



Rete dei Laboratori Universitari
di Ingegneria Sismica e Strutturale

Convegno ReLUIs



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Progetto DPC-ReLUIs 2024-2026 Il anno

Napoli, 13-14 ottobre 2025

WP 4 – MARS-CARTIS Mappe di Rischio e Scenari di danno sismico

Sergio Lagomarsino, Angelo Masi e Giulio Zuccaro

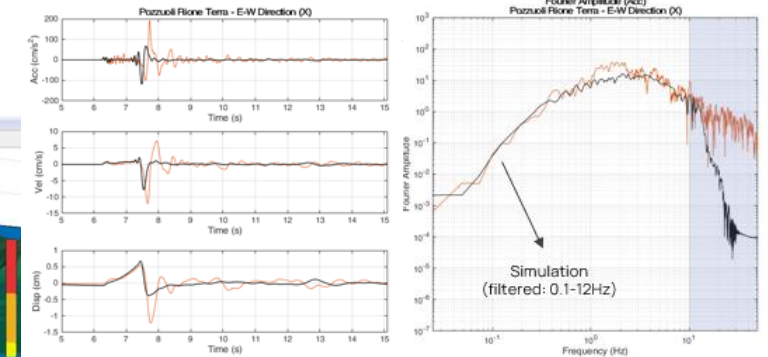
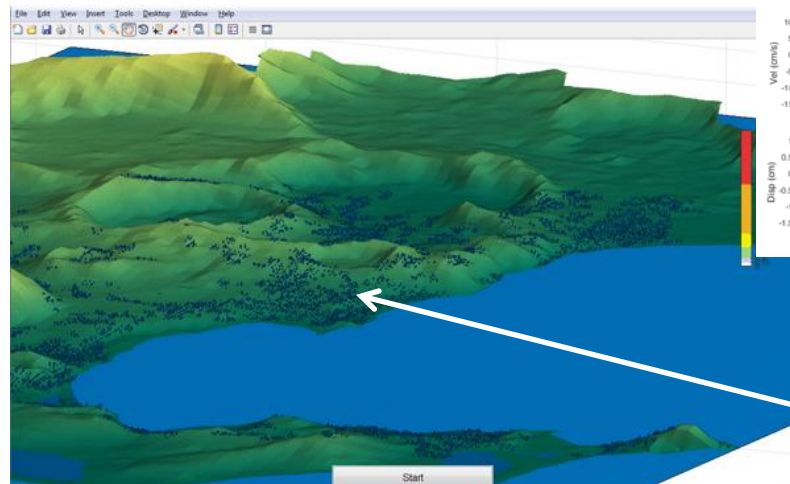
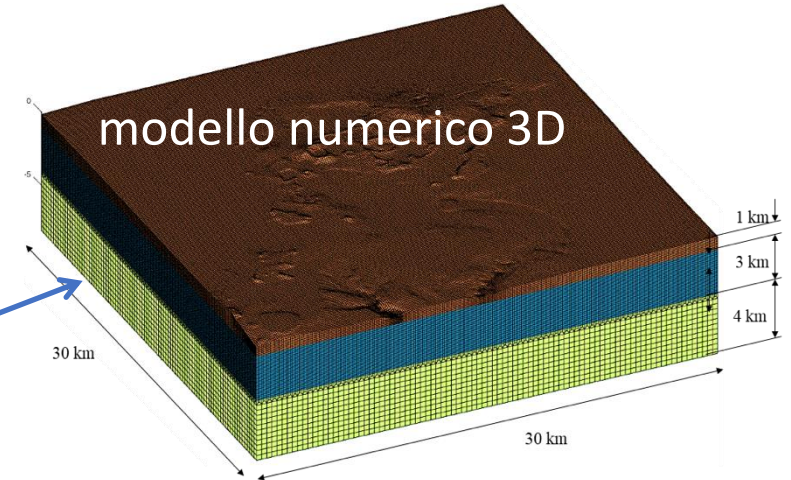
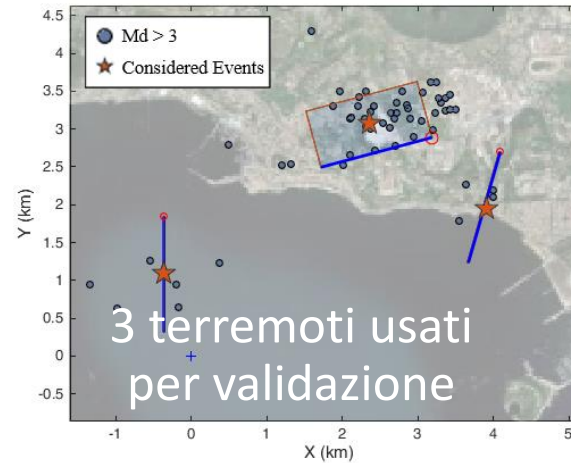
12 Task – 44 Unità di Ricerca

UR

- | | |
|---|------|
| ▪ Task 4.1 Pericolosità (scenari di scuotimento e misure di intensità) (R. Paolucci, A. Penna) | ▪ 7 |
| ▪ Task 4.2 Esposizione (dati e tassonomie) (G. Zuccaro, M. Polese) | ▪ 10 |
| ▪ Task 4.3 Vulnerabilità (misure di danno e modelli) (S. Lagomarsino, G. Zuccaro) | ▪ 6 |
| ▪ Task 4.4 Esposizione/ Vulnerabilità del residenziale (coord. G. Verderame, F. Parisi) | ▪ 25 |
| ▪ Task 4.5 Esposizione / Vulnerabilità di scuole e ospedali (coord. S. Cattari) | ▪ 13 |
| ▪ Task 4.6 Esposizione / Vulnerabilità delle chiese (coord. C. Calderini, F. da Porto) | ▪ 14 |
| ▪ Task 4.7 Esposizione / Vulnerabilità capannoni e strutture con grandi luci (R. Landolfo, R. Nascimbene) | ▪ 6 |
| ▪ Task 4.8 Esposizione / Vulnerabilità delle infrastrutture (coord. A. Prota) | ▪ 7 |
| ▪ Task 4.9 Conseguenze (coord. M. Di Ludovico) | ▪ 6 |
| ▪ Task 4.10 Valutazione multirischio per effetti sismo-indotti (coord. A. Masi) | ▪ 11 |
| ▪ Task 4.11 Rischio a scala nazionale e locale (coord. S. Lagomarsino, A. Masi, G. Zuccaro) | ▪ 7 |
| ▪ Task 4.12 Scenari di danno sismico (OELF, post-evento) (coord. S. Lagomarsino, A. Masi, G. Zuccaro) | ▪ 11 |

Scenari di impatto fisicamente e meccanicamente basati per terremoti di M5 ai Campi Flegrei (POLIMI+UNIGE+UNINA)

- ✓ costruzione del modello numerico dell'area dei Campi Flegrei (con UNINA-Fis)
- ✓ validazione per alcuni terremoti della sequenza (fino a M4)
- ✓ simulazione 3D di alcuni scenari di M5
- ✓ raccolta di informazioni tipologiche e di curve di capacità per gli edifici dell'area (UNINA, UNIGE)
- ✓ ripetizione delle simulazioni 3D tenendo conto della presenza degli edifici (SDOF elastoplastici) sulla superficie del modello
- ✓ stima del danno tramite soglie di drift
- ✓ confronto con approcci empirici "tradizionali" (modelli di scuotimento empirici +curve di fragilità)

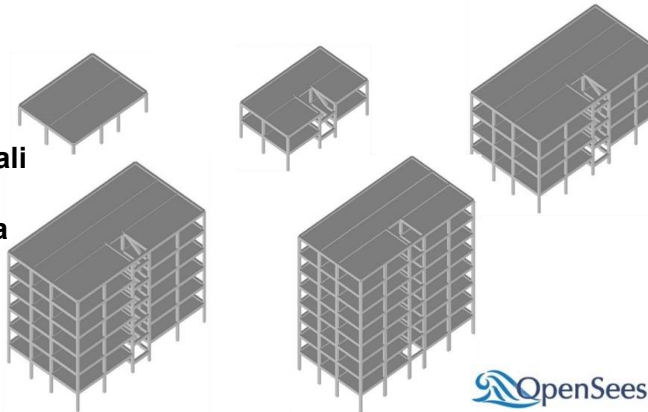


validazione (buon accordo fino a 10 Hz)

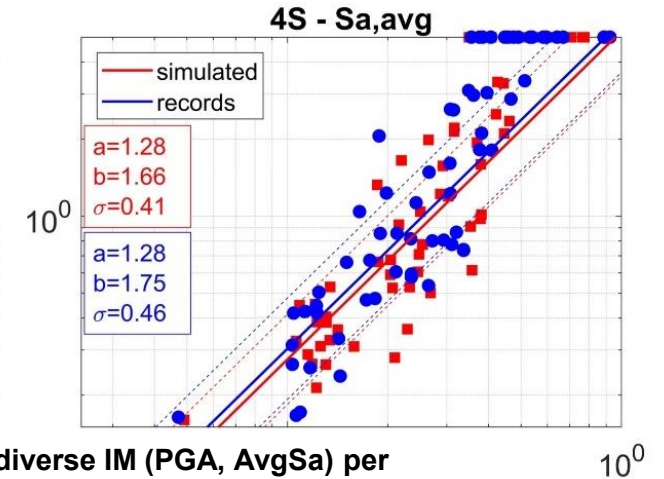
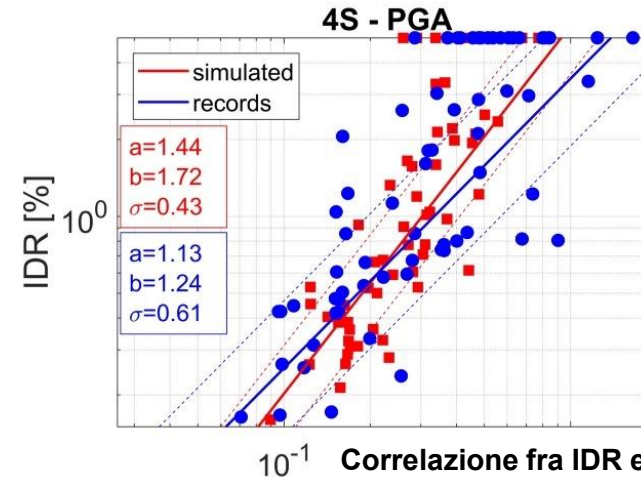
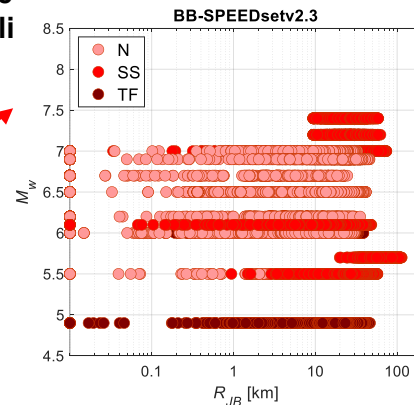
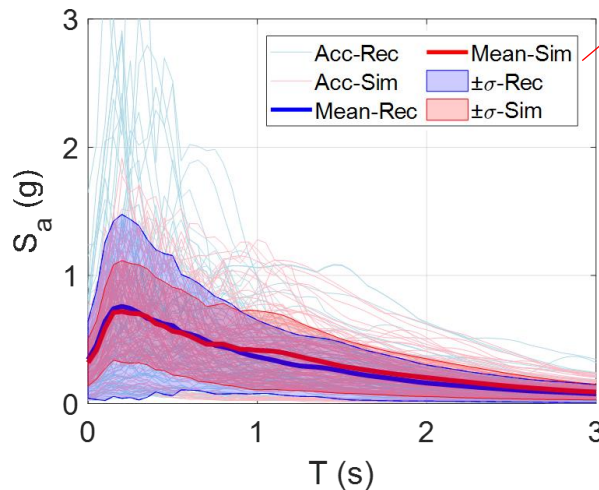
modello numerico 3D
con circa 19000 edifici

Validazione di accelerogrammi da simulazioni numeriche 3D per analisi di fragilità (POLIMI+UNIBAS)

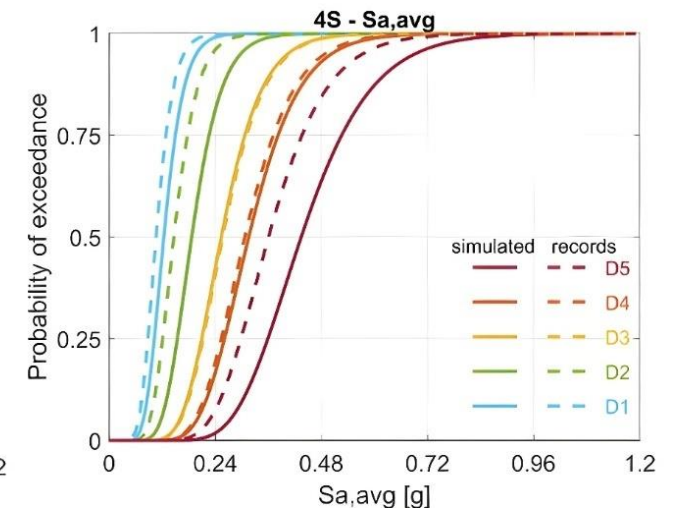
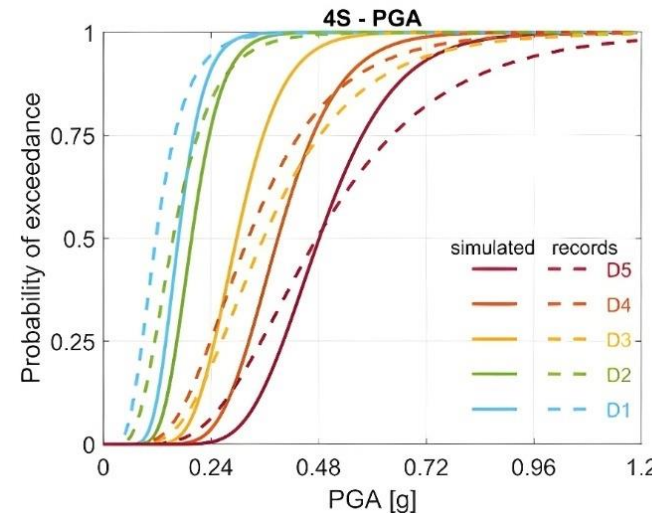
Archetipi di edifici residenziali
in CA ($T_0 \approx 0.1$ s to 1 s) -
edificato Italiano pre-norma



Selezione di un ampio set di
accelerogrammi sia registrati che
simulati (BB-SPEEDset) per livelli
crescenti di intensità spettrale



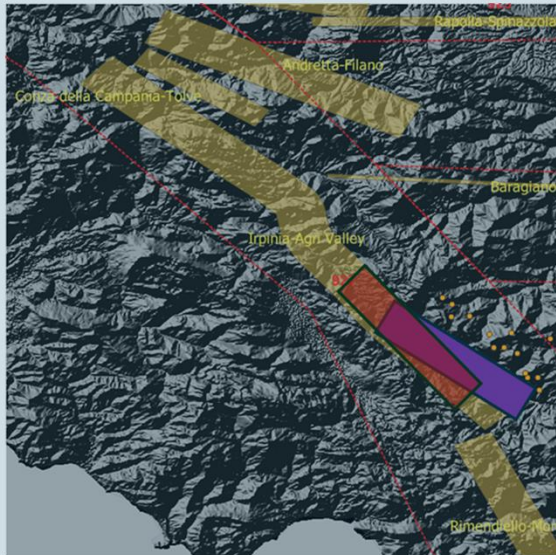
Correlazione fra IDR e diverse IM (PGA, AvgSa) per
i due set di accelerogrammi (registrati e simulati)



AvgSa, essendo una IM sufficiente e più efficiente di PGA, porta a curve di
fragilità indipendenti dal dataset (registrazioni vs. simulazioni)

Scenari di scuotimento simulato: Appennino Irpino-Lucano (UNIPV+POLIMI)

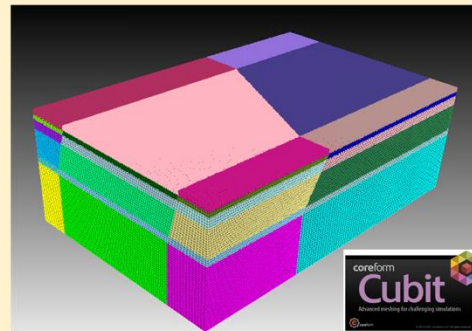
CASO STUDIO



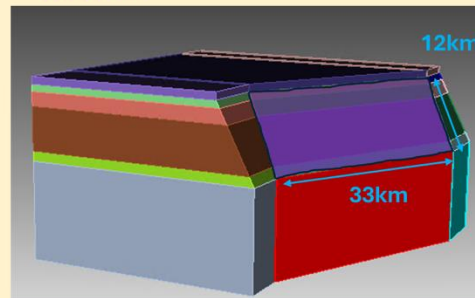
SISTEMA DI FAGLIE:

- Database DISS di INGV (v3.3.0)
- Debated Seismogenic Sources-DSS

MODELLAZIONE DEL BACINO

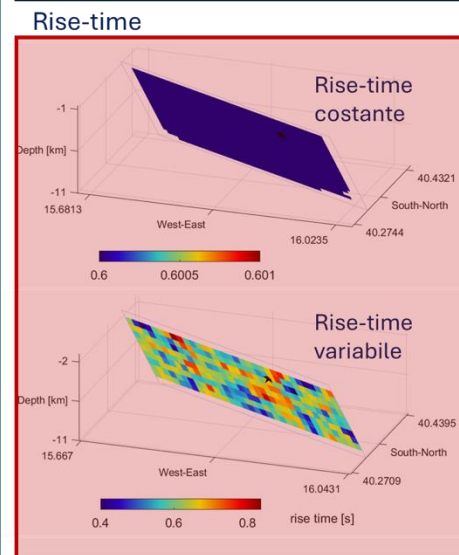
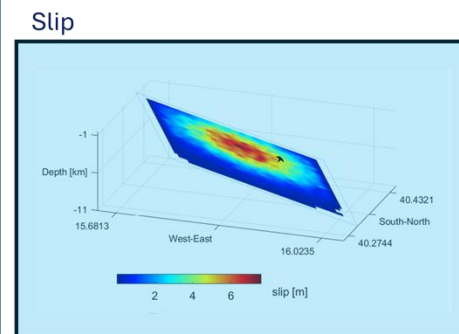


- Mesh di 1,13 milioni di elementi spettrali di ordine 4
- 6 ore di wall time con 64 processori su HPC



Piano di rottura modellato con dimensioni di 33 km x 12 km per generare un evento di M6.8

MODELLAZIONE DELLA SORGENTE

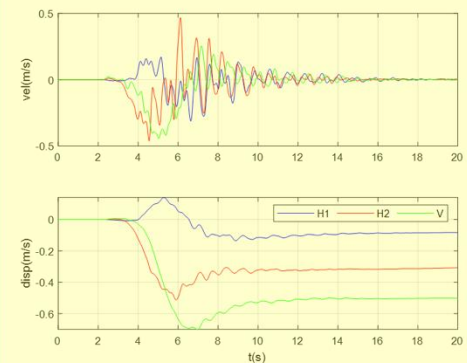


SIMULAZIONE



OUTPUT:

Storie temporali free-field in superficie e a diverse profondità nel sottosuolo



La rottura e la propagazione sono modellate fino a 2 Hz.

Task 4.2 – Esposizione: dati e tassonomia (G. Zuccaro, M. Polese)

Administration Panel

Andrea

Dashboard

Comuni Schede

Report Riepilogo Dati

Schede Comparti

Schede Edifici

Report

GL Comuni Schede

GL Schede Comparti

Documenti

Report Schede Comparto

Attività	Note
N. Totale di Schede	551
Schede completate	465
Schede incomplete	86

Report Schede Edifici

Attività	Note
N. Totale di Schede	6161
Schede completate	4293
Schede incomplete	1868

Regione

CAMPANIA

Provincia

Napoli

Comune

Ischia

Tipologia Verticale *

Cemento Armato

Distribuzione degli edifici

classe cemento armato	piani 1	piani 2	piani 3	piani 4
A	10	20	30	40
B	10	20	30	40

Distribuzione percentuale degli edifici

classe cemento armato	piani 1	piani 2	piani 3	piani 4	piani 5	piani 6	piani 7	piani 8 e più
A	4	9	24	21	3	0	0	0
B	1	14	23	8	0	0	0	0

MANUALE PER LA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA
CARTIS 2014

PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

CARTIS Grandi Luci

Sezione 3F: Copertura e fondazioni

Copertura

Caratteristiche deformative	Luce max: L > 10 m	SI	NO	Sistemi a semplice via	Sistemi a doppia via	Presenza di catene	Elementi spingenti
Deformabile	Controventi di falda:	SI	NO			SI	NO
Rigida							

Sistema a semplice via

Tipologia membratura principale	Sez. cost.	Sez. var.
Piano		
A falde inclinate		
Curvo		

Sistema a doppia via

Tipologia piastra/guscio	Sez. cost.	Sez. var.
Piano		
A falde inclinate		
Curvo		

Elementi di chiusura

Non identici	A solaio piano	A solaio inclinato	A shed	Lucernario	Con tegoli affiancati	Con tegoli distanziati	Volta	Elementi leggeri	Altro

Fondazioni

Superficiali	Profonda	Continua	Discontinua
1. Fondazione superficiale continua in pietrame o blocchi squadri	2. Fondazione profonda in pietrame e blocchi squadri	3. Fondazione su archivi rovesci	4. Plinti isolati senza travi di collegamento

SCHEDA CARTIS EDIFICIO

PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

CARTIS EDIFICIO-2016
SCHEDA DI 2° LIVELLO PER LA CARATTERIZZAZIONE TIPOLOGICO-STRUTTURALE DI UN EDIFICIO ORDINARIO

SEZIONE 0: Identificazione Comune ed Edificio

PARTE A

DATA

a. DATI DI LOCALIZZAZIONE

Regione: VENETO
Provincia: VERONA
Comune: VESTENANOVA
Municipalità/ Frazione/ Località (denominazione ISTAT)

b. DATI IDENTIFICATIVI UNITÀ DI RICERCA RELUIS

PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

CARTIS CHIESE 2020

SEZIONE 2: Caratteristiche generali (parte 1)

a. Età di primo impianto

b. Trasformazioni significative

c. Usi prevalenti (max 2)

d. Stile architettonico prevalente

e. Tipo di impianto

f. Superficie coperta [m²]

g. Navate

h. Presenza di cappelle laterali

i. Presenza di piani superiori (matrone, cori, etc.)

n. Transetto

Prosecuzione dell'attività di raccolta dati sul campo, sia a scala comunale (comparti) che su singoli manufatti

SCHEDA CARTIS GRANDI LUCI

SCHEDA CARTIS CHIESE

Task 4.2 – Esposizione: dati e tassonomia (G. Zuccaro, M. Polese)

DATI DOMANDA su portale PORTOS	
1. Dati Principali	
DETTAGLI PRINCIPALI	
	Zona sismica (es. 3)
	Fascia di pericolosità (es. 8)
	Range Ag (es. 0.125 - 0.141)
	Valore Ag (da spettro NTC)
NORMATIVA	
Ai sensi:	
D.P.R. 380/01 artt. 93 e 94, L.R. 65/2014 art. 169 D.P.R. 380/01 artt. 94, L.R. 65/2014 art. 169	
Nel rispetto di:	
D.M. 17/2018 D.M. 14/01/2008 D.M. 16/01/1996	
Normativa tecnica di riferimento	
D.M. 16/01/1996 D.P.G.R. 36/R/2009 D.P.G.R. 36/R/2009 ART.6 e 7	
normative di riferimento	
Il committente esegue i lavori in proprio (in economia)	
Lavori pubblici	
DESCRIZIONE PROGETTO E DATI CATASTALI	
Descrizione dell'intervento	
Provincia	
Comune	
Foglio	

DATI DOMANDA su portale PORTOS	
1. Dati Principali	
2. Anagrafica Soggetti	
3. Descrizione Edificio	
DATI METRICI DESCRITTIVI	
Numero piani totali con interrati	
Sceglie: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 >12	
Altezza media di piano [m]	
Sceglie: <2.50 2.50 + 3.50 3.50 + 5.0 >5.0	
Piani interrati	
0 1 2 >3	
Superficie media di piano [m²]	
<50 50 + 69 70 + 99 100 + 129 130 + 169 170 + 229 230 + 299...	
Costruzione	
<1919 19 + 45 46 + 61 62 + 71 72 + 75 76 + 81 82 + 86 87 + 91 92 + 96 97 + 01 02 + 08 09 + 11 >2011 nuova costruzione	
Ricostruzione	
<1919 19 + 45 46 + 61 62 + 71 72 + 75 76 + 81 82 + 86 87 + 91 92 + 96 97 + 01 02 + 08 09 + 11 >2011	
Uso	
Abitativo produttivo commercio uffici servizi pub. deposito	

DATI DOMANDA su portale PORTOS	
1. Dati Principali	
2. Anagrafica Soggetti	
3. Descrizione Edificio	
DATI METRICI DESCRITTIVI	
Numero piani totali con interrati	
Sceglie: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 >12	
Altezza media di piano [m]	
Sceglie: <2.50 2.50 + 3.50 3.50 + 5.0 >5.0	
Piani interrati	
0 1 2 >3	
Superficie media di piano [m²]	
<50 50 + 69 70 + 99 100 + 129 130 + 169 170 + 229 230 + 299...	
Costruzione	
<1919 19 + 45 46 + 61 62 + 71 72 + 75 76 + 81 82 + 86 87 + 91 92 + 96 97 + 01 02 + 08 09 + 11 >2011 nuova costruzione	
Ricostruzione	
<1919 19 + 45 46 + 61 62 + 71 72 + 75 76 + 81 82 + 86 87 + 91 92 + 96 97 + 01 02 + 08 09 + 11 >2011	
Uso	
Abitativo produttivo commercio uffici servizi pub. deposito strategico turistico-ricettivo	
Utilizzazione	
>65% 30 + 65% <30%	
Posizione edificio	
Isolato interno d'estremità d'angolo	
Proprietà	
Pubblica Privata	
DESCRIZIONE COMPONENTI COSTRUTTIVE	
FONDAZIONI (INDICARE LA PREVALENTE)	
Dirette	
Piloti travi rovesce platee	
Indirette	
Pali diaframmi pozzi	
STRUTTURE IN ELEVAZIONE	
Murature	
Pietrame laterizi miste storiche	
Acciaio	
Strutture intelaiate strutture controventi concentrici a diagonale travi attive strutture controventi concentrici a V strutture con controventi concentrici a K strutture con controventi eccentrici strutture a mensola o a pendolo strutture intelaiate con controventi concentrici strutture intelaiate con tamponature in muratura o cda non colligate	
G.A.	
Strutture a telaio strutture a pareti strutture miste telaio-pareti strutture deformabili torsionalmente strutture a pendolo sovrappeso	
Legno	
Classe A - strutture aventi una capacità di dissipazione energetica (pannelli di parete chiodati con diaframmi incollati...)	

La caratterizzazione delle fondazioni prevede più opzioni nella scheda CARTIS.

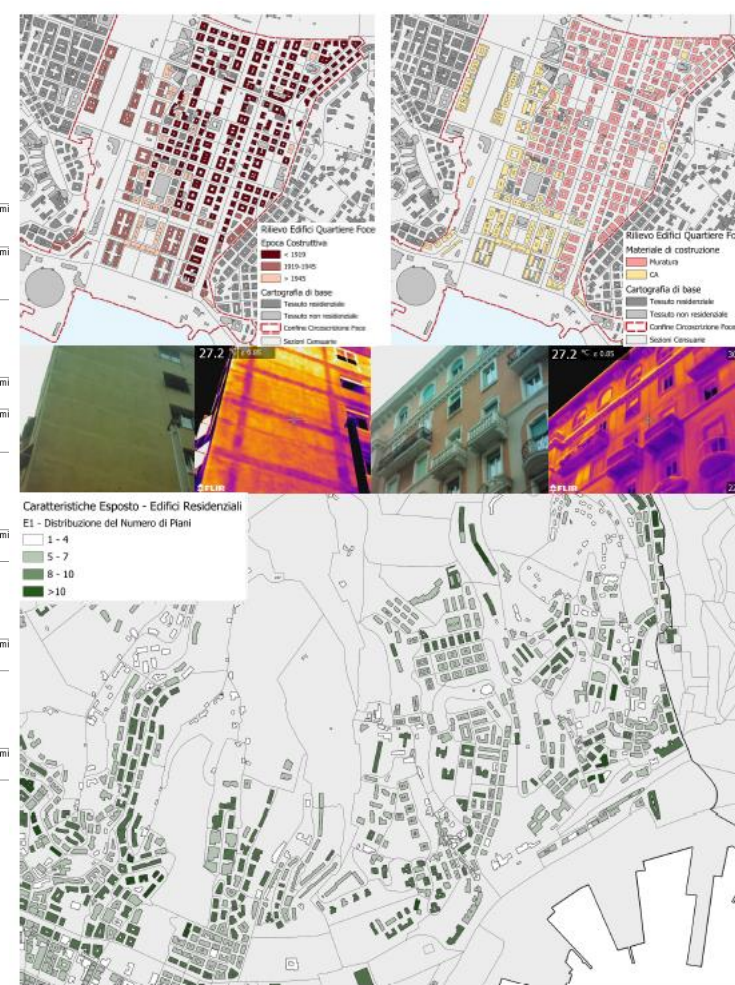
La caratterizzazione della tipologia è un po' più articolata nella scheda CARTIS.

La tipologia non viene caratterizzata nella scheda CARTIS.

La caratterizzazione della tipologia è un po' più articolata nella scheda CARTIS.

La tipologia non viene caratterizzata nella scheda CARTIS.

Nome Attributo in QGIS	Descrizione attributo	Tipo campo	Opzioni di inserimento	Fonte del dato
fid_2	Nuovo codice numerico identificativo	intero (32 bit)	Inserimento manuale. Es. Poligono non modificato: "0"; Nuovo poligono unito: "<7"; Nuovo poligono diviso: numero progressivo "1,2,3...n". Porzioni minori frutto di unioni fid. originale delle porzioni maggiori.	Tool di processing, (unione, divisione, cambio destinazione d'uso)
IND_CIV	Indirizzo e civico	Testo (stringa)	Inserimento manuale. Max 30 caratteri. Es. Via B. Pioviera 12 ^a	Geoportale Comune di Genova
NUM_FAM	Numero di famiglie	intero (32 bit)	Inserimento manuale. Max 2 cifre. Es. 10	Laver N. Abitanti & Famiglie x Civico
NUM_RES	Numero di residenti	intero (32 bit)	Inserimento manuale. Max 2 cifre. Es. 10	Laver N. Abitanti & Famiglie x Civico
ANNO	Anno di costruzione	intero (bit)	Inserimento manuale. Max 2 cifre. Es. 10	Laver N. Abitanti & Famiglie x Civico
USO_EFF	Destinazione d'uso effettiva	Testi (stringa)	Inserimento manuale. Max 30 caratteri. Es. 10	Laver N. Abitanti & Famiglie x Civico
TIPO_A	Quadrato	Testo (stringa)	Inserimento manuale. Max 30 caratteri. Es. 10	Laver N. Abitanti & Famiglie x Civico
MATER	Rettilineo	Testo (stringa)	Inserimento manuale. Max 30 caratteri. Es. 10	Laver N. Abitanti & Famiglie x Civico
COND_	Quadrato	Testo (stringa)	Inserimento manuale. Max 30 caratteri. Es. 10	Laver N. Abitanti & Famiglie x Civico
ISO_AGG	Edificio isolato o in aggregato	Testo (stringa)	Inserimento manuale. Max 30 caratteri. Es. 10	Laver N. Abitanti & Famiglie x Civico
AGG_STRUTT	Configurazione strutturale dell'edificio in aggregato rispetto agli adiacenti	Testo (stringa)	Inserimento manuale. Max 30 caratteri. Es. 10	Laver N. Abitanti & Famiglie x Civico
AGG_VERT	Configurazione in elevazione dell'edificio in aggregato rispetto agli adiacenti	Testo (stringa)	Inserimento manuale. Max 30 caratteri. Es. 10	Laver N. Abitanti & Famiglie x Civico



Studi di compatibilità tra la scheda CARTIS EDIFICIO e altri database esistenti (es. portale PROTOS)

Raccolta building-by-building di parametri tassonomici a scala urbana, utili a caratterizzare la vulnerabilità degli edifici, per validazione e integrazione dati ISTAT

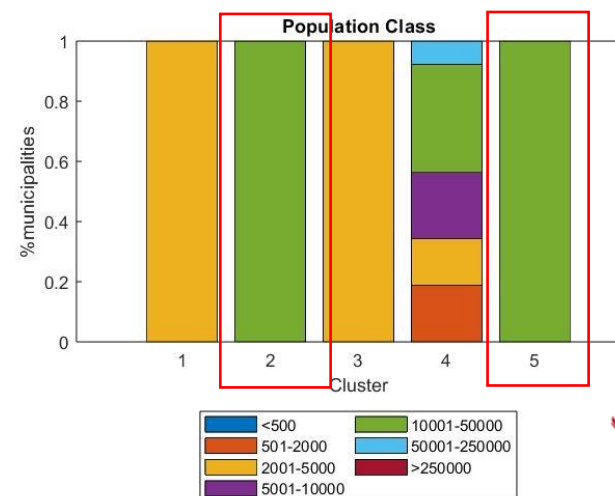
Clustering per individuare aree omogenee tipologicamente

➤ Partitioning Clustering

- Divide il dataset in un numero predefinito di cluster.
- Assegna ogni punto dati a un solo cluster.
- Algoritmi di esempio: K-means, K-medoids e K-prototypes.

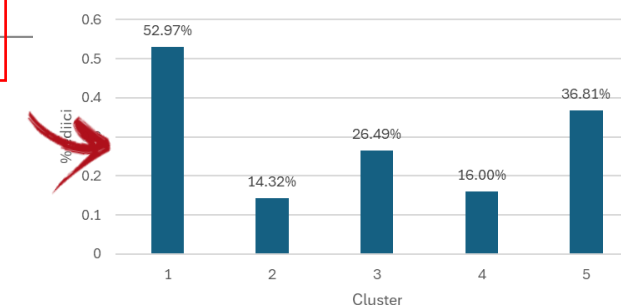
➤ Hierarchical Clustering

- Costruisce una gerarchia di cluster unendo cluster più piccoli in cluster più grandi (agglomerativi) o suddividendo cluster più grandi in cluster più piccoli (divisivi).
- Non è necessario specificare in anticipo il numero di cluster.
- Algoritmi di esempio: clustering agglomerativo, clustering divisivo.



Cluster 2 e 5: Diversa % di edifici MUR IRR

Percentuale media edifici MUR IRR



Fattori considerati per il clustering:

- **Altimetric Zone:** Le regioni montane, collinari e pianeggianti spesso influenzano il tipo di materiali e metodi di costruzione, che influenzano la vulnerabilità sismica degli edifici.
- **Population Class:** I comuni più piccoli tendono ad avere edifici più vecchi e più vulnerabili.
- **Building Inventory Data:** Percentuale di edifici in muratura regolare/irregolare. Età degli edifici. Tipologia di solai.

From CARTIS

CARTIS 2014

SEZIONE 2: Caratteristiche generali

DATI METRICI

a. Piani totali compresi interalli [n°] (max 2)	☐ 1 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6
b. Altezza media di piano [m]	A ☐ ≤ 2,50 B ☐ 2,50 ÷ 3,49
c. Altezza media di piano terra [m]	A ☐ ≤ 2,50 B ☐ 2,50 ÷ 3,49
d. Piani interrati [n°]	A ☐ 0 B ☐ 1 C ☐ 2 D ☐ 3
e. Superficie media di piano [m²] (max 2)	A ☐ 50 B ☐ 70 C ☐ 100 D ☐ 150 E ☐ 200 F ☐ 250 G ☐ 300 H ☐ 350 I ☐ 400 J ☐ 450 K ☐ 500 L ☐ 550 M ☐ 600 N ☐ 650 O ☐ 700 P ☐ 750 Q ☐ 800 R ☐ 850 S ☐ 900 T ☐ 950 U ☐ 1000
f. Età della costruzione (max 2)	A ☐ ≤ 1860 B ☐ 1861 - 19 C ☐ 19 - 45 D ☐ 46 - 61 E ☐ 62 - 71 F ☐ 72 - 75 G ☐ 76 - 81 H ☐ 82 - 85 I ☐ 86 - 89 J ☐ 90 - 93 K ☐ 94 - 97 L ☐ 98 - 100
g. Uso prevalente	A ☐ Abitativo B ☐ Produttivo C ☐ Commerciale D ☐ Ufficio E ☐ Servizi pubblici F ☐ Deposito G ☐ Strategico H ☐ Turistico - ricettivo

CARTIS 2014

SEZIONE 3: Caratteristiche tipologiche

3.1. Caratteristiche Murature

A.1.1. Muratura	Senza ricorso	Controllo con tessitura ordinata nel paramento	☐
A.1.2. Muratura	Con ricorso	Controllo con tessitura ordinata nel paramento	☐
A.1.3. Muratura	Senza ricorso	Controllo con mattoni	☐
A.1.4. Muratura	Con ricorso	Controllo con mattoni	☐
A.2.1. Muratura	Senza ricorso	Paramento con tessitura disordinata nel paramento	☐
A.2.2. Muratura	Con ricorso	Paramento con tessitura disordinata nel paramento	☐
A.2.3. Muratura	Senza ricorso	Muratura disordinata con intonaco e calce	☐
A.2.4. Muratura	Con ricorso	Muratura disordinata con intonaco e calce	☐
B.1.1. Muratura	Senza ricorso	Pietra a vista	☐
B.1.2. Muratura	Con ricorso	Pietra a vista	☐
B.2.1. Muratura	Senza ricorso	Pietra a vista	☐
B.2.2. Muratura	Con ricorso	Pietra a vista	☐
C.1.1. Muratura	Senza ricorso	Pietra squadrate	☐
C.1.2. Muratura	Con ricorso	Pietra squadrate	☐
C.2.1. Muratura	Senza ricorso	Mattoni	☐
C.2.2. Muratura	Con ricorso	Mattoni	☐

3.2. Presenza muratura a sacco

3.3. Presenza catene o cordoli

3.4. Collegamento trasversale

3.5. Presenza di spigoli/contrafforti

3.6. Spessore medio prevalente Pareti Piani Tetra

3.7. Spessore medio prevalente Pareti Piani Tetra

3.8. Caratteristiche Solai (max 2)

S.1.1. SOLETTA DEFORMABILE	Solai in legno con mozzoni	☐
S.1.2. SOLETTA DEFORMABILE	Solai in legno con travetti singoli	☐
S.1.3. SOLETTA DEFORMABILE	Solai in legno con travetti a valmine	☐
S.2.1. SOLETTA DEFORMABILE	Solai prefabbricati del tipo SAP	☐
S.2.2. SOLETTA DEFORMABILE	Solai in ferro e tufo	☐
S.2.3. SOLETTA DEFORMABILE	Solai in cemento armato a traliccio pieno	☐
S.3.1. SOLETTA RIGIDA	Solai in cemento armato a traliccio periferico	☐
S.3.2. SOLETTA RIGIDA	Solai in cemento armato a traliccio periferico	☐
S.3.3. SOLETTA RIGIDA	Solai in cemento armato a traliccio periferico	☐

3.9. Caratteristiche Volute

V.1. Volute	Volute a botte con lunette	☐
V.2. Volute	Volute a botte con lunette	☐
V.3. Volute	Volute a botte con lunette	☐
V.4. Volute	Volute a botte con lunette	☐
V.5. Volute	Volute a botte con lunette	☐
V.6. Volute	Volute a botte con lunette	☐
V.7. Volute	Volute a botte con lunette	☐
V.8. Volute	Volute a botte con lunette	☐

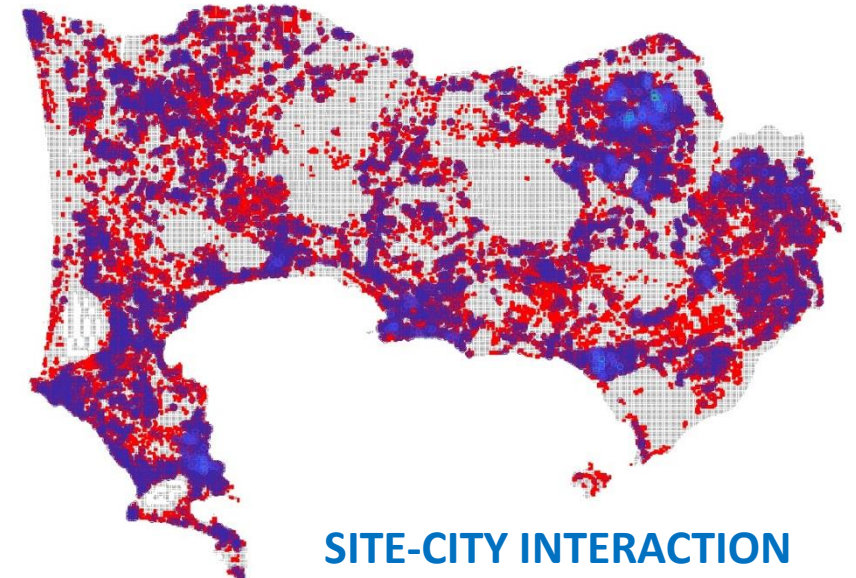
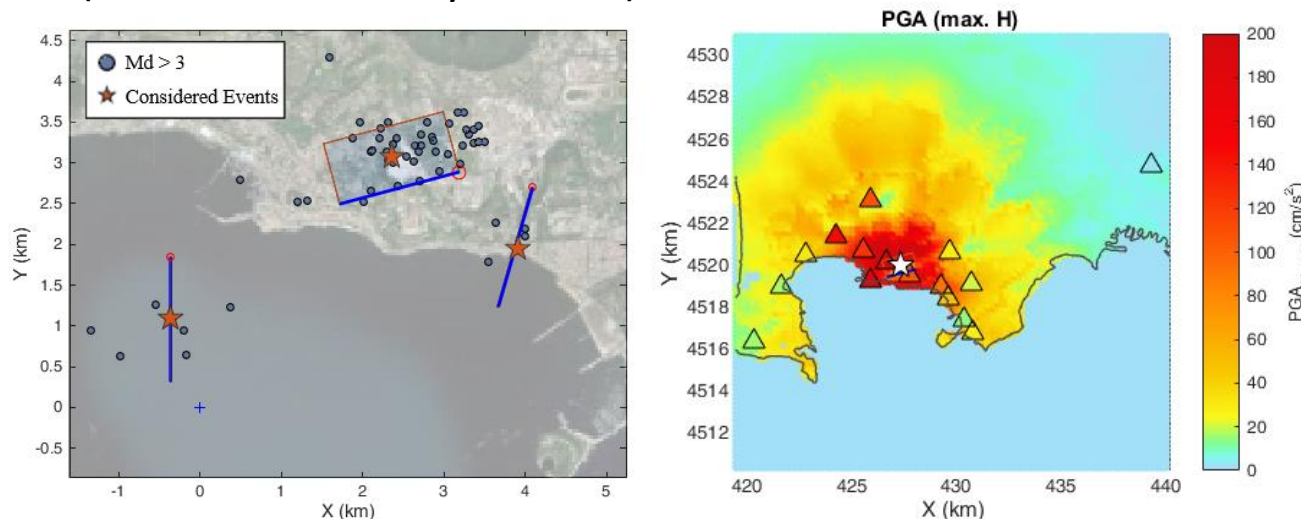
➤ OBIETTIVI DEL TASK

- Validare/migliorare la metrica MARS per la rappresentazione delle curve di fragilità
- Confronto/omogeneizzazione delle misure del danno per i diversi elementi esposti
- Criteri di assegnazione delle curve di fragilità all'esposto, in funzione della tassonomia (classificazione)
- Scelta della unità minima di calcolo/rappresentazione in funzione dell'area geografica analizzata (nazionale, regionale, sub-provinciale, urbana)

ANALISI DELLA VULNERABILITÀ DEL COSTRUITO NELL'AREA DEI CAMPI FLEGREI

- Disponibilità di scenari di scuotimento fisicamente basati (Task 4.1)
- Uso dati ISTAT nella sezione censuaria o di schede CARTIS/PLINIUS
- Modelli meccanici-analitici basati su una tassonomia più accurata (Post, DBV-masonry, FaiMec)

Caratterizzazione del costruito da dati ISTAT
 Definizione di oscillatori semplici nonlineari
 Collocazione nel modello sulla base della CTR



SITE-CITY INTERACTION

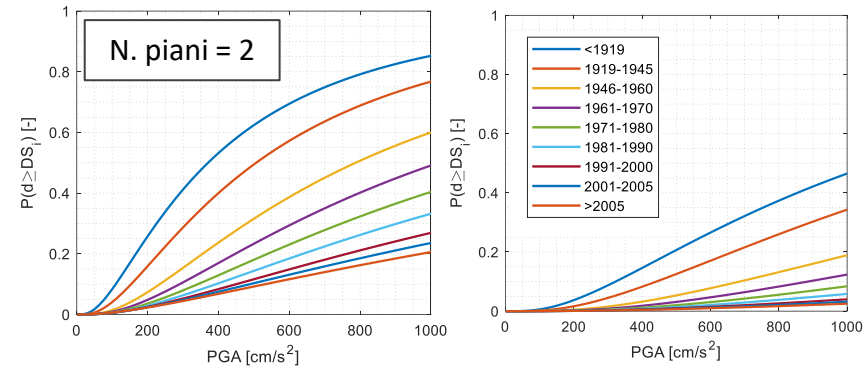
Obiettivi primari

15 UR lavorano sulla MURATURA
7 UR lavorano sul CA
3 UR lavorano sugli edifici MISTI

- **Sviluppo di modelli di vulnerabilità per edifici rinforzati**
 - Analisi tipologico-statistica degli interventi di rinforzo per informare modelli regionali (considerando, possibilmente, le aree che hanno beneficiato di incentivi o piani straordinari d'intervento)
 - Valutazione di fattori di modificazione dei parametri delle curve di fragilità associati a interventi di rinforzo
 - Analisi costi-benefici per individuazione delle strategie ottimali di mitigazione del rischio
- **Regionalizzazione dei modelli di vulnerabilità sulla base dei dati sul costruito locale**
 - parametri tassonomici: tipologia muraria e orizzontamento per muratura e della tamponatura per c.a.
 - ulteriori parametri: percentuale di aperture e distanza tra pareti, per la muratura
- **Approfondimenti metodologici sui modelli di vulnerabilità**
 - Valutazione/revisione dei rapporti tra mediane dei DS e quella del DS2 per ogni classe di vulnerabilità EMS98
 - Valutazione/revisione dei pesi attribuiti ai comportamenti “duffile” e “fragile” per trasformazione di ogni set di curve di fragilità di una UR in combinazione lineare di curve delle due classi EMS98 più vicine
 - Considerazione della suolo-dipendenza e di altre misure d'intensità, con sviluppo di modelli di fragilità per categorie di sottosuolo diverse dalla A, oltre che per altre IM

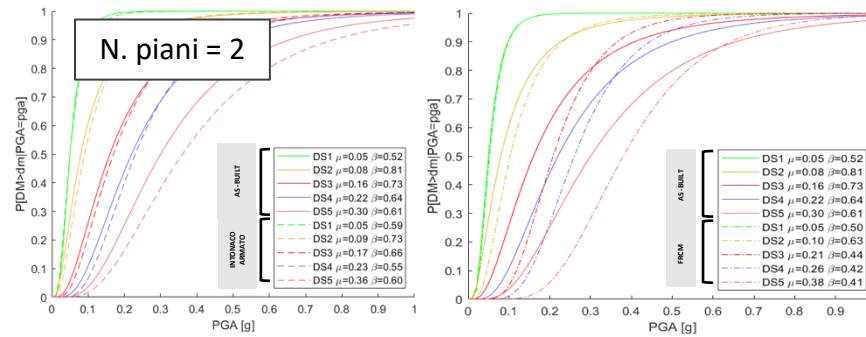
MURATURA - Curve di fragilità mitigata mediante interventi di consolidamento

UniBO (Savoia/Mazzotti)



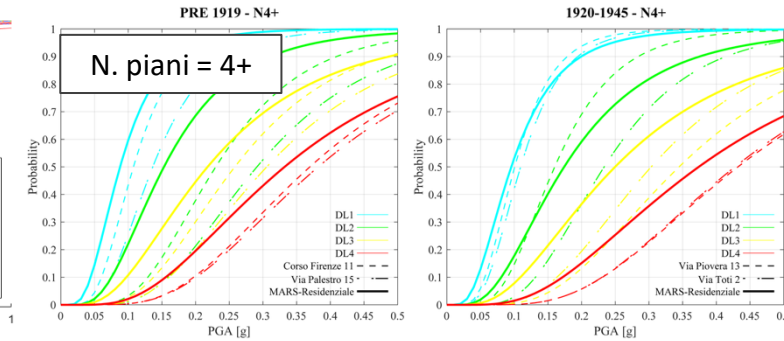
Modelli empirici di fragilità basati su dati di danno dei terremoti Emilia 2012 e Centro Italia 2016

UniNA-d (Parisi)



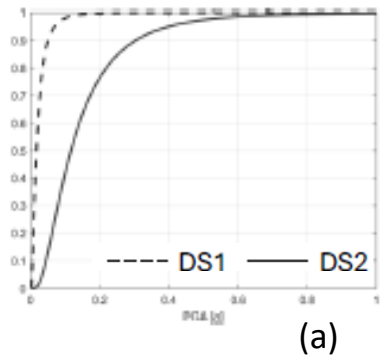
Modelli meccanici di fragilità regionale ante e post intervento

UniGE-b (Cattari)



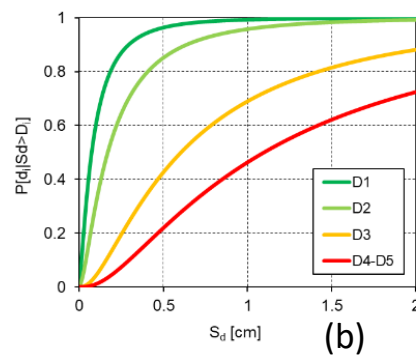
Modelli meccanici di fragilità per il costruito ligure

UniCAS (Imbimbo/Grande)



(a)

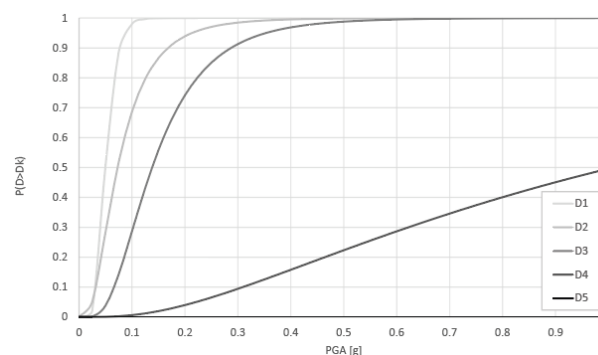
UniNA-g (Formisano)



(b)

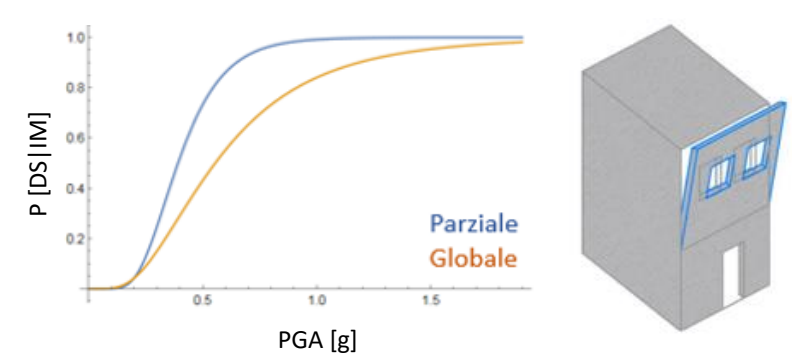
Modelli di fragilità meccanici per edifici in aggregato:
(a) Meccanismi fuori piano; (b) Meccanismi nel piano

UniCH (Brando/Masciotta)



Modelli meccanici di fragilità regionale per archetipi abruzzesi

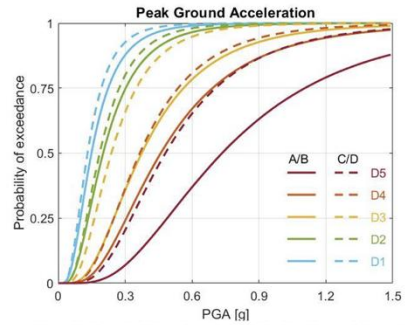
UniPA (Colajanni)



Modelli di fragilità meccanici per meccanismi fuori piano di edifici singoli

CA - Curve di fragilità mitigata mediante interventi di consolidamento

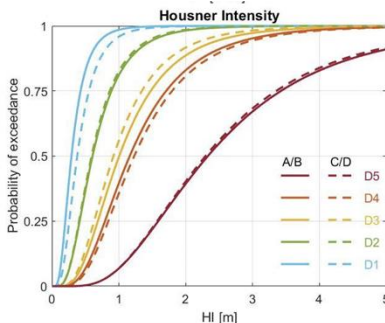
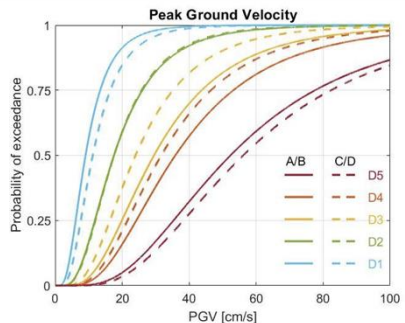
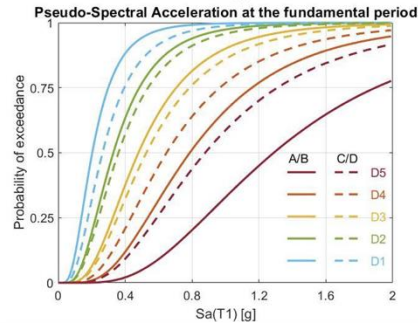
UniBAS (Masi)



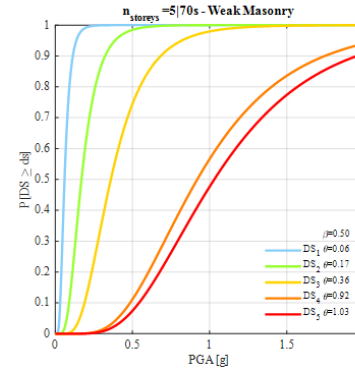
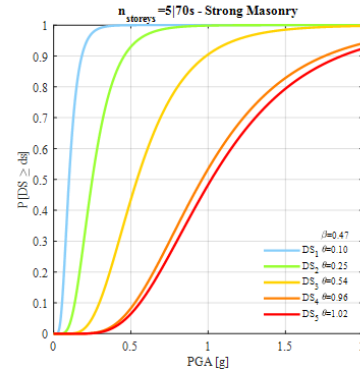
Effetto di diverse IM:

- PGA
- $S_a(T)$
- PGV
- Housner

e categoria di
sottosuolo

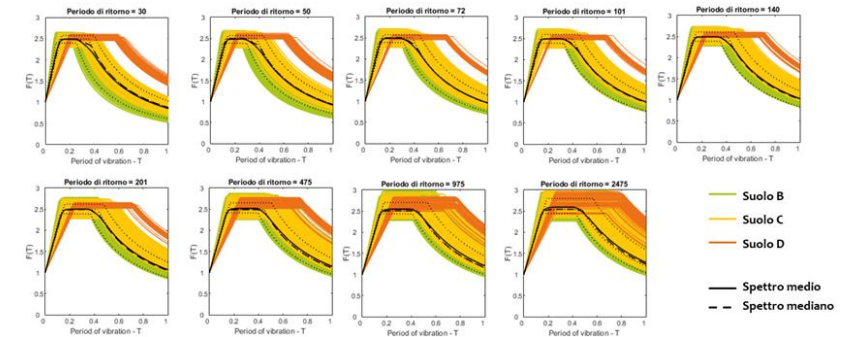


UniNA (Prota/DiLudovico /Polese)

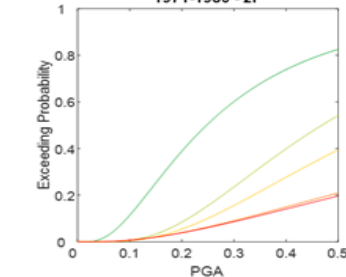


Effetto della consistenza delle
tamponature

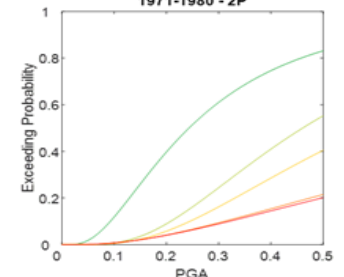
UniNA (Verderame)



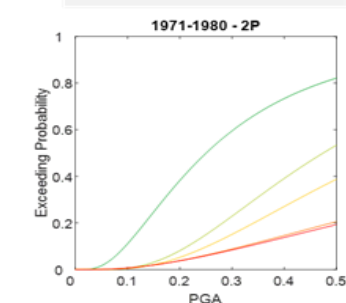
Forma spettrale da Reticolo
variabile con TR – Mediato su tutte
le categorie stratigrafiche
1971-1980 - 2P



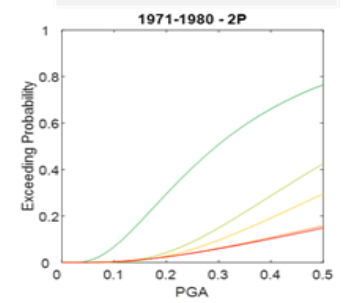
Forma spettrale da Reticolo
variabile con TR – Suolo B
1971-1980 - 2P



Forma spettrale da Reticolo
variabile con TR – Suolo C



Forma spettrale da Reticolo
variabile con TR – Suolo D



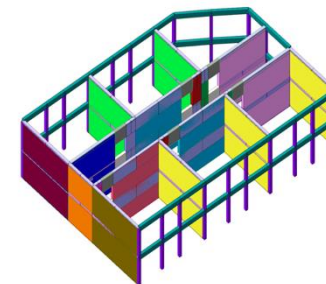
Dipendenza delle curve di
fragilità dalla forma spettrale
per i diversi periodi di ritorno
e categoria di sottosuolo

9 UR lavorano sulle SCUOLE

Continuo aggiornamento del modello MARS-Scuole nello stato di fatto

Il modello sviluppato nei precedenti Accordi è aggiornato per tener conto degli avanzamenti scientifici in relazione a nuovi approcci impiegati dalle UR per derivare curve di fragilità e alla numerosità degli archetipi

Integrazione con la **tipologia strutturale MISTA** da UNIPD
Approfondimenti ruolo **tamponature** UNINA, nuovi archetipi da altre UR



Sviluppo del modello MARS-Scuole nello stato rinforzato

Censimento degli interventi più diffusi (tradizionali e moderni)

A partire dai database a disposizione delle UR, analisi delle pratiche edilizie riguardanti la progettazione di interventi di miglioramento o adeguamento di edifici scolastici eseguiti sul territorio italiano



Denominazione e localizzazione										Epoca costruzione e	Numero di piani PT	Altezza P m
UdA a zione	Ordine e grado	Se altro specificare	Denominazione / Codice	Localizzazione (Comune)	Zona sismica (da ag NTC)	Norma e anno di classificazione sismica del Comune	Caratteristiche e del suolo	Pianta piano tipo				
UNIGE	generale - metlico - monico - riante con localizzazione degli interventi	SCUOLA PRIMARIA	Corpo A	Bolsena (VT)	3	OPCM 3274/2003	C		2001	3	3.3	
		SCUOLA PRIMARIA	Corpo B		3	OPCM 3274/2003	C		2001	3	3.3	
UNIGE	Relazione generale - Computo metlico - Quadro economico	ALTRO	Palestra	Borgo Velino (FR)	2	FDL 42/1982 - L 904/1962			1982	1	5	
UNIGE	Relazione generale - Computo metlico - Quadro economico	ALTRO	Istituto comprensivo (Scuola dell'infanzia, Primaria, Secondaria dell'ordine e Menza)	Edificio 2 - Menza	Casale Giorgio (TR)	3	L 1634/1962	B		2001	1	>4.5
UNIGE	Relazione generale - Computo metlico - Quadro economico	SCUOLA INFANZIA	Edificio 3 - Scuola dell'infanzia	Casale Giorgio (TR)	3	L 1634/1962	B		2006	1	>4.5	
UNIGE	Relazione generale - Computo metlico - Quadro economico - Pianta con localizzazione degli interventi	ALTRO	Complesso palestra-spogliatoi	Palestra	Castiglione Teverina (VT)	3	OPCM 3274/2003			1982	1	6.95
UNIGE	Relazione generale - Computo metlico - Quadro economico - Pianta con localizzazione degli interventi	SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO		Fonte Nuova (RM)	2	OPCM 3274/2003	C		1990-1996	3	3.35	
UNIGE	Relazione generale - Computo metlico - Quadro economico - Pianta con localizzazione degli interventi	SCUOLA SECONDARIA DI SECONDO GRADO	Corpo Aule e Laboratori di un Istituto Tecnico per Chimici	Corpo A	Arpino (FR)	2	L 1634/1962	B		1984	4	3.5
UNIGE	Relazione generale - Computo metlico - Quadro economico - Pianta con localizzazione degli interventi	SCUOLA SECONDARIA DI SECONDO GRADO		Corpo B	2	L 1634/1962	B			3	3.5	
UNIGE	Relazione generale - Computo metlico - Quadro economico - Pianta con localizzazione degli interventi	ISTITUTO COMPRENSIVO		Corpo A	3	OPCM 3274/2003	C			3		

territorio italiano		Masonry structures (URM) – Vertical structures							Reinforced concrete structures (RC) – Vertical load bearing system				
		No intervention	Increased strength - piers	Increased strength - spandrels	Steel closing frame of openings	OOP failure prevention	Wall-to-wall connection	Masonry monolithicity	No intervention	Increased strength - columns	Increased strength - walls	Increased strength - joints	Increased strength - beams
Horizontal structures	No intervention	-	8%	8%	-	-	8%	8%	-	52%	-	19%	44%
	F-Wall-to-diaphragm connection	8%	8%	8%	-	-	-	-	-	11%	-	11%	19%
	F- Structural strengthening / Diaphragm stiffening with RC slab	8%	58%	58%	8%	8%	17%	-	-	19%	-	15%	26%
	F-Elimination of horizontal thrusts	-	8%	8%	8%	-	8%	-	-	-	-	-	-
	R-Wall-to-diaphragm connection	-	33%	33%	8%	8%	8%	8%	-	-	-	-	-
	R- Structural strengthening /Diaphragm stiffening with RC slab	-	8%	8%	-	8%	-	-	-	4%	-	4%	7%
	R-New roofing system	17%	42%	42%	8%	8%	8%	8%	-	-	-	-	-

Struttura della scheda definita
da UniGE e UniBAS

Una prima versione del
database è stata elaborata da
UniGE, UniBAS e POLIMI

La scheda è attualmente a
disposizione delle altre UR che
stanno provvedendo alla
compilazione

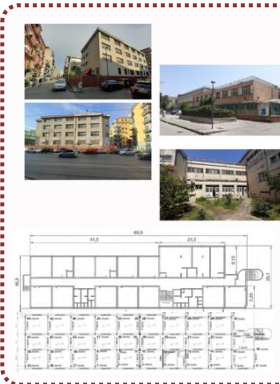
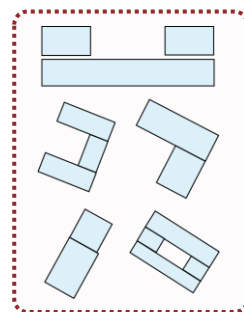
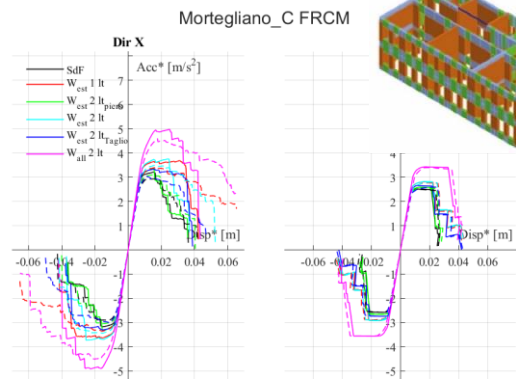
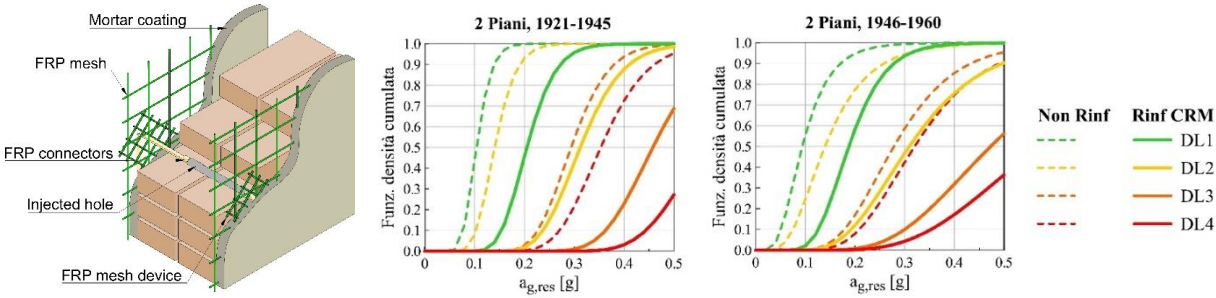
Definizione di un file di raccolta dati standardizzato per far convogliare le informazioni in un unico database

9 UR lavorano sulle SCUOLE

Sviluppo di curve di fragilità nello stato rinforzato

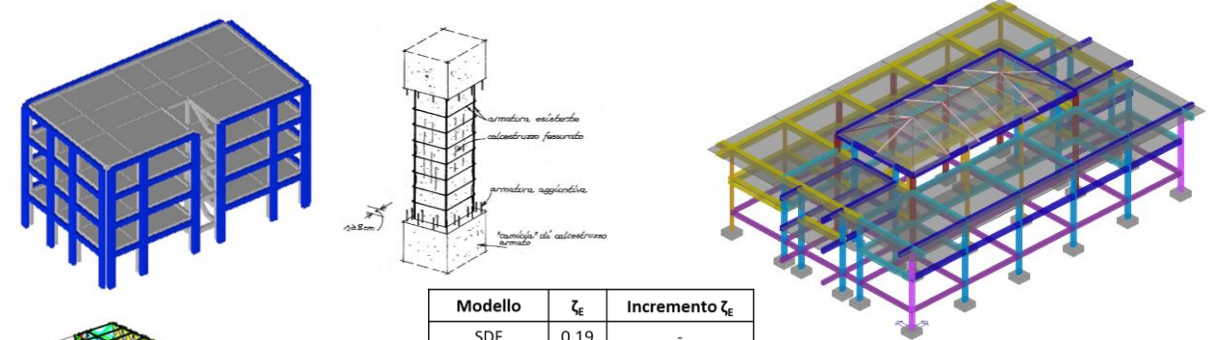
Aggiornamento del set di edifici archetipo e analisi degli stessi nella configurazione consolidata a partire dalle tecniche rilevate come maggiormente diffuse a scala nazionale – **tutte le UR sono coinvolte in tale attività**

MURATURA UNIGE – UNITS – UNIPD - UNINA

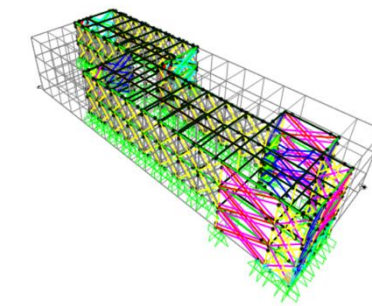


Stato di fatto
Solo pareti perimetrali – paramento esterno (M+F)
Solo pareti perimetrali (M)
Solo pareti perimetrali (M+F)
Solo pareti perimetrali (M+F) – solo a taglio
Pareti perimetrali e interne (M+F)
(M = maschi – F = fasce)

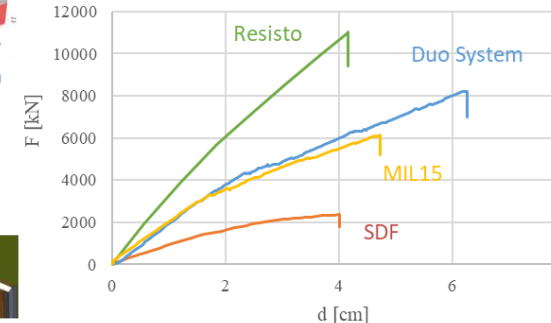
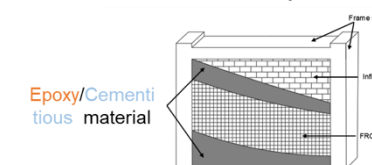
CEMENTO ARMATO UNINA (x4) – UNIBAS - POLIMI



Modello	ζ_e	Incremento ζ_e
SDF	0.19	-
Resisto	0.45	+0.26
Duo System	0.30	+0.11
MIL15	0.28	+0.09



[FRP/FRMC] Strengthening of infill walls + FRP strengthening of RC beam-column joints



8 UR lavorano sugli OSPEDALI

Nuova scheda di censimento tipologico delle infrastrutture ospedaliere

Definizione di una scheda per la raccolta dati in-situ sulla base di quanto già disponibile in letteratura in modo da rilevare le caratteristiche tipologiche specifiche del costruito ospedaliero

Sez. 0 – Informazioni generali e localizzazione

Sez. 1 – Caratterizzazione del plesso

Sez. 1.1 – Organismo edilizio rilevato

Sez. 2 – Dati identificativi unità strutturale

Sez. 3 – Dati metrici

Sez. 4 – Caratterizzazione tipologica strutture in cemento armato

Sez. 5 – Caratterizzazione tipologica strutture in muratura

Sez. 6 – Caratterizzazione tipologica strutture in acciaio

Sez. 7 – Caratterizzazione tipologica componenti non strutturali

SEZIONE 1 - CARATTERIZZAZIONE DEL PLESSO					
PADIGLIONI		BLOCCHI SEPARATI		MONOBLOCCO	
Codice Plesso	P	Codice Plesso	B	Codice Plesso	M
Numero		Numero	2	Numero	
PIASTRA		PIASTRA-TORRE		TORRE	
Codice Plesso	Pt	Codice Plesso	Pt-T	Codice Plesso	T
Numero		Numero		Numero	
SEZIONE 5 - CARATTERIZZAZIONE TIPOLOGICA STRUTTURE IN MURATURA					
Caratteristiche muratura		Muratura irregolare			
Tipo di pietra		Pietra grezza			
Spessore medio pareti piano terra					



Sviluppo della **tassonomia per l'edilizia ospedaliera** finalizzata alla selezione di archetipi per la derivazione di curve di fragilità tipologiche

EDILIZIA SCOLASTICA

- TIPOLOGIA COSTRUTTIVA
- NUMERO DI PIANI
- EPOCA DI COSTRUZIONE
- AREA DI PIANO
- PROGETTAZIONE (GRAVITAZIONALE/SISMICA)

EDILIZIA OSPEDALIERA

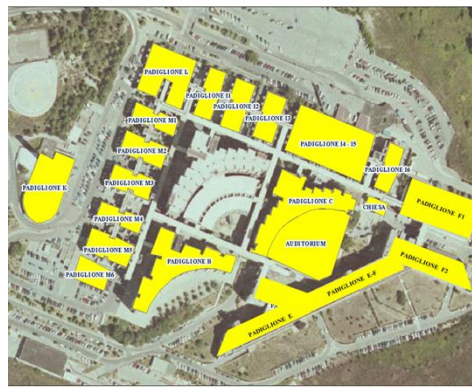
- + ORGANISMO EDILIZIO (composizione del complesso)
- + SERVIZI / OPERATIVITA' (funzione principale che governa la valutazione del rischio)
- + COMPONENTI NON-STRUTTURALI (correlazione in termini di conseguenze)

STRUTTURA DELLA SCHEDA DEFINITA DA UNIGE, UNIBAS, UNIMOL E UNISALENTO. LA SCHEDA È COMPLETA ED È IN FASE DI UTILIZZO DA PARTE DELLE UR

SEZIONE 7 - CARATTERIZZAZIONE TIPOLOGICA ELEMENTI NON-STRUTTURALI	
Macrocategoria 1. Elementi architettonici	
Partizioni	
Partizioni in laterizi	Assenza di danni pregressi
Partizioni in cartongesso	
Partizioni vetrate	
Partizioni in legno	
Partizioni con pannelli	
Altre tipologie:	
Controsoffitti	

Analisi dei dati a disposizione delle UR

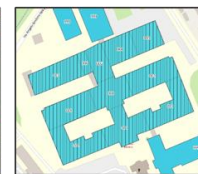
- ➔ Verifica ed eventuale rettifica delle **caratteristiche tipologiche** del patrimonio edilizio ospedaliero introdotto nella piattaforma IRMA-Ospedali mediante le **fonti disponibili alle UR** coinvolte
- ➔ Compilazione della **scheda per la raccolta dati in-situ** in modo da rilevare le caratteristiche tipologiche specifiche del costruito ospedaliero
- ➔ Definizione e analisi degli **edifici archetipo** selezionati dai database a disposizione delle UR e avvio delle analisi



Udine



Trieste



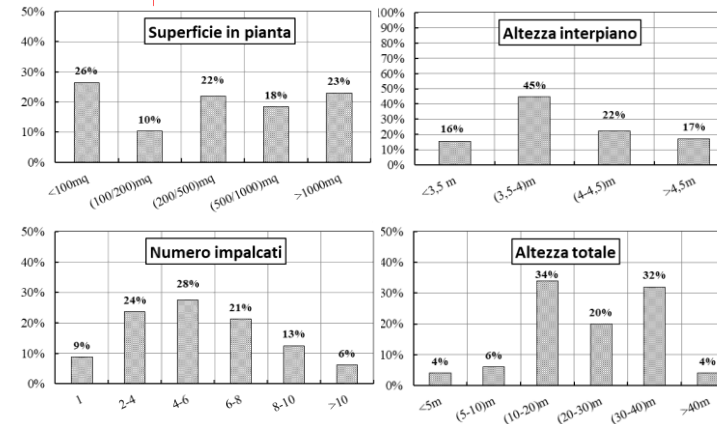
Tolmezzo



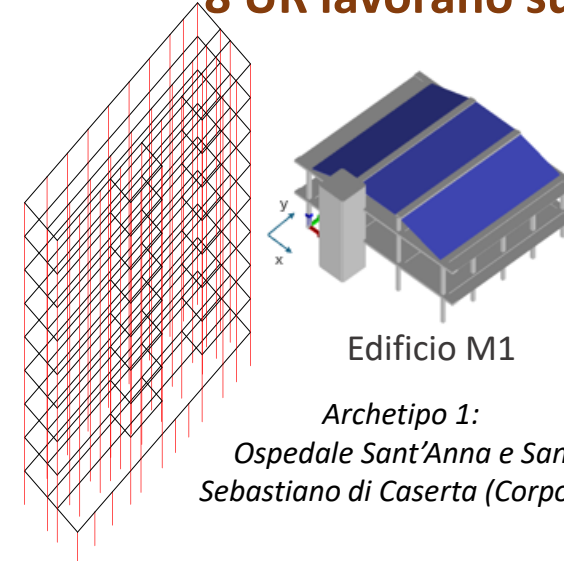
S. Daniele



Gemona



8 UR lavorano sugli OSPEDALI



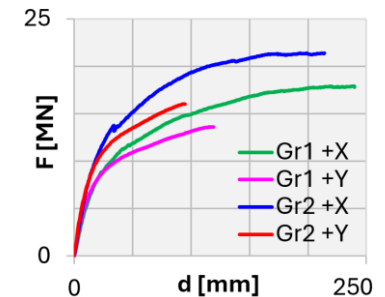
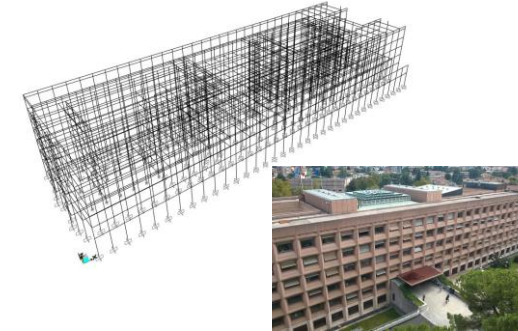
Edificio M1

Archetipo 1:
Ospedale Sant'Anna e San
Sebastiano di Caserta (Corpo F)

Casi studio a Borgomanero (NO)

Edificio	Epoca	Unità Str.	Tecnologia	N° Piani	Sup. [m²]
A	1972-1981	A	CA	8	700
C	ante 1919	C	MUR	4	1000
D	1972-1981	D1	CA	3	173
		D2	CA	3	357
		G1	ACC	3	484
		G2	CA	3	425
		G3	CA	2	255
		G4	CA	3	200
		G5	MUR	2	160
		G6	CA	2	50
		G7	CA	4	180
H	1	H	CA	5	375
M	1972-1981	M1	CA	2	280
		M2	CA	2	285
N	1946-1960	N	CA	4	650

Es. Padiglione 1 (Udine)



ALLARGARE IL DATABASE DI IRMA VALORIZZANDO LE ATTIVITÀ CONDOTTE IN CARTIS



86827
chiese

Dati
86827
Chiese

DADO
Chiese

+

VINCOLI in rete
Ministero per i beni e le attività culturali

BeWeB 



SIV3274
PROTEZIONE CIVILE
 Presidenza del Consiglio dei Ministri
 Dipartimento della Protezione Civile

ARRICCHIRE i dati tipologici presenti in IRMA con le informazioni raccolte tramite le schede CARTIS CHIESE

[illegible]

3 parametri di base
(buona copertura dati)

3 parametri aggiunti
(scarsa copertura d

[illegible]



REPUBBLICA ITALIANA
MINISTERO DELL'ISTRUZIONE
UNIVERSITÀ E RICERCA SCIENTIFICA
DIREZIONE GENERALE

CARTA CHIESE 2010



Ministero dell'Istruzione
Università e Ricerca Scientifica
DIREZIONE GENERALE

Centro del Laboratorio Linguistico
di Baseggenza - Trento

SEZIONE 3 (A): Caratterizzazione - VALUTAZIONE MISTURATA E STRUTTURE MISTE (Ritorno alla Sezione 1 (B))

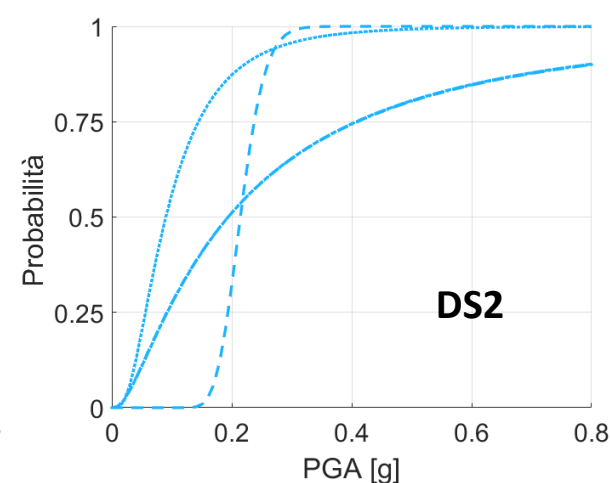
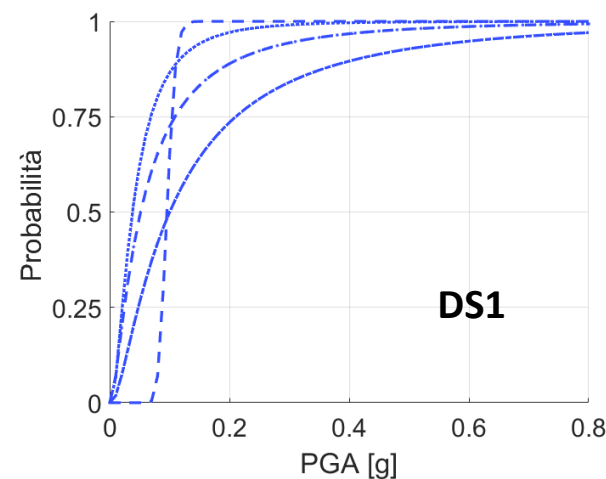
IDI

d. Colore e piastrelle nell'impianto		e.1 tipo (max 2)		f.1 Colore monochrome		g.1 Colore non monochrome		h.1 Piastrelle semplici		i.1 Piastrelle policolori		j.1 Piastrelle decorazioni		k.1 Piastrelle a tutto smalto		l.1 Piastrelle a smalto vitreo		m.1 Piastrelle smaltate		n.1 Piastrelle smaltate		o.1 Piastrelle smaltate		p.1 Piastrelle smaltate		q.1 Piastrelle smaltate		r.1 Piastrelle smaltate		s.1 Piastrelle smaltate		t.1 Piastrelle smaltate		u.1 Piastrelle smaltate		v.1 Piastrelle smaltate		w.1 Piastrelle smaltate		x.1 Piastrelle smaltate		y.1 Piastrelle smaltate		z.1 Piastrelle smaltate		aa.1 Piastrelle smaltate		ab.1 Piastrelle smaltate		ac.1 Piastrelle smaltate		ad.1 Piastrelle smaltate		ae.1 Piastrelle smaltate		af.1 Piastrelle smaltate		ag.1 Piastrelle smaltate		ah.1 Piastrelle smaltate		ai.1 Piastrelle smaltate		aj.1 Piastrelle smaltate		ak.1 Piastrelle smaltate		al.1 Piastrelle smaltate		am.1 Piastrelle smaltate		an.1 Piastrelle smaltate		ao.1 Piastrelle smaltate		ap.1 Piastrelle smaltate		aq.1 Piastrelle smaltate		ar.1 Piastrelle smaltate		as.1 Piastrelle smaltate		at.1 Piastrelle smaltate		au.1 Piastrelle smaltate		av.1 Piastrelle smaltate		aw.1 Piastrelle smaltate		ax.1 Piastrelle smaltate		ay.1 Piastrelle smaltate		az.1 Piastrelle smaltate		ba.1 Piastrelle smaltate		bb.1 Piastrelle smaltate		bc.1 Piastrelle smaltate		bd.1 Piastrelle smaltate		be.1 Piastrelle smaltate		bf.1 Piastrelle smaltate		bg.1 Piastrelle smaltate		bh.1 Piastrelle smaltate		bi.1 Piastrelle smaltate		bj.1 Piastrelle smaltate		bk.1 Piastrelle smaltate		bl.1 Piastrelle smaltate		bm.1 Piastrelle smaltate		bn.1 Piastrelle smaltate		bo.1 Piastrelle smaltate		bp.1 Piastrelle smaltate		bq.1 Piastrelle smaltate		br.1 Piastrelle smaltate		bs.1 Piastrelle smaltate		bt.1 Piastrelle smaltate		bu.1 Piastrelle smaltate		bv.1 Piastrelle smaltate		bw.1 Piastrelle smaltate		bx.1 Piastrelle smaltate		by.1 Piastrelle smaltate		bz.1 Piastrelle smaltate		ca.1 Piastrelle smaltate		cb.1 Piastrelle smaltate		cc.1 Piastrelle smaltate		cd.1 Piastrelle smaltate		ce.1 Piastrelle smaltate		cf.1 Piastrelle smaltate		cg.1 Piastrelle smaltate		ch.1 Piastrelle smaltate		ci.1 Piastrelle smaltate		cj.1 Piastrelle smaltate		ck.1 Piastrelle smaltate		cl.1 Piastrelle smaltate		cm.1 Piastrelle smaltate		cn.1 Piastrelle smaltate		co.1 Piastrelle smaltate		cp.1 Piastrelle smaltate		cq.1 Piastrelle smaltate		cr.1 Piastrelle smaltate		cs.1 Piastrelle smaltate		ct.1 Piastrelle smaltate		cu.1 Piastrelle smaltate		cv.1 Piastrelle smaltate		cw.1 Piastrelle smaltate		cx.1 Piastrelle smaltate		cy.1 Piastrelle smaltate		cz.1 Piastrelle smaltate		da.1 Piastrelle smaltate		db.1 Piastrelle smaltate		dc.1 Piastrelle smaltate		dd.1 Piastrelle smaltate		de.1 Piastrelle smaltate		df.1 Piastrelle smaltate		dg.1 Piastrelle smaltate		dh.1 Piastrelle smaltate		di.1 Piastrelle smaltate		dj.1 Piastrelle smaltate	
--------------------------------------	--	------------------	--	-----------------------	--	---------------------------	--	-------------------------	--	---------------------------	--	----------------------------	--	-------------------------------	--	--------------------------------	--	-------------------------	--	-------------------------	--	-------------------------	--	-------------------------	--	-------------------------	--	-------------------------	--	-------------------------	--	-------------------------	--	-------------------------	--	-------------------------	--	-------------------------	--	-------------------------	--	-------------------------	--	-------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--



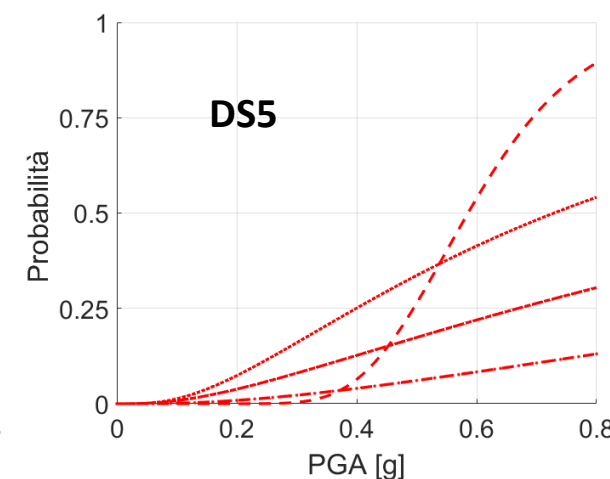
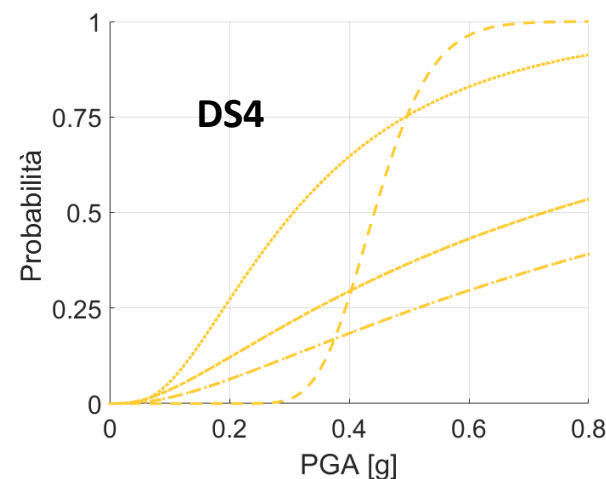
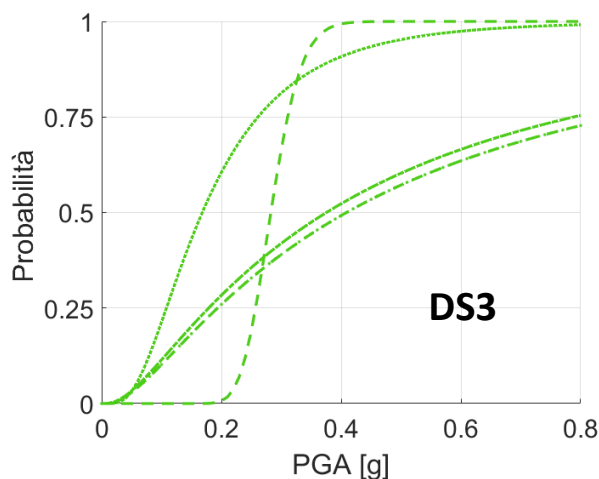
SVILUPPO DI CURVE DI FRAGILITÀ TIPOLOGICHE GLOBALI

mediana	μ [g] DS1	μ [g] DS2	μ [g] DS3	μ [g] DS4	μ [g] DS5
UniCAMP	0.100	0.194	0.375	0.726	1.405
UniNA	0.096	0.214	0.283	0.442	0.586
UniCH	0.038	0.090	0.168	0.307	0.729
UniPV	0.052	0.194	0.409	1.087	2.779
UniGE	0.078	0.182	0.424	0.991	2.316

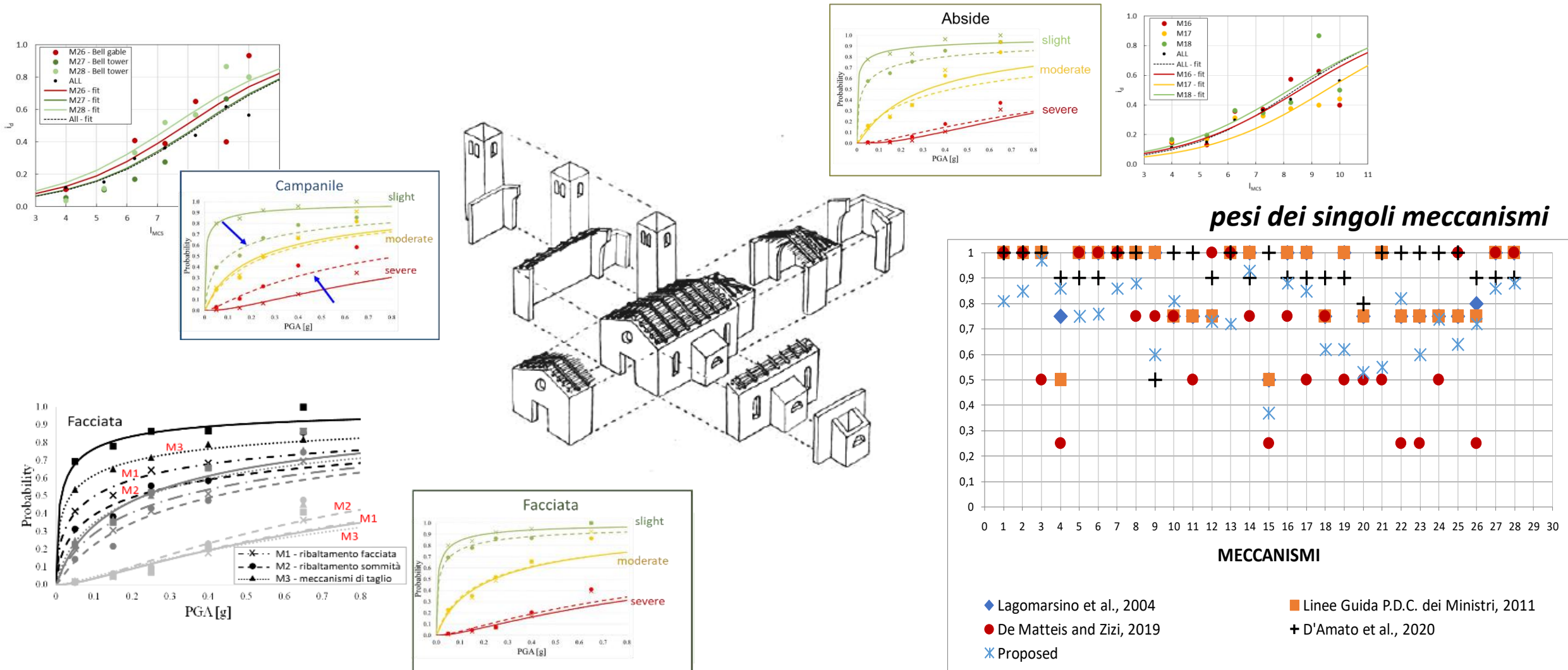


**chiese a
complessità bassa**

---- UniCAMP
 - - - UniNA
 UniCH
 - · - UniPV

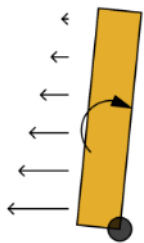


APPROFONDIMENTO SUL RUOLO DEI MACRO-ELEMENTI E MECCANISMI per arrivare alla definizione del peso medio di ciascuno sulla vulnerabilità media della chiesa



APPROFONDIMENTO SU PARAMETRI TIPOLOGICI

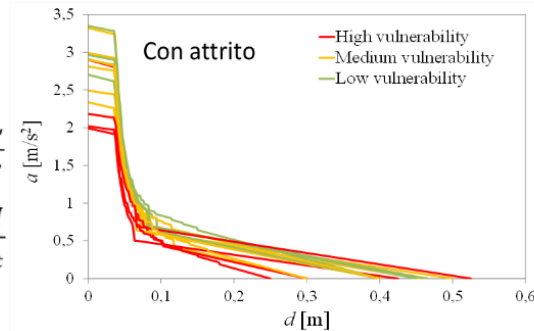
Snellezza



s = spessore facciata
 s_t = spessore parete trasversale

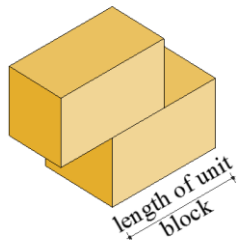
$$\lambda_l = \frac{L}{s}$$

$$\lambda_s = \frac{H}{s_t}$$



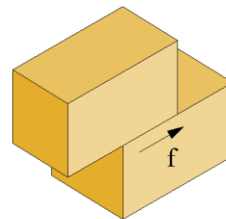
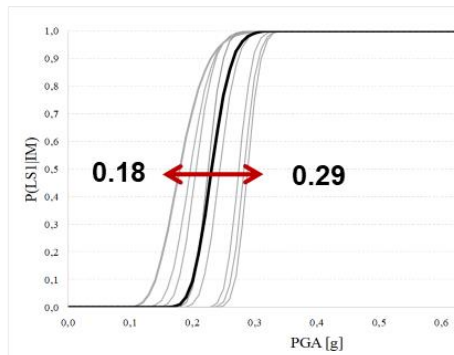
High vulnerability	$\lambda_s \geq 12.5, \lambda_l \geq 11.5$
Medium vulnerability	$\lambda_s < 12.5, \lambda_l \geq 11.5$ or $\lambda_s \geq 12.5, \lambda_l < 11.5$
Low vulnerability	$\lambda_s < 12.5, \lambda_l < 11.5$

Altri parametri



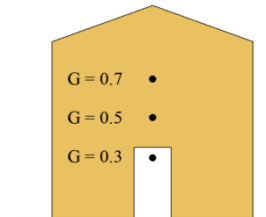
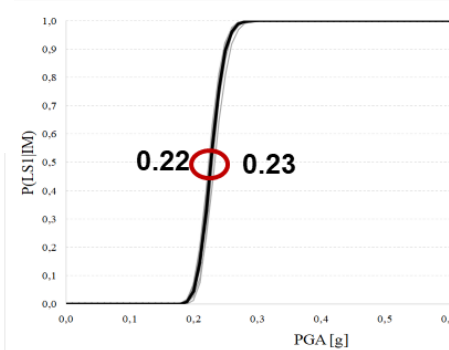
Lunghezza del blocco

LS1



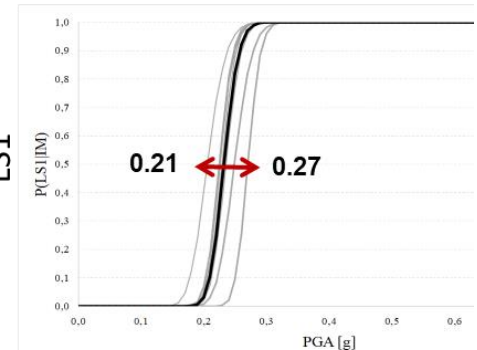
LS1

Coefficiente di attrito

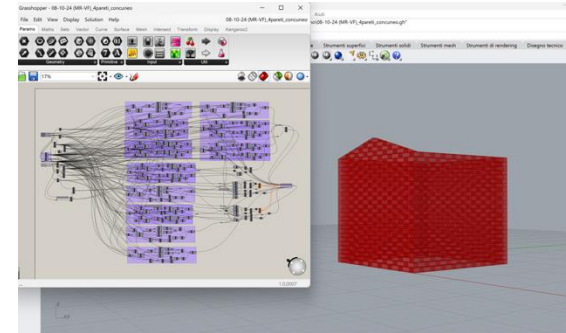
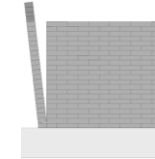
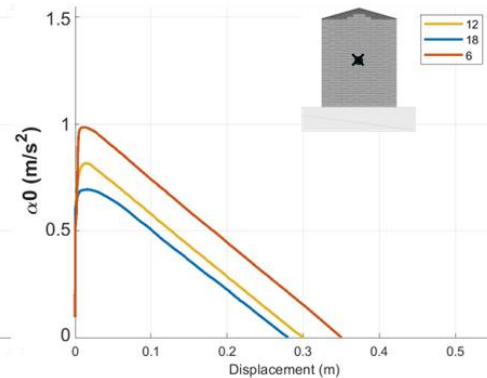
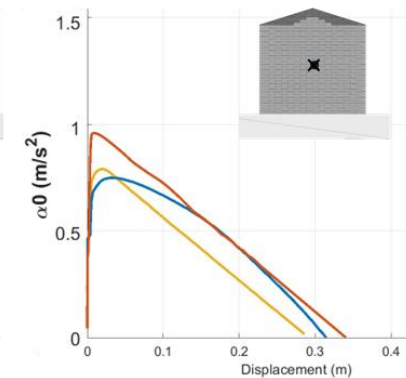
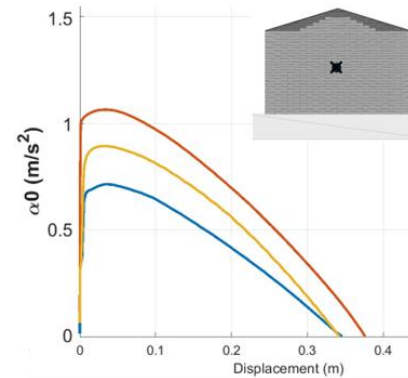


Posizione del centro delle masse

LS1



Forma facciata



Attività UNINA (R. Landolfo, G. Di Lorenzo, A. Formisano)

Curve di fragilità di capannoni monopiano in acciaio

Programma di simulazione

Interasse/ Altezza	Carico	Luce	Ante 1900		1900-30		1930-60						1960-90						Post 1990									Periodo	
			Tipo 1	Tipo 1	Tipo 1	Tipo 2	Reticolare 1			Reticolare 2			Reticolare 1			Reticolare 2			Reticolare 1			Reticolare 2			Portale				Tipologia Materiali
			Mur-Ag	Ghisa-Ag	Acc	Acc	Aq34	Aq42	Aq50	Aq34	Aq42	Aq50	Fe360	Fe430	Fe510	Fe360	Fe430	Fe510	S235	S275	S355	S235	S275	S355	S235	S275	S355		
C1	C1																												
C2	C2																												
C3	C3																												
C1	C1																												
C2	C2																												
C3	C3																												
C1	C1																												
C2	C2																												
C3	C3																												



Curve di fragilità empiriche e analitiche

Dir. Y - Schema a controventi conc. – Eq. metodo empirico

$$P(d_s \geq d_{si}/PGA) = \phi \left[\left(\frac{1}{\beta_{ds}} \right) \cdot \ln \left(\frac{ag}{ag_{dsi}} \right) \right]$$

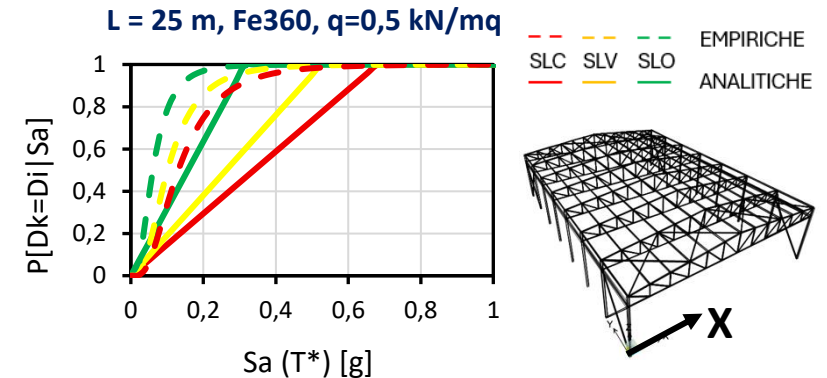
In direzione trasversale (X), dove lo schema sismo-resistente è a pendolo inverso, i risultati del metodo empirico sono meno conservativi rispetto al metodo analitico. Si propongono i seguenti **coefficienti correttivi** nella formulazione empirica:

Dir. X - Schema a pendolo inverso – Modifica eq. metodo empirico

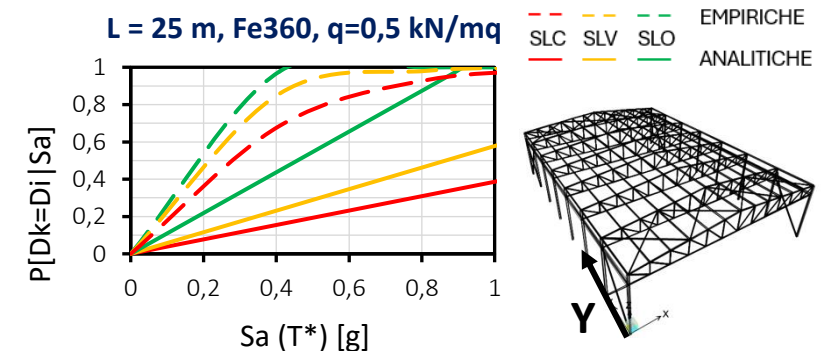
$$P(d_s \geq d_{si}/PGA) = 0,65 \cdot \phi \left[\left(\frac{1}{\beta_{ds}} \right) \cdot \ln \left(\frac{ag}{ag_{dsi}} \right) + 2,5 \right]$$

Esempio: Reticolare 1, anni 1960-1990

Direzione X – Curve con coeff. correttivi

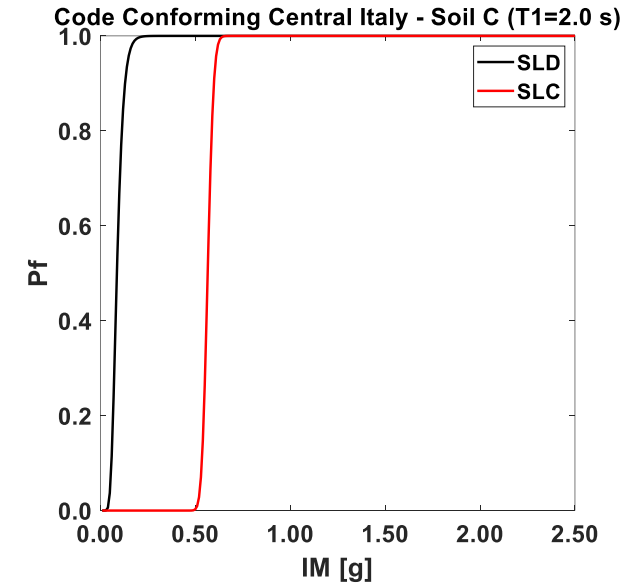
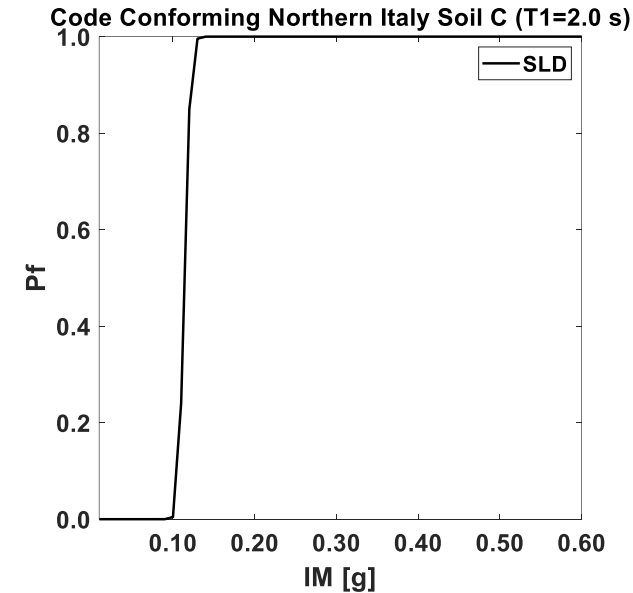
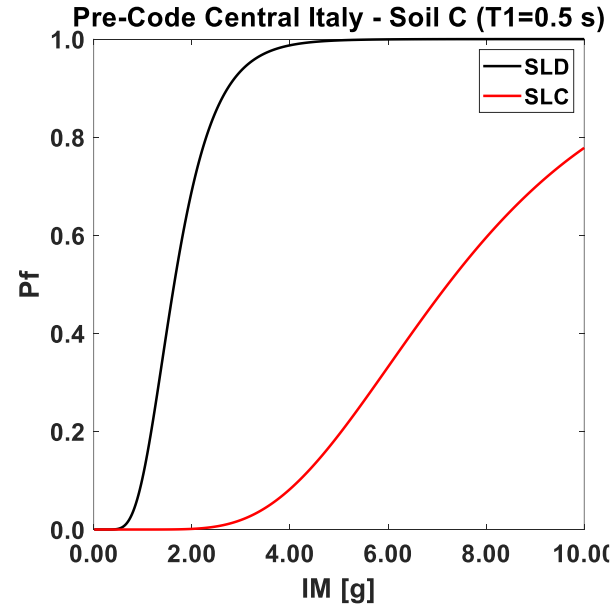
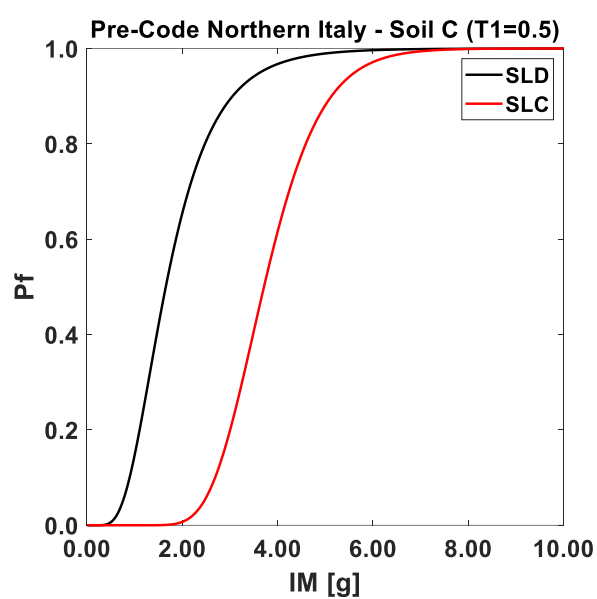


Direzione Y – Curve senza coeff. correttivi



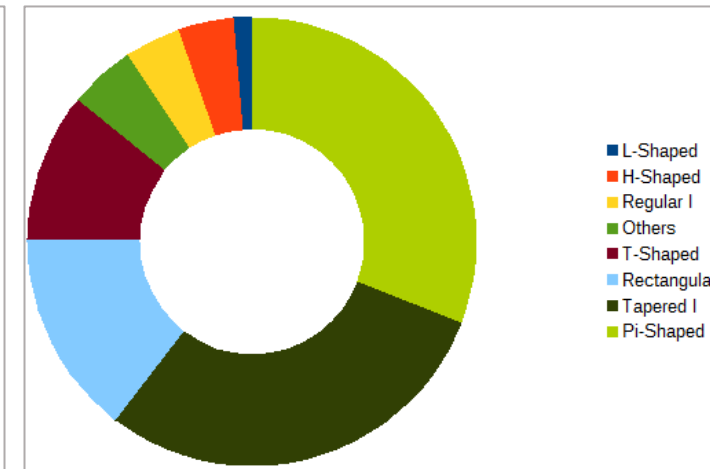
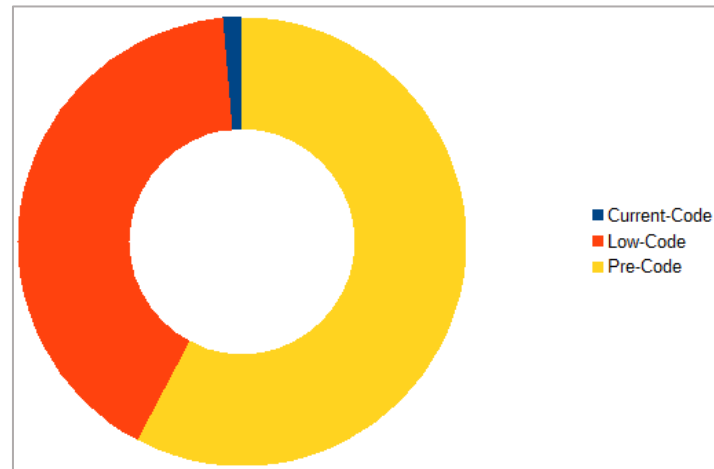
Attività IUSS (R. Nascimbene)

Curve di fragilità di prefabbricati monopiano (regionalizzazione delle tipologie prefabbricate)



Databases impiegati:

- **Database Toscana**
602 capannoni (Toscana)
- **DPC/ReLUIS/EUC Database**
41 strutture (Multiple reg.)
- **Database Emilia-Romagna**
42 strutture (E. Romagna)



Criteri di classificazione

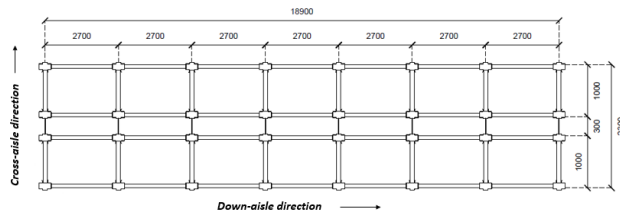
- Distribuzione regionale e sub-regionale
- Tipologia travi
- Lunghezza travi
- Anno di costruzione
- Zona sismica
- Codice di progettazione
- tipologia

Attività UNIPD (F. da Porto, M. Donà, E. Saler, M. Gaspari, M. Ceresara, L. Tosolini)

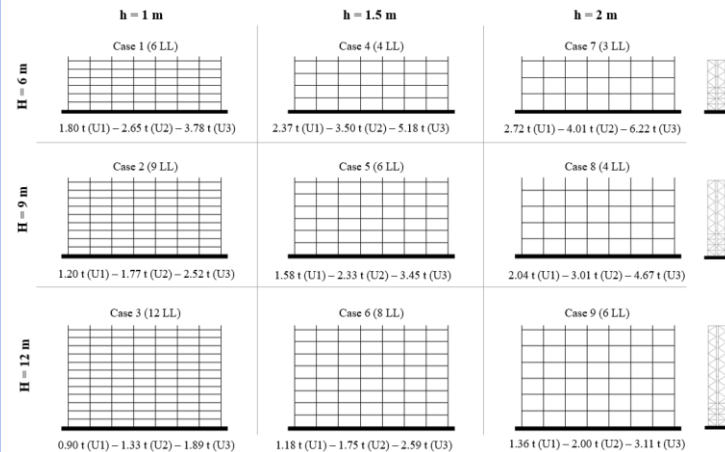
Attività 1: definito e implementato il framework di calcolo parametrico per derivare la fragilità sismica di uno stock di **scaffalature porta-pallet** rappresentativo del contesto italiano; modelli di fragilità basati su diversi EDPs e IMs

Attività 2: Sistematizzazione delle informazioni da rilievi in sito – su edifici industriali di un gestore privato nell'ambito dei trasporti pubblici nella Regione Toscana – e compilazione delle relative schede **CARTIS**. Prime analisi di distribuzione dei parametri tipologico strutturali

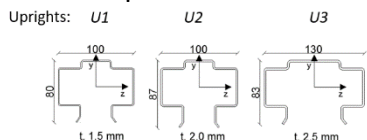
Schema planimetrico (scaffalatura bifronte)



9 configurazioni in elevazione



3 tipi di montante



9 x 3 = 27
scaffalature

ANALISI CLOUD

Due set di 134 eventi bidirezionali, rappresentativi della sismicità italiana per suoli rigidi e soffici (Paolucci, 2020)

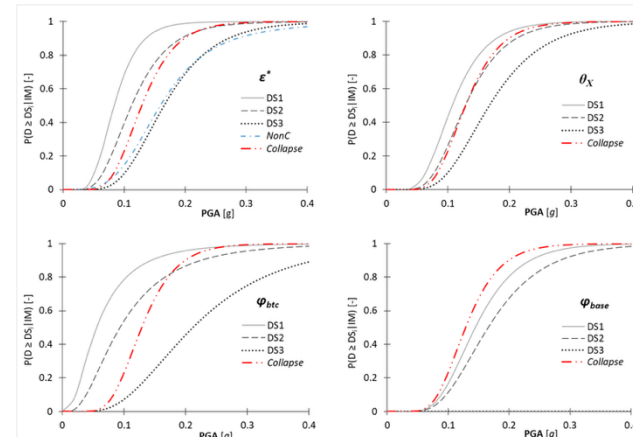
Parametri di Domanda (EDPs)

ϵ^* : deformazione globale normalizzata dei montanti
 θ_X : drift massimo tra i livelli di carico (dir. longitudinale)
 ϕ_{bt} : rotazione massima dei collegamenti trave-colonna
 ϕ_{base} : rotazione massima dei collegamenti alla base

Stati di Danno (DSs):

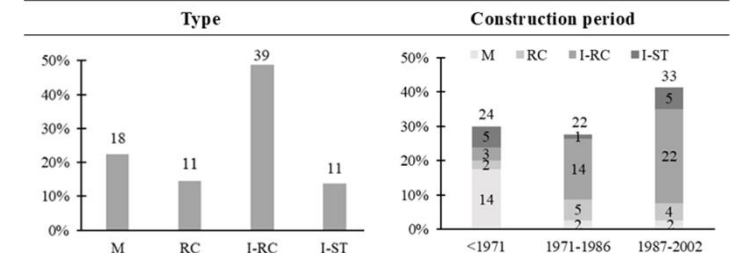
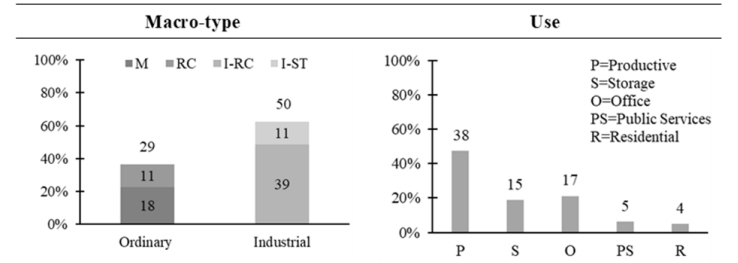
DS1: inizio del danneggiamento, ancora in campo elastico
DS2: stato post-svernamento, con sicurezza dei lavoratori
DS3: condizione prossima al collasso parziale e/o totale

Misure di intensità (IMs): PGA, S_a



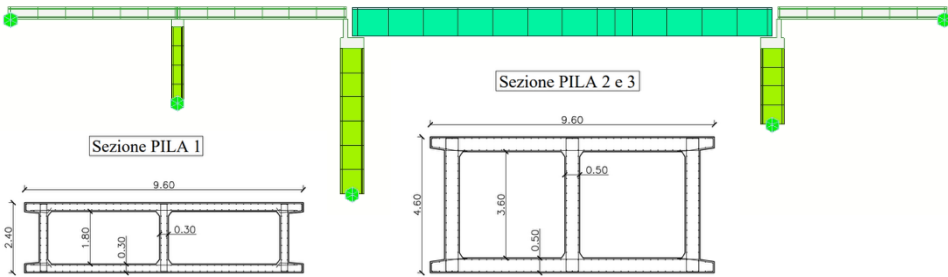
Es. curve in PGA
e suolo rigido:

Distribuzioni su intero stock

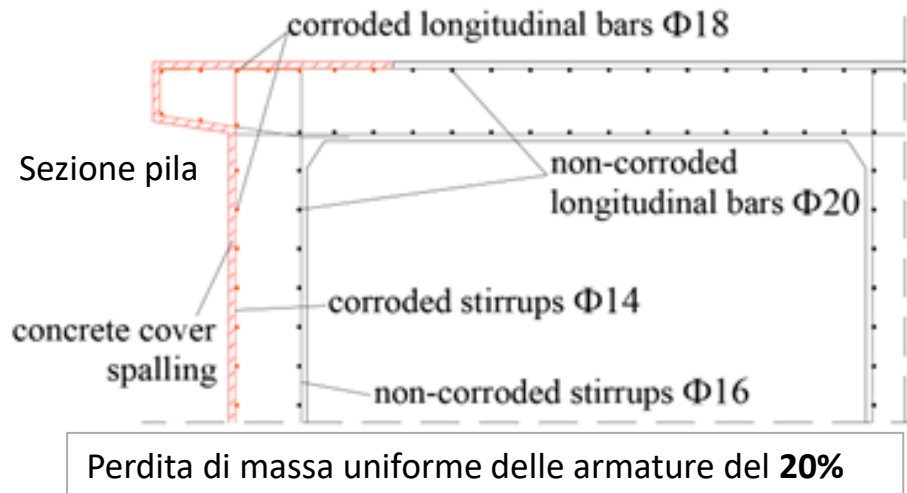


Attività UNIBAS (A. Masi, Giuseppe Santarsiero, Vincenzo Manfredi, Valentina Picciano, Rosalba Gaetano)

Influenza della corrosione delle pile sul comportamento sismico del viadotto Rupoli, in provincia di Potenza

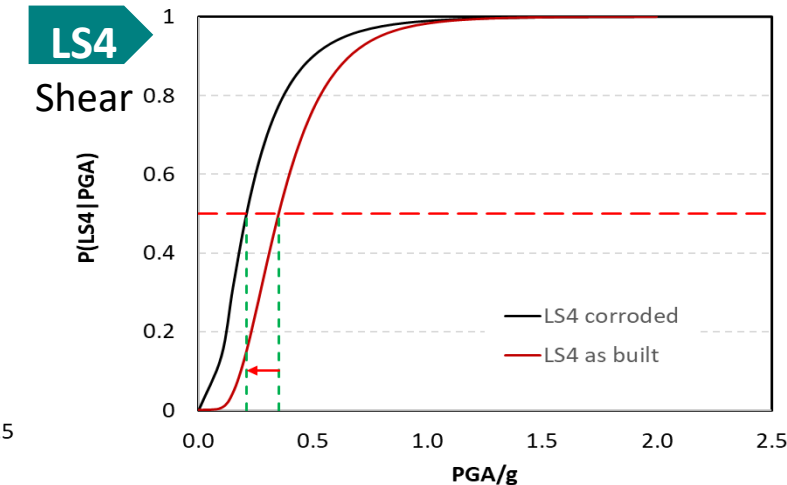
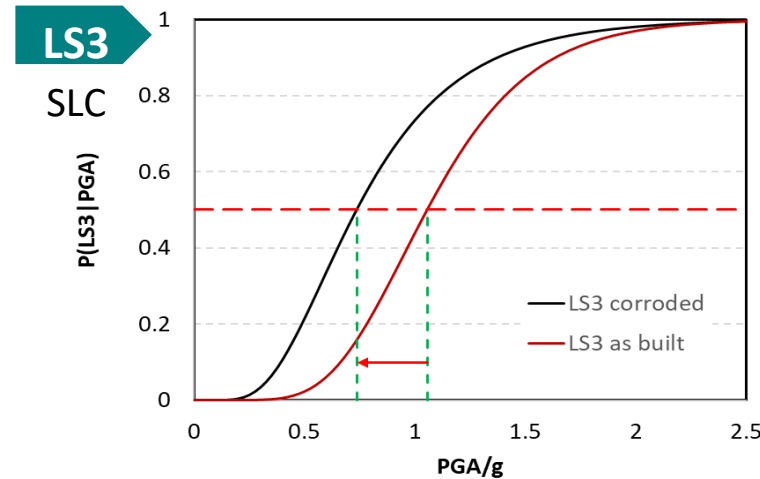


- Perdita copriferro sui lati corti e in parte sul lato lungo
- Riduzione diametro barre longitudinali e trasversali



Stati limite indagati

- LS1 – SLD: corrispondente alla formazione della prima cerniera plastica;
- LS2 – SLV: corrispondente al 75% di capacità rotazionale delle pile;
- LS3 – SLC: corrispondente al del 100% di capacità rotazionale ultima delle pile;
- LS4 – SLC-Taglio: corrispondente al raggiungimento della capacità ultima a taglio.



Attività UNIPMa (F. Gara, S. Carbonari, L. Ragni, V. Nicoletti, R. Martini, A. Brunetti, L. Tentella)

Analisi parametrica sulla fragilità delle pile a sezione circolare

- Snellezza H/D - 3-9
- Sforzo assiale normalizzato ν - 4-12%
- % armature longitudinali ρ_l - 0.3-1.5
- % armature trasversali ρ_w - 0.5-1.2

Progetti simulati - N. casi totali: **620**

(D.M. 2/8/1980 , D.M. 26/3/1980, D.M. 3/3/1975, D.M. 17/01/2018)

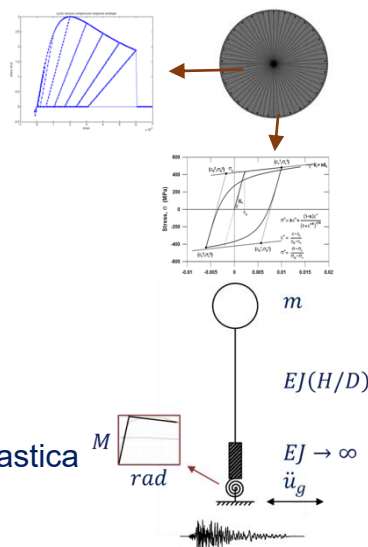
MODELLAZIONE

Analisi Momento-Curvatura

- **Fibre calcestruzzo:** Concrete04 (Popovics)
- **Fibre acciaio:** SteelMPF (Menegotto e Pinto)

Analisi dinamiche non lineari

- **Plasticità concentrata:** ZeroLength rotazionale opportunamente calibrato
- **Zona rigida:** Lunghezza convenzione di cerniera plastica
- **Zona elastica:** Rigidezza flessionale EJ fessurata

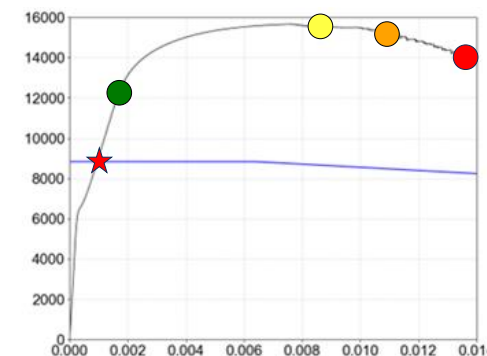


METODOLOGIA

- Analisi dinamiche non lineari - Multiple Stripe Analysis (MSA)
- Curve di fragilità - Metodo della Massima Verosimiglianza

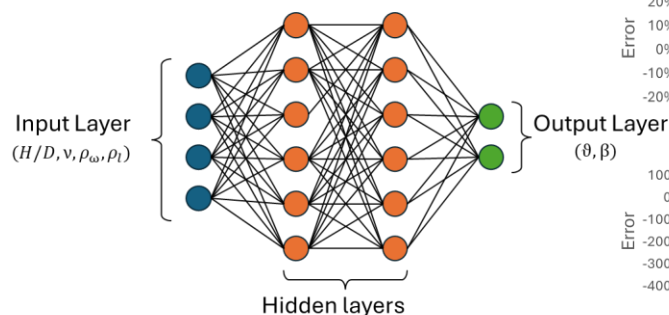
DEFINIZIONE EDPs (Spostamento in testa)

STATO DANNO	CURVATURA LIMITE
DS1 ●	ϕ_y
DS2 ●	$\min(\phi:\epsilon_c > 0.004, \phi:\epsilon_s \geq 0.015)$
DS3 ●	$3/4\phi_4$
DS4 ●	$\min(\phi:M < 0.9M_{max}, \phi:\epsilon_s \geq 0.075)$
DS5 ★	$\phi: V < V_R$

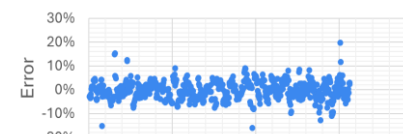


PREDIZIONE CURVE DI FRAGILITÀ

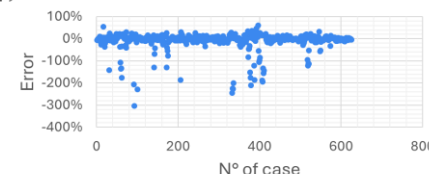
Stima dei parametri delle distribuzioni (θ , β) mediante regressioni multivariate e ANN



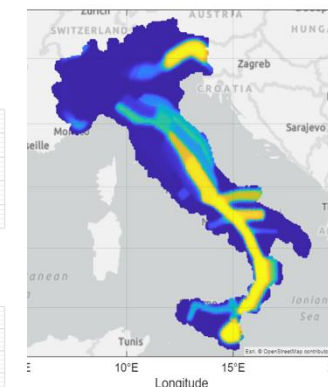
Theta Prediction (IM=PSA,EDP1)

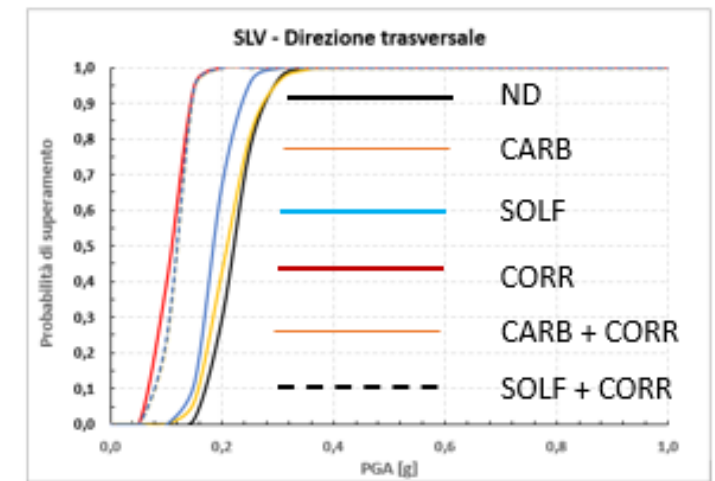


Beta Prediction (IM=PSA,EDP1)



MAPPE DI DANNO





Attività UNINA (A. Prota, M. Di Ludovico, A. Miano)
UNIPR (B. Belletti, P. Bernardi, D. Ferretti, E. Michelini)

Costruzione di curve di fragilità di pile da ponte in CA

Definizione di un approccio probabilistico implementato nella metodologia basata sul Capacity Spectrum Method (CSM), per considerare le incertezze legate alla conoscenza delle proprietà meccaniche dei materiali e della geometria della struttura.
Derivazione delle curve di fragilità sismica variando le proprietà di calcestruzzo e acciaio con simulazioni Monte-Carlo.

OBIETTIVI:

- 1 - Valutazione dell'effetto delle incertezze relative a:
resistenze dei materiali, geometria dell'impalcato e carichi sulla
probabilità di raggiungimento di uno SL di danno sia per il caso
analizzato sia considerando diverse snellezze della pila.
- 2 - Estensione e applicazione della metodologa probabilistica
al caso di pile degradate, considerando le incertezze legate alla
definizione dei parametri della corrosione.

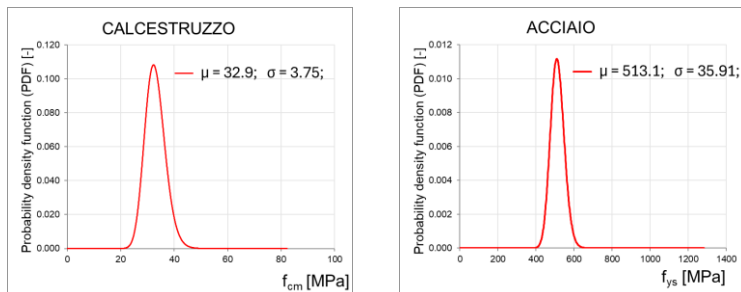
Caso-studio:
**Ponte con impalcato in semplice appoggio
su pila singola circolare**



Anno costruzione: 1981;
Schema strutturale impalcato: semplice appoggio;
Tipo connessione pila-impalcato: appoggio;
Tipologia impalcato: travi in c.a.p. a cavi post-tesi;
n° campate: 4; lunghezza max campata: 30.00 m;
Tipologia pila: singola; altezza pila: 5.50 m;
Sezione trasversale pila: circolare piena;
Zona sismica assunta: 2 (Napoli).

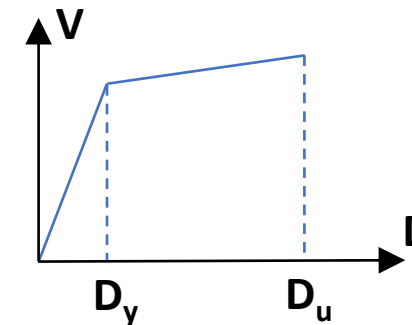
Task 4.8 – Esposizione/Vulnerabilità ponti (A. Prota)

VARIABILITÀ STATISTICA PROPRIETÀ MATERIALI

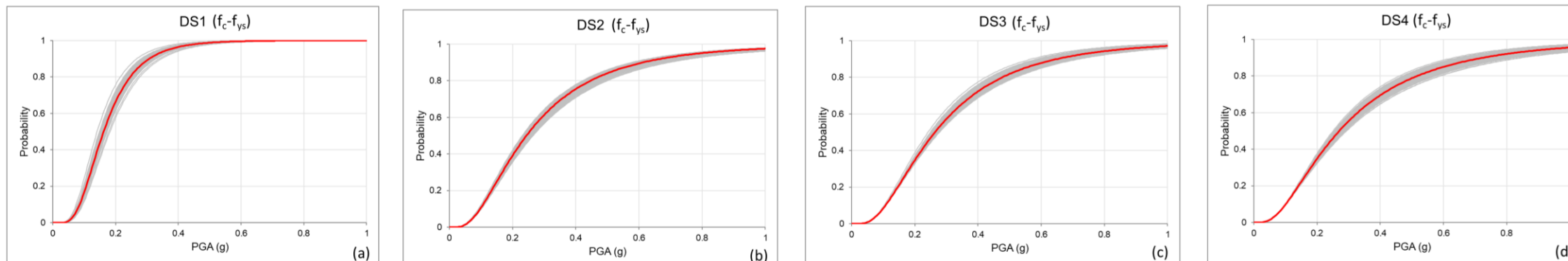


DEFINIZIONE STATI LIMITE di Danno (Moschonas, 2008)

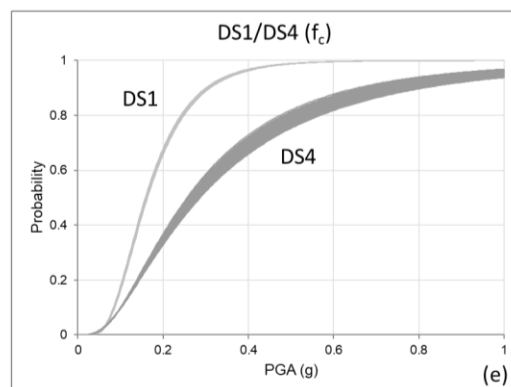
Lieve	DS1 = 0.7 Dy
Moderato	DS2 = Dy + 1/3(Du - Dy)
Esteso	DS3 = Dy + 2/3(Du - Dy)
Collasso	DS4 = Du



INFLUENZA DELLA VARIABILITÀ DELLA RESISTENZA DI CALCESTRUZZO E ACCIAIO SULLA PROBABILITÀ DI RAGGIUNGIMENTO DEGLI SL DI DANNO

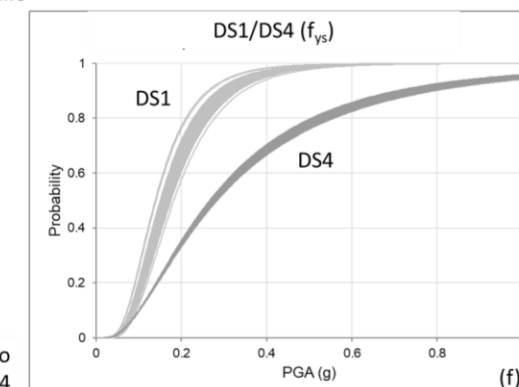


(a)-(d) e Tabella: Influenza della variazione della tensione di snervamento dell'acciaio f_{ys} e della resistenza del calcestruzzo f_c sulle curve di fragilità per i 4 SL (in rosso la curva corrispondente alle proprietà medie delle distribuzioni statistiche)



Valori min-max di PGA corrispondenti al 50% di probabilità di raggiungimento dello SL				
	DS1	DS2	DS3	DS4
PGA _{min}	0.14g	0.230g	0.240g	0.250g
PGA _{mean} ($f_c=32.90$ MPa; $f_{ys}=513.10$ MPa)	0.16g	0.245g	0.265g	0.270g
PGA _{max}	0.18g	0.265g	0.280g	0.295g
Variazione % PGA rispetto PGA _{mean}	-12.50%	-6.12%	-9.43%	-7.41%
	+12.50%	+8.16%	+5.66%	+9.26%

(e) Influenza della variazione della resistenza del calcestruzzo f_c sulle curve di fragilità per DS1/DS4



(f) Influenza della variazione della tensione di snervamento dell'acciaio f_{ys} sulle curve di fragilità per DS1/DS4

Funzioni di conseguenza per stima di perdite dirette ed indirette da terremoto

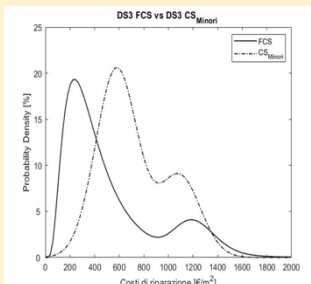
EDIFICI IN AGGREGATO (centri storici)

- ❖ Calibrazione su dati della ricostruzione di funzioni di conseguenza per edifici in aggregato (pratiche 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)

vs.

Centri Storici (CS_{minori})



FCS_DS3
CS_minori_DS3

554,54 €/m²
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
σ [€/m²]	377.37	278.41
CoV	68%	39%

Implementazione in IRMA di:

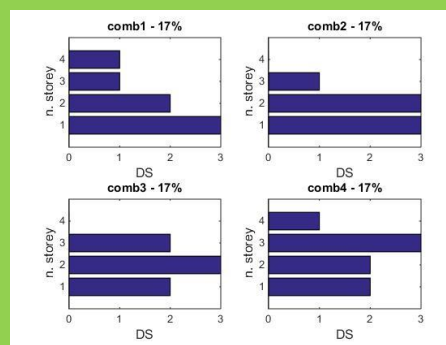
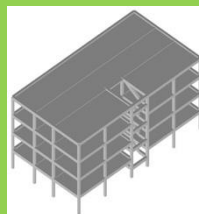


- funzioni di densità probabilità delle perdite dirette (anche tenendo conto delle specificità dei centri storici)
- aggiornamento funzioni per predizione casualties
- Integrale di convoluzione

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

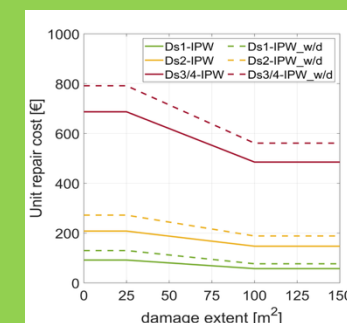
Metodologia

- Basata su analisi dinamiche non lineari su prototipi rappresentativi.
- Utilizza distribuzioni di danno attese e costi unitari strutturali/non strutturali.
- Definisce funzioni analitiche di costo di riparazione che tengono conto di:
 - danno massimo atteso
 - distribuzione ed estensione danno in elevazione

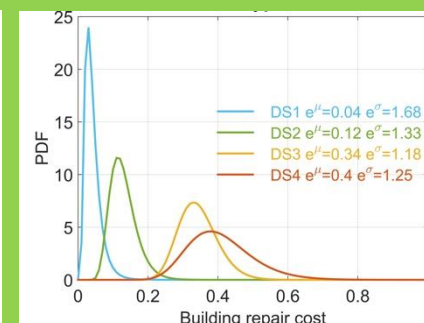


Distribuzioni di danno in elevazione ($DS_{max}=3$) ottenute da analisi dinamiche non-lineari su prototipi, utilizzando i segnali definiti nel Task 4.2- Pericolosità del WP4-MARS (2019-2021)

ESEMPIO TIPOLOGIA CA | 4P | 70s | GLD



Costi unitari (empirici) per la riparazione delle tamponature al variare del DS
(Del Vecchio et al, 2020)



Distribuzioni (lognormali) dei costi di riparazione per DS

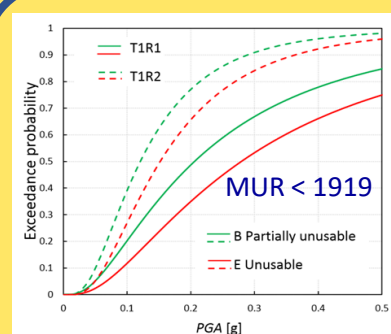
Funzioni di conseguenza per stima di perdite dirette ed indirette da terremoto

STIMA DELLE PERDITE ECONOMICHE DIRETTE E INDIRETTE IN FUNZIONE DELL'ESITO D'AGIBILITÀ POST SISMA

METODOLOGIA

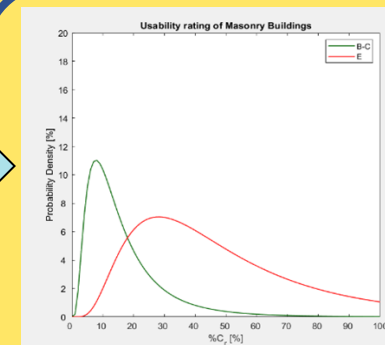
- ❖ Calibrazione di **curve di fragilità in termini di agibilità post-sisma** per classi tipologiche di **edifici residenziali in muratura e c.a.**
- ❖ Definizione di **funzioni di conseguenza in termini di agibilità post sisma**
- ❖ Implementazione dell'**analisi di rischio condizionata (scenario) e incondizionata** per la stima delle perdite economiche in termini di **costi di riparazione e costi di assistenza alla popolazione**

CURVE DI FRAGILITÀ
IN TERMINI DI AGIBILITÀ



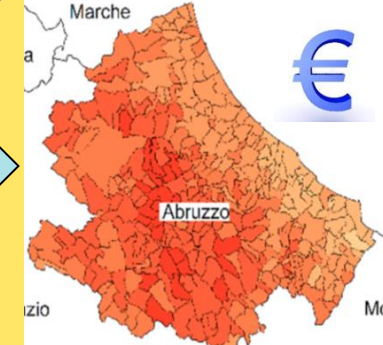
Zucconi et al. 2022

FUNZIONI DI CONSEGUENZA
IN TERMINI DI AGIBILITÀ



Di Ludovico et al. 2022

RISCHIO INCONDIZIONATO
PERDITA ECONOMICA



PERDITE ECONOMICHE PER EDIFICI RESIDENZIALI IN FUNZIONE DELL'AGIBILITÀ POST-SISMA



	Masonry buildings		
Usability rating	A	B-C	E
No. of buildings	2,574	778	481
% C_r - 16 th percentile	0%	7%	23%
% C_r - median	0%	14%	42%
% C_r - 84 th percentile	5%	25%	86%
% C_r mean	2%	16%	52%

	RC buildings		
Usability rating	A	B-C	E
No. of buildings	2,421	1,402	841
% C_r - 16 th percentile	0%	6%	24%
% C_r - median	0%	12%	43%
% C_r - 84 th percentile	4%	22%	87%
% C_r mean	2%	14%	51%

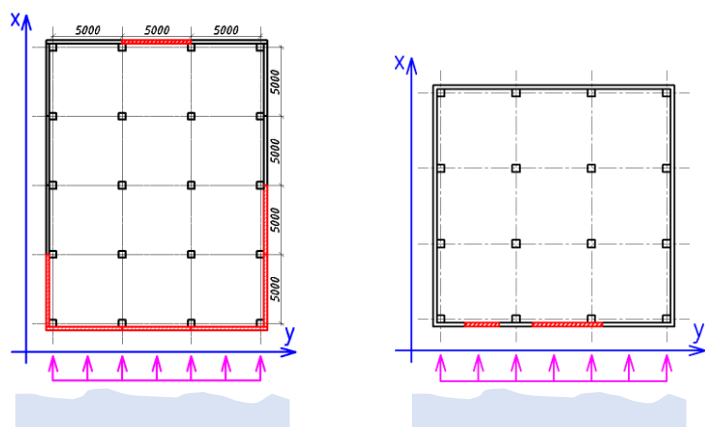
❖ Validazione/Calibrazione

Stima delle **perdite economiche dirette ed indirette** per gli edifici in muratura della città di **Arischia (AQ)** in funzione della **classe tipologica** dell'edificio definita in funzione del periodo di costruzione (T1 <1919, T2: 1919-1961, T3 >1961) e dello stato di riparazione (R1: ottimo/buono, R2: mediocre/pessimo)

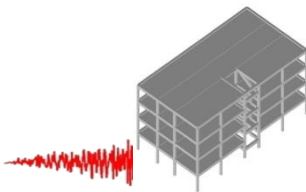
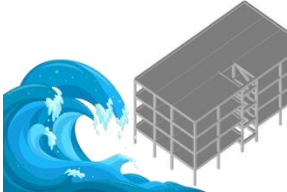
Funzioni di conseguenza per stima di perdite dirette ed indirette da coastal flooding e tsunami

Metodologia per edifici in CA

- Basata su **analisi statiche non lineari** su **prototipi rappresentativi**.
- Utilizza **distribuzioni di danno attese** e **costi unitari** strutturali/non strutturali **validati su dati empirici**.
- Definisce **funzioni di costo di riparazione** che tengono conto di:
 - livello di danno atteso
 - distribuzione ed estensione del danno



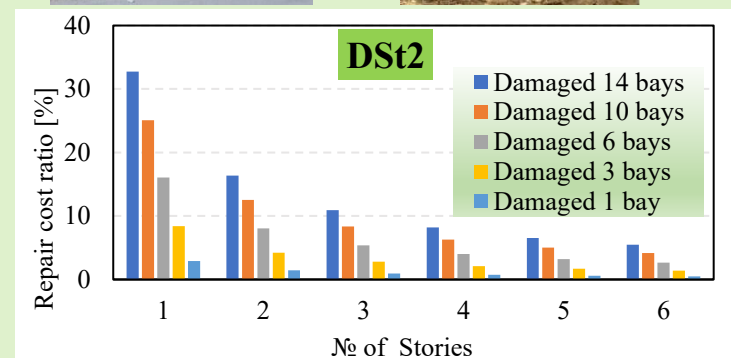
Diversi scenari di distribuzione del danno

			
	Classificazione del danno da sisma da scheda AeDES	Associazione livello di danno da flooding/tsunami	
Livello di danno EMS-98	Non-structural elements		
	Estensione del danno	Livello di danno	Livello di danno Tsunami
DS1	<1/3	D1	DS _{t1}
	1/3 – 2/3		
	>2/3		
DS2	<1/3	D2 – D3	
	1/3 – 2/3		
	>2/3		
DS3	<1/3	D4 – D5	DS _{t2}
	1/3 – 2/3		
	>2/3		
DS3	Structural elements		
	1/3 – 2/3	D2 – D3	DS _{t3}
	>2/3		
DS4	<1/3	D4 – D5	DS _{t4}
	1/3 – 2/3		
DS5	>2/3		DS _{t5}

Danno da sisma



Danno da tsunami



Costo unitario €/m convertito in costo di riparazione (Cr%) per DS_{t2} calibrato sui costi di riparazione da sisma

Tsunami Damage State (DSt)	DS _{t1}	DS _{t2}	DS _{t3}	DS _{t4}	DS _{t5}
Repair cost ratio [%]	2 - 15	7 - 44	62	78	100

M. Zucconi, V. Maksimov, B. Ferracuti, M. Di Ludovico, and M. Del Zoppo, 'Coastal flooding and tsunami loss assessment: state of the art and proposal for predicting building damage and repair costs', in *COMPdyn 2025, 10th ECCOMAS*, 2025.

11 UR COINVOLTE

UniBas (Masi), PoliMi (Paolucci, Cardani, Petrini), UniCusano (Ferracuti, Guzzoni), UniFi (De Stefano), UniGe-b (Cattari), UniNa-a (Verderame), UniNa-b (Prota, Di Ludovico, Polese), UniNa-d (Parisi), UniNa-e (Cascini), UniNa-g (Formisano), UniNa-k (D'Onofrio)

OBIETTIVI

valutare l'impatto degli effetti co-sismici (frane e tsunami) sul patrimonio edilizio residenziale, in termini di possibili maggiori perdite rispetto a quelle stimate considerando il solo scuotimento

ATTIVITÀ

- Analisi degli effetti co-sismici osservati a seguito di eventi reali (DB DaDo e il DB CEDIT)
- Estensione dei modelli di vulnerabilità «combinati» ad altre tipologie rappresentative del patrimonio edilizio esistente
- Analisi delle caratteristiche geomorfologiche delle aree potenzialmente suscettibili ad effetti co-sismici
- Predisposizione di scenari di danno e conseguente valutazione delle perdite attese su un'area studio

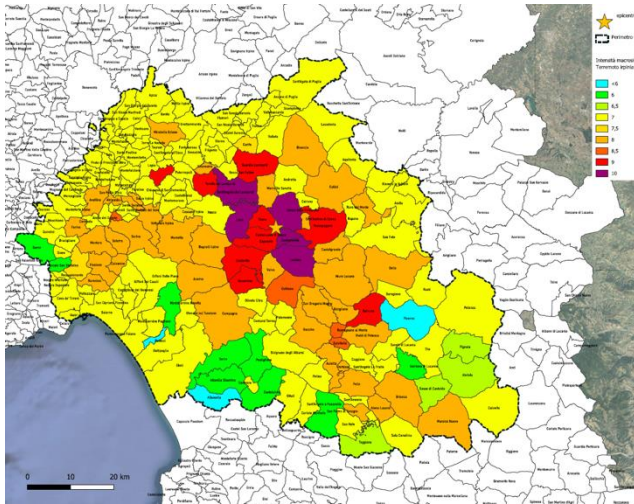
SCENARIO DI DANNO MULTIRISCHIO AREA IRPINIA-BASILICATA SISMA 1980

METODOLOGIA

- Individuazione dell'area studio
- Analisi delle condizioni geolitologiche (pendenze, parametri geolitologiche del terreno)
- Analisi dell'esposizione (fonte ISTAT2011+CARTIS)
- Definizione dello scenario di scuotimento, anche mediante simulazioni numeriche
- Stima dell'accelerazione critica dei pendii e degli spostamenti sismo-indotti
- Derivazione di curve di fragilità «combinata» (ground failure + ground shaking) per le tipologie ricorrenti (c.a. e muratura)
- Preparazione dello scenario di danno e stima delle conseguenze

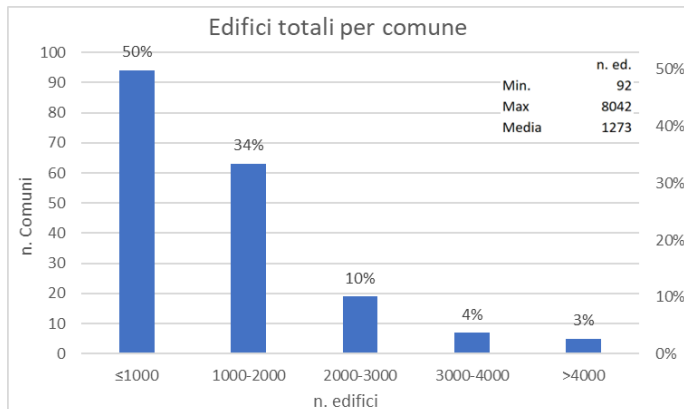
SCENARIO DI DANNO MULTIRISCHIO – AREA IRPINIA-BASILICATA SISMA 1980

INQUADRAMENTO DELL'AREA - ANALISI DELL'ESPOSIZIONE

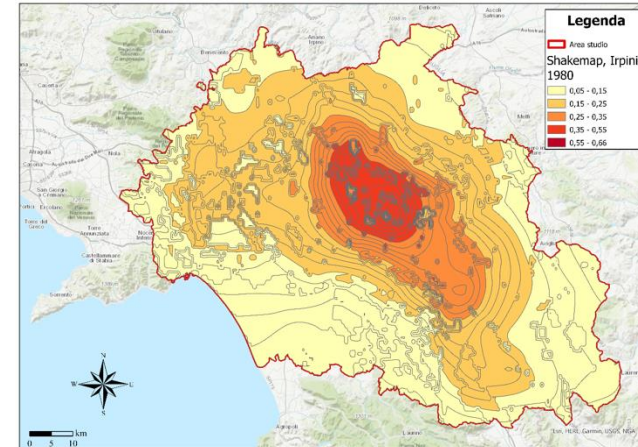


180 comuni con intensità macrosismica $I_{MCS} \geq 6$ stimata a seguito del sisma Irpinia-Basilicata 1980

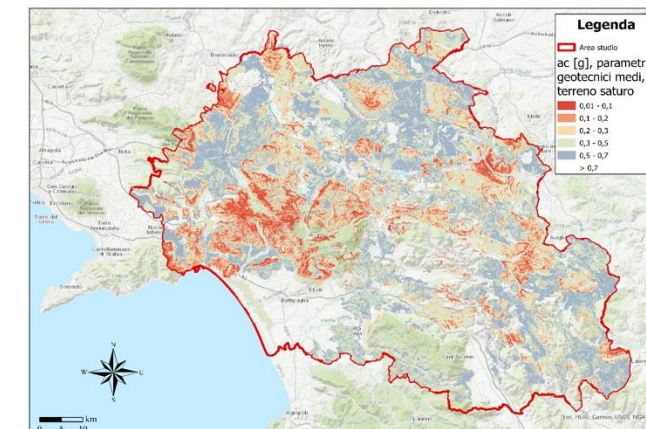
230.000 edifici coinvolti, considerando strutture **in c.a. e in muratura** (ISTAT2011)



PERICOLOSITA'/EFFETTI CO-SISMICI



Shakemap in PGA, integrate da **analisi numeriche «physics-based»** per la determinazione di misure di intensità più efficienti.

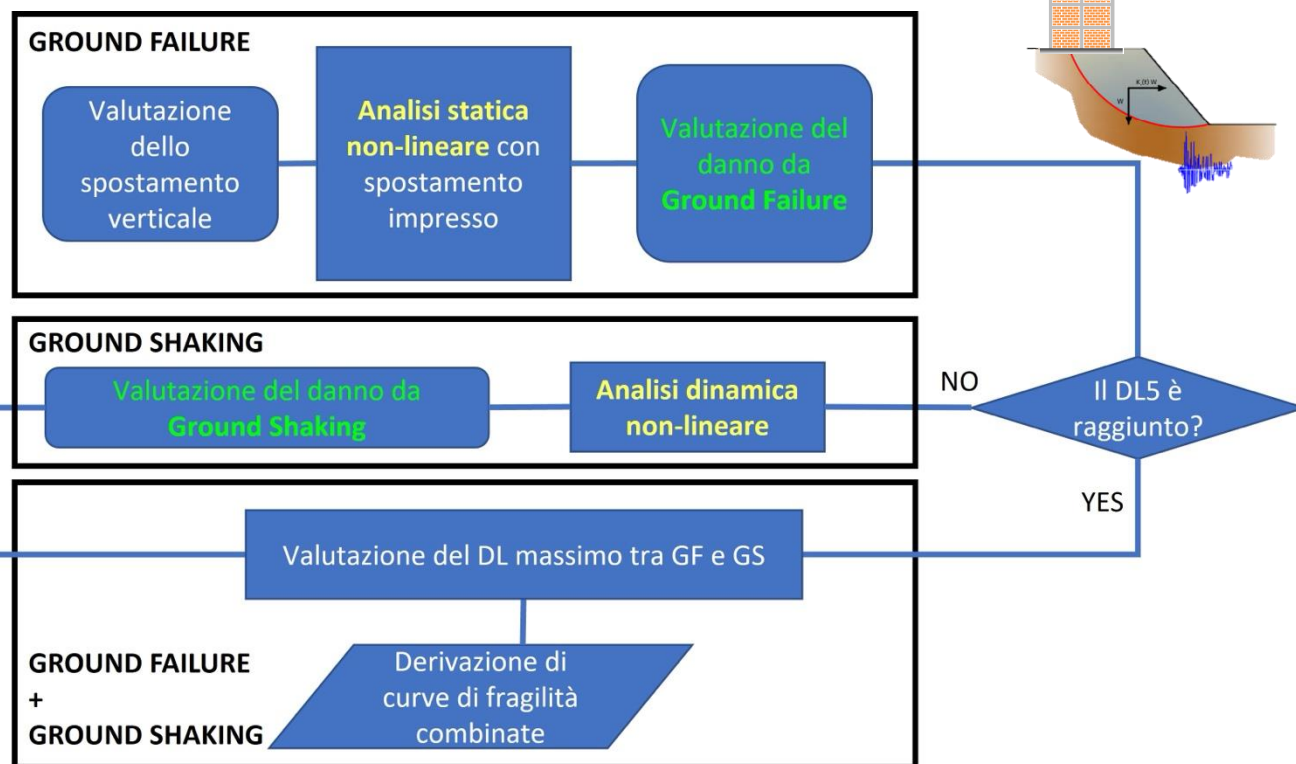


La conoscenza delle **caratteristiche geolitologiche** e delle **pendenze** ha permesso di determinare le **accelerazioni critiche dei pendii** e gli **spostamenti attesi**.

SCENARIO DI DANNO MULTIRISCHIO – AREA IRPINIA-BASILICATA SISMA 1980

METODOLOGIA PER LA STIMA DELLA VULNERABILITA' «COMBINATA»

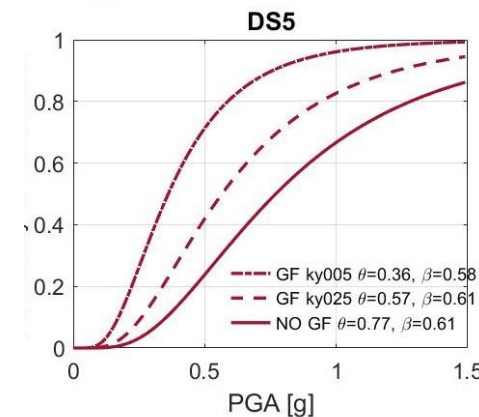
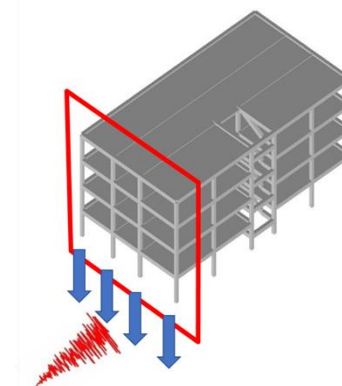
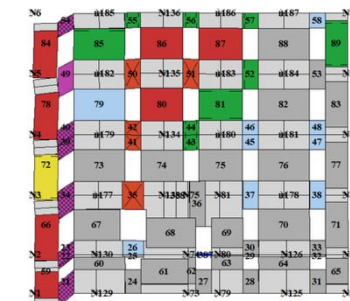
Analisi dinamiche non-lineari (ground shaking) in sequenza ad
analisi statiche non-lineari (ground failure) per la derivazione
delle **curve di fragilità «combinate»**



È in corso la derivazione di **curve di fragilità combinate** per **tipologie edilizie ricorrenti in c.a. e muratura**.

Per il c.a. i risultati disponibili mostrano una **significativa influenza del ground failure**.

Per esempio, al DS5 si ha una riduzione del 53% della mediana della FC rispetto al solo ground shaking (accelerazione critica 0.05g).



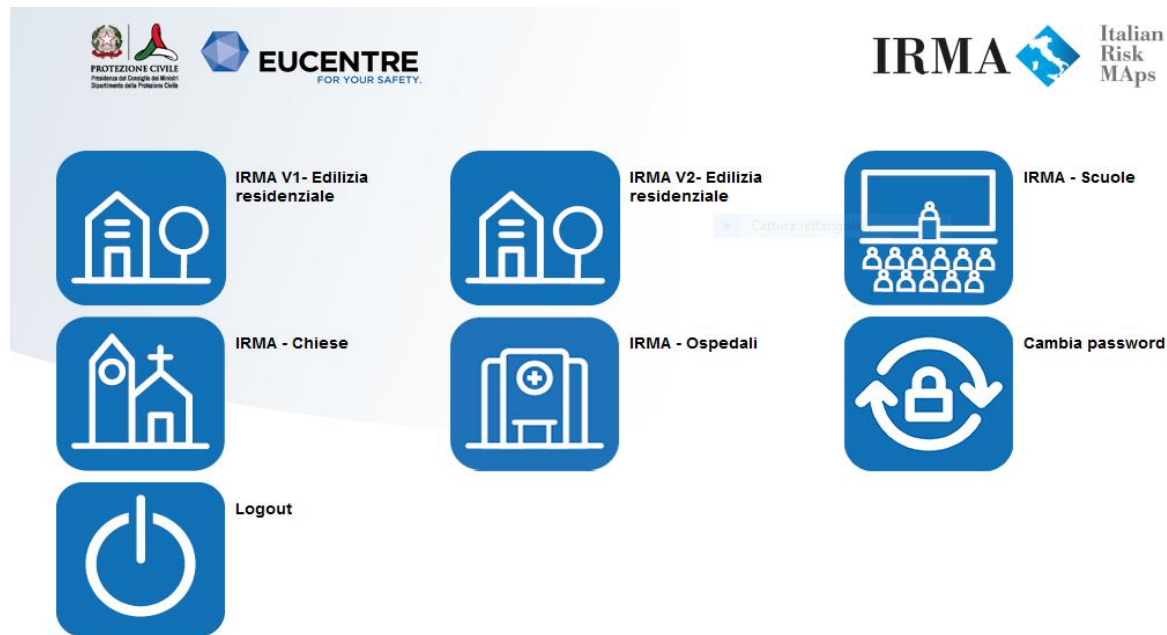
Task 4.11 – Rischio a scala nazionale e locale

Task 4.12 – Scenari di danno sismico (OELF, post-evento)

(S. Lagomarsino, A. Masi, G. Zuccaro)

Attività EUCENTRE (Barbara Borzi, Marta Faravelli, Mauro Onida)

Piattaforma IRMA



- La piattaforma IRMA è in continua evoluzione e sviluppo. Negli WebGIS sono:
 - Disponibili nuovi filtri (es.: creazione di mappe filtrando sulla PGA_{475} – utile per tenere conto degli interventi di rinforzo a scala geografica)
 - Disponibili nuovi tool per l'aggregazione delle mappe
- E' stata completata l'implementazione dell'utenza DPC che vede le mappe pubblicate dalla comunità scientifica e può eseguire operazioni sulle mappe
- IRMA Residenziale: in corso implementazione per l'utilizzo delle curve di vulnerabilità al posto di quelle di fragilità+matrici di conseguenza per il calcolo delle perdite economiche

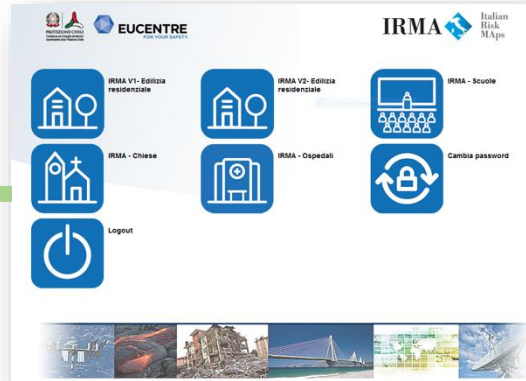


Task 4.11 – Rischio a scala nazionale e locale

Task 4.12 – Scenari di danno sismico (OELF, post-evento)

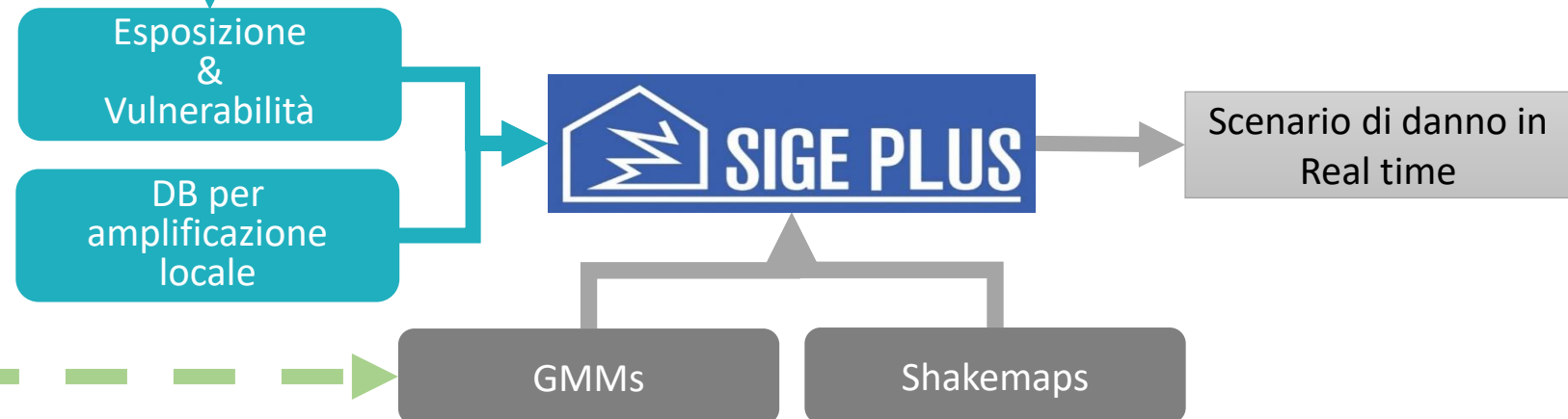
(S. Lagomarsino, A. Masi, G. Zuccaro)

Attività EUCENTRE (Barbara Borzi, Marta Faravelli, Mauro Onida)



E' disponibile un'utenza dedicata Reluis con finalità di test dei modelli di vulnerabilità caricati sulla piattaforma IRMA → inviare richiesta ad Eucentre per le credenziali di accesso

Scenari di danno in real time



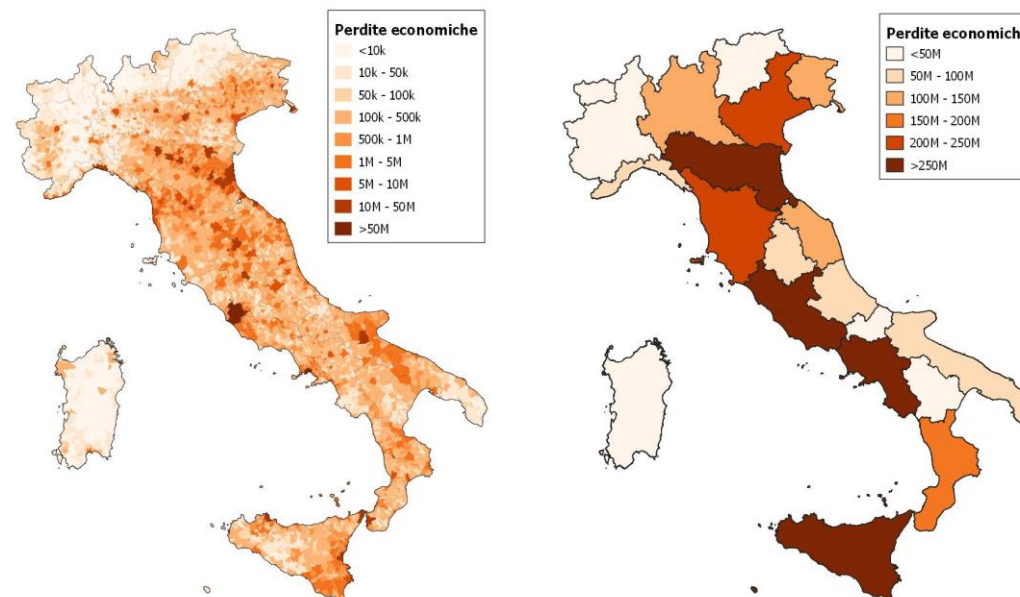
Risultati originali che si stanno ottenendo

- Mappe di rischio per edifici specialistici, per i quali sono disponibili un'anagrafica robusta e curve di fragilità validate da dati osservati:
 - Scuole, Chiese, Ospedali, Capannoni e Ponti
- Elaborazione di scenari di danno sismico e la loro rappresentazione con modalità efficaci in funzione della scala e della finalità di uso per la Protezione Civile (OELF, post-evento), da implementare nella piattaforma SIGE Plus
- Miglioramento della conoscenza delle tipologie di esposto a scala nazionale, tramite la compilazione delle schede CARTIS, riferite alle tipologie edilizie ordinarie (CARTIS Comparto e CARTIS Edificio), di grande luce (CARTIS Grandi Luci) e chiese (CARTIS Chiese). Nuove schede per Scuole e Ospedali.
- Identificazione di misure di intensità più efficienti e aggiornamento curve di fragilità, considerando anche le condizioni del sottosuolo.

Aggiornamento/integrazione del NATIONAL RISK ASSESSMENT

	Muratura		Cemento Armato		MUR + CA	
	Vittime	Feriti gravi	Vittime	Feriti gravi	Vittime	Feriti gravi
Valore medio	375	1'300	247	870	620	2'170
Dispersione	0.37	0.36	0.77	0.75	0.53	0.51
16°percentile	260	910	110	410	370	1'320
84°percentile	540	1'855	530	1'840	1'080	3'690

Perdite annuali per il **RESIDENZIALE** a scala comunale e regionale



	MUR	CA	MUR + CA
Valore medio annuo	1'470 M€	1'250 M€	2'720 M€
Dispersione	0.16	0.38	0.26
16° percentile	1'260 M€	860 M€	2'120 M€
84° percentile	1'730 M€	1'830 M€	3'560 M€



Rete dei Laboratori Universitari
di Ingegneria Sismica e Strutturale

Convegno ReLUIs



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Progetto DPC-ReLUIs 2024-2026 Il anno

Napoli, 13-14 ottobre 2025

WP 4 – MARS-CARTIS Mappe di Rischio e Scenari di danno sismico

Sergio Lagomarsino, Angelo Masi e Giulio Zuccaro