



Rete dei Laboratori Universitari  
di Ingegneria Sismica e Strutturale

# Convegno ReLUIS



**Progetto DPC\_ReLUIS 2022-2024**  
**Esposizione delle attività svolte e prospettive**

**Roma, 7 novembre 2023**

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

**Francesca da Porto – Andrea Prota**

# UNIVERSITA' - ENTI (23) e U.R. (40) COINVOLTE NEL WP5



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



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



Università di Salerno  
G. Rizzano



Università di Pavia  
R. Pinho, A. Penna/F.Graziotti



Università di Bergamo  
A. Marini



Università di Genova  
S. Lagomarsino / S. Cattari



Università della Campania  
A. Mandara



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



Università di Napoli  
Parthenope  
N. Caterino



Politecnico di Milano  
C. Chesi, G. Milani



Università della Basilicata  
G. Santarsiero



ITC - CNR  
C. Modena



Università Roma Tre  
G. de Felice



Università di Brescia  
G. Metelli



IUSS - Pavia  
R. Monteiro, G.M. Calvi



Università del Sannio  
A. De Angelis, C. Del Vecchio,  
L. Di Sarno



Università di Cagliari  
M. Sassu



Università di Udine  
M. Pauletta



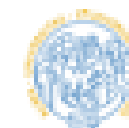
Università di Trento  
I. Giongo



Università di Trieste  
N. Gattesco



Politecnico di Torino  
G. Ferro



Università di Parma  
G. Royer Carfagni

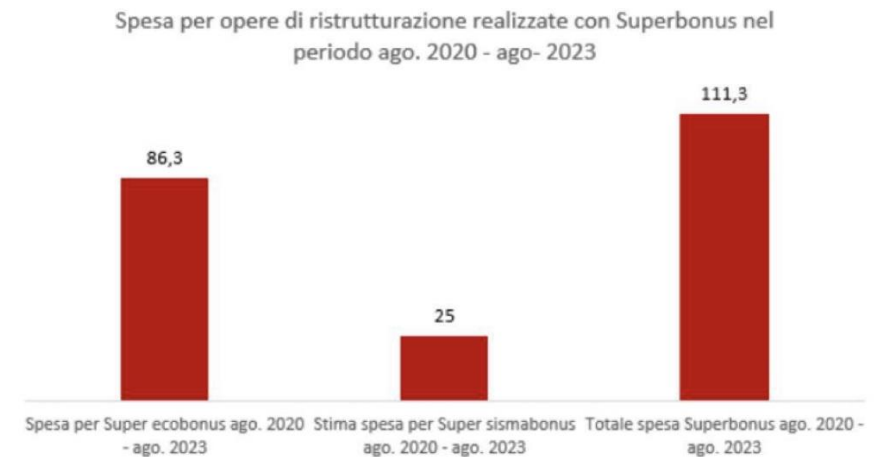


Università di Catania  
I. Caliò  
C.F. Carocci

## CONTESTO ATTUALE DEL WP5

- Complessiva incertezza normativa e politiche di austerità avverse agli incentivi
- Probabile quadro con superbonus senza cessione del credito o sconto in fattura e con un'aliquota ridotta al 70%, di fatto diventa meno vantaggioso dell'Ecobonus
- Ridimensionamento anche delle Direttive UE in materia di case green, assenza di strumenti UE dedicati alla sicurezza

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



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

## **OBIETTIVO COMPLESSIVO DEL WP5**

**Produrre strumenti operativi e linee guida che abbiano lo scopo di favorire l'implementazione, da parte dei professionisti e dei proprietari, di strategie sostenibili ed integrate per la mitigazione del rischio sismico e l'efficientamento energetico del patrimonio edilizio esistente.**

# OBIETTIVI DI DETTAGLIO DEI TASKS

## Task 5.1 – Interventi integrati e sostenibili per la riqualificazione di edifici esistenti (25 UR)

- ✓ messa a punto di strategie e tecniche di intervento che integrino aspetti sismici/strutturali ed energetici

## Task 5.2 – Metodi di valutazione integrati (12 UR)

- ✓ metodi di valutazione della sostenibilità generale degli interventi (prestazioni, consumi, tempi, invasività...)

## Task 5.3 – Interventi su edifici vincolati monumentali e chiese (16 UR)

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

## Task 5.4 – Interventi di miglioramento ed adeguamento di ponti esistenti (12 UR)

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

## RISULTATI nel biennio 2022-2024

### Task 5.1 – Interventi integrati e sostenibili per la riqualificazione di edifici esistenti

- ✓ Pubblicazione 12 casi studio (triennio 19-21 e biennio 22-24), con 48 soluzioni di intervento
- ✓ Sperimentazioni e sviluppo metodi di calcolo
- ✓ Redazione Volume Finale di Progetto

### Task 5.2 – Metodi di valutazione integrati

- ✓ Sviluppo e confronto di 10 metodi differenti di valutazione integrati
- ✓ Applicazione a casi studio reali di progettazione

### Task 5.3 – Interventi su edifici vincolati monumentali e chiese

- ✓ Database di correlazione tra danni / interventi e tra interventi / costi
- ✓ Studio di 7 case-study di chiese finalizzate agli interventi
- ✓ Aspetti specifici nella risposta sismica delle chiese e interventi

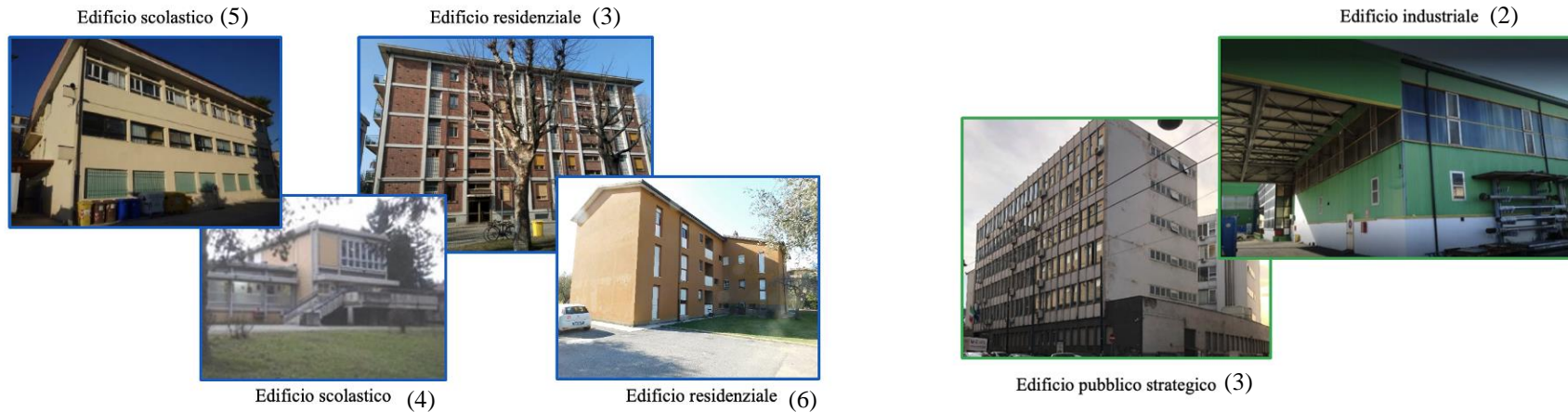
### Task 5.4 – Interventi di miglioramento ed adeguamento di ponti esistenti

- ✓ Studio di case-study per 3 tipologie strutturali di ponte
- ✓ Aspetti specifici e relazione tra interventi e degrado

# TASK 5.1 – PRODOTTI / RISULTATI nel biennio 2022-2024

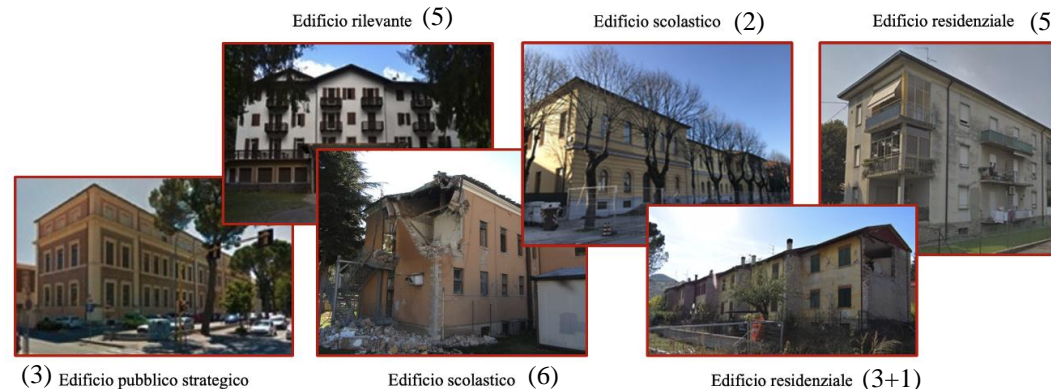
**12 casi studio - 4 C.A., 2 acciaio, 6 muratura, 48 soluzioni di intervento**

*(Consegnati in formato completo, in pubblicazione)*



*Figura 2-1: Edifici calcestruzzo armato selezionati come casi studio.*

*Figura 2-2: Edifici in acciaio selezionati come casi studio.*



*Figura 2-3: Edifici in muratura portante selezionati come casi studio.*

## NUOVI CASI STUDIO per il biennio: Sono inoltre in fase di studio altri 3 casi, di cui 1 in C.A. con isolamento sismico.

### Progetto DPC-ReLUI5 2019-2021 – WP5 – Casi studio

Nell'ambito dell'Accordo tra il Dipartimento della Protezione Civile e il Consorzio ReLUI5 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-ReLUI5 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 tre 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

CASO STUDIO 3: EDIFICIO AD USO PUBBLICO IN MURATURA

Rev 2.0  
includendo  
ulteriori  
interventi



UNINA – Edificio residenziale  
Villaggio Olimpico (RM)



UNISA – Scuola elementare  
«L. Perna» (AV)

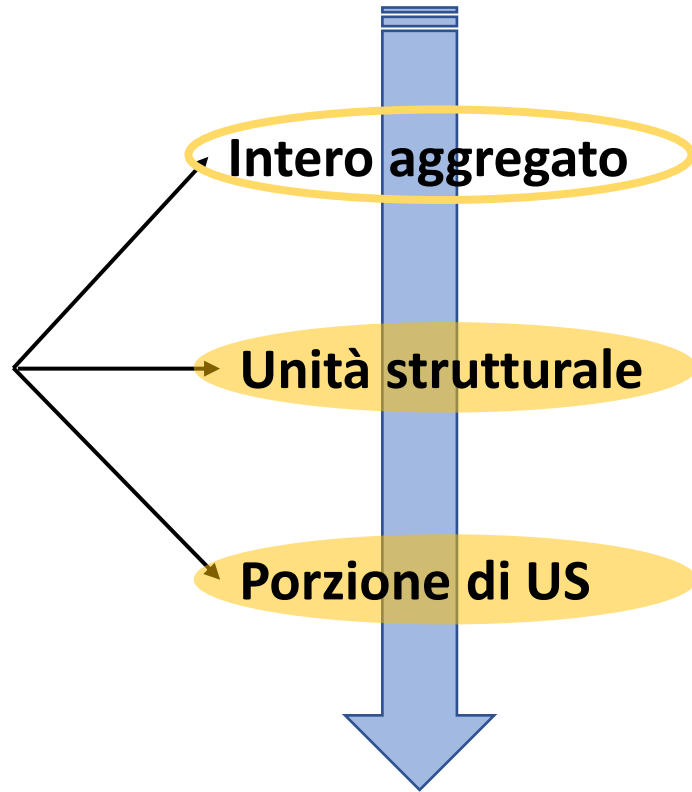


UNIBS-UNIBG – Edificio residenziale  
multipiano Brescia (BS)

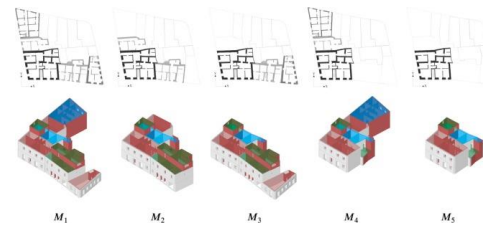
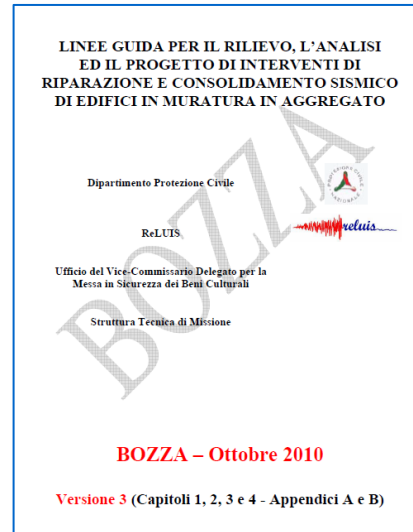




## Livello di progettazione degli interventi



Significatività, interferenza, e problemi di applicazione dell'intervento nel contesto dell'aggregato



### Aggregato di Castelsantangelo sul Nera (MC)



### Aggregato di Paganica (AQ)



## TASK 5.1 – PRODOTTI / RISULTATI nel biennio 2022-2024

### - SPERIMENTAZIONI:



- PCM-Impregnated Textile-Reinforced Cementitious Composite
- Cappotti collaboranti in blocchi di agglomerato di perlite
- Proprietà termofisiche di pareti rinforzate con sistemi in legno
- Strong-back lignei per rinforzo OOP delle tamponature e dei telai in C.A.
- Rinforzo locale nodi C.A. e sistemi integrati per tamponature



### - LINEE GUIDA:

- Progettazione di rinforzi con pannelli OSB per edifici URM

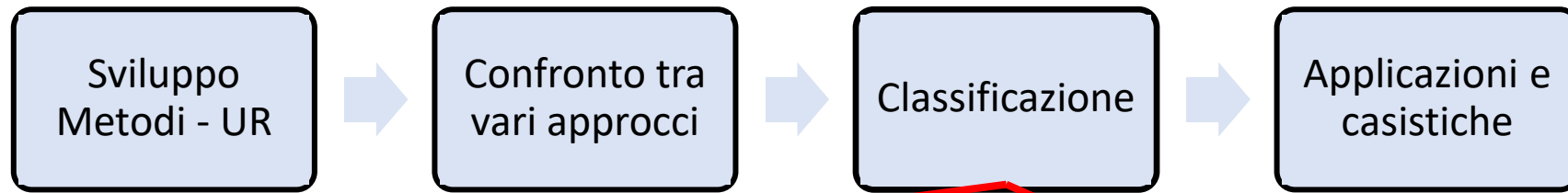


### - STUDI SU TECNICHE:

- Rinforzo murature con CRM
- Sistemi di rinforzo “timber-coating” con pannelli CLT per edifici URM
- Dispositivo SPEAD per il rinforzo locale dei nodi
- Sistemi di esoscheletro e controventi dissipativi

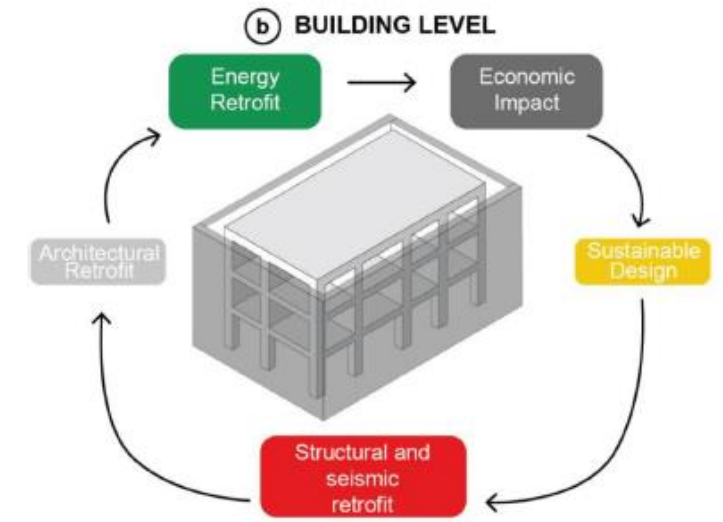
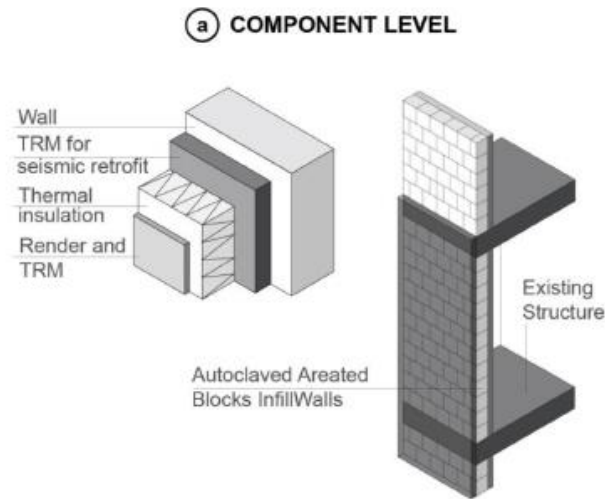
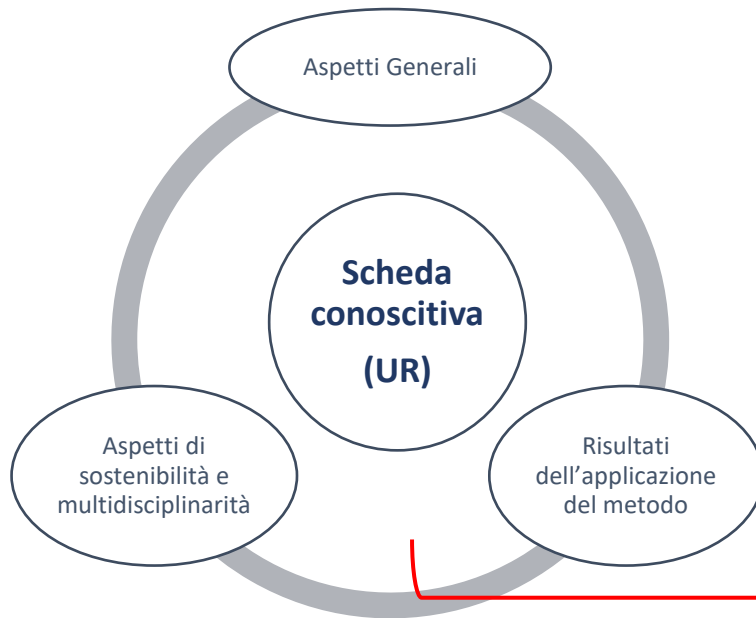


# TASK 5.2 – PRODOTTI / RISULTATI nel biennio 2022-2024



Criteria di classificazione

Relazione con tecniche innovative/tradizionali integrate

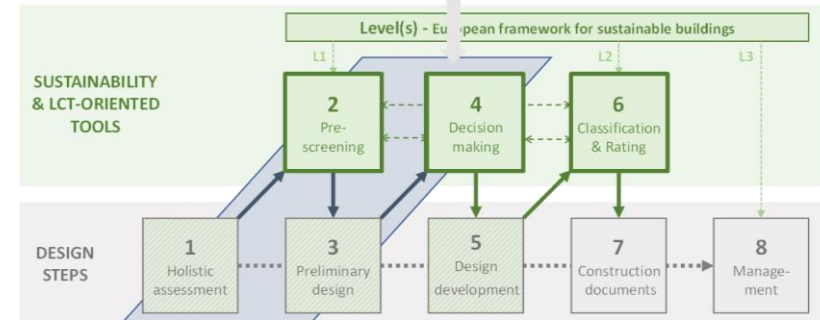
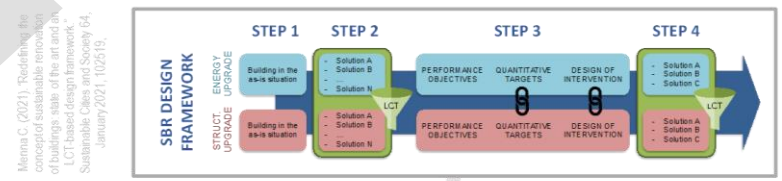
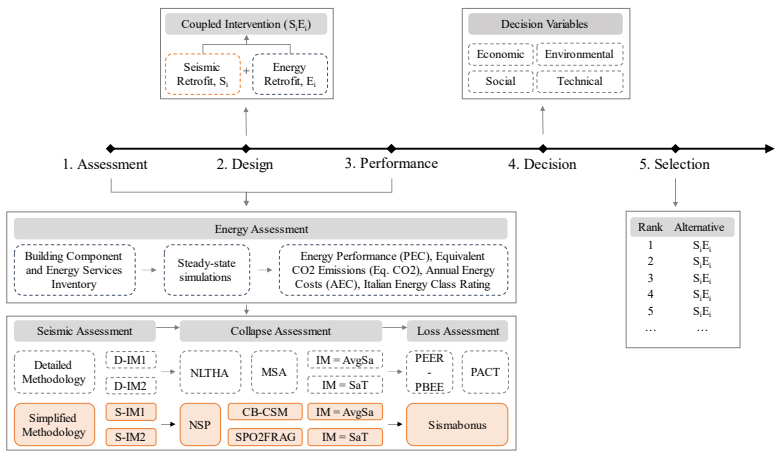
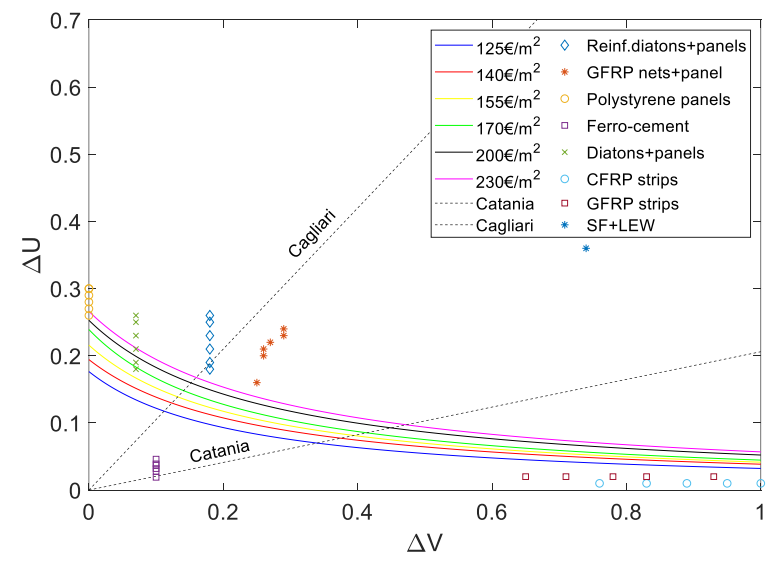
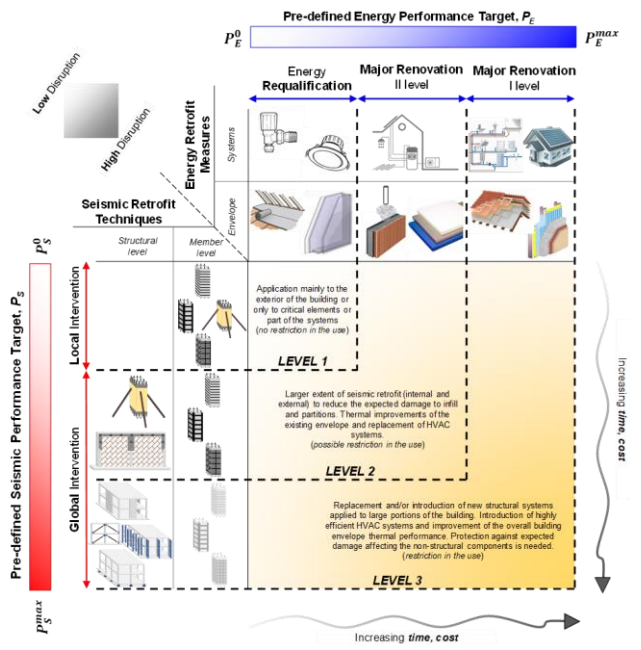


**Indicatori multi-performance**
  
**(es. Life Cycle based)**

# TASK 5.2 – PRODOTTI / RISULTATI nel biennio 2022-2024

## Classificazione

1. Interventi Incrementali: target prestazionali Sis-En
2. Definizione di curve di Iso-performance per le tecniche
3. Ottimizzazione dei costi: optimal, MCDM
4. Metodi olistici e/o basati su LCT



**Constraints**  
tempi, costi, invasività

# TASK 5.2 – PRODOTTI / RISULTATI nel biennio 2022-2024

Applicazioni e casistiche



Rilevanti MUR



Residenziali CA

APPLICAZIONE  
METODI WP5.2



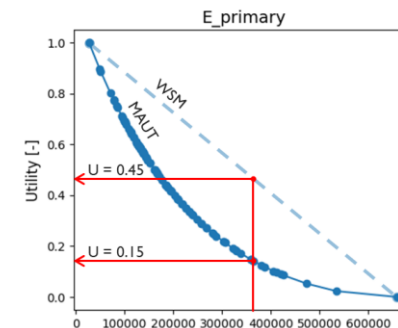
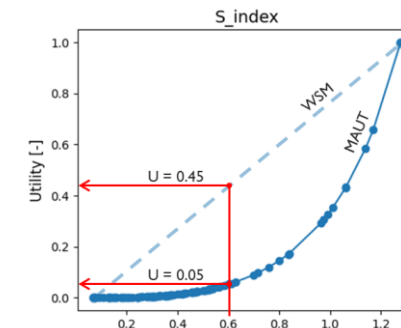
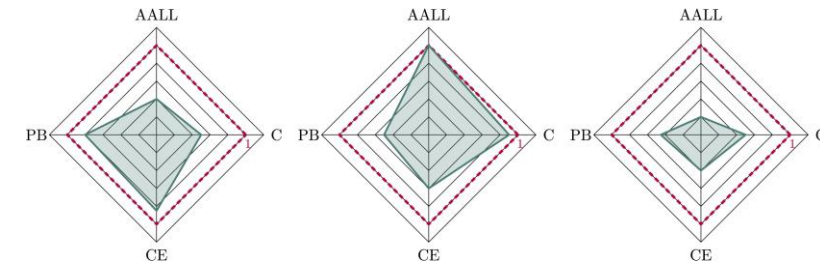
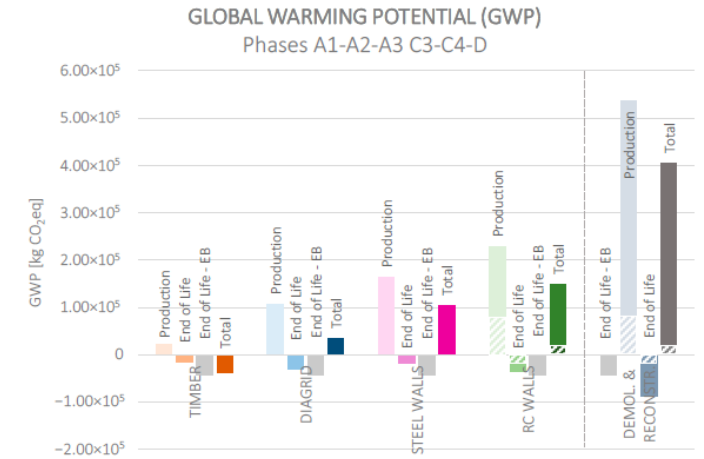
Scuole CA



Scuole MUR



Residenziale MUR



## VOLUME FINALE DEL PROGETTO

### 1 INTRODUZIONE

- 1.1 POLITICHE FISCALI, INCENTIVI E LORO EFFETTI
- 1.2 INTERVENTI INTEGRATI A BASSO IMPATTO

### 2 CASI STUDIO

### 3 TEMI EMERGENTI DALL'APPLICAZIONE AI CASI STUDIO

- 3.1 INTERVENTI LOCALI NEI NODI E RINFORZO DELLE TAMPONATURE
  - 3.1.1 *AMBITI DI APPLICABILITÀ*
  - 3.1.2 *VANTAGGI E SVANTAGGI*
- 3.2 INTERVENTI SU EDIFICI IN MURATURA IN AGGREGATO
- 3.3 ESOSCHELETRI IN ACCIAIO
- 3.4 CRITICITÀ E INTERVENTI SUI SOLAI
- 3.5 INTERVENTI CON SISTEMI IN LEGNO
- 3.6 INTERVENTI MEDIANTE TECNICHE DI ISOLAMENTO SISMICO

### 4 METODI DI VALUTAZIONE INTEGRATA

- 4.1 DESCRIZIONE METODOLOGICA
- 4.2 APPLICAZIONI

### 5 CONCLUSIONI

### BIBLIOGRAFIA

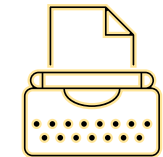
### APPENDICE



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



Collaborazione delle UR partecipanti al progetto su temi trasversali



In fase di scrittura



## SCHEDE DI SINTESI DEI CASI STUDIO ANALIZZATI

**SCHEDE DI SINTESI CASO STUDIO**  
**FABBRICATO AD USO PUBBLICO IN PROVINCIA DI ANCONA**

TIPOLOGIA	
Destinazione d'uso	Uso pubblico
Sistema costruttivo	Muratura
Epoca di costruzione	1940-1950
Nr. di piani	4 fuori terra
Area in pianta	1300 mq a piano
Superficie calpestabile	4880 mq
Regolare in pianta	No
Reg. in elevazione	Si
Classe d'uso	IV

PARAMETRI DI DOMANDA			
Zona Sismica: 2		Zona Climatica: E	
$a_g$ SLV = 0.228 [g]	Classe di suolo: B	Cat. top: T1	Gradi giorno: 2198

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

METODI DI ANALISI	
Analisi sismica: Pushover	Analisi energetica: Quasi stazionario, dinamico

CARATTERISTICHE STRUTTURALI			
Elemento	Classe/Proprietà	Note	Schema/Foto
MUR1 – Muratura interna principale	Pietre a spacco con buona tessitura	Tipologia muraria propria dei principali setti interni e delle pareti perimetrali del piano secondo e sottotetto	
MUR2 – Muratura interna secondaria	Mattoni pieni	Tipologia muraria propria di alcuni setti interni secondari	
MUR3 – Muratura perimetrale	Pietre a spacco con buona tessitura e mattoni a facciavista	Tipologia muraria propria delle pareti perimetrali del piano terra e primo	
SOL1-2	Putrelle in acciaio e voltine in laterizio forato	Solaio del piano rialzato e piano 1	
SOL3	Profili in acciaio IPE e lamiera grecata	Solaio del piano 2	
SOL4	Profili in acciaio Ω e tavolato in legno	Solaio non calpestabile del sottotetto	
Copertura	Copertura a falde con capriate lignee		

RISULTATI		
<b>CONFIGURAZIONE AS-BUILT</b>	<b>Note (S)</b> Scarsa capacità di ripartizione delle forze di piano tra le pareti.	<b>Note (E)</b> Impianti scadenti.
IS-V 15%  15%	PAM 8.7%  8.7%	EP 216.54 kWh/(m <sup>2</sup> y)  216.54 kWh/m <sup>2</sup> anno
<b>INTERVENTO 1 (VERT.)</b>	<b>Tempi<sup>†</sup></b> 9 mesi	<b>Costi<sup>†</sup></b> 1.951.225 € 399,84 €/m <sup>2</sup>
IS-V 21%  21%	PAM 5.0%  5%	EP 74.79 kWh/(m <sup>2</sup> y)  74.79 kWh/m <sup>2</sup> anno
<b>INTERVENTO 2 (ORIZZ.)</b>	<b>Tempi<sup>†</sup></b> 8.5 mesi	<b>Costi<sup>†</sup></b> 1.881.150 € 385,50 €/m <sup>2</sup>
IS-V 74%  74%	PAM 0.68%  0.68%	EP 122.42 kWh/(m <sup>2</sup> y)  122.42 kWh/m <sup>2</sup> anno
<b>INTERVENTO 3 (VERT. &amp; ORIZZ.)</b>	<b>Tempi<sup>†</sup></b> 16 mesi	<b>Costi<sup>†</sup></b> 3.577.225 € 733,04 €/m <sup>2</sup>
IS-V 97%  97%	PAM 0.52%  0.52%	EP 65.72 kWh/(m <sup>2</sup> y)  65.72 kWh/m <sup>2</sup> anno
<b>INTERVENTO NZEB</b>	<b>Tempi<sup>†</sup></b> 16 mesi	<b>Costi<sup>†</sup></b> 3.750.225 € 768,49 €/m <sup>2</sup>
IS-V 97%  97%	PAM 0.52%  0.52%	EP 22.26 kWh/(m <sup>2</sup> y)  22.26 kWh/m <sup>2</sup> anno

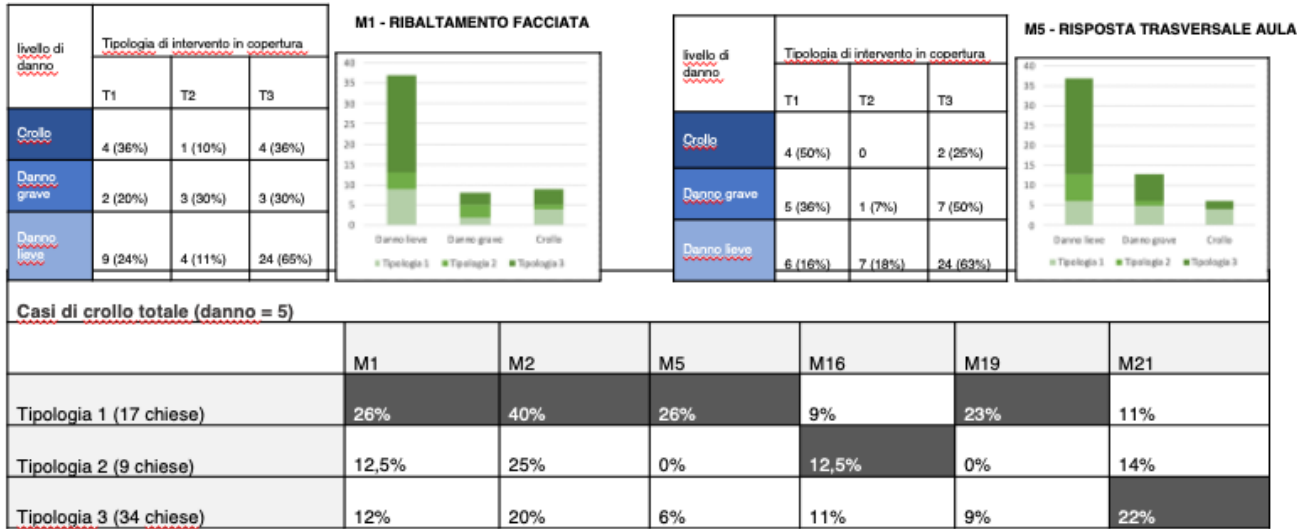
<sup>\*</sup> Considerando 4 squadre per opere civili e 2 squadre per opere energetiche.  
<sup>†</sup> L'analisi di costo fa riferimento al Prezzario regionale dei lavori pubblici della Regione Marche dell'anno 2019. I costi sono comprensivi di oneri per la sicurezza.



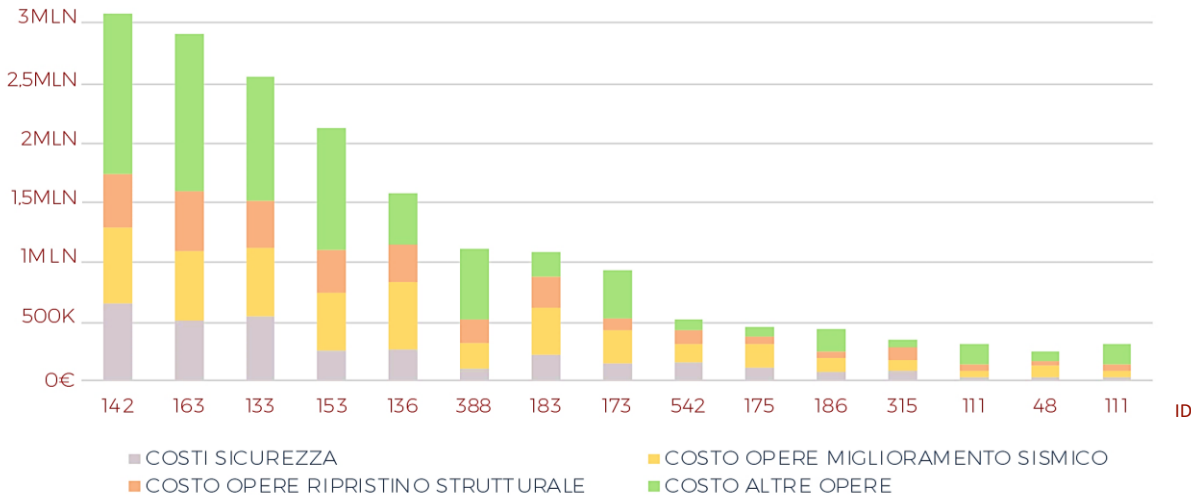


# TASK 5.3 – PRODOTTI / RISULTATI nel biennio 2022-2024

## Data-base di correlazione tra danni e interventi



## Data-base di correlazione interventi / costi

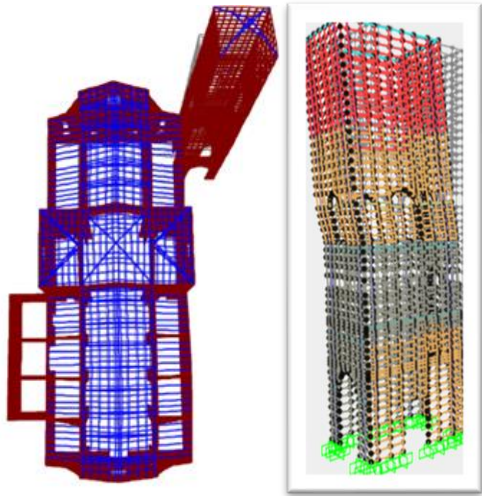


ID	CHIESA	PROF. RESPONSABILE	INDICE DANNO	INDICE PREGIO	totali		sicurezza		miglioramento sismico			ripristino strutturale				COSTI				
					TOTALE LAVORI	TOTALE COSTI	TOTALE LAVORI	TOTALE COSTI	COSTO OPERE MIGLIORAMENTO SISMICO	COSTO OPERE RIPRISTINO STRUTTURALE	COSTO ALTRE OPERE	COSTO OPERE RIPRISTINO STRUTTURALE	COSTO OPERE MIGLIORAMENTO SISMICO	COSTO ALTRE OPERE						
142	Chiesa di San Felice	100	2009	100	256.198,00	€ 251.265,20	€ 34.800,00	15,49%	6,44	1	€ 94.744,79	€ 24.944,79	€ 45.117,00	€ 15,84	31,2%	€ 38.939,57	€ 20,84	€ 149,00	15,33%	entro con interventi in foglio, ma senza interventi di adeguamento

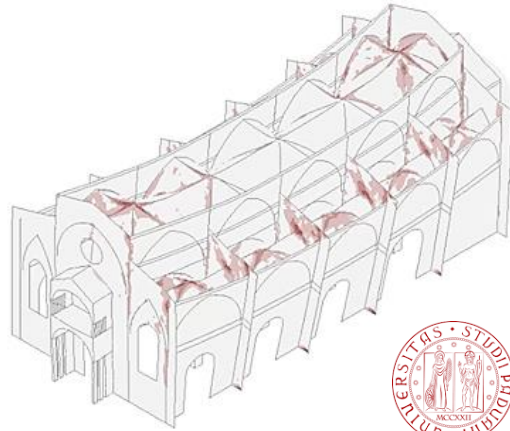
# TASK 5.3 – PRODOTTI / RISULTATI nel biennio 2022-2024

## NUOVI CASI STUDIO per il biennio:

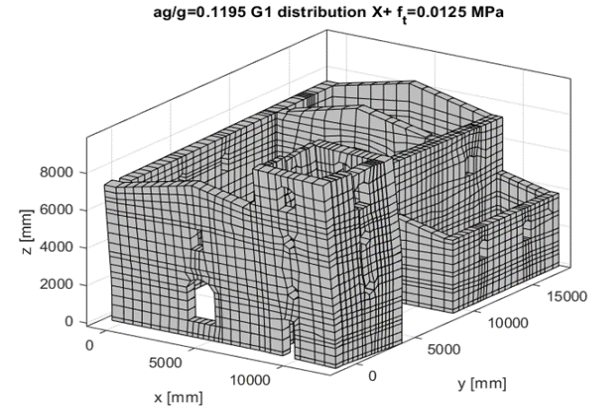
Edifici religiosi dotati di notevole estensione e complessità



**CATTEDRALE DI SANT'ANGELO DEI LOMBARDI (AV)**



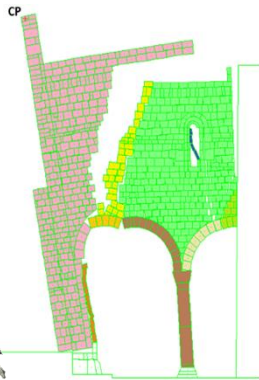
**DUOMO DI VERONA (VR)**



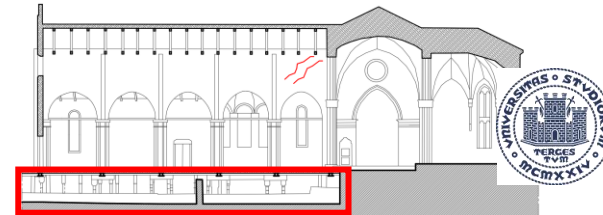
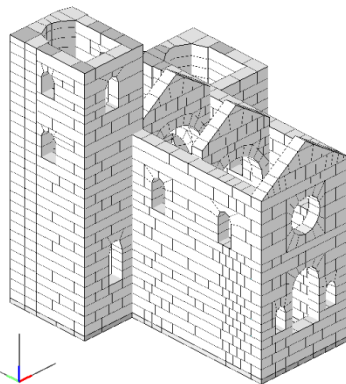
**CHIESA DI GALLICIANÒ CONDOFURI (RC)**



**SANTA MARIA MAGGIORE (VT)**



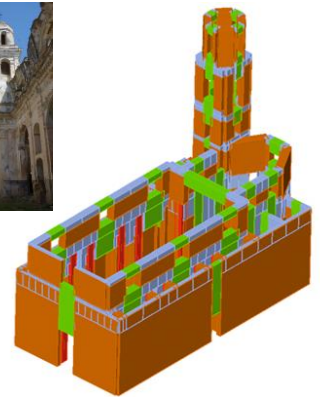
**SAN NICOLÒ DI CAPODIMONTE IN CAMOGLI (GE)**



**CATTEDRALE DI SANTO STEFANO (CONCORDIA SAGITTARIA)**

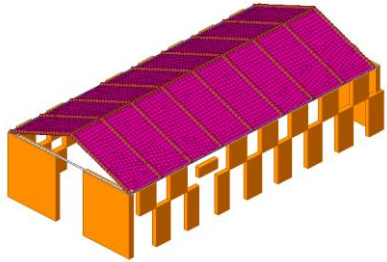


**CHIESA DI NS DELLE GRAZIE E SANT'EGIDIO (IM)**

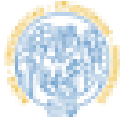


## TASK 5.3 – PRODOTTI / RISULTATI nel biennio 2022-2024

### - STUDI SU TECNICHE:



- Modellazione cupole e sistemi voltati con interventi di placcaggio FRCCM
- Modello semplificato per il predimensionamento delle coperture scatolari
- Dettagli costruttivi per diaframmi ibridi con pannelli in vetro / acciaio

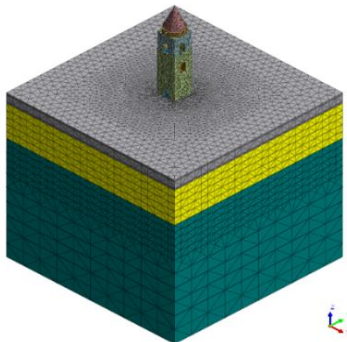


### - SOFTWARE:

- Software di calcolo per l'analisi statica non-lineare e dinamica di sistemi a blocchi rigidi  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.6657392>



### - SPERIMENTAZIONI:



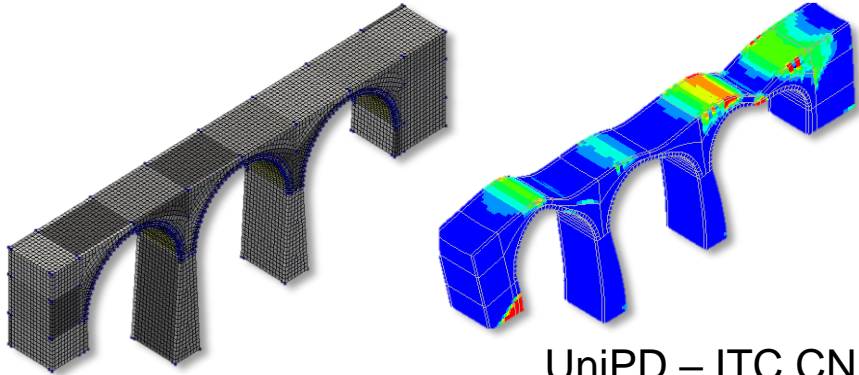
- Utilizzo di indagini dinamiche in sito per model updating e studio dei vincoli
- Utilizzo di indagini dinamiche in sito per interazione terreno / layer sommersi / struttura



## NUOVI CASI STUDIO per il biennio:

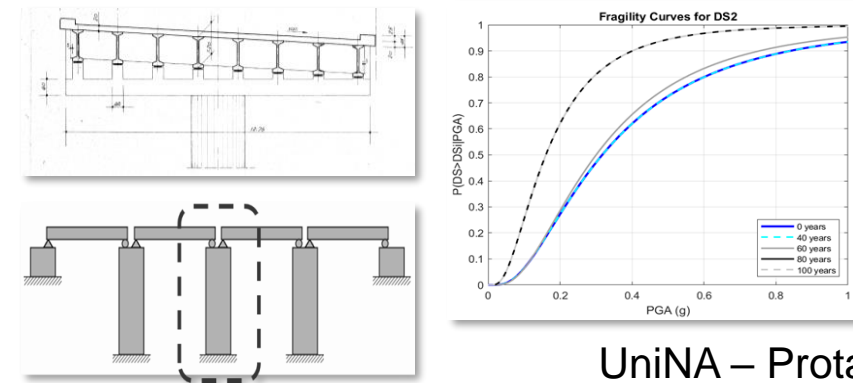
### Ponti ad arco in muratura

Analisi tipologica e definizione classi d'intervento.



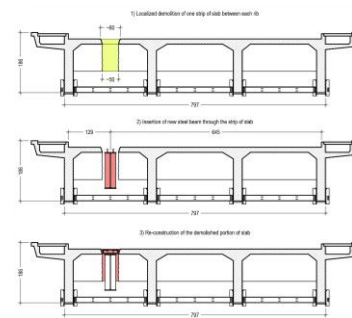
### Ponte a travate appoggiate in c.a.p.

Valutazione impatto dei difetti sulla sicurezza strutturale.

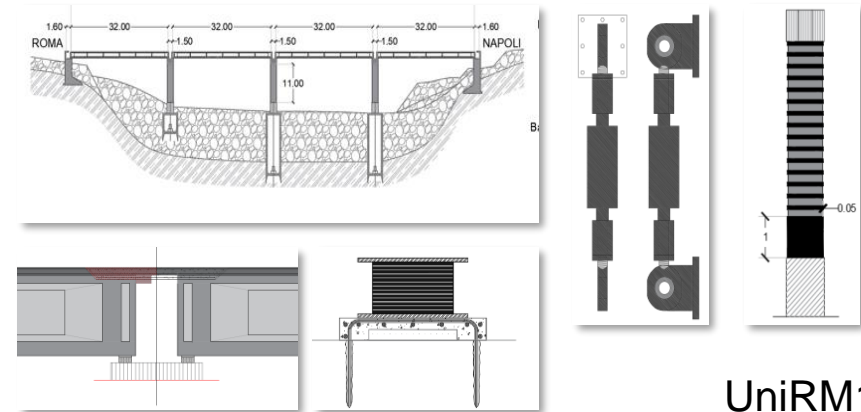


### Ponte a travata Gerber in c.a.-c.a.p.

Intervento di rinforzo con sistema misto acciaio-c.a..



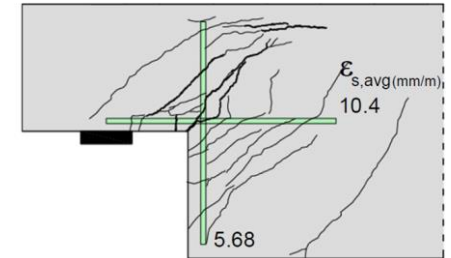
Definizione strategie intervento e valutazione costi.



# TASK 5.4 – PRODOTTI / RISULTATI nel biennio 2022-2024

## - STUDI SU TEMI SPECIALI:

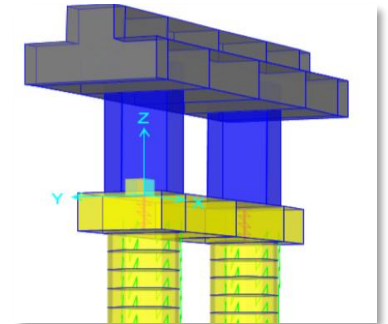
- Data-base ed interventi su selle Gerber



- Fatica di unioni chiodate



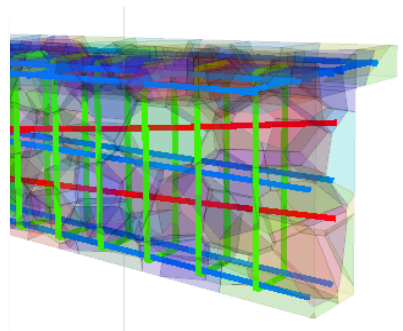
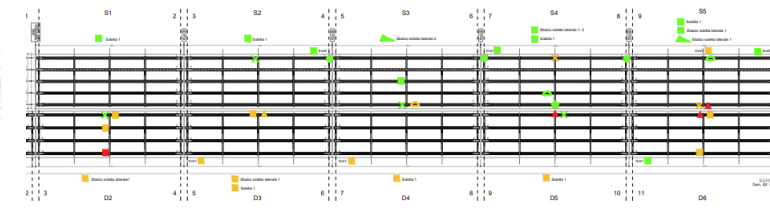
- Effetti della SSI sulla sicurezza strutturale di ponti in c.a.



- Perdita di precompressione ed impatto sulla progettazione degli interventi



- Condizioni di degrado e scelta degli interventi



## PRODUZIONE SCIENTIFICA WP5

- **ARTICOLI SU RIVISTA INTERNAZIONALE: 40**
  - di cui in collaborazione tra più UR: 5**
  
- **ARTICOLI SU ALTRE RIVISTE E A CONGRESSI: 57**
  - di cui in collaborazione tra più UR: 6**
  
- **SOFTWARE DI CALCOLO: 1 (pubblicato online)**
  
- **DATABASE: 1 (pubblicato online)**

- **Casi studio finalizzati alla progettazione degli interventi per tipologie nuove / poco esplorate sinora (task 5.1 – 5.3 – 5.4)**
- **Sperimentazioni ed analisi su tecniche di intervento per definire campi di applicazione, modelli di calcolo, dettagli, ... (task 5.1 – 5.3)**
- **Creazione di data-base su degrado, sperimentazione, costi (task 5.1 – 5.3 – 5.4)**
- **Definizione di criteri e strumenti per orientare la scelta degli interventi nel caso di edifici e di ponti (task 5.1 – 5.2 – 5.4)**
- **Produzione di linee guida progettuali per l'intervento (per singole tecniche di intervento / per tipologie strutturali) e documenti di sintesi (task 5.1 – 5.3 – 5.4)**