



14 Maggio, 2024, Trento, Italia

Vulnerabilità e Rischio Sismico

Chiara Nardin
University of Trento, Italy
chiara.nardin@unitn.it

Oreste Salvatore Bursi
University of Trento, Italy
oreste.bursi@unitn.it

Marco Broccardo*
University of Trento, Italy
marco.broccardo@unitn.it



Aree di interesse tecnico scientifico

- Affidabilità Strutturale
- Ingegneria sismica, vulnerabilità e rischio sismico
- Dinamica Stocastica
- Metodi computazionali per l'analisi delle incertezze

Outline

1

Motivazione & definizioni di rischio sismico

2

Rischio Sismico marginale/individuale

3

Rischio Sismico regionale & Progetto MAERS

4

Conclusioni & Prospettive

Outline

1

Motivazione & definizioni di rischio sismico

2

Rischio Sismico marginale/individuale

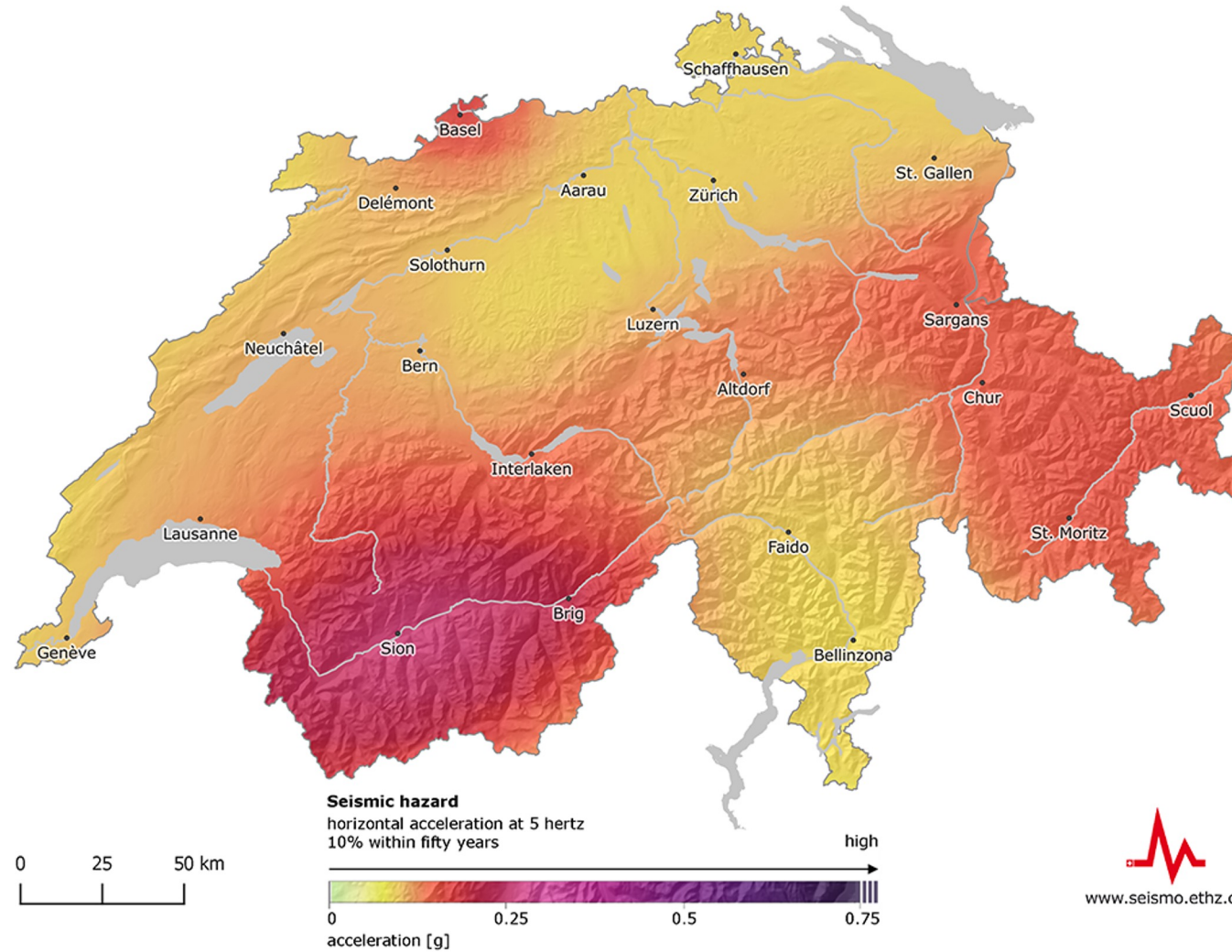
3

Rischio Sismico regionale & Progetto MAERS

4

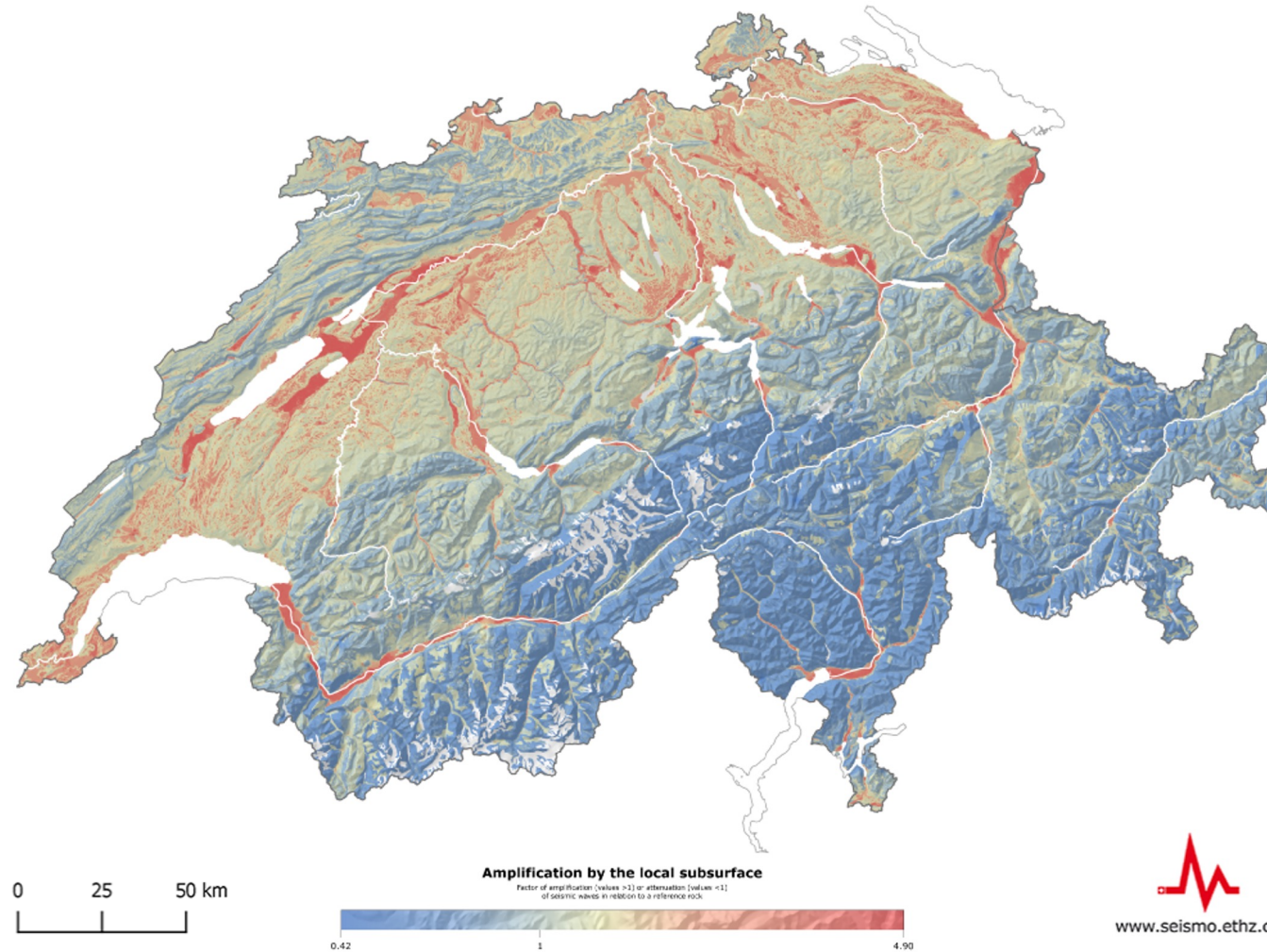
Conclusioni & Sviluppi Futuri

Rischio sismico $\neq$ Pericolosità sismica



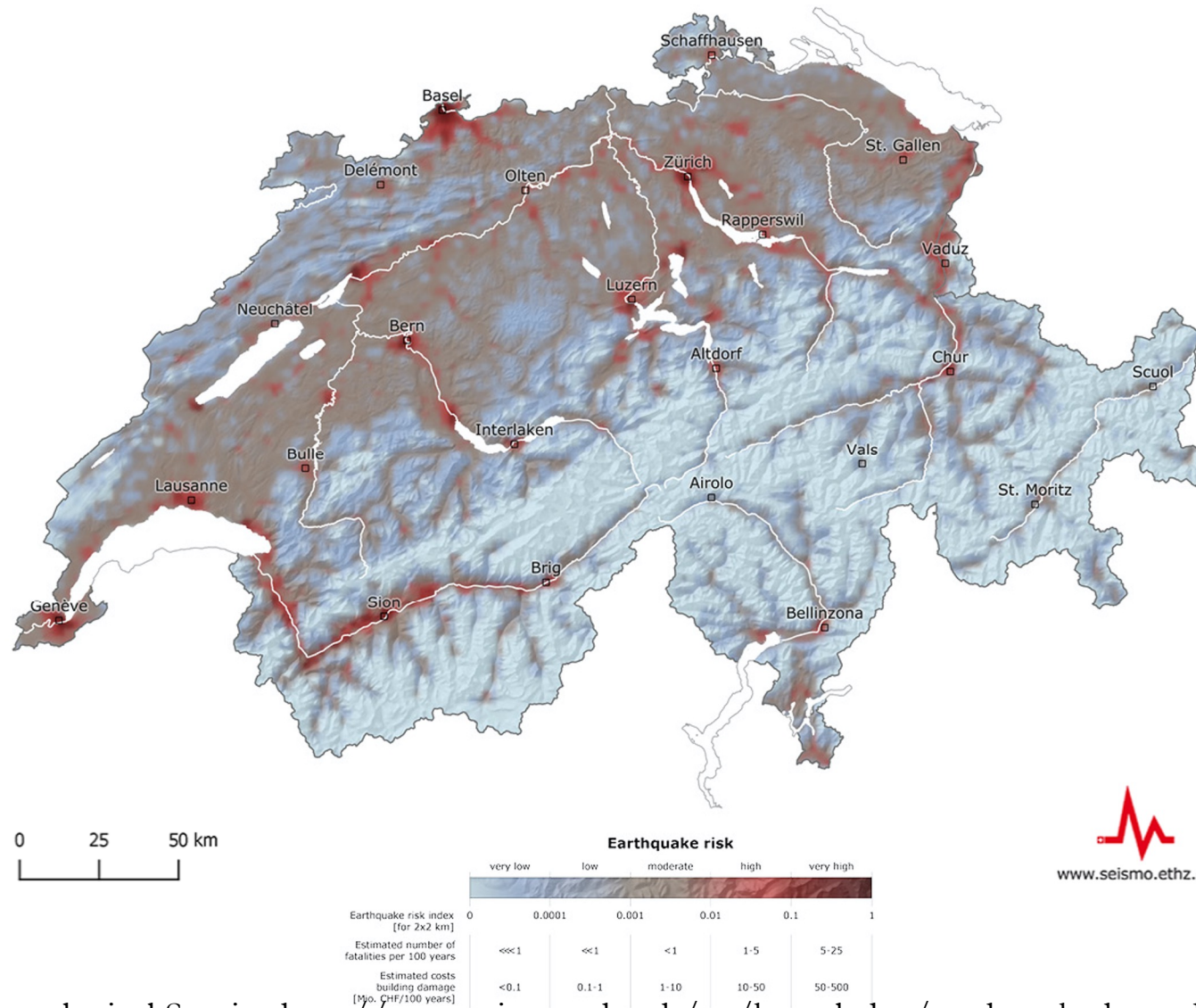
Fonte: Swiss Seismological Service <http://www.seismo.ethz.ch/en/knowledge/earthquake-hazard-and-risk/maps/>

Rischio sismico $\neq$ Pericolosità sismica



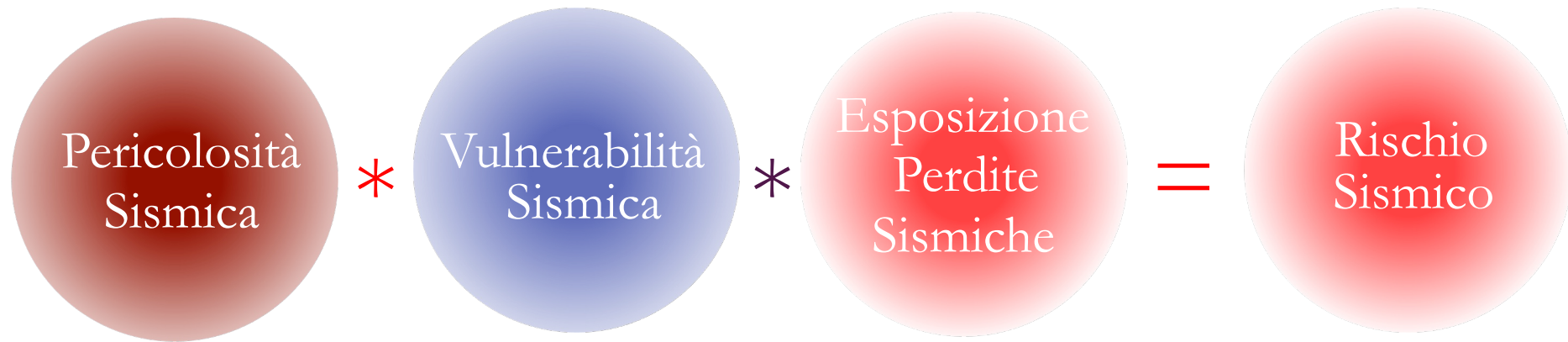
Fonte: Swiss Seismological Service <http://www.seismo.ethz.ch/en/knowledge/earthquake-hazard-and-risk/maps/>

Rischio sismico $\neq$ Pericolosità sismica

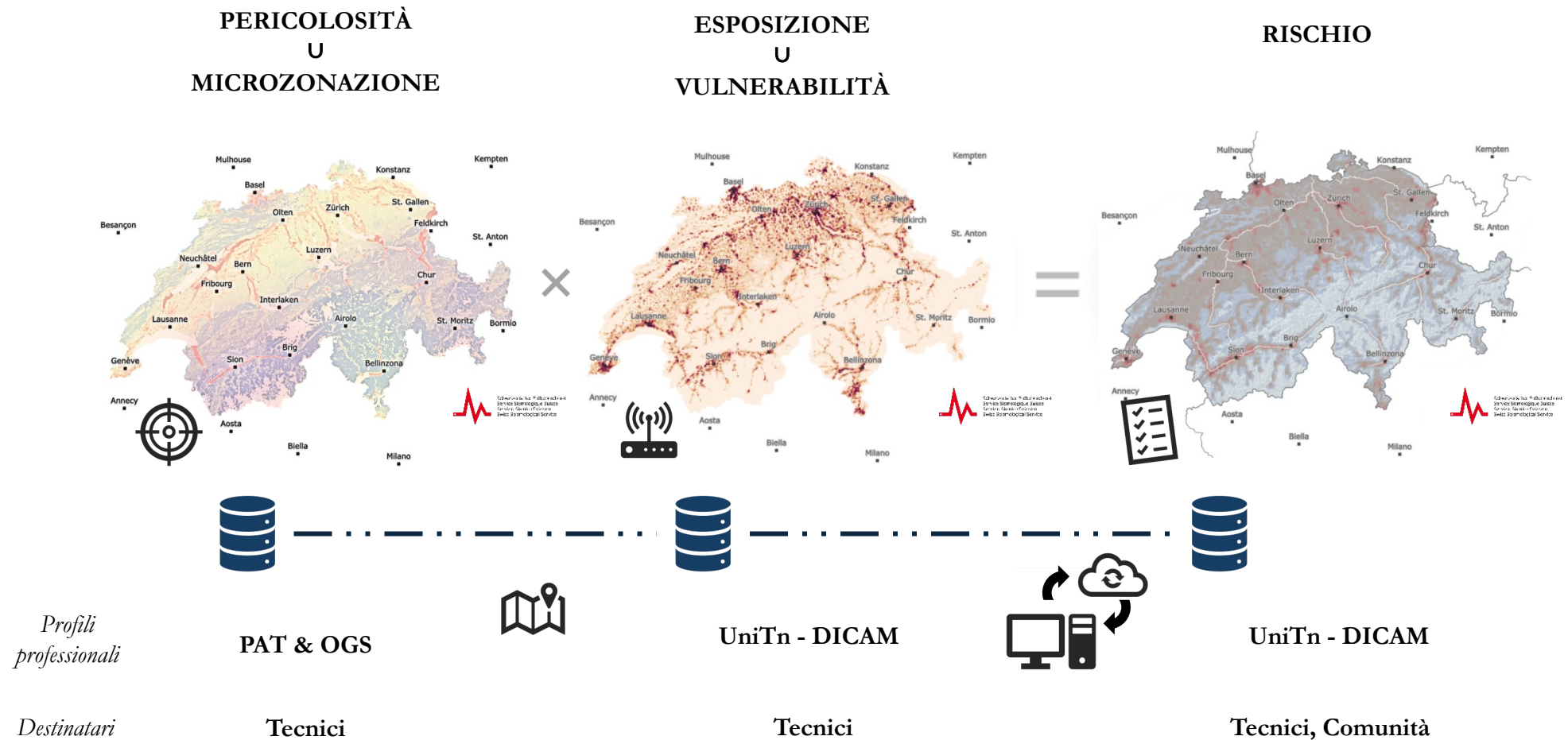


Fonte: Swiss Seismological Service <http://www.seismo.ethz.ch/en/knowledge/earthquake-hazard-and-risk/maps/>

Rischio sismico $\neq$ Pericolosità sismica



Rischio sismico regionale



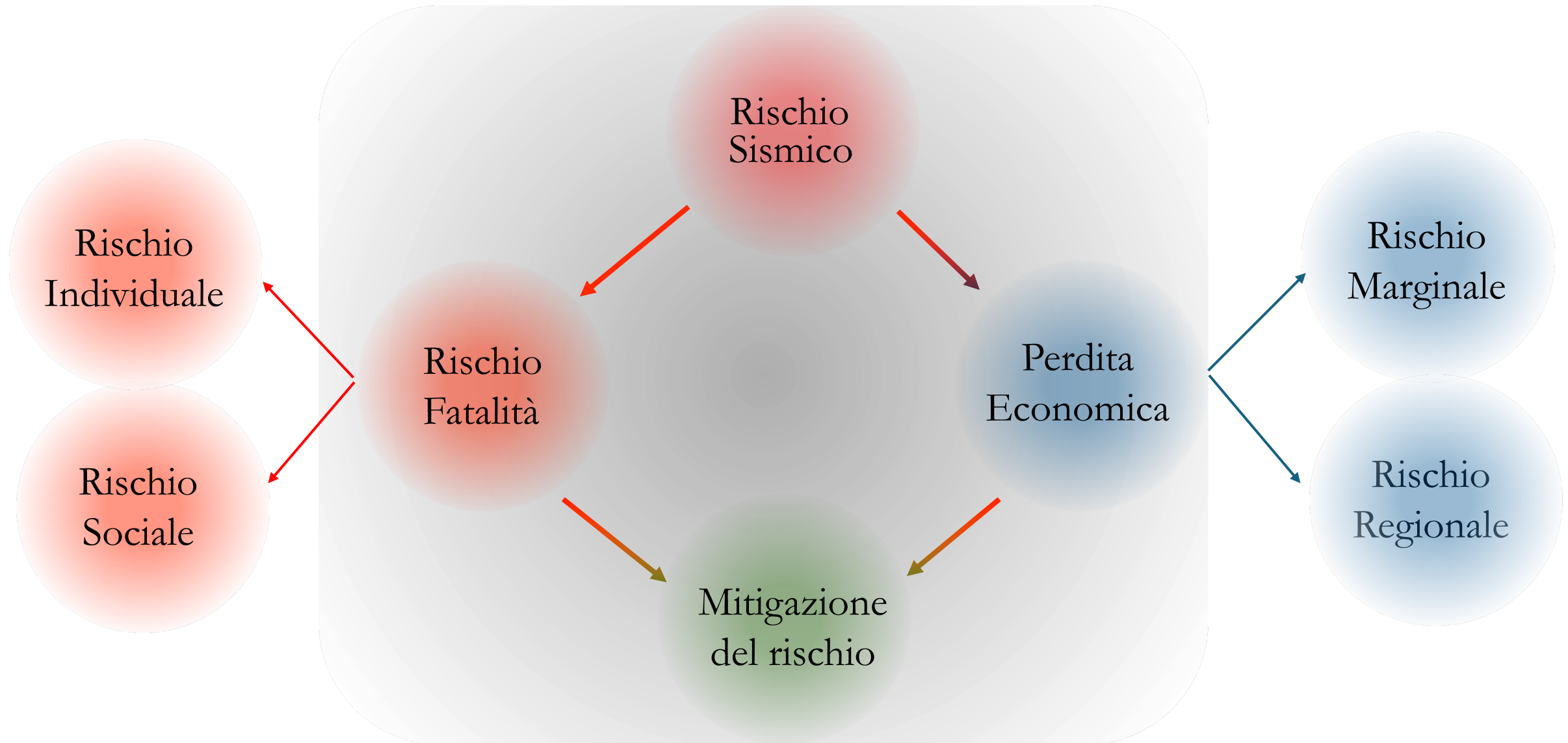
Fonte: Swiss Seismological Service <http://www.seismo.ethz.ch/en/knowledge/earthquake-hazard-and-risk/maps/>

Terremoto Riva del Garda, 13 Dicembre 1976



- Magnitudo ~ 4.3 , Scala Mercalli 6.5
- Nessuna vittima, 300 sfollati
- 10 miliardi Lire $\sim$ 50 milioni di Euro atualizzati
- Perdite indirette si possono stimare con un rapporto 3:1

Tipologie di rischio sismico



Tipologie di rischio sismico



Mitigazione
del rischio

- Pre-sisma
 - Adeguamento sismico edifici
 - Prioritizzazione degli interventi con allocazione ottimale delle risorse
 - Analisi costi benefici razionale
- Post-sisma
 - Stima Rapida del danni
 - Coordinamento rapido interventi post sisma
 - Strategie di riparo e ricostruzione ottimale

Outline

1

Motivazione & definizioni di rischio sismico

2

Rischio Sismico marginale/individuale

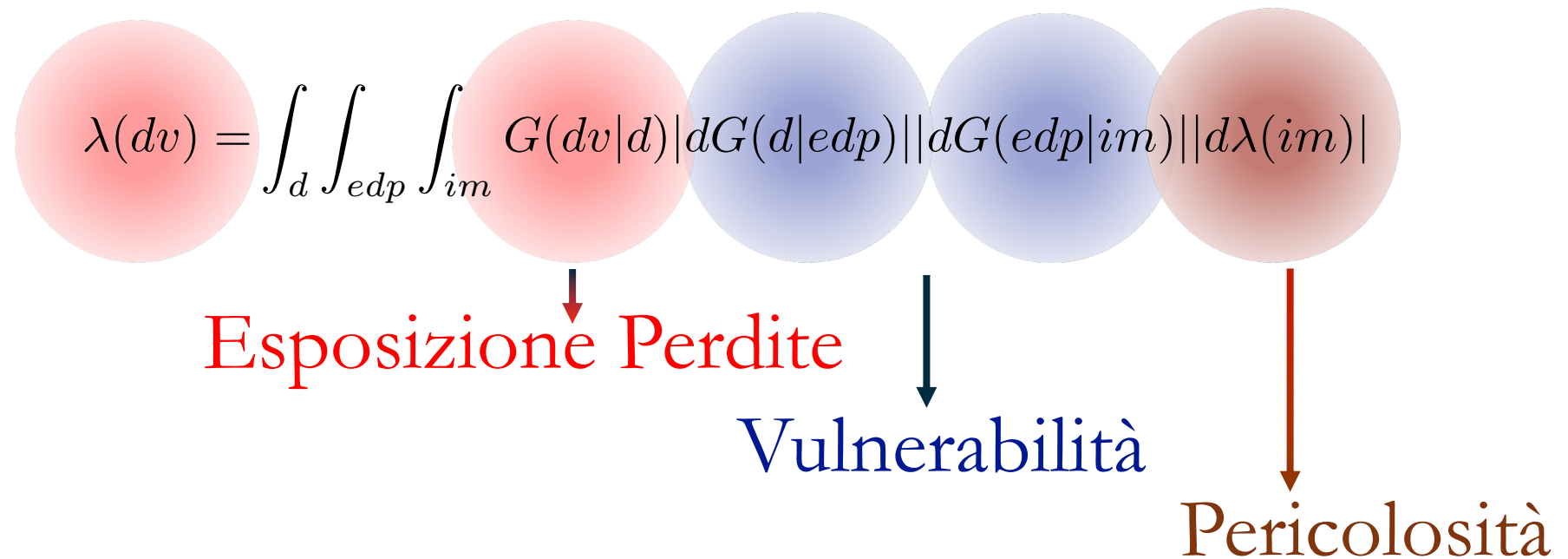
3

Rischio Sismico regionale & Progetto MAERS

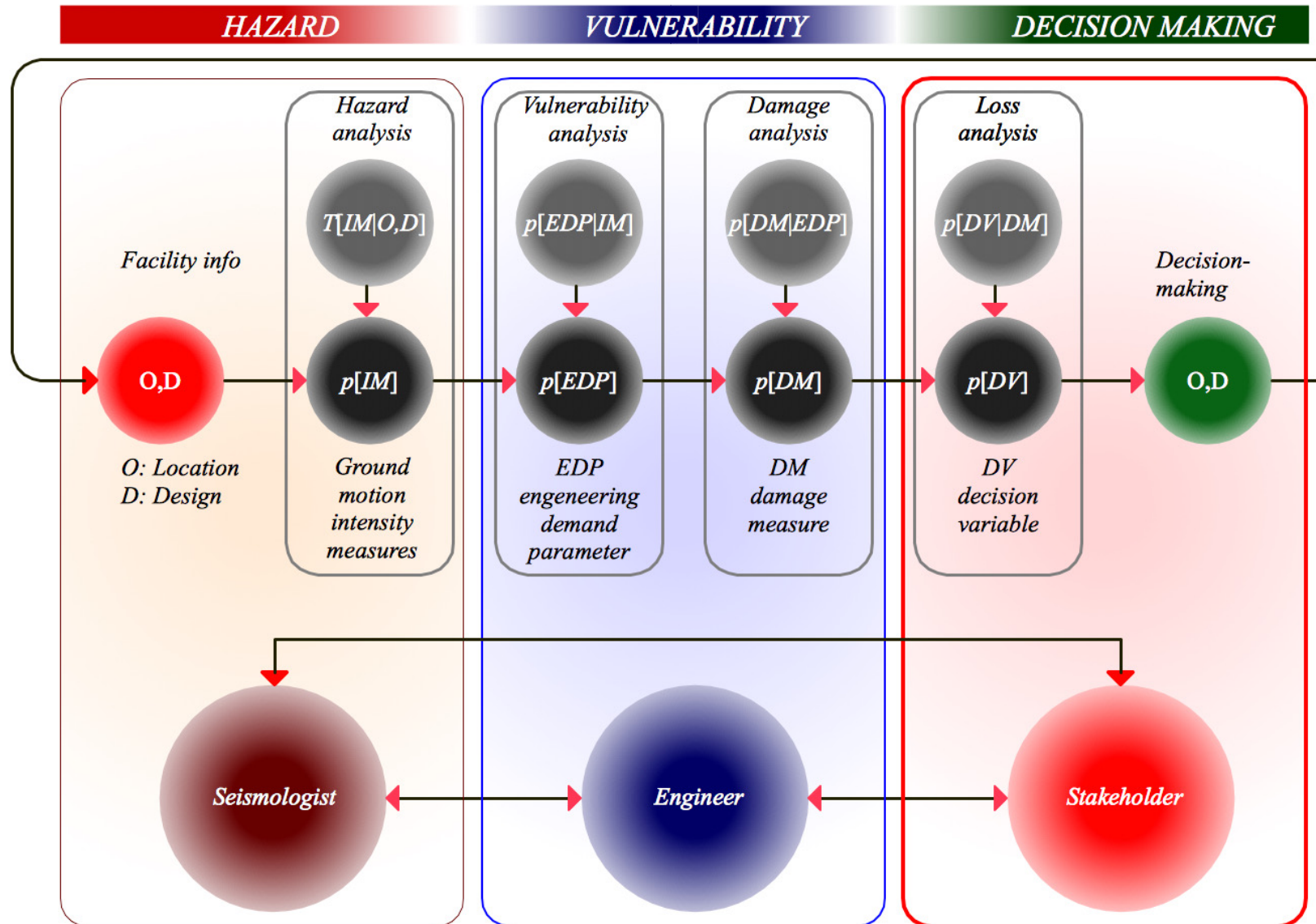
4

Conclusioni e Sviluppi Futuri

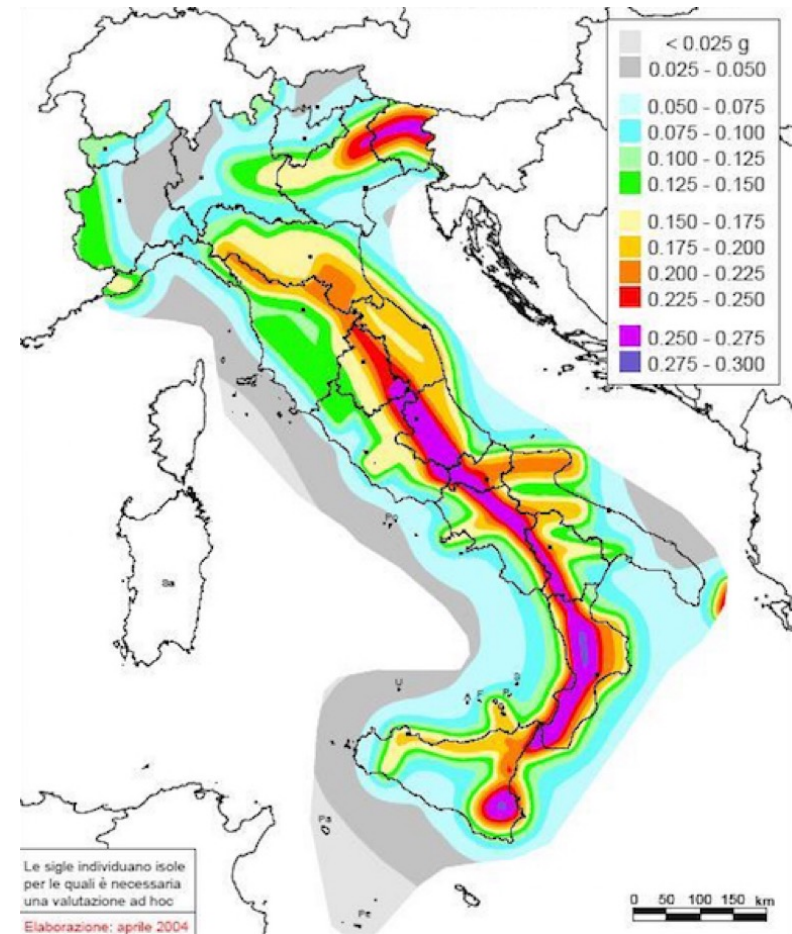
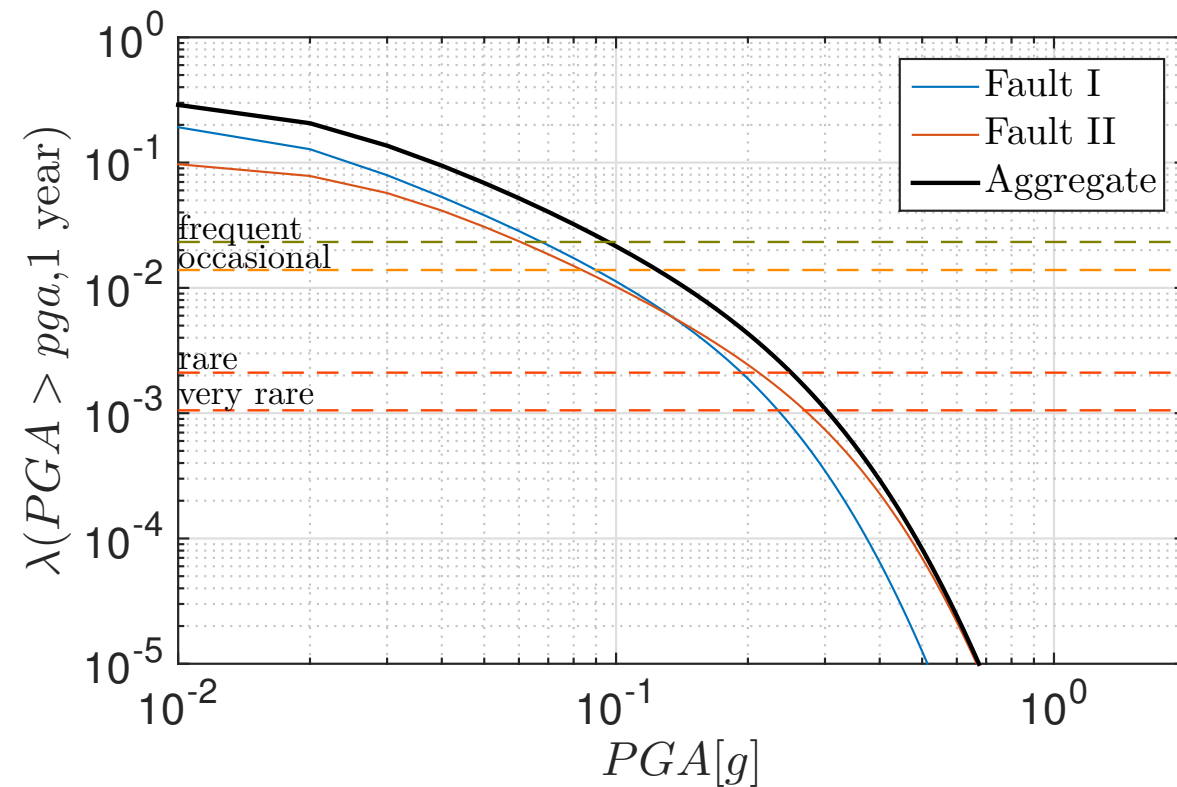
PEER-PBEE formula



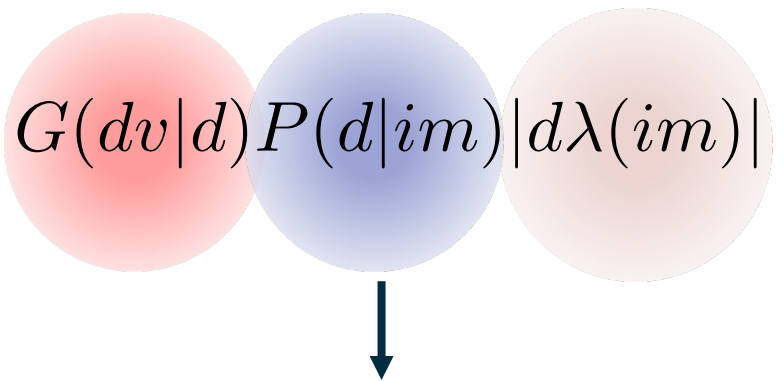
PEER-PBEE formula



Curve di Pericolosità Sismica



PEER-PBEE formula in pratica

$$\lambda(dv) = \sum_d \int_{im} G(dv|d) P(d|im) |d\lambda(im)|$$


Funzioni di Fragilità

Funzioni di Fragilità



DG 1:
Slight Damage



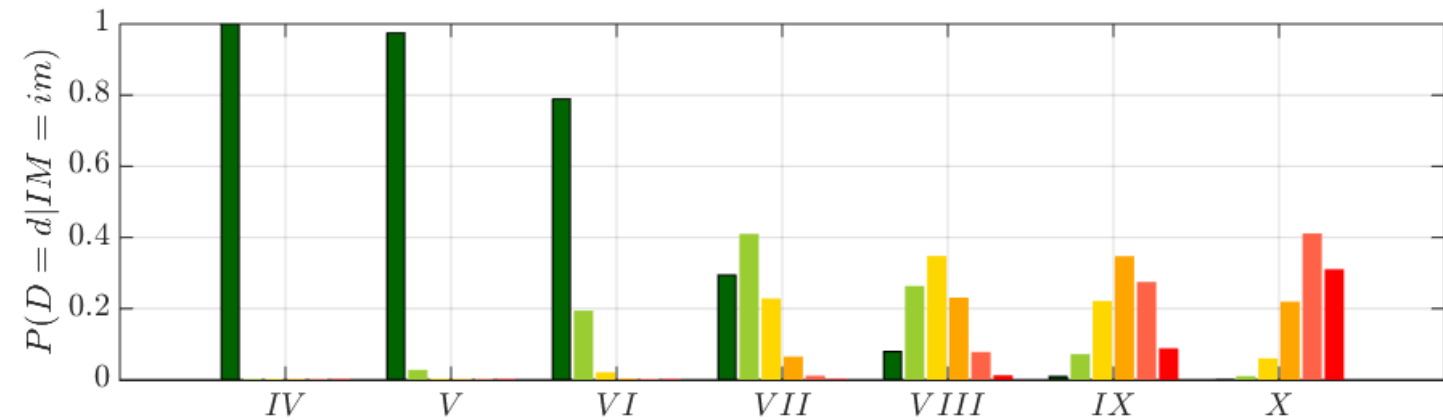
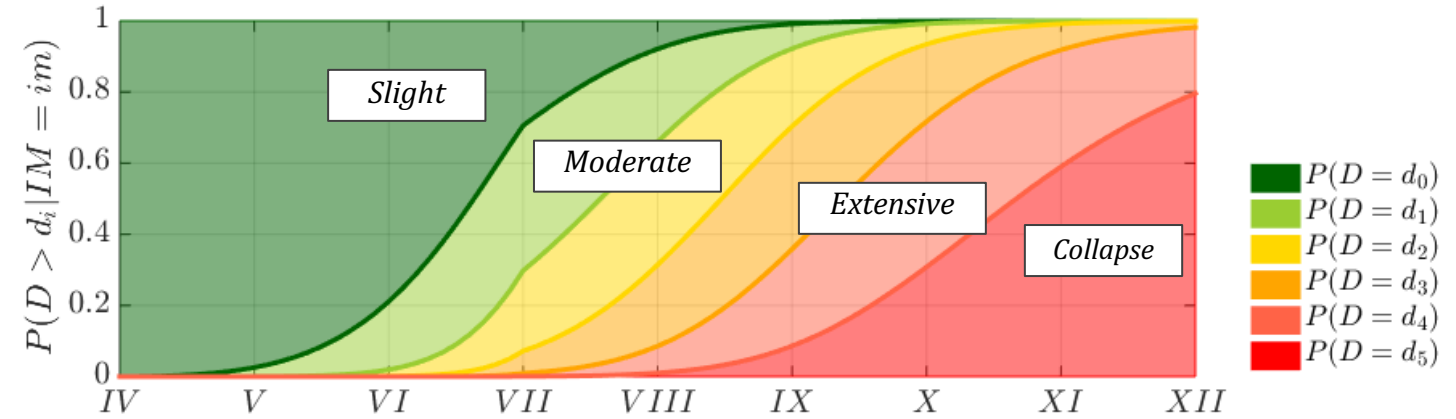
DG 2:
Moderate Damage



DG 3:
Extensive Damage



DG 4:
Complete Damage

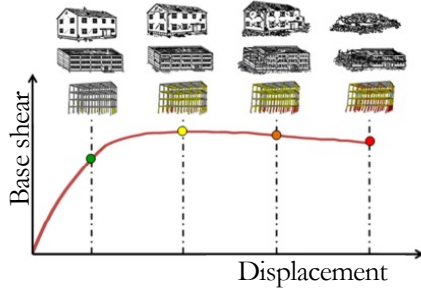
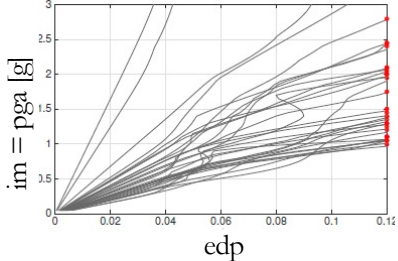


Fonte: ⁽¹⁾ EMS 98 Intensity scale (source: www.seismo.ethz.ch)

⁽²⁾ Mignan A; Karvounis D; Broccardo M; Wiemer S; Giardini D. "Including Seismic Risk Mitigation Measures into the Levelized Cost Of Electricity in Enhanced Geothermal Systems for Optimal Siting." Applied energy 238 (2019): 831–850.

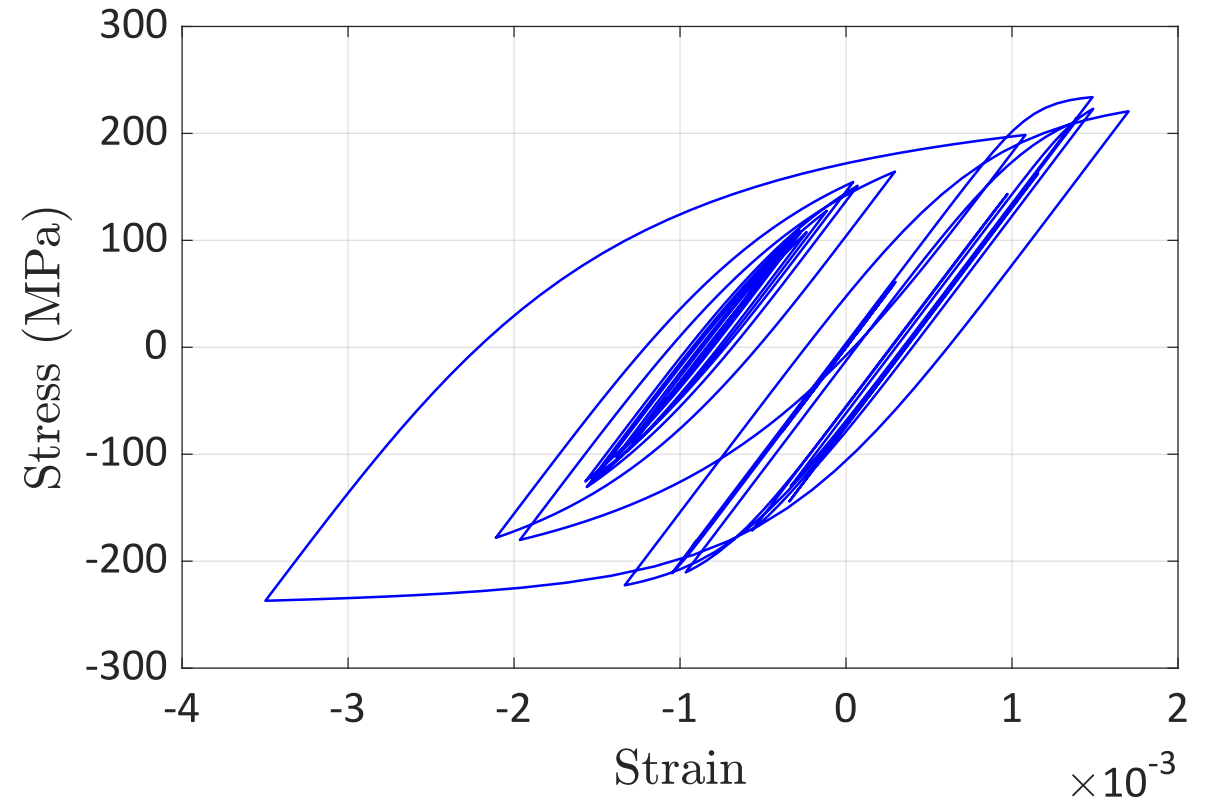
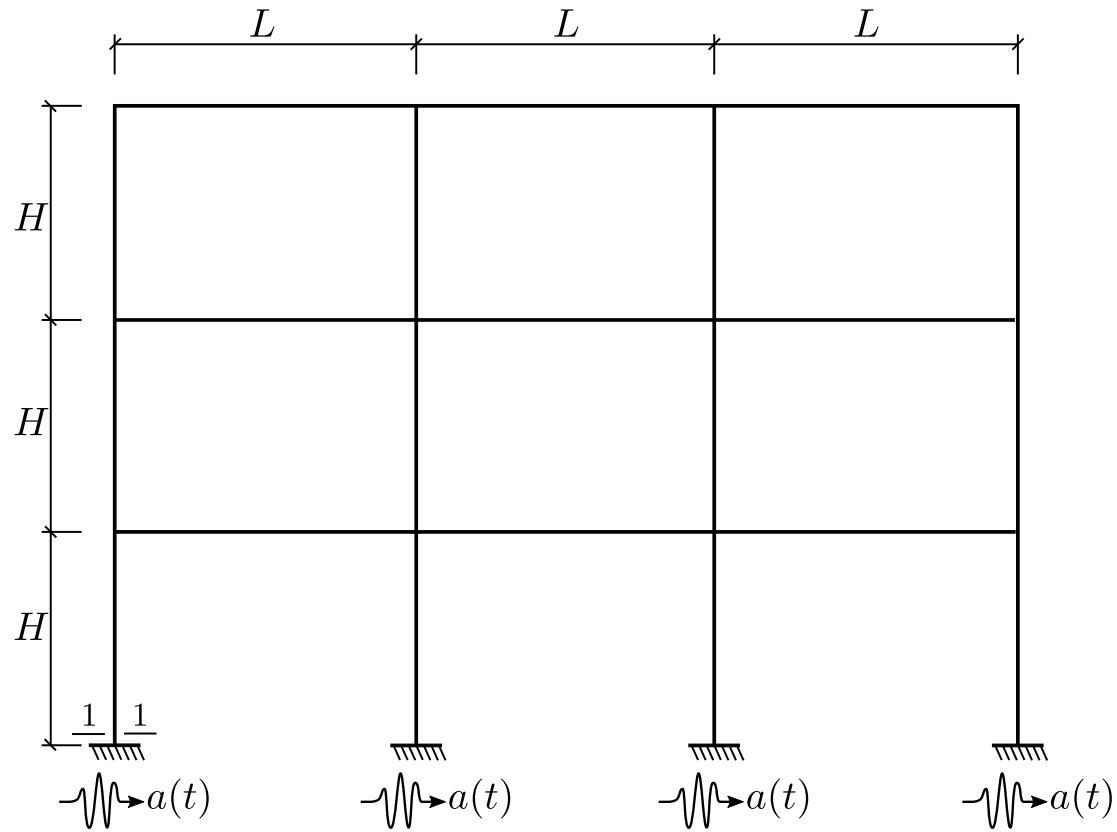
Funzioni di Fragilità

Modelli di valutazione funzioni di fragilità

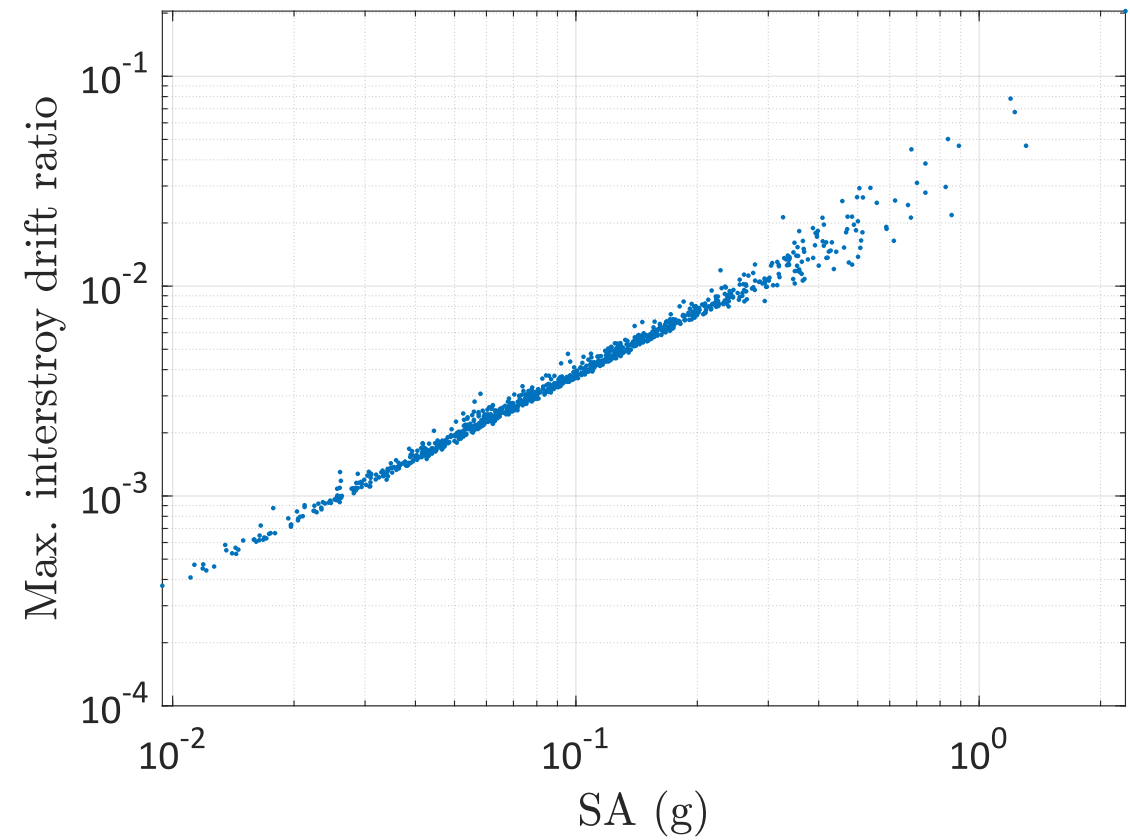
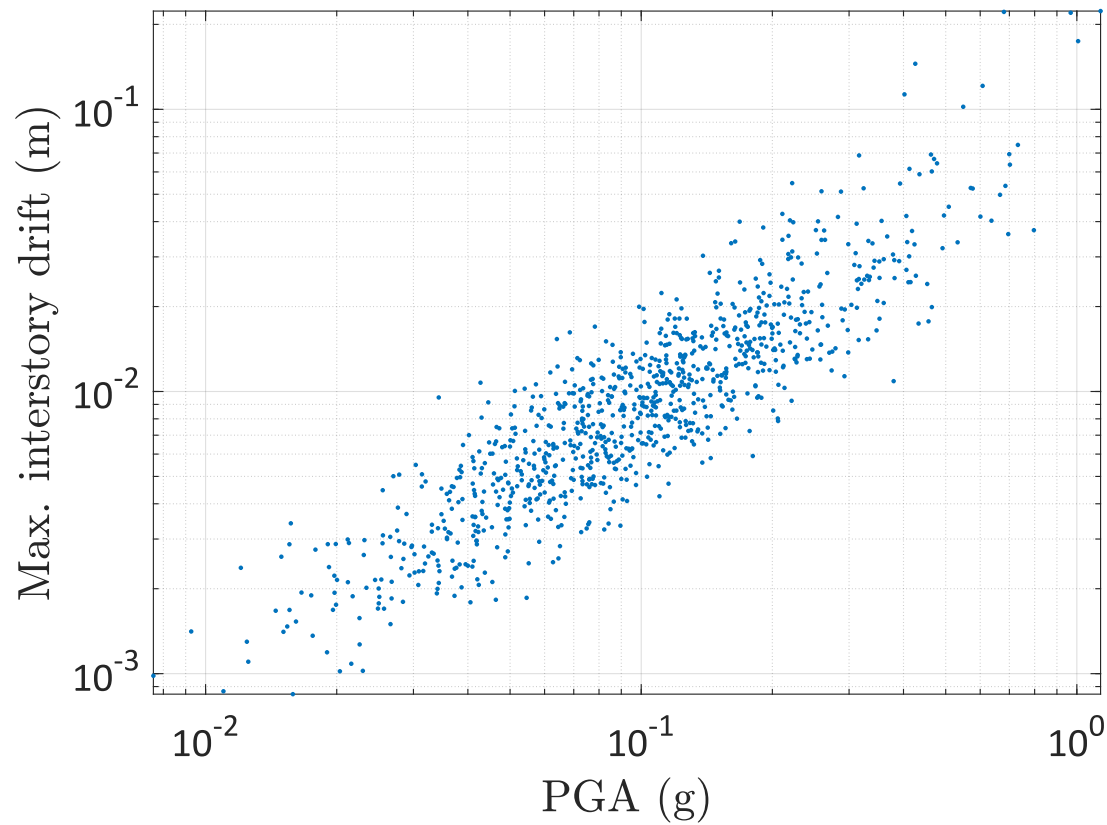
EMPIRICI	ANALITICI	GIUDIZIO ESPERTI	IBRIDI
costruiti a partire da dati e osservazioni raccolte in situ e/o da prove di laboratorio	definiti sulla base di modelli e analisi strutturali sottoposti a differenti livelli di hazard sismico ↕ <u>statici</u>, i.e. hazard rappresentato da spettri (analisi pushover) vs <u>dinamici</u>, i.e. hazard costituito da storie (sintetiche, naturali) sismiche (analisi dinamiche non lineari)	basati sul giudizio di esperti per la tipologia costruttiva in esame  	basati sulla combinazione dei tre modelli precedenti.

Fonte: K. Porter. *A Beginner's Guide to Fragility, Vulnerability, and Risk*. 2019, University of Colorado Boulder. M. Broccardo. *Principle for fragility function computation*. 2016, Lecture Notes. ETH of Zurich.

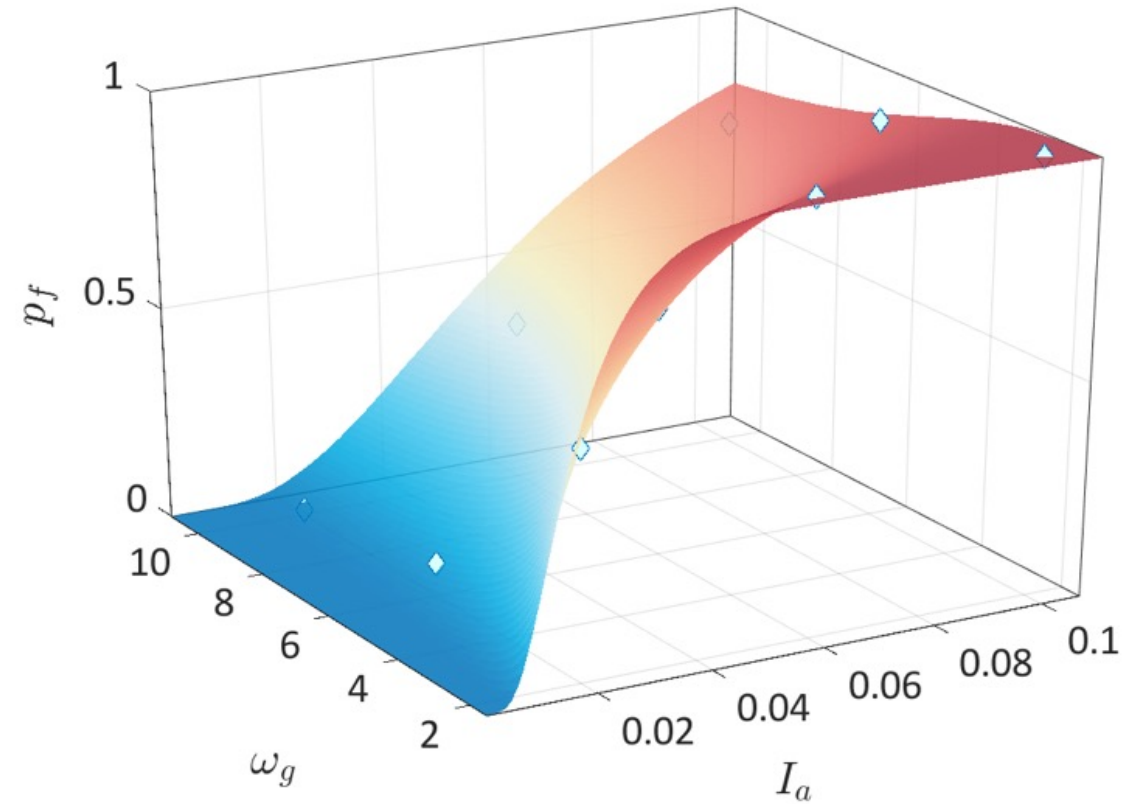
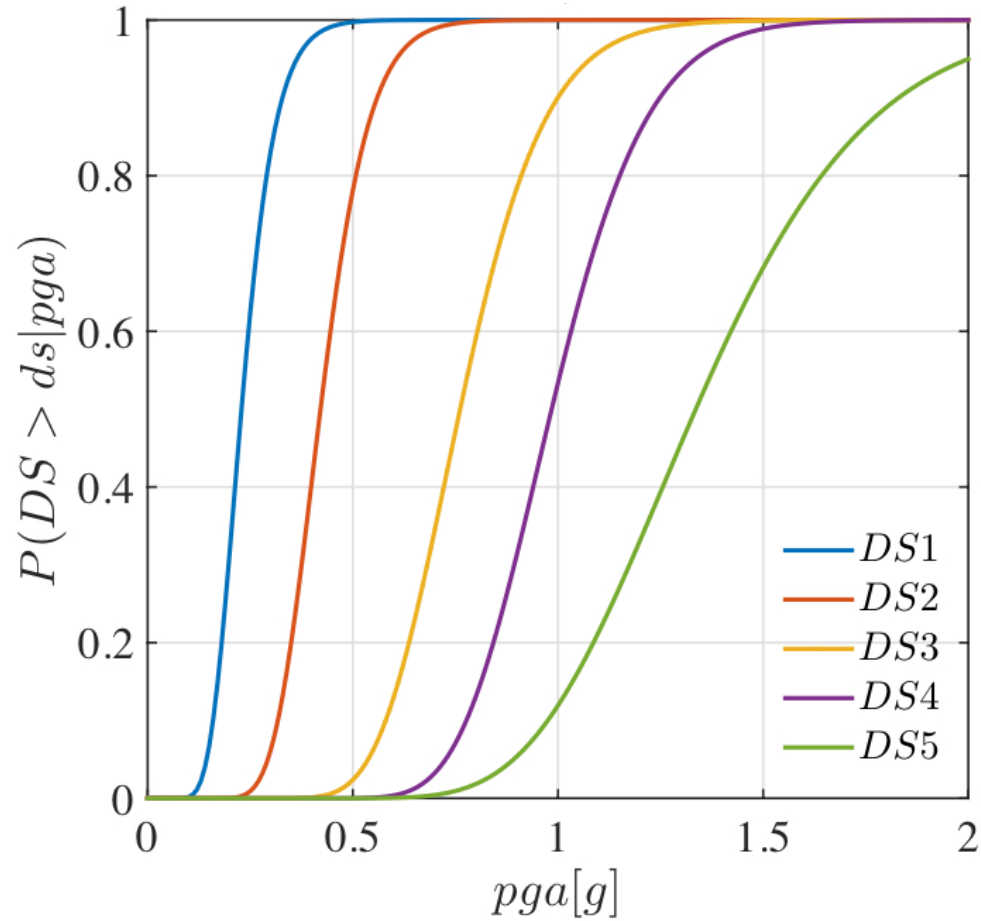
Funzioni di Fragilità



Funzioni di Fragilità

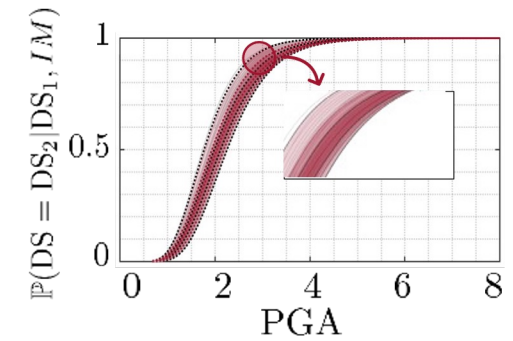
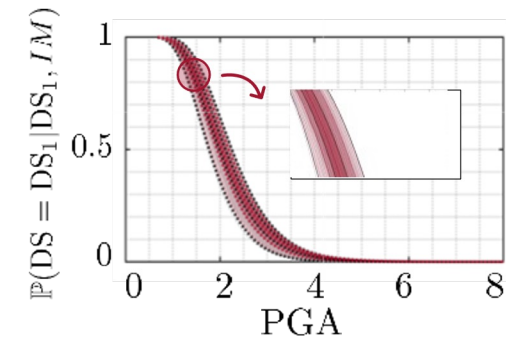
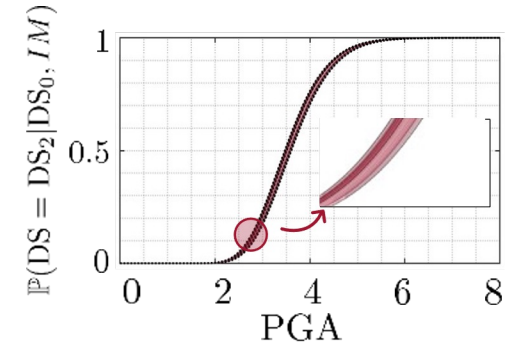
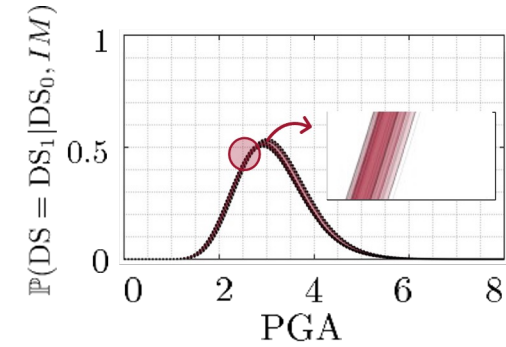
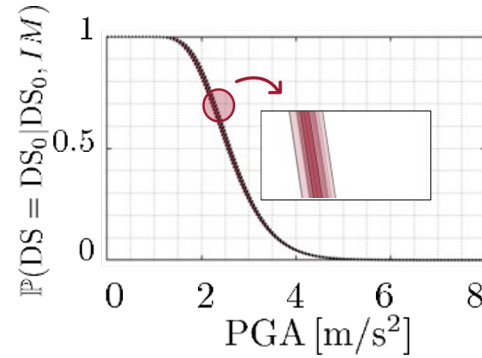
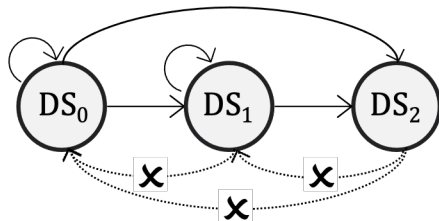
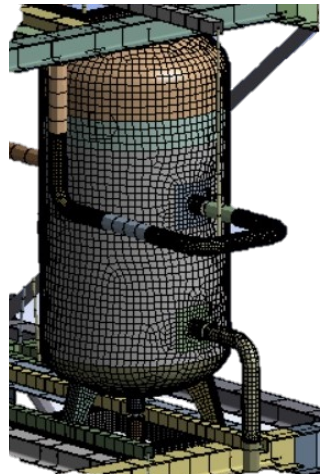


Funzioni di Fragilità



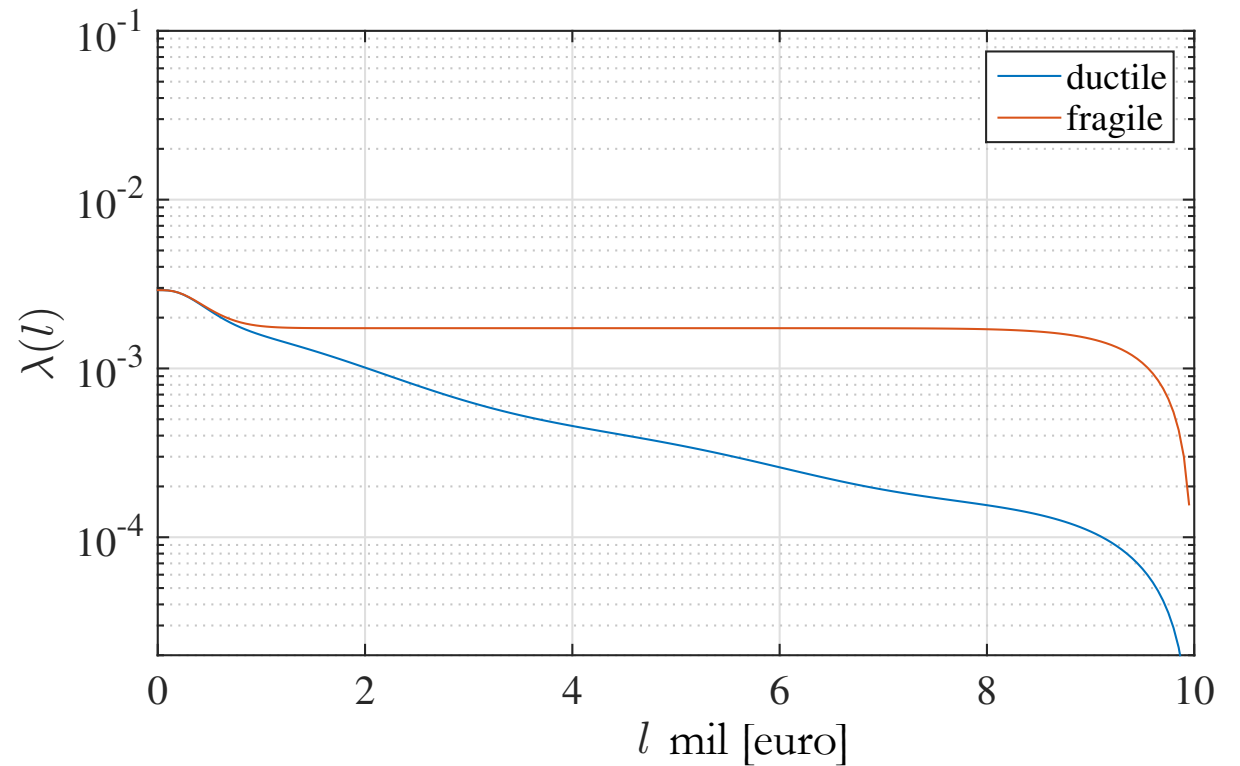
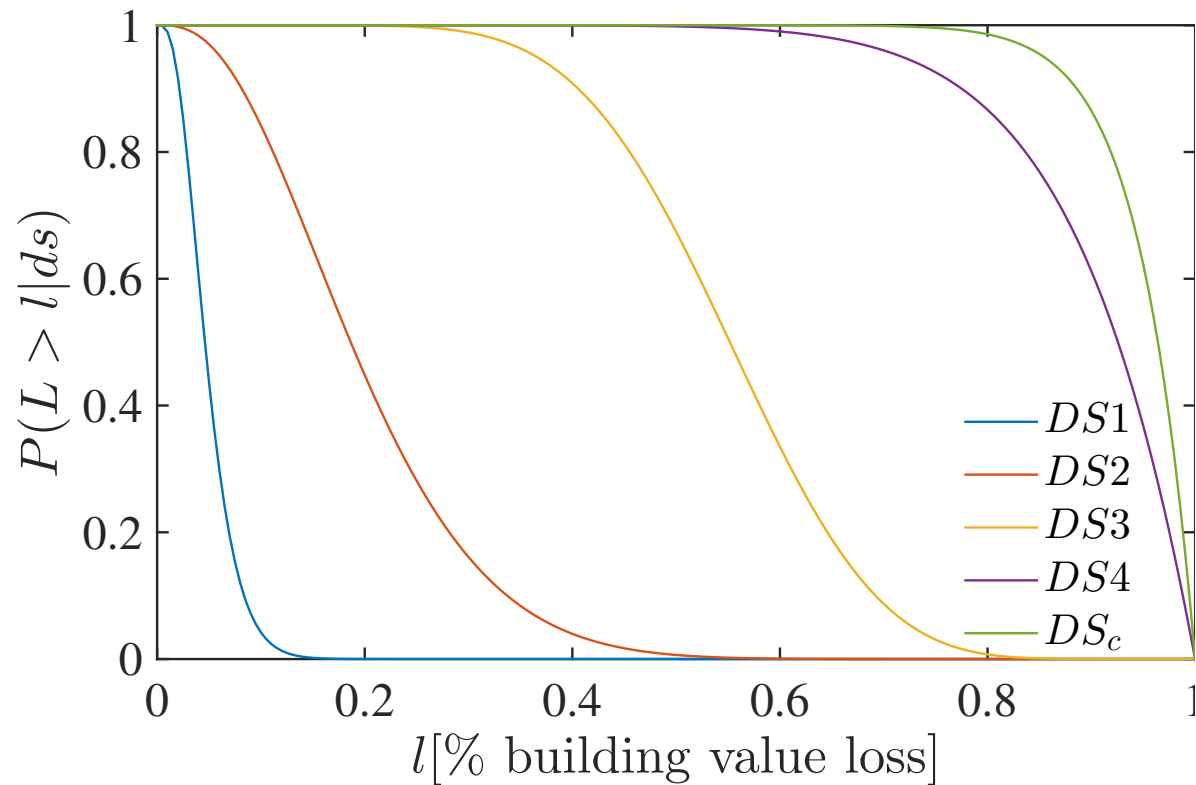
Fonte: Zhu X., Broccardo M, Sudret, B. (2023) *Seismic fragility analysis using stochastic polynomial chaos expansions*. Probabilistic engineering mechanics.

Funzioni di Fragilità



Funzioni di Perdita Economica

$$\lambda(dv) = \sum_d \int_{im} G(dv|d) P(d|im) |d\lambda(im)|$$



Outline

1

Motivazione & definizioni di rischio sismico

2

Rischio Sismico marginale/individuale

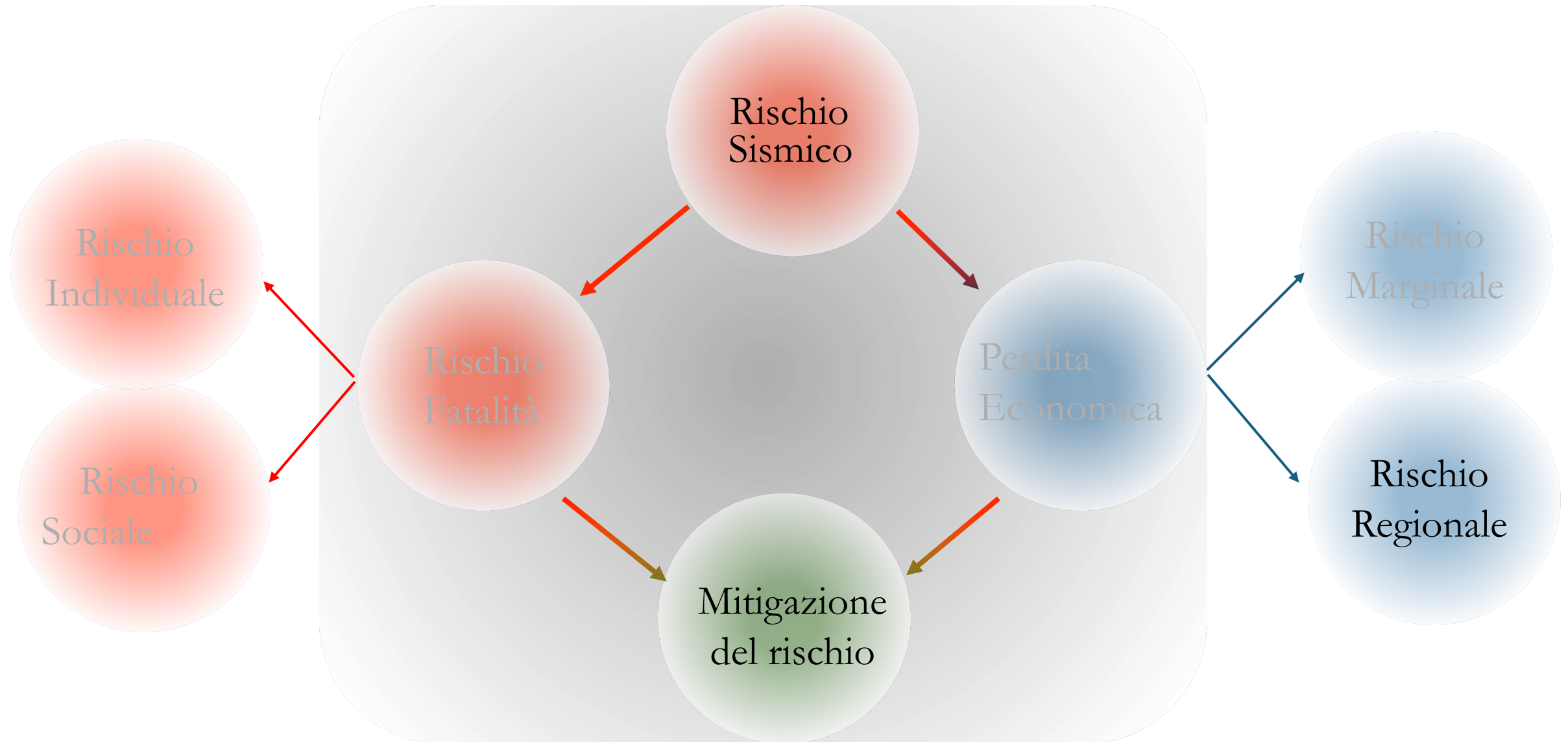
3

Rischio Sismico regionale & Progetto MAERS

4

Conclusioni

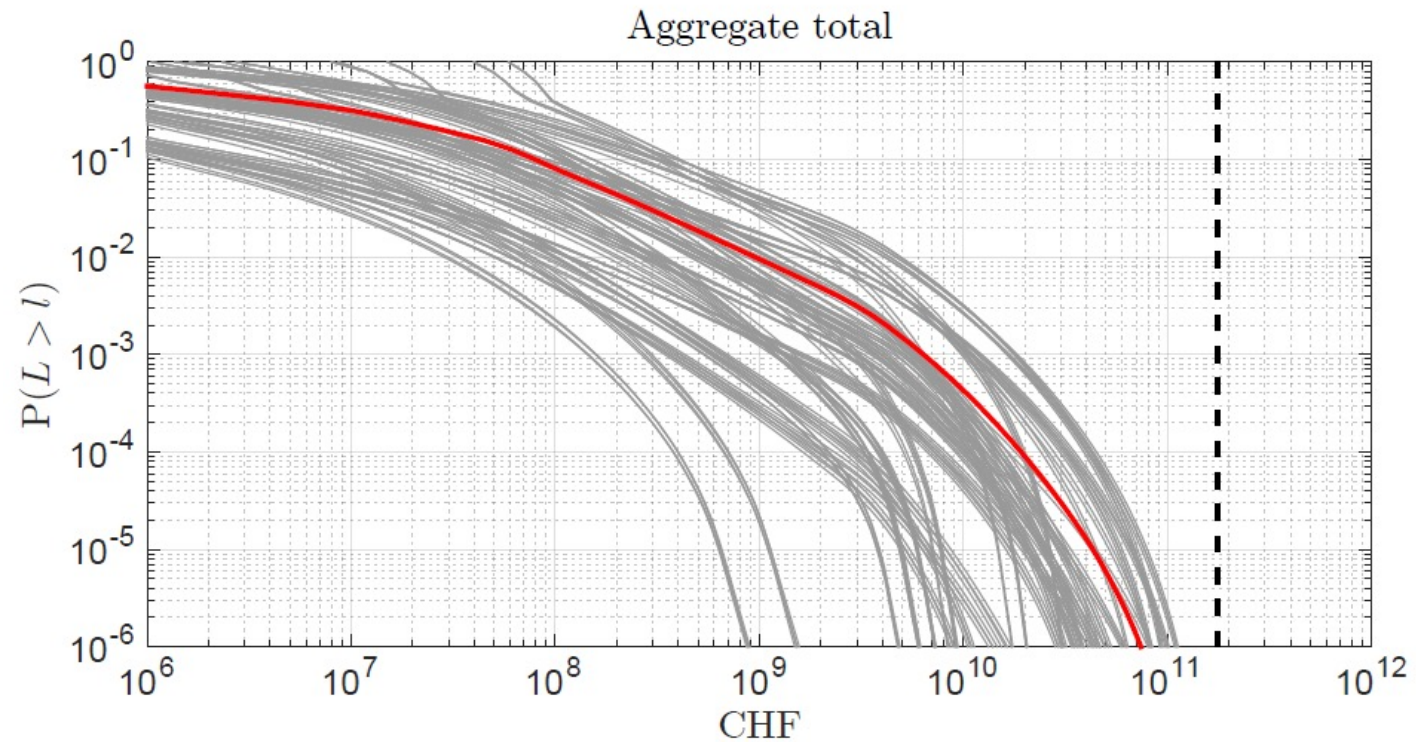
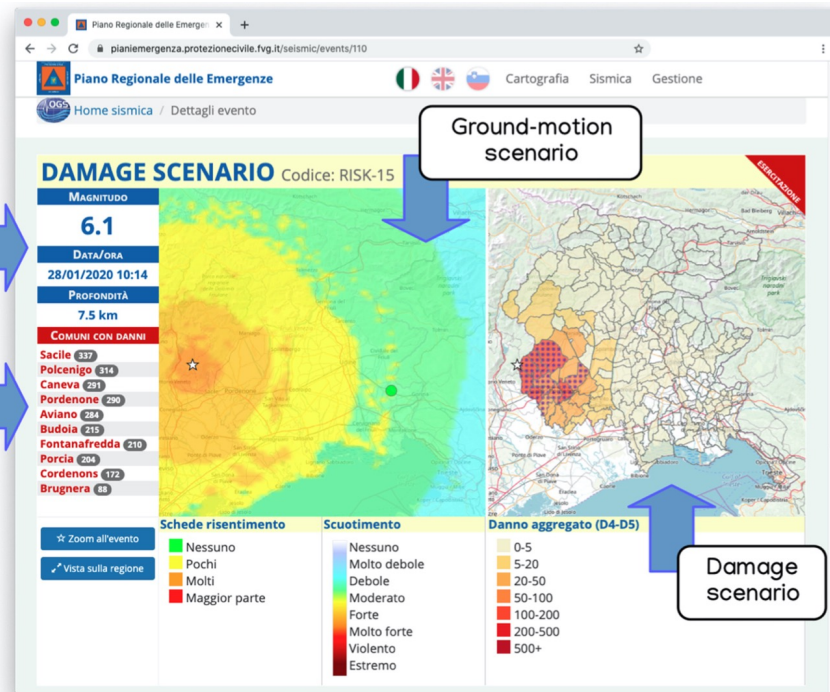
Tipologie di rischio sismico



PEER-PBEE sismico regionale

$$\lambda(dv) = \sum_d \int_{im} G(dv|d)P(d|im)|d\lambda(im)|$$

*



*immagine tratta da Poggi, V., Scaini, C., Moratto, L., Peressi, G., Comelli, P., Bragato, P. L., Parolai, S. (2021). *Rapid damage scenario assessment for earthquake emergency management*. Seismological Research Letters, 92(4), 2513-2530.

Rischio sismico regionale: il progetto MAERS



Progetto **MAERS**:

MAppe di **E**sposizione e **R**ischio **S**ismico
integrate a scala regionale

Obiettivi di progetto:

- Sistema digitale integrazione dati campagne microzonazione con analisi pericolosità
- Mappatura vulnerabilità ed esposizione sismica strutture civili e interesse strategico
- Mappatura rischio sismico integrata scala regionale



Rischio sismico regionale: il progetto MAERS

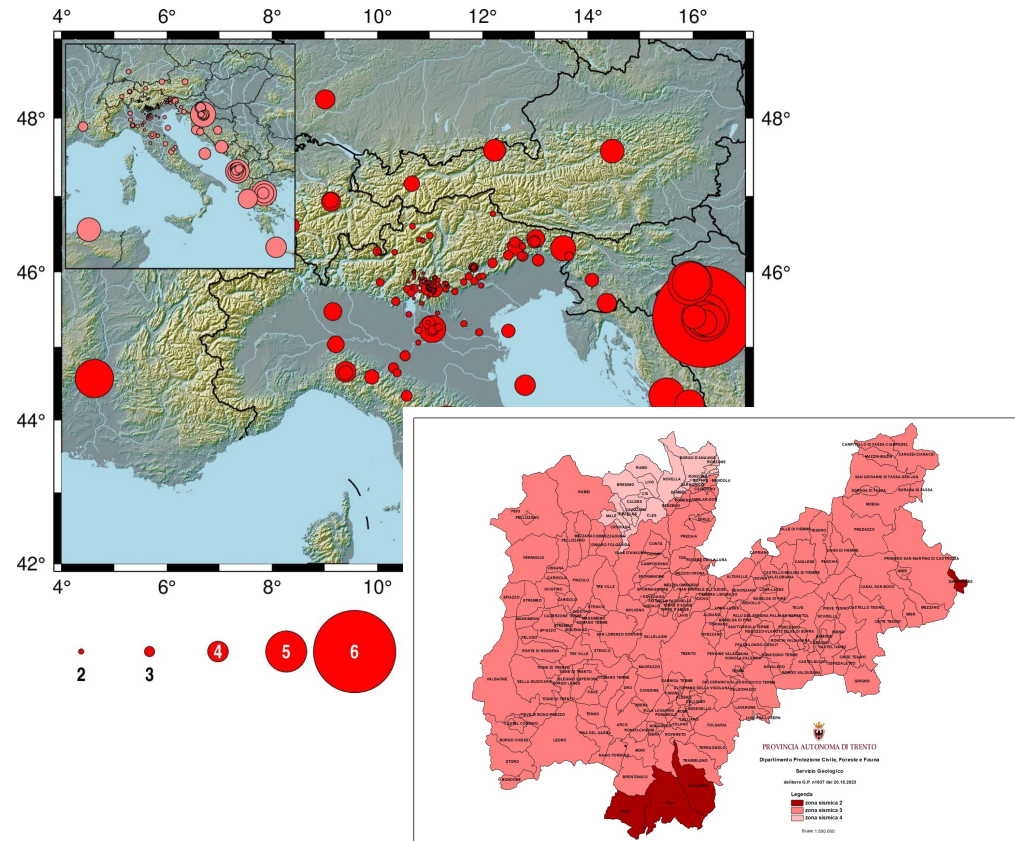
$$\lambda(dv) = \sum_d \int_{im} G(dv|d) P(d|im) |d\lambda(im)|$$

- HAZUS methodology sviluppata da U.S. Federal Emergency Management Agency [FEMA] (1999)
- Europe Risk-UE project (2006)
- Italian platform Italian Risk Map [IRMA] (2020)

Rischio sismico regionale: il progetto MAERS

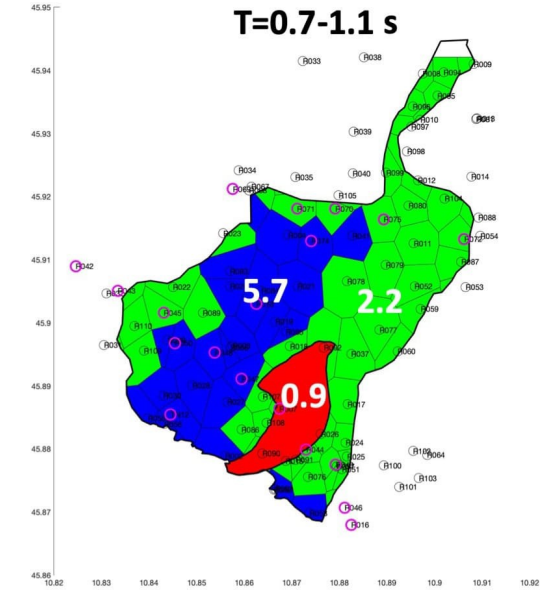
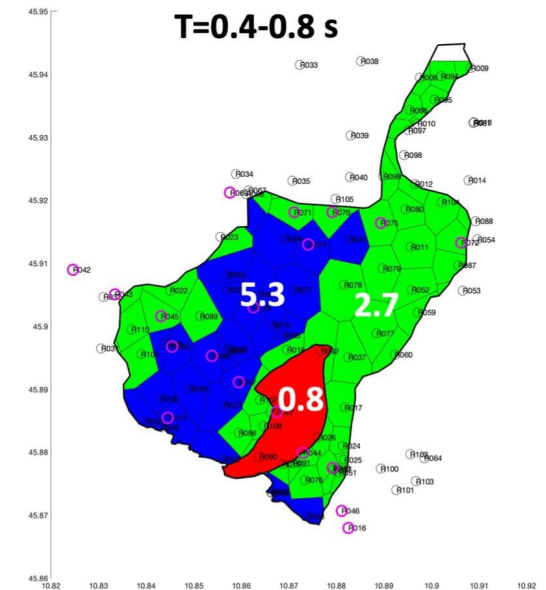
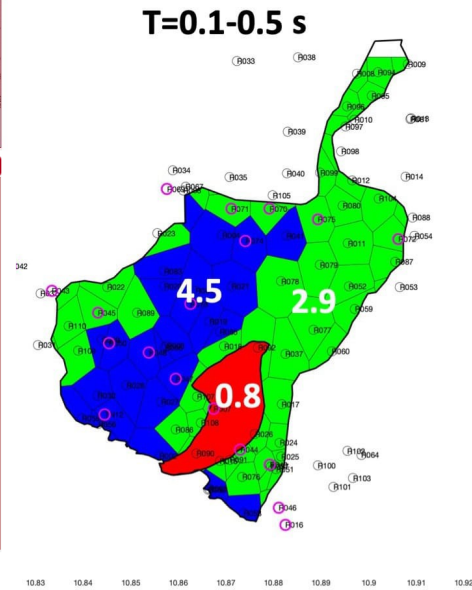
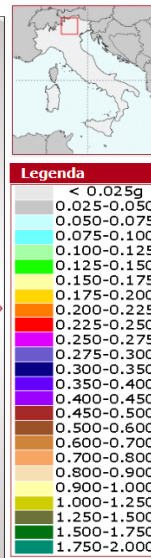
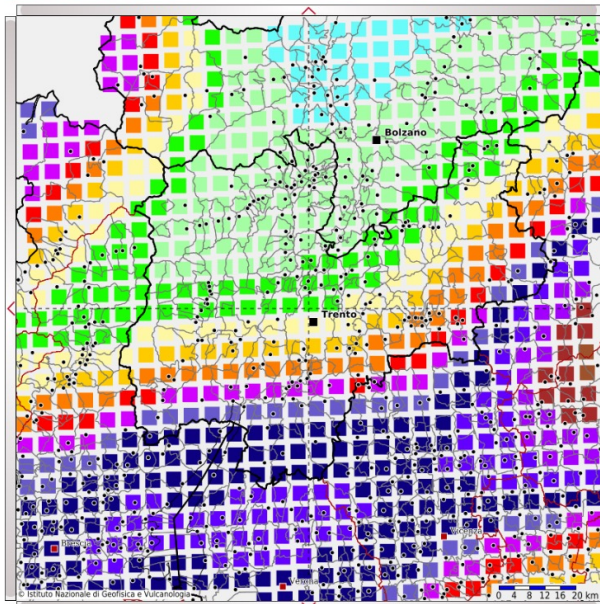


Nuova classificazione sismica*: area Alto Garda

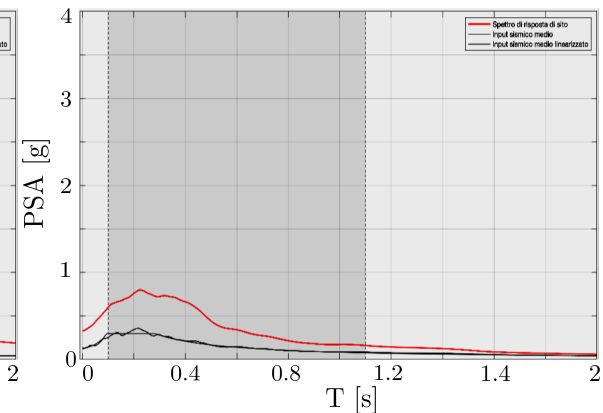
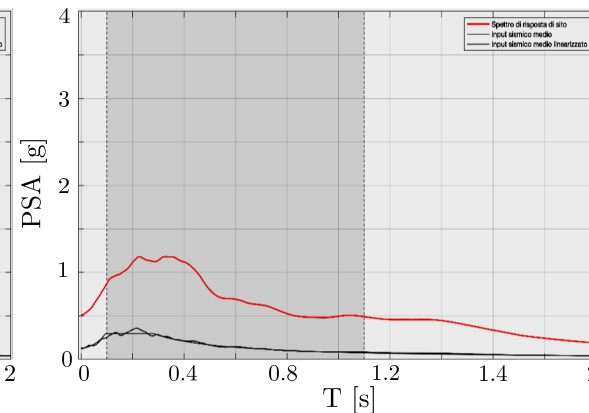
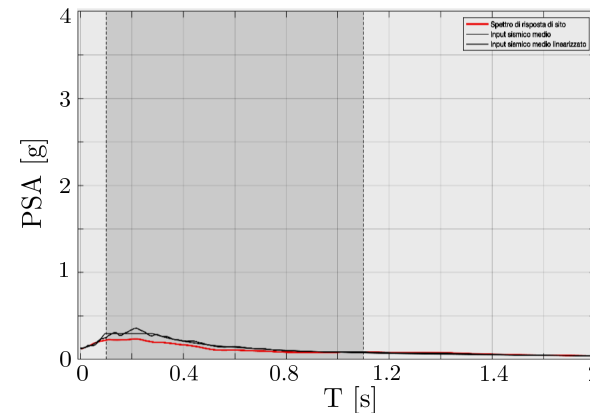


*<https://www.provincia.tn.it/News/Approfondimenti/Classificazione-sismica>

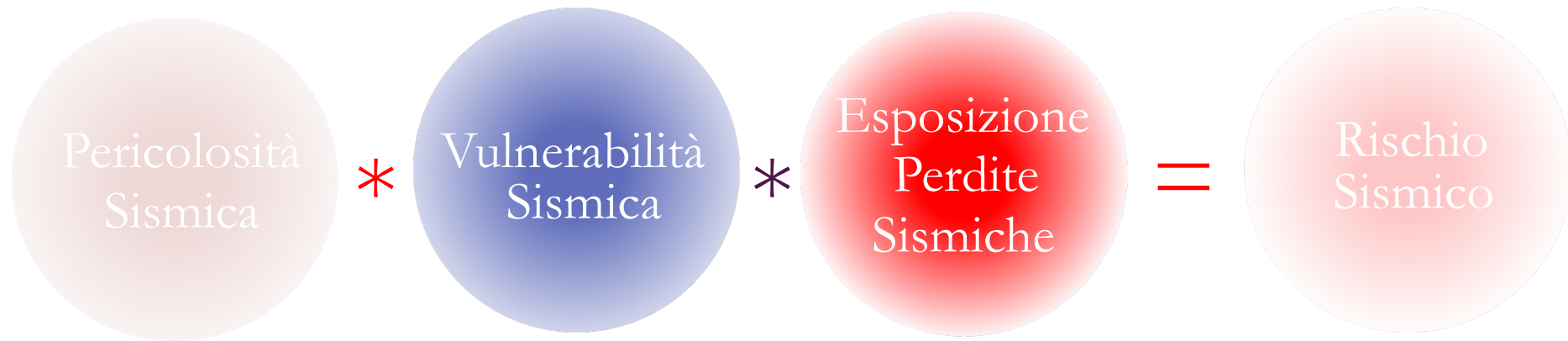
Rischio sismico regionale: il progetto MAERS



Fonte: Fig. 7.6-7.8, Spettri di risposta specifici di sito per i 3 cluster (CLU1=cluster rosso, CLU2= cluster blu, CLU3=cluster verde) e mappe dei fattori di amplificazione spettrale (FA), @Garbin, M., Laurenzano, G., Parolai, S. (2022). “Studio riguardante la risposta sismica locale del tratto terminale della valle del fiume Sarca in prossimità del Lago di Garda,” Relazione attività 2019/2022. PAT.



Rischio sismico regionale: il progetto MAERS

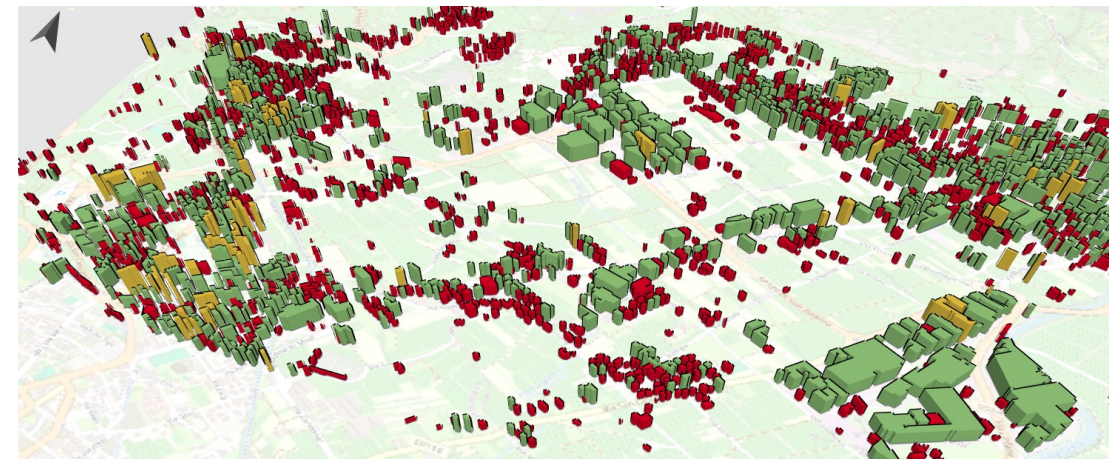
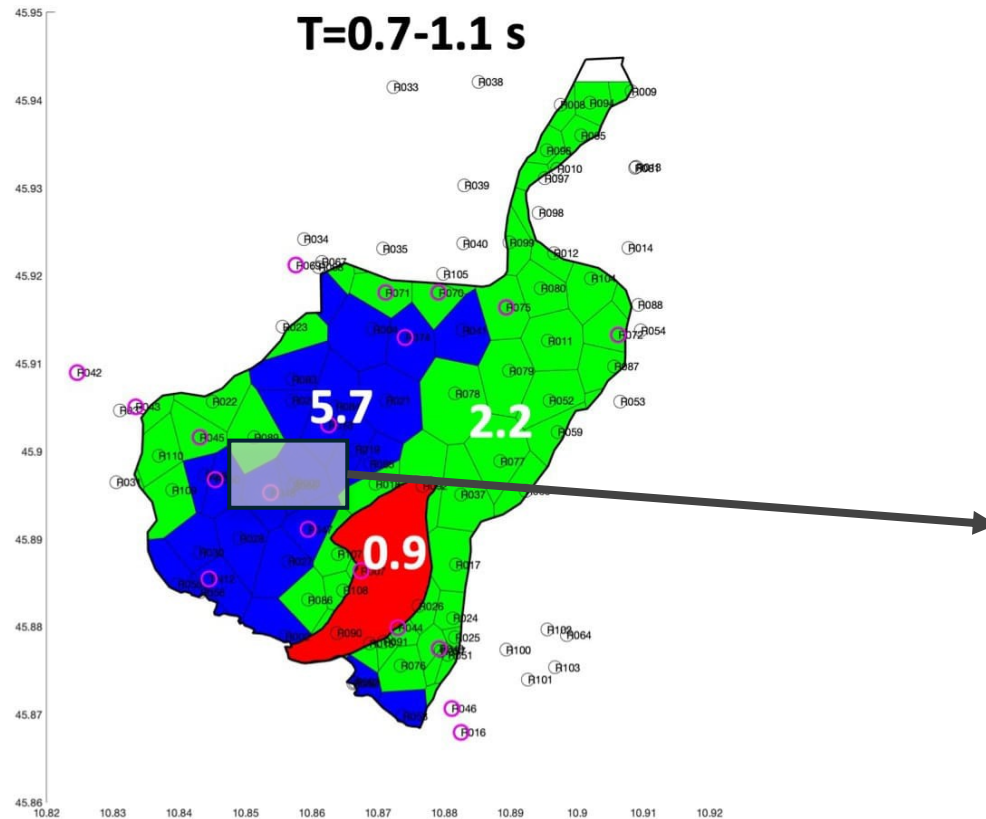


Rischio sismico regionale: il progetto MAERS

Stima periodo struttura T_1

$$T_1 = C_1 \cdot H^{3/4} \quad (7.3.5) \quad \text{NTC08}$$

- 0.085 struttura telaio acciaio
- C_1 : - 0.075 struttura telaio ca H: altezza edificio
- 0.050 altro



Rischio sismico regionale: il progetto MAERS

Data retrieval: stima **altezze** edifici da *dati satellitari* → <https://github.com/microsoft/GlobalMLBuildingFootprints>

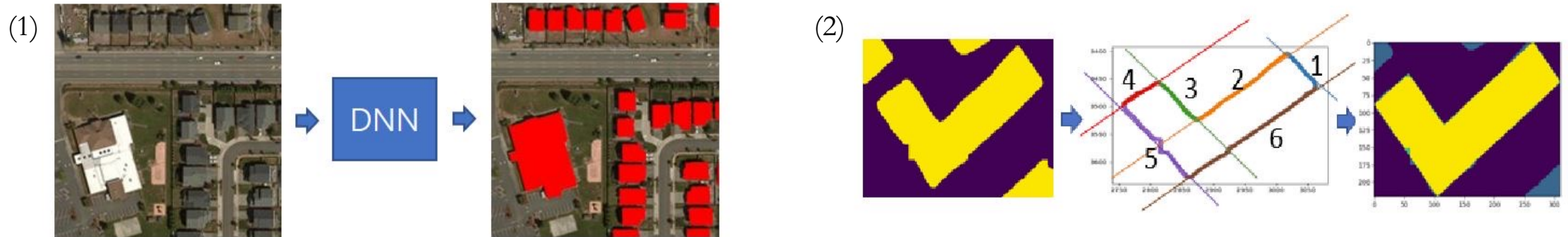


Fonte: C. Nardin, M. Broccardo, A. Viganò, G. Laurenzano, S. Parolai (2023). ABSTRACT. *Risk analysis of Alto Garda via microzonation and structural characterisation of buildings mapping*. World Conference on Earthquake Engineering WCEE2024, June 30-July 5 2024, Milan Italy

Rischio sismico regionale: il progetto MAERS

Data retrieval: stima **altezze H** edifici da *dati satellitari* → <https://github.com/microsoft/GlobalMLBuildingFootprints>

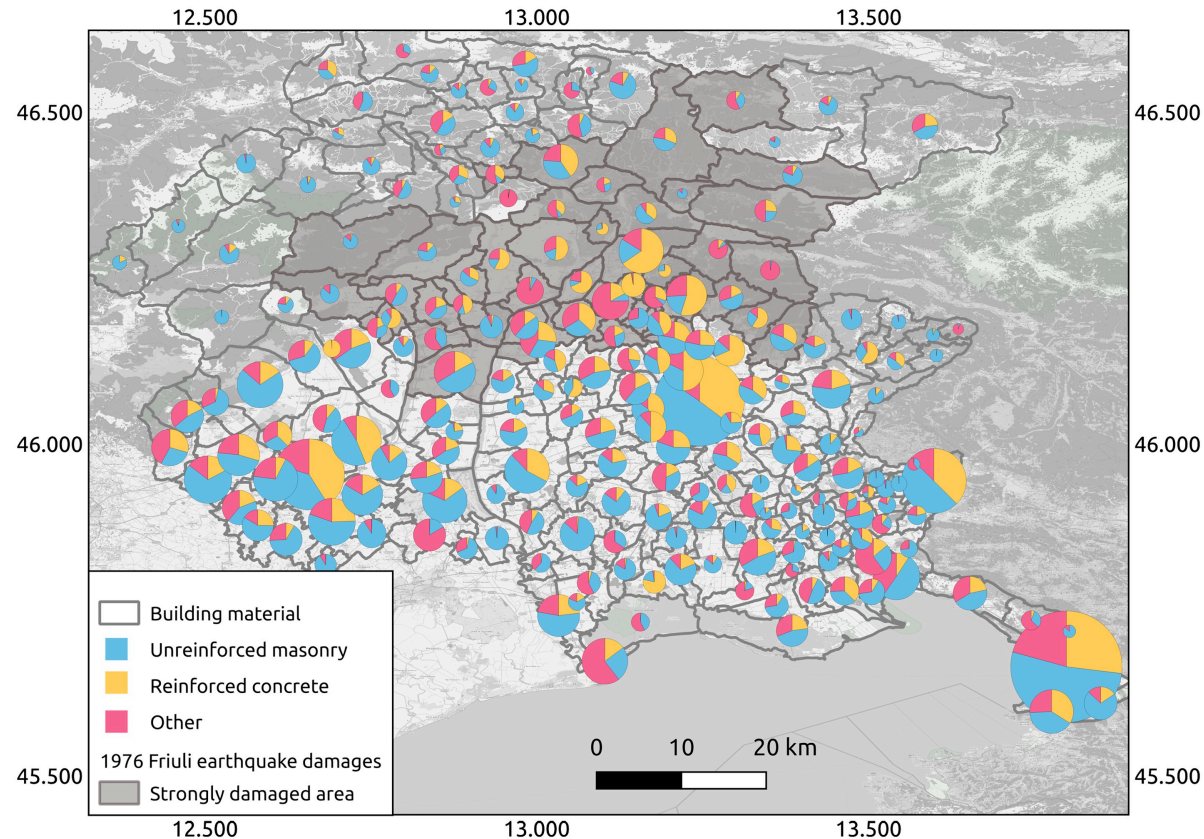
1. Segmentazione semantica: riconoscere i pixel di un edificio su un'immagine aerea utilizzando deep neural networks (DNNs)
2. Poligonizzazione: conversione dei rilevamenti dei pixel degli edifici in poligoni



3. Addestramento rete neurale per stima altezza dal suolo basata su immagini satellitari abbinate a misurazioni dell'altezza mediata all'interno di un poligono di edificio

Rischio sismico regionale: il progetto MAERS

Data retrieval: stima coefficiente C_1



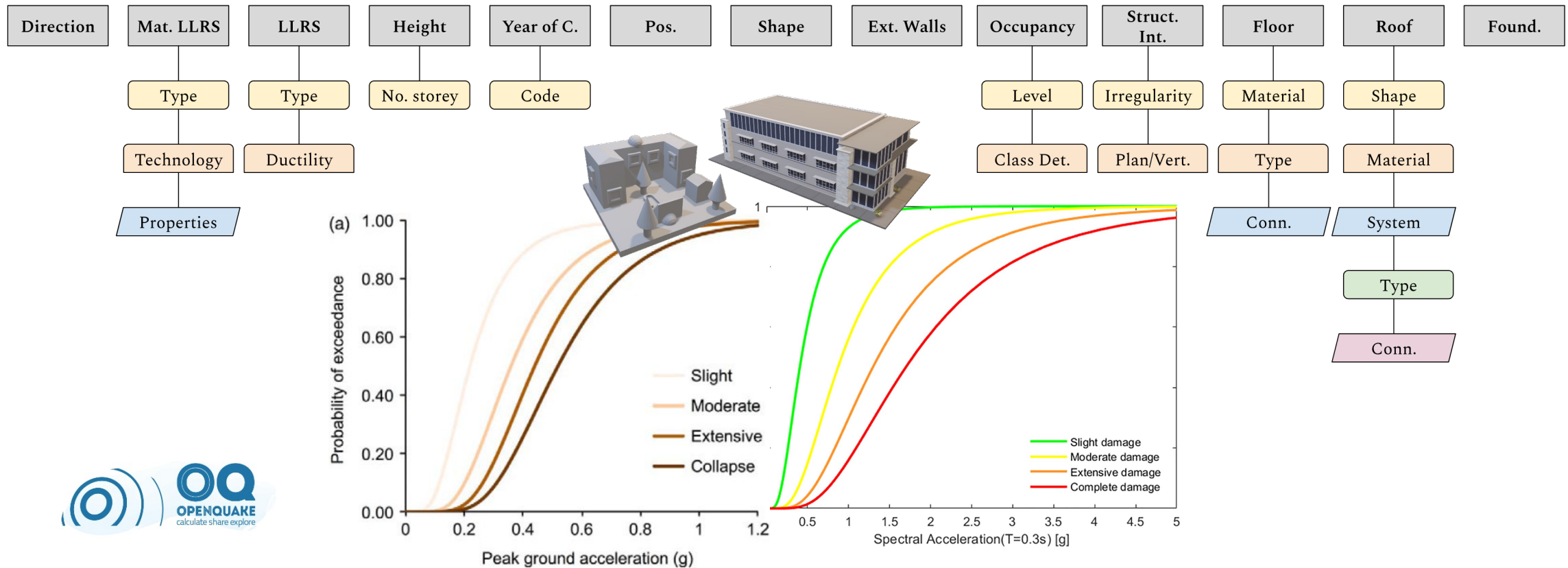
Distribuzione spaziale dei materiali da costruzione per la regione FVG, identificati per mezzo del censimento italiano ISTAT (2011) ed integrati con ispezione visiva realizzati da professionisti del settore (es. ingegneri, architetti)^(1,2).

Fonte: ⁽¹⁾ Gallipoli, M.R., Petrovic, B., Calamita, G. et al. *Towards specific T–H relationships: FRIBAS database for better characterization of RC and URM buildings*. Bull Earthquake Eng 21, 2281–2307 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10518-022-01594-7>.

⁽²⁾ Poggi, V., C. Scaini, L. Moratto, G. Peressi, P. Comelli, P. L. Bragato, and S. Parolai (2021). *Rapid Damage Scenario Assessment for Earthquake Emergency Management*, Seismol. Res. Lett. 92, 2513–2530, <https://doi.org/10.1785/0220200245>.

Rischio sismico regionale: il progetto MAERS

Identificazione funzioni di fragilità per struttura: tassonomia funzioni di fragilità



Fonte: Brzev S., C. Scawthorn, A.W. Charleson, L. Allen, M. Greene, K. Jaiswal, and V. Silva (2013), *GEM Building Taxonomy Version 2.0*, GEM Technical Report 2013-02 V1.0.0, 188 pp., GEM Foundation, Pavia, Italy, doi:10.13117/GEM.EXP-MOD.TR2013.02.

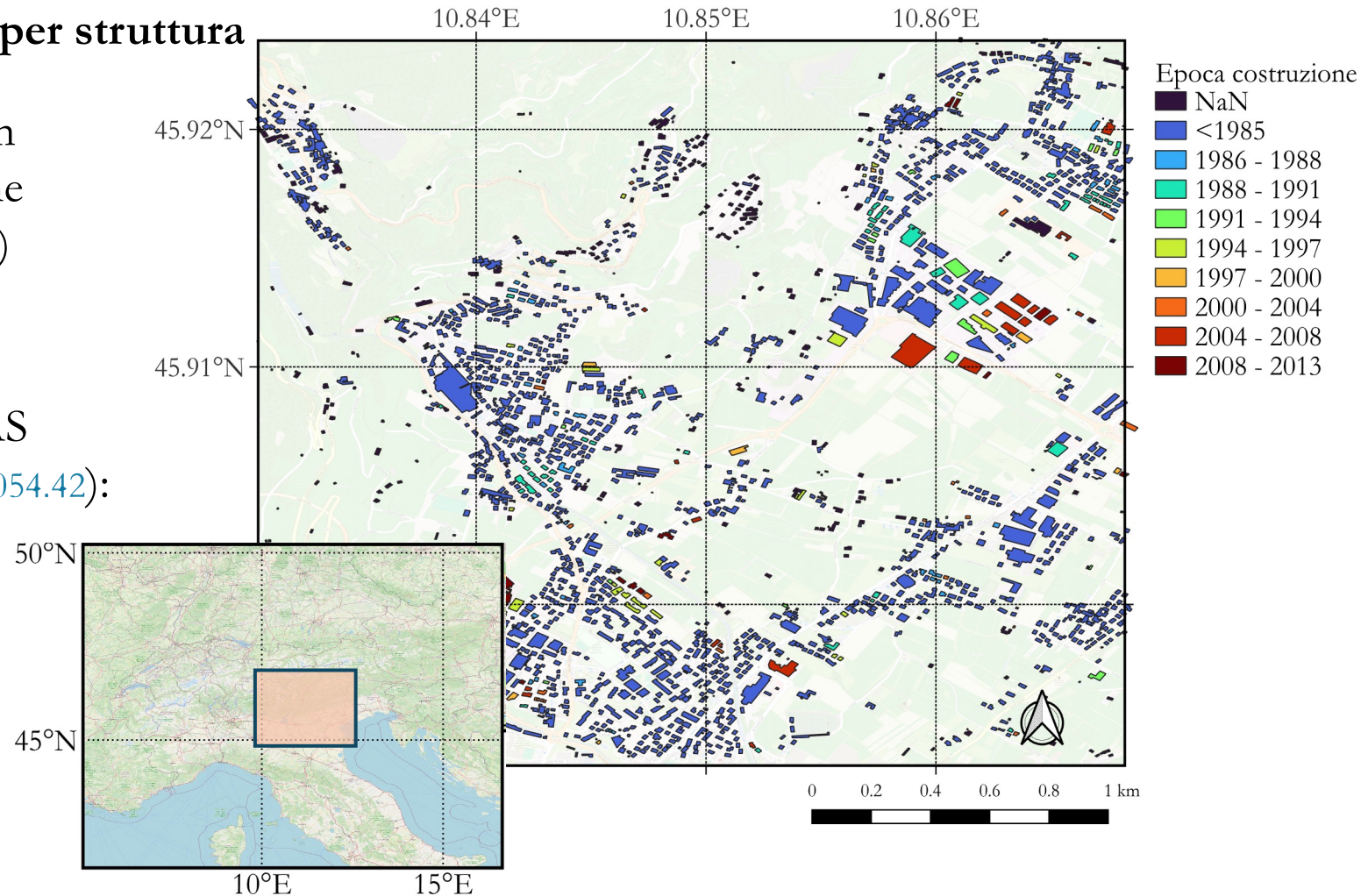
Rischio sismico regionale: il progetto MAERS

Identificazione funzioni di fragilità per struttura

- Correlazione **epoca costruttiva** con progettazione sistema redistribuzione forze laterali (progettazione sismica)

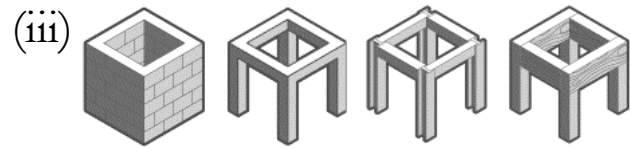
Altri parametri rilevanti (vedasi FRIBAS database <https://doi.org/10.5281/zenodo.65054.42>):

- Tipologia costruttiva
- Regolarità in pianta/altezza
- Aggregato/isolato
- ...

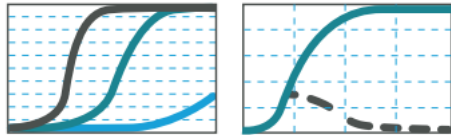


Rischio sismico regionale: il progetto MAERS

Identificazione funzioni di fragilità per struttura



Catalogo funzioni fragilità - GEM



(ii) Integrazione
Dati

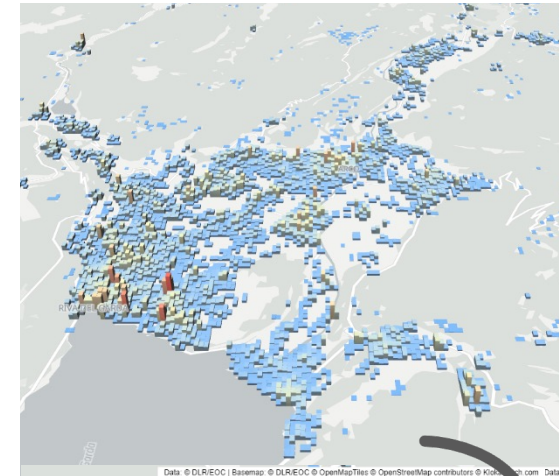


(iii) Tassonomia
Vulnerabilità



(i) Data Retrieval
Regionale

(i)



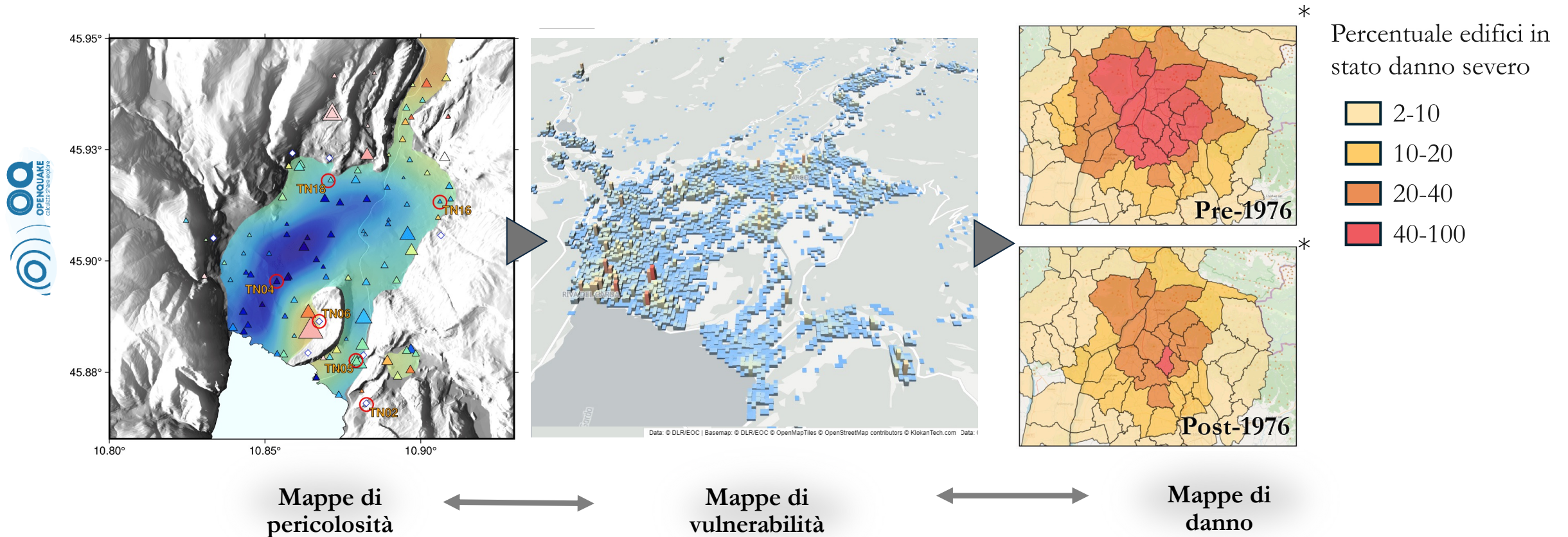
	I	J	K	L	M	N	
SEASON	CUMUL	COHER	SVET	LVET	IN	FI	
0	-1,01	0,78	44	2	1		
0	0,67	0,8	108	2	1		
0	5,39	0,64	120	2	1		
0	-320,1	0,28	453	3	1		
0	22,78	0,31	752	3	1		
0	-330,11	0,36	811	3	1		
0	0,69	0,87	2	4	1		
0	-79,96	0,37	168	4	1		
0	-78,35	0,3	345	4	1		
0	3,21	0,7	603	4	1		
0	1,58	0,74	44	5	1		
0	302,37	0,33	256	5	1		
0	3,42	0,69	597	5	1		
0	2,36	0,76	627	5	1		
0	0,51	0,56	647	5	1		
0	-403,1	0,34	149	6	1		
0	77,4	0,33	498	6	1		
0	4,9	0,46	581	6	1		
0	2,36	0,77	7	7	1		
0	495,73	0,3	39	7	1		
0	-1,91	0,7	67	7	1		
0	-0,6	0,89	127	7	1		
0	460,84	0,33	202	7	1		
0	23,59	0,33	247	7	1		
0	0,62	0,76	258	7	1		
0	0,11	0,94	10	8	1		
0	1,75	0,78	14	8	1		
0	1,22	0,86	45	8	1		
0	2,4	0,44	504	8	1		
0	1,16	0,65	559	8	1		
0	0,23	0,95	9	9	1		
0	0,72	0,91	20	9	1		
0	-1,38	0,93	15	11	1		
0	-0,11	0,84	45	11	1		
0	-2,33	0,89	65	11	1		
0	101,9	0,34	164	11	1		

(ii)

Fonte: Yepes-Estrada C., Silva V., Rossetto T., et al. *The Global Earthquake Model Physical Vulnerability Database*. Earthquake Spectra. 2016;32(4):2567-2585.

Rischio sismico regionale: il progetto MAERS

Futuri sviluppi: mappe e scenari di danno



Fonte: Poggi, V., C. Scaini, L. Moratto, G. Peressi, P. Comelli, P. L. Bragato, and S. Parolai (2021). *Rapid Damage Scenario Assessment for Earthquake Emergency Management*, Seismol. Res. Lett. 92, 2513–2530, <https://doi.org/10.1785/0220200245>

Outline

1

Motivazione & definizioni di rischio sismico

2

Rischio Sismico marginale/individuale

3

Rischio Sismico regionale & Progetto MAERS

4

Conclusioni & Prospettive

Conclusioni & Prospettive

- Vulnerabilità e Rischio sismico sono i logici (e necessari) passi successivi dopo la mappatura dei coefficienti di amplificazione al suolo
- Analisi del rischio sismico è la base per una corretta mitigazione del rischio
- Mitigazione del rischio pre-sisma
 - Individuazione razionale delle aree ad elevato rischio sismico
 - Individuazione razionale degli edifici/infrastrutture critiche (esposte a rischio sismico elevato)
- Mitigazione del rischio post-sisma
 - Integrazione con la protezione civile
 - Rapida stima (online) dei danni post evento
- Strategie di resilienza sismica