



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 4 – MARS (Mappe di Rischio e Scenari di danno sismico)***

**Angelo MASI, Sergio LAGOMARSINO**

**(con la collaborazione di S. Cattari, V. Manfredi e dei Responsabili di Task e UR)**

**Decision 1313/2013/EU on a Union Civil Protection Mechanism** calls EU member states to develop risk assessments periodically (by 2015 and every three years afterwards) and make the summary of their **National Risk Assessment** available to the European Commission.




Presidency of the Council of Ministers  
 Italian Civil Protection Department

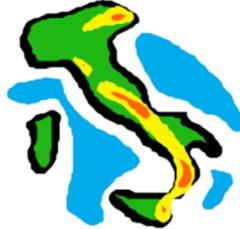


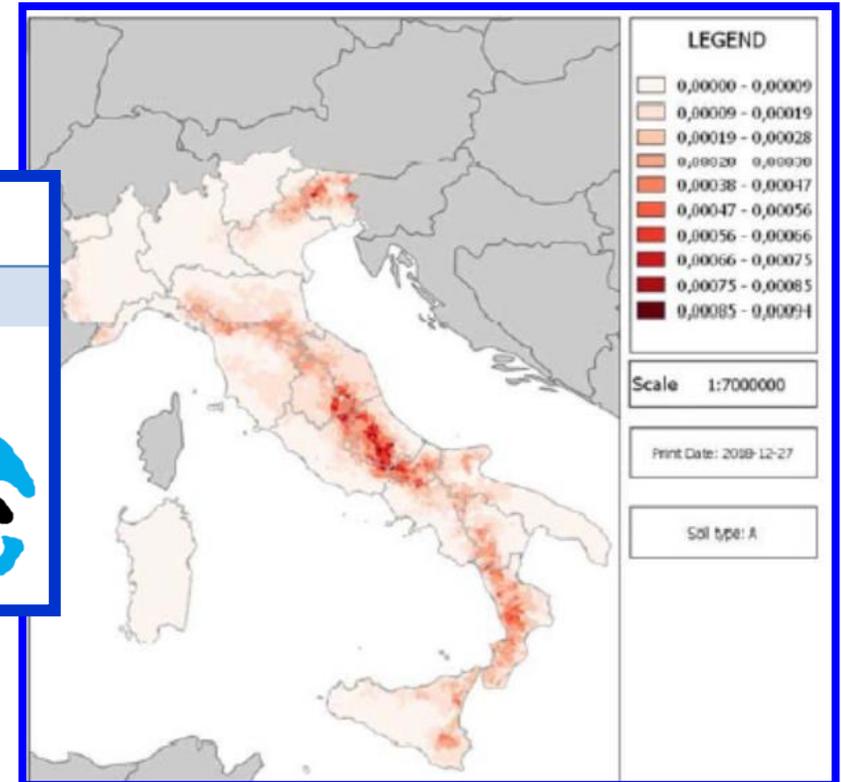
PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile

## National risk assessment

Overview of the potential major disasters in Italy:  
 seismic, volcanic, tsunamis, hydro-geological/hydraulic and extreme  
 weather, droughts and forest fire risks

Chapter 1  
Seismic risk



ReLuis 2019-2021 - WP4 (MARS)



## PROGETTO DPC-RELUIS 2019-2021

### WP4 - MAPPE DI RISCHIO E SCENARI DI DANNO SISMICO (MARS)

#### Coordinatori:

**Sergio Lagomarsino**

*Università degli Studi di Genova*

**Angelo Masi**

*Università degli Studi della Basilicata*

## MARS: Mappe di rischio dell'edilizia residenziale

### REPORT FINALE

Redatto a cura di Sergio Lagomarsino e Angelo Masi  
con la collaborazione di Sara Alfano e Giuseppe Nicodemo

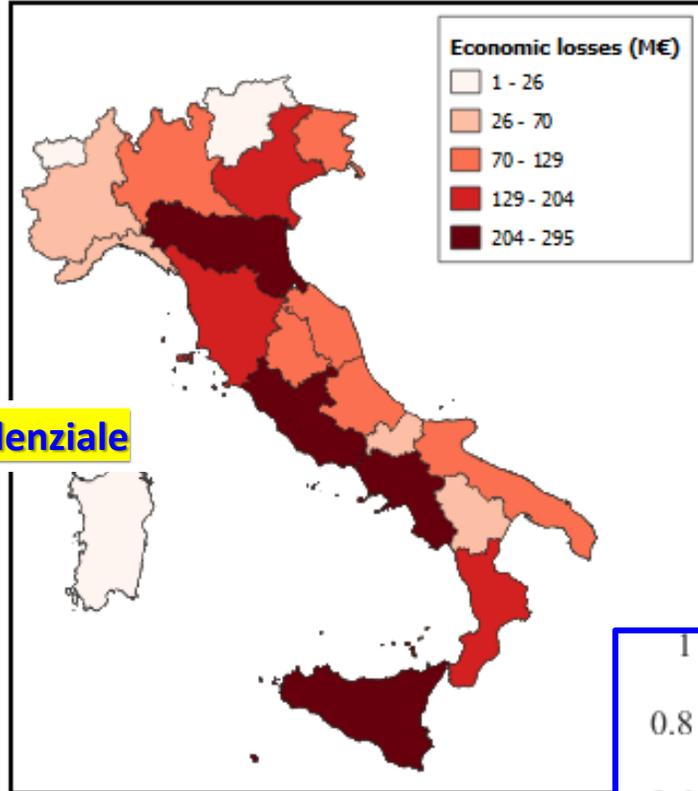
Hanno fornito contributi specifici:

Giulio Zuccaro (§2.2), Roberto Paolucci (§3.1), Marco Di Ludovico (§6),  
Francesca da Porto (§11), Barbara Borzi (§13.1)

Referenti del DPC per il WP4: Mauro Dolce ed Elena Speranza

Il report descrive le attività del triennio, nei Task 4.1/2/3/4/5/6/10/11, svolte dalle seguenti UR:

- |  |  |
|--|--|
| UR1 (UniBAS) Angelo Masi                                       | UR2 (UniGE-a) Sergio Lagomarsino           |
| UR3 (UniNA-f) Giulio Zuccaro                                   | UR4 (PoliMI) Roberto Paolucci              |
| UR6 (UniCAM) Andrea Dall'Asta                                  | UR8 (UniCH) Giuseppe Brando / Guido Camata |
| UR9 (UniGE-b) Serena Cattari                                   | UR10 (UniNA-a) Gerardo Verderame           |
| UR11 (UniNA-b) Andrea Prota / Marco Di Ludovico / Maria Polese |  |
| UR13 (UniNA-d) Fulvio Parisi                                   | UR16 (UniPD) Francesca da Porto            |
| UR17 (UniPG) Antonio Borri                                     | UR19 (UniPR) Beatrice Belletti             |
| UR20 (UniPV) Andrea Penna / Francesco Graziotti                | UR21 (UniRM1-a) Giorgio Monti              |
| UR22 (UniRM1-b) Luigi Sorrentino                               | UR23 (UniSA) Enzo Martinelli               |



ReLuis 2019-2021 - WP4 (MARS)



## PROGETTO DPC-RELUIS 2019-2021

### WP4 - MAPPE DI RISCHIO E SCENARI DI DANNO SISMICO (MARS)

Coordinatori: Sergio Lagomarsino e Angelo Masi

## MARS: Modelli e curve di fragilità per le scuole

### Prodotto Task 4.7

Responsabili del Task: Serena Cattari e Angelo Masi

Redatto a cura di Serena Cattari e Angelo Masi  
con la collaborazione di Vincenzo Manfredi e Sara Alfano

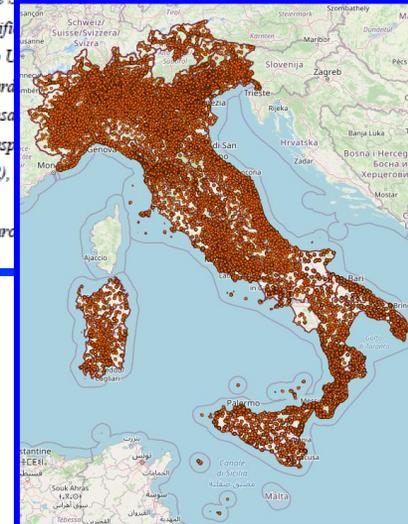
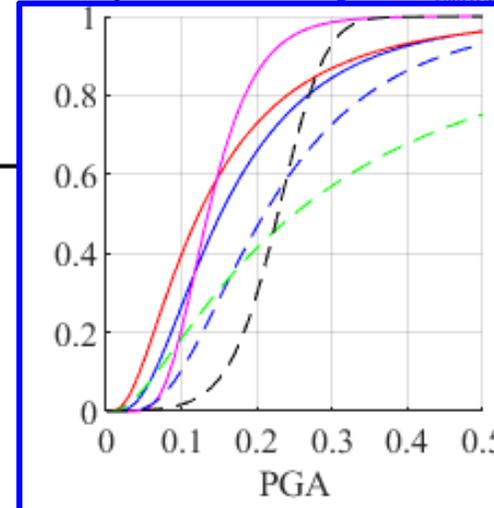
Hanno fornito contributi specifici: a vario titolo tutte le UR ai §4.2 e §4.3 e EUCENTRE al §6

Il report descrive le attività del triennio nel Task 4.7 svolte dalle seguenti UR:

- UR1 (UNIBAS) - Masi A (Responsabile Scientifico UR), Manfredi V
- UR2 (UNIGEa) - Lagomarsino S (Responsabile Scientifico UR), Ottonelli D
- UR6 (UniCAM) - Dall'Asta A (Responsabile Scientifico UR), Rossi J, Ciavarella J

- UR7 (UniCAMP) - Cattari S (Responsabile Scientifico UR), Manfredi V
- UR8 (UniCH) - Prota A (Responsabile Scientifico UR), Verderame G
- UR9 (UniGE-b) - Cattari S (Responsabile Scientifico UR), Verderame G
- UR10 (UniNA-a) - Prota A (Responsabile Scientifico UR), Verderame G
- UR11 (UniNA-b) - da Porto F (Responsabile Scientifico UR), Verderame G
- UR12 (UNITSb) - Gattesco N (Responsabile Scientifico UR), Verderame G
- UR13 (UniNA-d) - Prota A (Responsabile Scientifico UR), Verderame G
- UR14 (UniNA-e) - Prota A (Responsabile Scientifico UR), Verderame G
- UR15 (UniNA-f) - Prota A (Responsabile Scientifico UR), Verderame G
- UR16 (UniPD) - da Porto F (Responsabile Scientifico UR), Verderame G
- UR17 (UniPG) - Prota A (Responsabile Scientifico UR), Verderame G
- UR18 (UniPR) - Prota A (Responsabile Scientifico UR), Verderame G
- UR19 (UniPR) - Prota A (Responsabile Scientifico UR), Verderame G
- UR20 (UniPV) - Prota A (Responsabile Scientifico UR), Verderame G
- UR21 (UniRM1-a) - Prota A (Responsabile Scientifico UR), Verderame G
- UR22 (UniRM1-b) - Prota A (Responsabile Scientifico UR), Verderame G
- UR23 (UniSA) - Prota A (Responsabile Scientifico UR), Verderame G

Referenti del DPC per il WP4: Mauro Dolce ed Elena Speranza



# Progetto DPC-ReLUIIS 2022-24: il WP4 MARS-2 Elenco Task e Responsabili

**Task 4.1 – ESPOSIZIONE: regionalizzazione delle tipologie (Zuccaro)**

**Task 4.2 – PERICOLOSITÀ: mappe di scuotimento per scenari ed effetti di sito (Paolucci, Penna)**

**Task 4.3 – VULNERABILITÀ del costruito residenziale: curve di fragilità per edifici rinforzati e in aggregato (Lagomarsino, Verderame)**

**Task 4.4 – VULNERABILITÀ di scuole ed ospedali (Cattari, Manfredi)**

**Task 4.5 – VULNERABILITÀ di capannoni ed altri edifici «speciali» (Savoia, Nascimbene)**

**Task 4.6 – VULNERABILITÀ delle chiese e di altri edifici monumentali (da Porto, Calderini)**

**Task 4.7 – VULNERABILITÀ delle infrastrutture (individuale e sistemica) (Prota)**

**Task 4.8 – Calcolo delle CONSEQUENZE socio-economiche per rischio incondizionato o di scenario (Di Ludovico)**

**Task 4.9 – Valutazioni e strategie preventive MULTIRISCHIO (Masi)**

**Task 4.10 – Aggiornamento MAPPE DI RISCHIO (Lagomarsino, Masi)**

# Progetto DPC-ReLUIS 2022-24: il WP4 MARS-2

## Elenco UR e responsabili

N°	UR	Coordinatore	Task 4.1	Task 4.2	Task 4.3	Task 4.4	Task 4.5	Task 4.6	Task 4.7	Task 4.8	Task 4.9	Task 4.10
			Esposizione	Hazard	Vulnerabilità	Scuole	Capannoni	Chiese	Infrastrutture	Perdite	MultiRisk	MAPPE
1	UniBAS-a	Angelo MASI		X	X	X (Manfredi)			X	X	X	X
2	UniGE-a	Sergio LAGOMARSINO	X		X			X (Calderini)		X		X
3	UniNA-f	Giulio ZUCCARO	X		X			X				X
4	PolIMI	Roberto PAOLUCCI		X							X	X
5	UniPM	Sandro CARBONARI							X			
6	UniCAM	Andrea DALL'ASTA, Graziano LEONI				X						
7	UniCamp	Gianfranco DE MATTEIS				X		X				
8	UniCH	G. BRANDO, Maria Giovanna MASCIOTTA			X		X	X				
9	UniGE-b	Serena CATTARI			X	X					X	X
10	UniNA-a	Gerardo VERDERAME	X	X	X	X					X	X
11	UniNA-b	A. PROTA, M. DI LUDOVICO, M. POLESE	X		X	X		X	X (Prota)	X (Di Ludovico)	X	X
12	UniNA-c	Claudia CASAPULLA						X				
13	UniNA-d	Fulvio PARISI	X		X						X	
14	UniNA-e	Lucrezia CASCINI									X	
15	UniParth	Francesca CERONI						X				
16	UniPD	Francesca DA PORTO			X	X		X			X	X
17	UniPG	Emanuela SPERANZINI	X					X				
19	UniPR	Beatrice BELLETTI			X				X			
20	UniPV	Andrea PENNA, Francesco GRAZIOTTI		X	X			X	X			X
21	UniRM1-a	Giorgio MONTI		X	X				X			
22	UniRM1-b	Luigi SORRENTINO						X				
24	UniTS-a	Claudio AMADIO		X								
25	UniTS-b	Natalino GATTESCO				X						
26	UniCUS	Maria ZUCCONI								X		
27	UniNA	Antonio FORMISANO			X		X					
28	UniBO	Marco SAVOIA					X			X		
29	IUSS	Roberto NASCIMBENE					X					
30	UniNA	Iunio IERVOLINO									X	
31	GEOTEC	S. FOTI, S. RAMPELLO, F. SILVESTRI		X							X	X
	Eucentre	Barbara BORZI		X	X	X	X	X	X			X
		<b>tot. UR coinvolte</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>11</b>

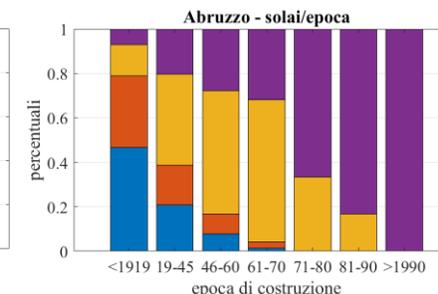
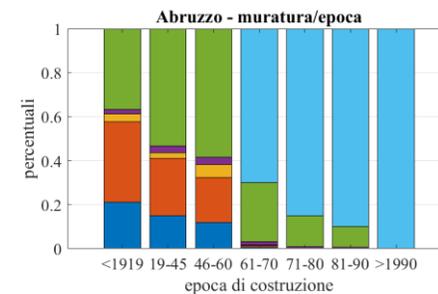
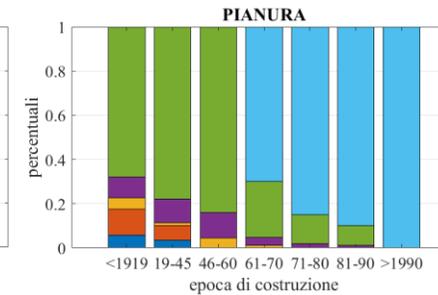
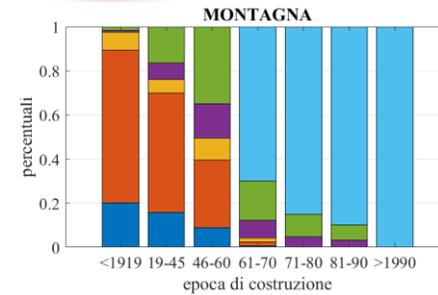
## OBIETTIVI

**Regionalizzazione della vulnerabilità**, attraverso l'integrazione dei risultati ottenuti nel WP2-CARTIS, per meglio specificare le tipologie costruttive nei diversi ambiti territoriali (regioni, zone altimetriche e demografiche), rispetto alla tassonomia dell'inventario ISTAT.

### PERCENTUALE DI COMUNI SCHEDATI NEL WP2 CARTIS



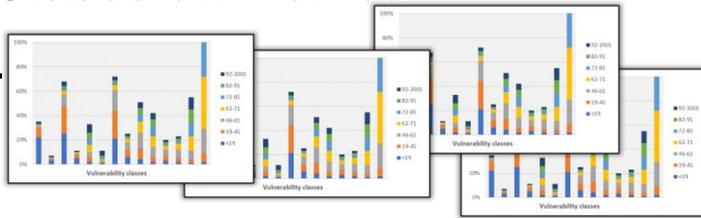
### ESTRAZIONI OTTENUTE DAL DATABASE CARTIS



## Task 4.1 - MARS

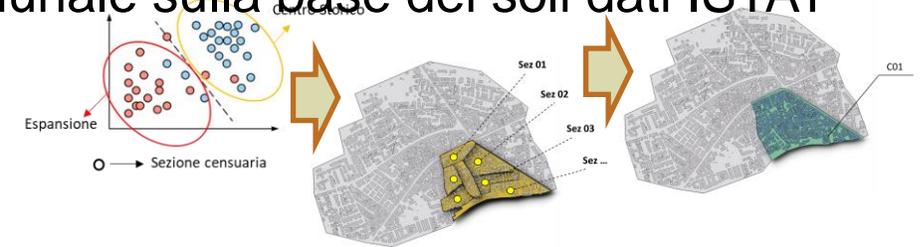
Modelli di Esposizione a scala sub-regionale

- Classe di popolazione
- Classe altimetrica



## Task 2.1 - CARTIS

Modelli previsionali di machine learning per l'identificazione di aree omogenee nel territorio comunale sulla base dei soli dati ISTAT



## Task 4.10 – MARS

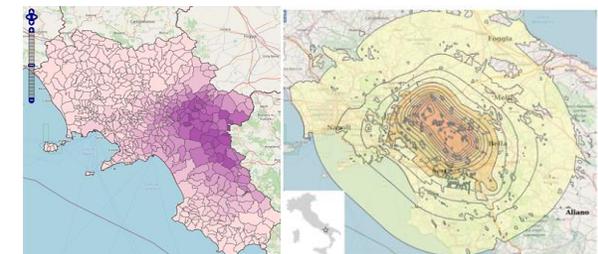
*aggiornamento delle mappe di rischio*

Esempi di classificazioni tipologiche nel contesto umbro

TIPOLOGIA 1		TIPOLOGIA 2		TIPOLOGIA 3	
	< 1961 1/2 piani fuori terra Pietrame Semirigidi e deformabili		< 1961 2/3 piani fuori terra Pietrame Semirigidi e deformabili		> 1961 2/3 piani fuori terra Mattoni Rigidi

TIPOLOGIA 4		TIPOLOGIA 5	
	1961-1987 4/5 piani fuori terra Mattoni Rigidi		1962-1975 5/6 piani fuori terra Cemento armato Rigidi

Validazione del danno simulato con il danno osservato durante il terremoto dell'Irpinia del 1980 tramite Da.D.O.

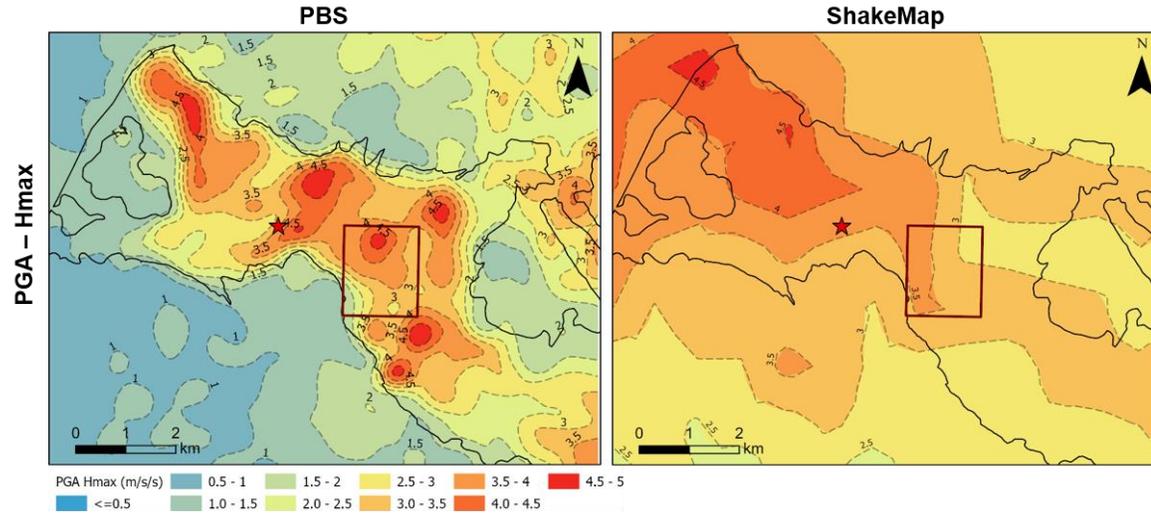
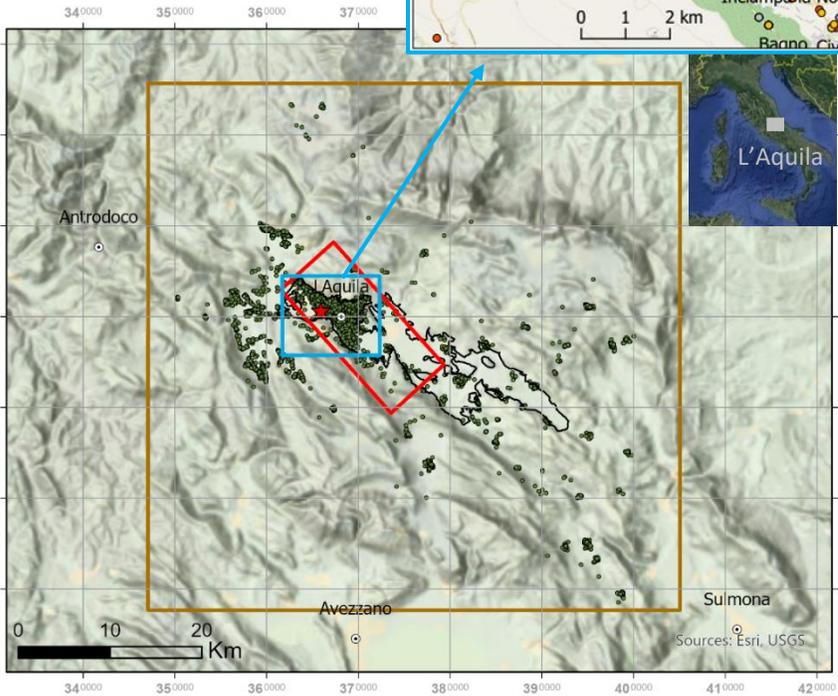
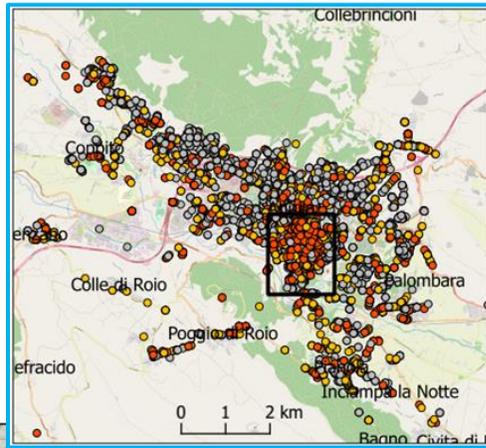


# Task 4.2. Pericolosità: mappe di scuotimento per scenari ed effetti di sito

## Uso di scenari di scuotimento simulati per la derivazione di curve di fragilità empiriche

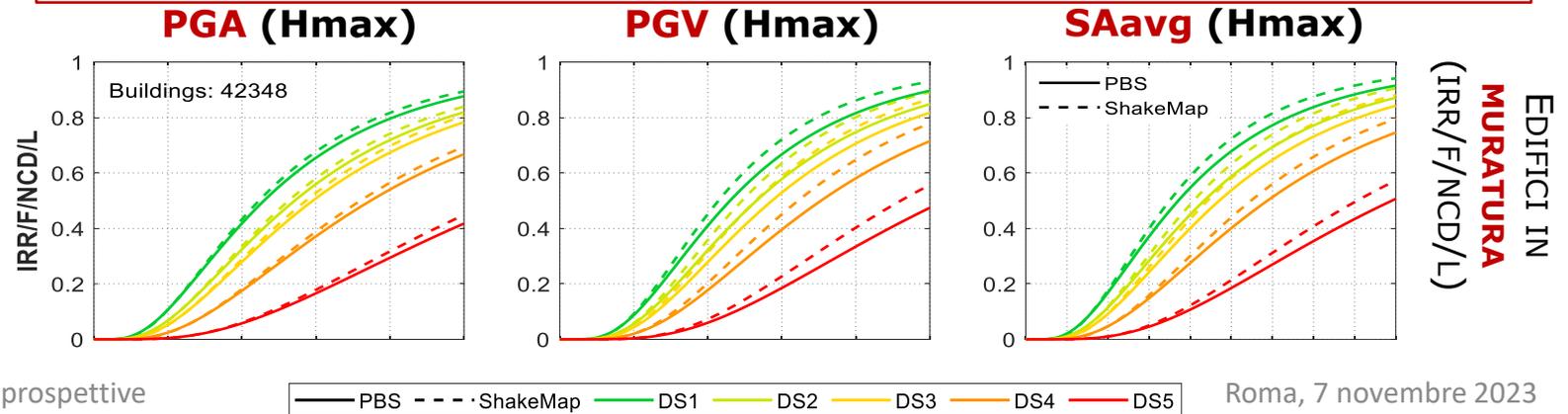
Caso studio:  
terremoto L'Aquila,  
6 aprile 2009

Database di danno  
dell'Aquila  
(Rosti et al. 2019; 2021; 2022)



- Rosti et al. (2023), Bull Eq Engn 21: 95–123
- Monsalvo et al. (2024), 18WCEE, submitted

### Confronto fra curve di fragilità derivate da scenari simulati “physics-based” (PBS) e da ShakeMap



EDIFICI IN  
**MURATURA**  
(IRR/F/NCD/L)

e prospettive

Roma, 7 novembre 2023

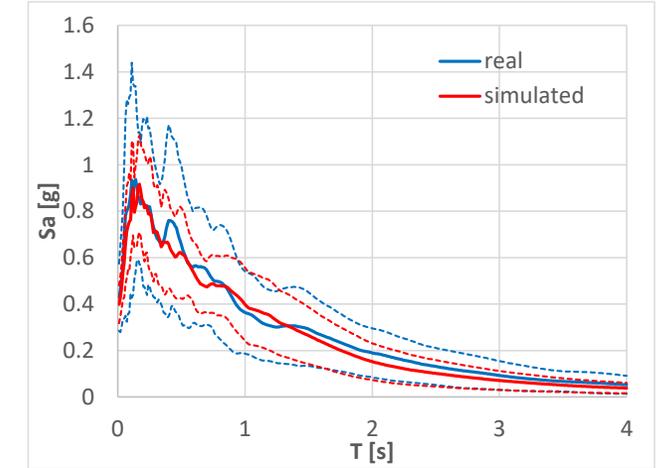
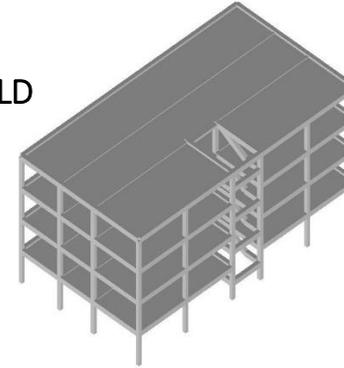
# Task 4.2. Pericolosità: mappe di scuotimento per scenari ed effetti di sito

## Uso di accelerogrammi simulati per la derivazione curve di fragilità analitica (edifici in CA)

Selezione di accelerogrammi spettro-compatibili **reali** (NGA-West2) e **simulati** (BB-SPEEDset) in ampio intervallo di intensità (PGA 0.05g ÷ 1 g)

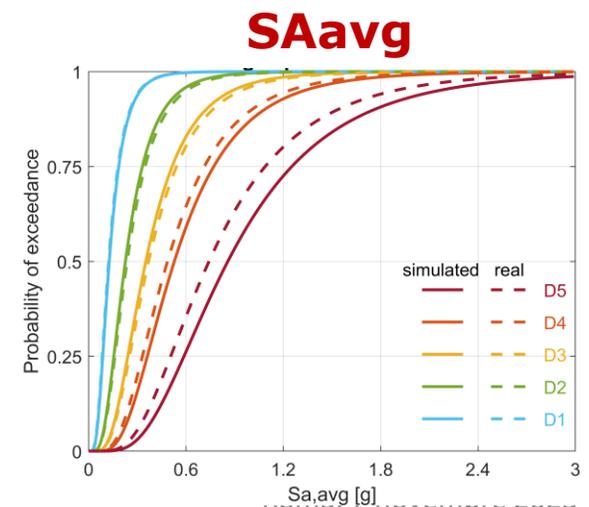
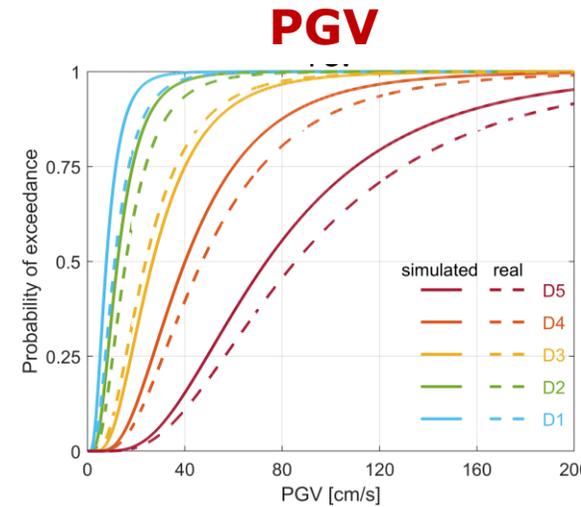
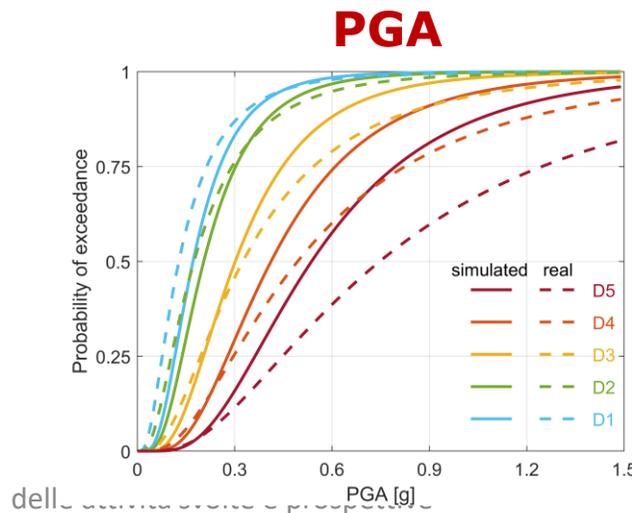
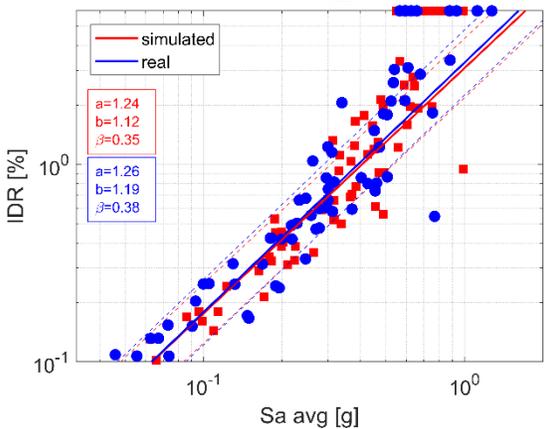
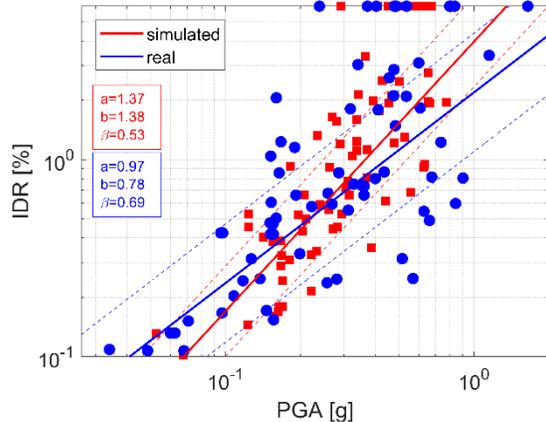
**Analisi efficienza di diverse IM:**  
PGA, PGV, SA(T0), SAavg, HI, IA, CAV

Edificio  
4p|IF|70s|GLD  
 $T_0=0.54s$



Manfredi et al. (2024), 18WCEE, submitted

### Confronto fra curve di fragilità da segnali reali e simulati per diverse IM



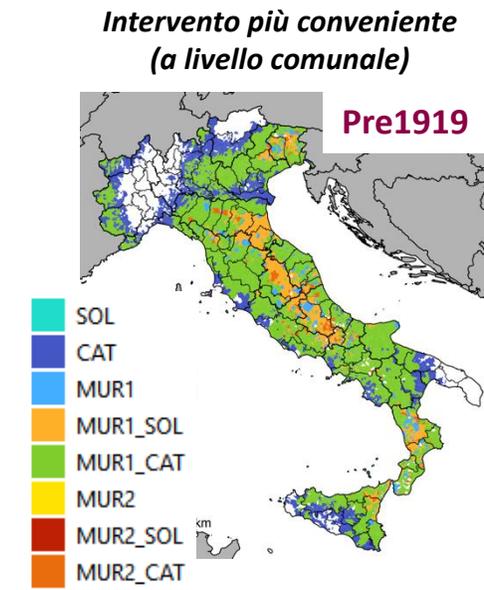
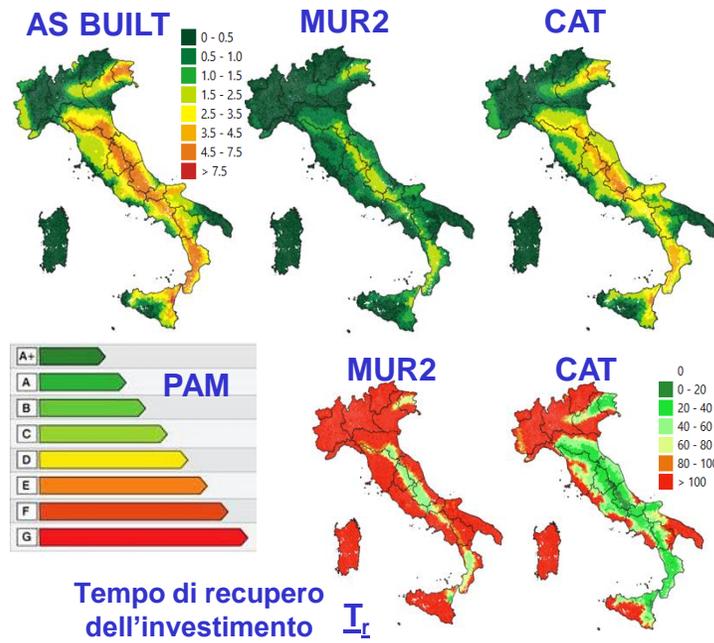
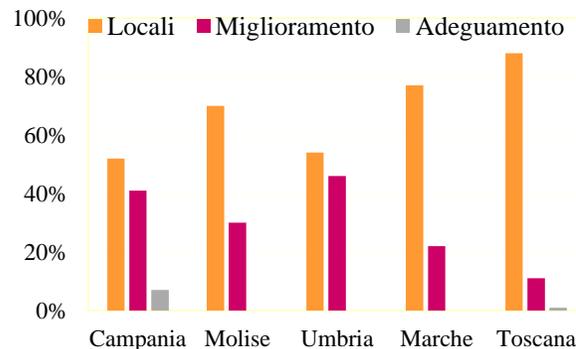
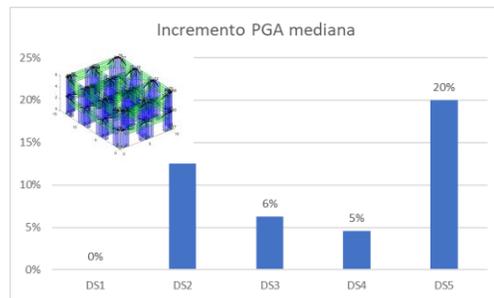
# Task 4.3. Vulnerabilità del costruito residenziale: curve di fragilità per edifici rinforzati e in aggregato

## Curve di fragilità di edifici in muratura rinforzati e strategie ottimali di rinforzo

Sviluppo di **curve di fragilità** di edifici appartenenti alle diverse tipologie ISTAT e soggetti a diverse **tecniche di rinforzo**, attraverso approcci: macrosismico, ibrido, meccanico-analitico e meccanico-numeric.

L'obiettivo è duplice:

- **Identificazione della percentuale di edifici** esistenti nei quali sono già stati attuati **interventi** (analisi condotta nelle diverse regioni attraverso il **database CARTIS**)
- **Analisi costi-benefici** per identificare le **tipologie ottimali di rinforzo** in funzione della **pericolosità**





# Task 4.3. Vulnerabilità del costruito residenziale: curve di fragilità per edifici rinforzati e in aggregato

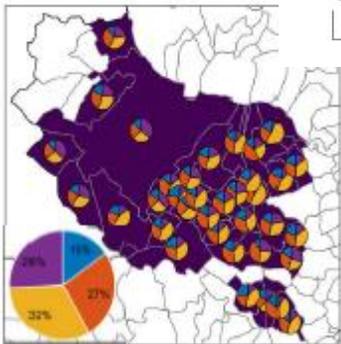
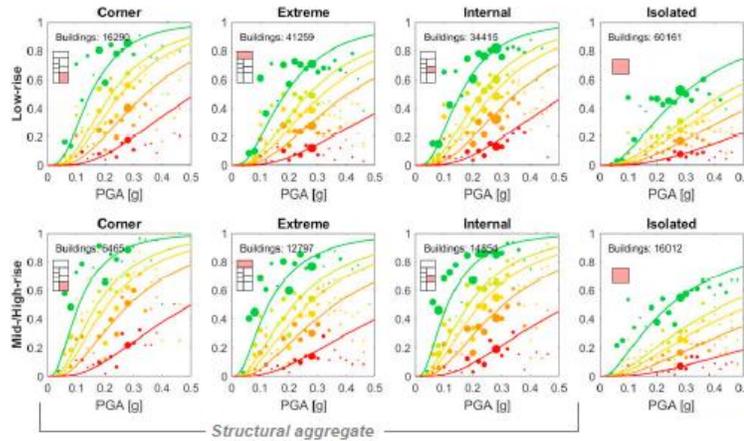
## Curve di fragilità di edifici in aggregato

- Analisi del database di danno osservato **DaDO** al fine di ricavare **curve di fragilità per edifici in aggregato**, in funzione della **posizione** (angolo, estremità, interno), e confronto con le curve di edifici isolati.
- **Analisi di dettaglio su modelli di aggregati** al fine di ricavare le **curve di fragilità** delle diverse **unità edilizie** in funzione della **posizione**

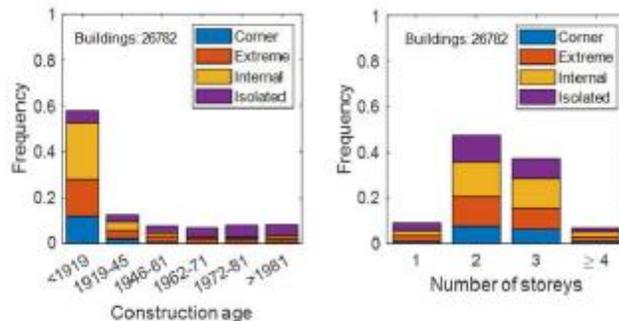
Curve di fragilità da approccio empirico-osservazionale

### • Posizione edificio:

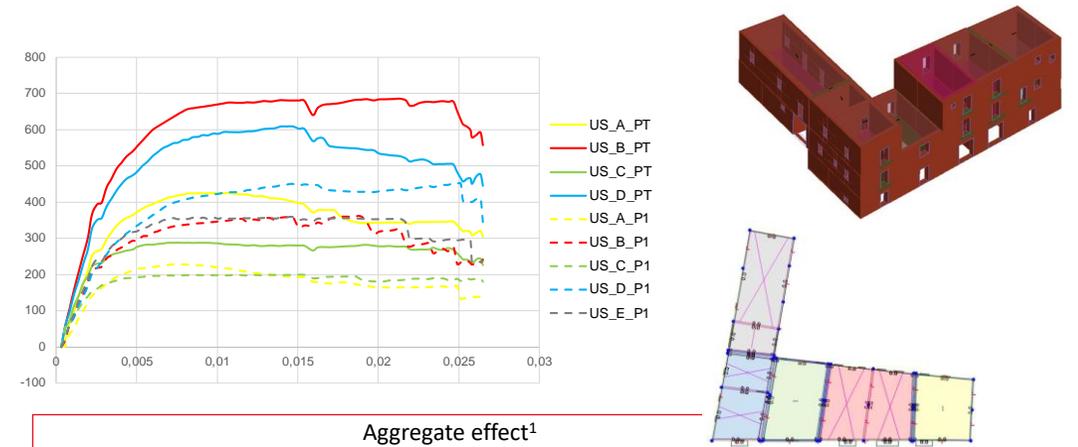
- Angolo
- Estremità
- Interno
- Isolato



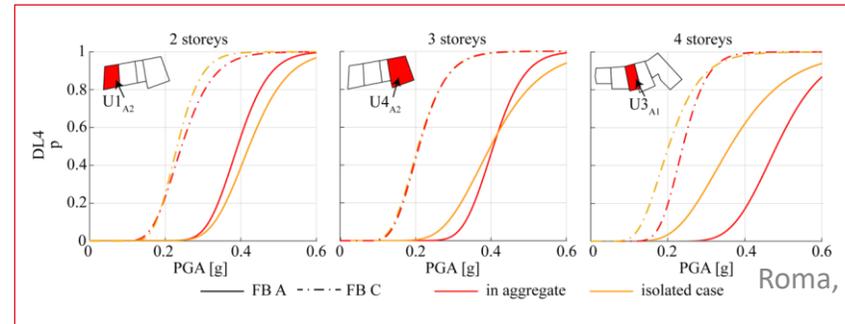
**Edifici in aggregato: 74%**



Curve di fragilità da approccio meccanico-numerico



Aggregate effect<sup>1</sup>



## OBIETTIVI PROGRAMMATI BIENNIO 22-24

SVILUPPO RISULTATI 2019-2021

Curve di fragilità nello stato NON rinforzato

Da Analisi dinamiche NON LINEARI su archetipi aggiuntivi

Per MURATURA: valutazione impatto «REGIONALIZZAZIONE» con modelli analitici usando campioni *ad hoc*

Sub-tipologie rappresentative di scuole a struttura MISTA MURATURA- CA

NUOVO OBIETTIVO 2022-23

Curve di fragilità nello stato RINFORZATO

Classificazione interventi ricorrenti (tradizionali e moderni)

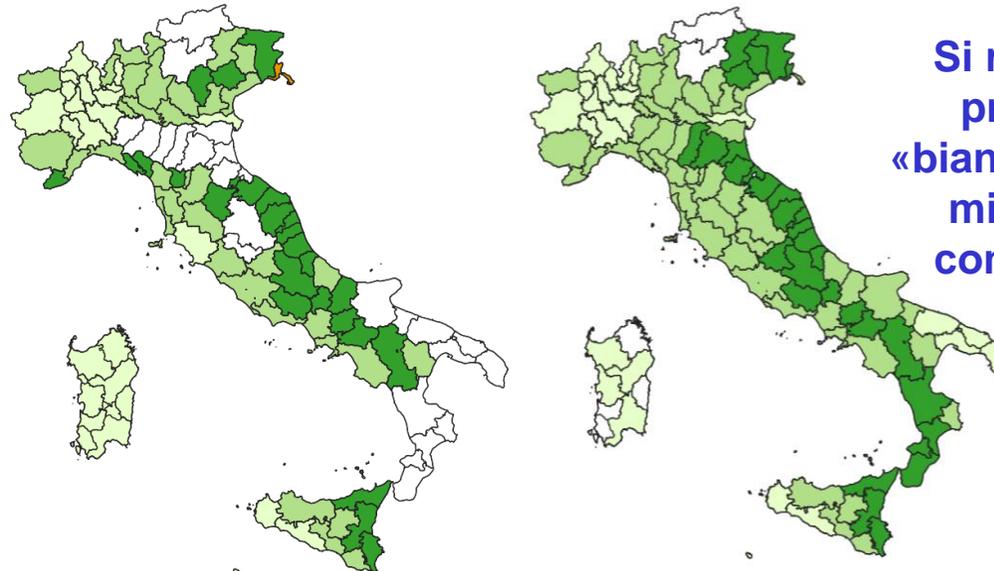
Analisi costi e tempi di esecuzione dei rinforzi (da ricostruzione post-sisma)

Definizione e analisi di archetipi rinforzati con tecniche maggiormente diffuse

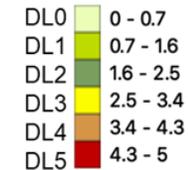
## VALUTAZIONI CON ANAGRAFE EDILIZIA SCOLASTICA 2022 GIA' IMPLEMENTATA IN IRMA SCUOLE

AES 2005

Valutazione agg. AES 2022 CA – aggregazione superficie



Si riducono le province in «bianco» perché è migliorata la completezza!!



Avviata Interazione diretta con Ministero dell'Istruzione e del Merito

A FINE BIENNIO: AGGIORNAMENTO SCENARI DI DANNO E VALUTAZIONE DELLE PERDITE NELLO STATO ANTE- e POST-INTERVENTO CON MODELLO MARS SCUOLE AGGIORNATO

## OBIETTIVI PROGRAMMATI BIENNIO 22-24

Messa a sistema di tutti gli studi già condotti

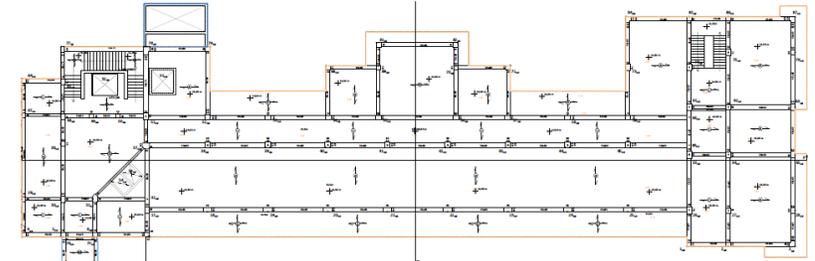


Overview precedenti progetti di ricerca (es. DPC ReLUIS 2014-2016-Pr. Sp. Ospedali)

Definizione della TAXONOMY di riferimento, partendo dai dati disponibili dalla scheda Edifici Strategici della CLE



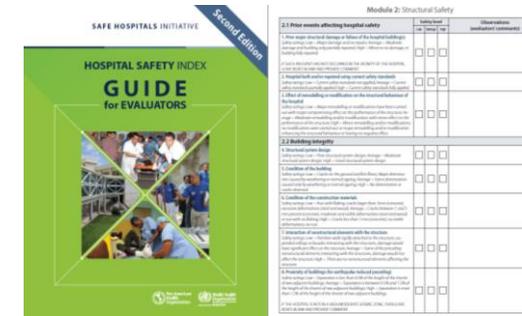
Analisi database locali (FVG, Campania, Basilicata)



Definizione di una SCHEDA RACCOLTA DATI SPEDITIVA per integrare database disponibile



Analisi schede letteratura (es. PAHO 2019)

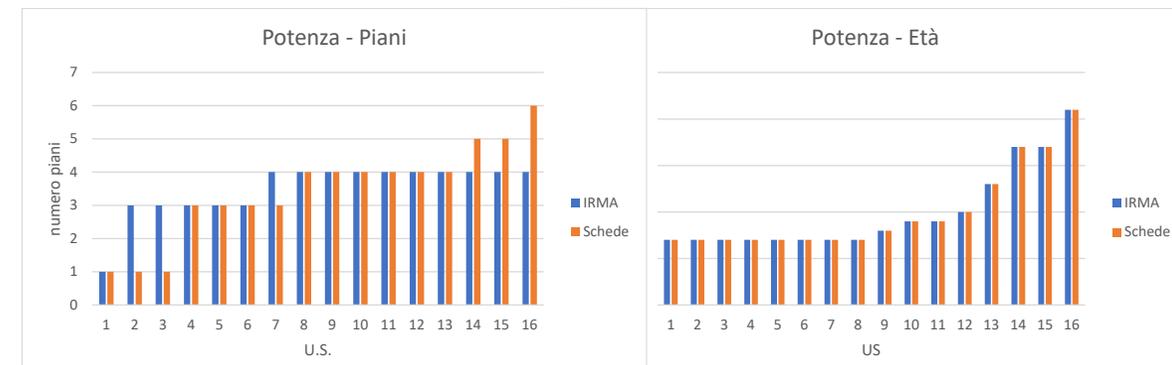


Interazione con Eucentre per lo sviluppo della piattaforma «IRMA OSPEDALI»



Cfr database IRMA vs dati di «dettaglio»

APPLICAZIONI PRELIMINARI DELLA PIATTAFORMA USANDO CURVE DI FRAGILITA' DI LETTERATURA



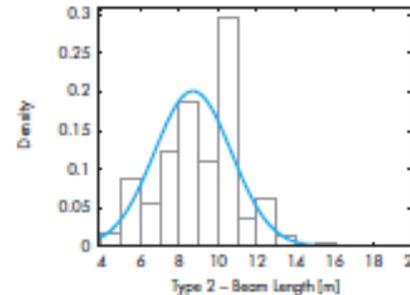
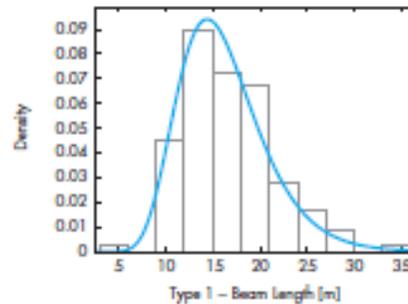
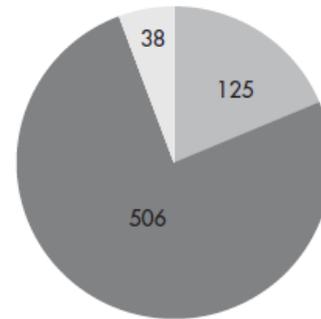
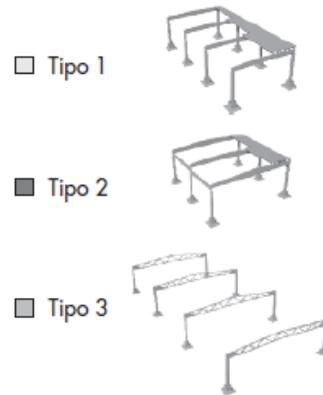
# Task 4.5. Vulnerabilità di capannoni e altri edifici "speciali"

## Fase 1

Raccolta e analisi di dati empirici-osservazionali raccolti a valle di eventi sismici passati



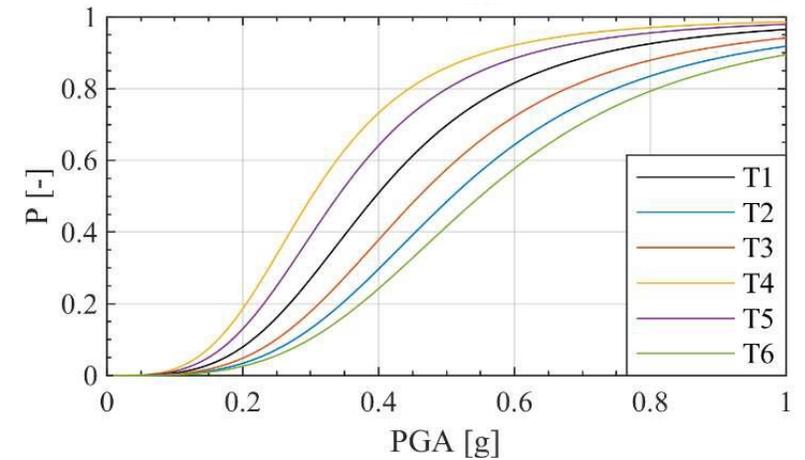
Definizione casi studio capannoni monopiano (distribuzione su base aggregato industriale)



## Fase 2

Costruzione curve di fragilità per modelli di capannone monopiano a telaio («nudi»)

Validazione modelli numerici con casistiche da eventi passati



## Task 4.5. Vulnerabilità di capannoni e altri edifici “speciali”

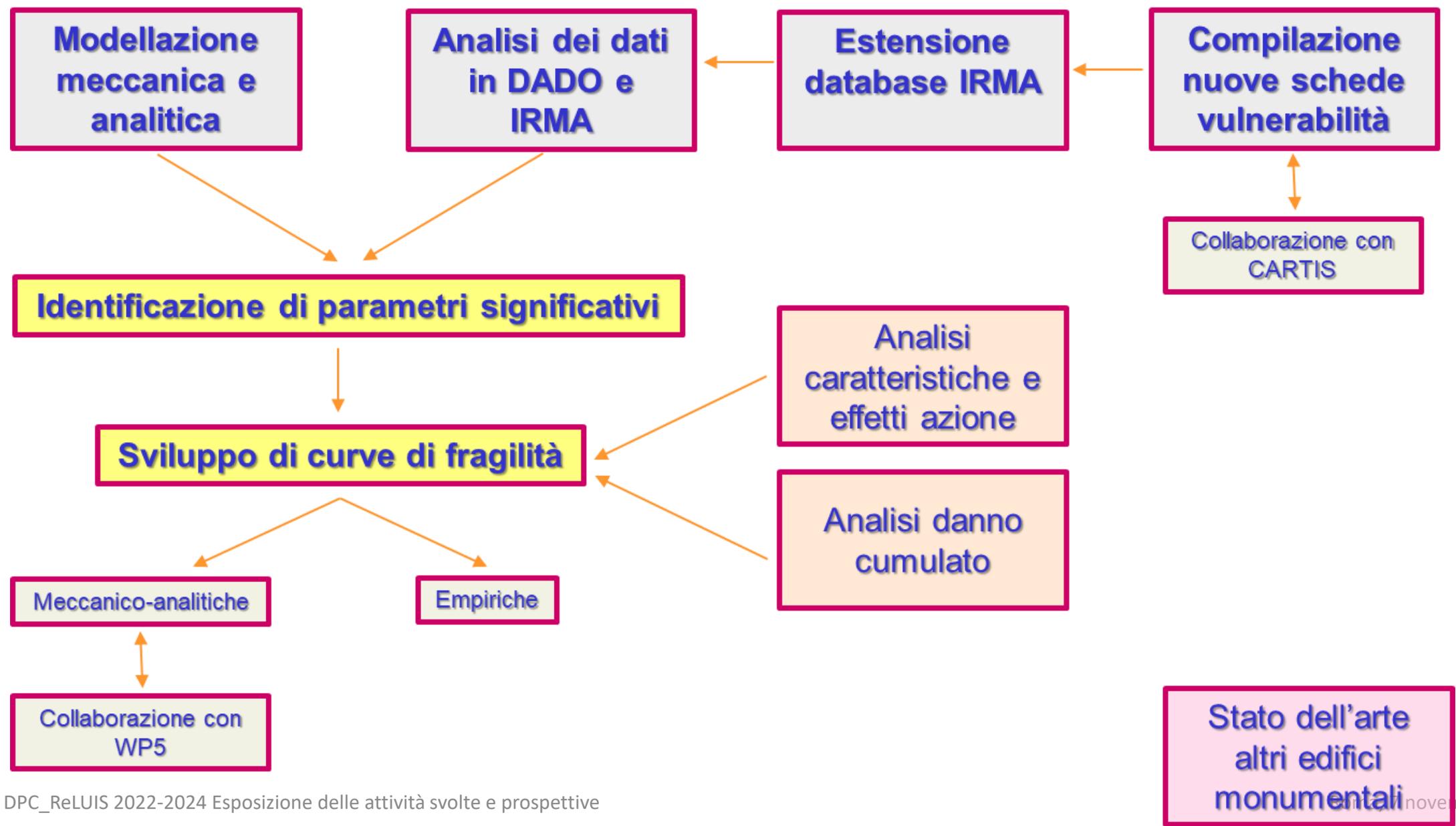
Fase 3

Estensione a edifici  
monopiano con  
pannelli di  
tamponamento



Analisi tipologie di pannellature e correlazione con livello di danno

# Task 4.6. Vulnerabilità di chiese e altri edifici monumentali



# Task 4.6. Vulnerabilità di chiese e altri edifici monumentali

## Piattaforma IRMA Chiese

Struttura curve di fragilità mutuata da quella della piattaforma SCUOLE

## Matrice di esposizione

Tipologia	Epoca	Complessità	Conservazione	Copertura	Snellezza	Modello						Verifica				
						Comportamento duttile			Comportamento molto duttile							
						%A <sub>d</sub>	%B <sub>d</sub>	%C <sub>d</sub>	%D <sub>d</sub>	%E <sub>d</sub>	%F <sub>d</sub>		%A <sub>md</sub>	%B <sub>md</sub>	%C <sub>md</sub>	%D <sub>md</sub>
MISTA C.A./MUR	XIX	Bassa	Scarso	Spingente	da_definire_1	80						20				Valido

3 parametri di base  
(buona copertura dati)

Tipologia  
Epoca  
Complessità

3 parametri aggiuntivi  
(scarsa copertura dati)

Stato di Conservazione  
Copertura  
Snellezza

2 modelli di comportamento  
(come IRMA Scuole)

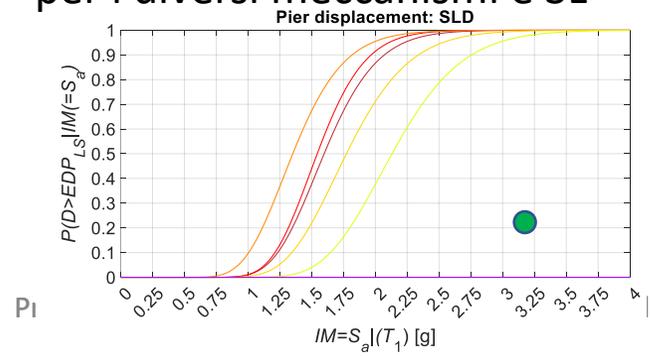
Duttile  
Fragile



# Task 4.7. Vulnerabilità delle infrastrutture (individuale e sistemica)

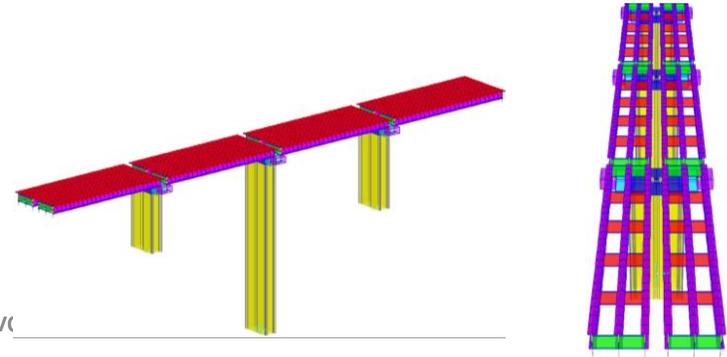
## Analisi della fragilità sismica di ponti in c.a.p. a cavi post-tesi con geometria regolare e irregolare: applicazione a due caso studio

- Reperimento elaborati di progetto dei casi studio
- Individuazione delle principali vulnerabilità e relativa modellazione non lineare (OpenSees)
- Definizione della pericolosità
- Definizione dei meccanismi di danno/collasso, EDP e livelli prestazionali
- Valutazione delle curve di fragilità per i diversi meccanismi e SL



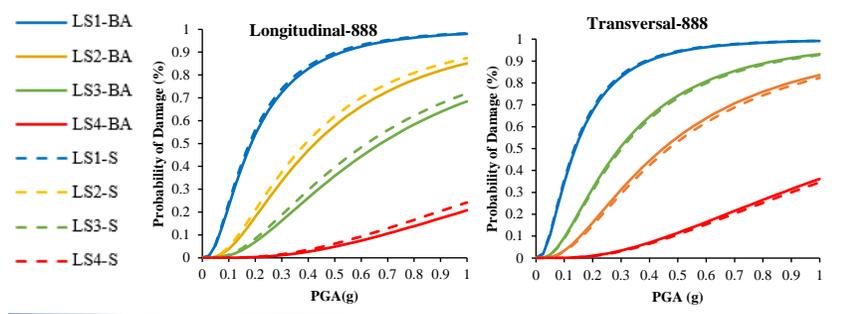
## Valutazione dell'influenza del degrado sulla vulnerabilità sismica di un ponte caso studio

- Impalcato a graticcio costituito da 3 travi in c.a.p. e traversi in c.a.
- analisi dinamiche lineari, statiche nonlineari, dinamiche nonlineari
- Valutazione della condizione non corrosa e scenari di corrosione con  $\Delta m = 20 \div 30\%$
- Valutazione della riduzione di duttilità delle armature
- Valutazione della riduzione di resistenza per perdita del copriferro



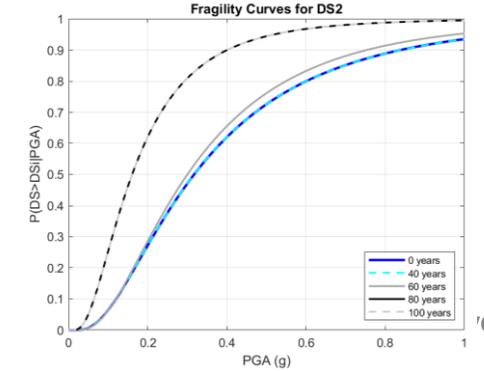
## Valutazione del ruolo dell'altezza delle pile sulla vulnerabilità sismica di ponti esistenti in c.a./c.a.p.

Derivazione di curve di fragilità tramite analisi statiche non lineari



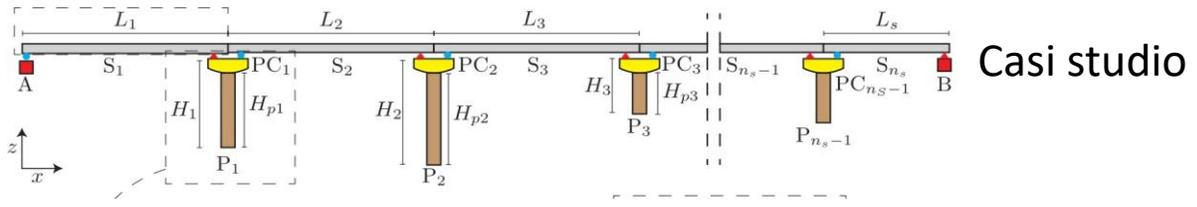
## Valutazione del ruolo dei difetti sulle prestazioni strutturali del ponte: studio dell'influenza della corrosione

Confronto di FCs con e senza effetti della corrosione al variare del tempo

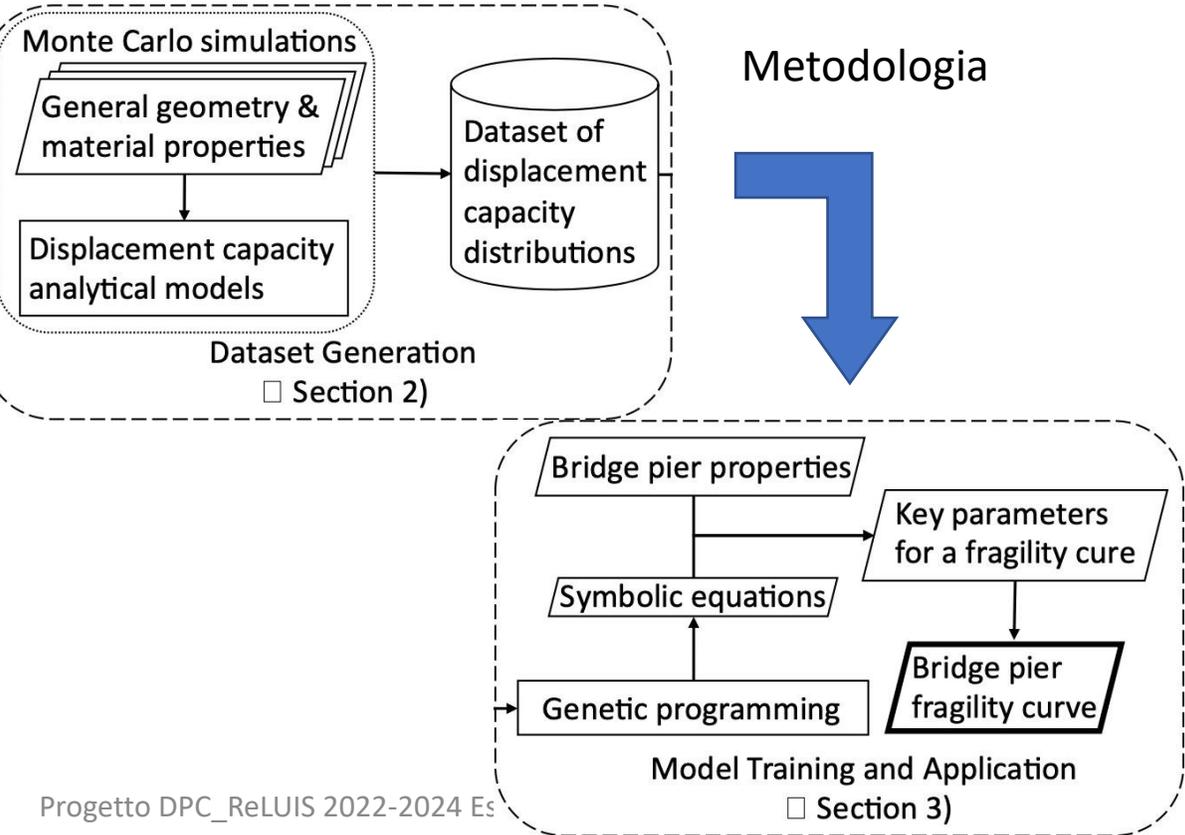


# Task 4.7. Vulnerabilità delle infrastrutture (individuale e sistemica)

## Machine Learning-based: Seismic Fragility Curves for RC Bridge Piers



Casi studio



## Stima della vulnerabilità sismica di componenti di infrastrutture a rete e di impianti per la produzione di energia

- Stima della vulnerabilità sismica di componenti di infrastrutture a rete e di impianti per la produzione di energia
- Indagine sulle tipologie presenti sul territorio italiano
- Revisione della letteratura e identificazione dei casi studio
- Modellazione dei prototipi identificati e analisi numeriche



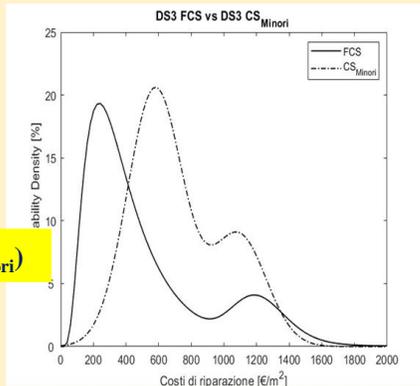
**Funzioni di conseguenza per stima di perdite dirette ed indirette**

**EDIFICI IN AGGREGATO (centri storici)**

- ❖ Calibrazione su dati ricostruzione di funzioni di conseguenza per edifici in aggregato (centri storici) e comparazione con edifici isolati
- ❖ Incidenza delle peculiarità dei centri storici sulle perdite economiche (impatto elementi di pregio e vincoli)

**Fuori Centro Storico (FCS)**

**Centri Storici (CS\_minori)**



FCS_DS3	554,54 €/m²
CS_minori_DS3	708,16 €/m²

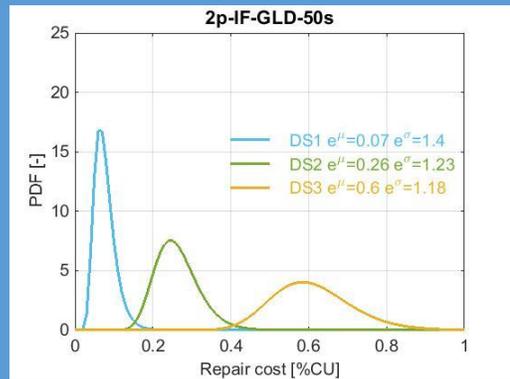
**DS3 Riparazione**

Damage States	FCS	CS_minori
N. Edifici	292	87
16° percentile [€/m²]	216.43	462.19
Mediana [€/m²]	443.74	622.52
84° percentile [€/m²]	1050.99	1127.22
Media [€/m²]	554.54	708.16
$\sigma$ [€/m²]	377.37	278.41
CoV	68%	39%



**Edifici in c.a.: DIFFUSIONE E LOCALIZZAZIONE DEL DANNO DI PIANO**

- ❖ Stima delle perdite economiche dirette mediante calibrazioni delle funzioni di costo in funzione dei DS rilevati a ciascun piano
- ❖ Metodologia di calcolo per predizione perdite dirette in funzione del danno di piano e della sua distribuzione



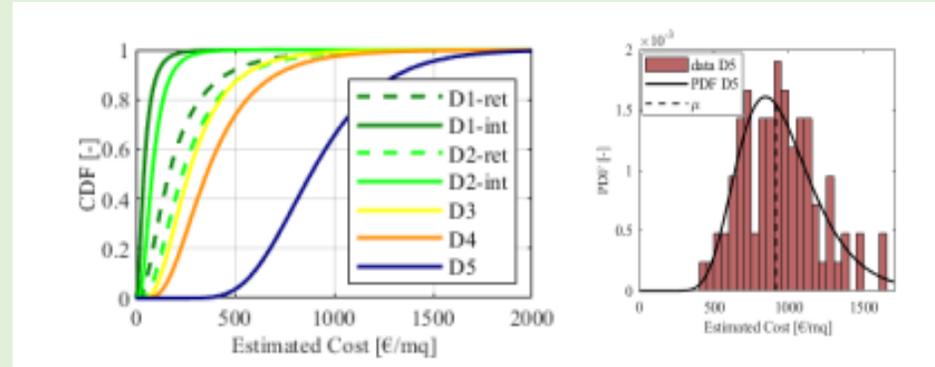
		Unibas			Di Ludovico et al. 2021
		2p 70s	4p 70s	6p 70s	—
DS1	e^(mu)	0.07	0.04	0.03	0.06
	e^sigma	1.39	1.7	1.94	2.63
DS2	e^(mu)	0.26	0.12	0.13	0.14
	e^sigma	1.16	1.32	1.36	2.34
DS3	e^(mu)	0.60	0.32	0.28	0.26
	e^sigma	1.18	1.16	1.34	1.89



**Funzioni di conseguenza per stima di perdite dirette ed indirette**

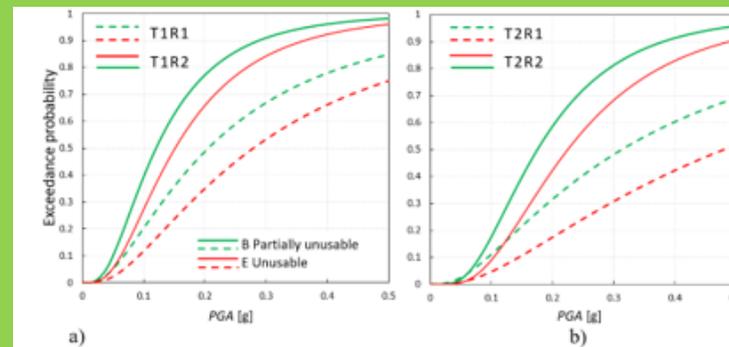
**ATTIVITA' PRODUTTIVE**

- ❖ Individuazione delle classi tipologiche
- ❖ Stima delle perdite economiche dirette per diverse classi tipologiche
- ❖ Calibrazione CDF di costo di riparazione in funzione di diversi livelli di danno DS.



**CURVE DI VULNERABILITA' IN TERMINI DI AGIBILITA' per classi tipologiche *di edifici in c.a. e in muratura***

- ❖ Individuazione delle classi tipologiche in funzione di dati derivati da dati Istat
- ❖ Derivazione curve di fragilità per stima edifici parzialmente inagibili ed inagibili



# Task 4.9. Valutazioni e strategie preventive multirischio

## MARS-1

<b>Single-hazard</b> Only one hazard considered	<b>Single-risk</b> Risk in a single-hazard framework
<b>Multilayer single-hazard</b> More than one hazard No hazard interactions	<b>Single-risk</b> Risk in a multilayer single-hazard framework No interactions on the vulnerability level
<b>Multihazard</b> More than one hazard Hazard interactions considered	<b>Multihazard risk</b> Risk in a multihazard framework No interactions on the vulnerability level
	<b>Multirisk</b> Risk in a multihazard framework Interactions on the vulnerability level considered

JRC Report, Science for DRM, 2017 From 'single-hazard' to 'multirisk' assessment (J. Zschau)

## ATTIVITÀ

- Stato dell'arte sul tema multi-hazard/risk
- Ricognizione ed analisi degli effetti rilevati in passati terremoti italiani
- Modelli di esposizione e vulnerabilità per valutazioni multirischio (**tsunami, alluvioni, frane**)
- Esperienze di applicazione di scenari multirischio

## OBIETTIVI

- Inquadramento del tema multi-hazard/risk
- Prime valutazioni relative ad alcuni effetti sismoindotti, in particolare frane e tsunami.

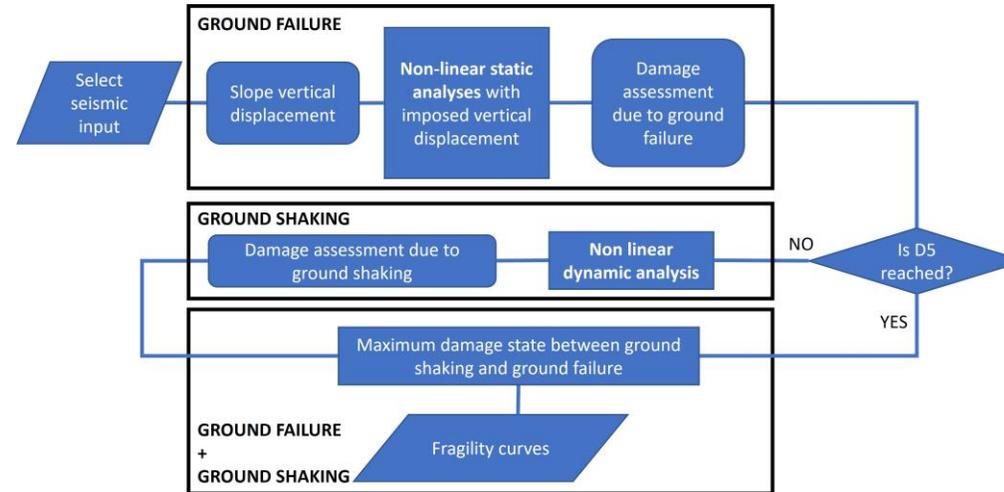
## INTERAZIONI

- Con altri Task di MARS-2 (in particolare Task 4.2)
- con altri WP del progetto 2022-24 (in particolare WP16 GEOTEC).

Stima degli **effetti combinati** derivanti dai cedimenti del terreno a seguito dal sisma (**ground failure, GF**) e dallo scuotimento sismico (**ground shaking, GS**)

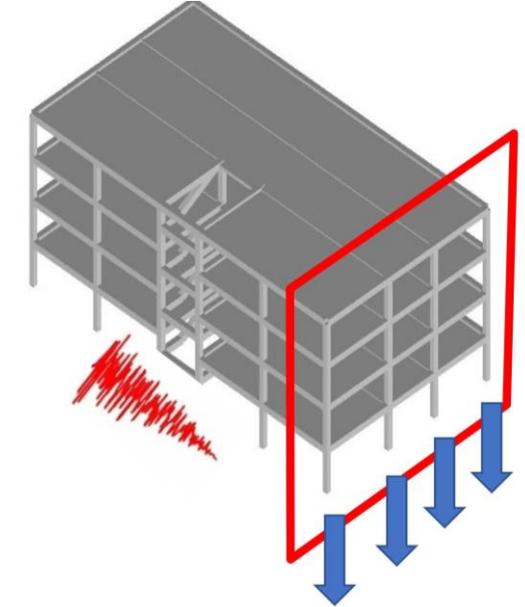
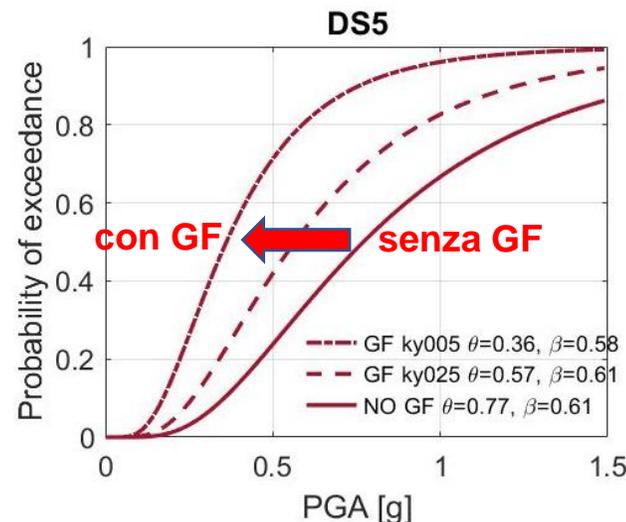
## METODOLOGIA

1. **Analisi statiche non-lineari** con spostamenti imposti alla base di elementi (GF)
2. **Analisi dinamiche non-lineari (GS) in sequenza (GF+GS)**



## CURVE DI FRAGILITA'

- Derivazione di **curve di fragilità combinate GF+GS** per 5 livelli di danno EMS-98.
- **Confronti con e senza GF** al variare della accelerazione critica del terreno ( $k_y$ )

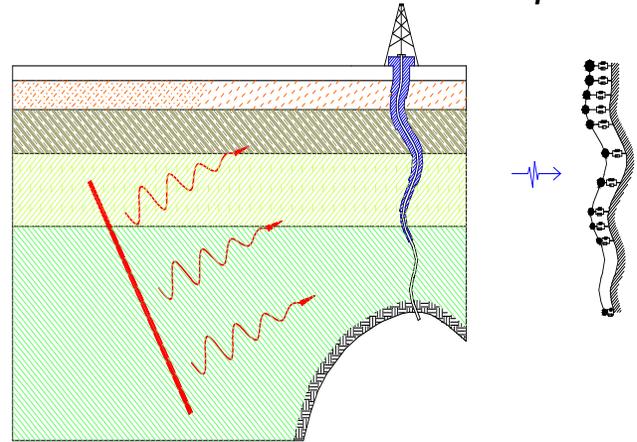
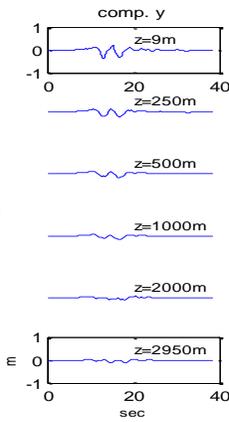
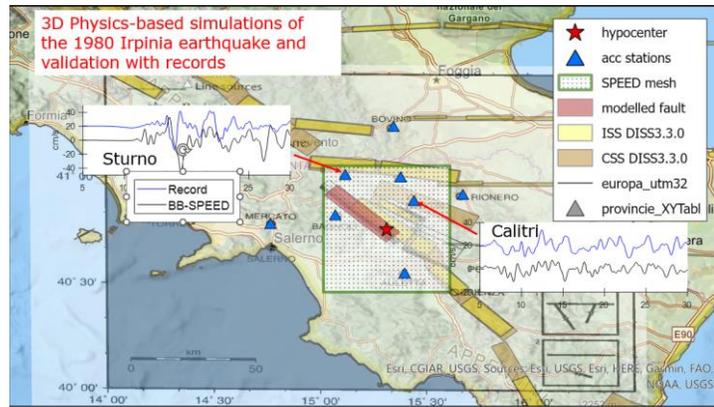


# Task 4.9. Valutazioni e strategie preventive multirischio

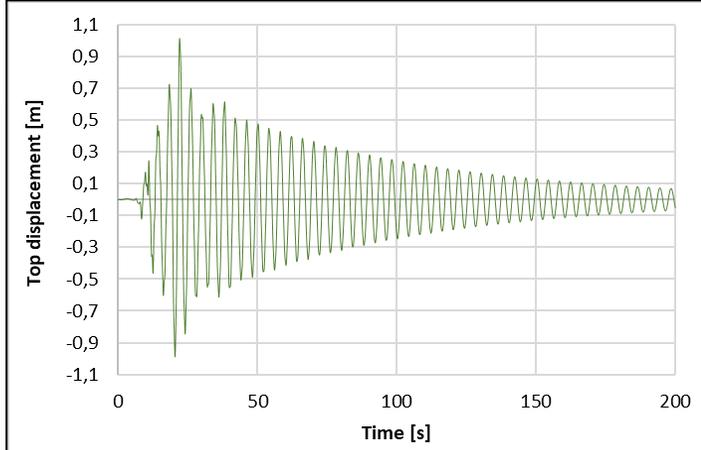
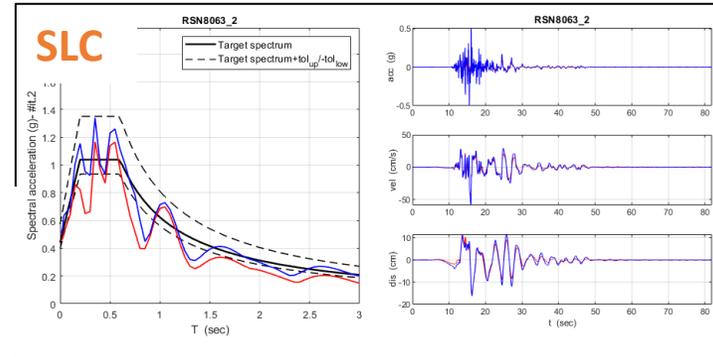
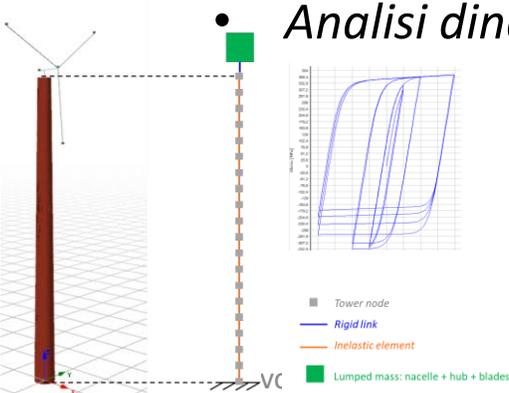
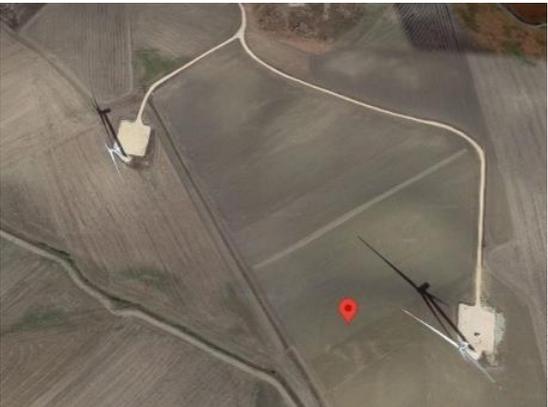
**Uso di scenari di scuotimento simulati per analisi di impatto di terremoti su impianti industriali a rischio di incidente rilevante/impianti per la produzione di energia rinnovabile**

*Spostamenti calcolati a diverse verticali, idealmente rappresentative di casing petroliferi*

*Risposta del casing modellato a EF come una trave su suolo visco-elastico eccitata dallo spostamento sismico*



- Modellazione numerica di turbine eoliche
- Analisi dinamiche non lineari



## MARS: qualche idea per il futuro

- Aggiornamento esposizione (**regionalizzazione**, tipologia ISTAT «altro», ...)
- Valutazioni su altri asset, in particolare **strutture strategiche** (caserme, prefetture, municipi)
- Definizione di **scenari di scuotimento** simulati
- Ruolo della **classi di suolo** nella derivazione delle curve di fragilità
- Curve di fragilità e valutazioni di rischio basate su **IM più efficienti**
- Analisi degli effetti del **degrado** e del **danno cumulato** sulla fragilità
- Derivazione di curve di fragilità di **strutture rinforzate** al variare di: tipo di intervento (rinforzo locale, miglioramento, adeguamento), tecnica di intervento, azioni sismiche di progetto
- Aggiornamento dei modelli di **perdite** (centri storici, casualties, costi indiretti)
- Analisi **multi-hazard/multi-rischio**
  
- **Sviluppo e/o aggiornamento di strumenti per il Sistema di Protezione Civile (es. software per Scenari di danno pre- e post-evento)**
- **Consolidare e sviluppare l'interazione con altri Centri di Competenza sul rischio sismico (ved. esperienza «Tavolo SCENARI»)**