Rete dei Laboratori Universitari
di Ingegneria Sismica e Strutturale

Convegno ReLUIS

PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Workshop del Progetto DPC_ReLUIS 2024-2026

Napoli, 13-14 ottobre 2025

WP 5 – Interventi Integrati e sostenibili per costruzioni esistenti

Francesca da Porto, Andrea Prota

Elisa Saler, Ciro Del Vecchio, Costantino Menna, Michol Rampado, Andrea Miano, Andrea Gennaro

UNIVERSITA' – ISTITUTI DI RICERCA (22) e U.R. (38) 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,
C. Menna, L. Di Sarno
G. Brandonisio, F. Portioli,
F. Marotti De Sciarra

Università di Salerno
G. Rizzano

Università di Bergamo
A. Marini

Università di Pavia
R. Pinho, G. Magenes/G. Guerrini

Università di Genova
S. Lagomarsino / S. Cattari

Università della Campania
A. Mandara/M. Ferraioli

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

Università Roma Tre
G. de Felice

Politecnico di Milano
L. Cantini, C. Chesi

Università della Basilicata
G. Santarsiero

Università del Sannio
C. Del Vecchio,
S. Sica/A. De Angelis

Università di Cagliari
M. Sassu/F. Stochino

Università di Udine
M. Pauletta

Università di Brescia
G. Metelli

IUSS – Pavia
R. Monteiro, G.M. Calvi

Politecnico di Torino
G. Ferro

Università di Parma
G. Royer Carfagni

Università di Catania
I. Caliò,
C.F. Carocci

Università di Palermo
L. La Mendola/F.
Granata

Università di Trento
I. Giongo

Università di Trieste
N. Gattesco

Università di Messina
A. Recupero

CONTESTO ATTUALE DEL WP5

INTERVENTI INTEGRATI

EFFICIENTAMENTO ENERGETICO

RETROFIT SISMICO ED ENERGETICO INDEPENDENTI

MIGLIORAMENTO SISMICO

CONTESTO ATTUALE DEL WP5

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

Agosto 2016, Terremoto Centro Italia

SuperEcobonus 31 agosto 2025

		Dato Nazionale			
			% lavori realizzati (#)	% edifici	% Invest.
N. di edifici		500.651			
Totale investimenti(*)		123.842.828.441,62 €			
Totale investimenti ammessi a detrazione		121.992.417.096,97 €			
Totale investimenti per lavori conclusi ammessi a detrazione		117.338.121.496,50 €	96,2%		
Detrazioni maturate per i lavori conclusi		127.056.176.160,85 €	Onere a carico dello Stato		
di cui	**Condomini**				
	N. di edifici condominiali	138.118		27,6%	
	Totale investimenti(*)	83.589.774.013,82 €			
	Tot. Inv. Condominiali ammessi a detrazione	82.764.427.791,65 €			67,8%
	Tot. Lavori Condominiali realizzati ammessi a detrazione	78.778.803.354,30 €	95,2%		
	Edifici unifamiliari				
	N. di edifici unifamiliari	245.143		49,0%	
	Totale investimenti(*)	28.719.204.191,75 €			
	Tot. Inv. in edifici unifamiliari ammessi a detrazione	27.936.693.834,39 €			22,9%
	Tot. Lavori in edifici unifam. realizzati ammessi a detrazione	27.460.940.202,90 €	98,3%		
	U.I. funzionalmente indipendenti				
	N. di unità immobiliari funzionalmente indipendenti	117.385		23,4%	
	Totale investimenti(*)	11.531.959.462,82 €			
	Tot. Inv. in unità immob. indipend. ammessi a detrazione	11.290.239.403,96 €			9,3%
	Tot. Lavori in unità immob. indipend. realizzati	11.097.321.872,33 €	98,3%		
	A/9 aperti al pubblico				
	N. edifici A/9 aperti al pubblico	5		0,0%	
	Totale investimenti(*)	1.890.773,23 €			
	Tot. Inv. ammessi a detrazione	1.056.066,97 €			0,0%
	Tot. Lavori realizzati ammessi a detrazione	1.056.066,97 €	100,0%		
		Investimento medio(*)			
	Condomini	**605.205,51 €**			
	Edifici unifamiliari	**117.152,86 €**			
	U.I. funzionalmente indipendenti	**98.240,49 €**			
	A/9 aperti al pubblico	**378.154,65 €**			

(*) Investimento compreso le somme non ammesse a detrazione
(#) % lavori realizzati: è calcolato sulla stima del totale investimenti ammessi a detrazione

VOLUME INTERVENTI

Prodotto degli accordi DPC-ReLUIS 2019-24

Link al volume

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

Collaborazione delle UR partecipanti al progetto su temi trasversali

Muratura

Acciaio

Calcestruzzo armato

4 edifici C.A., 2 acciaio, 6 muratura
48 soluzioni di intervento

OBIETTIVO COMPLESSIVO DEL WP5

Sviluppare *strategie sostenibili di intervento* per l'edilizia esistente italiana, in un'ottica di riqualificazione integrata mirata al miglioramento contestuale delle *prestazioni strutturali, sismiche, energetiche, funzionali* dell'edificio, e che consideri le componenti di impatto (economico, sociale, …) nel progetto.

Fornire:

- ***soluzioni tecniche di intervento***
- ***strumenti operativi e linee guida* per progettazione e valutazione di interventi**
- **su *edifici esistenti e strutture speciali* (chiese e ponti)**

OBIETTIVI DI TASK

Task 5.1 – Interventi integrati e sostenibili per la riqualificazione di edifici esistenti (26 UR)

- ✓ Studio delle tecniche di intervento, valutando le combinazioni ammissibili di interventi di rafforzamento sismico ed energetico e la loro possibilità di integrazione (in continuità con precedente progetto)
- ✓ Interventi su edifici in aggregato storici in muratura
- ✓ Digitalizzazione degli edifici e di interoperabilità con modelli strutturali ed energetici.

Task 5.2 – Metodi di valutazione integrati (9 UR)

- ✓ Metodi di valutazione della sostenibilità generale degli interventi (prestazioni, consumi, tempi, invasività…)
- ✓ Sviluppo di uno strumento interoperabile e completo, per la progettazione e per l'intervento sulle costruzioni esistenti, che renda l'intero processo più consapevole e sostenibile

Task 5.3 – Interventi su edifici vincolati monumentali e chiese (12 UR)

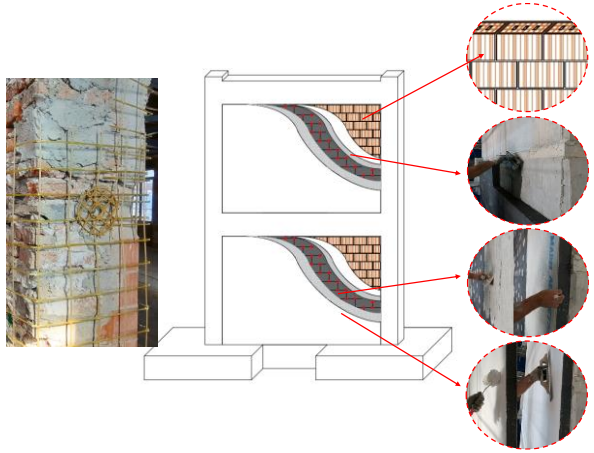
- ✓ Valutazione di specifiche strategie di intervento per edifici vincolati monumentali e chiese con diversi approcci di calcolo
- ✓ Definizione di linee guida che evidenzino potenzialità e limiti di diversi metodi di intervento e la loro modellazione

Task 5.4 – Interventi di miglioramento ed adeguamento di ponti esistenti (11 UR)

- ✓ Analisi sistematica di temi ed elementi critici che richiedono specifiche accortezze per la valutazione, l'analisi o il progetto dell'intervento
- ✓ Indicazioni operative per la valutazione e l'estensione della vita utile delle opere

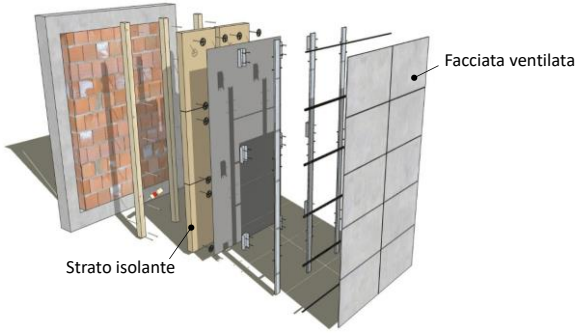
❑ Studio delle tecniche di intervento integrate

valutando le combinazioni ammissibili di interventi di rafforzamento sismico ed energetico e la loro possibilità di integrazione (in continuità con precedente progetto)

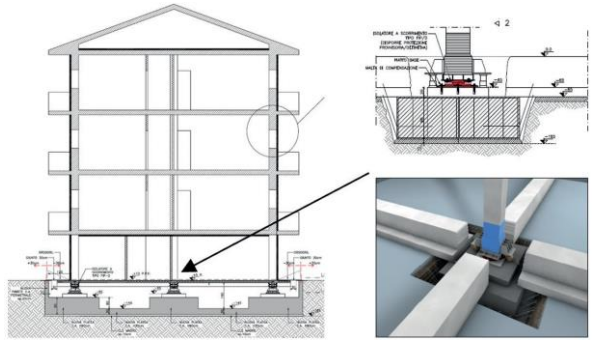


Materiali compositi

Esoscheletri



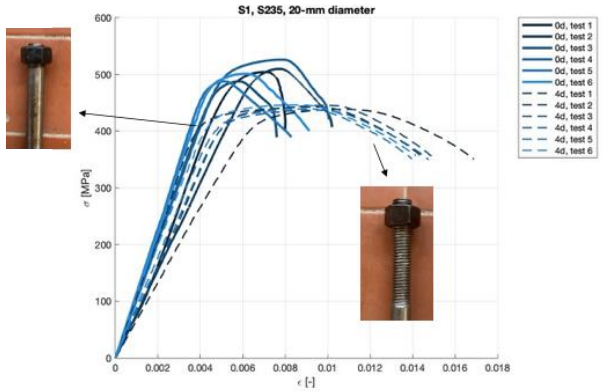
Sistemi in legno



Isolamento sismico

❑ Campagne sperimentali per tecniche di intervento

Implementazione di campagne di indagine e test sperimentali per caratterizzare tecniche di intervento innovative e sostenibili, ideate per la compatibilità o l'integrazione con interventi di efficientamento energetico



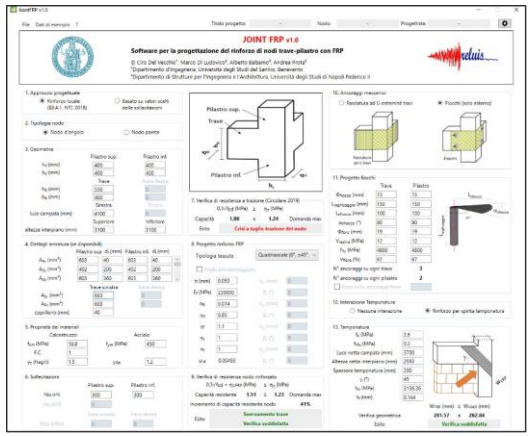
Tiranti in nylon e peek

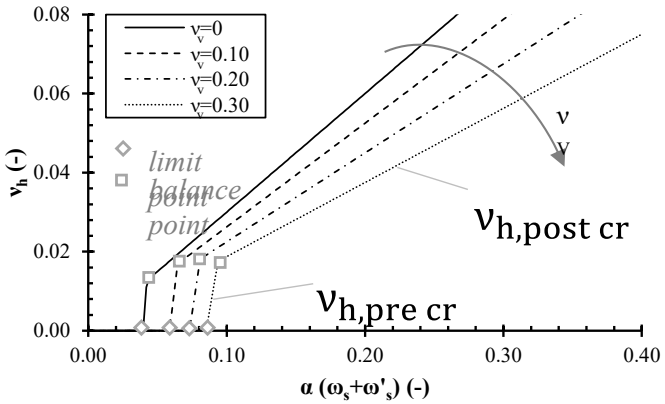
FRCM/CRM

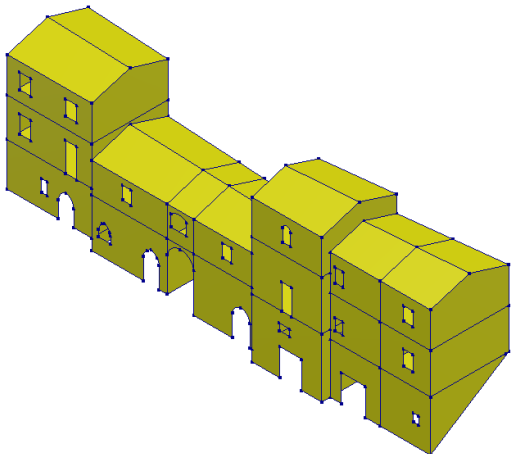
Materiali sostenibili

❑ Strumenti operativi e linee guida progettuali

Sviluppo di 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, in un contesto in cui gli interventi per l'efficientamento energetico assumono un ruolo trainante.





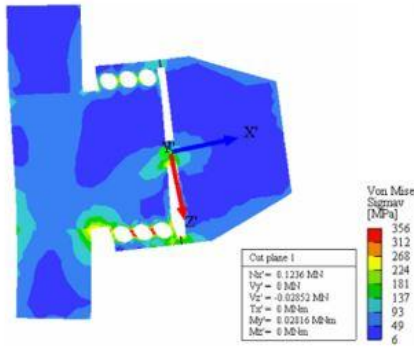


Software di calcolo ***Formulazioni di progetto*** ***Interventi su edifici in aggregato***

TASK 5.1 – TEMI DI RICERCA

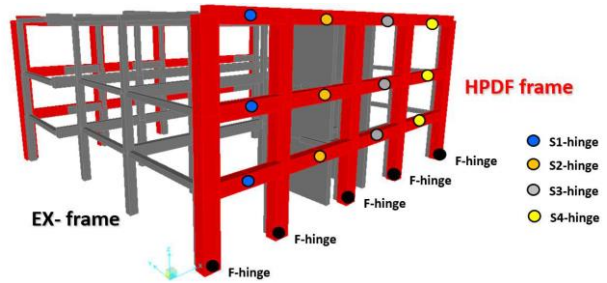
INTERVENTI LOCALI SU NODI E TAMPONATURE

(UNINA – Prota); (UNISANNIO – Del Vecchio); (UNIBAS – Santarsiero) (UNIROMA1 – Nisticò); (UNINA – Verderame)



ESOSCHELETRI

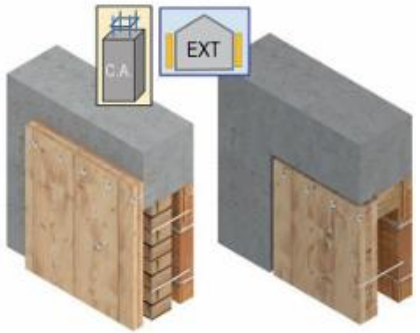
(UNINA-Landolfo); (UNISA- Rizzano); (UNICAMP- Mandara, Ferraioli); (POLITO – Ferro); (IUSS – Monteiro); (UNIBG – Marini); (UNIPV - Pinho); (UNIBS-Metelli)

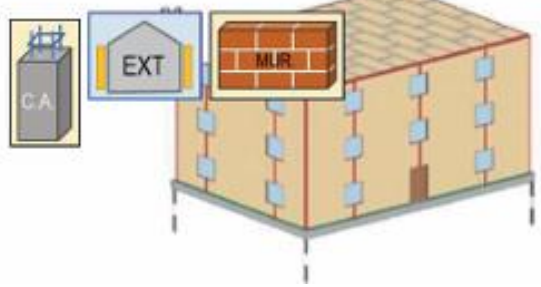


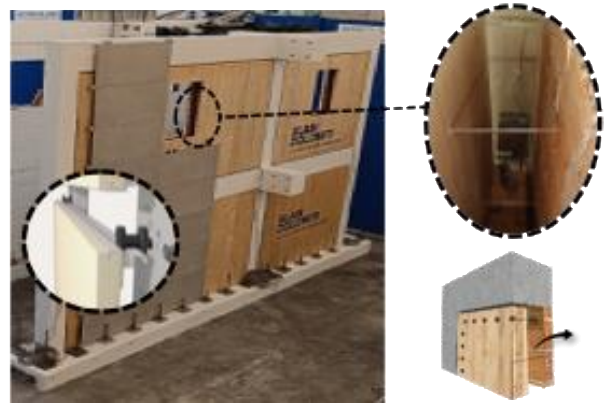
TASK 5.1 – TEMI DI RICERCA

SISTEMI IN LEGNO

(UNICT – Caliò); (UNITN – Giongo)

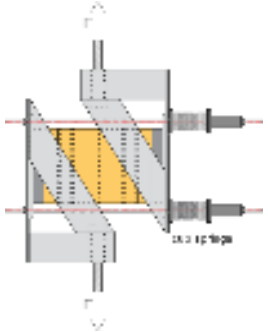


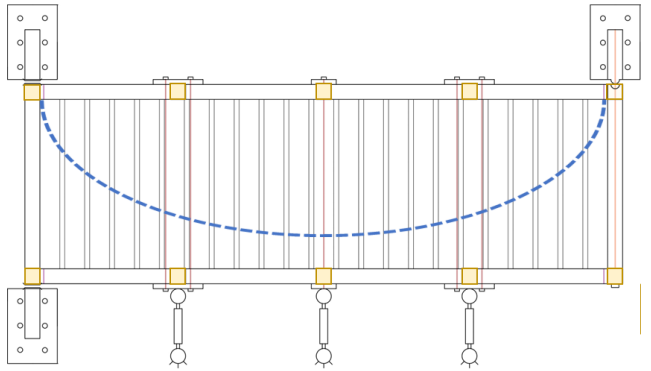




INTERVENTI SUI SOLAI

(UNIBG – Marini); (UNIPV – Pinho)

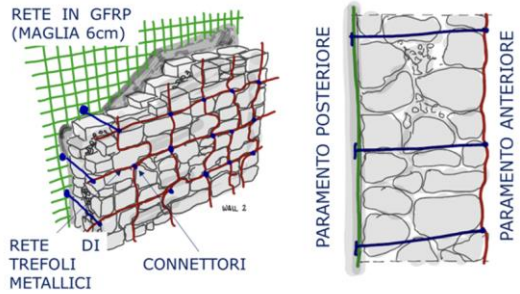




TASK 5.1 – TEMI DI RICERCA

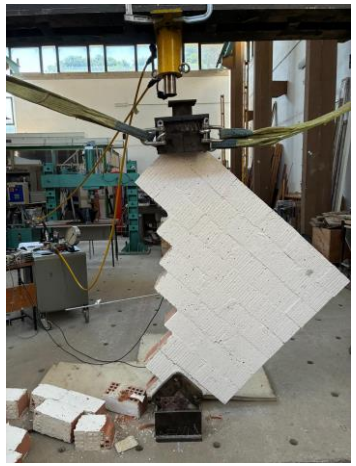
FRCM/TRM SU MUR E C.A.

(UNIPV – Magenes/Guerrini); (UNITS - Gattesco); (UNIUD – Pauletta); (UNIRM3 – de Felice)



MATERIALI SOSTENIBILI

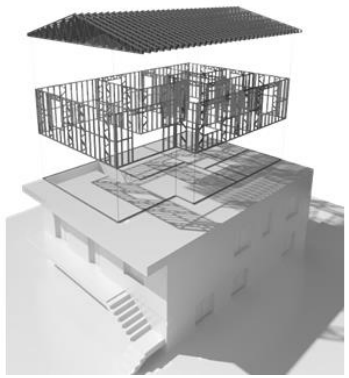
(UNICA – Stochino); (UNIGE – Cattari/Lagomarsino)



TASK 5.1 – TEMI DI RICERCA

SOPRAELEVAZIONI

(UNIUD – Pauletta); (UNICT - Caliò)



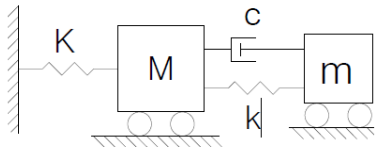
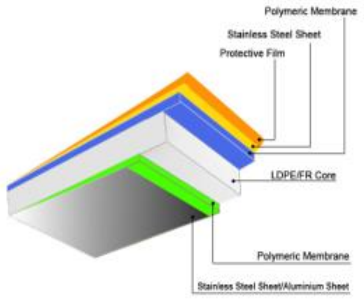
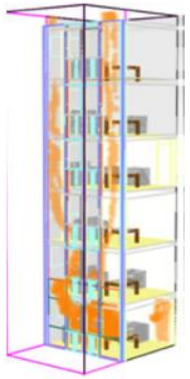


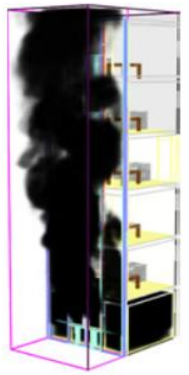
Figure 5.9: Schematization of the structure of the TMD system.

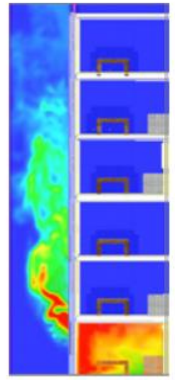
ANTINCENDIO

(UNINA – Nigro)









TASK 5.1 – TEMI DI RICERCA

EDIFICI IN AGGREGATO

(UNIPD – da Porto); (UNIPD – Valluzzi); (UNIGE – Lagomarsino/ Cattari); (UNIPV – Magenes/Guerrini); (UNINA – Brandonisio); (UNIRM1 – Sorrentino)

LINEE GUIDA PER IL RILIEVO, L'ANALISI ED IL PROGETTO DI INTERVENTI DI RIPARAZIONE E CONSOLIDAMENTO SISMICO DI EDIFICI IN MURATURA IN AGGREGATO

Dipartimento Protezione Civile

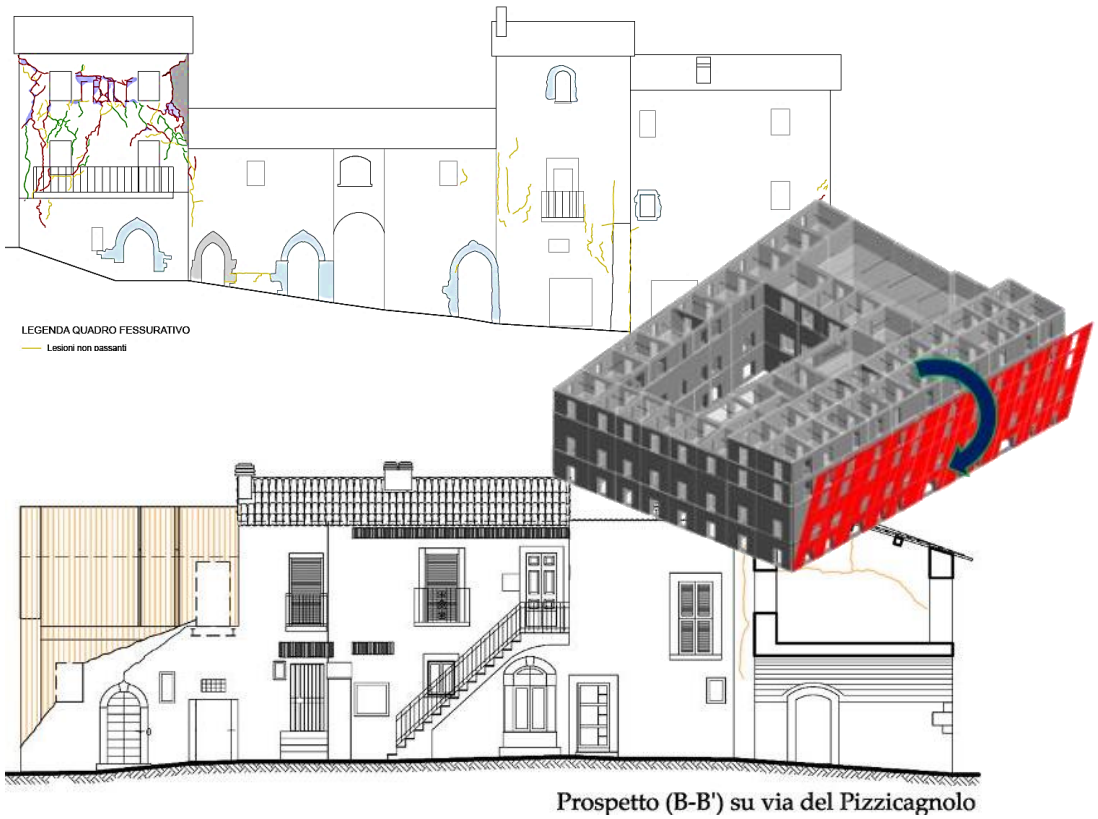
ReLUIS

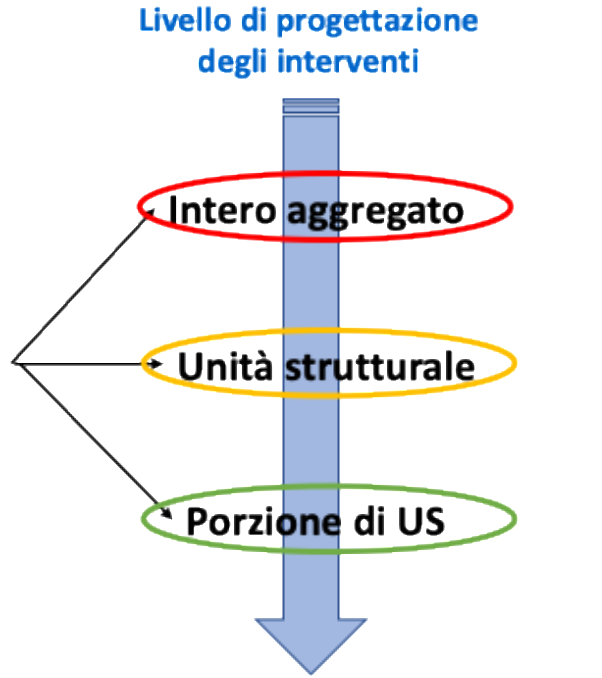
Ufficio del Vice-Commissario Delegato per la Messa in Sicurezza dei Beni Culturali

Struttura Tecnica di Missione

BOZZA – Ottobre 2010

Versione 3 (Capitoli 1, 2, 3 e 4 - Appendici A e B)

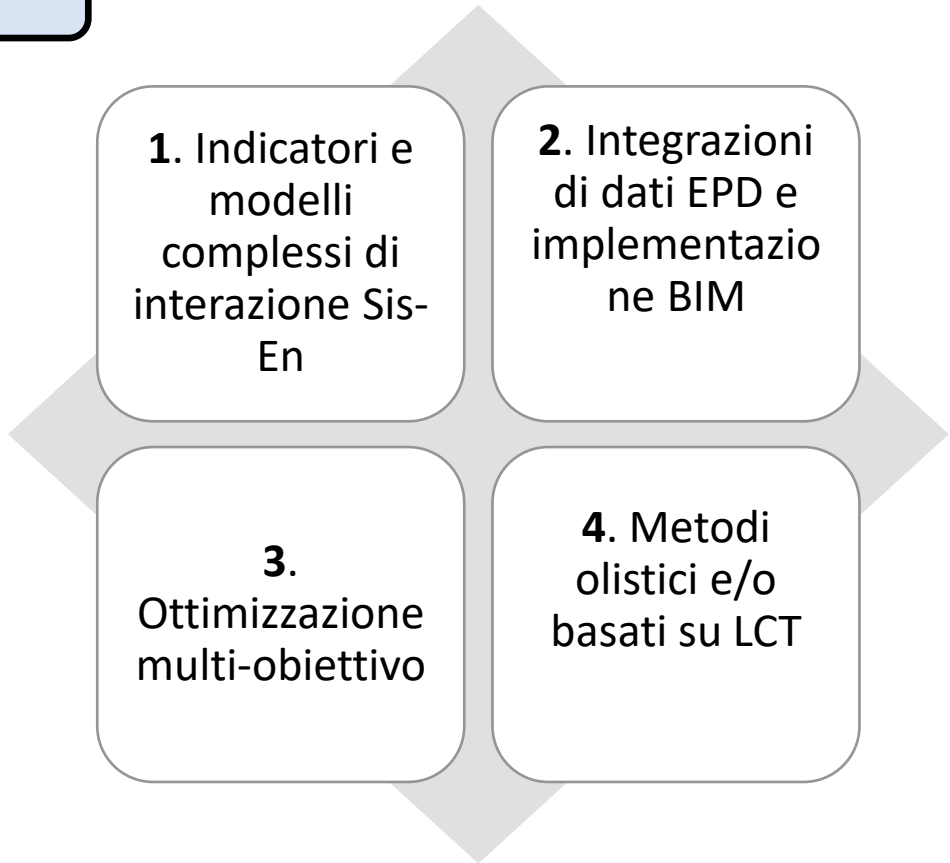




TASK 5.2 – OBIETTIVI

Sviluppo e Avanzamenti

1. **UniTN**
2. **PoliTO**
3. **UniBG**
4. **UniPv**
5. **UniPD-Valluzzi**
6. **UniPD-daPorto**
7. **IUSS**
8. **UniRM1**
9. **UniNa**

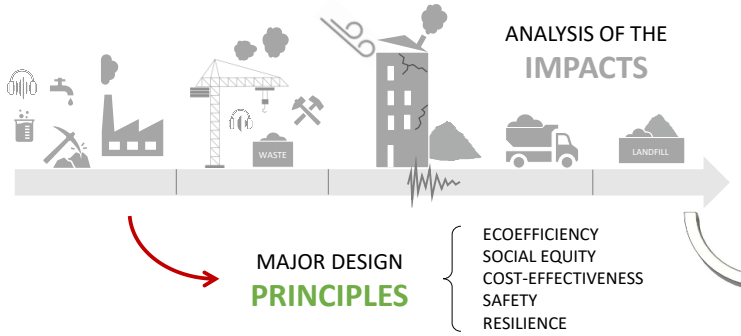


Constraints
tempi, **costi**, **invasività**

TASK 5.2 – TEMI DI RICERCA

Sviluppo e Avanzamenti

1. Indicatori e modelli complessi di interazione Sis-En



LCT-BASED TOOLS SUPPORTING THE RE-DESIGN EXISTING TECHNIQUES/ THE CONCEPTION OF NEW TECHNIQUES

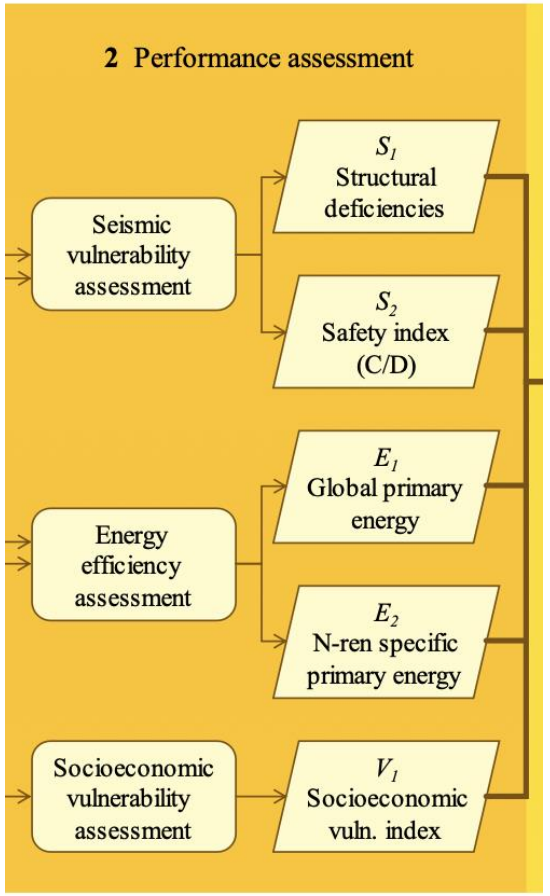
INDICATORS TO MEASURE SUSTAINABILITY

ADOPT NEW TIME-DEPENDENT AND STOCHASTIC MODELS

SHIFT TO A SYSTEMIC APPROACH AT A BUILDING AND DISTRICT LEVEL AND AT A BRIDGE AND INFRASTRYCTURE LEVEL

DESIGN OBJECTIVES
DESIGN FOR...

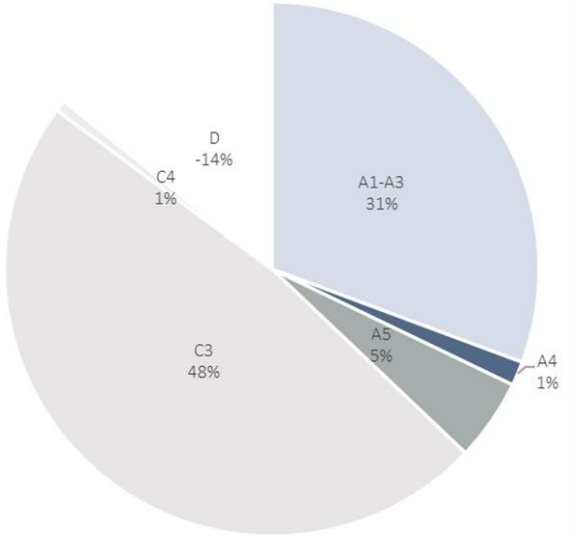
- Structural safety against hazards
- Eco-efficiency and indoor quality
- Accessibility for all
- Adaptability and flexibility
- Incremental deep renovation
- Material eco-efficiency
- Energy resources consumption
- Water resources consumption
- Reduction of GHG emissions
- Waste reduction and management
- Reduction of construction site pollution
- Management of Environmental Risks
- Reparability
- Deconstruction/ disassembly
- Reuse and recycling
- Life cycle cost optimisation
- Removing barriers to renovation
- Easy assemblage
- Durability and easy maintenance
- Sustainable and safe construction site
- Preservation
- ...

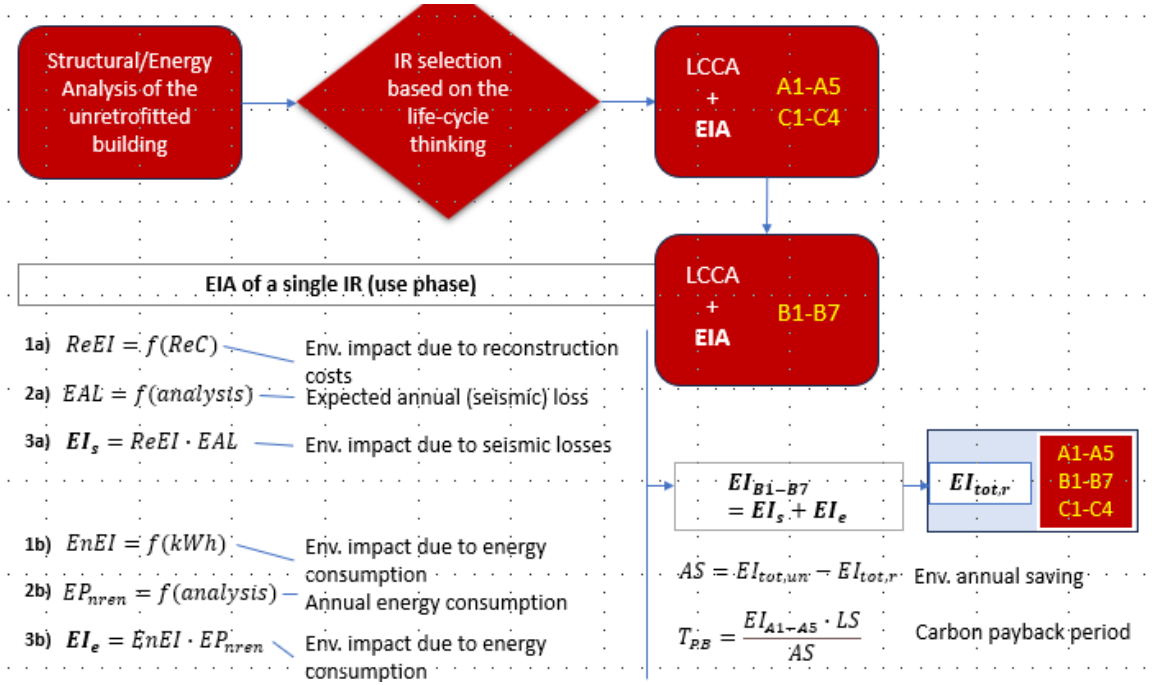


TASK 5.2 – TEMI DI RICERCA

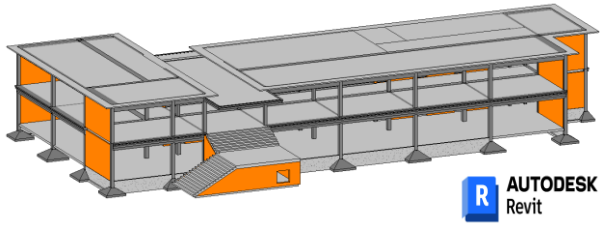
Sviluppo e Avanzamenti

2. Integrazioni di dati EPD e implementazione BIM

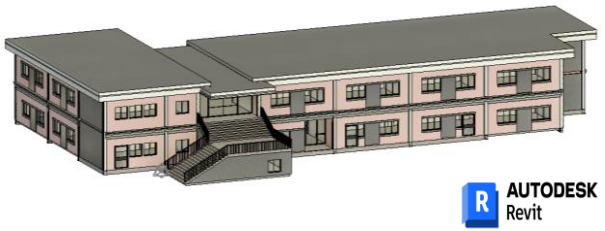




Structural BIM model



Master BIM model



Sviluppo e Avanzamenti

3. Ottimizzazione multi-obiettivo

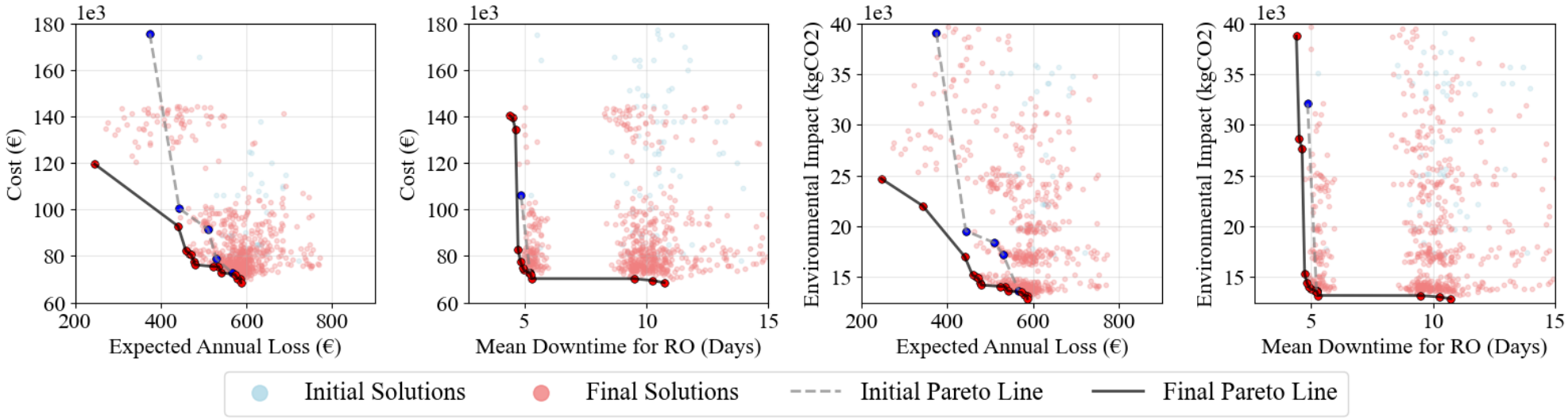
Pareto Front

Costo di installazione

Perdite annue medie

Impatto ambientale

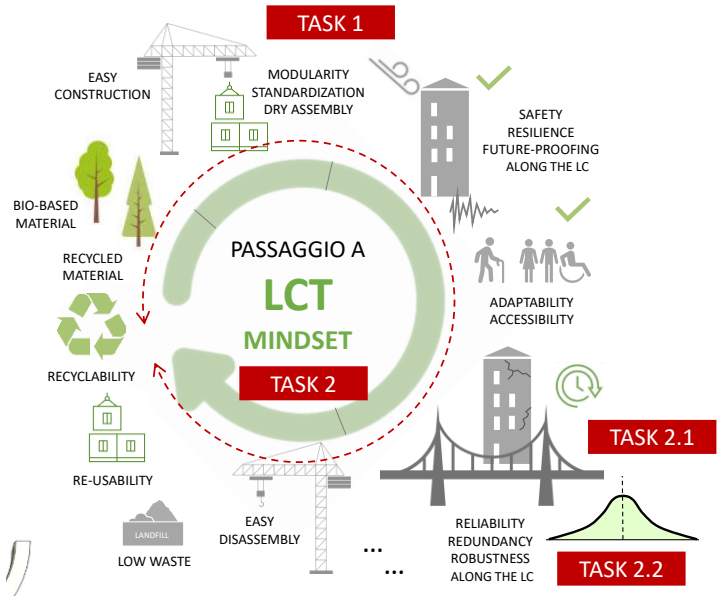
Tempi di inattività

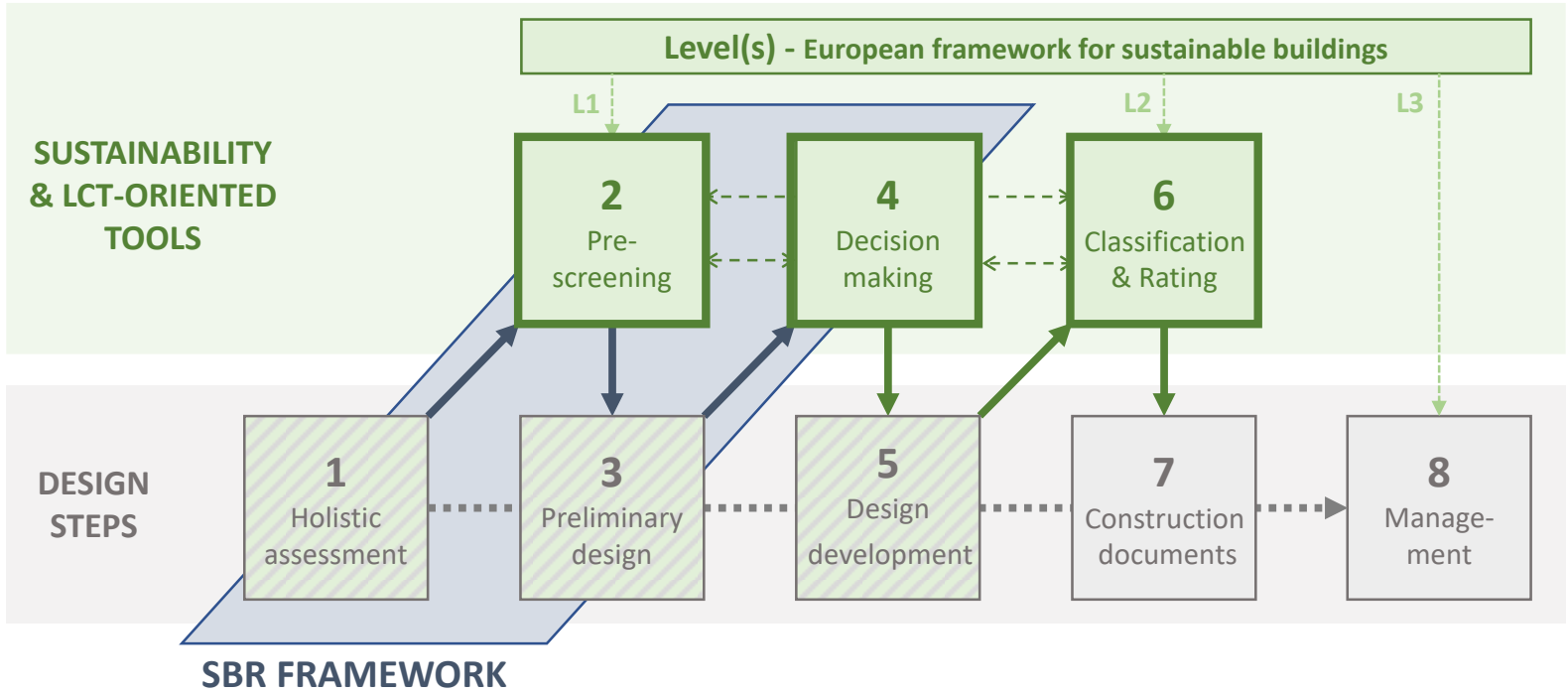


TASK 5.2 – TEMI DI RICERCA

Sviluppo e Avanzamenti

4. Metodi olistici e/o basati su LCT





TASK 5.3 – QUADRO SINOTTICO ATTIVITA' E UR COINVOLTE

METODI DI ANALISI	INTERVENTI								
	TIRANTI- INCATENAMENTI	COPERTURA	SISTEMA VOLTATO	CORDOLATURA	RINF. MURATURA	ISOLAMENTO SISMICO	INTERAZIONE EDIFICI TERRENO/STRUTTURA	DIAFRAMMI IN VETRO	RINFROZO CELLA CAMPANARIA
ANALISI LIMITE - MECCANISMI LOCALI	*UNIPD -da Porto* *UNIGE - Lagomarsino*	*UNIPD -da Porto*							
ANALISI DINAMICA - TIME HISTORY	*UNINA - Portioli*								
ANALISI DINAMICA LINEARE						*UNINA - Brandonisio*			
ANALISI CINEMATICA A BLOCCHI RIGIDI	*UNINA - Portioli*								
PUSHOVER - FEM	*UNIPD -da Porto* *UNIRM3 - De Felice* *POLIMI - Milani*	*UNIPD -da Porto* *UNITS - Gattesco* *UNIGE -Lagomarsino* *POLIMI - Parisi*	*UNIPD -da Porto*	*UNIPD -da Porto* *UNIRM3 - De Felice*	*UNIPD -da Porto* *UNIGE -Lagomarsino*		*UNISANNIO - De Angelis*		*UNIPD -da Porto* *UNIRM3 - De Felice* *UNIGE -Lagomarsino* *UNINA - Brandonisio*
DEM	*UNIPD -da Porto* *UNICT - Caliò*	*UNIPD -da Porto*		*UNIPD -da Porto*	*UNIPD -da Porto*		*POLIMI - Milani*		
NON-SMOOTH-CONTACT-DYNAMICS	*UNINA - Rosati*							*UNIPR -Royer*	
ANALISI RETICOLI DI SPINTA (ARS)		*UNIBG - Marini*							

CHIESA A NAVATA UNICA
CHIESA A TRE NAVATE/COMPLESSA
TORRI/CAMPANILI

TASK 5.3 – Interventi su edifici vincolati monumentali e chiese

Valutazione approfondita delle vulnerabilità chiese a navata unica

MECCANISMI DI DANNO ATTIVATI

1. Ribaltamento facciata ■□□□□

5. Risposta trasv. aula ■□□□□

16. Ribaltamento dell'abside ■□□□□

2. Meccanismi sommità facciata ■□□□□

6. Risposta long. ■■■□□

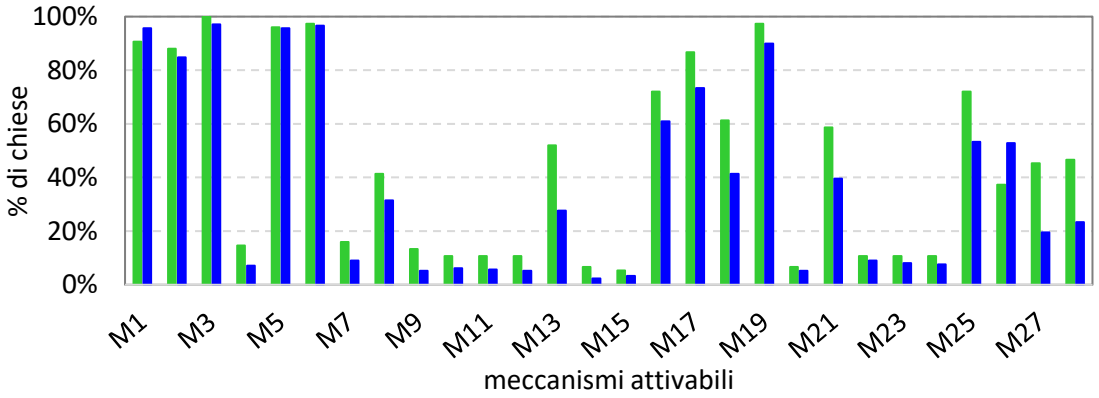
17. Meccanismi taglio abside ■□□□□

3. Meccanismi piano facciata ■□□□□

8. Volte navata centrale ■■□□□

26. Aggetti (vela) ■■■□□

Analisi dei costi di ripristino e arricchimento database di correlazione interventi/danni



analisi tecnica relativa agli interventi realizzati su due chiese di Cerreto di Spoleto (PG)

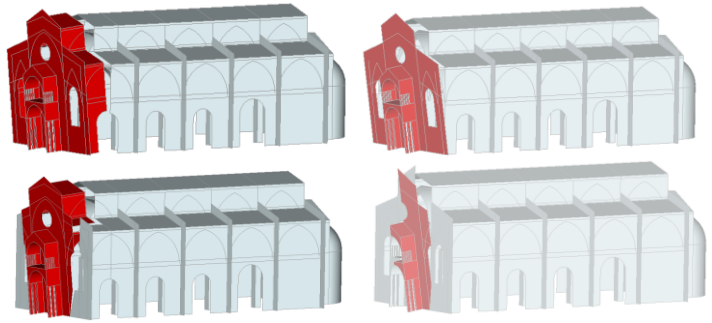
TASK 5.3 – Interventi su edifici vincolati monumentali e chiese

APPROFONDIMENTO DI SPECIFICI INTERVENTI DI RINFORZO

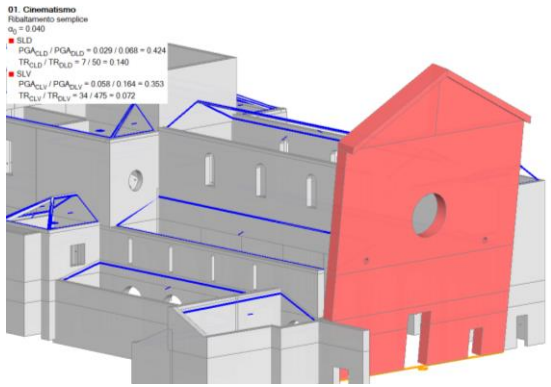
Modellazione tiranti e incatenamenti

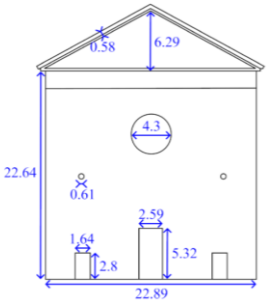
Analisi cinematica

Tiranti di FACCIATA ϕ30 L=15 m
ϕ20 L=7 m



Approcci integrati e simulazioni dinamiche





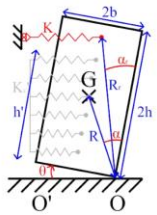
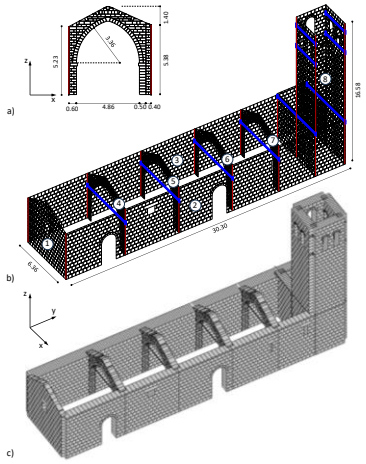
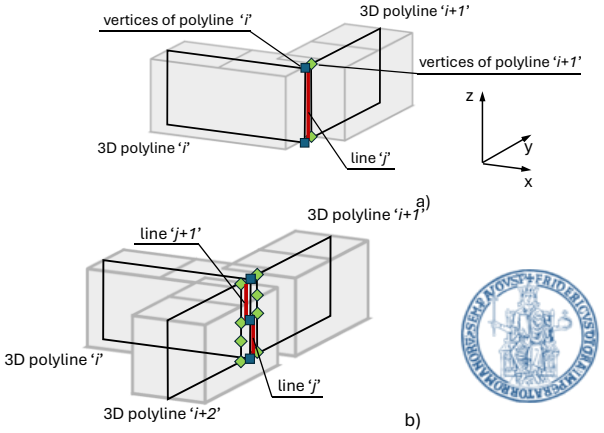


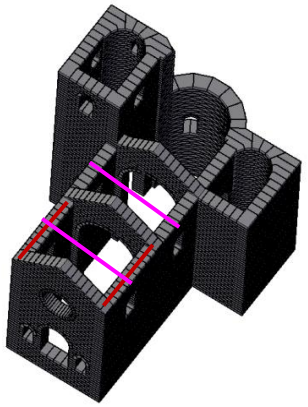
Figure 3.3: Schematic of a restrained rigid rocking block

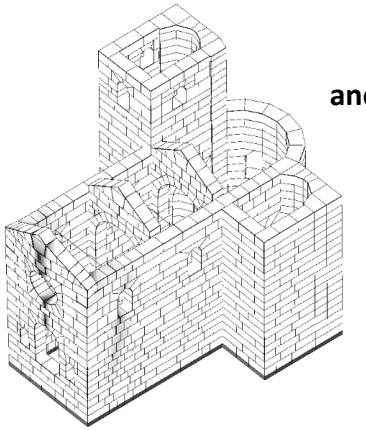
Analisi limite 3D con DynABlock





Modellazione DMEM





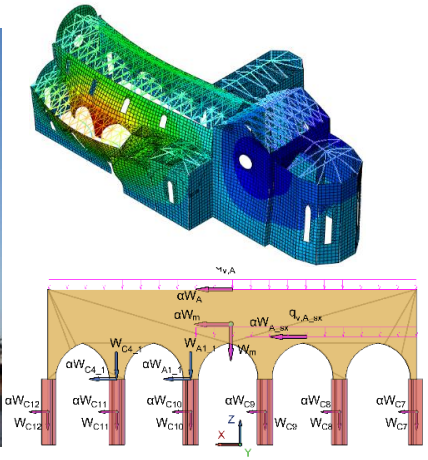
anchor bars + tie rods

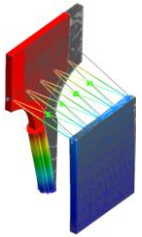
TASK 5.3 – Interventi su edifici vincolati monumentali e chiese

APPROFONDIMENTO DI SPECIFICI INTERVENTI DI RINFORZO

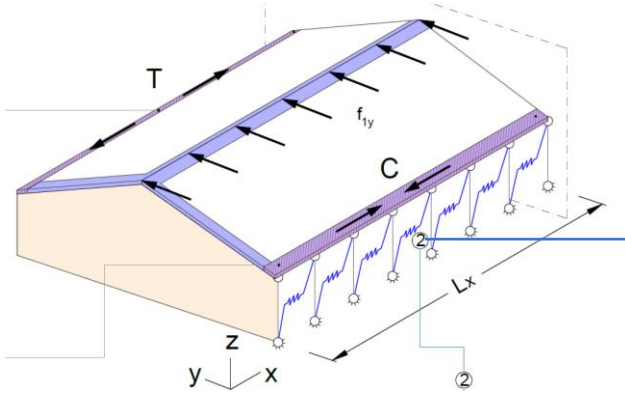
Modellazione interventi di copertura

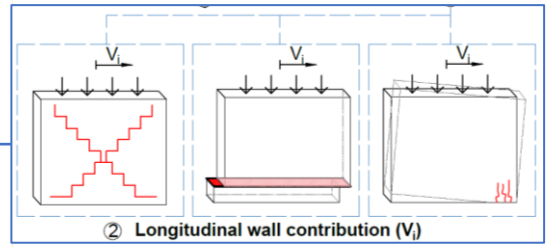
Modellazione FEM e confronto con modelli analitici



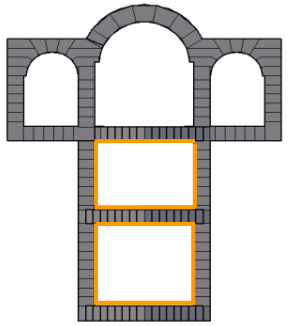


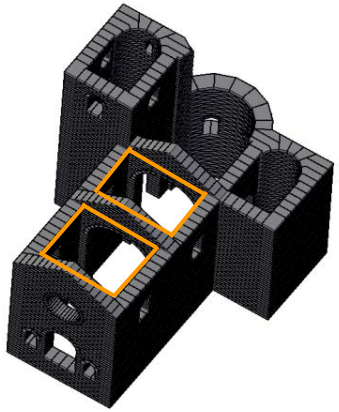
Sviluppo modello analitico semplificato

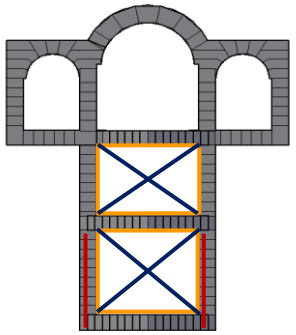


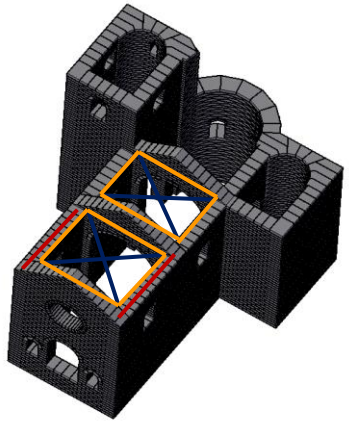


Telai e diaframmi orizzontali in legno







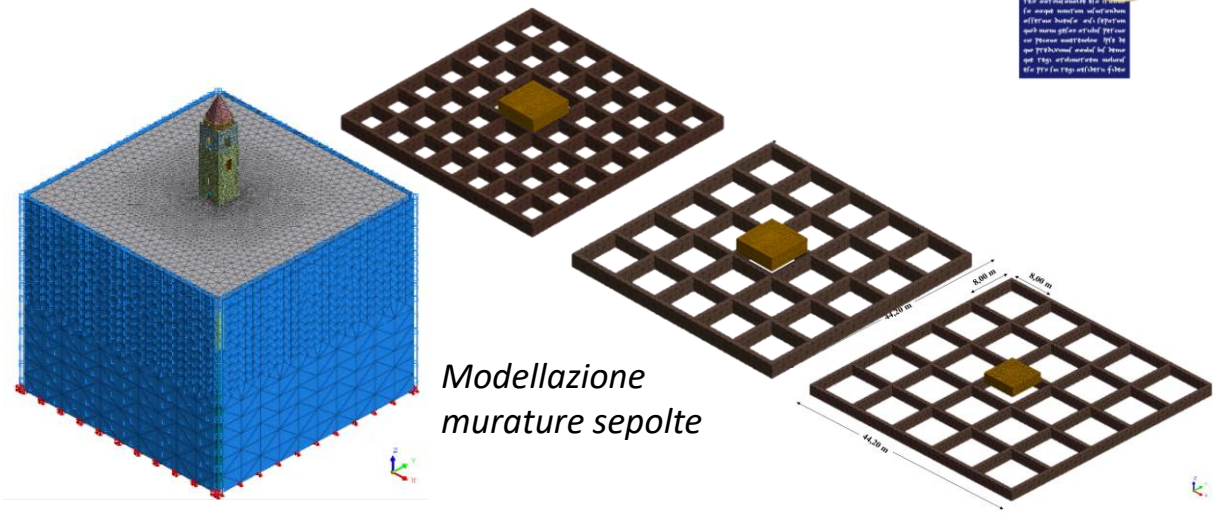


TASK 5.3 – Interventi su edifici vincolati monumentali e chiese

APPROFONDIMENTO DI SPECIFICI INTERVENTI DI RINFORZO

Interazione terreno – struttura

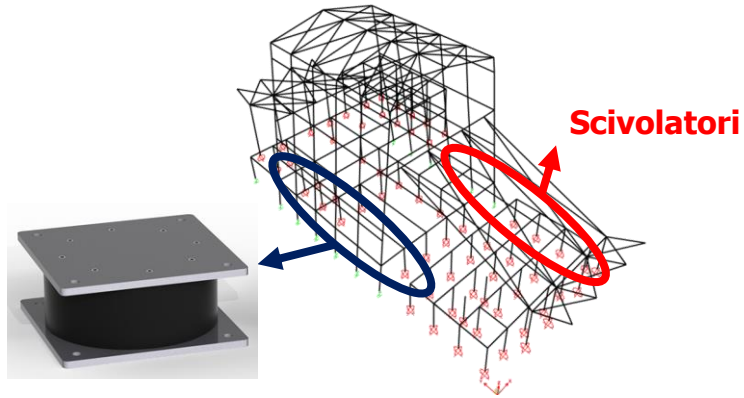
Modellazione FEM e analisi dinamica non lineare



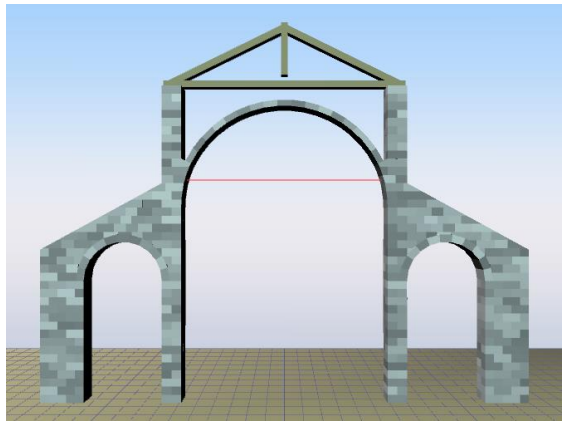
Modellazione murature sepolte

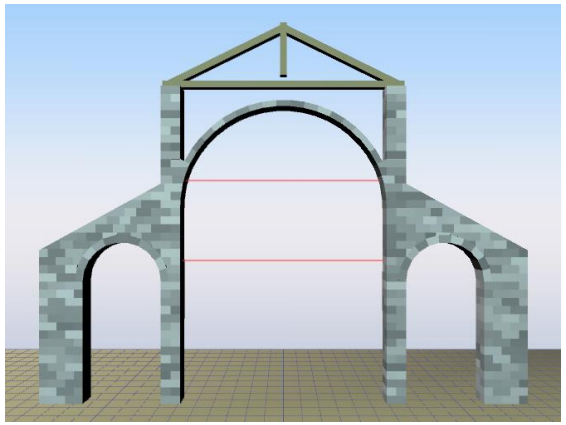
Isolamento sismico

Sviluppo modello analitico semplificato

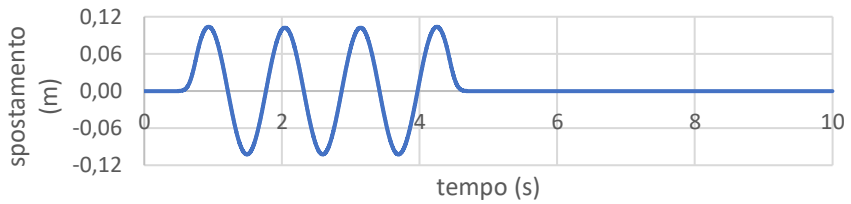


Rinforzi locali in vetro





Tubi trasparenti in vetro, precompressi da trefoli sottili in acciaio o fibre di nanotubi di carbonio, con minimo impatto visivo



TASK 5.3 – PRODOTTI / RISULTATI

I. VALUTAZIONE DI SPECIFICHE STRATEGIE DI INTERVENTO:

Effetto rinforzo della copertura, Effetto rinforzo sistemi voltati, Cordolo/Interventi su cimase, Tiranti/incatenamenti, Interventi di rinforzo della muratura, Interazione torre/chiesa/edifici adiacenti, Isolamento sismico

II. LIMITI E POTENZIALITÀ DEI DIVERSI APPROCCI DI MODELLAZIONE:

Modello semplificato per il predimensionamento delle coperture scatolari
Dettagli costruttivi per diaframmi ibridi con pannelli in vetro / acciaio
Software di calcolo per l'analisi statica non-lineare e dinamica di sistemi a blocchi rigidi: https://doi.org/10.5281/zenodo.6657392

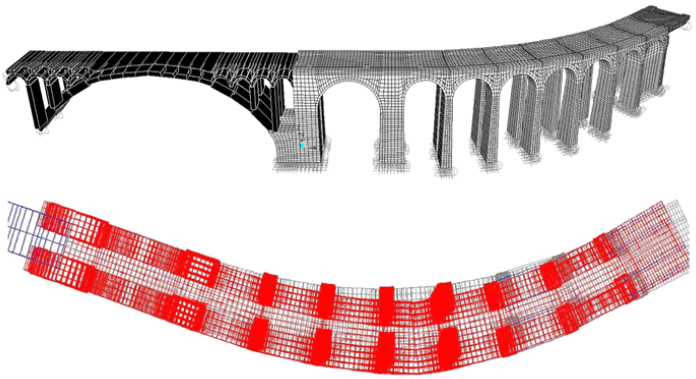
III. SPERIMENTAZIONI:

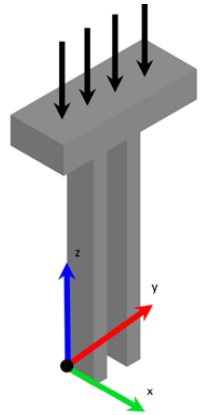
Utilizzo di indagini dinamiche in sito per model updating e studio dei vincoli
Utilizzo di indagini dinamiche in sito per interazione terreno / layer sommersi / struttura

Prof. A. Prota, Prof. F. Portioli, Prof. G. Brandonisio. — *Prof.ssa F. da Porto* — *Prof. N. Gattesco* — *Prof. G. de Felice* — *Prof. A. Marini, G. Mirabella* — *Prof. G. Carfagni* — *Prof. I. Caliò, C.F. Carocci* — *Prof. S. Sica, A. de Angelis* — *Prof. L. Cantini*

TASK 5.4 – ATTIVITA' CONDOTTE

Il task si pone l'obiettivo di fornire soluzioni tecniche di intervento e strumenti per la corretta progettazione e valutazione degli interventi sui ponti. Inoltre, propone strategie di analisi e modellazione capaci di rappresentare in modo realistico il degrado e le diverse vulnerabilità tipologiche e strutturali, al fine di supportare la progettazione di interventi mirati ed efficaci.





UR COINVOLTE

Prof. A. Prota, Prof. E. Nigro, Prof. G. Brandonisio.

Prof.ssa F. da Porto

Prof. G. Santarsiero

Prof. A. Recupero

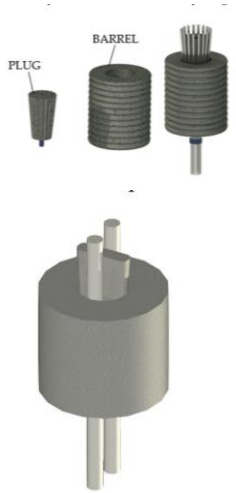
Prof. G. Rizzano

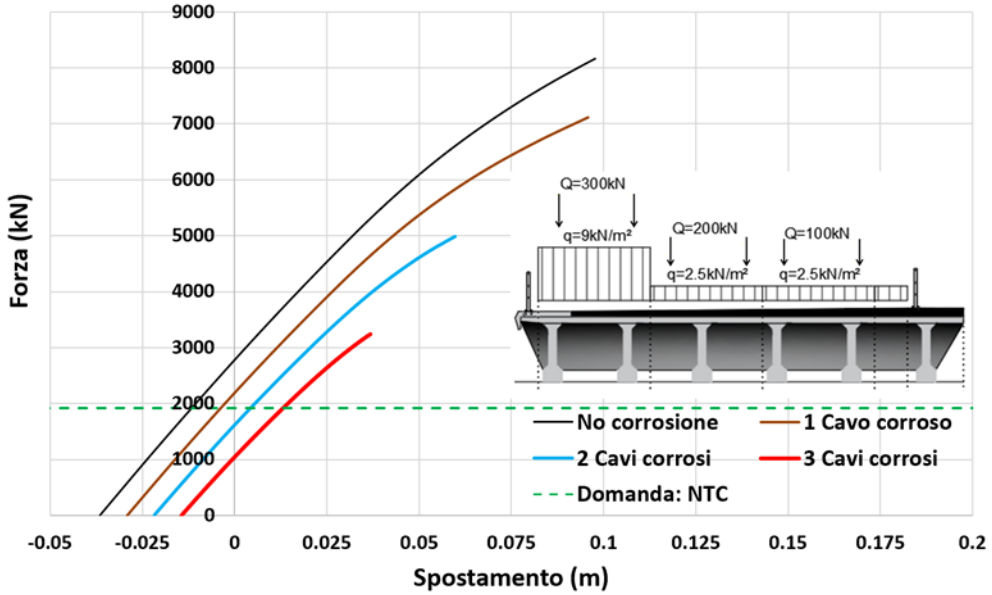
Prof. N. Nisticò

Prof.ssa L. La Mendola, Prof. M.F. Granata

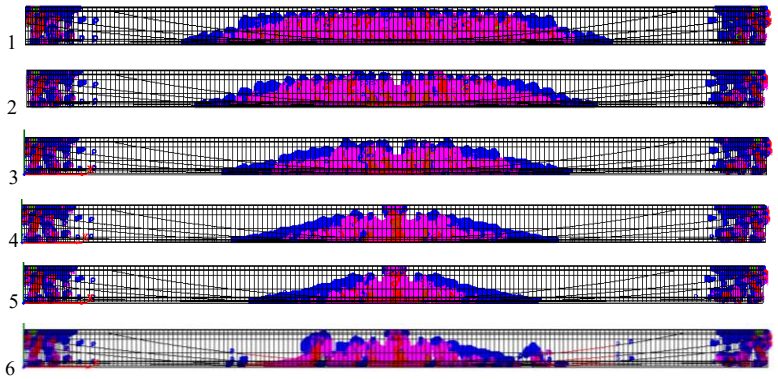
Ponti in CA e CAP *(UNIPA La Mendola, UNIBAS Santarsiero, UNIRM1 Nisticò e UNIME Recupero)*

Valutazione approfondita delle vulnerabilità



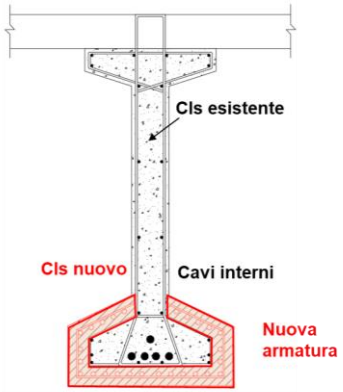


Cracked pattern per diversi scenari di danneggiamento



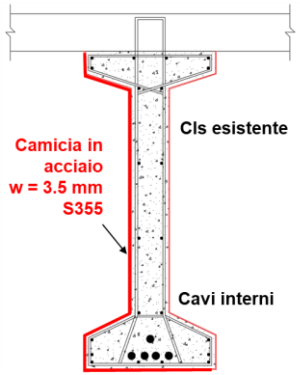
Progettazione e confronto tra diverse tecniche di rinforzo

Post-tensione esterna



Incamiciatura in c.a.

Bande verticali pretese

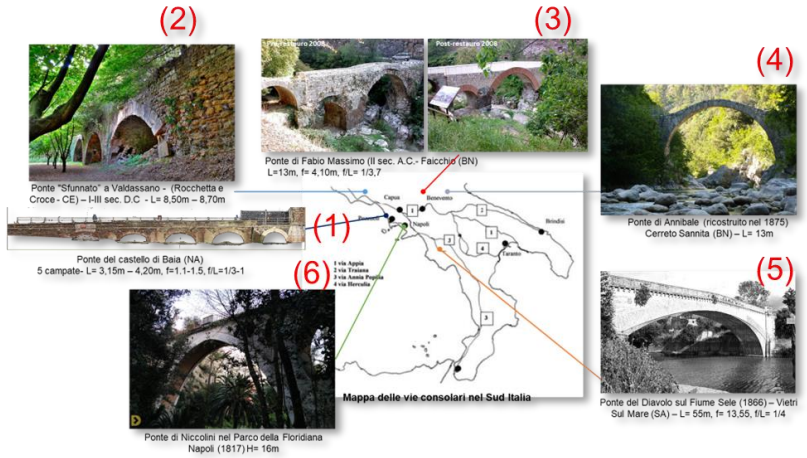


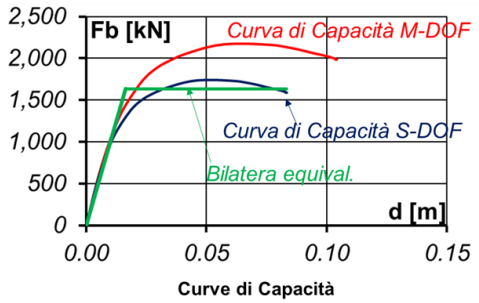
Incamiciatura in acciaio

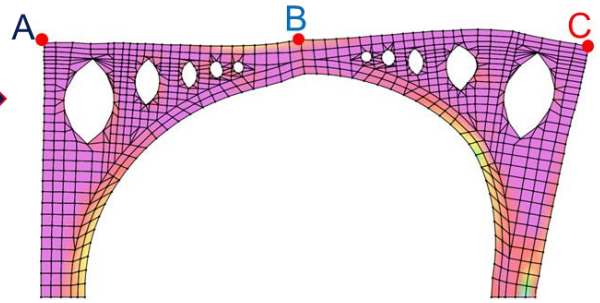
TASK 5.4 – ATTIVITA' CONDOTTE

Ponti ad arco in muratura
(UNINA Brandonisio)

Analisi, modellazione casi studio e ricerca delle regole dell'arte del costruire dei ponti in muratura.

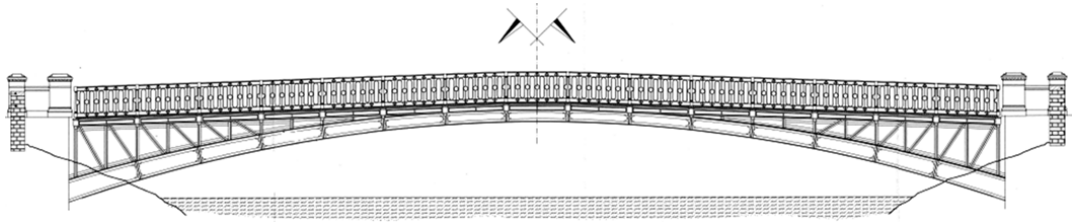


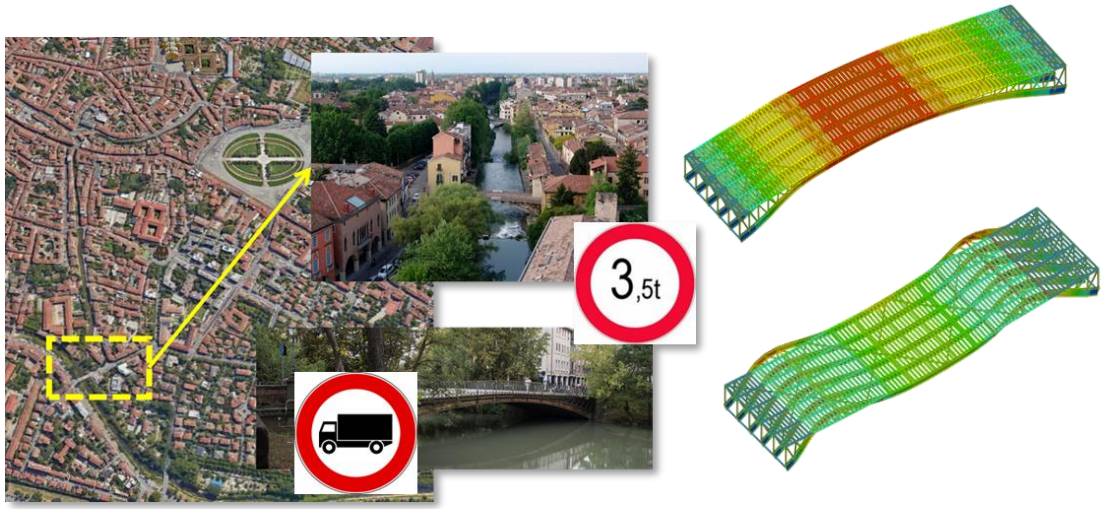




Ponti storici vincolati
(UNIPD da Porto)

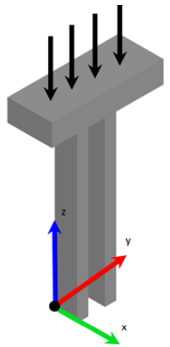
Studio di approcci metodologici per l'intervento in relazione ai livelli di tutela e ai carichi raggiungibili.

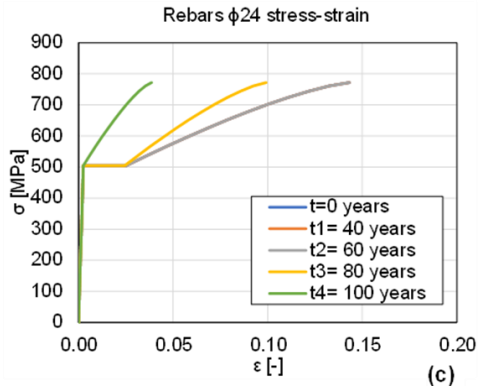


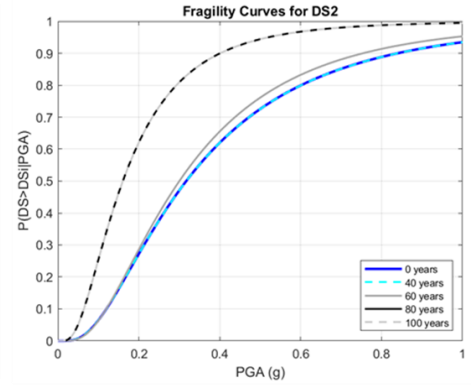


Elementi strutturali: pile in CA (UNINA Prota e UNINA Nigro)

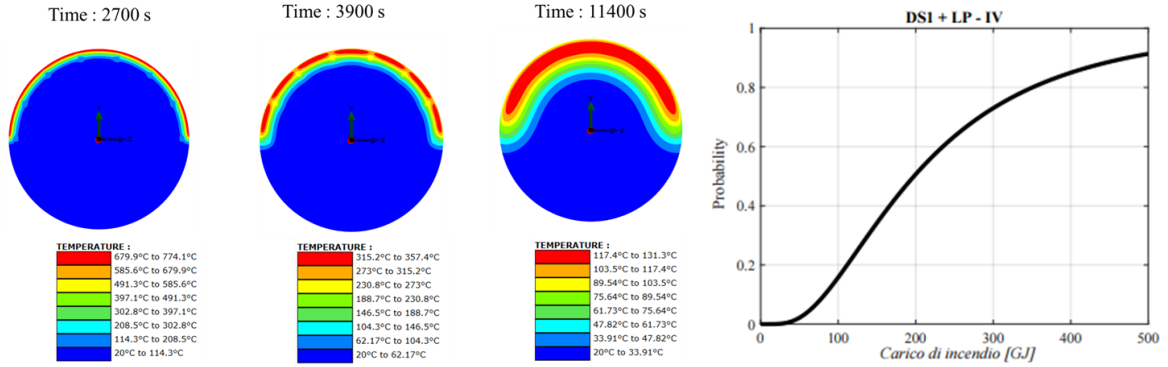
Valutazione dell'impatto di degrado e interventi sulle prestazioni strutturali delle pile del ponte.





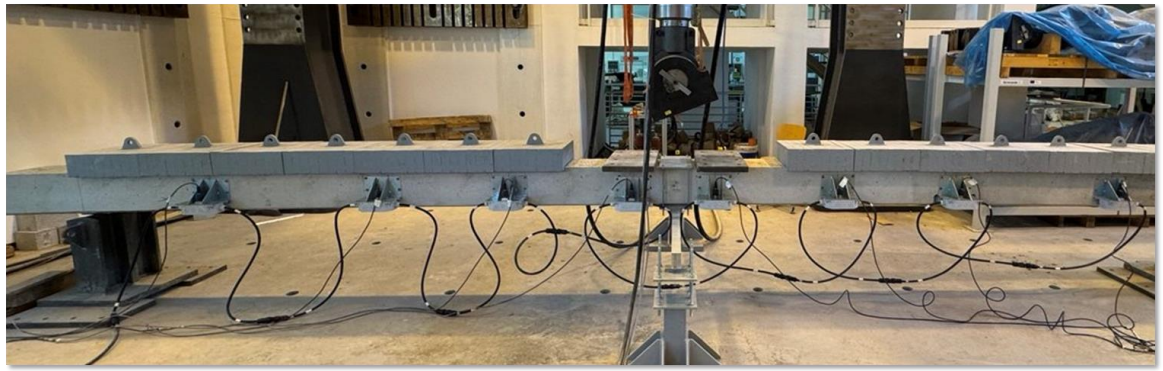


Studio del comportamento statico e sismico nei confronti di azioni eccezionali (incendio).

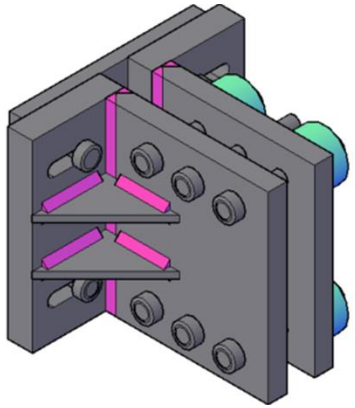


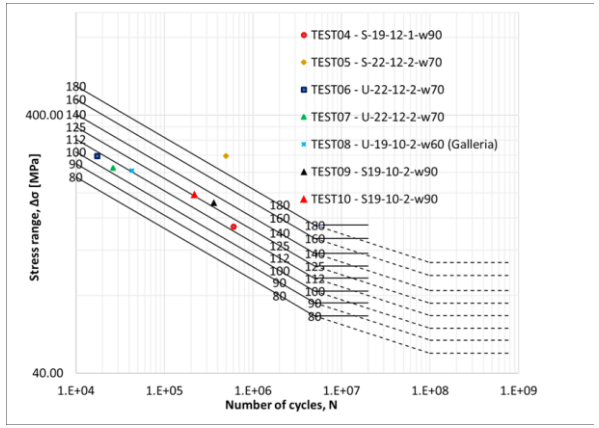
Metodi indagine e sperimentazione in laboratorio (UNIME Recupero, UNISA Rizzano)

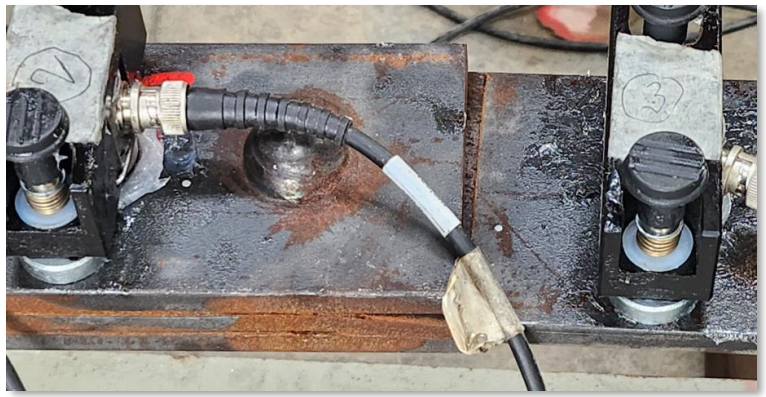
Tecniche di localizzazione e valutazione del degrado all'interno di travi in CAP.



Prova a fatica su collegamenti chiodati



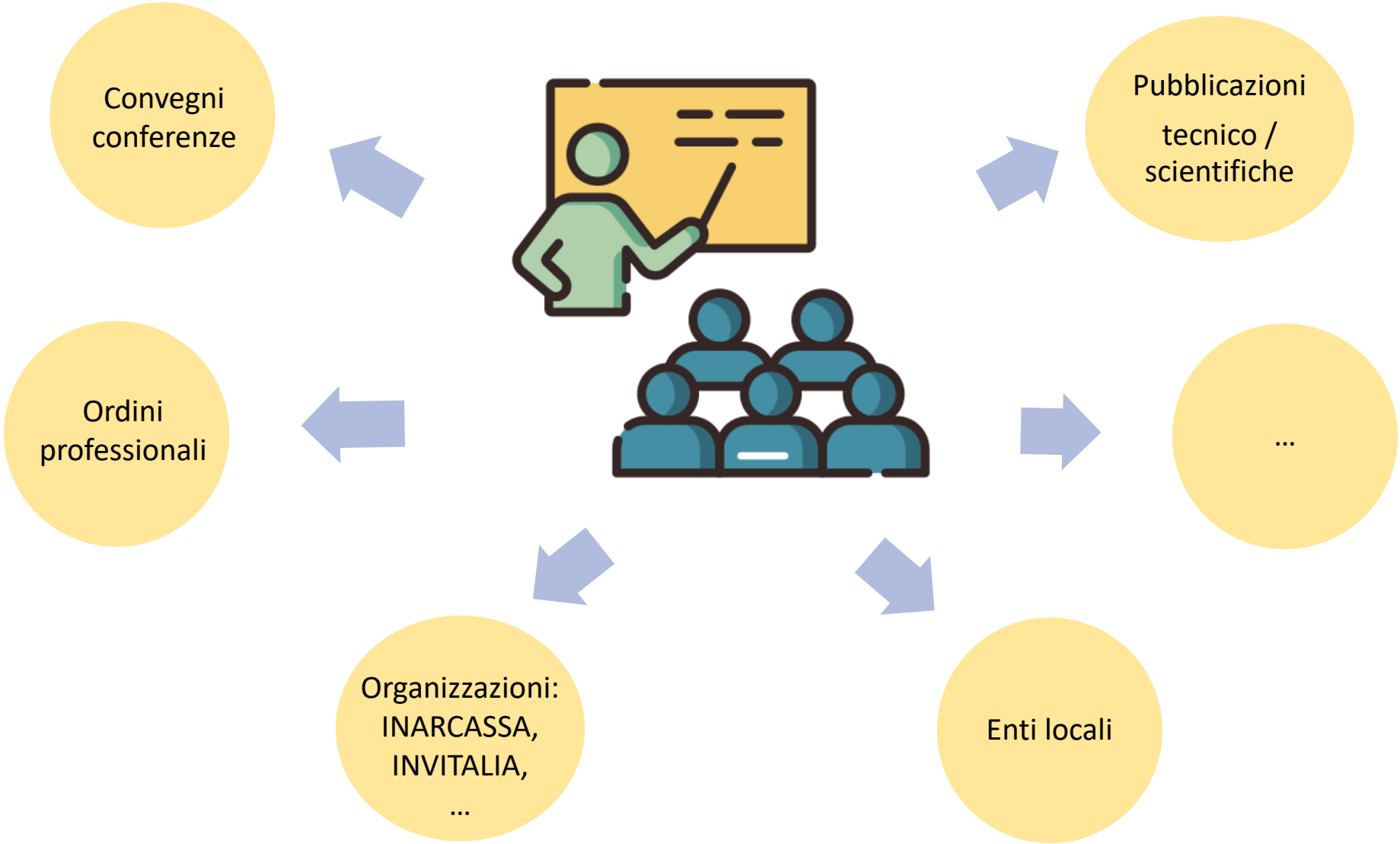




WP5 – PROSPETTIVE DI ATTIVITA’

- **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)**

DIVULGAZIONE ATTIVITÀ SCIENTIFICA



WP5 – PRODOTTI COMPLESSIVI UR nel periodo 2024-2025

PRODUZIONE SCIENTIFICA WP5

- ARTICOLI SU RIVISTA INTERNAZIONALE: 52

di cui in collaborazione tra più UR: 11

- ARTICOLI SU ALTRE RIVISTE E A CONGRESSI: 103

di cui in collaborazione tra più UR: 15

7 **5** **9** **17**