

Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

Workshop

Progetto DPC-ReLUIS 2019-2021

Roma, 5 luglio 2022

WP4: MARS

Mappe di Rischio e Scenari di danno sismico

Coordinatori:

Sergio LAGOMARSINO e Angelo MASI

26 Unità partecipanti:

UniBAS (Masi), UniGEa (Lagomarsino), PoliMI (Paolucci), UniPM (Gara), UniCAM (Dall'Asta), UniGEb (Cattari), UniCamp (De Matteis), UniCH (Brando/Camata), UniNAa (Verderame), UniNAb (Prota/Di Ludovico/Polese), UniNAc (Casapulla), UniNAd (Parisi), UniNAe (Cascini), UniNAf (Zuccaro), UniParth (Ceroni), UniPD (da Porto), UniPG (Borri), UniPI (Salvatore), UniRM1a (Monti), UniRM1b (Sorrentino), UniPR (Belletti), UniSA (Martinelli), UniPV (Penna/Graziotti), UniTSa (Amadio), UniTSb (Gattesco), UniPA (Colajanni/Cavaleri), Eucentre (Borzi)

Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

2018 - National Risk Assessment

Nel 2018 il DPC ha dovuto inviare alla Comunità Europea il NRA, che raccoglie le stime delle conseguenze attese a seguito di eventi naturali. ReLUIS ha lavorato con EUCENTRE alla stima del rischio, usando la piattaforma IRMA (Italian Risk Maps):

- **esposizione**: costruito residenziale diffuso (censimento ISTAT 2001 e 2011), aggregato a scala comunale
- **pericolosità**: INGV (MPS04), assumendo suolo A
- **vulnerabilità**: modelli derivati o calibrati su dati di danno osservato, disponibili sulla piattaforma DaDO (Database di Danno Osservato)
- **conseguenze**: correlazioni desunte dalla letteratura

OBIETTIVI DEL WP4 MARS

1. Revisione, aggiornamento e confronto dei modelli di vulnerabilità esistenti per il costruito diffuso (edilizia residenziale)
2. Miglioramenti su tutti i passi del calcolo del rischio: tipologie costruttive regionali, carta delle classi di sottosuolo, funzioni di conseguenza per il calcolo delle perdite
3. Calcolo del rischio su manufatti a tipologia specialistica: scuole, chiese, ponti
4. Aggiornamento delle mappe di rischio per il successivo NRA

Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

ARTICOLAZIONE IN TASK

- Task 4.1 – **Esposizione**: regionalizzazione delle tipologie edilizie (G. Zuccaro)
- Task 4.2 – **Pericolosità** e mappa dei suoli dai dati di microzonazione (R. Paolucci)
- Task 4.3 – **Vulnerabilità del costruito residenziale**: curve di fragilità (S. Lagomarsino, A. Masi)
- Task 4.4 – Conseguenze e perdite economiche (M. Di Ludovico)
- Task 4.5 – Scenari di danno: validazione modelli (A. Penna, G. Verderame)
- Task 4.6 – Prevenzione: effetto degli interventi e analisi costi-benefici (F. da Porto, E. Spacone)
- Task 4.7 – **Scuole**: modelli e curve di fragilità per l'edilizia scolastica (S. Cattari, A. Masi)
- Task 4.8 – **Chiese**: danni osservati, inventario e dati di vulnerabilità (C. Calderini, G. De Matteis)
- Task 4.9 – **Ponti**: classificazione e modelli di fragilità (A. Prota)
- Task 4.10 – Supporto ad EUCENTRE per lo sviluppo delle **piattaforme**: IRMA v2, IRMA Scuole, IRMA Chiese, DaDO Chiese (S. Lagomarsino, A. Masi)
- Task 4.11 – **Aggiornamento delle mappe di rischio** (S. Lagomarsino, A. Masi)

26 Unità partecipanti:

UniBAS (Masi), UniGEa (Lagomarsino), PoliMI (Paolucci), UniPM (Gara), UniCAM (Dall'Asta), UniGEb (Cattari), UniCamp (De Matteis), UniCH (Brando/Camata), UniNAa (Verderame), UniNAb (Prota/Di Ludovico/Polese), UniNAc (Casapulla), UniNAd (Parisi), UniNAe (Cascini), UniNAf (Zuccaro), UniParth (Ceroni), UniPD (da Porto), UniPG (Borri), UniPI (Salvatore), UniRM1a (Monti), UniRM1b (Sorrentino), UniPR (Belletti), UniSA (Martinelli), UniPV (Penna/Graziotti), UniTSa (Amadio), UniTSb (Gattesco), UniPA (Colajanni/Cavaleri), Eucentre (Borzi)

Task 4.1 – Esposizione (resp. Giulio Zuccaro)

- NRA 2018 – Tipologie ISTAT e modelli di vulnerabilità, calibrati sul danno a L'Aquila (2009) e in Irpinia (1980), usati su tutto il territorio nazionale
- CARTIS – Inventario delle tipologie edilizie esistenti
 - statistiche per ambiti territoriali: Regioni (20), Demografia (4), Altimetria (3)

DEMOGRAFIA: Comuni piccoli (<2.000), medio-piccoli (2.000-10.000), medio-grandi (10.000-50.000), grandi (>50.000)

ALTIMETRIA: pianura, collina, montagna ⇒ 20 x 4 x 3 = 240 ambiti

Sub-tipologie per edifici in MURATURA ⇒ x 7 epoche = 1680

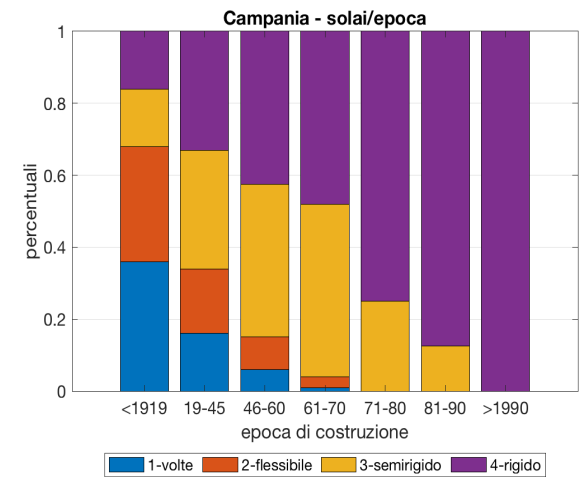
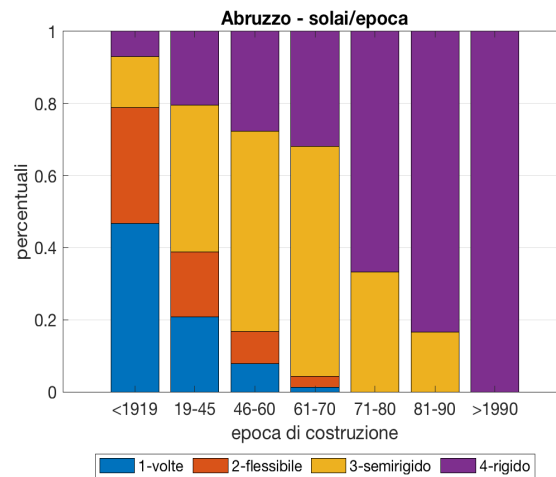
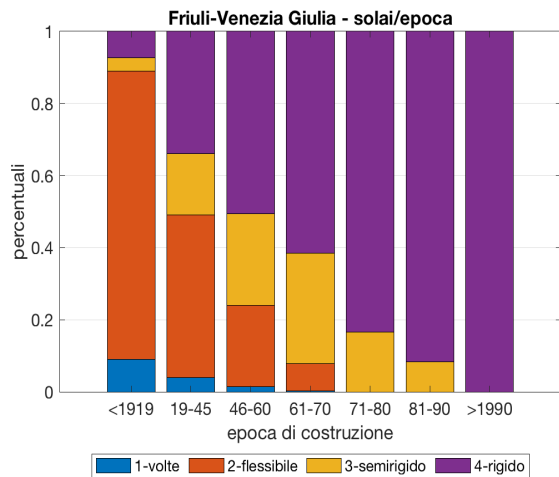
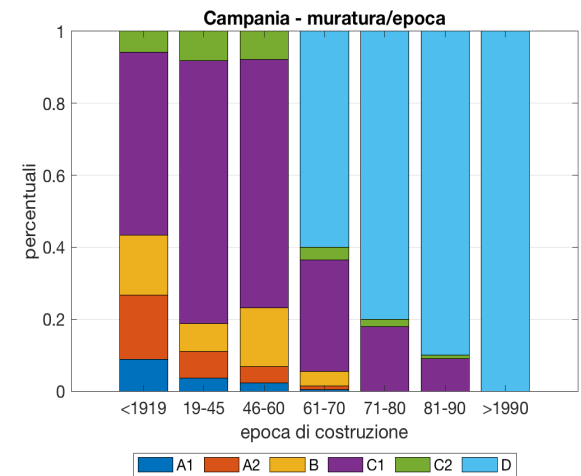
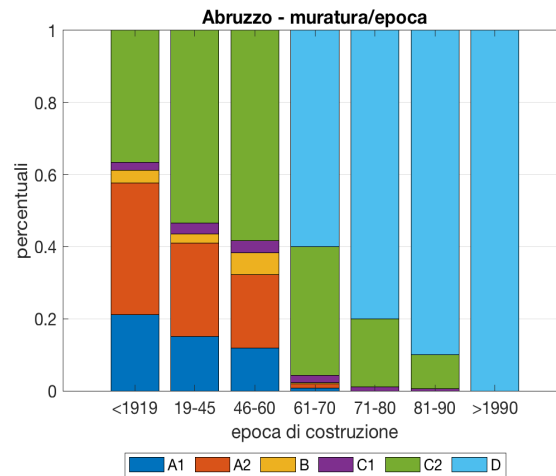
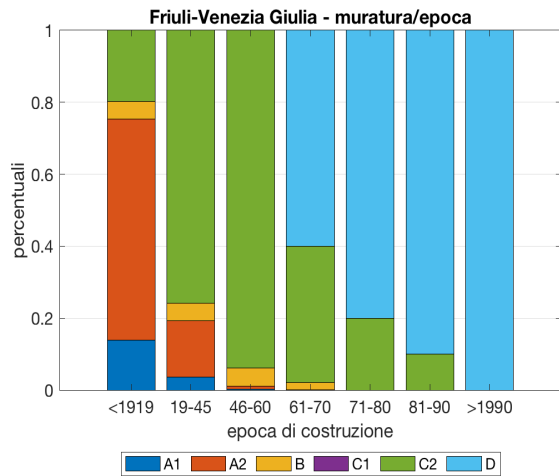
PARETI: A1 - pietra arrotondata, A2 - pietra grezza, B1 - pietra lastriforme, B2 - pietra pseudo-regolare, C1 - pietra squadrata, C2 – mattoni

SOLAI: volte, flessibile, semi-rigido, rigido

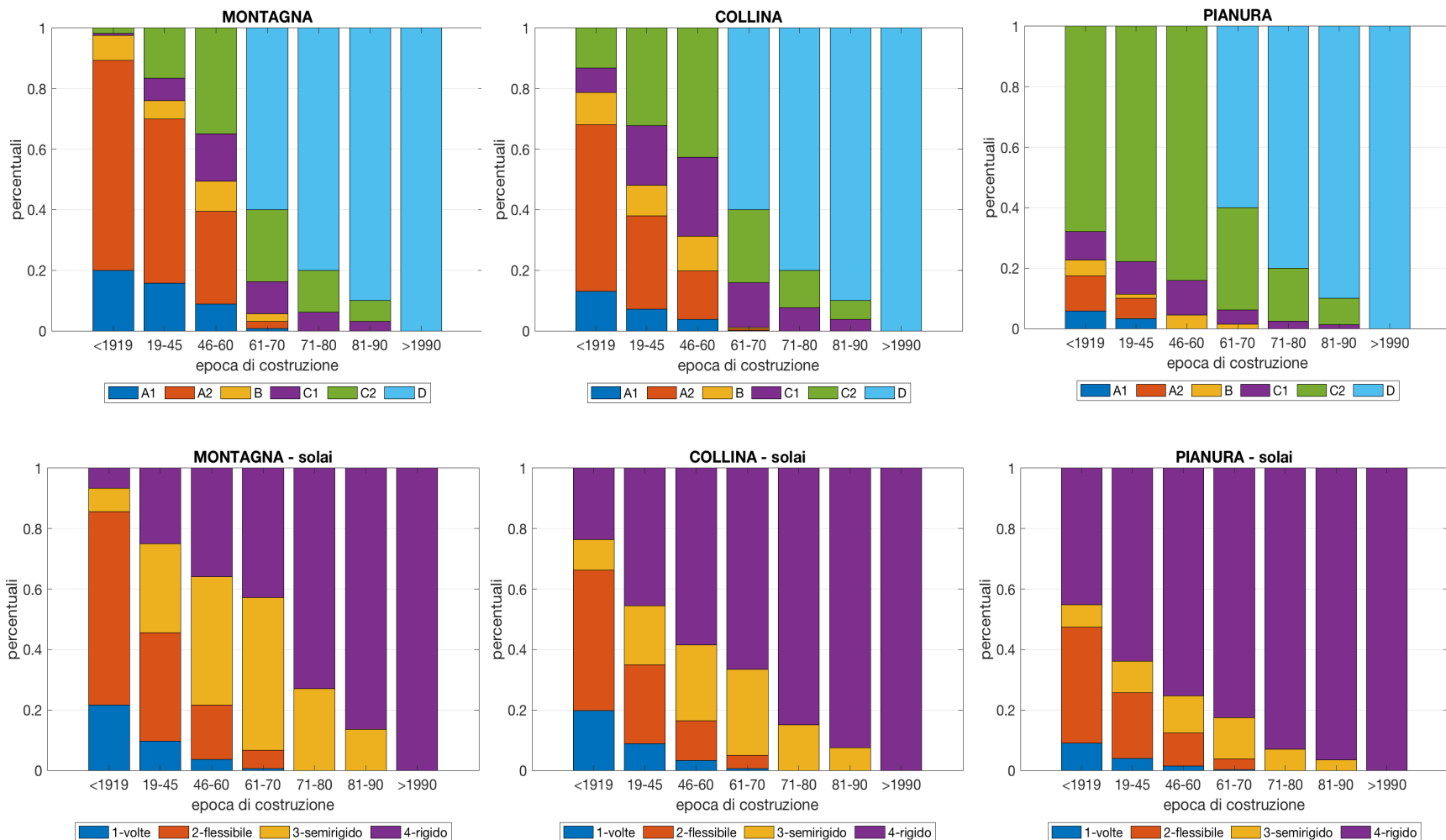
masonry	A1	A2	B	C1	C2	D1	D2
floors							
masonry vaults	A1/v	A2/v	B/v	C1/v	C2/v	-	-
flexible	A1/f	A2/f	B/f	C1/f	C2/f	-	-
stiff	A1/s	A2/s	B/s	C1/s	C2/s	D1/s	D2/s
rigid	A1/r	A2/r	B/r	C1/r	C2/r	D1/r	D2/r

construction age	<1960	all ages	>1945
------------------	-------	----------	-------

Evoluzione con l'epoca delle tipologie di muratura e solai - Regioni



Evoluzione con l'epoca delle tipologie di muratura e solai - Altimetria

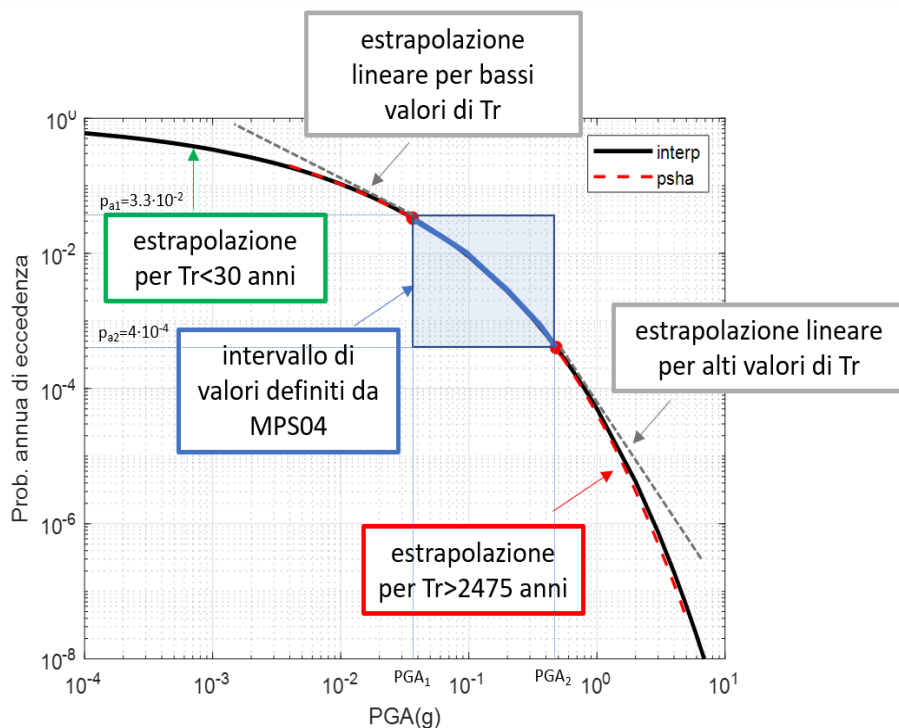


Task 4.2 – Pericolosità (resp. Roberto Paolucci)

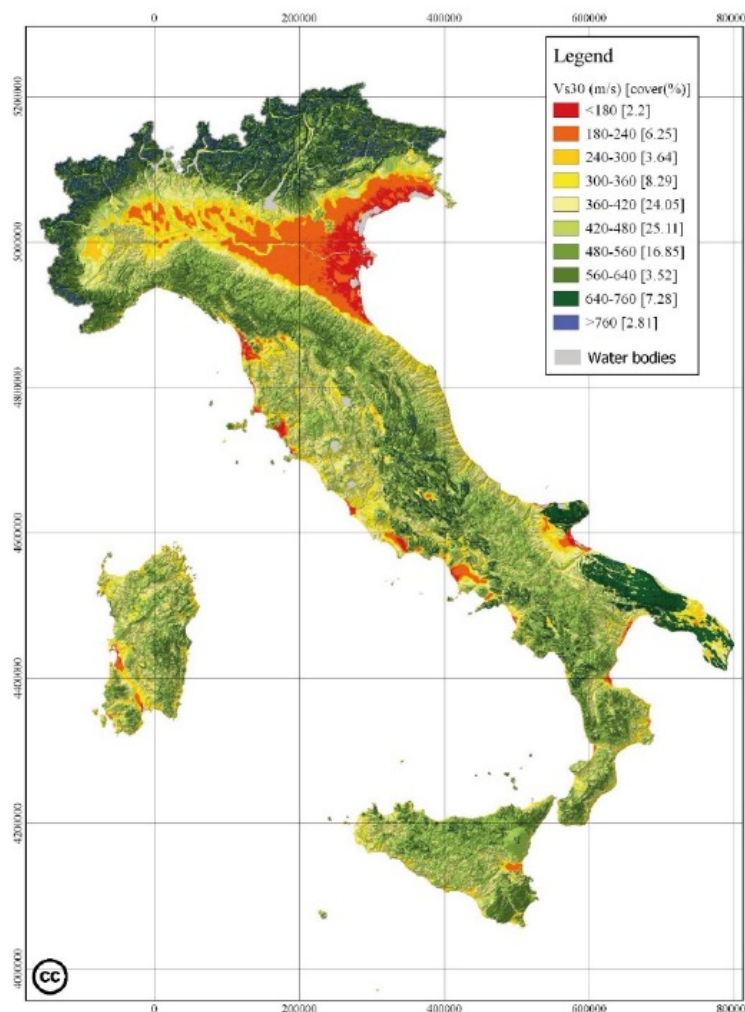
Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria
del Consiglio Nazionale della Ricerca, CNR-IGAG

Estrapolazione delle curve di pericolosità per bassi e lunghi periodi di ritorno

Il rischio è calcolato nell'intervallo tra 0.03g e 1g, con probabilità di occorrenza molto diverse nelle aree a diversa classificazione sismica.



Mappa V_{s30} su griglia 50x50m



Task 4.3 – Vulnerabilità (resp. Lagomarsino/Masi)

Il costruito residenziale diffuso è classificato attraverso le tipologie ISTAT:

- Muratura / Cemento Armato
- Epoca di costruzione: <1919, 19-45, 46-60, 61-70, 71-80, 81-90, 91-00, >2000
- Numero di piani: 1, 2, 3, 4+

La piattaforma IRMA attribuisce le curve di fragilità alle tipologie ISTAT come combinazione di curve di fragilità assegnate alle Classi di Vulnerabilità EMS. La EMS98 esprime la relazione tra intensità macrosismica e danno (5 livelli).

Type of Structure	Vulnerability Class					
	A	B	C	D	E	F
MASONRY	○					
	○	○				
	○	○				
	○	○	○	○		
	○	○	○	○	○	
	○	○	○	○	○	○
	○	○	○	○	○	○

Edifici di tipologia diversa possono mostrare la stessa fragilità, ovvero danni simili

Edifici della stessa tipologia possono mostrare diversa vulnerabilità



D_k/I	$k = 0$	$k = 1$ (negligible to slight)	$k = 2$ (moderate)	$k = 3$ (substantial to heavy)	$k = 4$ (very heavy)	$k = 5$ (destruction)
5		Few A or B				
6		Many A or B, Few C	Few A or B			
7			Many B, Few C	Many A, Few B	Few A	
8			Many C, Few D	Many B, Few C	Many A, Few B	Few A
9			Many D, Few E	Many C, Few D	Many B, Few C	Many A, Few B
10			Many E, Few F	Many D, Few E	Many C, Few D	Most A, Many B, Few C
11			Many F	Many E, Few F	Most C, Many D, Few E	Most B, Many C, Few D
12						All A or B, Nearly All C, Most D or E or F

Task 4.3 – Curve di fragilità e classi di vulnerabilità

Il costruito residenziale diffuso è classificato attraverso le tipologie ISTAT:

- Muratura / Cemento Armato
- Epoca di costruzione: <1919, 19-45, 46-60, 61-70, 71-80, 81-90, 91-00, >2000
- Numero di piani: 1, 2, 3, 4+

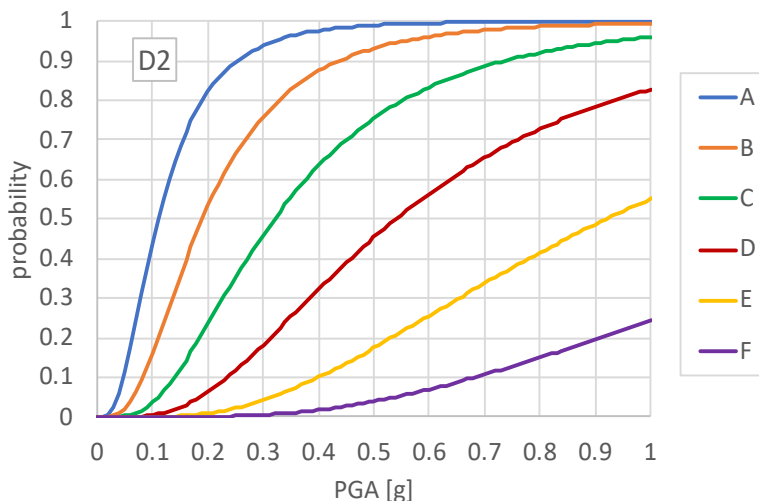
La piattaforma IRMA attribuisce le curve di fragilità alle tipologie ISTAT come combinazione di curve di fragilità assegnate alle Classi di Vulnerabilità EMS.

Curve di fragilità per Classi EMS (metrica della vulnerabilità): PGA_{Dk} e β_{Dk} .

La pendenza delle curve è legata a β , la distanza tra i livelli di danno è la duttilità.

Valori medi della PGA per il livello di danno DL2 (PGA_{D2}).

EMS class	A	B	C	D	E	F
PGA_{D2} [g]	0.11	0.20	0.36	0.64	1.16	2.09



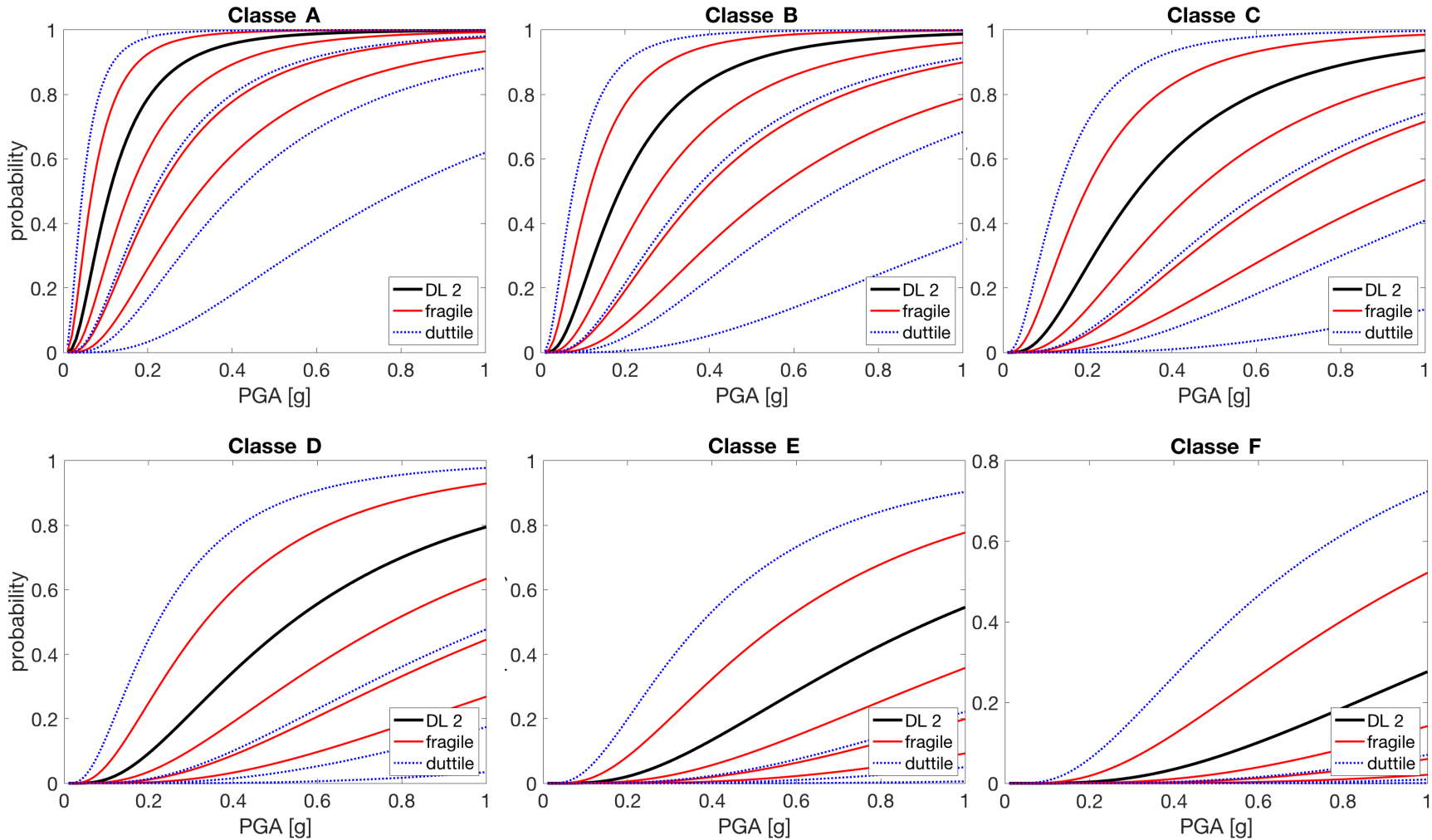
$$PGA_{Dk} = PGA_{D2} e^{\alpha(k-2)}$$

CA - $k=0.65$
MUR - $k=1$

CA		PGA_{Dk}/PGA_{D2}				
EMS Class	α	D1	D2	D3	D4	D5
brittle	0.40	0.57	1	1.49	2.22	3.32
ductile	0.67	0.39	1	1.95	3.82	7.46

MUR		PGA_{Dk}/PGA_{D2}				
EMS Class	α	D1	D2	D3	D4	D5
brittle	0.40	0.67	1	1.49	2.22	3.32
ductile	0.67	0.51	1	1.95	3.82	7.46

CURVE DI FRAGILITÀ DELLE CLASSI DI VULNERABILITÀ EMS



Il costruito residenziale diffuso è classificato attraverso le tipologie ISTAT:

- Muratura / Cemento Armato
- Epoca di costruzione: <1919, 19-45, 46-60, 61-70, 71-80, 81-90, 91-00, >2000
- Numero di piani: 1, 2, 3, 4+

Le curve di fragilità sono assegnate alle tipologie ISTAT come combinazione delle curve di fragilità assegnate alle Classi di Vulnerabilità EMS (fragili e duttili). Ciò consente di confrontare e combinare i modelli proposti da ciascuna UR.

Materiale	Epoca	Piani	% Classe Af	% Classe Bf	% Classe Cf	% Classe Df	% Classe Ef	% Classe Ff	% Classe Ad	% Classe Bd	% Classe Cd	% Classe Dd	% Classe Ed	% Classe Fd
muratura	<1919	1	30%	30%					20%	20%				
muratura	<1919	2	35%	25%					25%	15%				
muratura	<1919	3	30%	20%					30%	20%				
muratura	<1920	4+	40%	10%					40%	10%				
muratura	1919-1945	1	10%	50%					10%	30%				
muratura	1919-1945	2	25%	35%					15%	25%				
muratura	1919-1945	3	20%	30%					20%	30%				
muratura	1919-1945	4+	10%	40%					10%	40%				
muratura	1946-1960	1		30%	30%					20%	20%			
muratura	1946-1960	2		35%	25%					25%	15%			
muratura	1946-1960	3		30%	20%					30%	20%			
muratura	1946-1960	4+		40%	10%					40%	10%			
.....												
CA	1991-2000	1			10%	50%					10%	30%		
CA	1991-2000	2			25%	35%					15%	25%		
CA	1991-2000	3			20%	30%					20%	30%		
CA	1991-2000	4+			10%	40%					10%	40%		
CA - sismico	1991-2000	1			10%	30%	30%				10%	20%	20%	
CA - sismico	1991-2000	2			25%	35%	25%				15%	25%	15%	
CA - sismico	1991-2000	3			20%	30%	20%				20%	30%	20%	
CA - sismico	1991-2000	4+			10%	40%	10%				10%	40%	10%	
CA	>2000	1				10%	50%					10%	30%	
CA	>2000	2				25%	35%					15%	25%	
CA	>2000	3				20%	30%					20%	30%	
CA	>2000	4+				10%	40%					10%	40%	
CA - sismico	>2000	1					30%	30%					20%	20%
CA - sismico	>2000	2					35%	25%					25%	15%
CA - sismico	>2000	3					30%	20%					30%	20%
CA - sismico	>2000	4+					40%	10%					40%	10%

Task 4.3 – Modelli di fragilità sviluppati dalle UR

- Curve di fragilità sviluppate con approcci diversi
- Validazione con danno osservato DaDO: derivazione / calibrazione / confronto
- Conversione nella metrica MARS (percentuali di 2+2 classi EMS, duttile/fragile)

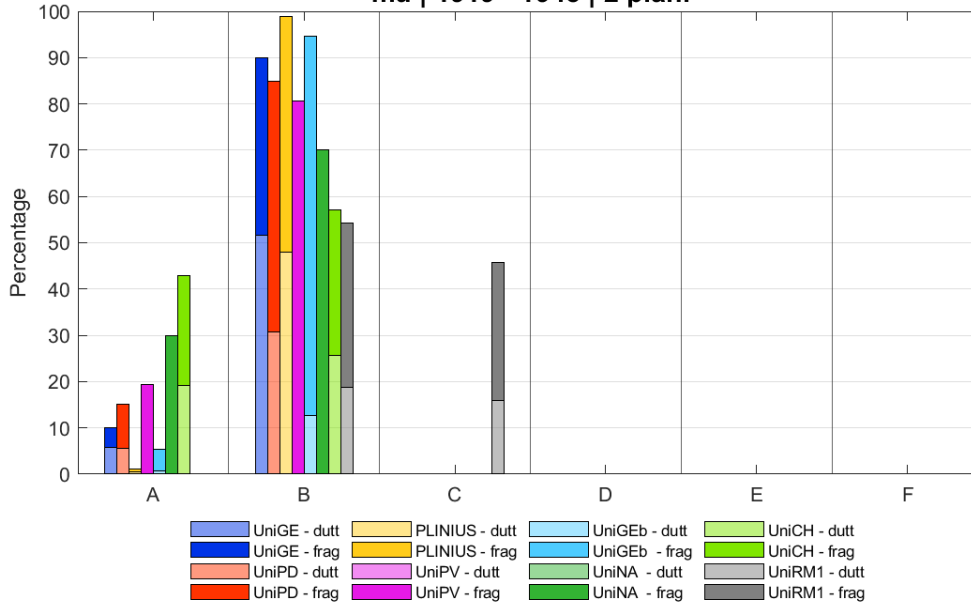
#	MURATURA	Responsabile	Metodo
1	UniGE	Lagomarsino	Euristico-macrosismico
2	UniPD	da Porto	Ibrido
3	PLINIUS	Zuccaro	Ibrido
4	UniPV	Penna	Empirico-osservazionale
5	UniGEb	Cattari	Meccanico-analitico
6	UniNAd	Parisi	Meccanico-numeric
7	UniCH	Brando	Euristico-macrosismico
8	UniRM1b	Sorrentino	Empirico-osservazionale

#	CA	Responsabile	metodo
1	UniGE	Lagomarsino	Euristico-macrosismico
2	UniBAS	Masi	Meccanico-numeric
3	EUCENTRE	Borzi	Meccanico-analitico
4	UniNA-PV (EA - EC)	Penna - Verderame	Empirico-osservazionale (approssimato - corretto)
5	UniNA	Verderame	Meccanico-analitico
6	UniPR-SA	Belletti - Martinelli	Meccanico-numeric
7	UniRM1a	Monti	Meccanico-numeric

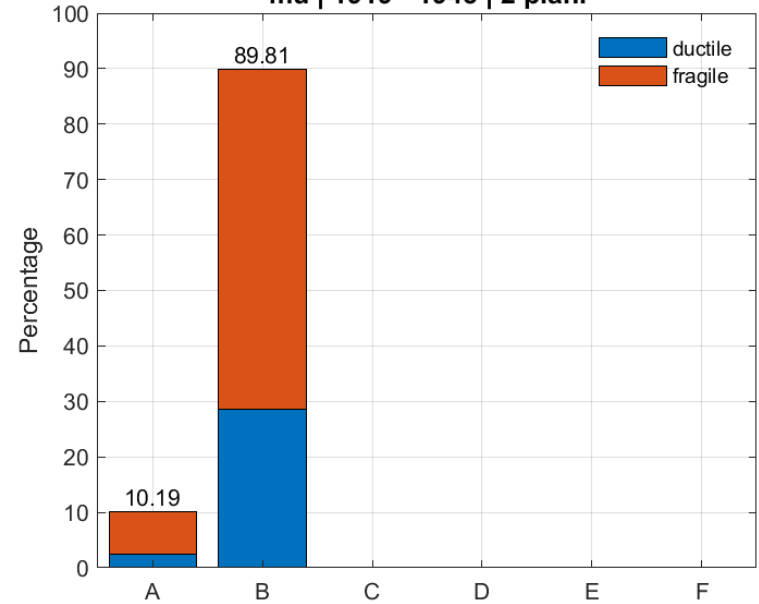
Modello di vulnerabilità MARS

MUR

mu | 1919 - 1945 | 2 piani

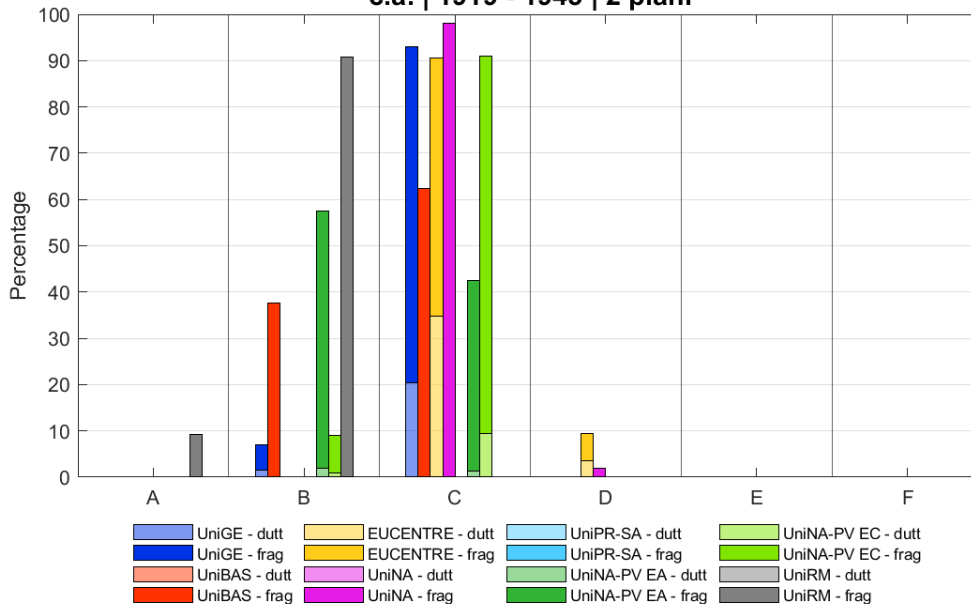


mu | 1919 - 1945 | 2 piani

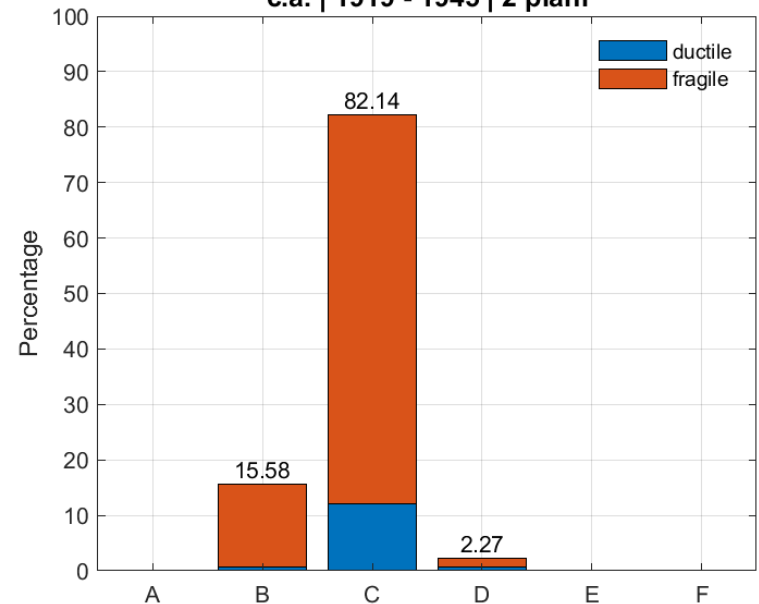


CA

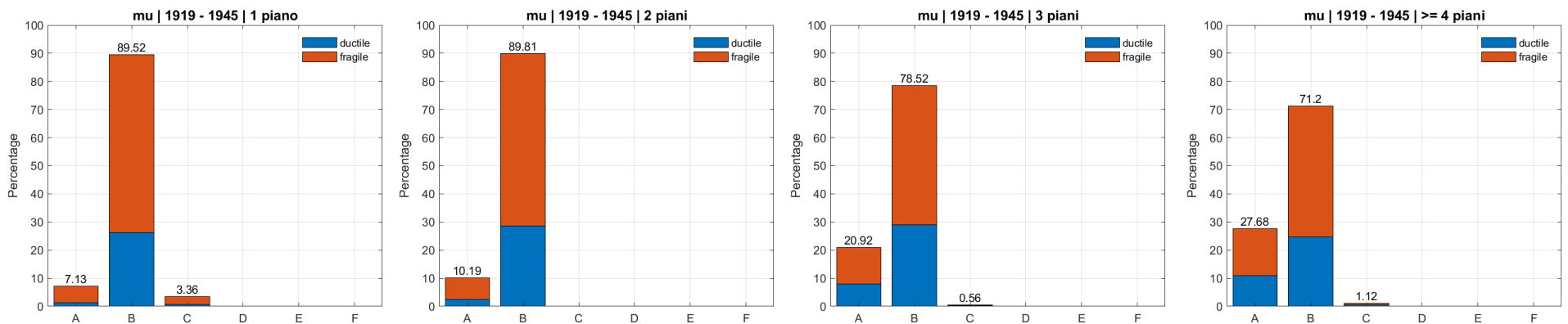
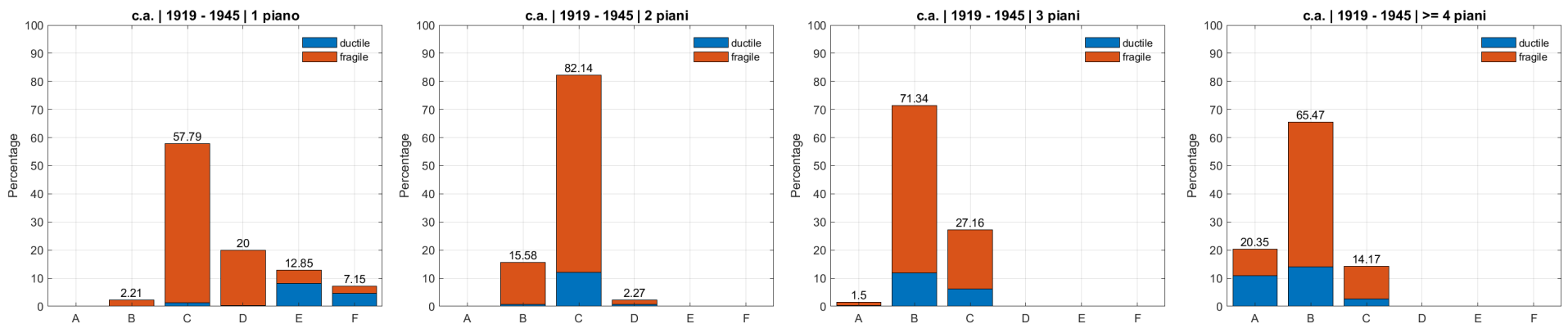
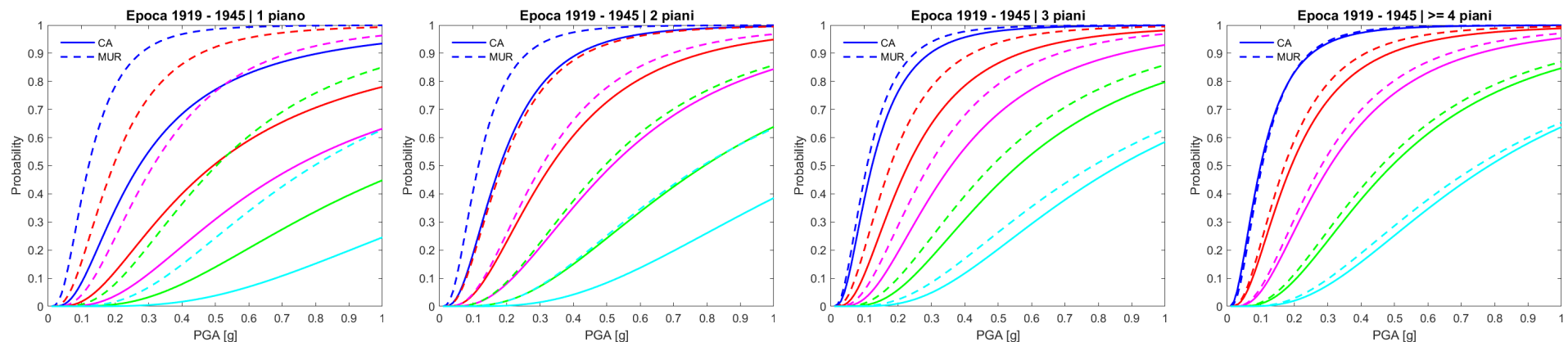
c.a. | 1919 - 1945 | 2 piani



c.a. | 1919 - 1945 | 2 piani

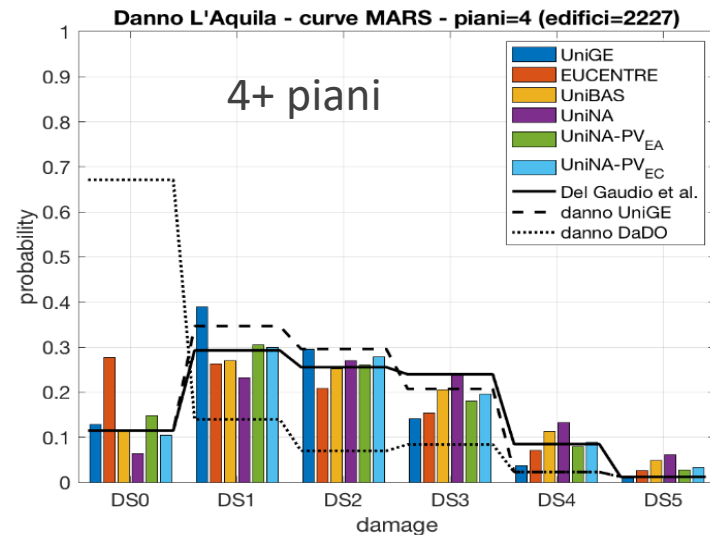
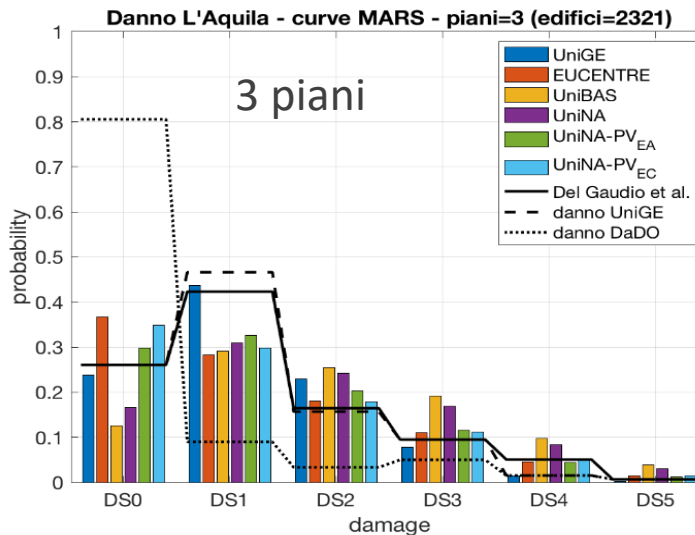
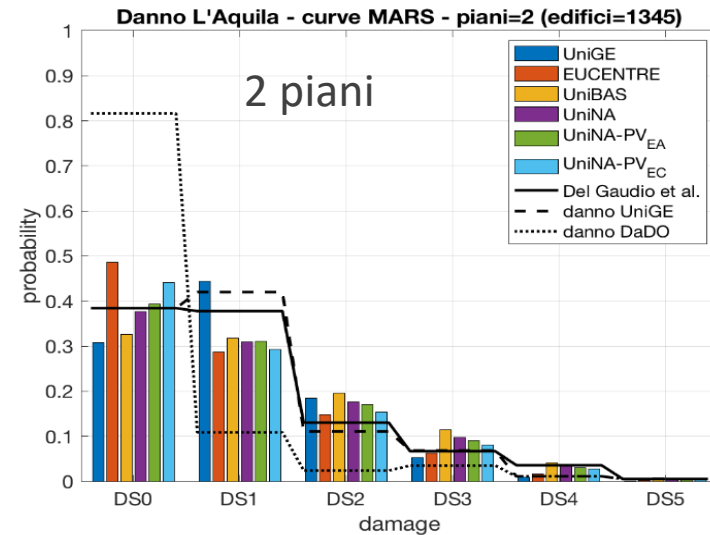
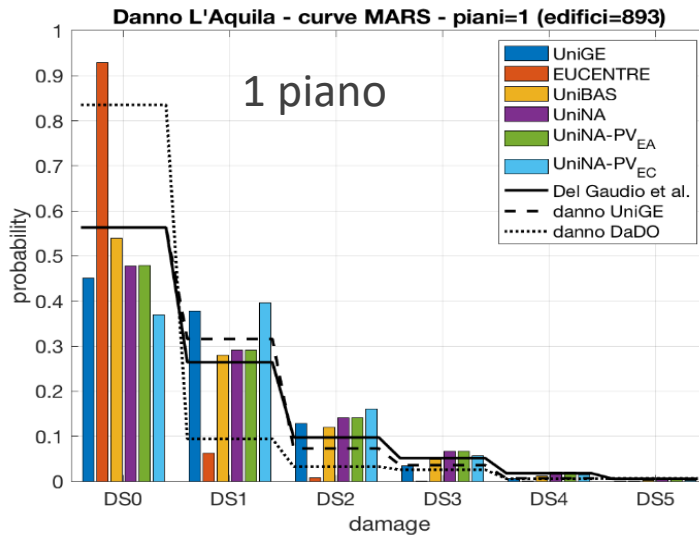


Confronto risultati finali Cemento Armato – Muratura | 1919 - 1945



CA

Valutazione del danno a L'Aquila (2009) al variare dei piani

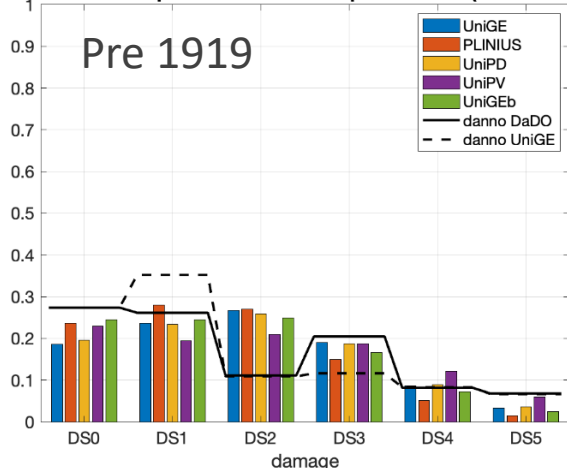


MUR

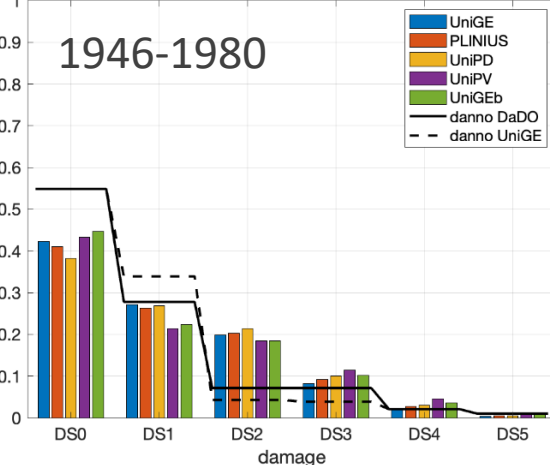
Valutazione del danno al variare dell'epoca di costruzione

fuori L'Aquila

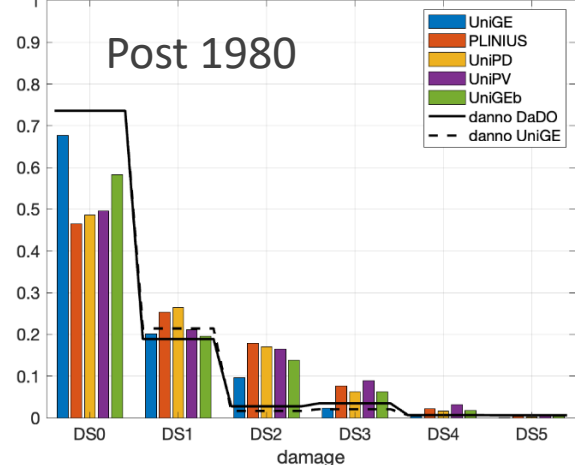
Danno fuori L'Aquila - curve MARS - epoca=Pre-19 (edifici=12830)



Danno fuori L'Aquila - curve MARS - epoca=46-80 (edifici=2216)

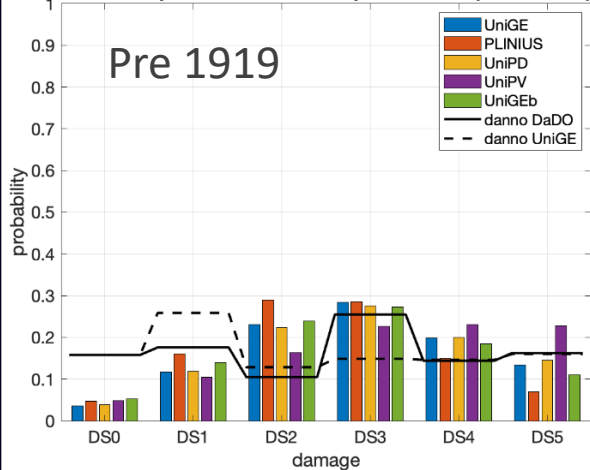


Danno fuori L'Aquila - curve MARS - epoca=Post-80 (edifici=2462)

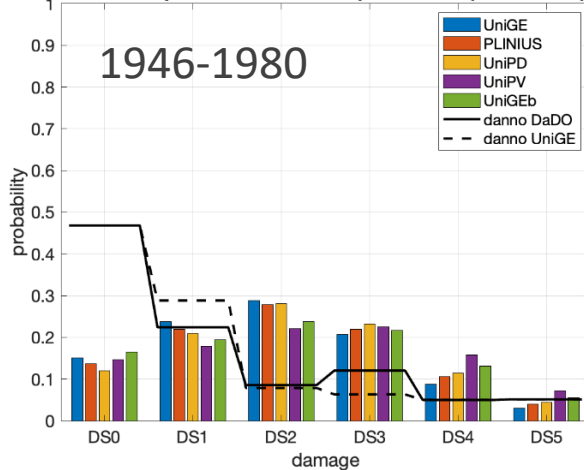


L'Aquila

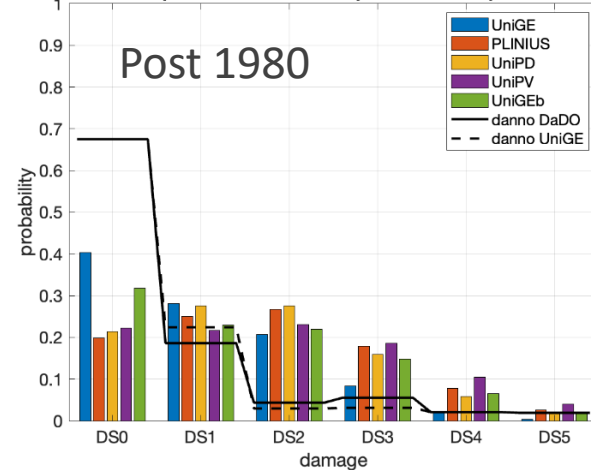
Danno L'Aquila - curve MARS - epoca=Pre-19 (edifici=5656)



Danno L'Aquila - curve MARS - epoca=46-80 (edifici=2605)



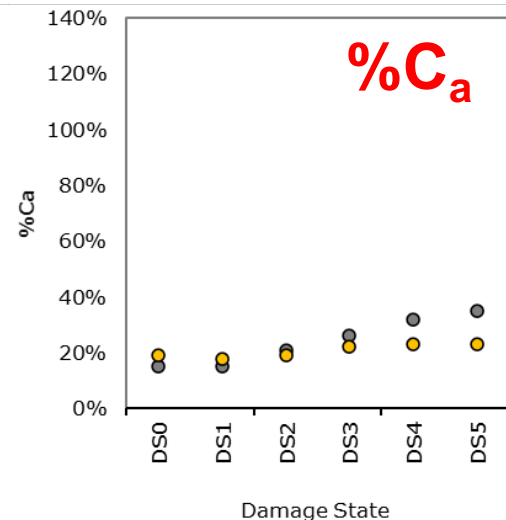
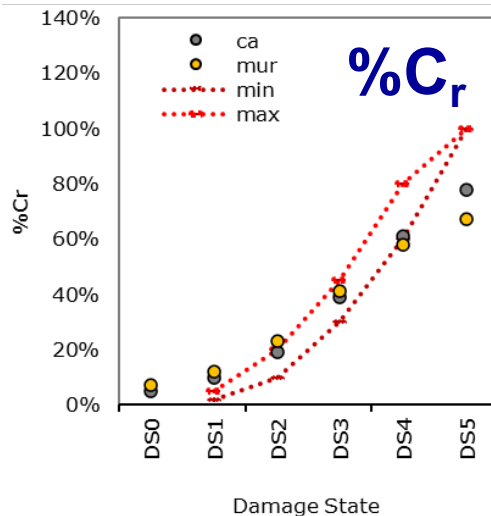
Danno L'Aquila - curve MARS - epoca=Post-80 (edifici=2975)



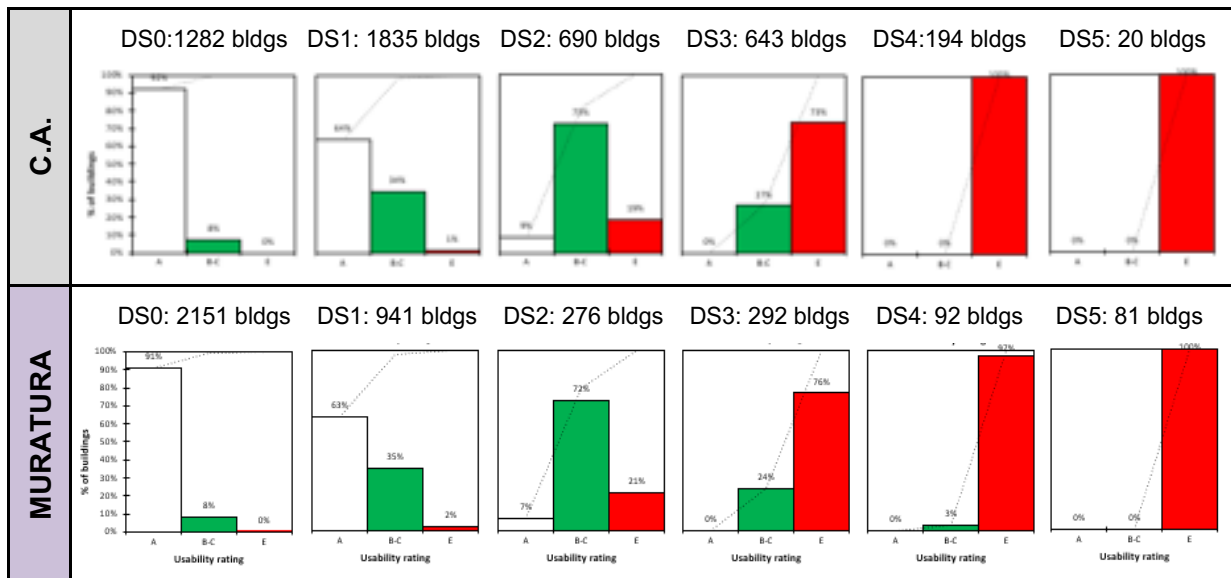
Libro bianco
sulla ricostruzione privata
fuori dai centri storici
nei comuni colpiti dal sisma
dell'Abruzzo del 6 aprile 2009

a cura di
Mauro Dolce
Gaetano Manfredi

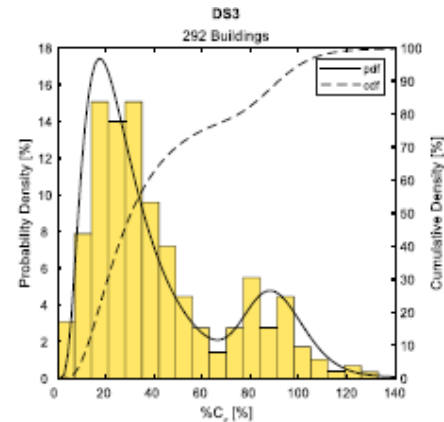
Costi di riparazione C_r e di assistenza alla popolazione C_a per i diversi livelli di danno (% costo di ricostruzione)



CASUALTIES AGIBILITÀ



Distribuzioni di C_r per ciascun livello di danno

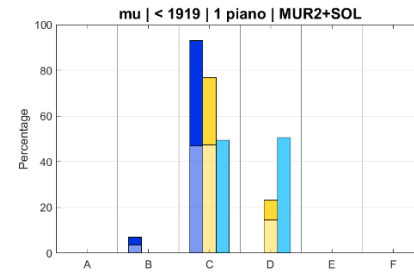
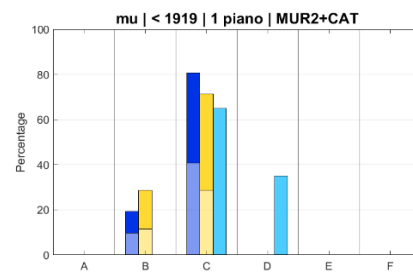
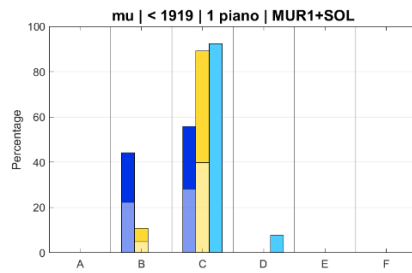
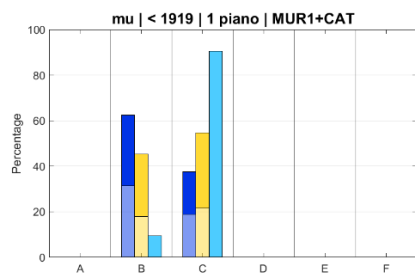
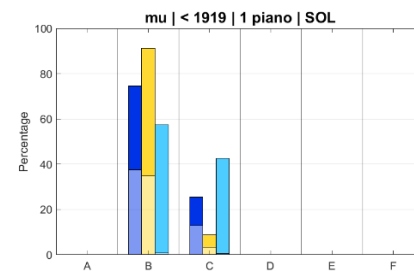
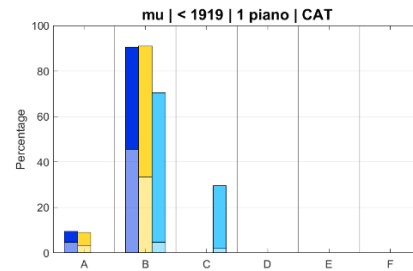
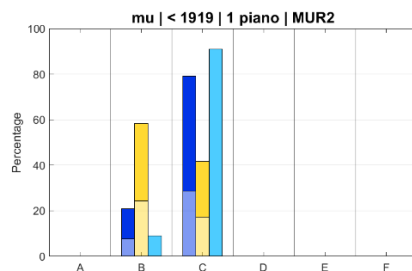
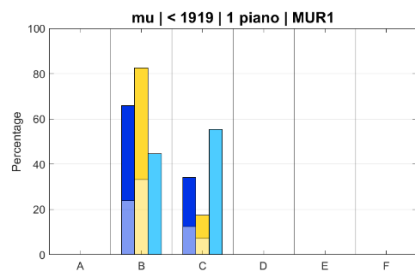
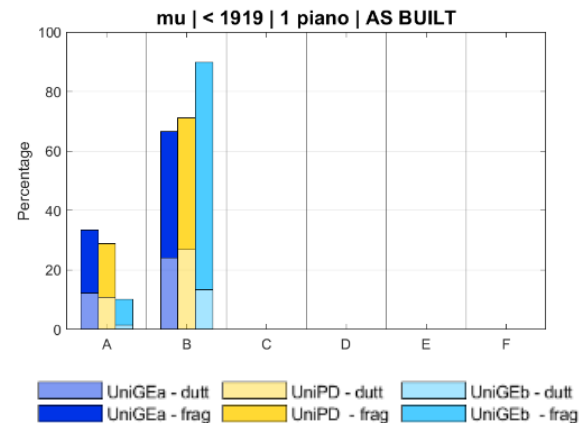


Interventi di consolidamento considerati

<i>Pre - 1945</i>	<i>Interventi singoli</i>	MUR1	Step 1	di rinforzo della muratura (pietra: iniezioni –	
		MUR2	Step 2	mattoni: intonaci armati/FRP-FRCM)	
		CAT		aggiunta di catene e tiranti	
		CORD		aggiunta dei cordoli	
		SOL		irrigidimento dei solai	
<i>Interventi combinati</i>	MUR1+CAT	Step 1 di rinforzo della muratura + aggiunta di catene			
	MUR1+SOL	Step 1 di rinforzo della muratura + irrigidimento dei solai			
	MUR2+CAT	Step 2 di rinforzo della muratura + aggiunta di catene			
	MUR2+SOL	Step 2 di rinforzo della muratura + irrigidimento dei solai			
<i>Post - 1945</i>	<i>Interventi singoli</i>	MUR		rinforzo della muratura (intonaci armati/FRP-FRCM)	
		CERCH		aggiunta di catene/cerchiature	
		SOL		irrigidimento dei solai	
	<i>Interventi combinati</i>	MUR+CERCH	rinforzo della muratura + aggiunta di catene/cerchiature		
		MUR+SOL	rinforzo della muratura + irrigidimento dei solai		

Modifica della classe EMS per ciascuna tipologia ISTAT, con i diversi interventi.

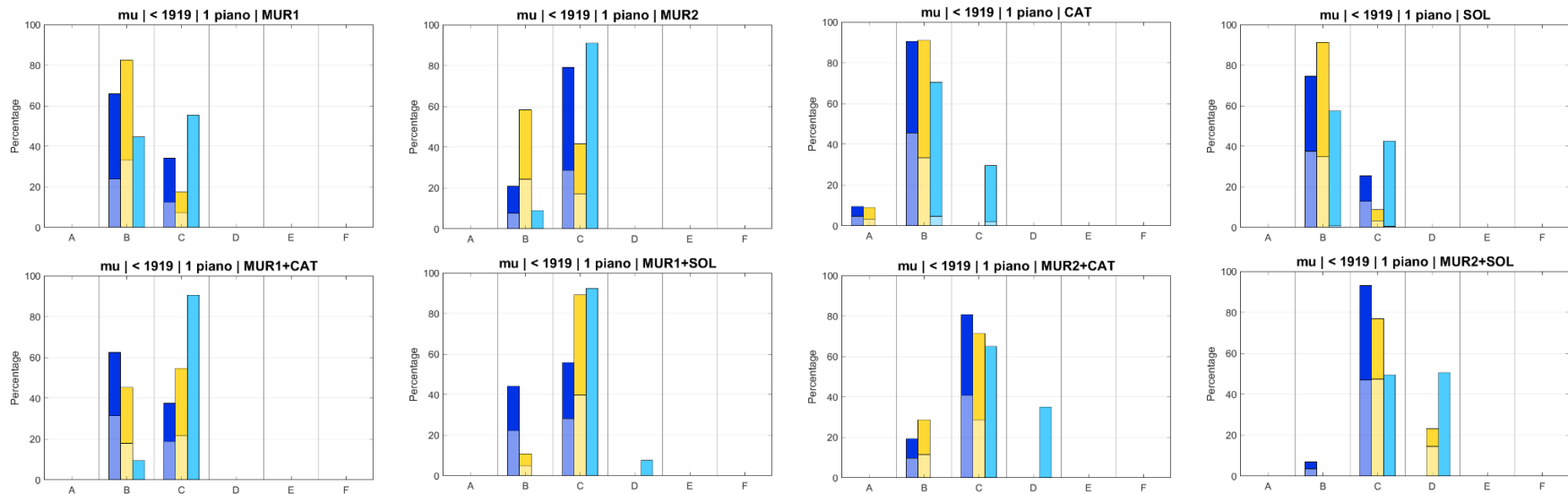
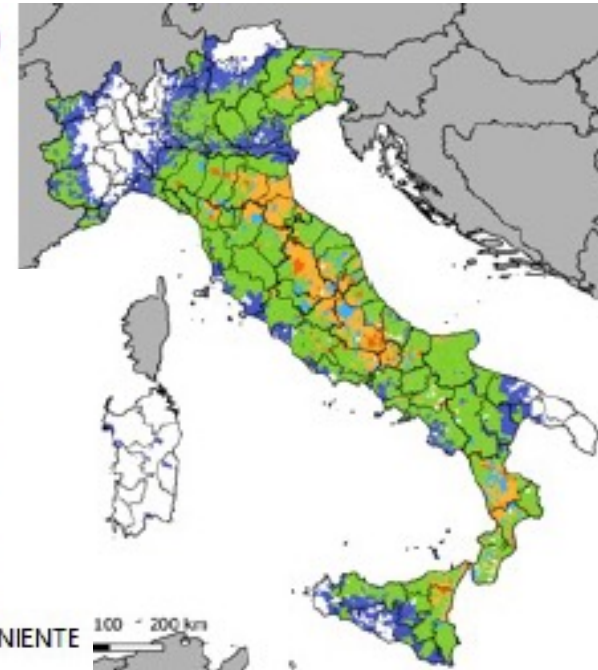
Confronto tra 3 diversi modelli.



Interventi di consolidamento considerati

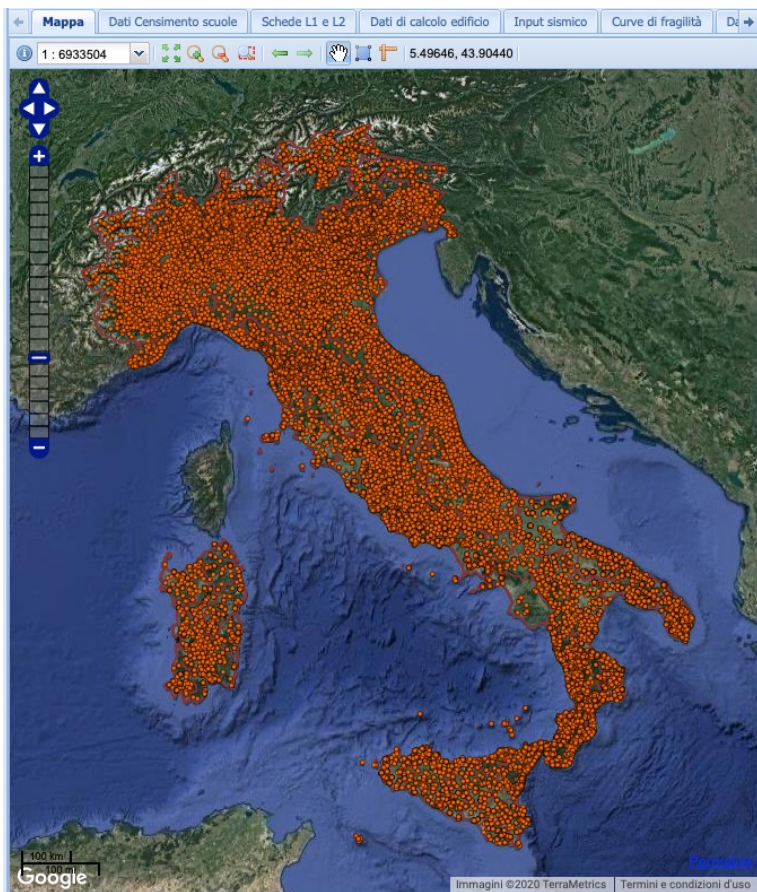
Pre - 1945			
<i>Interventi singoli</i>	MUR1	Step 1	di rinforzo della muratura (pietra: iniezioni – mattoni: intonaci armati/FRP-FRCM)
	MUR2	Step 2	
	CAT		aggiunta di catene e tiranti
	CORD		aggiunta dei cordoli
	SOL		irrigidimento dei solai
<i>Interventi combinati</i>	MUR1+CAT	Step 1 di rinforzo della muratura + aggiunta di catene	
	MUR1+SOL	Step 1 di rinforzo della muratura + irrigidimento dei solai	
	MUR2+CAT	Step 2 di rinforzo della muratura + aggiunta di catene	
	MUR2+SOL	Step 2 di rinforzo della muratura + irrigidimento dei solai	
Post - 1945			
<i>Interventi singoli</i>	MUR		rinforzo della muratura (intonaci armati/FRP-FRCM)
	CERCH		aggiunta di catene/cerchiature
	SOL		irrigidimento dei solai
<i>Interventi combinati</i>	MUR+CERCH		rinforzo della muratura + aggiunta di catene/cerchiature
	MUR+SOL		rinforzo della muratura + irrigidimento dei solai

Pre1919



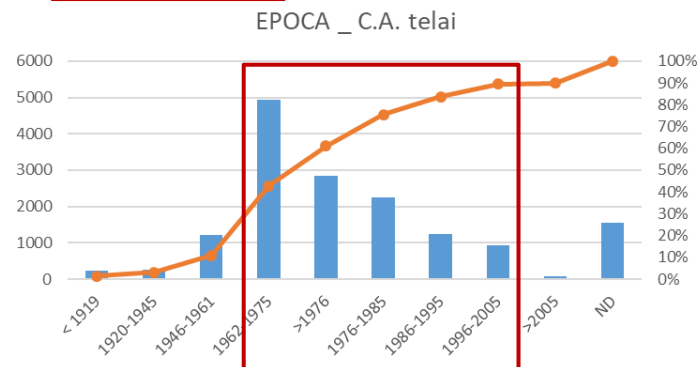
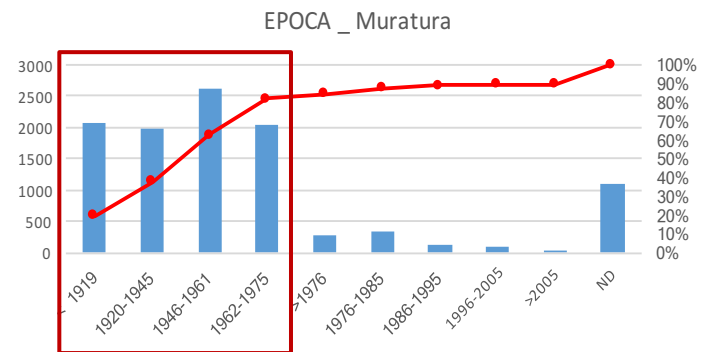
Mappa scuole presenti nella Anagrafe Edil. Scolastica del MIUR (DB AES, 2005)

49531 scuole implementate nella piattaforma IRMA sviluppata nel WP4 MARS da DPC e EUCENTRE



Parametri del DB AES 2005 che caratterizzano le scuole

- Tipologia strutturale (muratura e ca)
- Sistema strutturale (muratura: regolare e irregolare – ca: setti, pilastri e misto)
- Epoca di costruzione
- Numero di piani
- Area di piano
- Tipologia di solaio
- Tipologia di copertura



Task 4.7 – Valutazioni di rischio delle scuole

SCUOLE IN MURATURA (N. 10279)

Informazioni specifiche delle sub-tipologie su 8872 scuole

SCUOLE IN CEMENTO ARMATO (N. 15323)

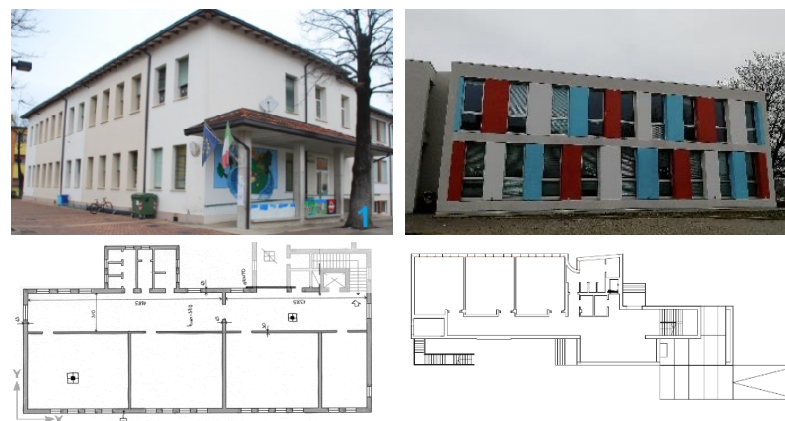
Informazioni specifiche delle sub-tipologie su 13187 scuole

	Regione	Tot scuole	Tip costruttiva	Epoca	N. piani	Area piano				
001	Piemonte	3233	2927	91%	2892	89%	2883	89%	2815	87%
002	Valle d'Aosta	159	130	82%	111	70%	112	70%	117	74%
003	Lombardia	7828	5819	74%	7037	90%	5455	70%	6064	77%
005	Veneto	3716	3630	98%	3238	87%	3615	97%	3619	97%
006	Friuli Venezia Giulia	1022	990	97%	983	96%	984	96%	952	93%
007	Liguria	867	837	97%	440	51%	838	97%	779	90%
008	Emilia Romagna	2993	306	10%	2689	90%	310	10%	278	9%
009	Toscana	2839	2392	84%	1879	66%	0	0%	2457	87%
010	Umbria	1085	462	43%	974	90%	458	42%	458	42%
011	Marche	1351	1272	94%	1329	98%	1260	93%	1234	91%
012	Lazio	4595	3299	72%	3962	86%	3284	71%	3286	72%
013	Abruzzo	1315	1263	96%	1263	96%	1253	95%	1219	93%
014	Molise	332	281	85%	324	98%	329	99%	302	91%
015	Campania	614	613	100%	488	79%	612	100%	592	96%
016	Puglia	4137	1909	46%	3422	83%	1860	45%	1834	44%
017	Basilicata	778	662	85%	711	91%	659	85%	643	83%
018	Calabria	5409	1499	28%	4494	83%	1895	35%	1801	33%
019	Sicilia	4261	4219	99%	4147	97%	4181	98%	4203	99%
020	Sardegna	1929	1645	85%	1794	93%	1631	85%	1667	86%
021	Trentino Alto Adige	888	0	0%	183	21%	366	41%	0	0%
	TOTALE	49351	34155	69%	42360	86%	31985	65%	34320	70%

Procedura per derivare CURVE DI FRAGILITÀ

ANALISI DEI DATI NELL'ANAGRAFE
DELL'EDILIZIA SCOLASTICA MIUR
(al 2005 – oggi implementato nella
piattaforma EUCENTRE)
+ analisi di DB disponibili nelle regioni

INDIVIDUAZIONE SUB-TIPOLOGIE DEFINIZIONE DI EDIFICI PROTOTIPO



SVILUPPO DI CURVE DI FRAGILITÀ
USO INTEGRATO DI DIVERSI APPROCCI
empirico – analitico sempl. e di dettaglio

Task 4.7 – Valutazioni di rischio delle scuole

MODELLI DISPONIBILI DALLE UR CON DIVERSI APPROCCI

CEMENTO ARMATO

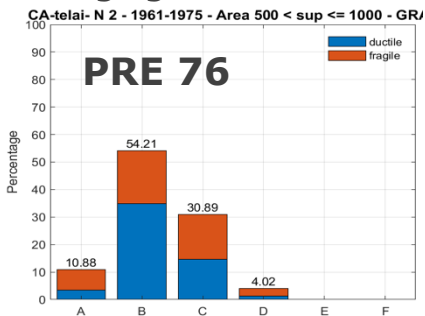
- UniGEa – Empirico macrosismico
 - UniNA – Empirico binomiale
 - EUCENTRE – Meccanico-analitico ibrido
 - UniNA – Meccanico-analitico ibrido
 - UniBAS
 - UniNA
 - UniCAM
 - UniPD
 - UniCAM – Empirico
- } Analisi dinamiche
nonlineari

MURATURA

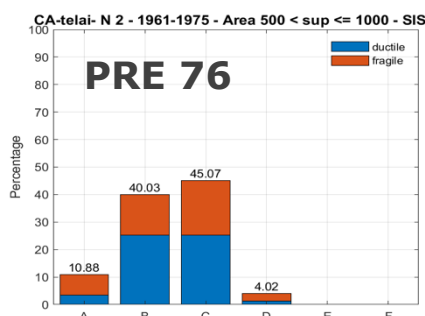
- UniGEa – Empirico macrosismico
- UniNA – Empirico binomiale
- UniGEb – Meccanico-analitico
- UniPD – Meccanico-analitico ibrido
- UniTS – Meccanico-analitico
- UniCAM – Empirico

Scuole in cemento armato

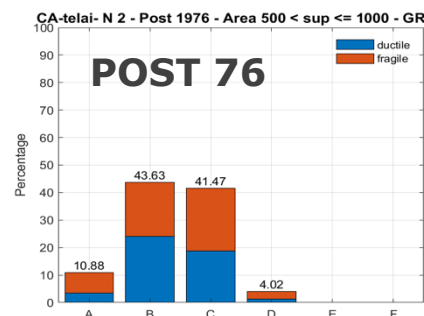
Prog. gravitazionale



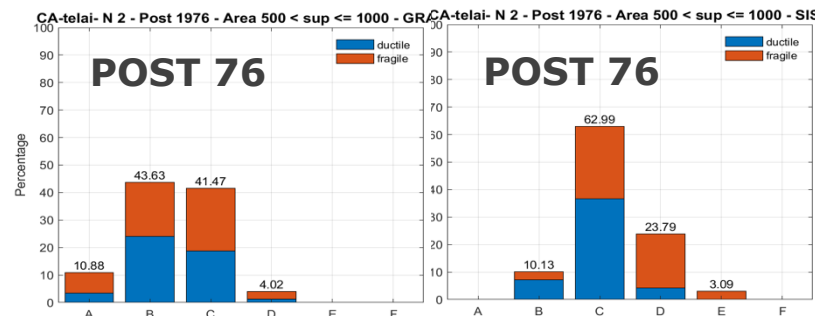
Prog. sismica



Prog. gravitazionale



Prog. sismica



Task 4.8 – Chiese (resp. Calderini / De Matteis)

CHIESE - peculiarità: 1) manufatti rilevanti dal punto vista culturale e sociale; 2) diffusi sul territorio; 3) comportamento tipizzabile (macroelementi)

DANNO OSSERVATO



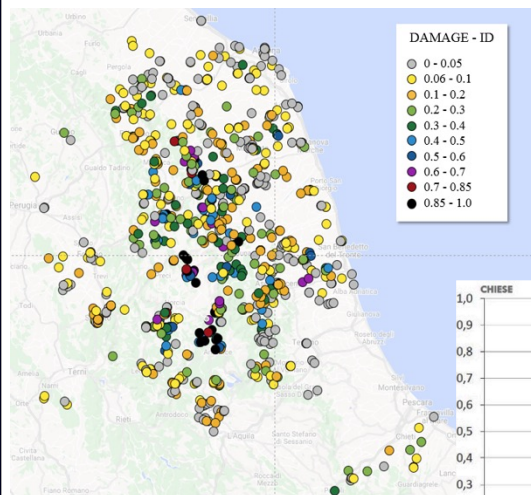
RISCHIO ATTESO

Piattaforma **DaDO Chiese**
(**D**atabase **D**anno **O**sservato)

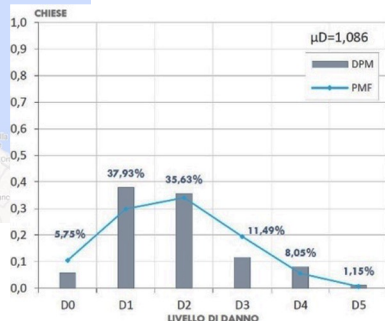
Raccolta, organizzazione e informatizzazione schede di danno nei terremoti passati

Piattaforma **IRMA Chiese**
(**I**talian **R**isk **M**aps)

Censimento e organizzazione dati di vulnerabilità ed esposizione delle chiese sul territorio nazionale



Terremoto	N° chiese per le quali sono disponibili dati di 1° livello
Umbria-Marche 1997	>3000 (1200+1800)**
Piemonte 2000	600
Molise 2002	296 ***
Piemonte 2003	
Brescia-Salò 2004	
L'Aquila 2009	241
Emilia 2012	233 (+155 Lombardia)
Centro Italia 2016-17	1135 (990+115+30)
Ischia 2017	27
TOTALE	5687



Ministero per i beni e le attività culturali



32000 chiese:

- Carta del rischio
- SIGEC
- Beni Tutelati

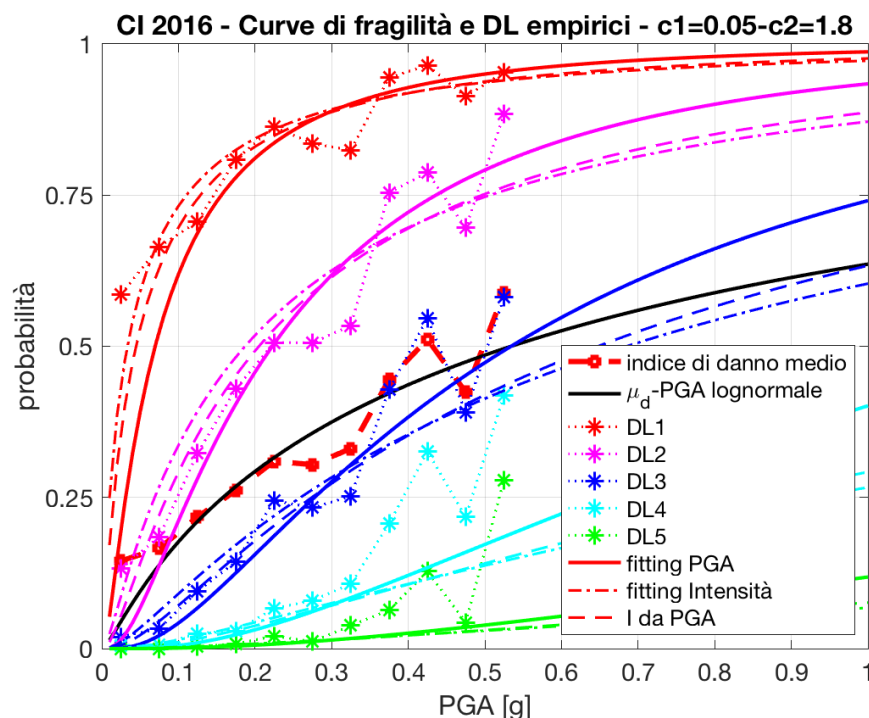
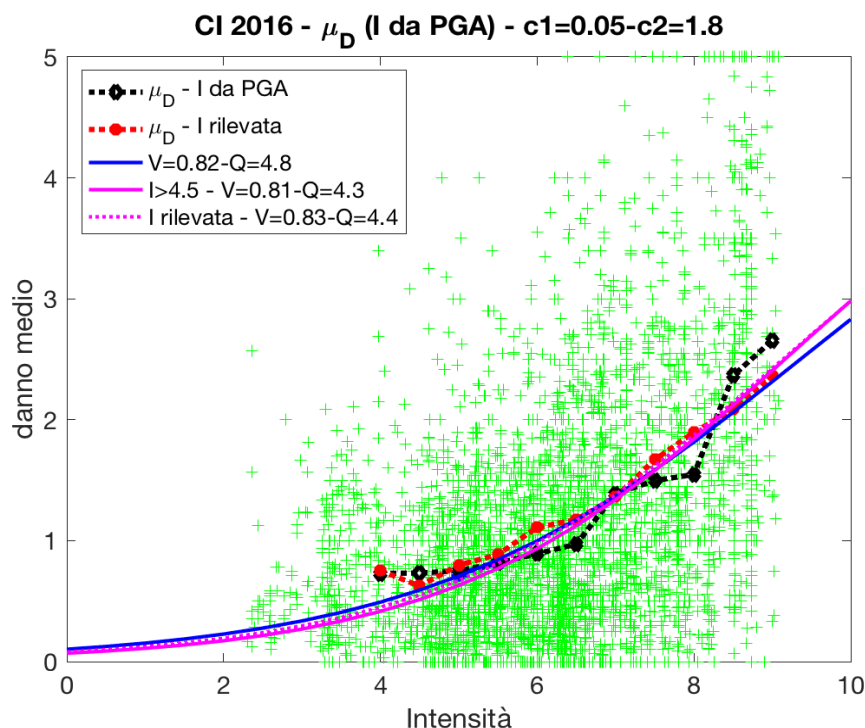
VINCOLI *in rete*

67013 chiese
schede dettagliate
(in forma testuale):
28945 chiese



Parametri di vulnerabilità: tipologia in pianta, epoca di costruzione, dimensioni, stato di manutenzione ⇒ **curve di fragilità sub-tipologie**

Derivazione di un modello di vulnerabilità macrosismico dai dati di danno del terremoto del Centro Italia (2016)



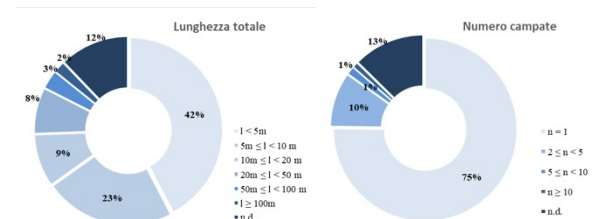
Usando I rilevata o PGA da shakemap si ottengono gli stessi parametri:
 $V=0.83$ (tra Classe A e B della EMS98) – $Q=4.4$ (in media per gli edifici è 2.5)

- Il confronto con i percentili empirici degli stati di danno è ottimo
- Il modello funziona meglio che negli edifici: misura del danno, qualità del rilievo

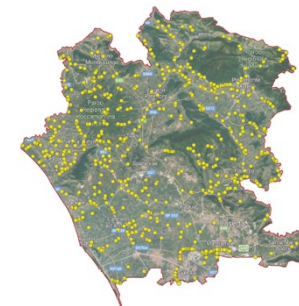
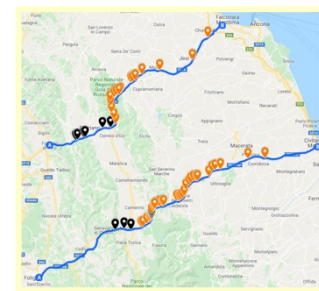
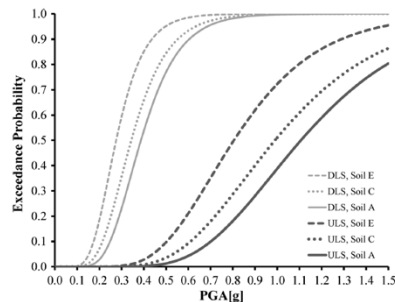
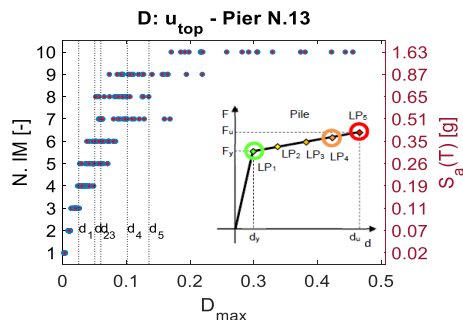
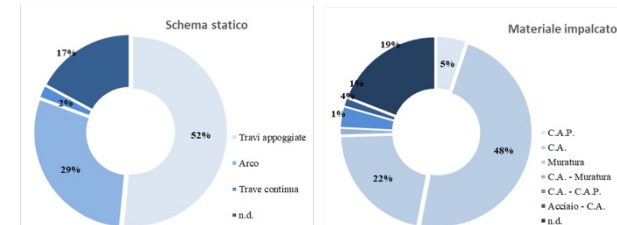
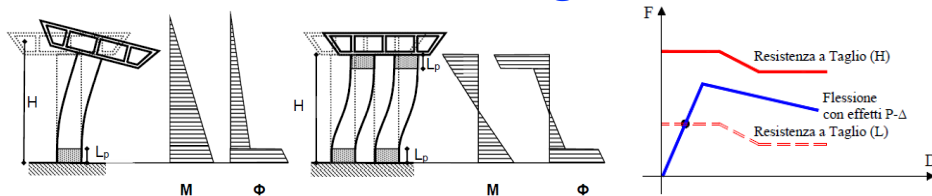
Classificazione tipologica

- Epoca costruttiva / normativa
- Schema statico e materiale impalcato
- Numero e lunghezza media campate

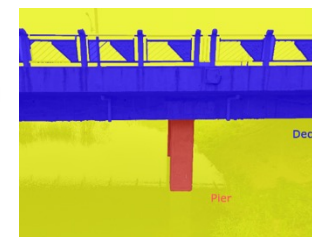
Censimento e statistica parametri



Derivazione curve di fragilità



Ispezioni e tecniche di acquisizione speditive



Perdite economiche e conseguenze attese - Edilizia residenziale

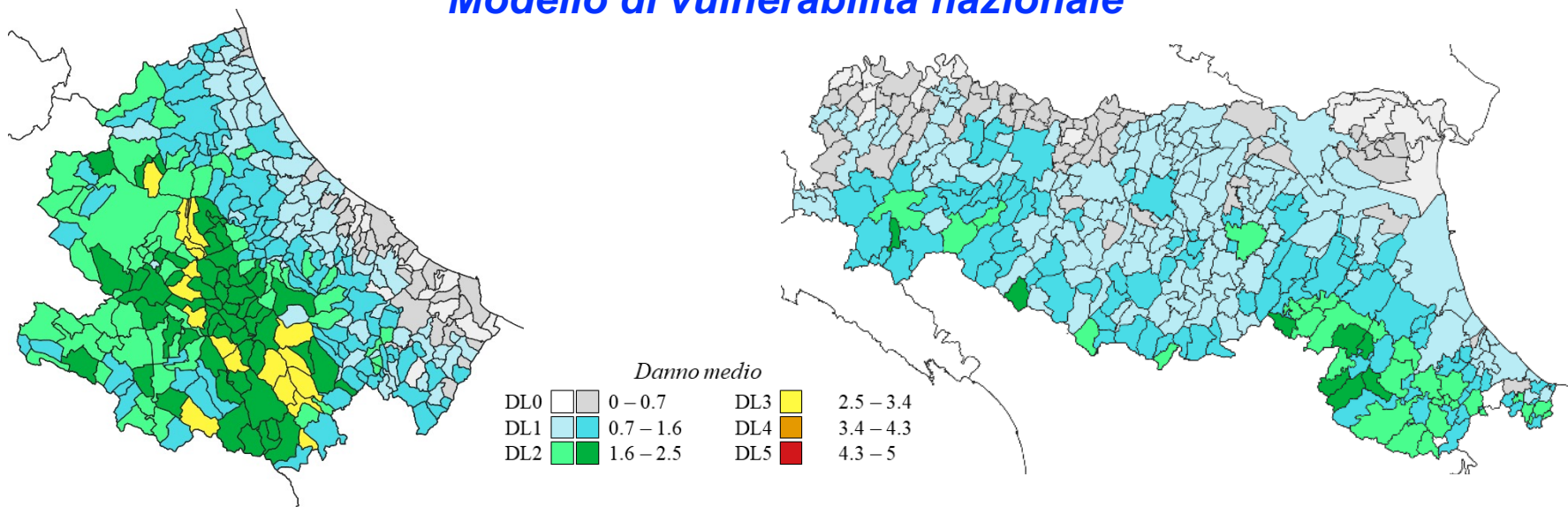
MURATURA

Modello	Morti	Feriti gravi	Perdite (M€)	Inagibili b.p.	Inagibili l.p.	Collassati
IRMA 2018 - Suolo A	341	1186	1.240 €	11804	8713	874
IRMA 2018 - Suolo B	532	1853	1.931 €	18347	13638	1348
MARS - Suolo B	303	1050	1.215 €	13871	8571	817
dispersione	0,37	0,36	0,16	0,10	0,21	0,40
Suoli (mappa CNR-IGAG)	375	1297	1.473 €	16584	10433	950
Esposizione	Popolazione		Superfici [m ²]	N. abitazioni		N. edifici
	26,7 Milioni		1127 10 ⁶	11,1 Milioni		7,9 Milioni

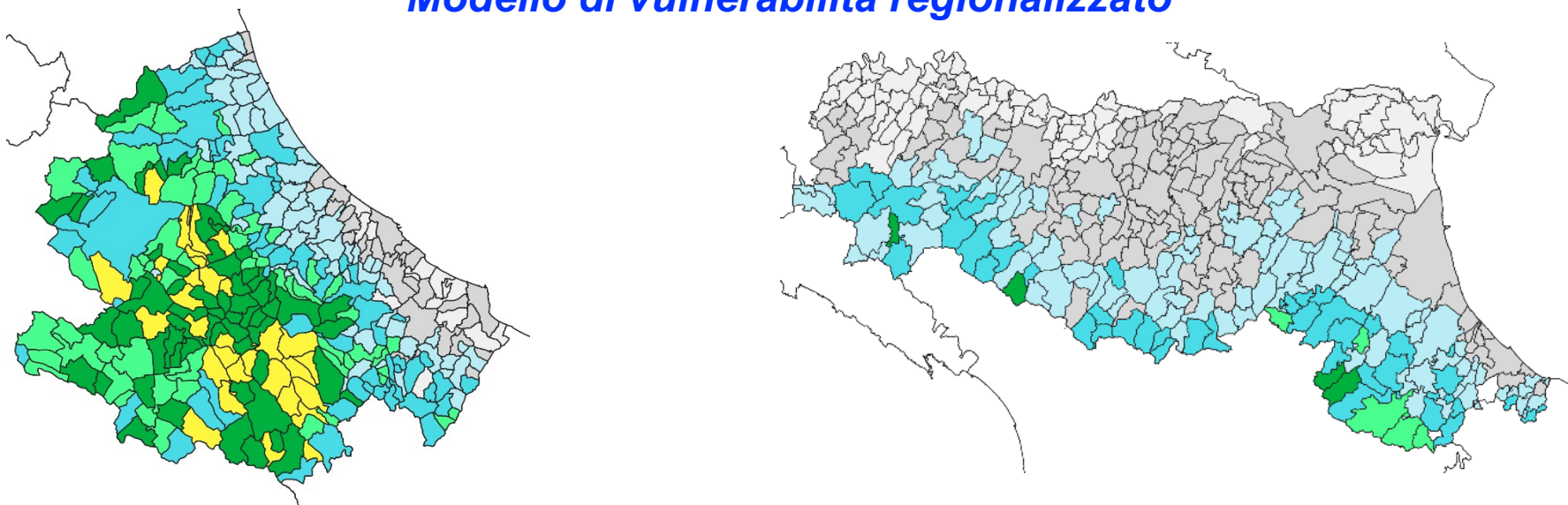
CEMENTO ARMATO

Modello	Morti	Feriti gravi	Perdite (M€)	Inagibili b.p.	Inagibili l.p.	Collassati
IRMA 2018 - Suolo A	130	429	523 €	5279,5	3150,5	107,5
IRMA 2018 - Suolo B	197	651	819 €	8352	5014	153,5
MARS - Suolo B	189	668	1.008 €	11500	6329	121
dispersione	0,77	0,75	0,38	0,36	0,53	0,80
Suoli (mappa CNR-IGAG)	247	870	1.253 €	14230	8075	152
Esposizione	Popolazione		Superfici [m ²]	N. abitazioni		N. edifici
	32 Milioni		1269 10 ⁶	12,9 Milioni		4,3 Milioni

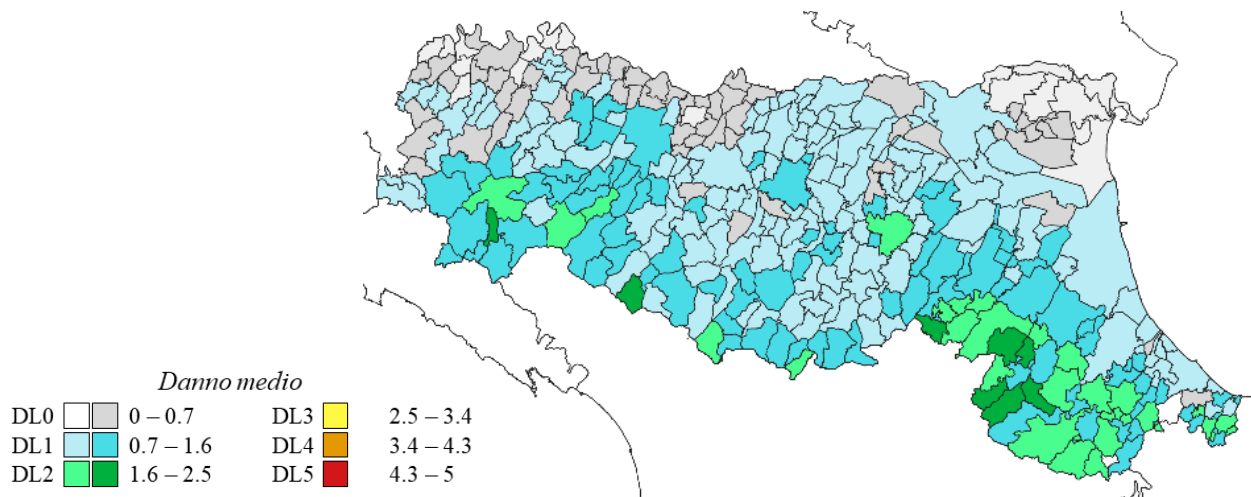
Modello di vulnerabilità nazionale



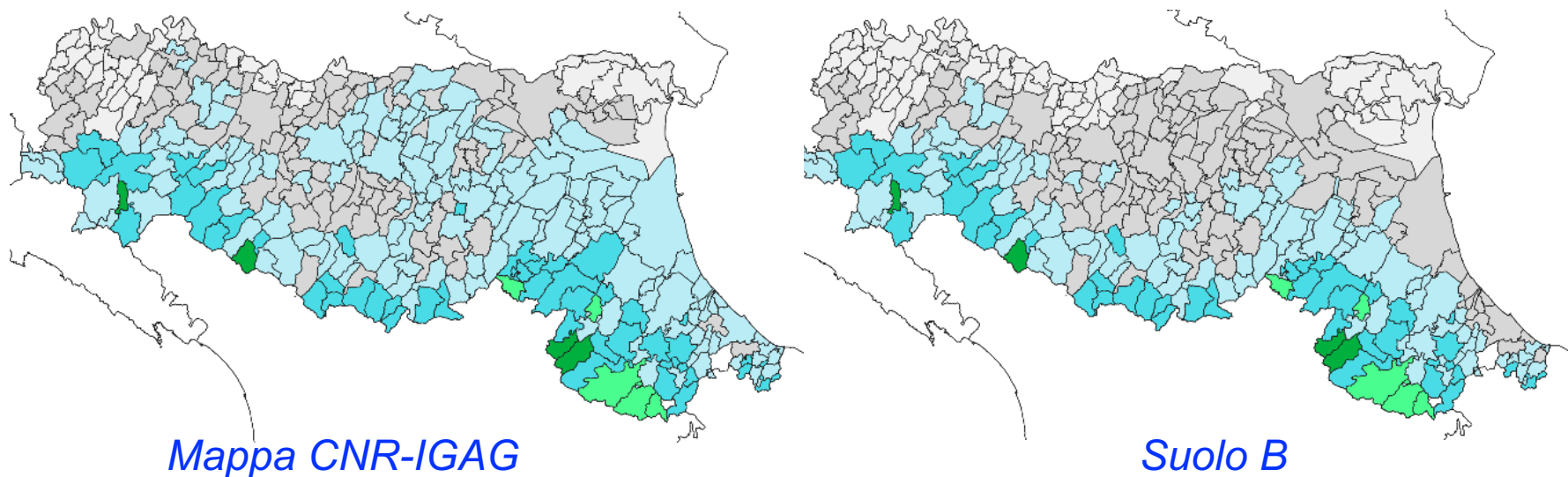
Modello di vulnerabilità regionalizzato



Modello di vulnerabilità nazionale



Modello di vulnerabilità regionalizzato



Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica e strutturale

PRODOTTI

Report e pubblicazioni scientifiche

- Mappe di rischio sismico dell'edilizia residenziale (a cura di S. Lagomarsino e A. Masi), Luglio 2022, Report di 190 pagine + 150 pagine di allegati
- Modelli e curve di fragilità per le scuole (a cura di S. Cattari e A. Masi), Giugno 2022, Report di 170 pagine + 147 pagine di allegati
- 23 articoli su rivista. - 54 articoli su atti di Conferenze Internazionali

Supporto allo sviluppo delle piattaforme

- IRMA v2
- IRMA Scuole
- IRMA Chiese – Da.D.O. Chiese

Sessioni speciali a conferenze internazionali

- 3ECEES, Fragility and loss functions for the risk assessment of residential and portfolio buildings: results of MARS project and other scientific contributions worldwide. Bucharest, 4-9 Settembre 2022
- COMPDYN 2021, Fragility curves for existing buildings: open challenges in definition and use for seismic risk analysis. Athens, 28-30 June 2021.