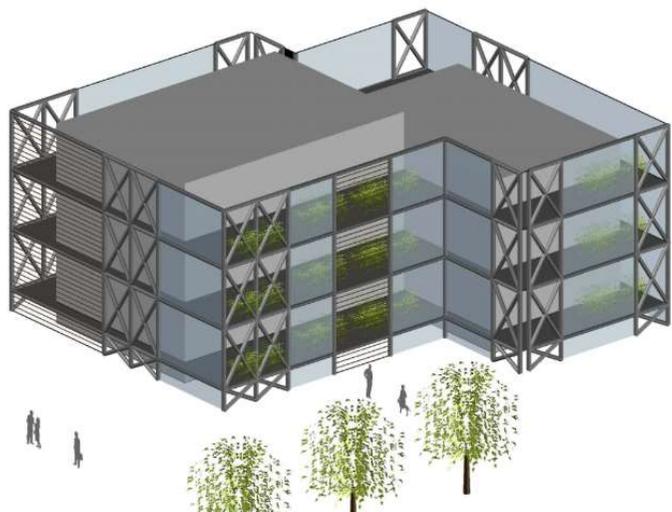
Controventi + FRP



Controventi con shear key



# INTERVENTI CON ESOSCHELETRI IN ACCIAIO

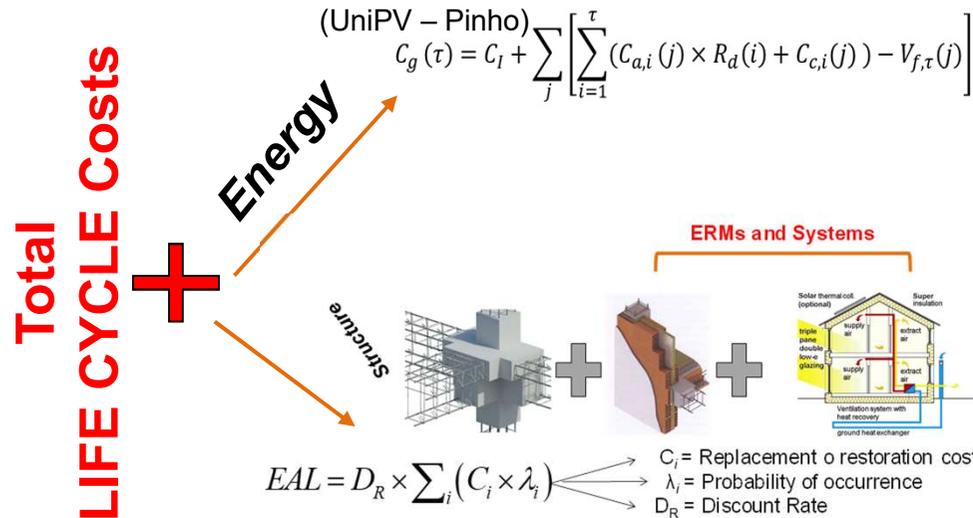


# INTERVENTI CON ESOSCHELETRI IN ACCIAIO

Metodologia di approccio integrato

(UniNA – Prota/Menna)

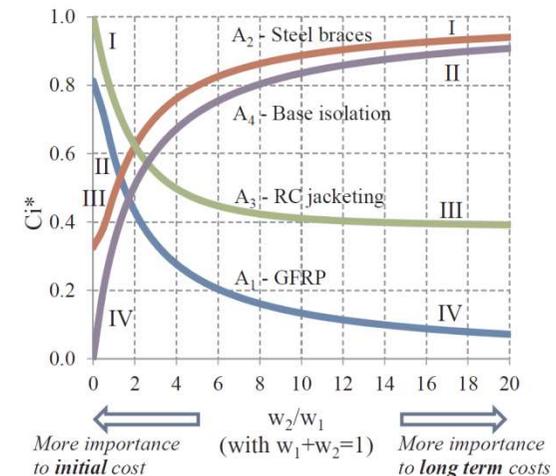
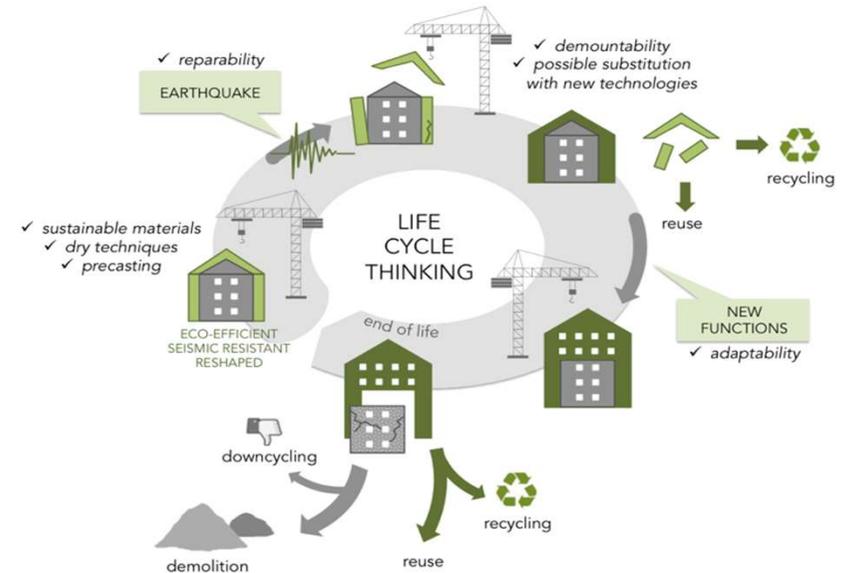
Ottimizzazione tecniche basata su confronto impatto ambientale



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

Life Cycle thinking (UniBG – Marini)



# **CASI STUDIO DEL PROGETTO DPC-RELUIS**

## Criticità di natura tecnica



Apparentemente, nel caso del super bonus, sembrerebbe che non va documentato l'incremento della classe

Bisogna però sempre guardare alla riduzione del rischio dell'intera costruzione, eventualmente facendo comunque un calcolo della struttura a garanzia del progettista e della committenza

Gli interventi locali consentono procedure semplificate al Genio Civile e sono quelli più compatibili con i requisiti prima menzionati.

## Criticità di natura tecnica



Bisogna però ricordarsi e far capire bene che gli interventi locali portano ad un incremento reale di classe sismica, cioè rendono più sicuro l'edificio in caso di sisma solo se con essi si eliminano tutti i meccanismi fragili di un edificio

Interventi locali isolati (una o poche piattabande, le catene solo a un piano, un intervento di rinforzo su un solaio, il rinforzo di pochi nodi esterni, etc.) non cambiano la classe sismica della costruzione

www.reluis.it

Home

cerca...

Home Cos'è ReLuis Ricerca **Eventi** Progettazione Divulgazione Archivio news Contatti Amministrazione

**PROGETTO DPC-RELUIS 2019-2021 CASI STUDIO WP 5 INTERVENTI DI RAPIDA ESECUZIONE A BASSO IMPATTO ED INTEGRATI**

**TERREMOTO ITALIA CENTRALE 2016**

**TERREMOTO EMILIA 2012**

**SUPPORTO TECNICO TERREMOTO ABRUZZO**

**5 per mille**

Il 5 per mille è uno strumento che permette ai cittadini di sentirsi coinvolti in maniera diretta per il perseguimento di obiettivi di utilità sociale. Puoi destinare al Consorzio ReLuis il

**Benvenuti nel sito del Consorzio della Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica**

**Progetto DPC-ReLuis 2019-2021 Casi studio WP5**  
Martedì 28 Luglio 2020 14:44 |

Nell'ambito dell'Accordo tra il Dipartimento della Protezione Civile e il Consorzio ReLuis è iniziato da alcuni anni uno studio articolato sulle soluzioni per ridurre la vulnerabilità e i consumi energetici attraverso interventi integrati, rapidi e a basso impatto. Il tema, oggetto del Work Package 5 (WP5) "Interventi di rapida esecuzione a basso impatto ed integrati" del Progetto Triennale DPC-ReLuis 2019-2021, è di estrema attualità anche alla luce dei recenti provvedimenti di incentivazione fiscale per interventi sull'edilizia privata e della rinnovata urgente necessità di migliorare la qualità strutturale ed energetica degli edifici scolastici. L'originalità delle soluzioni studiate e in corso di studio è strettamente legata alla necessità di combinare sinergicamente le due finalità (riduzione della vulnerabilità sismica e riduzione dei consumi energetici) e di operare rapidamente e, possibilmente, con un basso impatto sull'uso quotidiano. Si è tenuto tramite piattaforma informatica lo scorso 25 giugno 2020 un Webinar di medio termine in cui sono stati presentati gli avanzamenti e i prodotti finora sviluppati nell'ambito del WP5. Come previsto ed annunciato anche durante il Webinar, sono stati già esaminati alcuni casi studio, altri sono in fase di completamento.

- Vengono qui pubblicati i primi due casi studio relativi ad edifici scolastici con struttura in cemento armato: le relative relazioni sono rese disponibili in forma di

**Progetti ReLuis-DPC**

- Progetto ReLuis-DPC 2019-2021
- Report DPC-ReLuis 2018
- Progetto ReLuis-DPC 2014-2018
- Progetto ReLuis-DPC 2010-2013
- Progetto ReLuis-DPC 2005-2008

**Amministrazione**

Amministrazione trasparente

**COVID-19**

Attività informativa

- Circolare misure di prevenzione per la diffusione del Corona Virus
- Decreto del Presidente del Consiglio 23 febbraio 2020

## 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



www.reluis.it/index.php?option=com\_content&view=article&id=688&lang=it



cerca...

Home Cos'è ReLUIS Ricerca Eventi Progettazione Divulgazione Archivio news Contatti Amministrazione

## Progetto DPC-ReLUIS 2019-2021 Casi studio WP5

Lunedì 27 Luglio 2020 16:54 |

Nell'ambito dell'Accordo tra il Dipartimento della Protezione Civile e il Consorzio ReLUIS è iniziato da alcuni anni uno studio articolato sulle soluzioni per ridurre la vulnerabilità e i consumi energetici attraverso interventi integrati, rapidi e a basso impatto. Il tema, oggetto del Work Package 5 (WP5) "Interventi di rapida esecuzione a basso impatto ed integrati" del Progetto Triennale DPC-ReLUIS 2019-2021, è di estrema attualità anche alla luce dei recenti provvedimenti di incentivazione fiscale per interventi sull'edilizia privata e della rinnovata urgente necessità di migliorare la qualità strutturale ed energetica degli edifici scolastici. L'originalità delle soluzioni studiate e in corso di studio è strettamente legata alla necessità di combinare sinergicamente le due finalità (riduzione della vulnerabilità sismica e riduzione dei consumi energetici) e di operare rapidamente e, possibilmente, con un basso impatto sull'uso quotidiano. **Si è tenuto tramite piattaforma informatica lo scorso 25 giugno 2020 un Webinar di medio termine in cui sono stati presentati gli avanzamenti e i prodotti finora sviluppati nell'ambito del WP5.** Come previsto ed annunciato anche durante il Webinar, sono stati già esaminati alcuni casi studio, altri sono in fase di completamento.

- Vengono qui pubblicati i primi due casi studio relativi ad edifici scolastici con struttura in cemento armato; le relative relazioni sono rese disponibili in forma di "bozza" in modo che gli interessati possano iniziare a prendere visione ed eventualmente inviare commenti e/o osservazioni tramite il seguente form: **Invio form per osservazioni, commenti e richieste di chiarimento su ciascuno dei casi studio.**
- Verranno fornite risposte alle richieste pervenute di interesse generale attraverso un elenco dinamico di Frequently Asked Questions (FAQ) che verrà progressivamente aggiornato.

Nei prossimi mesi verranno resi disponibili altri casi studio relativi ad altri edifici sia residenziali che scolastici con struttura in cemento armato o in muratura; a fine 2021 (termine del Progetto 2019-2021), tutti i casi studio, emendati e rivisti anche alla luce delle osservazioni che perverranno, saranno pubblicati in un volume unico.

**Invio form per osservazioni, commenti e richieste di chiarimento su ciascuno dei casi studio**

CASO STUDIO 1: EDIFICIO SCOLASTICO IN CEMENTO ARMATO

CASO STUDIO 2: EDIFICIO SCOLASTICO IN CEMENTO ARMATO



## Progetto DPC-ReLUIS 2019-2021

### WP5: Interventi di rapida esecuzione a basso impatto ed integrati

#### CASO STUDIO 1: EDIFICIO SCOLASTICO IN CEMENTO ARMATO

VERSIONE: 1.0 (BOZZA LUGLIO 2020)

UR: UNINA, prof. Andrea Prota

Gruppo di lavoro: prof. Marco Di Ludovico, ing. Ciro Del Vecchio, ing. Costantino Menna

Collaboratori: ing. Raffaele Frascadore, ing. Fabio Palladino, ing. Vincenzo Paolillo

*Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università degli studi di Napoli "Federico II"*

in collaborazione con UR UNISANNIO, ing. Luigi Di Sarno

Tabella 5-1: Quadro sinottico dei costi degli interventi.

Livello di Progettazione	Descrizione	Importo	Superficie calpestabile	Volumetria		
	OPERE CIVILI	[€]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>3</sup>
<b>Livello I</b> (IS-V=60%, PAM=1.1%) +3 classi Sismiche +2 Classi Energ	Opere strutturali	104,000	1,470	4,700	70.75	22.13
	Opere di demolizione e ripristino finiture	21,500			14.63	4.57
	Parziale strutturale	125,500			85.37	26.70
	Opere di efficientamento energetico	255,000			173.47	54.26
	<b>TOTALE INTERVENTI</b>	<b>405,500</b>			<b>275.85</b>	<b>86.28</b>
<b>Livello II</b> (IS-V=60%, PAM=1.1%) +3 classi Sismiche +4 Classi Energetiche	Opere strutturali	240,500	1,470	4,700	163.61	51.17
	Opere di demolizione e ripristino finiture	125,000			85.03	26.60
	Parziale strutturale	365,500			248.64	77.77
	Opere di efficientamento energetico	289,000			196.60	61.49
	<b>TOTALE INTERVENTI</b>	<b>654,500</b>			<b>445.24</b>	<b>139.26</b>
<b>Livello III</b> (IS-V=60%, PAM=0.47%) +5 classi Sismiche +7 Classi Energetiche	Opere strutturali (contro: 280.000€)	392,000	1,470	4,700	266.77	83.40
	Opere di demolizione e ripristino finiture	47,000			31.97	10.00
	Parziale strutturale	439,000			298.64	93.40
	Opere di efficientamento energetico	513,500			349.32	109.3
	<b>TOTALE INTERVENTI</b>	<b>977,500</b>	<b>664.97</b>	<b>207.98</b>		
	<b>ONERI DELLA SICUREZZA (PSC)</b>					
	Oneri comuni ai vari livelli di progettazione	25,000	1,470	4,700	17.01	5.32

*Tabella 5-2: Analisi dei tempi di esecuzione degli interventi.*

Livello di Progettazione	Descrizione	Giorni lavorativi		
		1 squadra	2 squadre	3 squadre
<b>Livello I</b>	Opere strutturali	58.33	29.17	19.44
	Opere di efficientamento energetico	72.11	60.38	56.47
	Sicurezza e cantiere	12.78	12.78	12.78
	<b>TOTALE INTERVENTI</b>	<b>3 mesi</b>	<b>2.5 mesi</b>	<b>2 mesi</b>
<b>Livello II</b>	Opere strutturali	169.88	84.94	56.63
	Opere di efficientamento energetico	84.96	69.39	64.20
	Sicurezza e cantiere	18.36	18.36	18.36
	<b>TOTALE INTERVENTI</b>	<b>6 mesi</b>	<b>4 mesi</b>	<b>3 mesi</b>
<b>Livello III - Controventi</b>	Opere strutturali	204.05	102.02	68.02
	Opere di efficientamento energetico	156.94	102.13	94.30
	Sicurezza e cantiere	23.24	23.24	23.24
	<b>TOTALE INTERVENTI</b>	<b>9.5 mesi</b>	<b>5 mesi</b>	<b>4 mesi</b>

Grazie per l'attenzione!

LA RICERCA ITALIANA  
IN INGEGNERIA SISMICA E LE ATTIVITA' DI RELUIS  
A 40 ANNI DAL TERREMOTO CAMPANO-LUCANO

**INTERVENTI INTEGRATI LEGGERI,  
RAPIDI E A BASSO IMPATTO PER  
COSTRUZIONI IN MURATURA**

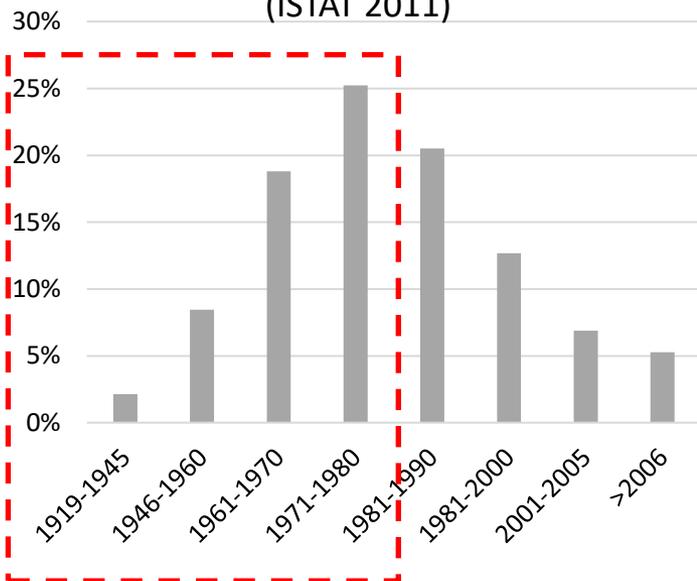
Prof. Ing. Francesca da Porto  
Università degli Studi di Padova

*Webinar, Lunedì 23 Novembre 2020*

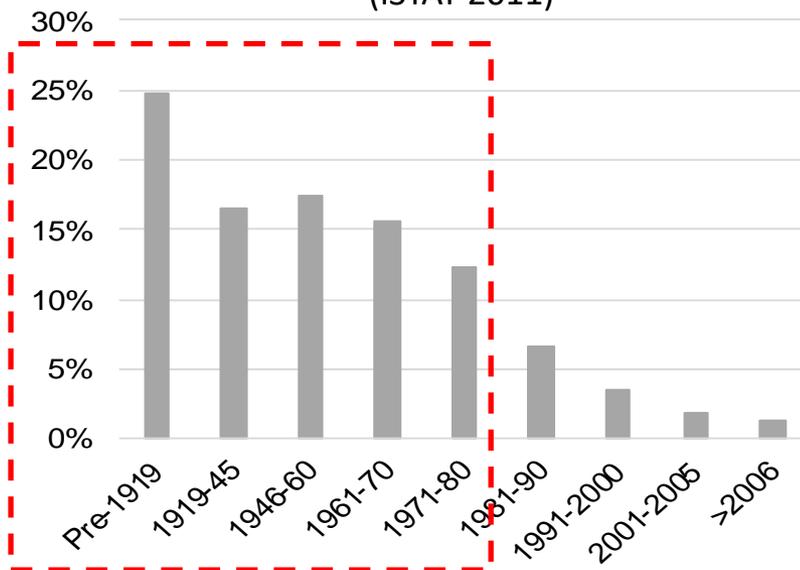


# Perché gli edifici in muratura?

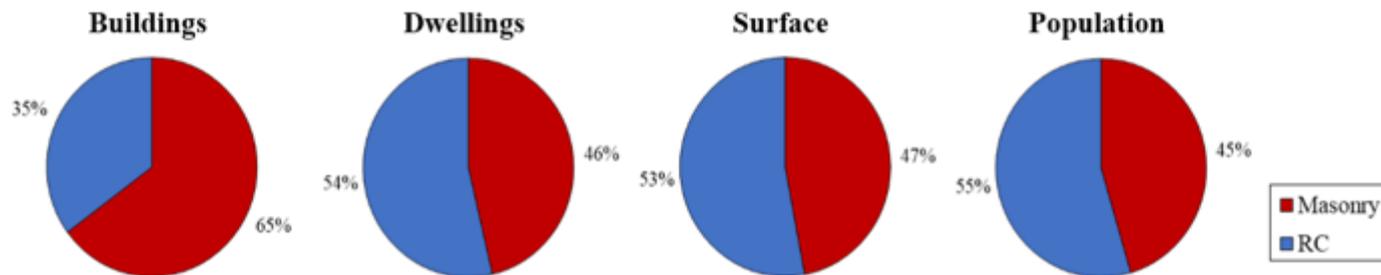
Edifici Residenziali in CA  
(ISTAT 2011)



Edifici Residenziali in Muratura  
(ISTAT 2011)



CA: più del 50% costruito prima degli anni 80  
Muratura: più dell'85% !!!



# Perché gli edifici in muratura?

INTERVENTI INTEGRATI



EFFICIENTAMENTO ENERGETICO



VIA TITO VESPASIANO, ACCUMOLI (RI)

RETROFIT SISMICO ED ENERGETICO INDEPENDENTI



MIGLIORAMENTO SISMICO





# PRINCIPALI MODALITA' DI DANNEGGIAMENTO PER LE STRUTTURE IN MURATURA

# ATTIVAZIONE MECCANISMI DI PRIMO MODO



L'Aquila 2009



Emilia 2012



# EFFETTO DI CONTENIMENTO DI CATENE E TIRANTI



## 8.4.1. RIPARAZIONE O INTERVENTO LOCALE

NTC 2018

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

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

# MECCANISMI LEGATI ALLE COPERTURE

Coperture deformabili,  
degradate, e non collegate  
alle murature

L'Aquila 2009



Emilia 2012



# SVILUPPO DI MECCANISMI GLOBALI

Lesioni a **taglio** nei maschi tozzi e a **flessione** nei maschi snelli



# LA QUALITA' MURARIA



Illica, 2016



L'Aquila 2009



Emilia 2012

# QUALITA' MURARIA & INEFFICACIA DEI COLLEGAMENTI

Edificio ad Arquata del Tronto, dopo scossa 24/08



Edificio ad Accumoli, dopo scossa 24/08



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

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



# IL CONTESTO DEL PROGETTO ReLUIS

# ALCUNI ASPETTI SPECIFICI - MURATURA

## ASPETTI STRUTTURALI

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



## ASPETTI ENERGETICI

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

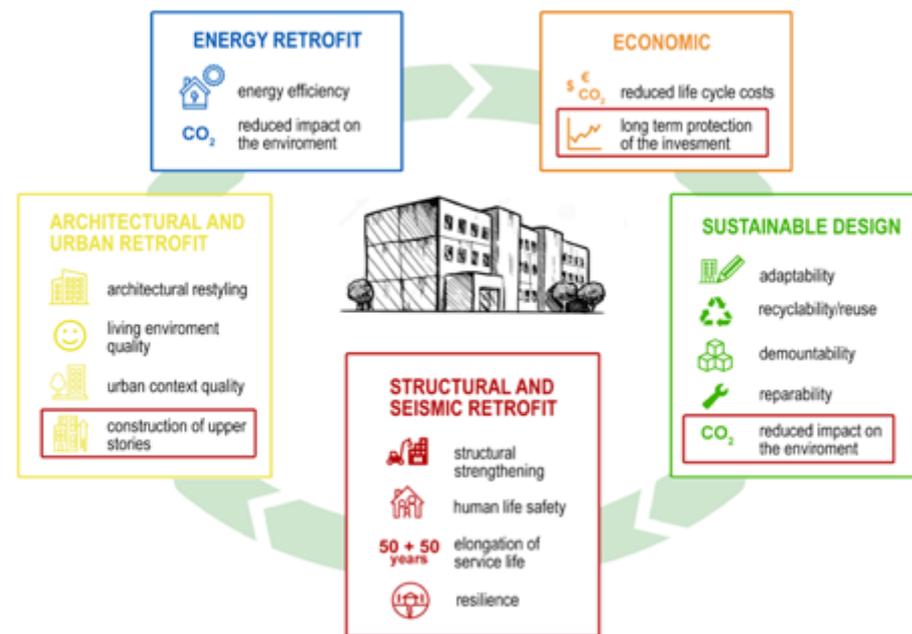


## ASPETTI FORMALI

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



# SCHEMA DELLE ATTIVITA' – WP5 MURATURA



Interventi efficaci, che integrino aspetti sismici ed energetici, con costi e tempi di messa in opera controllati.

Devono essere testati sperimentalmente, dotati di strumenti di valutazione, validati nelle fasi di progettazione.

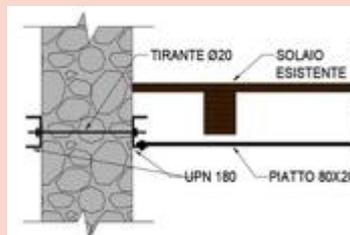
# WP5 MURATURA – TASK 5.1 E 5.2



## 5.1 – sviluppo di strategie e tecniche di intervento

### SUB-TASK 5.1.A

Rilievo efficacia interventi su edifici



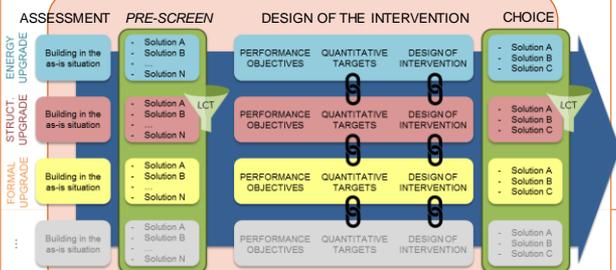
### SUB-TASK 5.1.B/C/D

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

### SUB-TASK 5.1.E

### SUB-TASK 5.2.C

Casi Studio



### SUB-TASK 5.2.A

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

### SUB-TASK 5.2.B

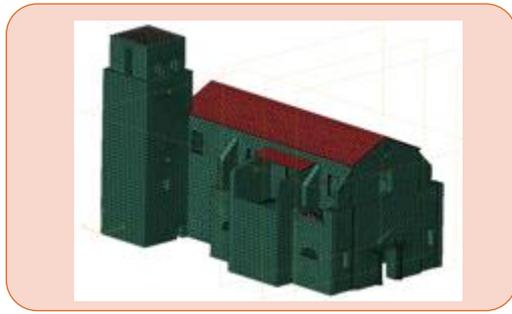
Sviluppo/analisi di tecniche integrate

## 5.2 – interventi integrati

<http://www.reluis.it/>



# WP5 MURATURA – TASK 5.3

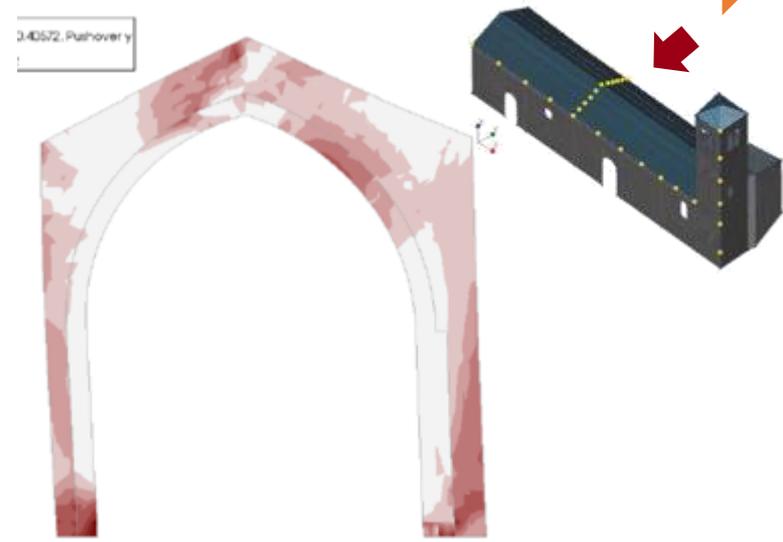
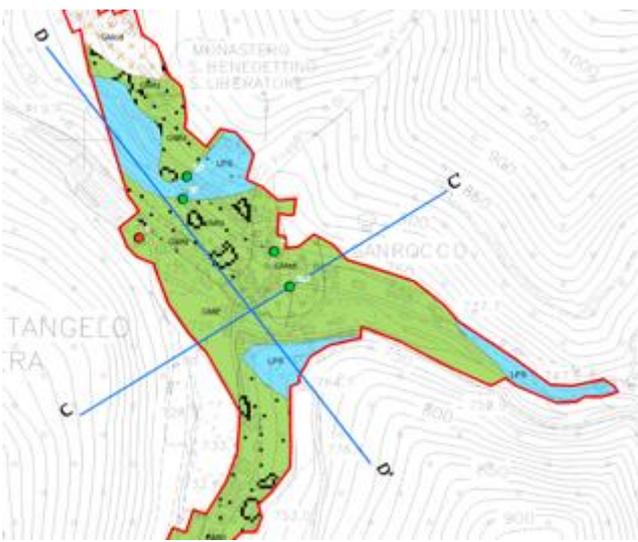


**SUB-TASK 5.3.A**  
Analisi del danno su  
chiese con interventi

**SUB-TASK 5.3.B**  
Approcci di  
modellazione e di analisi

**SUB-TASK 5.3.C**  
Casi Studio

## 5.3 – interventi su edifici vincolati monumentali e/o di culto





# L'IMPEGNO DEL MONDO DELLA RICERCA

-  UNINA – B. Calderoni
-  UNIPD – F. da Porto
-  ROMATRE – G. de Felice
-  UNITS – N. Gattesco
-  UNIGE – S. Lagomarsino
-  UNIBS – G. Metelli
-  POLIMI – G. Milani
-  POLIMI – M. Parisi
-  UNITN – M. Piazza
-  UNIPV – A. Penna
-  SAPIENZA – L. Sorrentino
-  UNIPD – M.R. Valluzzi
-  UNIPI – L. Giresini
-  UNIPR – G. Royer Carfagni
-  UNICA – M. Sassu
-  UNICT – I. Calì
-  UNIBG – A. Marini

## TASKS 5.1 – 5.2 sviluppo e integrazione interventi

-  UNINA – B. Calderoni
-  UNICT – C. Carocci
-  UNIPD – F. da Porto
-  UNIBG – A. Mirabella
-  POLIMI – M. Parisi
-  ROMATRE – G. de Felice
-  POLIMI – G. Milani
-  UNINA – F. Portioli
-  UNINA – A. Rosati
-  UNIGE – S. Lagomarsino
-  ITC CNR – C. Modena
-  UNIPR – G. Royer Carfagni

## TASK 5.3 – Chiese



# ALCUNE ATTIVITA' SVOLTE NEL PROGETTO ReLUIS

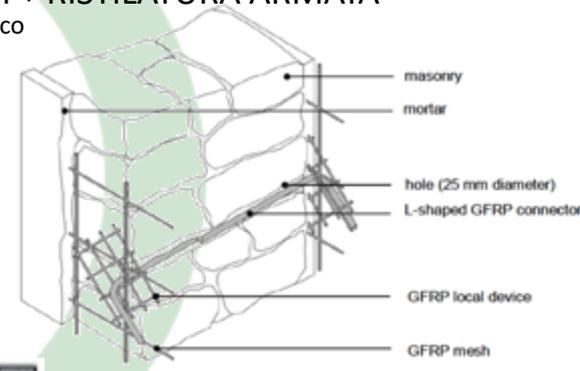
# LE MURATURE



TRM + RISTILATURA ARMATA



UNITS - N. Gattesco



UNIPD - M.R. Valluzzi

INIEZIONI E TECNICHE PER MURATURE IRREGOLARI

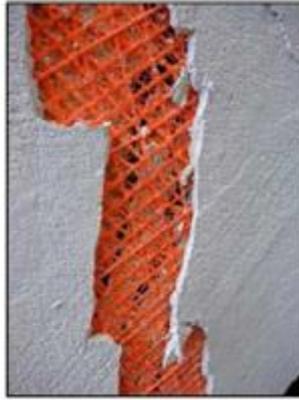
## TRM + PANNELLI ISOLANTI



(a)



(b)



(c)



UNIPD - F. da Porto



# COLLEGAMENTI

CATENE E  
CERCHIATURE



UNIPD – F. da Porto, C.  
Modena



CORDOLATURE LEGGERE

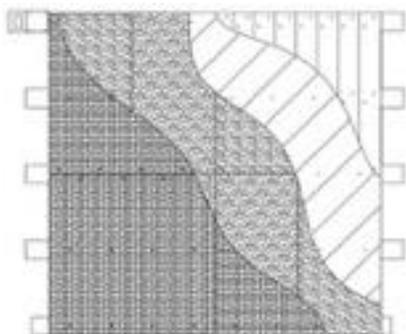


CERCHIATURE CON  
MATERIALI COMPOSITI

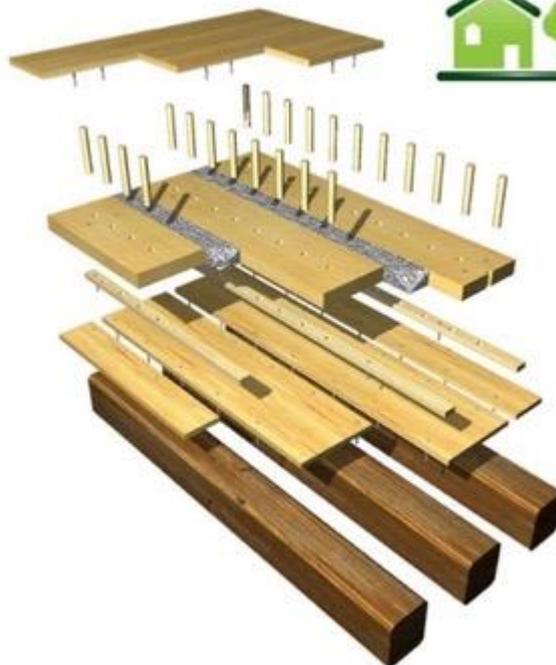


# INTERVENTI SUGLI ORIZZONTAMENTI

## IRRIGIDIMENTO DEI SOLAI

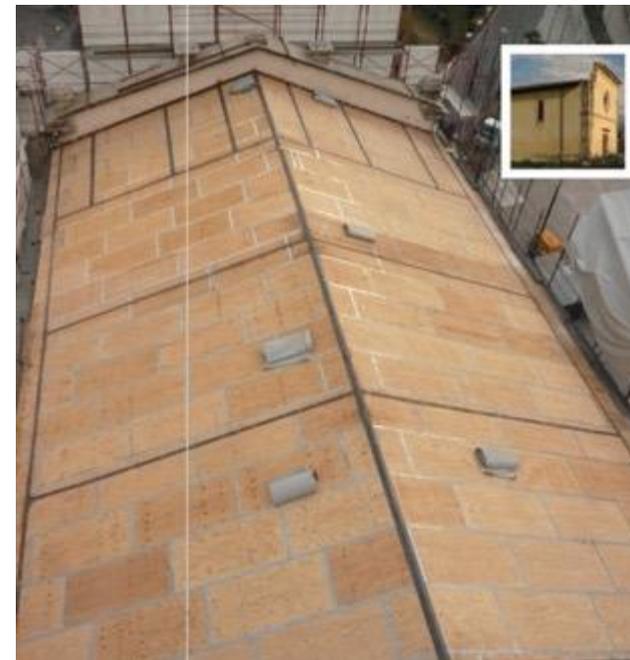


Simple planking + Panel wood-wool + OSB panel



UNIPD – M.R. Valluzzi,  
C. Modena

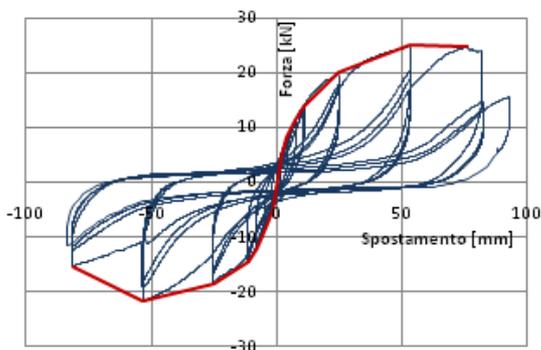
## IRRIGIDIMENTO DELLE COPERTURE



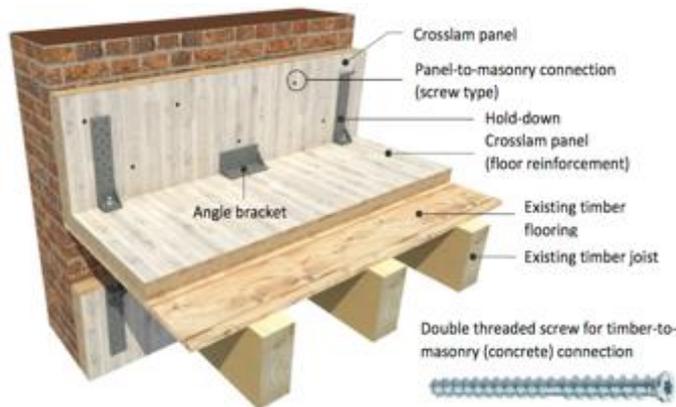
UNIBS – E. Giuriani



UNIBG – A. Marini



# SOLUZIONI INTEGRALI CON PANNELLI IN LEGNO

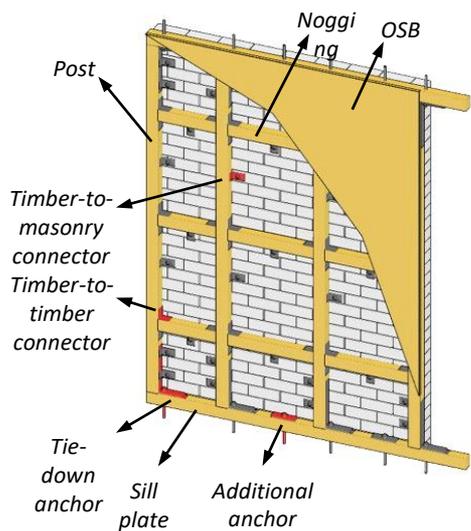


UNITN – M. Piazza



POLIMI – M. Parisi

## Miglioramento sismico ed efficientamento energetico con pannelli CLT e OSB

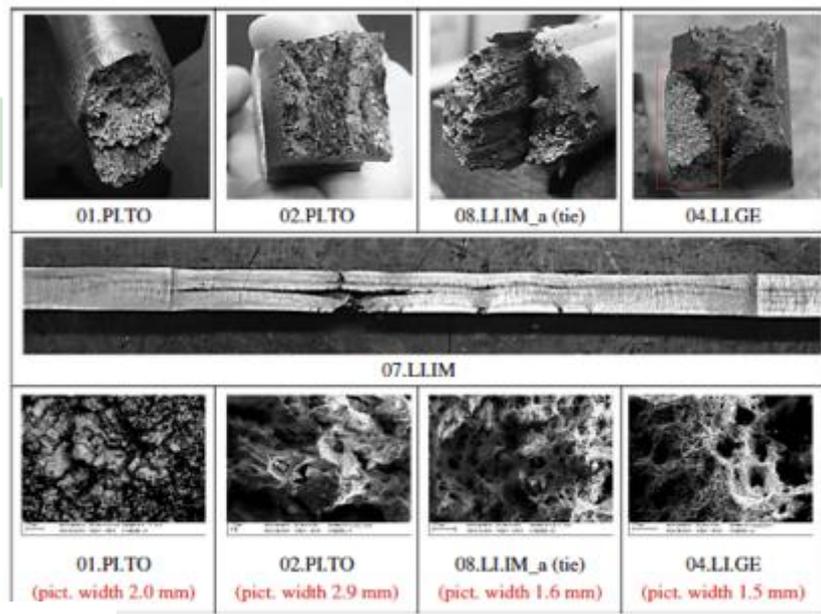


UNIPV – A. Penna

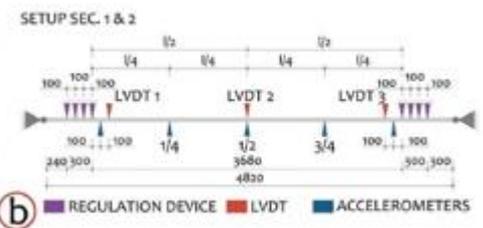
# ALTRI PRODOTTI



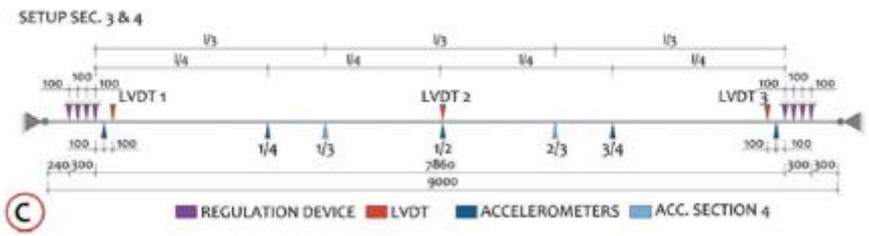
Tipologia di muratura	$f$	$\gamma_s$	$f_{vs}$	$E$	$G$	$w$
	(N/mm <sup>2</sup> ) min-max	(N/mm <sup>2</sup> ) min-max	(N/mm <sup>2</sup> ) -	(N/mm <sup>2</sup> ) min-max	(N/mm <sup>2</sup> ) min-max	(kN/m <sup>3</sup> ) -
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0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



**Circolare 21/01/2019  
alle NTC 2018**



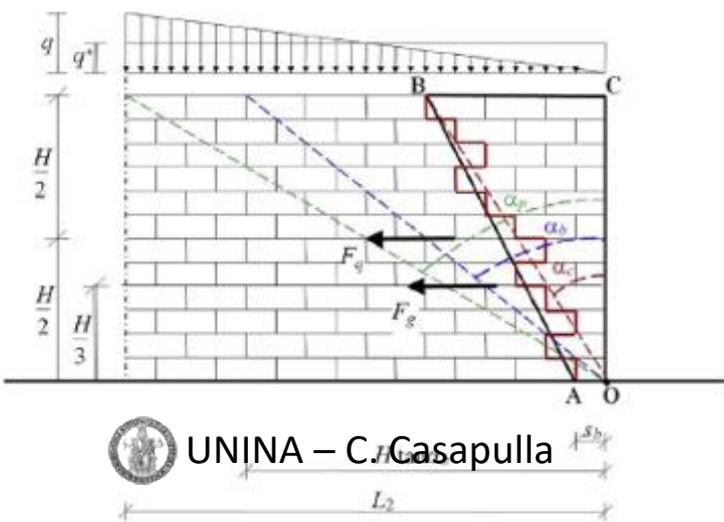
UNIGE – C. Calderini



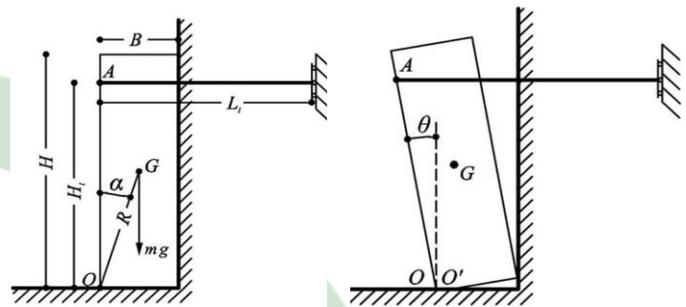
UNIPD – F. da Porto



# ALTRI PRODOTTI



 UNINA – C. Casapulla



 SAPIENZA – L. Sorrentino

 UNIPD – F. da Porto, C. Modena, con L. Milano



**Esame di Laurea in Ingegneria ed Edilizia**

**ESERCIZIO AL CARICO DI CARICAMENTO LOCALE DI EDIFICI IN MURATURA CON ESISTENTE**

Il discente, nell'ambito di una verifica dell'esempio di edificio strutturato a 12 (Dodici) piani a sistema di traliccio di piano, dovrà, sul tema assegnato, analizzare, in dettaglio, il problema di progetto, con riferimento a quanto richiesto.

**tema assegnato a Luglio 2019**

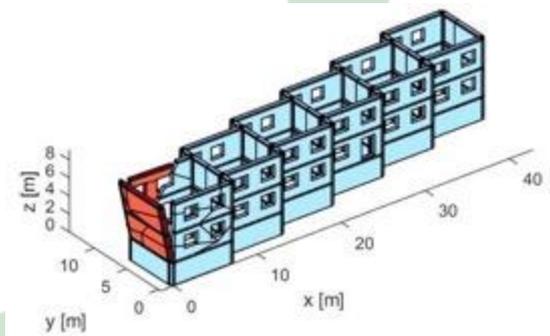
di Carlo Di  
M. Marini, G. Bertoli, F. da Porto, G. Milano, G. Modena

**Situazione**

Il problema di progetto proposto è il progetto di rafforzamento locale di un edificio in muratura esistente strutturato a traliccio, nel caso in cui si debba il dispendio di stabilimento fuori piano. In riferimento agli edifici con traliccio di piano si è ipotizzato che il sistema statico, in un governo di tipo "quadro" (Fig. 1).

**Figura 1**

Il consolidamento segue il metodo di analisi dei tralicci locali in sezione retta per gli edifici esistenti in muratura, e le componenti formali affidate sono in accordo alla vigente normativa (Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, "Norme Tecniche per le Costruzioni", in vigore) (Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 617 del 20/01/2009) per l'adempimento delle norme tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 10/01/2008).



 POLIMI – G. Milani





# VALUTAZIONI SULLE TECNICHE INTEGRATE

	Lateral load capacity improvement	U value reduction	Costs of implementation	Level of invasiveness	Business downtime	Residents' relocation
<i>Steel-braced exoskeleton</i>	50-100%	70-80%	250-350 €/mq	High	Low	Not needed
<i>Shell exoskeleton</i>	50-100%	70-80%	250-700 €/mq	High	Low	Not needed
<i>Interventions on existing envelope</i>	50-60% in-plane	70-80%	160-230 €/mq	Medium	Low if carried out from the external face	Not needed if carried out from the external face
	300-400% out-of-plane					
<i>Replacing of existing envelope</i>	50-100% in-plane	70-80%	120-150€/mq	High	Medium-High	Needed
	300-400% out-of-plane					
<i>Timber-based panels</i>	25-50%	40-85%	350-500 €/mq	Medium	Low if carried out from the external face	Not needed if carried out from the external face
<i>Interventions on load-bearing masonry</i>	50-350%	35-70%	180-230 €/mq	Medium	Low if carried out from the external face	Not needed if carried out from the external face
<i>Strengthening of openings with steel frame</i>	25-50% <sup>2</sup>	50-70%	900-1700 €/mq of openings	Medium	Medium, most of work is done in the workshop	Needed
<i>Stiffening of floors</i>	10-50 times higher in-plane stiffness	50-60%	200-400 €/mq	High	High	Needed



# ANALISI SU CASI STUDIO

# CASI STUDIO DI EDIFICI IN MURATURA

## EDIFICI RILEVANTI



UNIPD – da Porto, De Carli Tribunale di Fabriano



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



## EDIFICI RESIDENZIALI



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



## EDIFICI SCOLASTICI



UNIGE – Lagomarsino/Cattari, Scuola Caldarola (MC)



UNICT – Calìo, Scuola Vittoria (RG)



UNIBG – Marini, Edilizia residenziale, Dalmine (BG)

# APPROCCIO AL CASO STUDIO

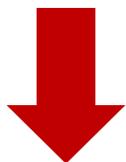
**LIVELLO 1**  
Interventi sulle pareti  
in muratura



**LIVELLO 2**  
Interventi sugli  
orizzontamenti



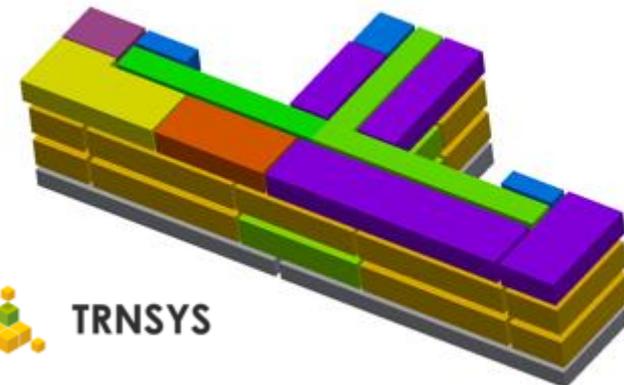
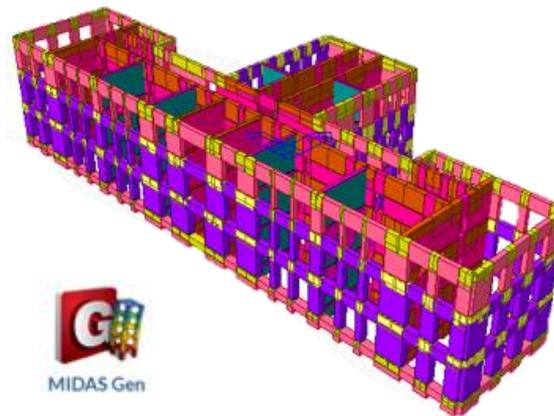
**LIVELLO 3**  
Intervento su pareti  
e orizzontamenti



**Edificio NZEB**



Ex tribunale di Fabriano (MC)



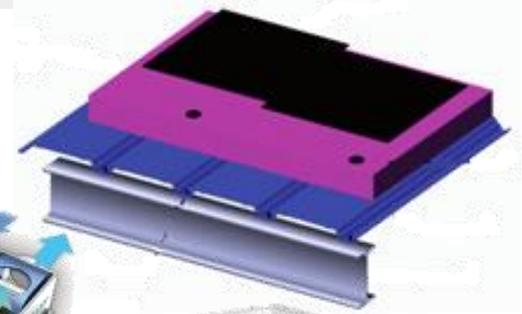
TRNSYS

# APPROCCIO AL CASO STUDIO

**LIVELLO 1**  
Interventi sulle pareti  
in muratura



**LIVELLO 2**  
Interventi sugli  
orizzontamenti



**LIVELLO 3**  
Intervento su pareti  
e orizzontamenti



**Edificio NZEB**

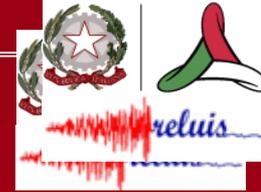




# COSTI

Design level	Description	€	m2	mc	€/m2	€/mc
Level 1 +1 seismic class +4 energy class	Structural interventions	940,375	4,880	20,400	192.70	46.10
	Demolition and finishing	438,150			89.78	21.48
	Energy interventions	572,700			117.36	28.07
	<b>Total costs</b>	<b>1,951,225</b>			<b>399.84</b>	<b>95.65</b>
Level 2 +4 seismic class +5 energy class	Structural interventions	490,350	4,880	20,400	100.48	24.04
	Demolition and finishing	1,043,000			213.73	51.13
	Energy interventions	347,800			71.27	17.05
	<b>Total costs</b>	<b>1,881,150</b>			<b>385.5</b>	<b>92.2</b>
Level 3 +5 seismic class +7 energy class	Structural interventions	1,430,725	4,880	20,400	293.18	70.13
	Demolition and finishing	1,226,000			251.23	60.10
	Energy interventions	920,500			188.63	45.12
	<b>Total costs</b>	<b>3,577,225</b>			<b>733.04</b>	<b>175.35</b>

nZEb +5 seismic class +9 energy class	Structural interventions	1,430,725	4,880	20,400	293.18	70.13
	Demolition and finishing	1,226,000			251.23	60.10
	Energy interventions	1,093,500.00			224.08	53.60
	<b>Total costs</b>	<b>3,750,225</b>			<b>768.49</b>	<b>183.83</b>



# MIGLIORAMENTO OTTENUTO E TEMPI

## EFFICIENTAMENTO MIGLIORAMENTO

### ENERGETICO

### SISMICO

LIVELLO 1



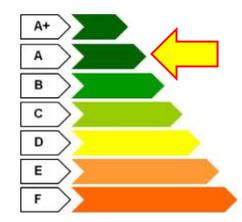
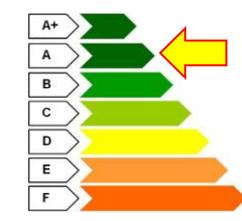
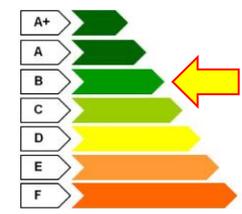
LIVELLO 2



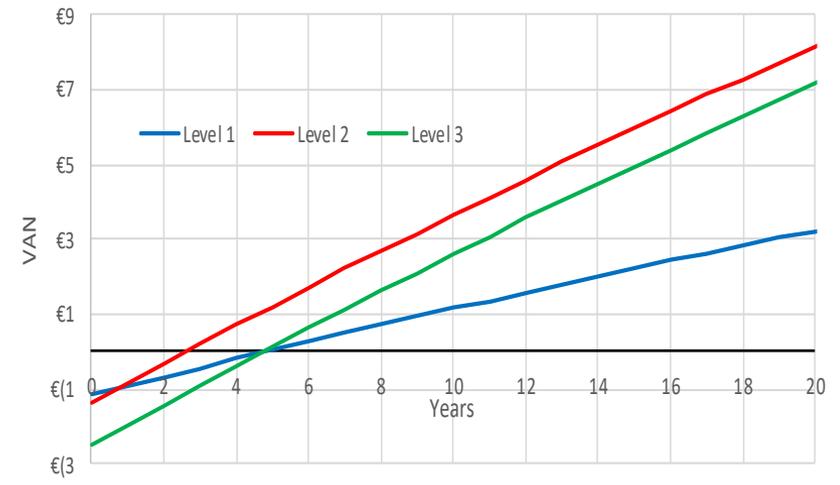
LIVELLO 3



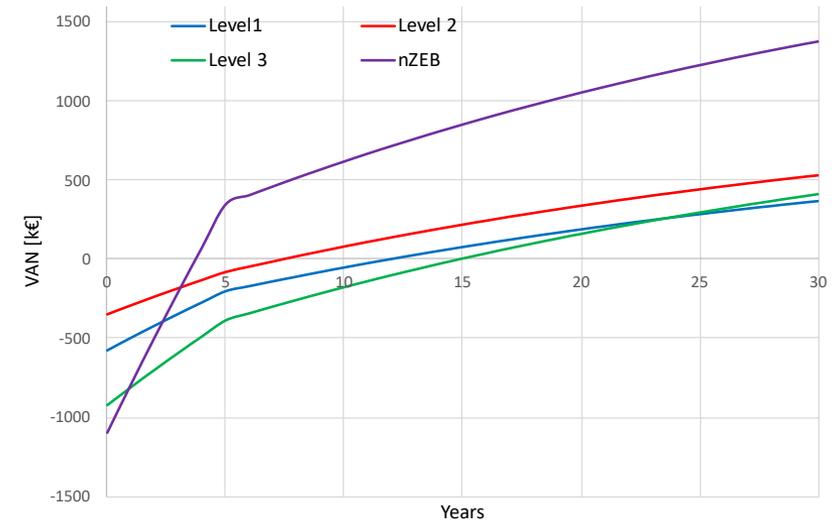
NZEB



Intervento strutturale (con incentivi)



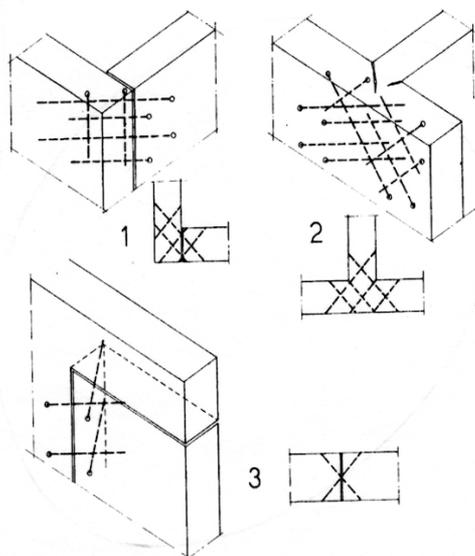
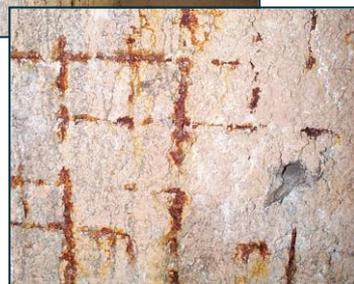
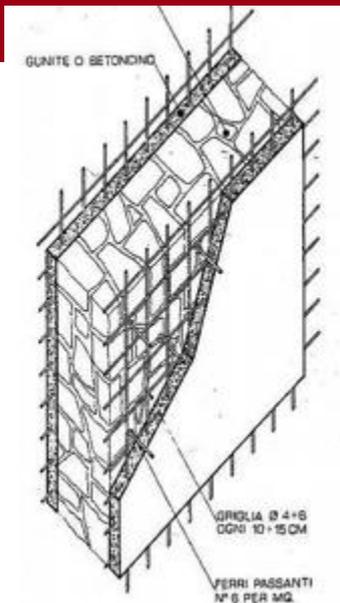
Efficientamento energetico (con incentivi)





# ALCUNE CONSIDERAZIONI FINALI

# PROBLEMATICHE DI INTERVENTI PASSATI



Interventi inadeguati o mal eseguiti sulle pareti

# PROBLEMATICHE DI INTERVENTI PASSATI

## Effetti legati alla sostituzione dei solai



Umbria-Marche 1997



Edificio ad Accumoli, 2016



Terremoto de L'Aquila, 2009

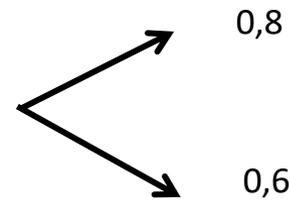
# INTERVENTI PROPOSTI E SUPERBONUS 110%

## “ Norme tecniche per le costruzioni”

Maggiore considerazione per interventi locali di rafforzamento e per interventi di miglioramento

Viene graduata la soglia di sicurezza:

$$Z_E = \frac{\text{azione sismica massima sopportabile dalla struttura}}{\text{azione sismica massima per progettare nuove strutture}} \quad 3$$



Rispettivamente per **adeguamento** e **miglioramento** di classi speciali di strutture, o incremento di 0,1 per il miglioramento di strutture ordinarie.

## “Sismabonus”

### EDIFICI IN MURATURA PORTANTE



Classe di rischio allo stato di fatto con METODO SEMPLIFICATO (Fig. 2 e Tab. 4 Allegato A) seguendo l'EMS-98

### PASSAGGIO DI 1 CLASSE DI RISCHIO



Effettuando interventi locali di cui alla Tab. 6 dell'Allegato A, e senza modifiche sostanziali del comportamento d'insieme



**GRAZIE PER L'ATTENZIONE!**

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