



Rete dei Laboratori Universitari
di Ingegneria Sismica e Strutturale



6 / 13
OTTOBRE
2024

#settimanadiPC

SCUOLA DI INGEGNERIA STRUTTURALE – RELUIS

Bologna, 9-11 ottobre 2024

IL RISCHIO SISMICO E LE AZIONI PER LA SUA MITIGAZIONE (Parte 1)

Angelo Masi

Ordinario di Tecnica delle Costruzioni, Università della Basilicata
(con la collaborazione di A. Digrisolo, V. Manfredi e G. Ventura)

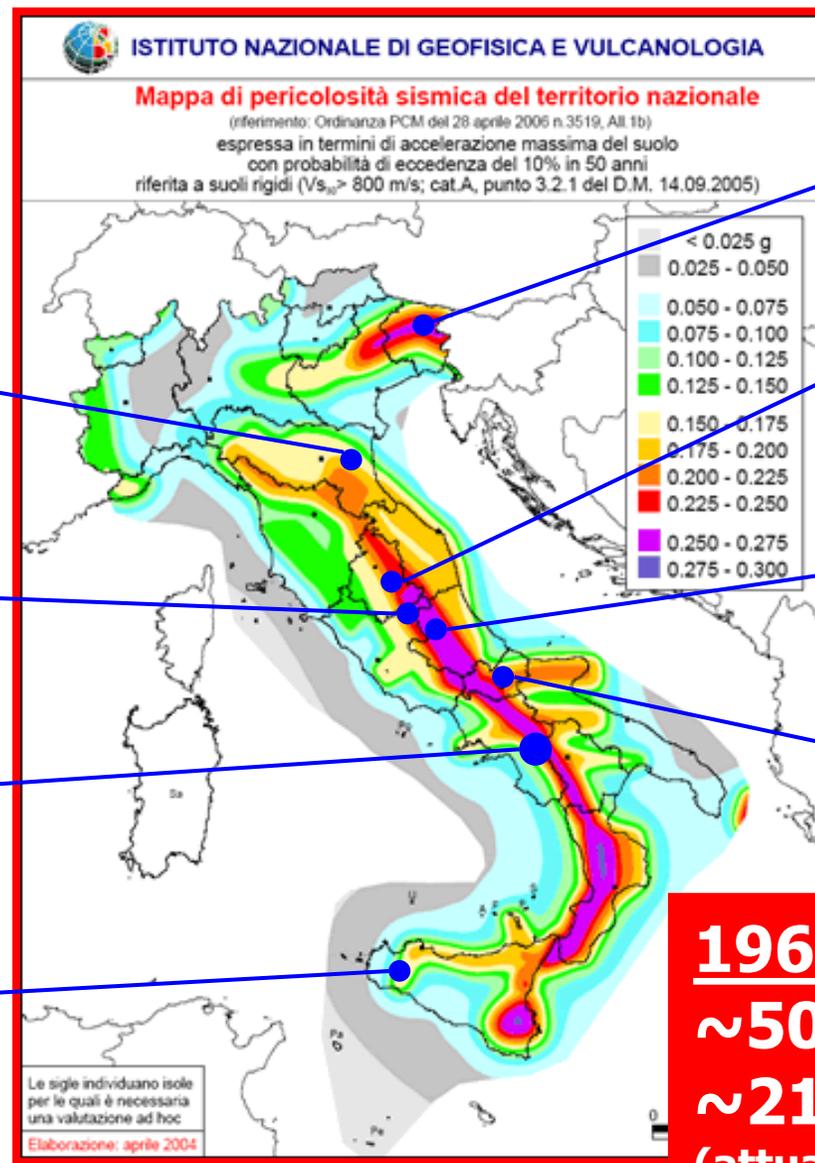
ASPETTI INTRODUTTIVI E DEFINIZIONI

- Le lezioni dei terremoti passati
- La definizione di Rischio sismico

LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO

- Il Progetto MARS nei programmi di ricerca DPC-ReLUIIS
- Cenni sulla Pericolosità sismica e sull'Esposizione
- La valutazione della Vulnerabilità sismica
- Stima delle conseguenze: alcuni risultati ed applicazioni

Vittime e Costi dei terremoti degli ultimi 50 anni in Italia



EMILIA 2012
 Mw 5.9
 27 vittime, 13.300 M€

ITALIA CENTRALE 2016-17
 Mw 6.5
 299 vittime, 23.500 M€

CAMPANIA-BASILICATA 1980
 Mw 6.9
 2700 vittime, 52.000 M€

BELICE 1968
 Mw 6.1
 296 vittime, 9.200 M€

FRIULI 1976
 Mw 6.4
 989 vittime, 18.500 M€

UMBRIA-MARCHE 1997
 Mw 6.1
 11 vittime, 13.400 M€

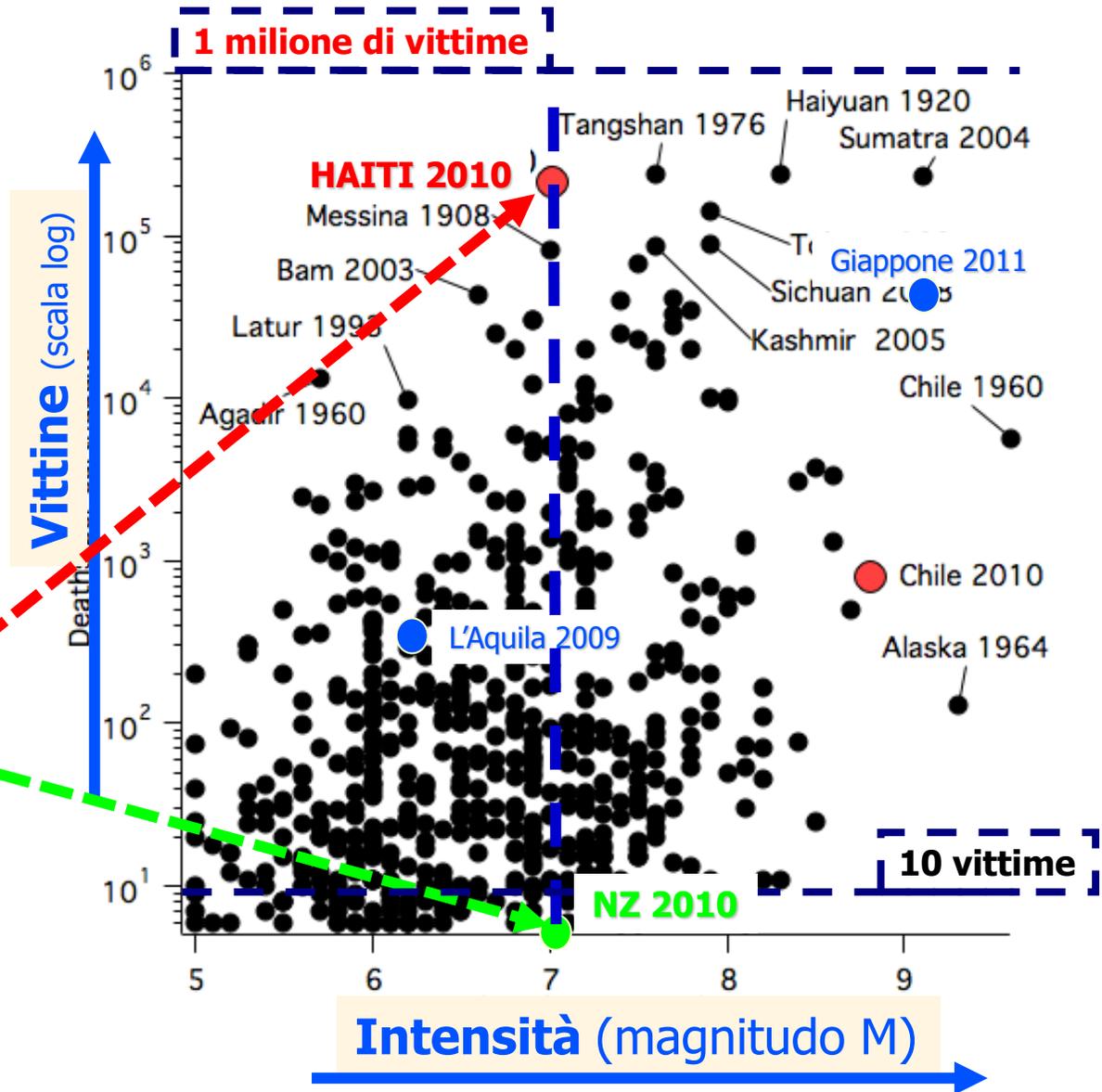
ABRUZZO 2009
 Mw 6.3
 309 vittime, 13.700 M€

MOLISE 2002
 Mw 5.7
 30 vittime, 1.400 M€

1968 – 2017
 ~5000 vittime → ~100 vitt./anno
 ~210 Mld€ → ~4 Mld€/anno
 (attualizzati al 2018)

È l'intensità la causa principale delle vittime dei terremoti ?

	M	N. vittime
L'Aquila 2009	6.3	308
Haiti 2010	7.0	220.000
NZ 2010	7.1	0
Cile	8.8	521
Giappone 2011	9.0	26.000



Roger Bilham, *The seismic future of cities*,
Bulletin of Earthquake Engineering, 2009

SAIE 2024 – Scuola di Ingegneria Strutturale ReLUIS
LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO, Angelo MASI

CASE
OSPEDALI
SCUOLE
INFRASTRUTTURE



Data di acquisizione delle im

© 2011 DigitalGlobe
© 2011 GeoEye
15°47'54.06"E elev 790 m

Google earth

Alt 2.28 km

IL RISCHIO SISMICO DELLE CITTÀ

Gli edifici residenziali e monumentali in muratura

SAIE 2024 – Scuola di Ingegneria Strutturale ReLuis
LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO, Angelo MASI



IL RISCHIO SISMICO DELLE CITTÀ

L'edilizia residenziale in cemento armato

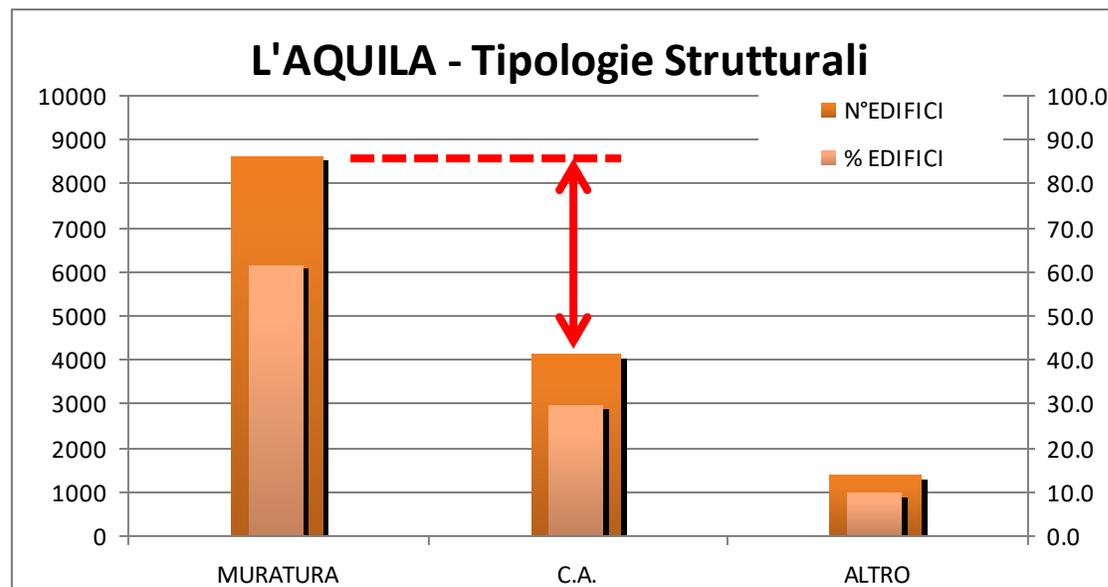
SAIE 2024 – Scuola di Ingegneria Strutturale ReLuis
LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO, Angelo MASI



Località	Residenti	Vittime	vittime/residenti (%)
Onna	358	37	10.34
Villa Sant'Angelo	441	17	3.85
Castelnuovo	182	5	2.75
San Gregorio	433	8	1.85
Fossa	687	4	0.58
Poggio Picenze	1072	5	0.47
L'Aquila	43575	197	0.45
Roio Piano	520	2	0.38

**Oltre 130 vittime
in edifici in c.a.**

Terremoto Abruzzo 2009





PRIMA

DOPO

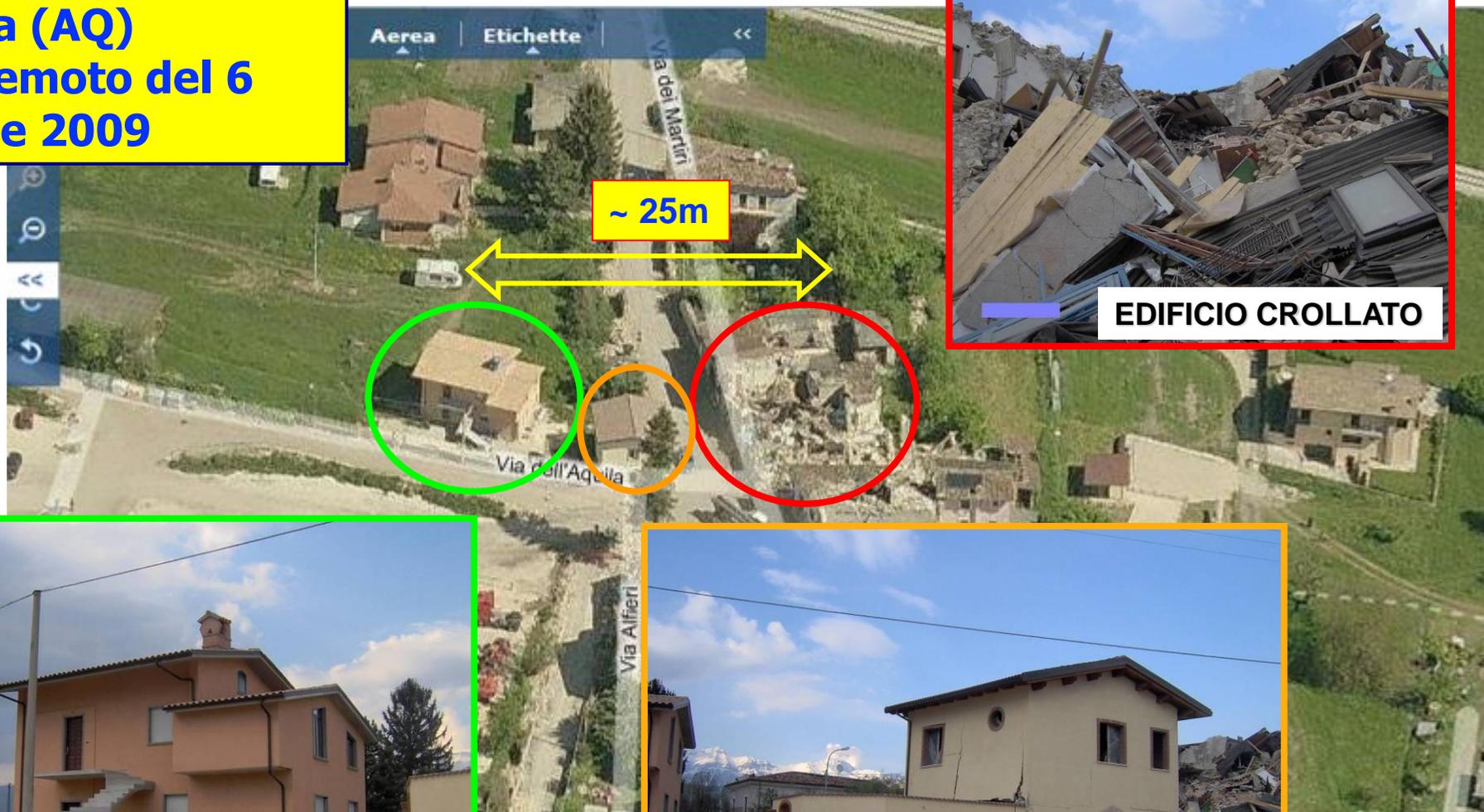


**Terremoto
Italia centrale 2016**

**L'AQUILA, 6 aprile 2009
Magnitudo 6.3**



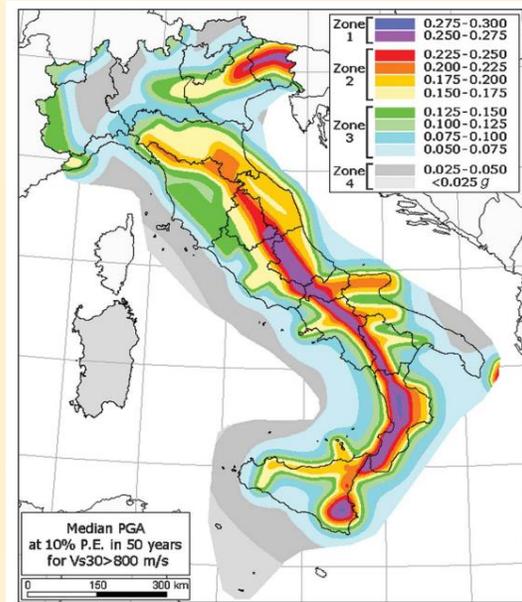
**Onna (AQ)
Terremoto del 6
aprile 2009**



SAIE 2024 – Scuola di Ingegneria Strutturale ReLuis
LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO, Angelo Masi

Il **RISCHIO** è la valutazione probabilistica dei **DANNI** sociali (persone), materiali, economici e funzionali che ci si attende in un dato **LUOGO**, ed in un prefissato intervallo di **TEMPO**, a seguito del verificarsi di uno o più **EVENTI**.

RISCHIO =



PERICOLOSITÀ

X



ESPOSIZIONE

X



VULNERABILITÀ

La stima dei danni e delle perdite di vite umane causate da futuri terremoti può essere effettuata in termini di:

- **ANALISI DI RISCHIO**
- **STUDIO DI SCENARI**

Nelle **ANALISI DI RISCHIO** viene stimata la probabilità di perdite (vittime, feriti, senzatetto, edifici inagibili, ...) in uno specifico periodo di tempo (ad es. un anno) causata dalla combinazione di **TUTTI I POSSIBILI EVENTI** (con la loro probabilità di occorrenza) che possono interessare l'area in esame.

Le analisi di rischio consentono di redigere mappe di rischio nazionali e locali finalizzate alla definizione di **programmi di prevenzione** (allocazione delle risorse, priorità di intervento, ...).

Attraverso gli **SCENARI** vengono quantificate le conseguenze in termini di perdite al verificarsi di uno **SPECIFICO EVENTO SISMICO** (es. massimo evento atteso MCE).

I risultati di questi studi sono utili alla predisposizione di piani di protezione civile sia a livello provinciale che comunale (**pianificazione dell'emergenza**).

ESPOSIZIONE



n. comuni	18
n. edifici	≈ 17'500
Volume (m ³)	≈ 12x10⁶
n. abitanti	≈ 41'500

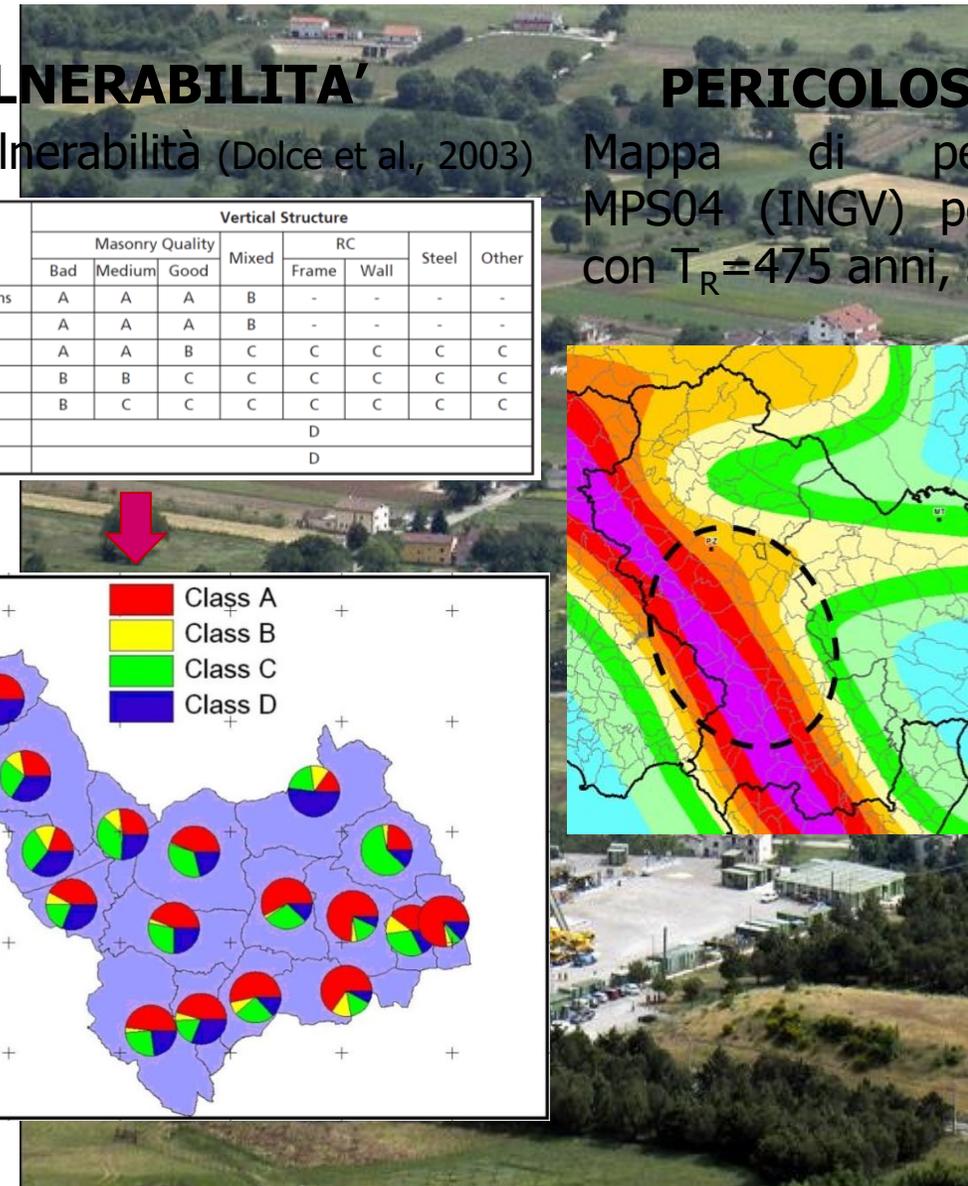
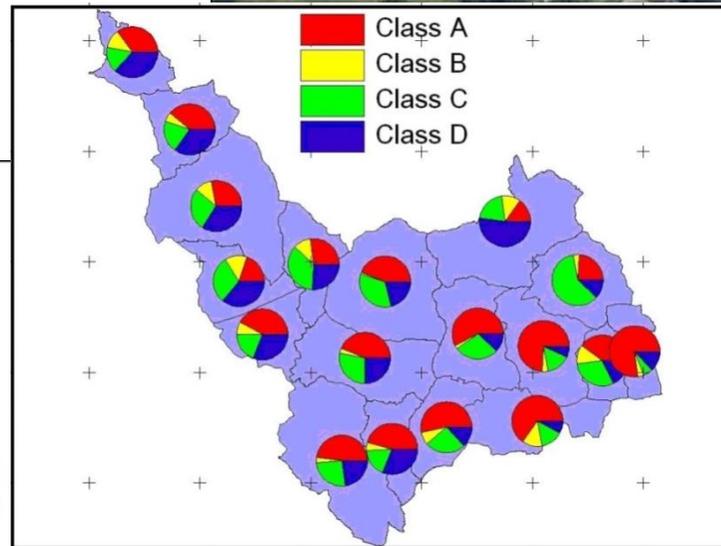
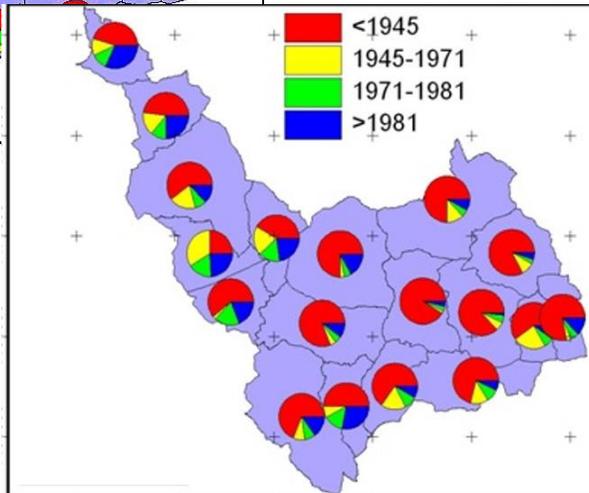
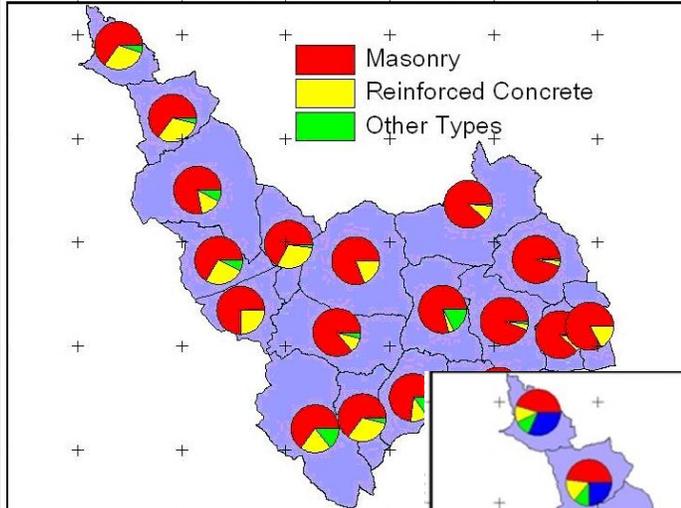
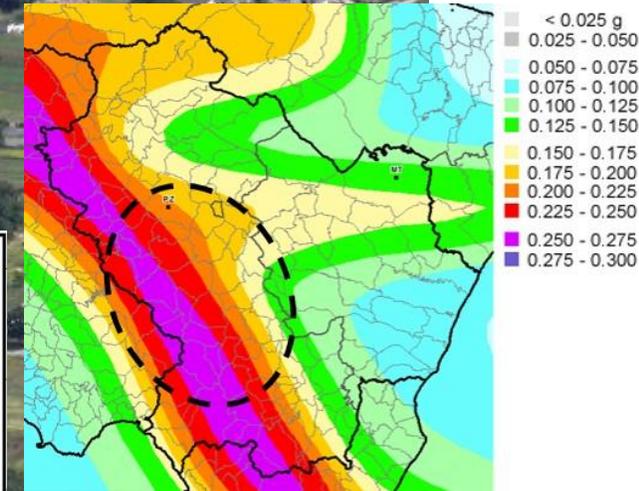
VULNERABILITA'

Classi di vulnerabilità (Dolce et al., 2003)

Horizontal Structures		Vertical Structure							
		Masonry Quality			Mixed	RC		Steel	Other
		Bad	Medium	Good		Frame	Wall		
Vaults	Without tie-beams	A	A	A	B	-	-	-	-
	With tie-beams	A	A	A	B	-	-	-	-
Floors	Deformable	A	A	B	C	C	C	C	C
	Semirigid	B	B	C	C	C	C	C	C
	Rigid, RC	B	C	C	C	C	C	C	C
Buildings retrofitted after 1980					D				
Buildings built after 1980					D				

PERICOLOSITA'

Mappa di pericolosità MPS04 (INGV) per eventi con T_R=475 anni, suolo A



CONSEGUENZE attese per evento $T_R = 475$ anni
Stima per il comune di Viggiano (ca. 3,000 ab.)

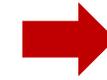
MIGLIORAMENTO SISMICO
(60% PGA per evento $T_R=475$ anni)

SCENARIO ANTE-INTERVENTO

SCENARIO POST-INTERVENTO

Edifici inagibili (m3)	3.2x10 ⁵
Senzatetto	1110
Vittime	20-35
Perdite economiche (M€)	103

Edifici inagibili (m3)	1.5x10 ⁵
Senzatetto	525
Vittime	0-5
Perdite economiche (M€)	55



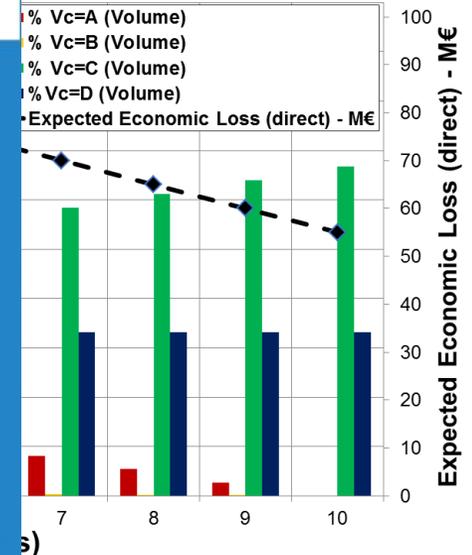
STRATEGIA DI MITIGAZIONE

- Riduzione progressiva degli edifici con le classi di vulnerabilità più alte (A, B)
- Piano di investimenti in 10 anni per 5M€/anno
- Riduzione delle perdite economiche attese da 103 a 55M€, paragonabile al costo totale del programma di rinforzo (50M€)
- **Riduzione vittime attese: da 20-35 a 0-5**

Logo: reluis, FINTECNA, CINEAS

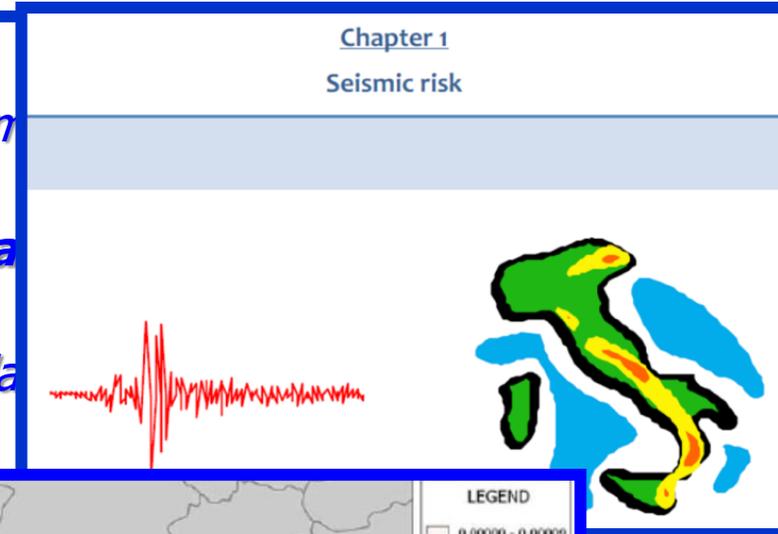
Libro bianco
 sulla ricostruzione privata
 fuori dai centri storici
 nei comuni colpiti dal sisma
 dell'Abruzzo del 6 aprile 2009

a cura di
 Mauro Dolce
 Gaetano Manfredi



Decision 1313/2013/EU on a Union Civil Protection Mechanism

- EU Commission calls EU Member States to develop risk assessments periodically available their National Risk Assessment (NRA)
- Prevention is recognized of key importance for protection against disasters
- MSs are required to provide prevention and preparedness plans in relation to specific disasters to maximise overall EU support to DRM
- Prevention policies should be strengthened also by ensuring necessary to other key EU Policies, notably the Cohesion Policy

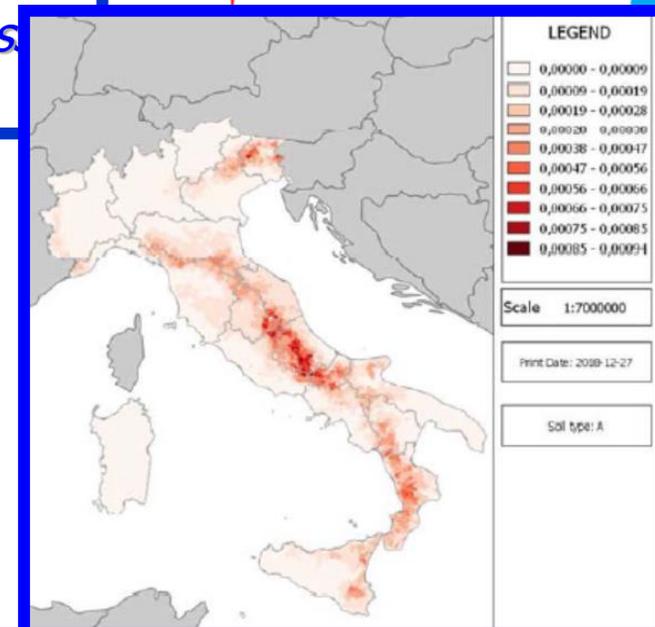


Presidency of the Council of Ministers
 Italian Civil Protection Department

Italian NRA 2018

National risk assessment

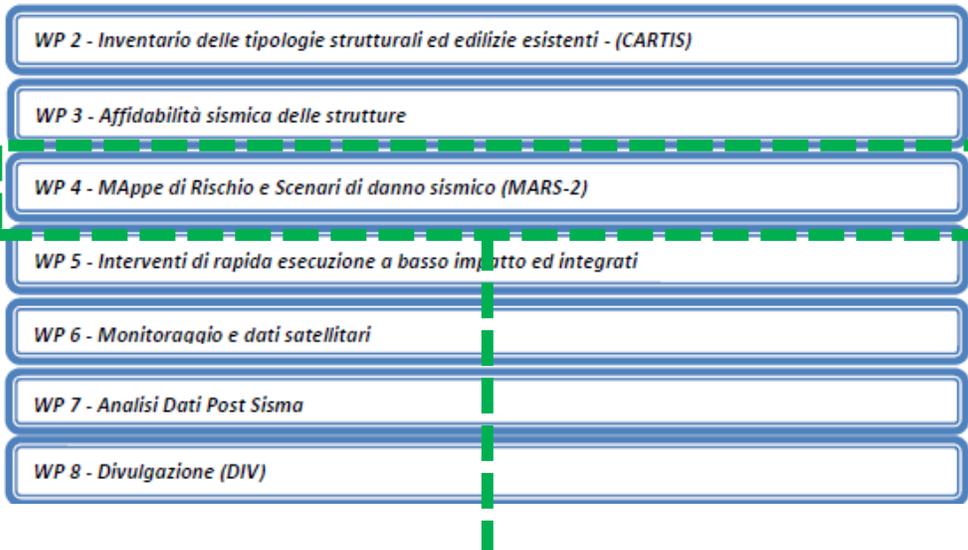
Overview of the potential major disasters in Italy:
 seismic, volcanic, tsunamis, hydro-geological/hydraulic and extreme
 weather, droughts and forest fire risks



Map of the average expected ratios in one year of the **number of dwellings affected by Damage Level 5** over the total number of dwellings in the municipalities

18^(§) Work Package (WP) articolati in due ambiti:

Valutazione e riduzione del rischio



WP4 – MARS

Mappe di Rischio e Scenari di danno sismico

(coord. Sergio Lagomarsino, Angelo Masi)



Contributi per sviluppo norme tecniche

WP 9 - Archiviazione Armonizzata dei risultati sperimentali delle ricerche ReLUIIS

WP 10 - Contributi normativi - Costruzioni in Muratura

WP 11 - Contributi normativi relativi a Costruzioni Esistenti in Cemento Armato

WP 12 - Contributi normativi relativi a Costruzioni civili e industriali di acciaio e composte acciaio-calcestruzzo

WP 13 - Contributi Normativi - Strutture di Legno

WP 14 - Contributi normativi relativi a Materiali Strutturali Innovativi per la Sostenibilità delle Costruzioni

WP 15 - Contributi normativi relativi a Isolamento e Dissipazione

WP 16 - Contributi normativi - Geotecnica

WP 17 - Contributi normativi per elementi non strutturali

WP 18 - Contributi normativi relativi ad Azione Sismica

(§) Nel progetto 2019-21 è stato aggiunto il WP19 «Definizione della carta di pericolosità sismica locale a scala nazionale» (coord. D. Albarello, M. Moscatelli)

Elenco Task e Responsabili

Task 4.1 – ESPOSIZIONE: regionalizzazione delle tipologie (Zuccaro)

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

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

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

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

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

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

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

Task 4.9 – Valutazioni e strategie preventive MULTIRISCHIO (Masi)

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

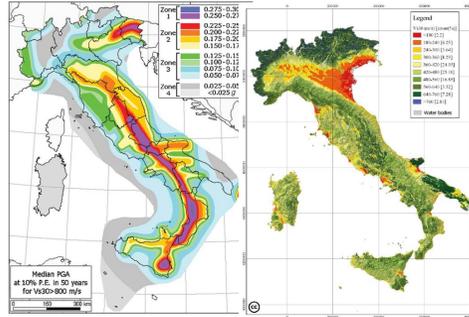
Elenco Unità di Ricerca (UR) e Responsabili

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

Impegnati:

- 20 Atenei
- 30 UR
- oltre 100 ricercatori

PERICOLOSITÀ



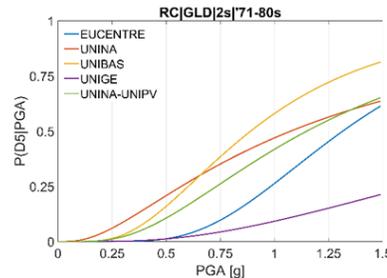
- Mappa della pericolosità di base MPS04 (INGV)
- Effetti di amplificazione locale valutati per l'intero territorio italiano (CMZS e CNR-IGAG)

ESPOSIZIONE



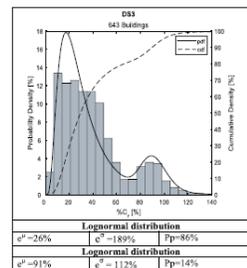
- Censimento nazionale ISTAT 2011
- Dati tipologici «locali» secondo la procedura CARTIS

VULNERABILITÀ



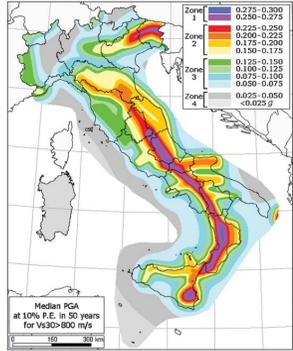
- Valutazione della vulnerabilità delle strutture adottando e combinando diversi approcci

PERDITE



- Relazioni «livello di danno-conseguenze» basate sui dati relativi agli ultimi eventi italiani

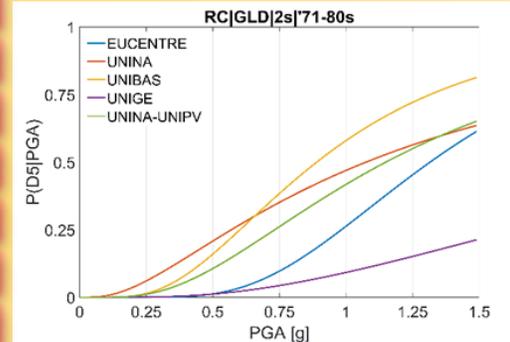
MARS: valutazione del rischio



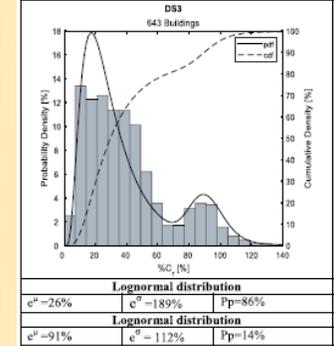
PERICOLOSITÀ



ESPOSIZIONE



VULNERABILITÀ



PERDITE



ReLUIs Network



IRMA Italian Risk Maps

piattaforma per il risk assessment

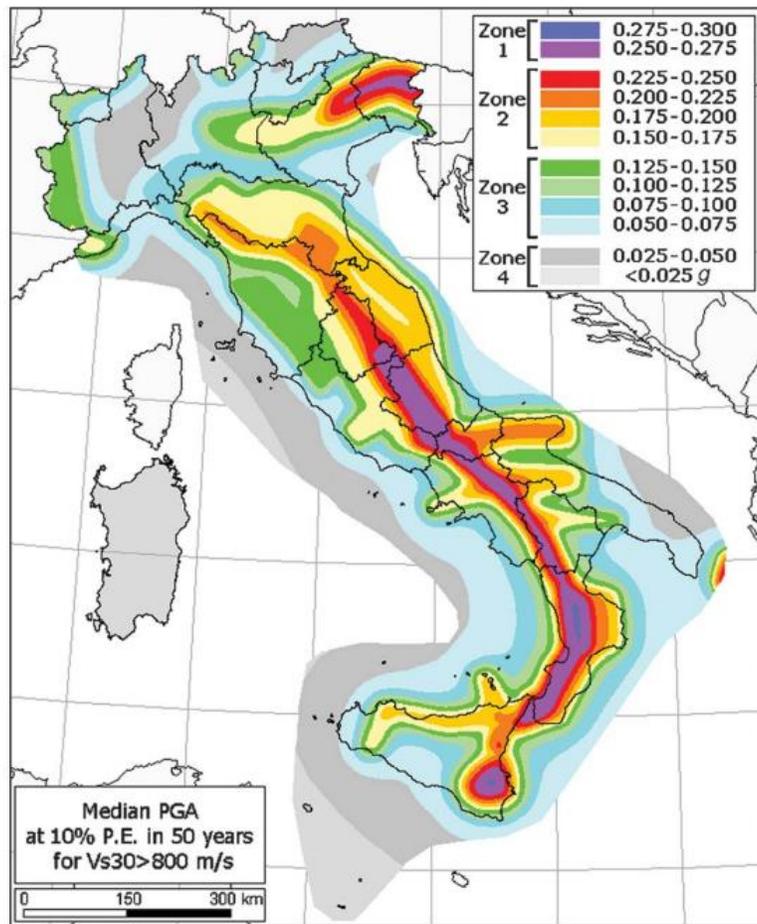
EUCENTRE FOR YOUR SAFETY.

ANALISI DI RISCHIO

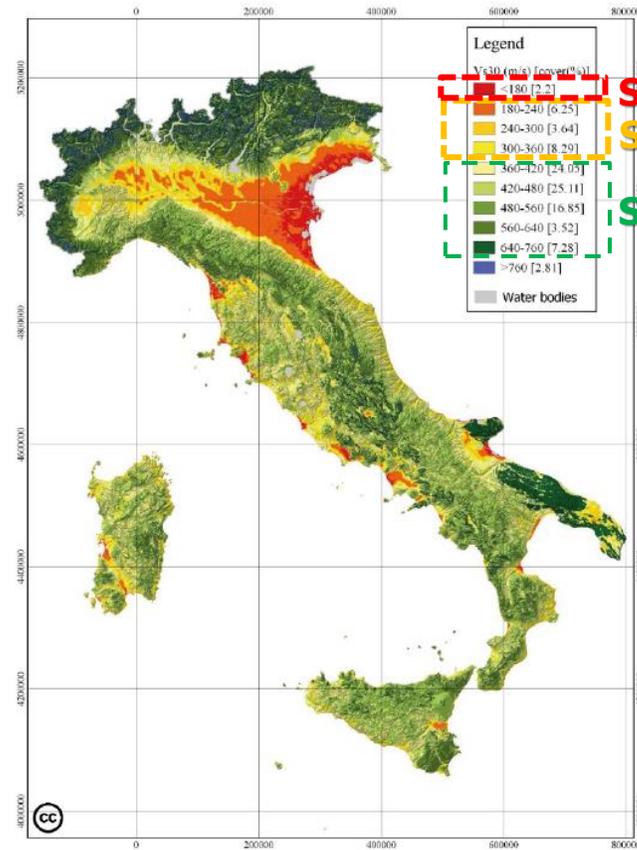
danni e perdite attesi in un determinato periodo di tempo a causa dei terremoti attesi

STUDI DI SCENARIO

danni e perdite attesi causati da uno specifico evento sismico in una determinata area



MPS04 mappa di pericolosità (Stucchi et al., 2011) in termini di **PGA** per 9 periodi di ritorno (30÷2475y)



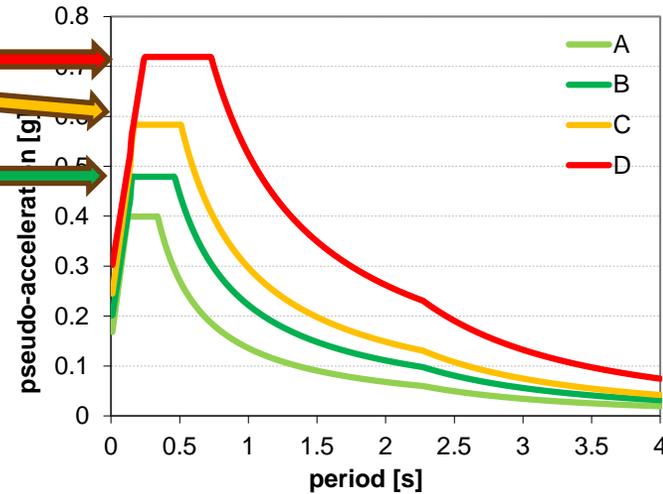
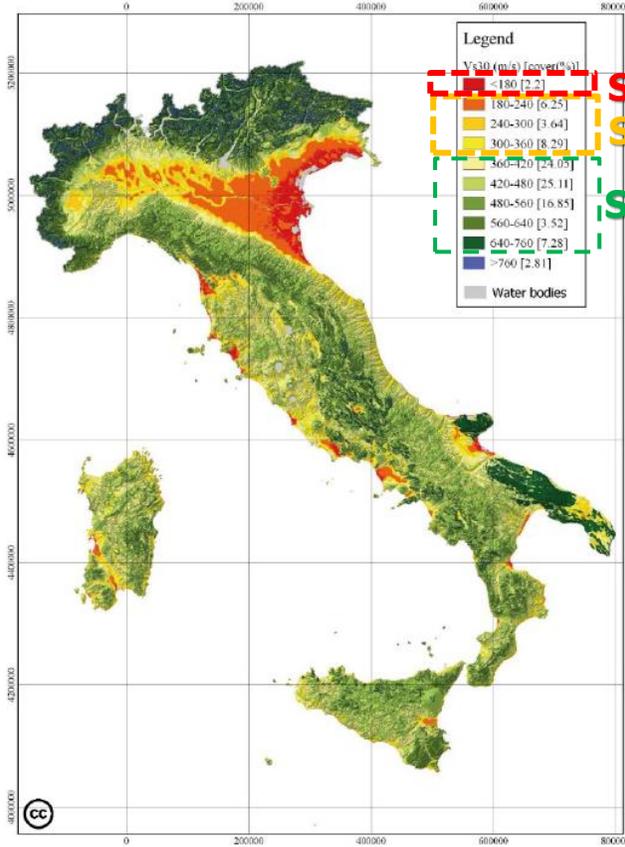
↑
amplificazione
crescente

Mappa delle amplificazioni locali (classi di suolo) basate sui valori di V_{s30} (Mori et al., 2020)

Stucchi M. et al. (2011) *Seismic hazard assessment (2003–2009) for the Italian building code*, Bull Seismol Soc Am

Mori F. et al. (2020) *A new V_{s30} map for Italy based on the seismic microzonation dataset*, Engineering Geology, Vol. 275

PERICOLOSITÀ: LE CLASSI DI SUOLO



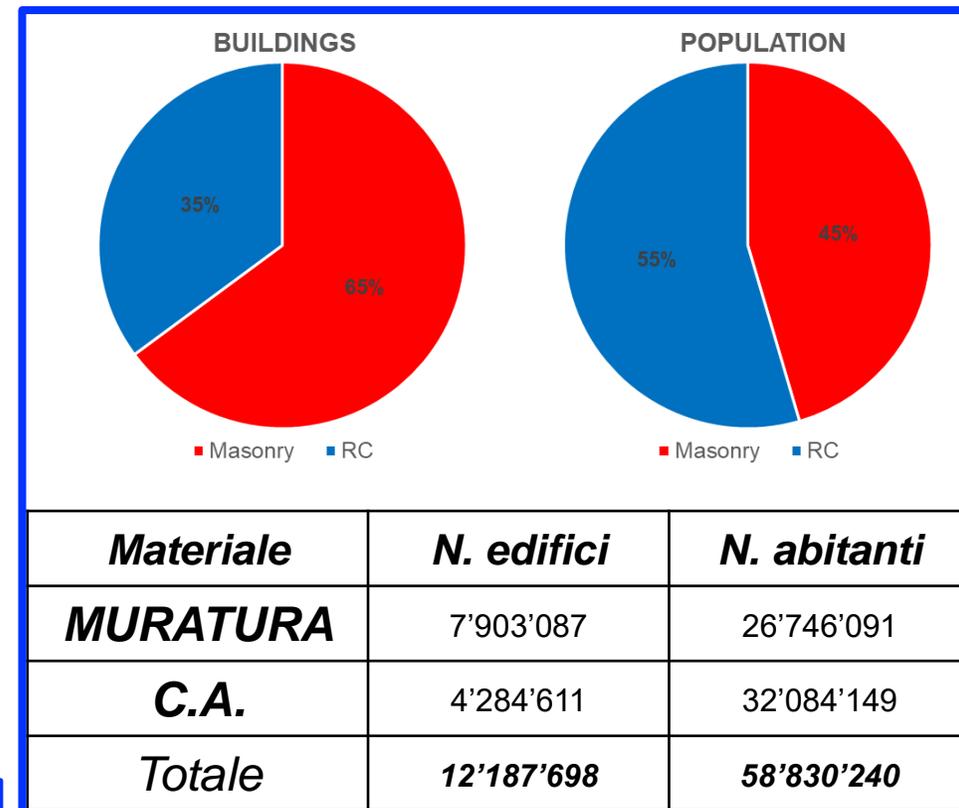
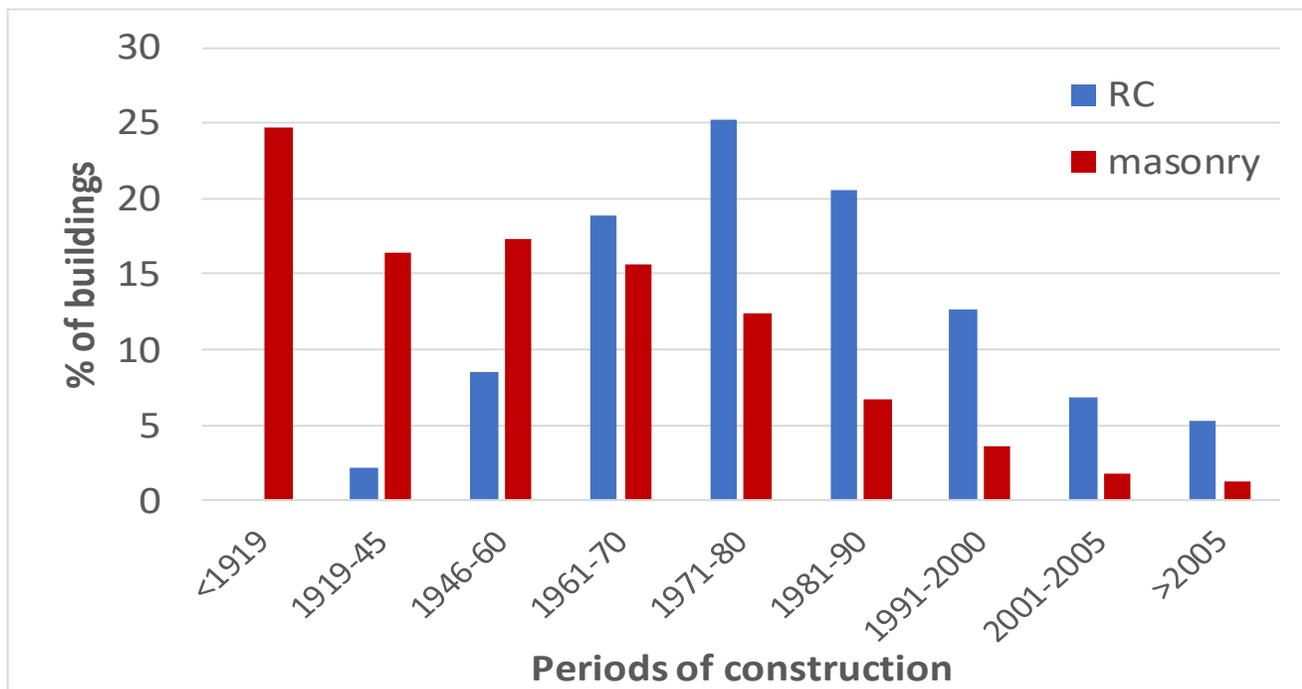
Spettri S_a per TR=475 anni e differenti classi di suolo (Napoli)

Distribuzione delle **Classi di suolo** su scala regionale



PATRIMONIO EDILIZIO RESIDENZIALE

Dati di esposizione tratti dal Censimento Nazionale (ISTAT 2011)



TASSONOMIA

- Materiale
- Numero di piani
- Periodo di costruzione
- Livello di Prog. Sismica

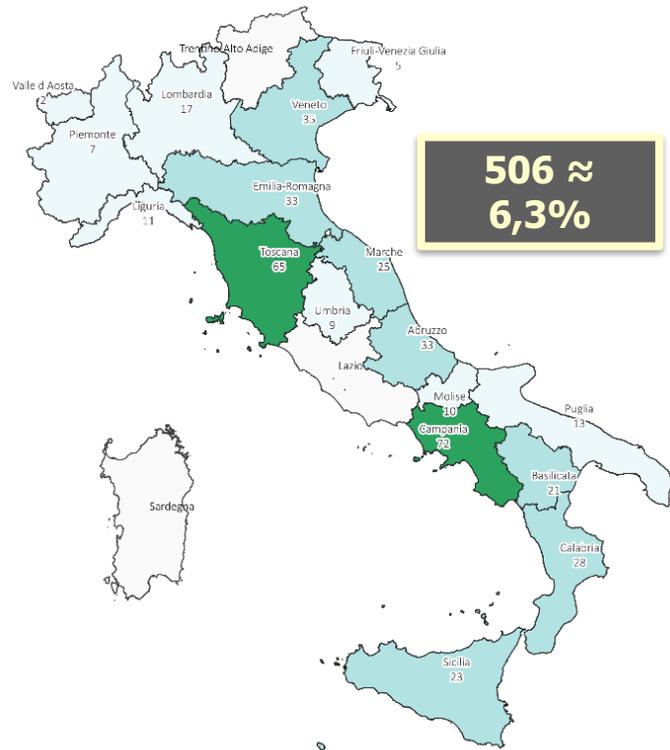


TIPOLOGIE EDILIZIE

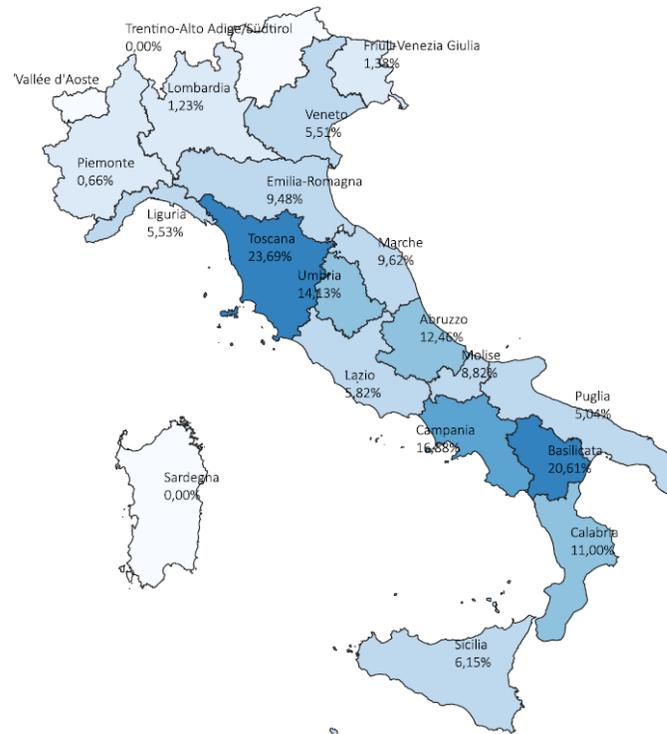
- **52 per la MURATURA**
- **64 per il C.A.**

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

SAIE 2024 – Scuola di Ingegneria Strutturale ReLuis
LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO, Angelo MASI



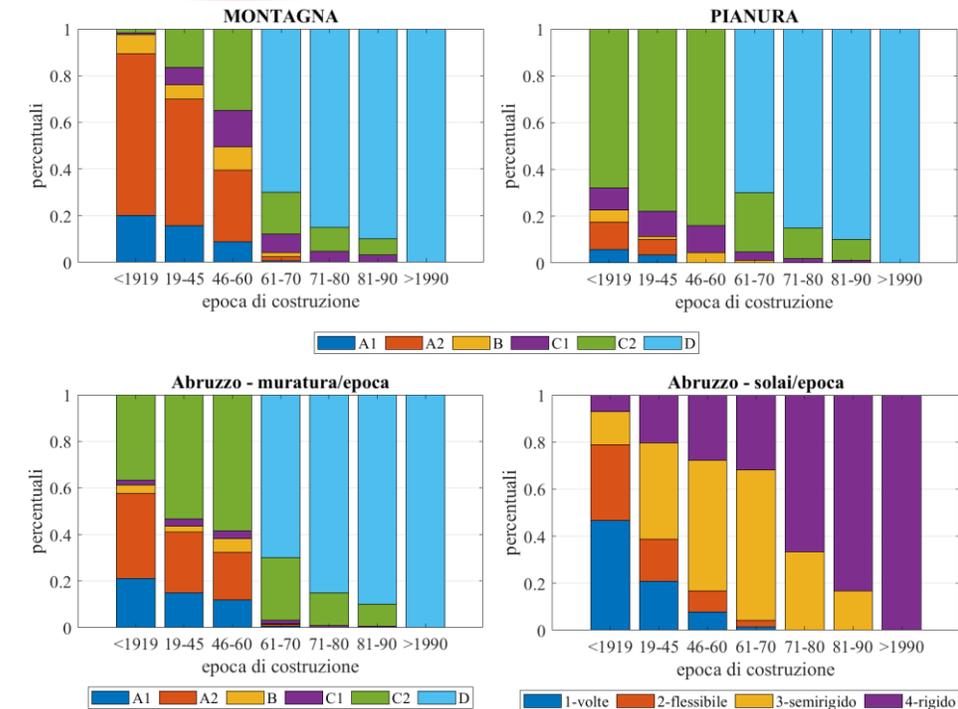
**COMUNI ANALIZZATI
(2014-2021)**



PERCENTUALE DI COMUNI SCHEDATI NEL WP2 CARTIS



ESTRAZIONI OTTENUTE DAL DATABASE CARTIS



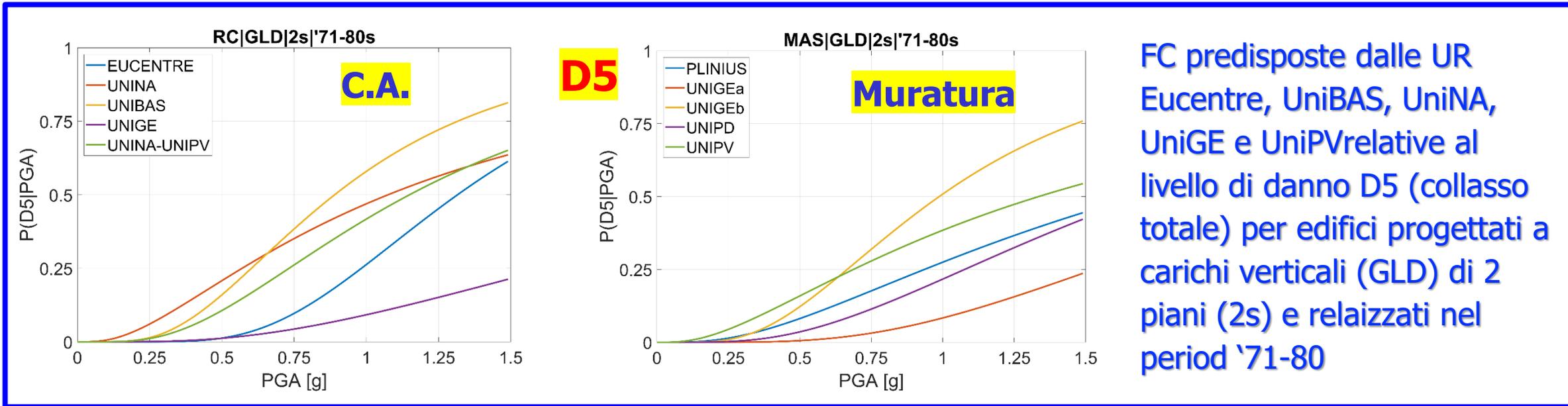
La vulnerabilità sismica **V** di una struttura indica la probabilità **P** della struttura stessa a subire danni **D** per effetto di un terremoto di data intensità **I**:

$$V = P [D | I]$$

FATTORI principali che determinano la vulnerabilità di un edificio

- **Tipologia strutturale** (muratura, c.a., acciaio, ...)
- **Organizzazione e qualità del sistema strutturale** (struttura intelaiata nelle due direzioni , presenza di impalcati rigidi, ...)
- **Particolari costruttivi** (staffe chiuse nel c.a., modalità di realizzazione dei cantonali nella muratura,)
- **Proprietà dei materiali** (calcestruzzo di buona o cattiva qualità, acciaio liscio o A.M.,)
- **Stato di degrado** (espulsione del copriferro nel c.a., corrosione dell'acciaio,)

- Raccolta, analisi e aggiornamento di modelli di vulnerabilità per edifici residenziali e per edifici speciali / infrastrutture (scuole, chiese, ponti, ...) (Masi et al., 2021, 2023).
- La vulnerabilità viene portata in conto mediante **Curve di Fragilità (FC)**, ossia curve che forniscono la probabilità condizionata di superare un certo livello di danno D_i per un assegnato valore del parametro sismico I (es. PGA).
- Per gli edifici residenziali sono stati definiti 5 set di FC, sia per la muratura che per il c.a., impiegando differenti approcci (empirico, analitico, ...) adottati dalle UR impegnate in MARS



FC predisposte dalle UR Eucentre, UniBAS, UniNA, UniGE e UniPV relative al livello di danno D5 (collasso totale) per edifici progettati a carichi verticali (GLD) di 2 piani (2s) e realizzati nel period '71-80

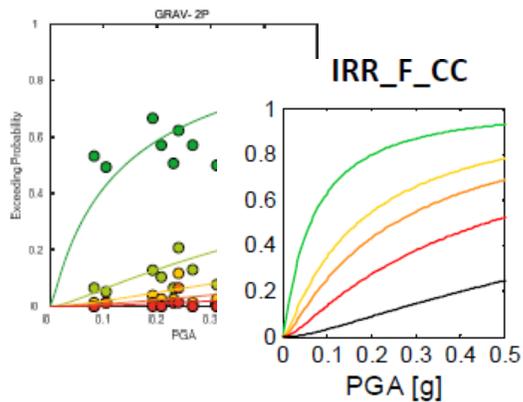
EMPIRICO - OSSERVAZIONALE

Da.D.O.

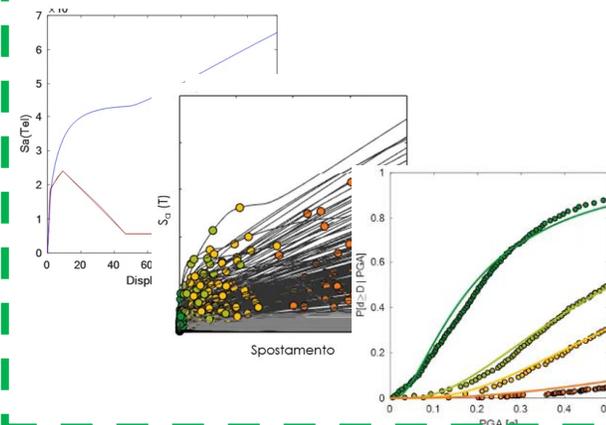
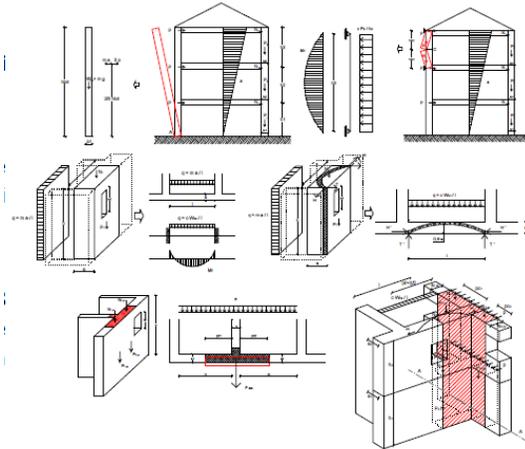
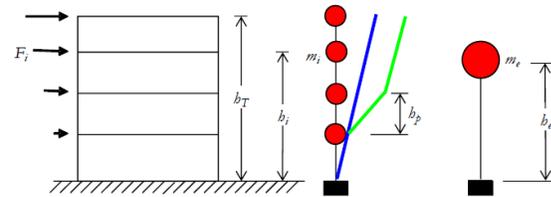
(Dolce et al. 2017)

Database danno
≈ 320.00 edifici

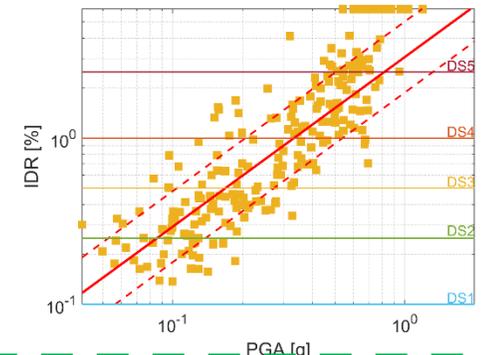
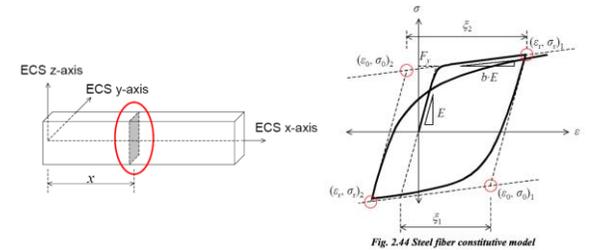
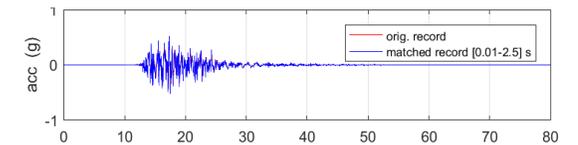
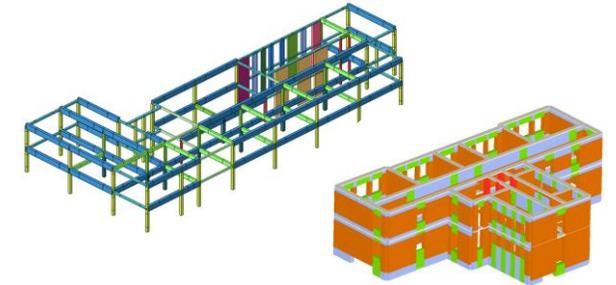
- Friuli 1976
- Irpinia 1980
- Abruzzo 1984
- Umbria-Marche 1997
- Pollino 1998
- Molise e Puglia 2002
- Emilia 2003
- L'Aquila 2009
- Emilia 2012



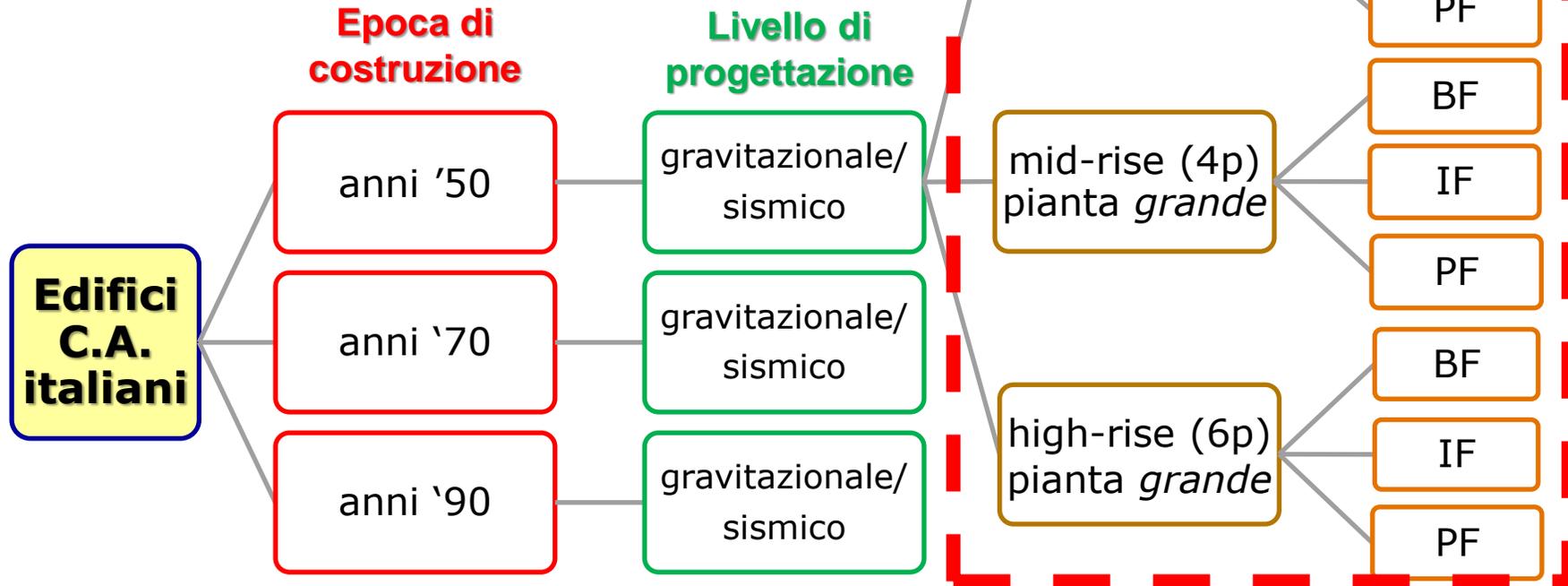
ANALITICO «SEMPLIFICATO»



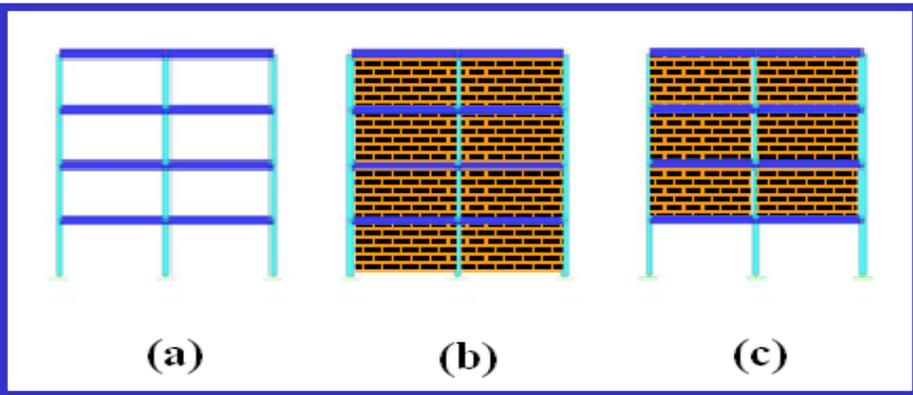
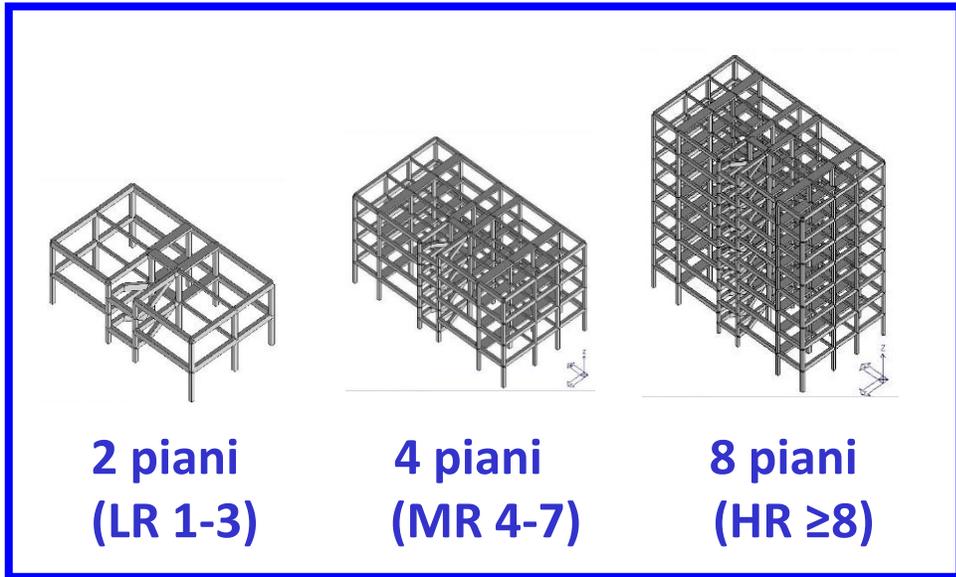
ANALITICO di «DETAGLIO» (ASNL, ADNL)



- 1. Identificazione delle classi tipologiche **EDIFICI**
- 2. Selezione delle tipologie edilizie
- 3. Progetto simulato delle tipologie
- 4. Modellazione **MODELLI-ANALISI**
- 5. Selezione del parametro di intensità sismica
- 6. Selezione dell'input sismico
- 7. Analisi dinamiche non-lineari (ADNL)
- 8. Definizione del funzionale di danno **RISULTATI**
- 9. Trattamento delle incertezze
- 10. Derivazione delle Curve di Fragilità (FC)



**Vale anche per le tipologie
anni '70 e '90**



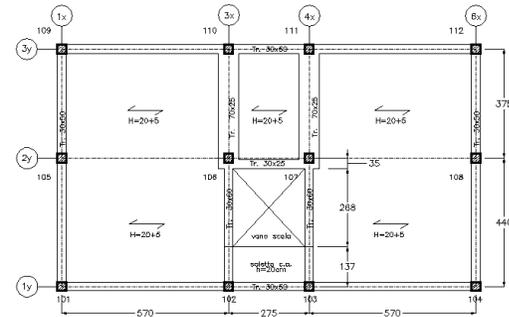
- a) edificio non tamponato (BF)
- b) edificio completamente tamponato (IF)
- c) edificio con piano porticato (PF)

Ed. non-sismici (i.e. carichi verticali):

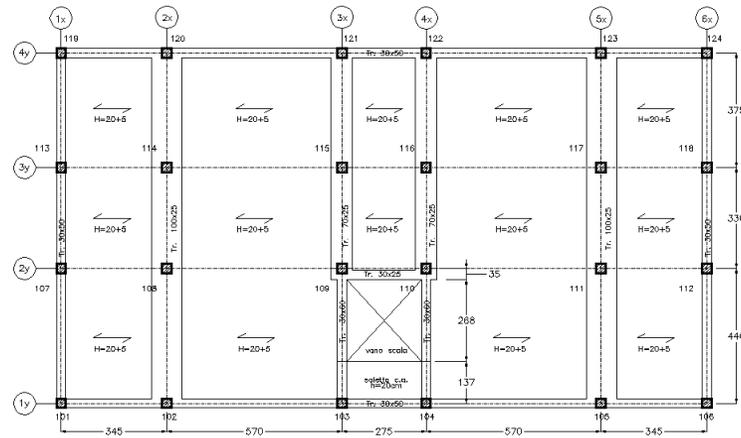
- pre-1971 (RD 1939)
- post-1971 (DM 1974)

Ed. sismici:

- post-1981 (DM 1986)

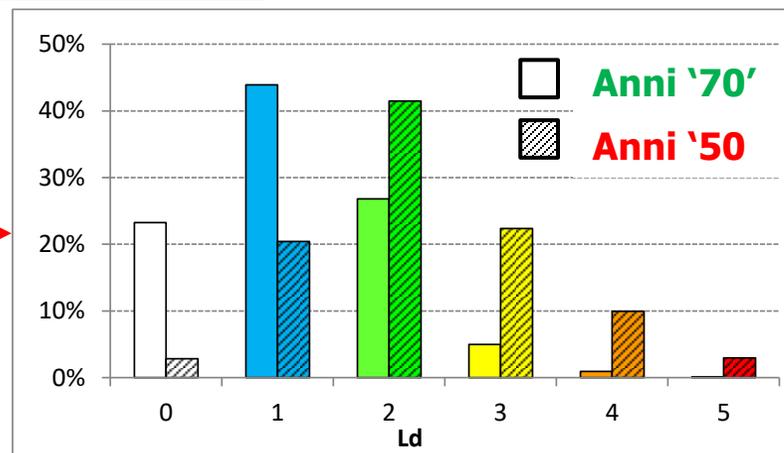
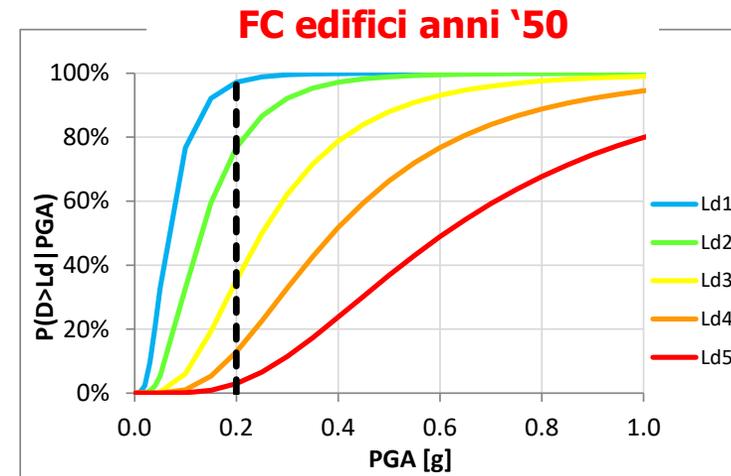
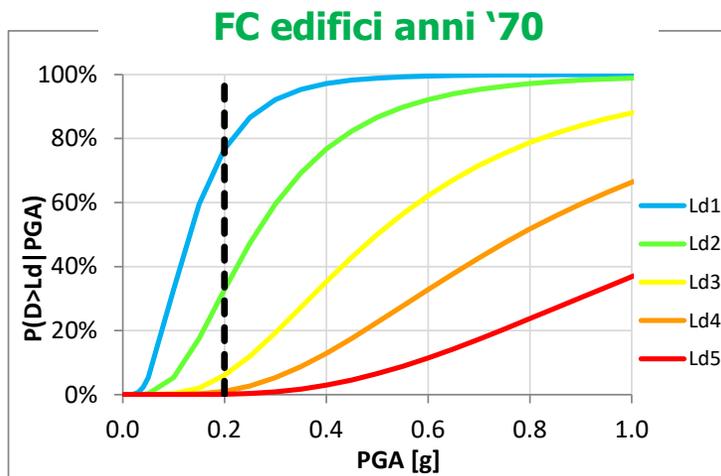


*Carpenteria tip. 2p
pianta «piccola»*



*Carpenteria tip. 4p/8p
pianta «grande»*

- Stima dei **danni attesi** (DS_i , classificazione EMS-98)
- per diverse **tipologie edilizie** (es. 4 piani, anni '50 oppure '70)
- a seguito di eventi di data **intensità sismica** (es. $PGA=0.2g$)



$$DI_{med} = \frac{\sum_i (ds_i \cdot f_i)}{n}$$

- **anni '70** → **0.23**
- **anni '50** → **0.45**

V. Manfredi, A. Masi, G. Nicodemo & A. Digrisolo, *Seismic fragility curves for the Italian RC residential buildings based on non-linear dynamic analyses*, Bulletin Earthquake Engineering, volume 21, 2023.

Relazioni tra **livelli di danno (D1-D5)** e conseguenze in termini di: **casualties** (vittime e feriti), **edifici inagibili** (breve e lungo periodo), **perdite economiche dirette**, basate principalmente su dati tratti da terremoti passati

VITTIME, FERITI

Casualties	D1	D2	D3	D4	D5
Deaths (%)	0	0	0	1	10
Injured (%)	0	0	0	5	30



% of buildings/dwellings	D1	D2	D3	D4	D5
Usable	100	60	0	0	0
Unusable (short period)	0	40	40	0	0
Unusable (long period)	0	0	60	100	0
Collapsed	0	0	0	0	100

EDIFICI INAGIBILI

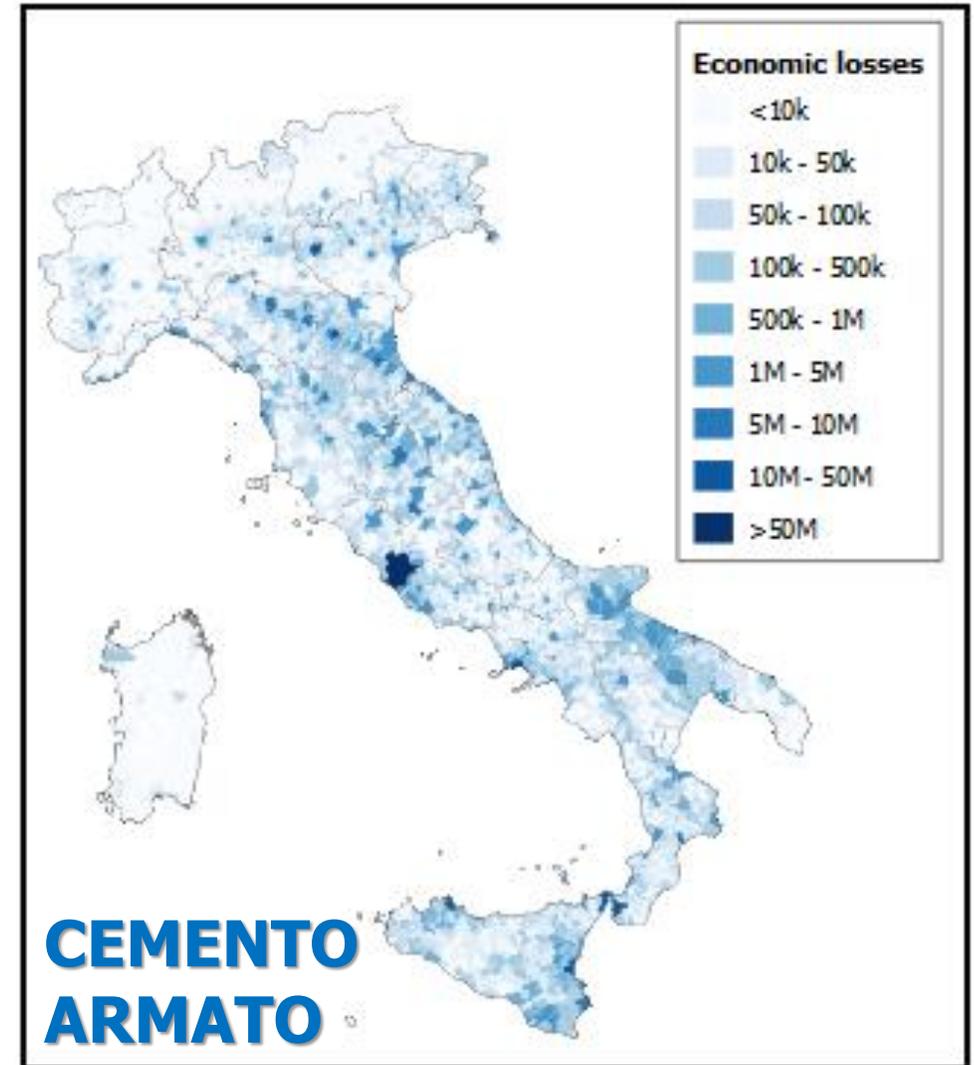
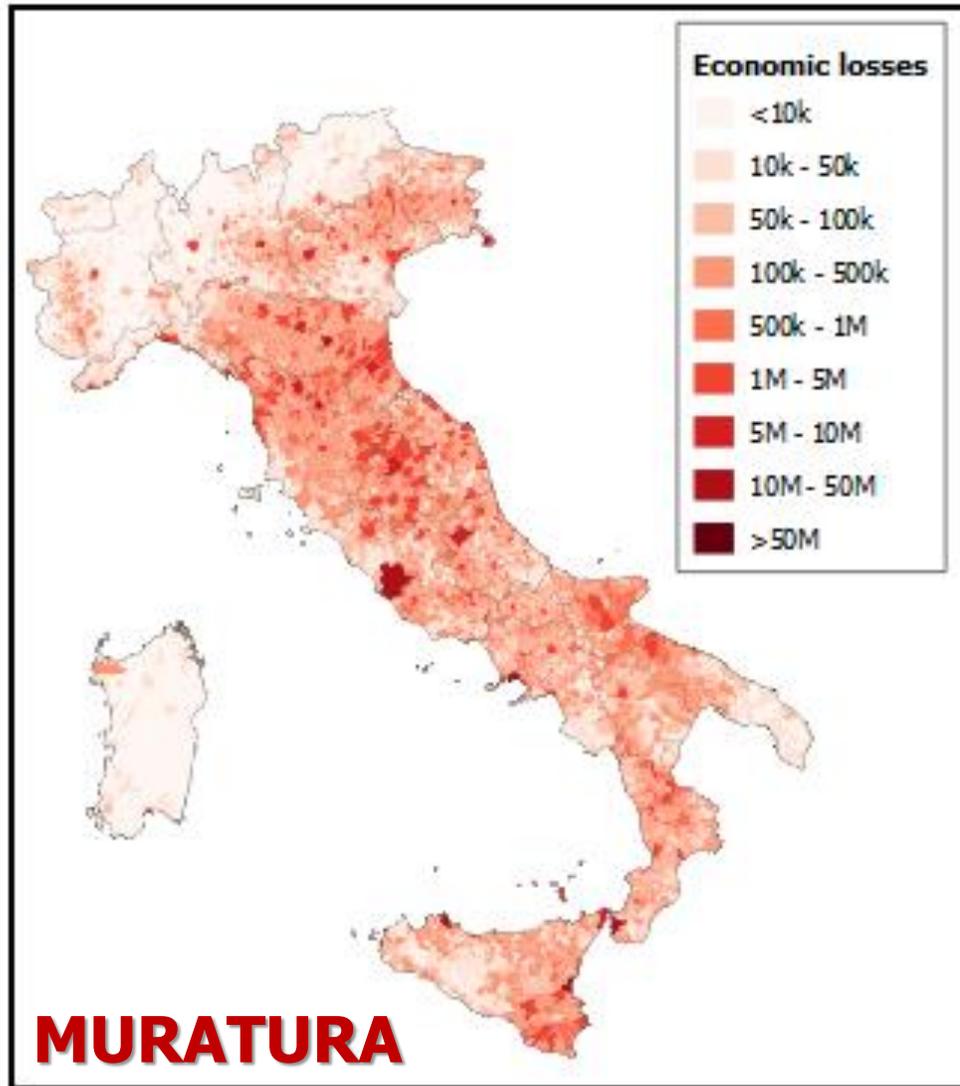
PERDITE ECONOMICHE (dirette)

CU (€/m ²)	D1	D2	D3	D4	D5
1350	2	10	30	60	100

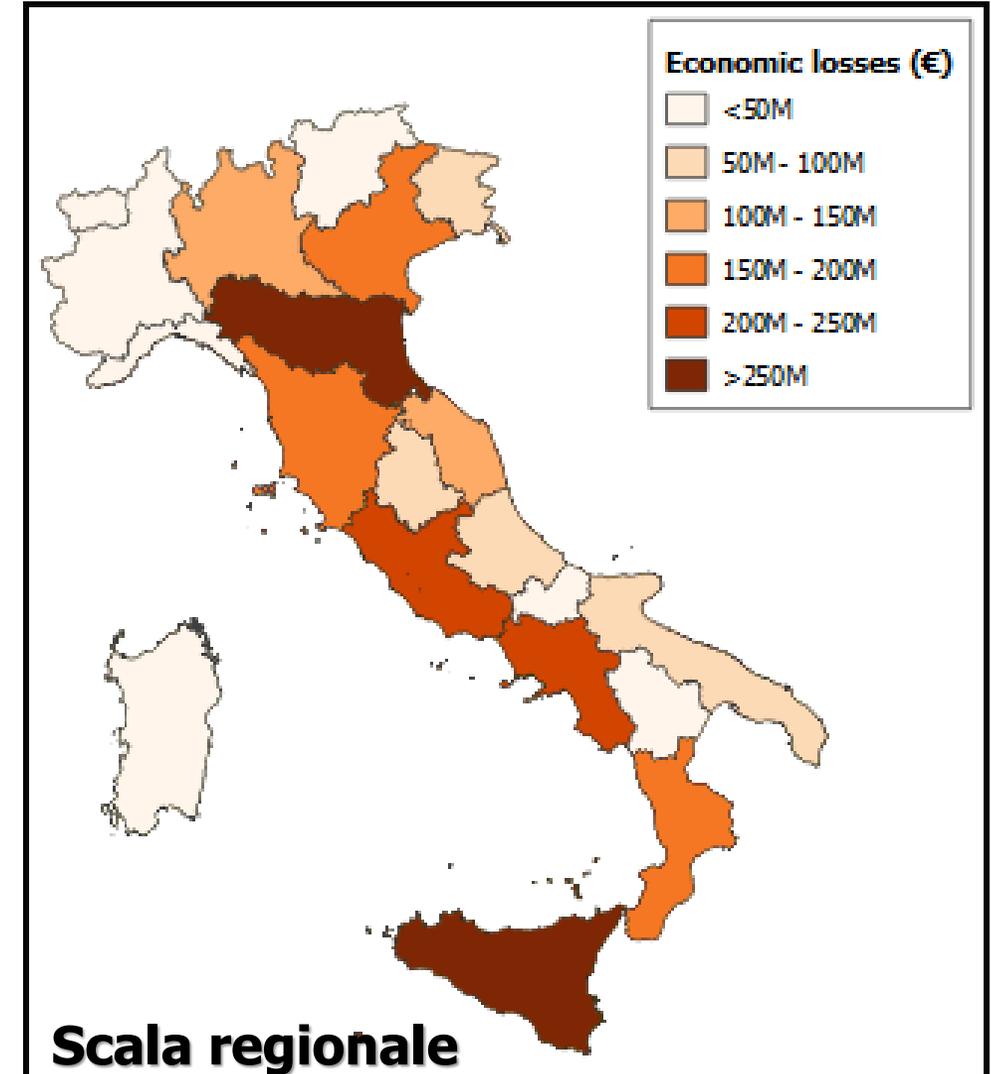
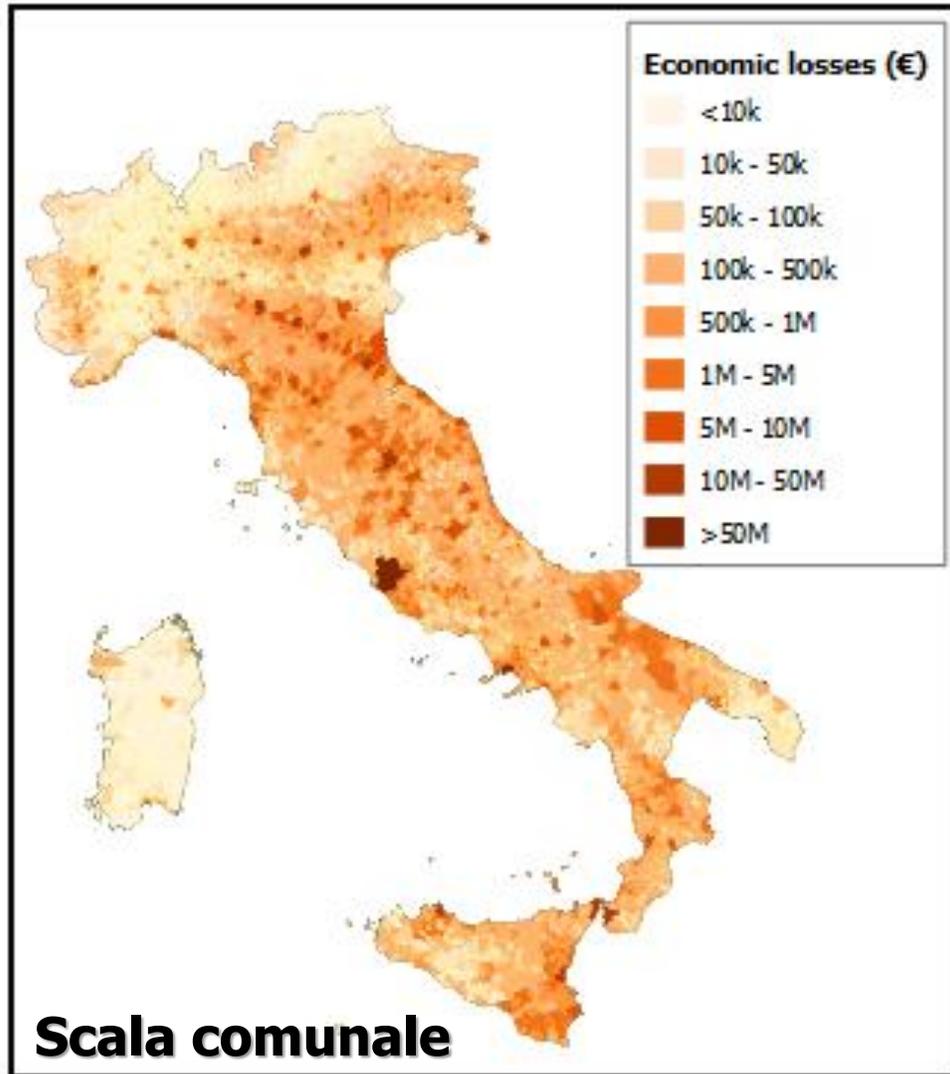
(% del costo unitario di ricostruzione CU)



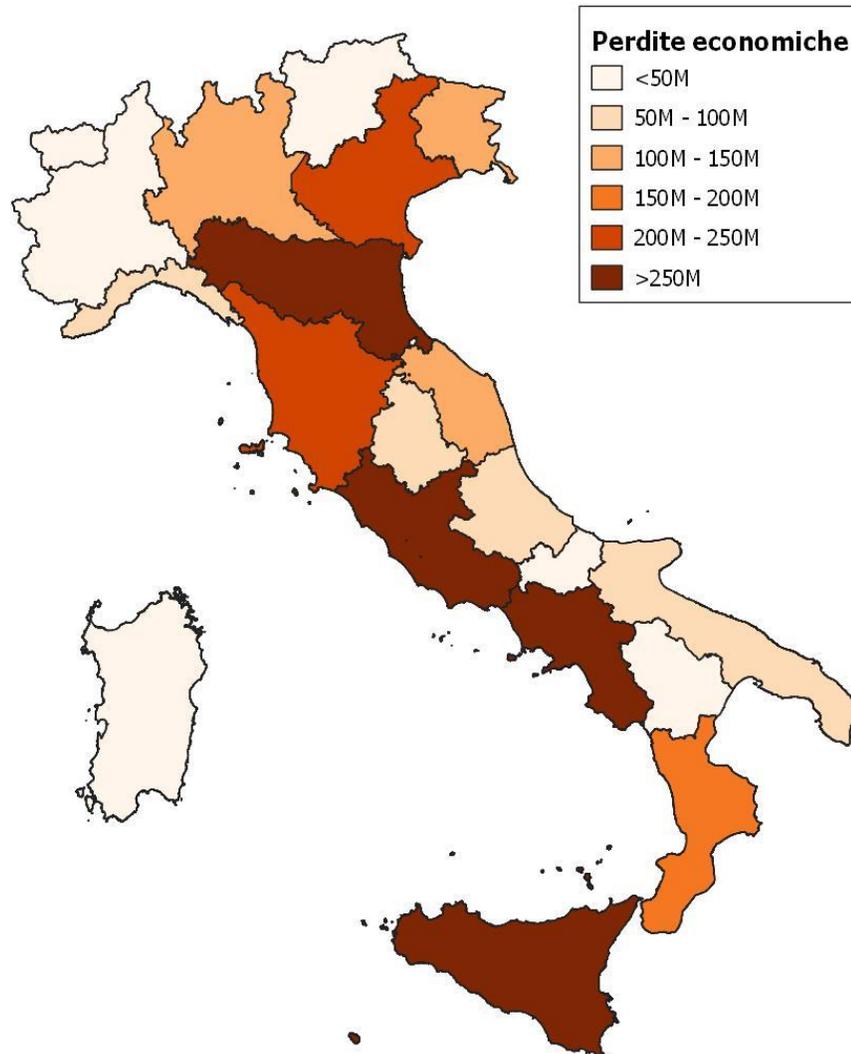
PERDITE ECONOMICHE DIRETTE (attese in 1 anno)



PERDITE ECONOMICHE DIRETTE (attese in 1 anno, MUR+C.A.)



PERDITE ECONOMICHE DIRETTE (attese in 1 anno, MUR+C.A.)



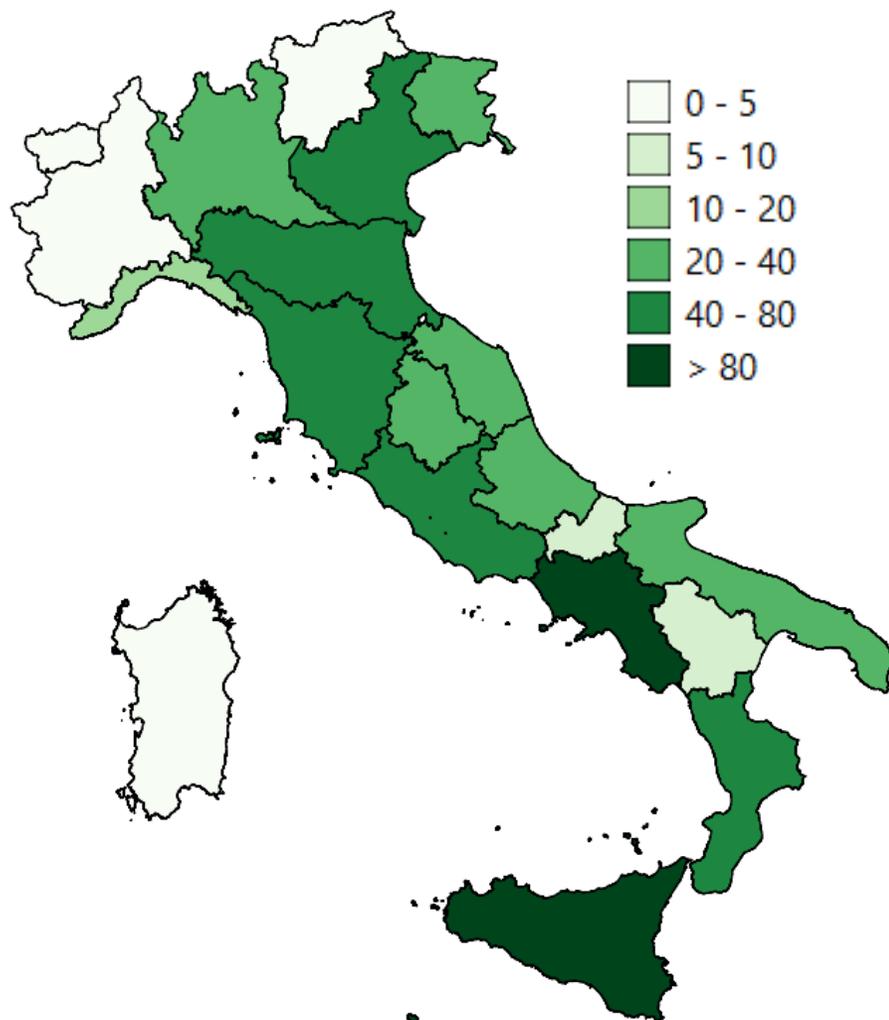
Stima dei costi di riparazione o ricostruzione attesi in un anno (aggregato su base regionale)

VALORI COMPLESSIVI

media **2.730M€**
(1.470M€ per MUR, 1.250M€ per CA)

16°-84° percentile **2.115 – 3.560M€**

VITTIME (attese in 1 anno, MUR+C.A.)



**Stima del valore atteso
in un anno
(aggregato su base regionale)**

VALORI COMPLESSIVI

media	620 (375 per MUR + 245 per CA)
16°-84° percentile	370 - 1080

1970-2020: n.ab. 54-60 mil → 100 v/anno

1920-1970: n.ab. 38-54 mil → 40 v/anno

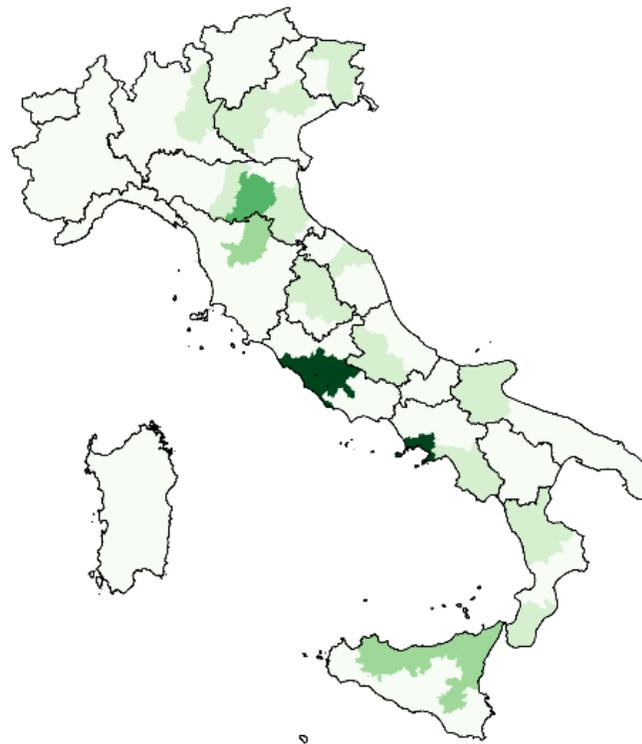
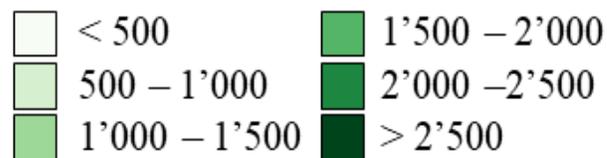
1870-1920: n.ab. 28-38 mil → 2400 v/anno

MED 1870-2020 → 850 v/anno

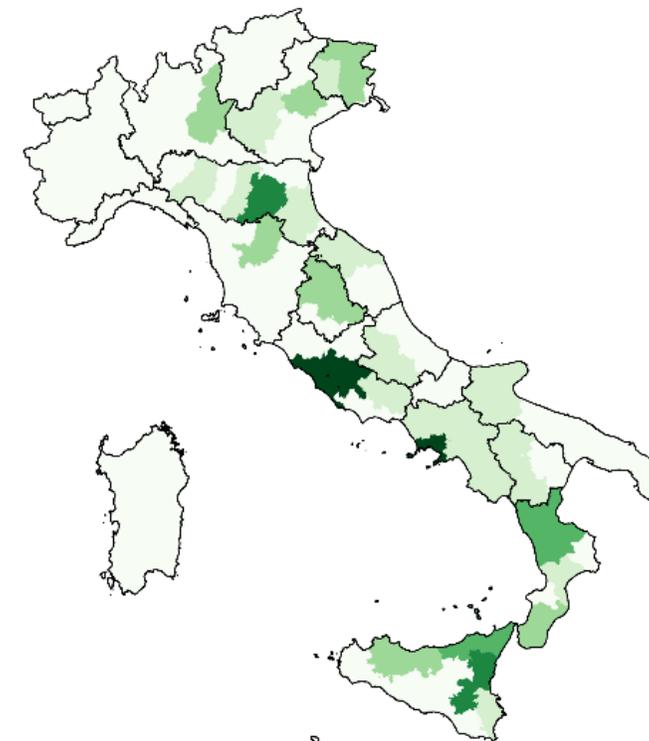
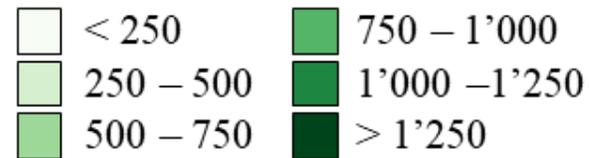
INAGIBILITA' e COLLASSI (attesi in 1 anno, MUR+C.A.)



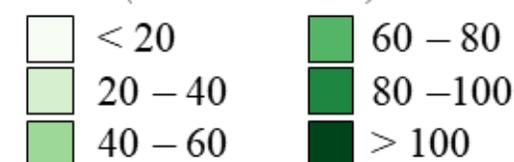
Inagibili di breve periodo
(# abitazioni)



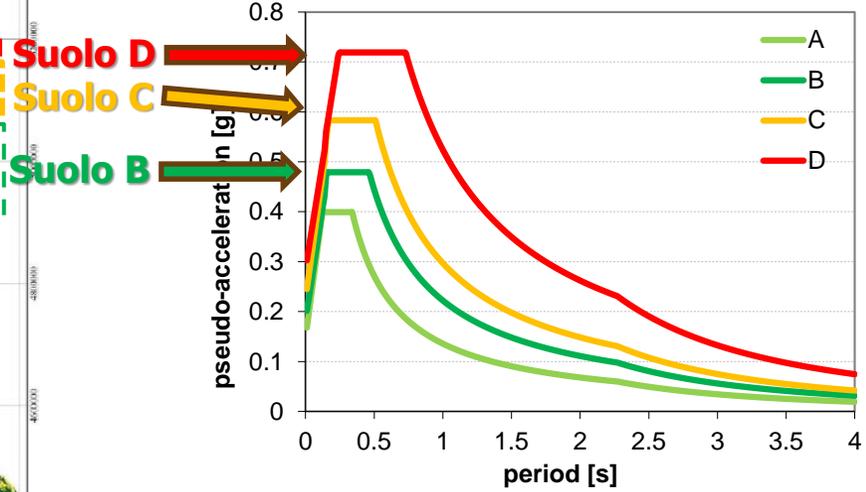
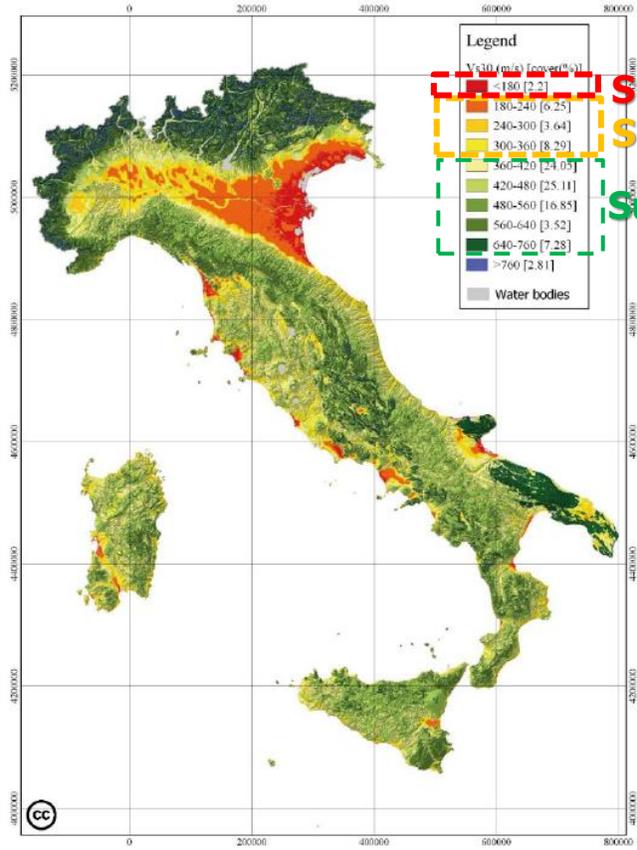
Inagibili di lungo periodo
(# abitazioni)



Collassati
(# abitazioni)



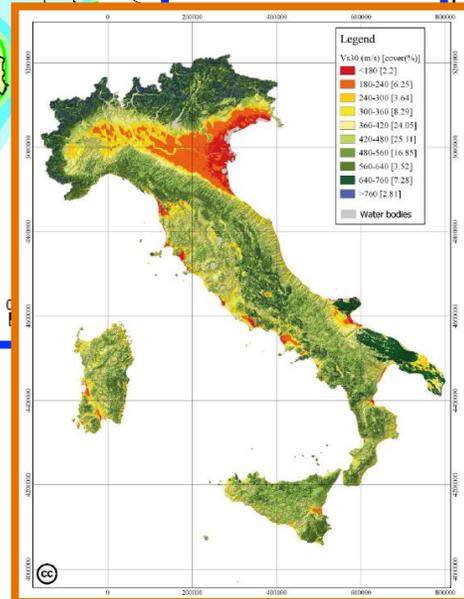
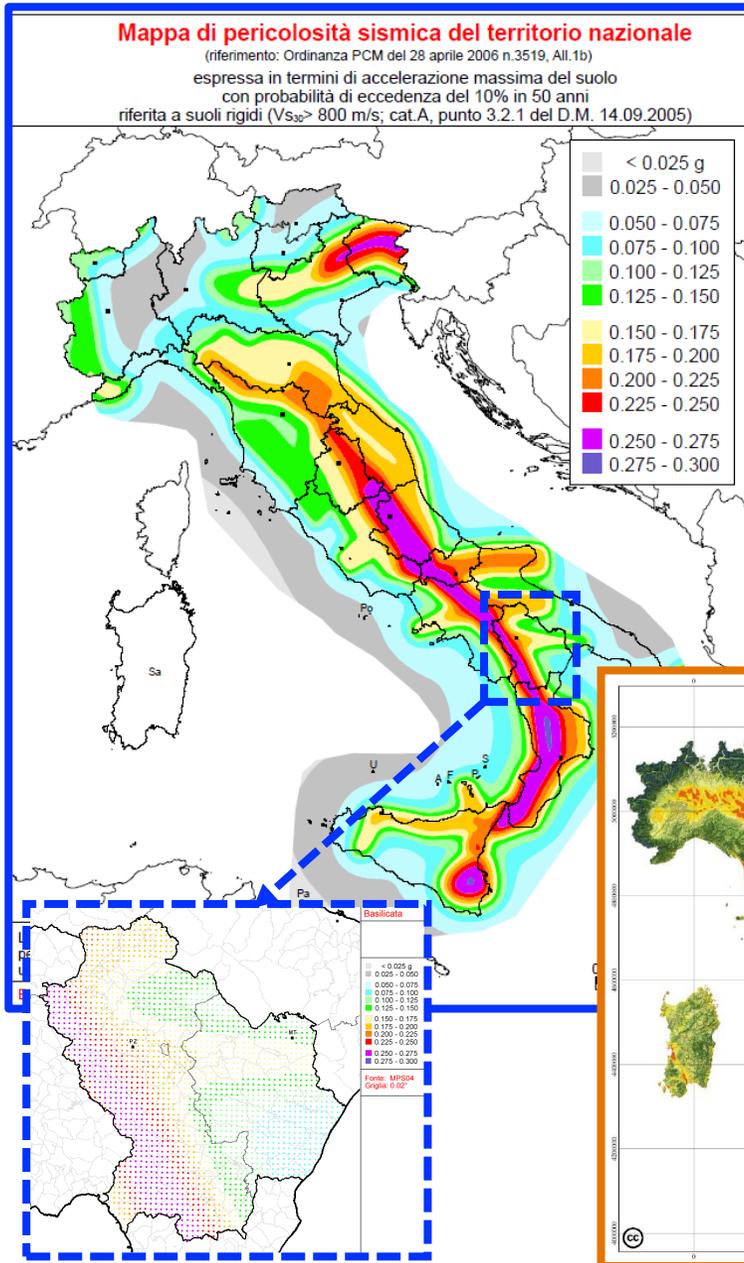
Perdite attese in 1 anno (Edifici residenziali, MUR+C.A.)



Spettri S_a per TR=475 anni e differenti classi di suolo (Napoli)

Variatione perdite attese in 1 anno in funzione delle classi di suolo

Classe di suolo	Perdite umane		Perdite economiche	Impatto (# abitazioni)		Impatto (# edifici)
	Morti	Feriti	Dirette (M€)	Inagibili breve periodo	Inagibili lungo periodo	Collassati
Suolo A	295	1040	1445	16805	9340	580
Suolo B	490	1715	2220	25370	14900	940
Suolo C	855	2980	3535	39280	24435	1615
Suolo D	1350	4685	5115	55250	36360	2500
Mappa suoli	620	2165	2725	30815	18510	1100



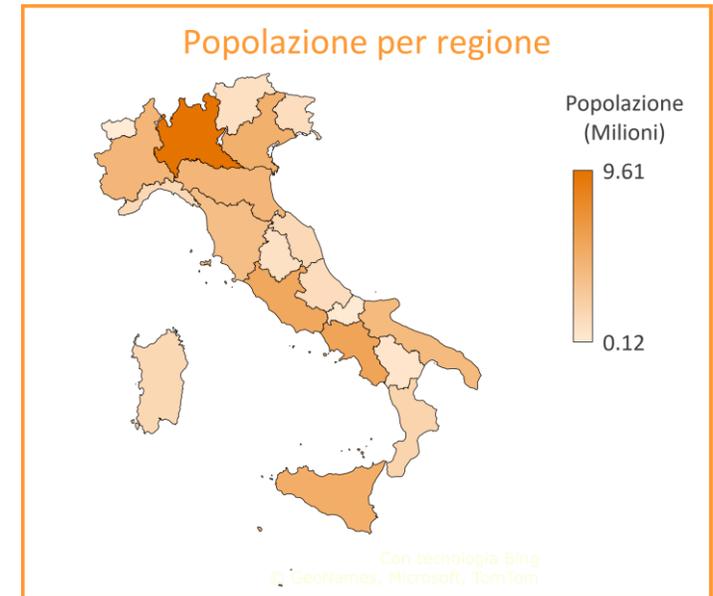
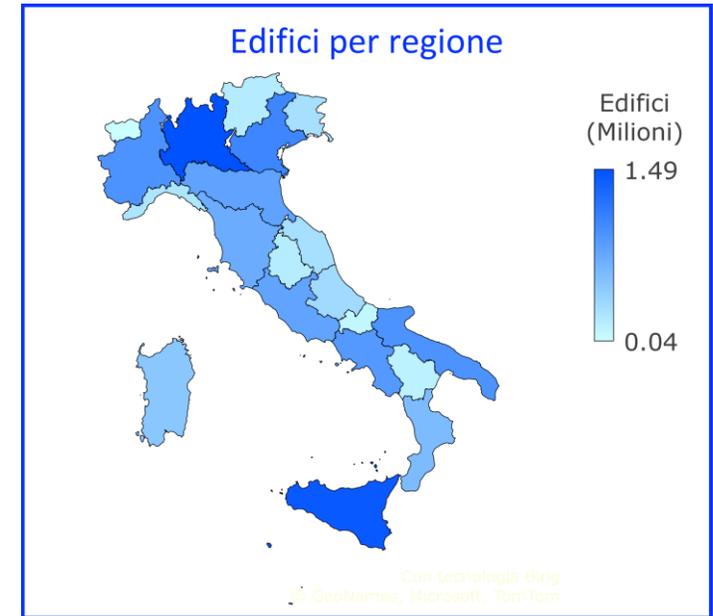
PGA (T=475y) media (suolo A)		
Posiz.	Regione	PGA (g)
1	Calabria	0.23
2	Molise	0.21
3	Abruzzo	0.21
4	Friuli-V. Giulia	0.20
5	Umbria	0.20
6	Marche	0.19
7	Basilicata	0.17
8	Campania	0.17
9	Emilia-Romagna	0.16
10	Sicilia	0.15
11	Lazio	0.14
12	Toscana	0.14
13	Veneto	0.13
14	Puglia	0.12
15	Liguria	0.11
16	Valle d'Aosta	0.09
17	Lombardia	0.08
18	Piemonte	0.08
19	Trent. Alto Adige	0.07
20	Sardegna	0.05

PGA (T=475y) media (con classi di suolo*)			
Posiz.	Regione	PGA (g)	
1	Calabria	0.27	-
2	Friuli-V. Giulia	0.25	↑+2
3	Molise	0.24	↓-1
4	Abruzzo	0.24	↓-1
5	Umbria	0.24	-
6	Marche	0.23	-
7	Emilia-Romagna	0.21	↑+2
8	Campania	0.21	-
9	Basilicata	0.21	↓-2
10	Lazio	0.18	↑+1
11	Veneto	0.18	↑+2
12	Sicilia	0.18	↓-2
13	Toscana	0.18	↓-1
14	Puglia	0.15	-
15	Liguria	0.14	-
16	Lombardia	0.11	↑+1
17	Valle d'Aosta	0.11	↓-1
18	Piemonte	0.10	-
19	Trent. Alto Adige	0.08	-
20	Sardegna	0.06	-

L'ESPOSIZIONE a scala regionale

Edifici per regione		
Posiz.	Regione	n. Edifici (Milioni)
1	Lombardia	1.49
2	Sicilia	1.43
3	Veneto	1.06
4	Puglia	0.95
5	Piemonte	0.94
6	Campania	0.89
7	Emilia-Romagna	0.82
8	Lazio	0.80
9	Toscana	0.73
10	Calabria	0.61
11	Sardegna	0.51
12	Abruzzo	0.35
13	Marche	0.31
14	Friuli-Venezia Giulia	0.31
15	Liguria	0.26
16	Trent. Alto Adige	0.21
17	Umbria	0.20
18	Basilicata	0.16
19	Molise	0.11
20	Valle d'Aosta	0.04

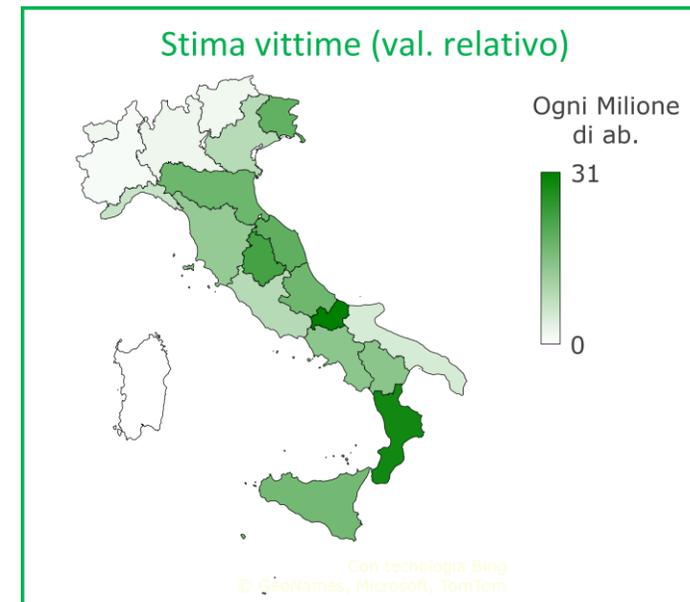
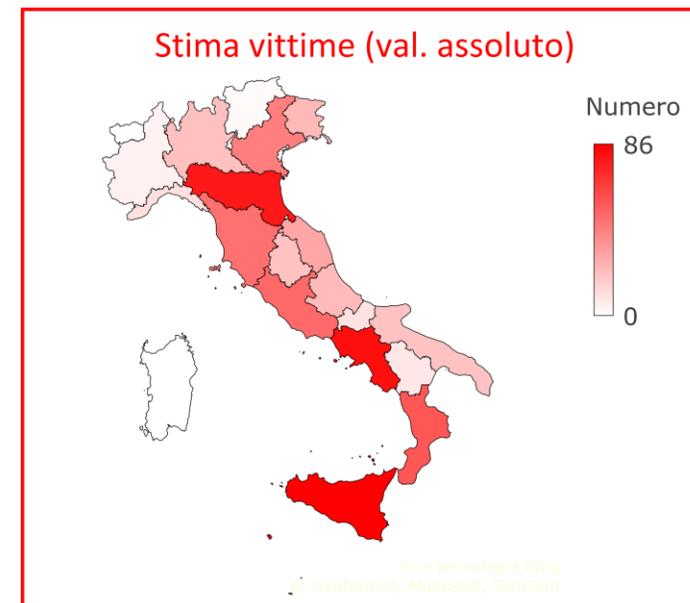
Popolazione per regione		
Posiz.	Regione	Popolazione (Milioni)
1	Lombardia	9.61
2	Campania	5.73
3	Lazio	5.43
4	Sicilia	4.97
5	Veneto	4.79
6	Piemonte	4.31
7	Emilia-Romagna	4.30
8	Puglia	4.03
9	Toscana	3.64
10	Calabria	1.94
11	Sardegna	1.62
12	Liguria	1.55
13	Marche	1.53
14	Abruzzo	1.29
15	Friuli-Venezia Giulia	1.20
16	Trentino Alto Adige	1.00
17	Umbria	0.88
18	Basilicata	0.57
19	Molise	0.31
20	Valle d'Aosta	0.12



Stima delle **VITTIME** attese in 1 anno per ogni regione

Vittime (assolute)		
Posiz.	Regione	Numero
1	Sicilia	86
2	Campania	81
3	Emilia-Romagna	78
4	Calabria	57
5	Lazio	50
6	Toscana	48
7	Veneto	43
8	Marche	30
9	Friuli-Venezia Giulia	23
10	Abruzzo	23
11	Lombardia	21
12	Puglia	21
13	Umbria	20
14	Liguria	11
15	Molise	10
16	Basilicata	8
17	Piemonte	5
18	Trentino-Alto Adige	2
19	Valle d'Aosta	0
20	Sardegna	0

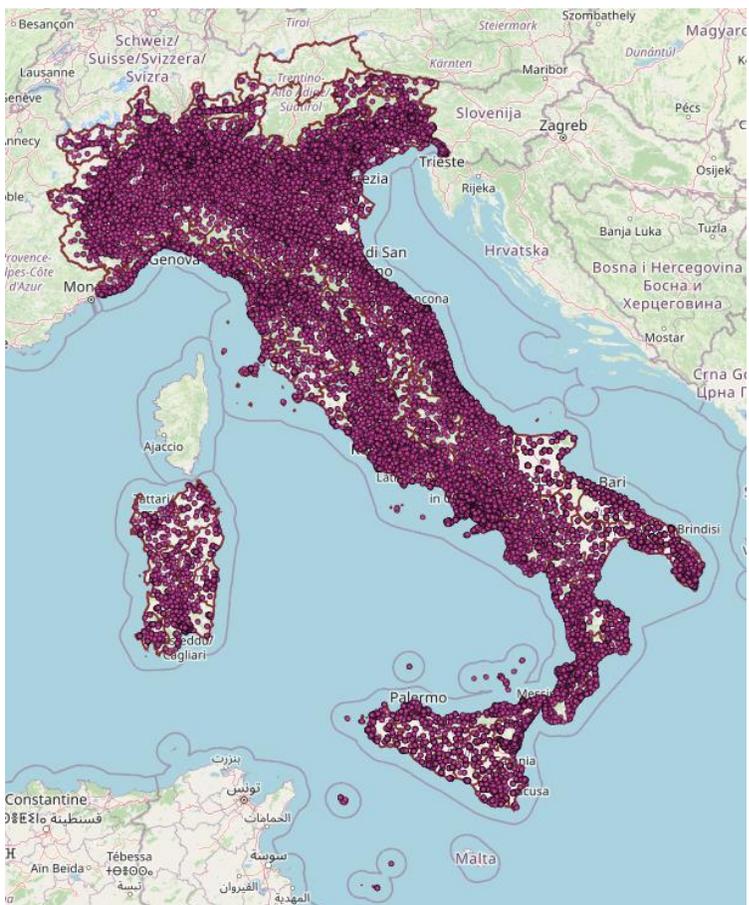
Vittime (relative)			
Posiz.	Regione	ogni 1'000'000 ab.	
1	Molise	31	↑+14
2	Calabria	29	↑+2
3	Umbria	23	↑+10
4	Marche	20	↑+4
5	Friuli-Venezia Giulia	19	↑+4
6	Emilia-Romagna	18	↓-3
7	Abruzzo	18	↑+3
8	Sicilia	17	↓-7
9	Basilicata	14	↑+7
10	Campania	14	↓-8
11	Toscana	13	↓-5
12	Lazio	9	↓-7
13	Veneto	9	↓-6
14	Liguria	7	-
15	Puglia	5	↓-3
16	Lombardia	2	↓-5
17	Valle d'Aosta	2	↑+2
18	Trentino-Alto Adige	2	-
19	Piemonte	1	↓-2
20	Sardegna	0	-



ESPOSIZIONE

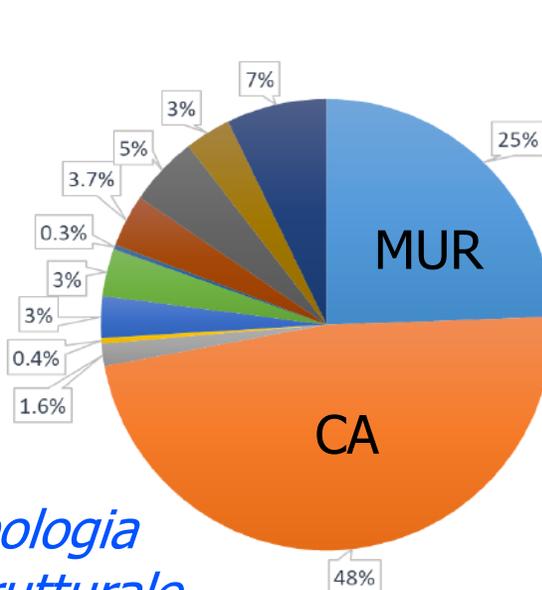
Circa 52.000 unità strutturali

(Anagrafe Edilizia Scolastica 2022)

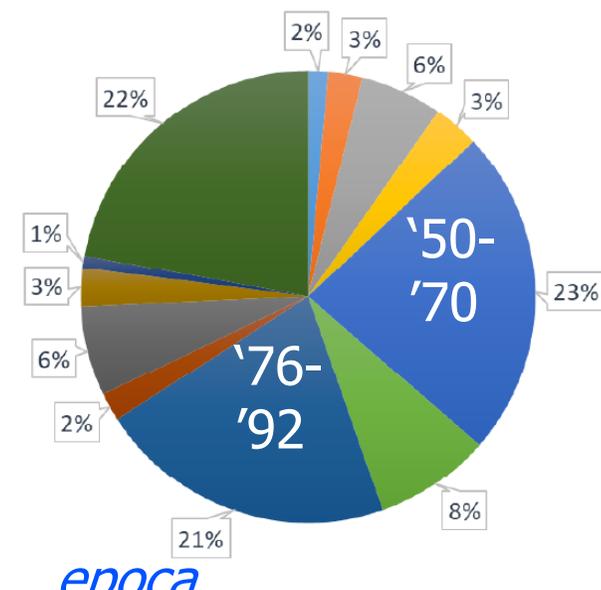


Tassonomia: parametri tipologici che maggiormente condizionano il comportamento strutturale

- TIPOLOGIA COSTRUTTIVA
- NUMERO DI PIANI
- EPOCA DI COSTRUZIONE
- AREA DI PIANO
- STATO DI CONSERVAZIONE
- INTERVENTI DI RINFORZO



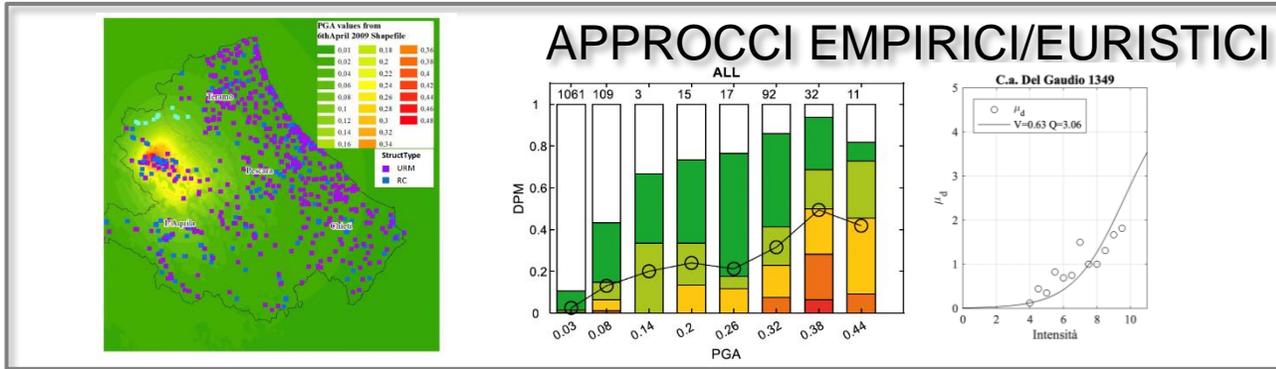
tipologia strutturale



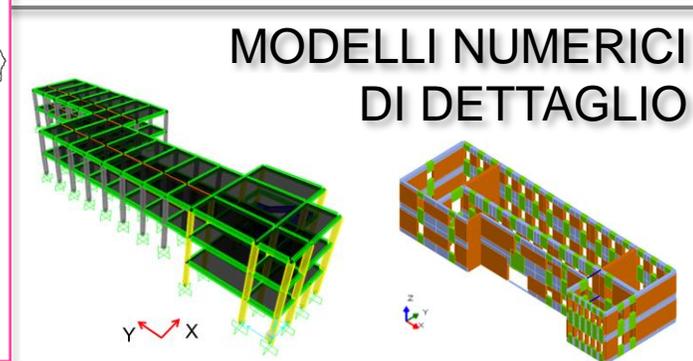
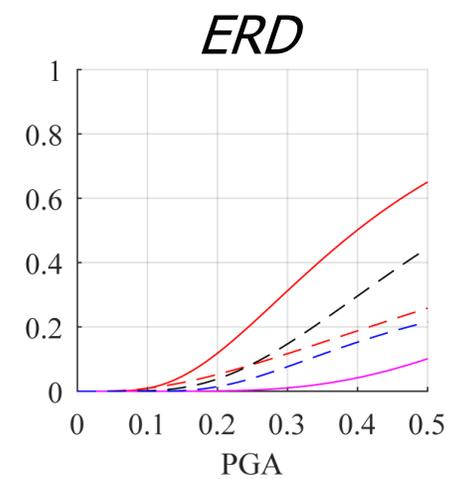
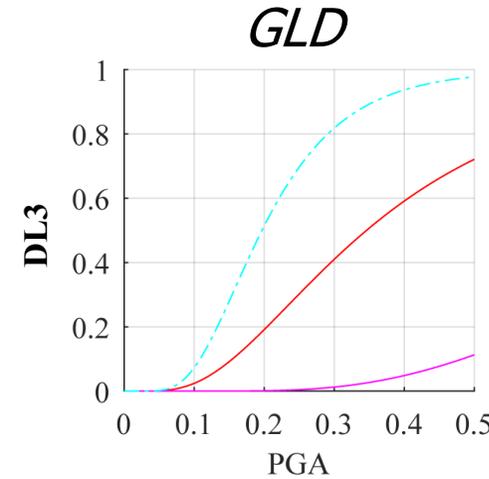
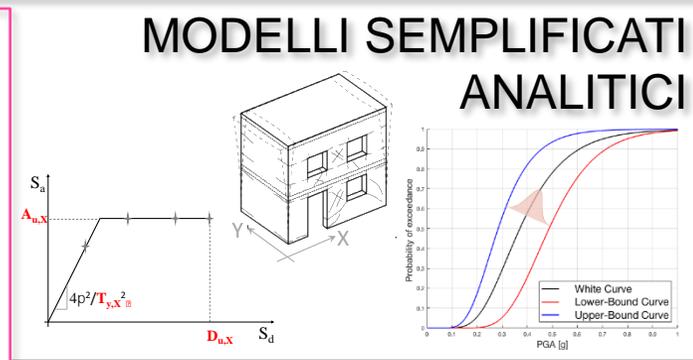
epoca

cortesia gruppo di lavoro ing. Barbara Borzi (Eucentre)

VULNERABILITA'



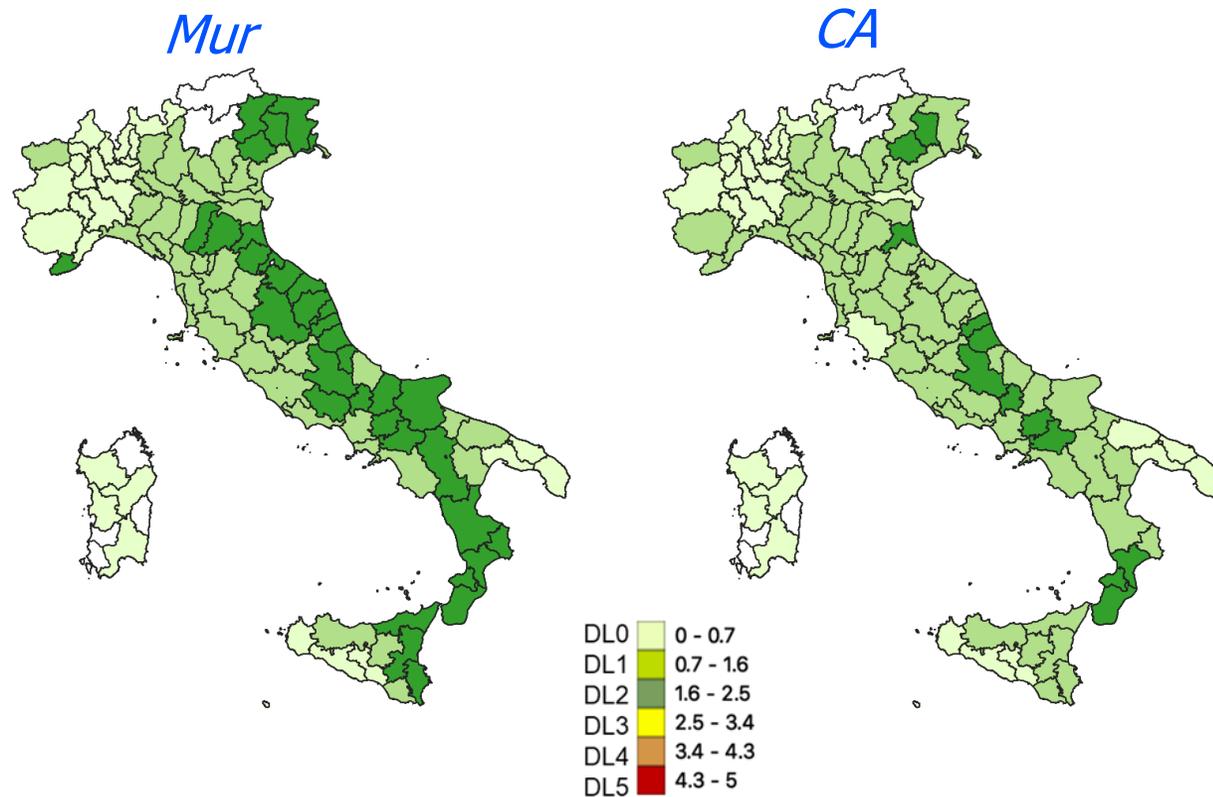
Esempi di curve di fragilità per edifici in C.A. progettati per soli carichi verticali (GLD) e per azioni sismiche (ERD) post-1976 (Livello di danno D3, EMS-98)



CONSEGUENZE

Stima del **danno medio** atteso per eventi con periodo di ritorno 475 anni (*rischio condizionato*)

Conseguenze in termini di **inagibilità** (breve e di lungo periodo) per **eventi** che possono occorrere in **un anno** (*rischio incondizionato*)



	Edifici	Inagibili breve periodo	Inagibili lungo periodo
Muratura	#	65	55
	%	0.53	0.45
CA	#	165	40
	%	0.66	0.15
MUR+CA	#	230	95
	%	0.62	0.25

1. ESPOSIZIONE

- Edilizia residenziale (regionaliz.)
- Scuole, **Ospedali**
- Chiese, **edifici monumentali**
- **Capannoni**
- Infrastrutture



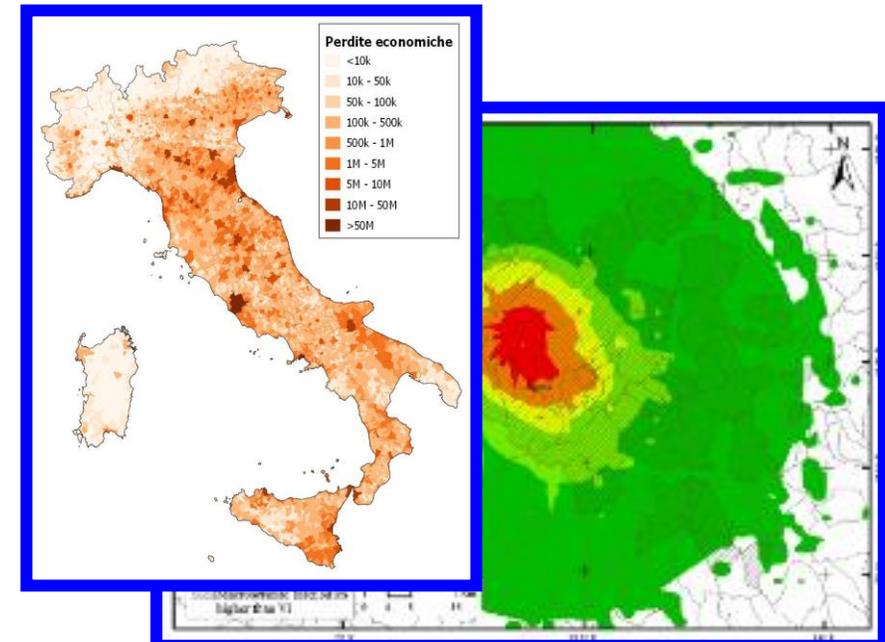
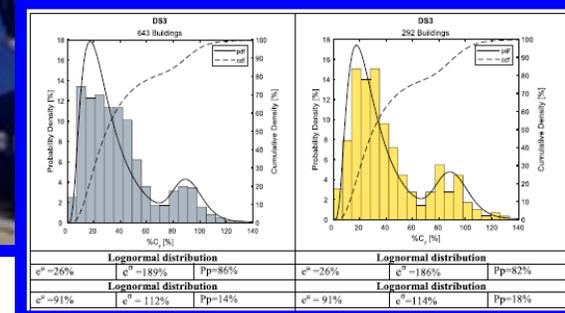
2. VULNERABILITÀ

- Edifici rinforzati (→ WP5)
- Edifici in aggregato



3. PERDITE

- Aggiornamento modelli esistenti
- Costi indiretti (es. assistenza popolazione)



4. MAPPE di RISCHIO e SCENARI

ReLuis 2019-2021 – WP4 (MARS)



PROGETTO DPC-RELUIS 2019-2021

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

Coordinatori:

Sergio Lagomarsino
Università degli Studi di Genova

Angelo Masi
Università degli Studi della Basilicata

MARS: Mappe di rischio dell'edilizia residenziale

REPORT FINALE

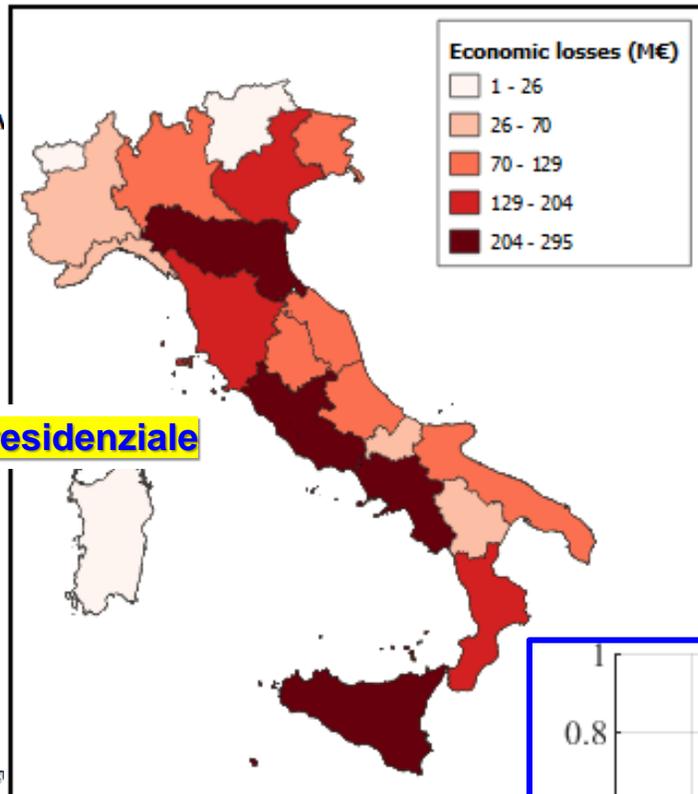
Redatto a cura di Sergio Lagomarsino e Angelo Masi
con la collaborazione di Sara Alfano e Giuseppe Nicodemo

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

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

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

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



ReLuis 2019-2021 – WP4 (MARS)



PROGETTO DPC-RELUIS 2019-2021

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

Coordinatori: Sergio Lagomarsino e Angelo Masi

MARS: Modelli e curve di fragilità per le scuole

Prodotto Task 4.7

Responsabili del Task: Serena Cattari e Angelo Masi

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

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

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

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

UR7 (UniNA) – Cattari S (Responsabile Scientifico UR),

UR8 (UniNA) – Prota A (Responsabile Scientifico UR),

UR9 (UniNA) – Prota A (Responsabile Scientifico UR),

UR10 (UniNA) – Prota A (Responsabile Scientifico UR),

UR11 (UniNA) – Prota A (Responsabile Scientifico UR),

UR12 (UniNA) – Prota A (Responsabile Scientifico UR),

UR13 (UniNA) – Prota A (Responsabile Scientifico UR),

UR14 (UniNA) – Prota A (Responsabile Scientifico UR),

UR15 (UniNA) – Prota A (Responsabile Scientifico UR),

UR16 (UNIPD) – da Porto F (Responsabile Scientifico UR),

UR17 (UNIPD) – da Porto F (Responsabile Scientifico UR),

UR18 (UNIPD) – da Porto F (Responsabile Scientifico UR),

UR19 (UNIPR) – Beatrice Belletti (Responsabile Scientifico UR),

UR20 (UNIPV) – Andrea Penna / Francesco Graziotti (Responsabile Scientifico UR),

UR21 (UNIRMI-a) – Giorgio Monti (Responsabile Scientifico UR),

UR22 (UNIRMI-b) – Luigi Sorrentino (Responsabile Scientifico UR),

UR23 (UNISA) – Enzo Martinelli (Responsabile Scientifico UR),

UR24 (UNISA) – Enzo Martinelli (Responsabile Scientifico UR),

UR25 (UNITSb) – Gattesco N (Responsabile Scientifico UR),

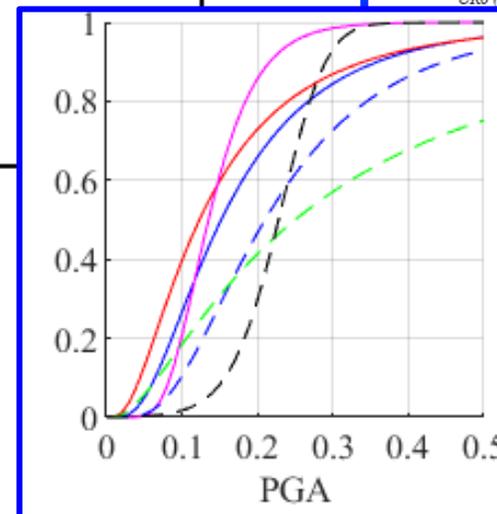
UR26 (UNITSb) – Gattesco N (Responsabile Scientifico UR),

UR27 (UNITSb) – Gattesco N (Responsabile Scientifico UR),

UR28 (UNITSb) – Gattesco N (Responsabile Scientifico UR),

UR29 (UNITSb) – Gattesco N (Responsabile Scientifico UR),

Referenti del DPC per il WP4: Mauro



IO NON RISCHIO BUONE PRATICHE DI PROTEZIONE CIVILE



2015 → ~ 400 piazze



2016 → ~700 piazze



Anno 2011 → 9 Piazze



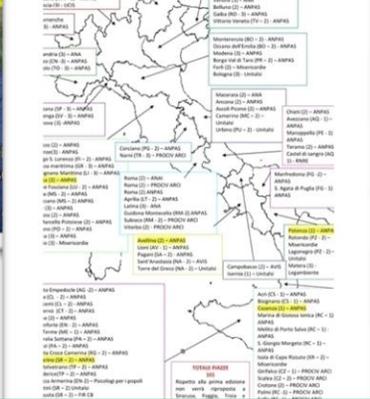
2013 → ~200 piazze



2014 → ~200 piazze



2012 → ~100 Piazze



- Decine di migliaia di VOLONTARI formati
- Milioni di CITTADINI informati

2017, 2018: ...
2019: 800 piazze «reali»
2020: 350 piazze digitali
2021-2023: 500 piazze



SAIE 2024 - Scuola di Ingegneria Strutturale ReLUIS
LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO, Angelo MASI

Cittadini informati → consapevoli → attivi !!!



**Vi aspettiamo Domenica 13 ottobre in
centinaia di piazze italiane per la
*Giornata nazionale IO NON RISCHIO***



Rete dei Laboratori Universitari
di Ingegneria Sismica e Strutturale



6 / 13
OTTOBRE
2024

#settimanadiPC

SCUOLA DI INGEGNERIA STRUTTURALE – RELUIS

Bologna, 9-11 ottobre 2024

IL RISCHIO SISMICO E LE AZIONI PER LA SUA MITIGAZIONE (Parte 1)

Angelo Masi

Ordinario di Tecnica delle Costruzioni, Università della Basilicata
(con la collaborazione di A. Digrisolo, V. Manfredi e G. Ventura)