



Rete dei Laboratori Universitari
di Ingegneria Sismica e Strutturale

Convegno ReLUIS



Progetto DPC_ReLUIS 2022-2024
Esposizione delle attività svolte e prospettive

Roma, 7 novembre 2023

WP 18 - Contributi normativi relativi ad Azione Sismica

Roberto Paolucci

Politecnico di Milano

- **TASK 1** Fattori di struttura «risk-targeted»
(Resp. UniNA, G. Baltzopoulos)
- **TASK 2** Parametri correttivi near-source sulle azioni sismiche di progetto
(Resp. INGV–MI, S. Sgobba)
- **TASK 3** Azione sismica verticale
(Resp. UniPV, C. Lai)
- **TASK 4** Fattori di sito nelle norme e nella Microzonazione sismica
(Resp. UniSi, D. Albarello)
- **TASK 5** Terremoto di progetto
(Resp. PoliMI, R. Paolucci)

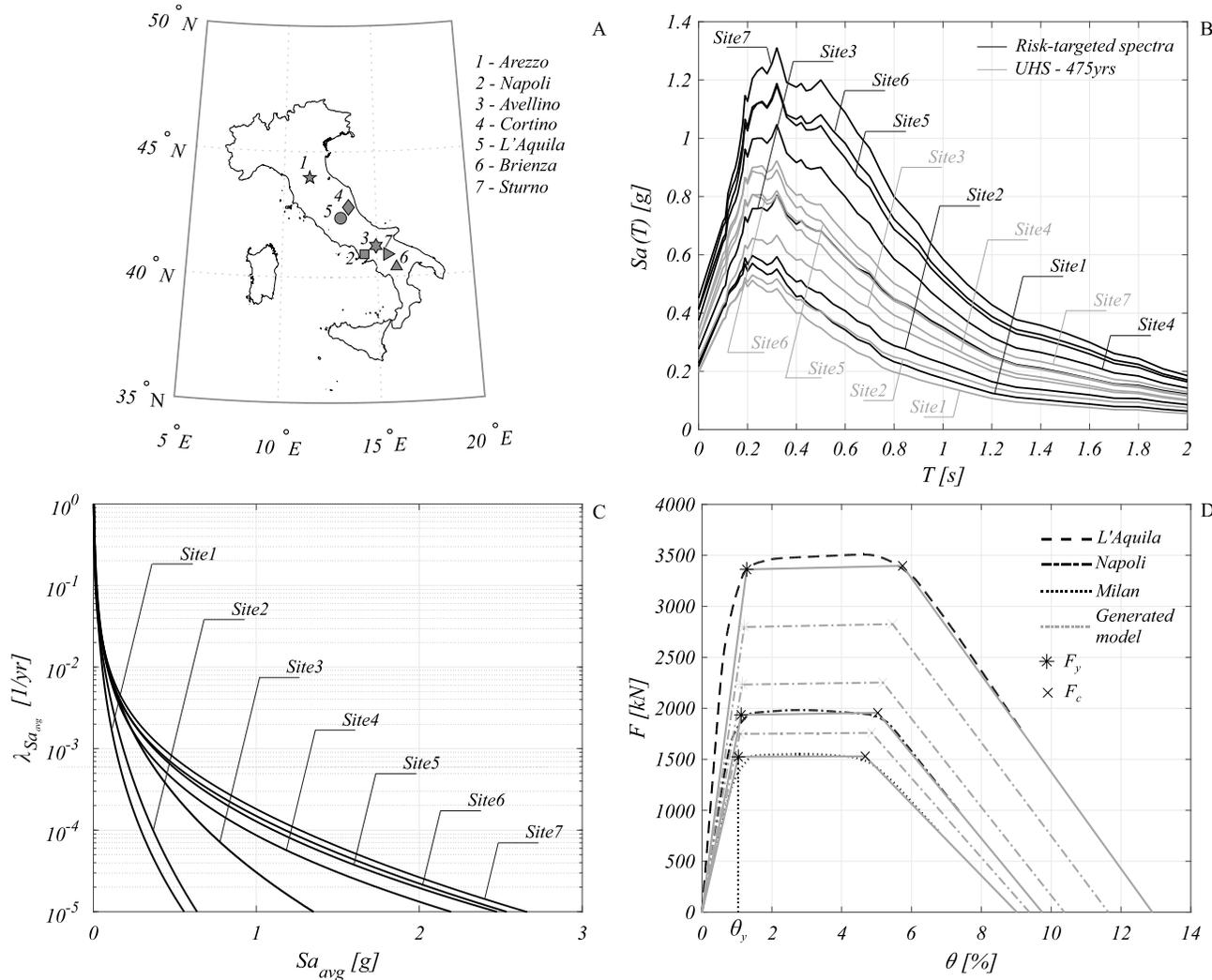
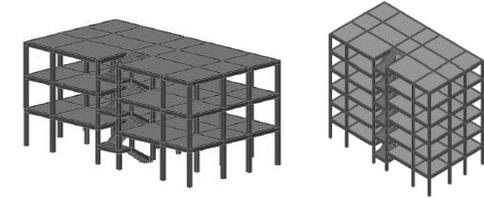
Task 1: Progettazione sismica all'interno del territorio italiano basata su affidabilità obbiettivo

G. Baltzopoulos¹, I. Iervolino^{1,2}, A. Grella¹

¹ Università degli Studi di Napoli Federico II.

² IUSS – Scuola Superiore Universitaria di Pavia.

Strutture casi-studio: telai a 3 e 6 piani in CA da WP3 (RINTC)



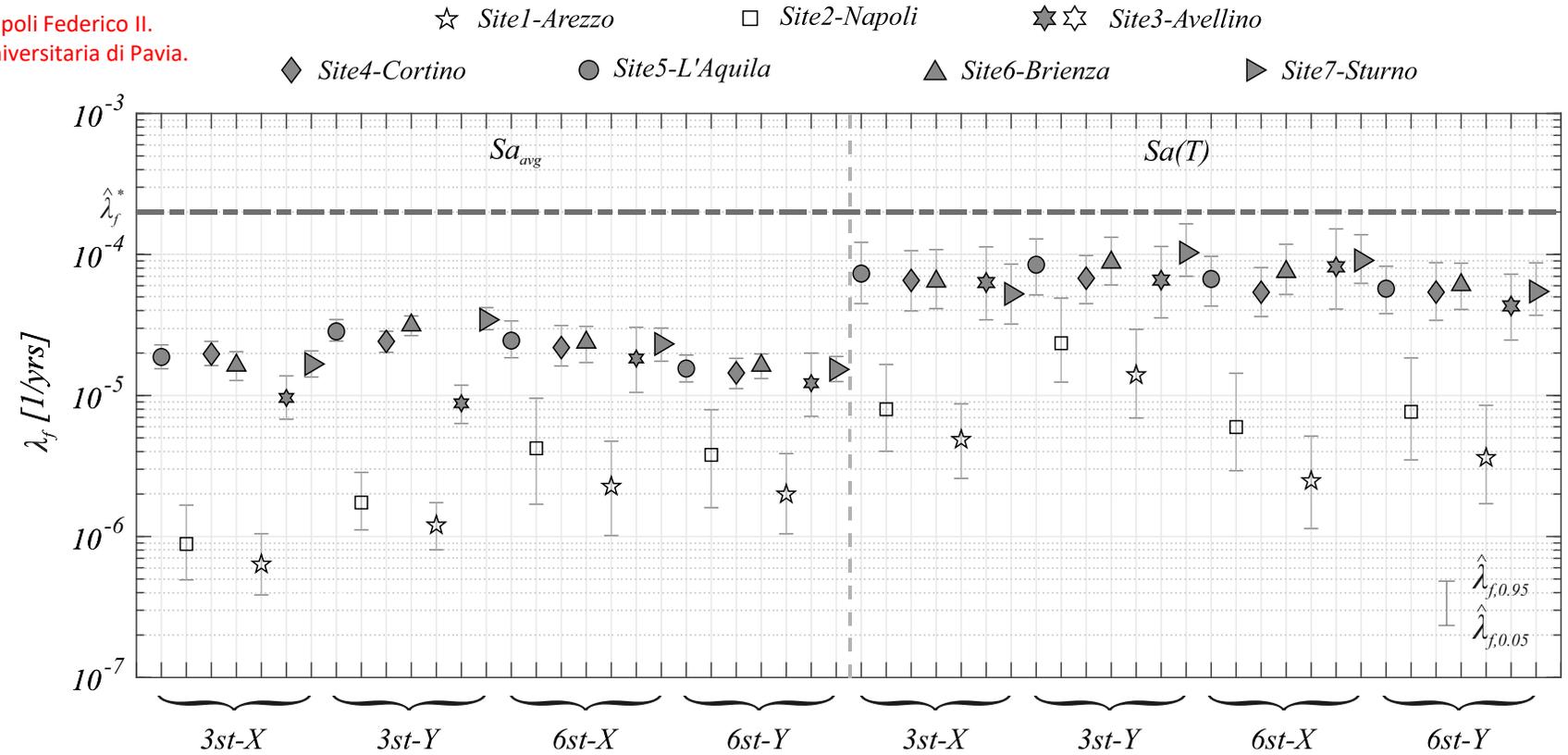
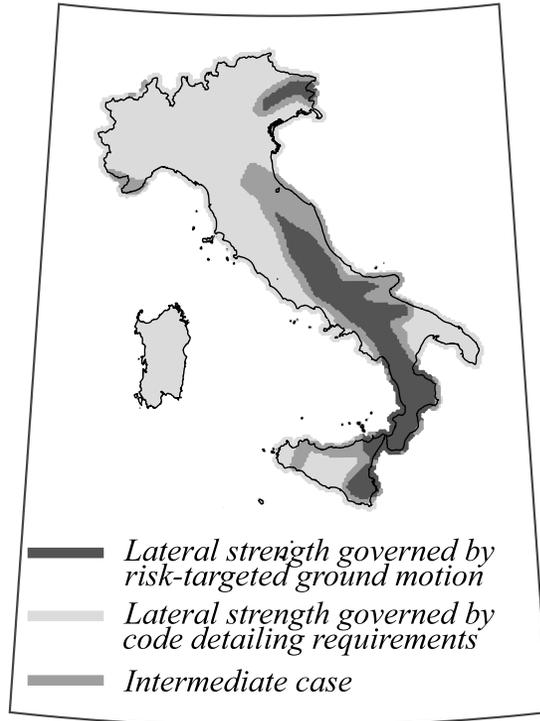
- Possibilità di affidabilità sismica uniforme dato un obiettivo prestazionale?
- Spettri risk-targeted per 7 siti italiani caso-studio secondo procedura basata su documenti normativi statunitensi.
- Fragilità log-normale con deviazione standard assunta nota a priori e pari a 0.60.
- Probabilità di fallimento al verificarsi l'intensità (ordinata spettrale) risk-targeted assunta pari a 10%.

Task 1: Progettazione sismica all'interno del territorio italiano basata su affidabilità obbiettivo

G. Baltzopoulos¹, I. Iervolino^{1,2}, A. Grella¹

¹ Università degli Studi di Napoli Federico II.

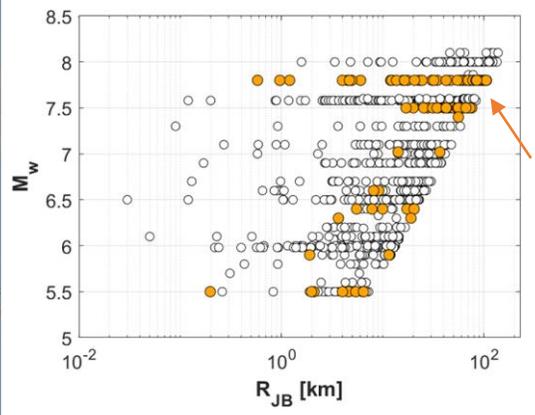
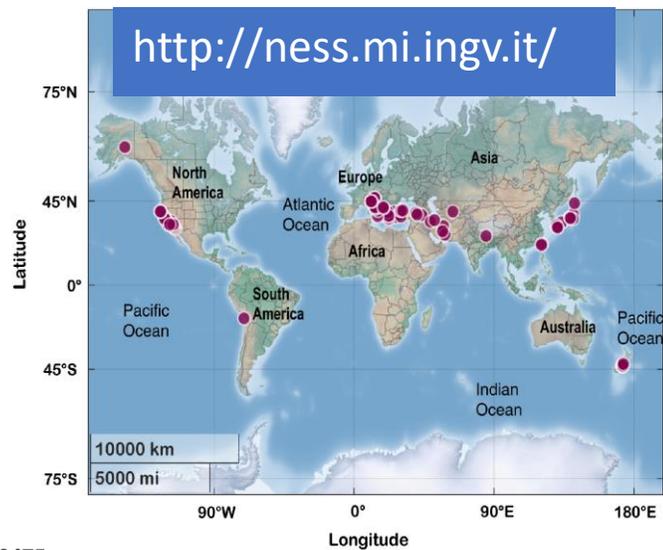
² IUSS – Scuola Superiore Universitaria di Pavia.



- Per i soli edifici casi studio all'interno del territorio italiano: 22% (grigio scuro) è governato dalla progettazione risk-targeted; 62% (grigio chiaro) governato dalla progettazione per carichi gravitazionali e dai requisiti minimi di normativa; 16% caso intermedio.
- La presunta omogeneizzazione dell'affidabilità risulta meno ovvia quando essa si stima attraverso misure d'intensità più efficaci rispetto all'accelerazione spettrale al primo modo.
- Simbolo bianco corrisponde a siti dove la resistenza laterale non risulta governata dalle azioni sismiche di progetto.

Task 2: Valutazione di nuovi modelli del moto del suolo e impatto dei correttivi nell'hazard (INGV-PoliMI)

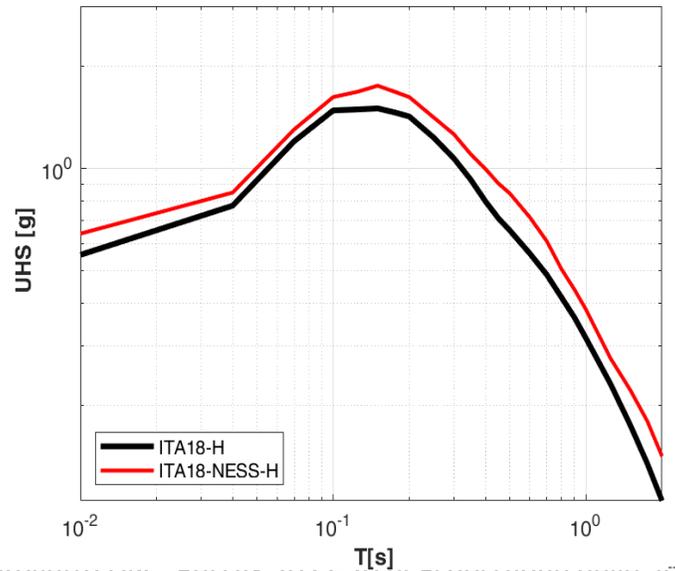
Aggiornamento del dataset di registrazioni near-source NESS2



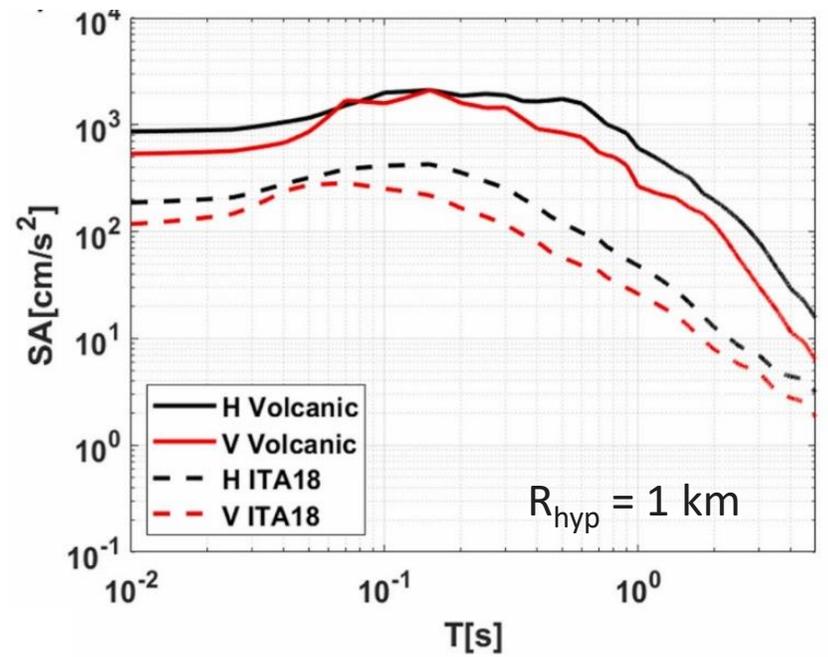
Nuove
registrazioni
inclusi
terremoti
Turchia
2023

Sviluppo modelli di
moto del suolo in area
vulcanica – V e H

GEMONA del FRIULI $T_R = 2475ys$

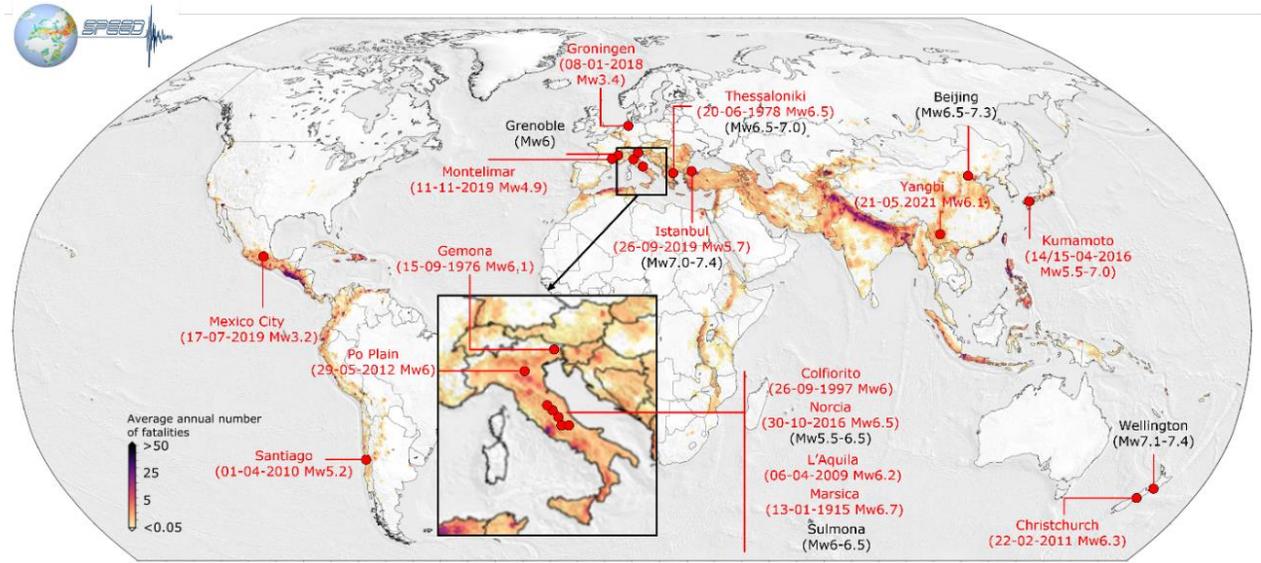
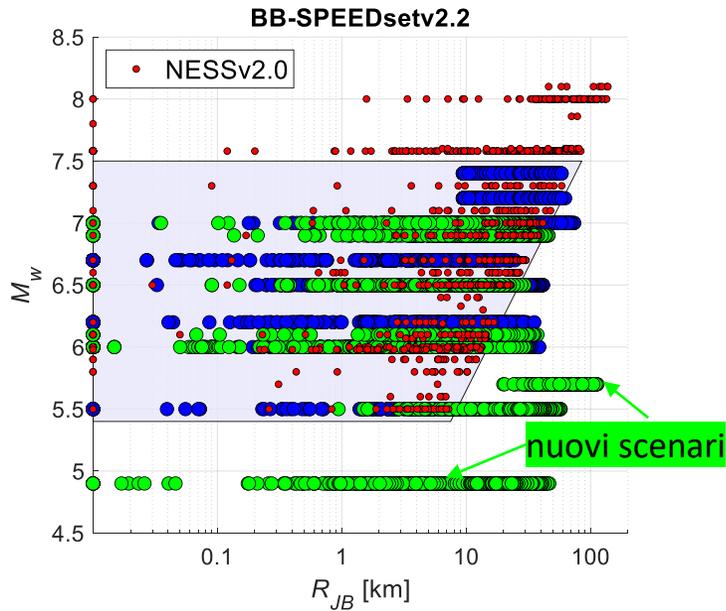


Sviluppo modelli
predittivi del moto
sismico con fattori
correttivi per il campo
vicino e studio effetto
sugli UHS

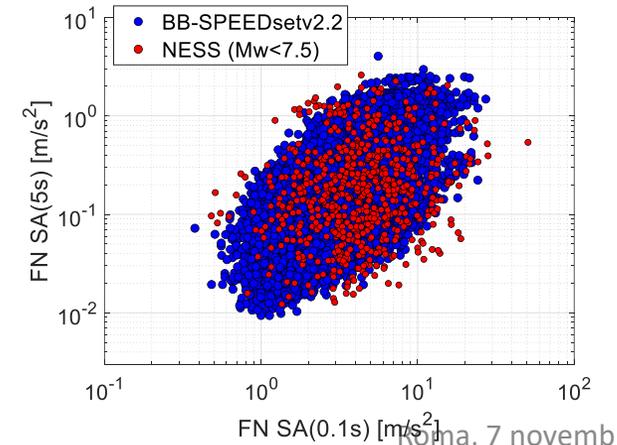
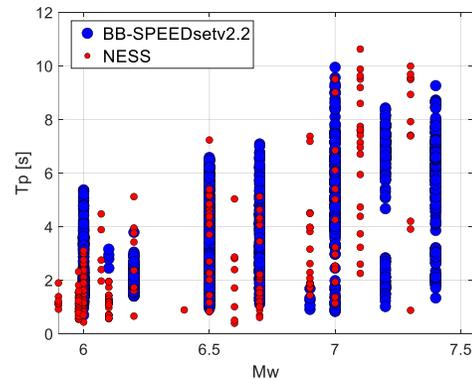
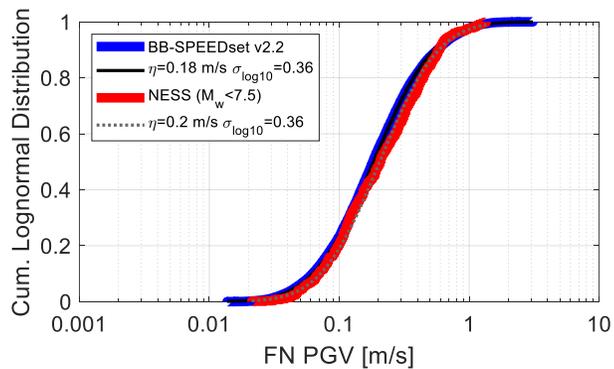


Task 2: Aggiornamento del dataset di accelerogrammi da simulazioni numeriche BB-SPEEDset (PoliMI)

Simulazioni physics-based in diverse aree del mondo



Caratteristiche spettrali, impulsive e valori di picco molto simili a quelli registrati in near-source

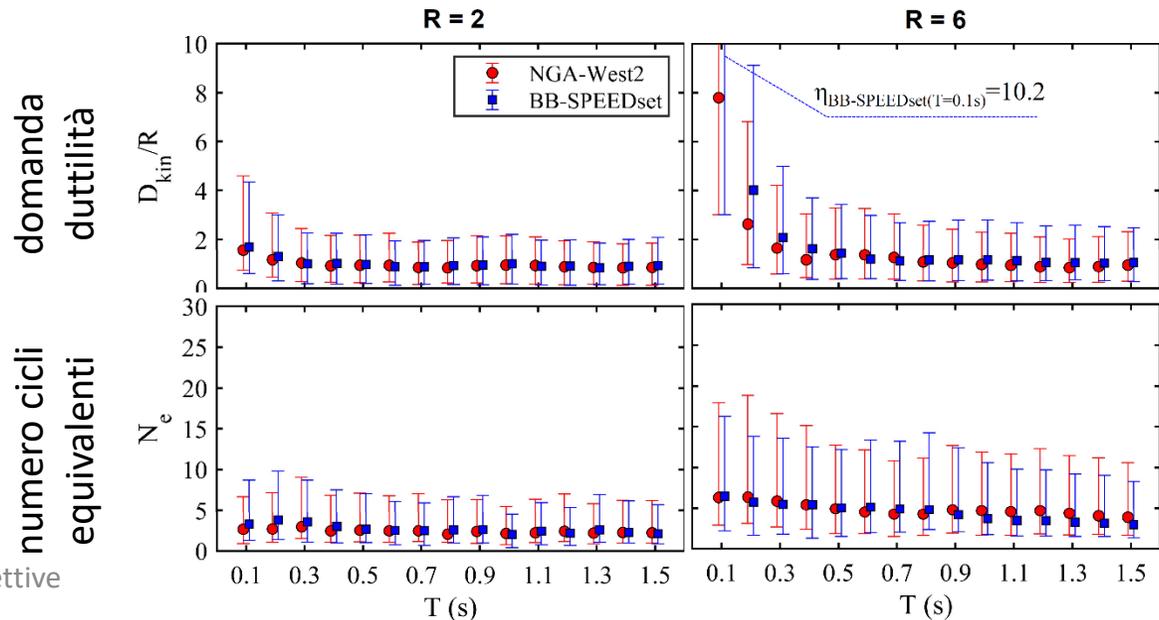
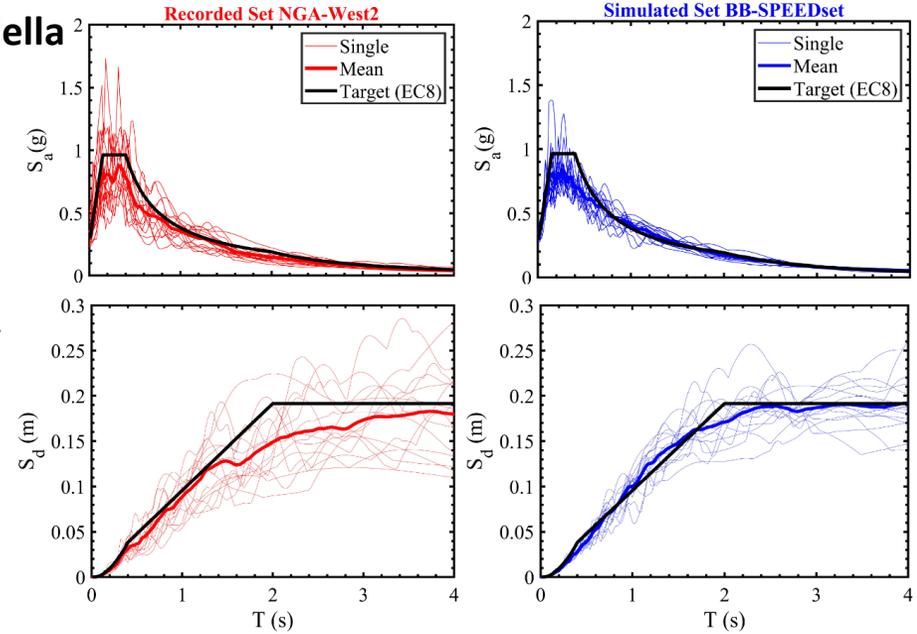
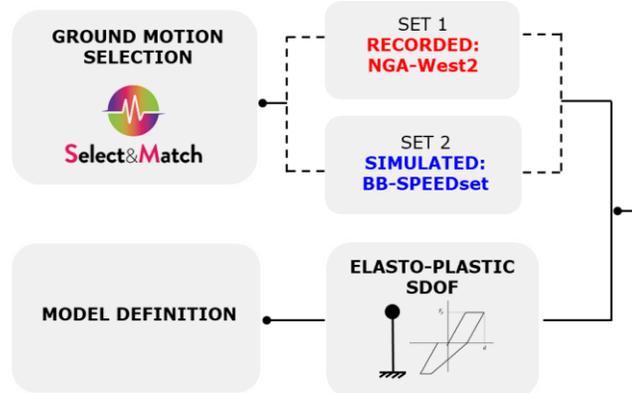
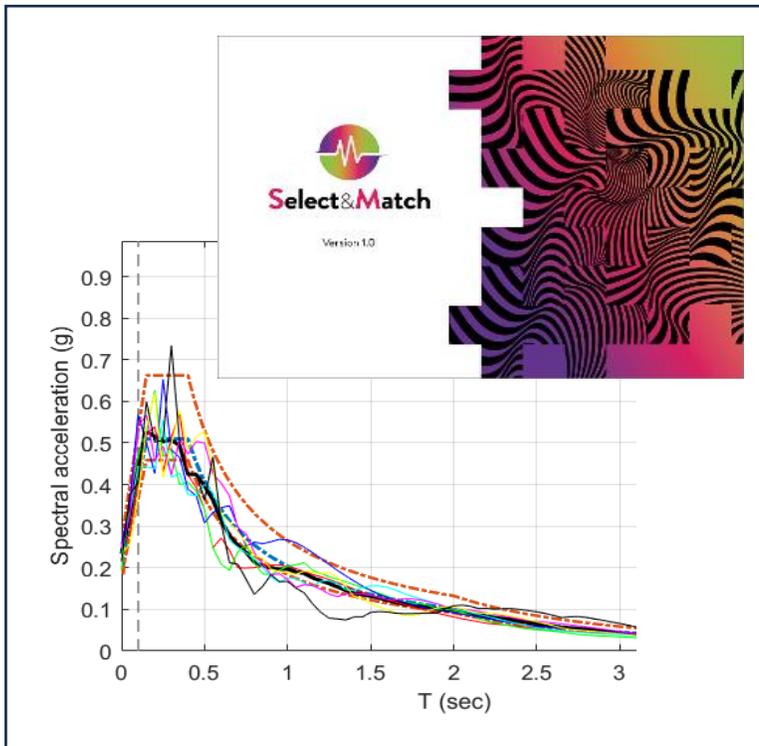


Task 2: Select&Match e validazione di BB-SPEEDset (PoliMI)



Selezione di set spettro-compatibili e confronto della risposta di oscillatori elasto-plastici

Implementazione nel software **Select&Match**,
dove sono caricati dataset di accelerogrammi reali
(SIMBAD, NGA) e simulati (BB-SPEEDset)

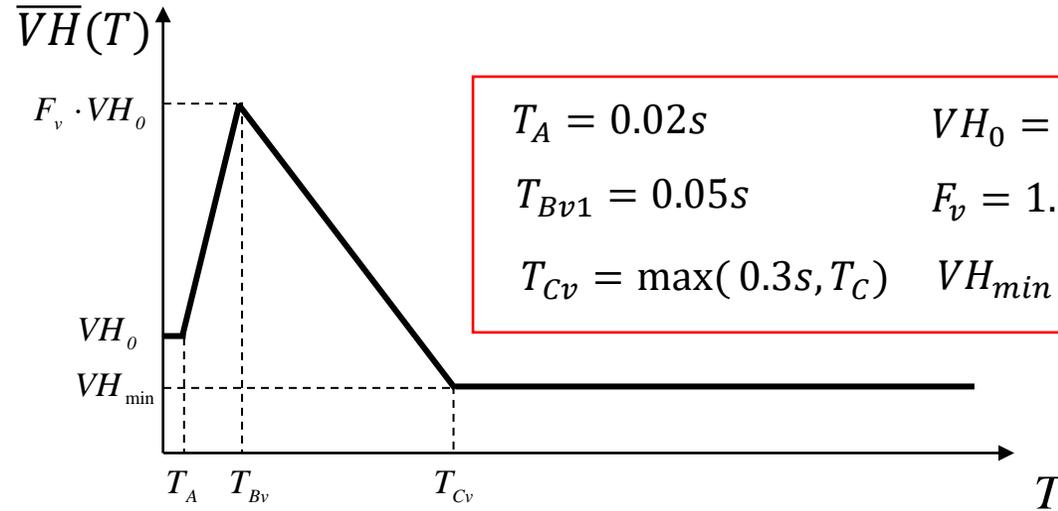


Task 3: Proposta di fattori di conversione tra componenti V e H (PoliMI-INGV)

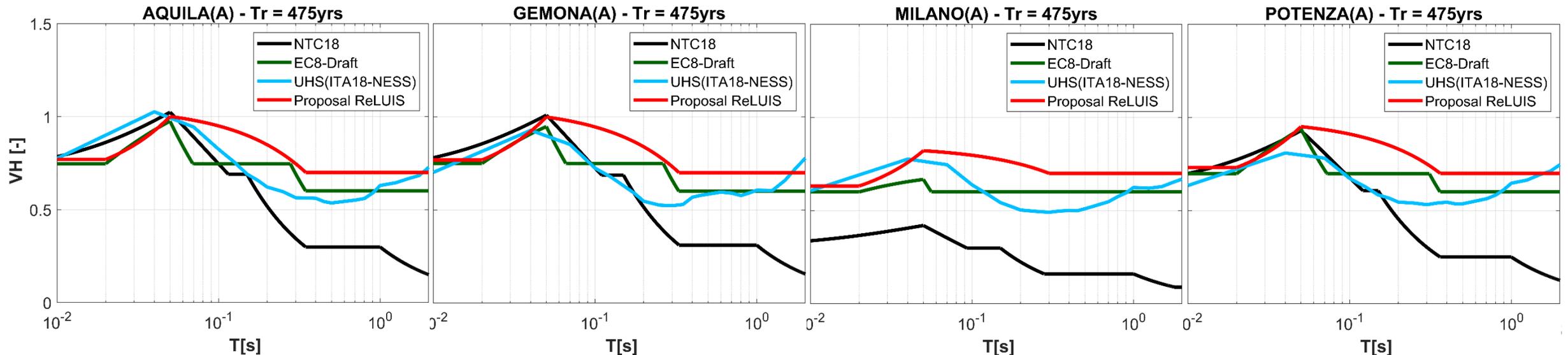
Spettro di Progetto
Verticale

Spettro di Progetto
Orizzontale

$$SA_v^d(T) = SA_h^d(T) \cdot \overline{VH}(T)$$



Confronto della proposta con fattori VH da NTC18, EC8-Draft e rapporti spettri UHS per diversi siti



ASSUNZIONE: il moto di campo lontano è dominato dalle onde di superficie indotte dagli *effetti di bacino*.

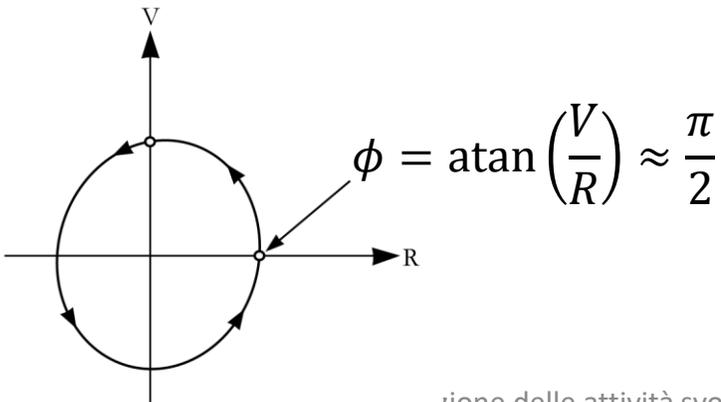
L'*ellitticità* ed il periodo fondamentale delle onde di Rayleigh determinano la *sincronia* tra le componenti orizzontale e verticale del moto sismico

Tempo di ritardo (*lag-time*), intervallo di sincronia:

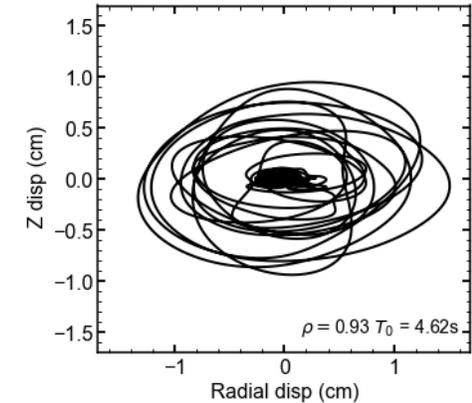
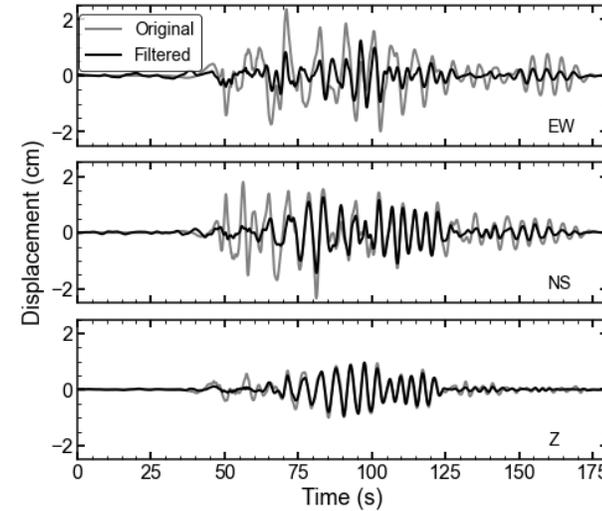
$$\Delta t_{V-R} = \frac{\phi}{\omega_0} = \frac{\phi T_0}{2\pi} \approx \frac{T_0}{4}$$

T_0 determinato da:

- **magnitudo – distanza ipocentrale**
- **geometria e dimensioni del bacino**



È stata sviluppata *procedura automatica* per estrazione componenti del moto associate alle onde di Rayleigh dalle registrazioni accelerometriche (dai lavori di Meza-Fajardo et al., 2005; Pilz et al., 2018; Pinnegar, 2006)



Stazione di Imola scossa M6.1 terremoto Emilia 20/05/2012

Criteri per l'identificazione delle registrazioni dominate dalle onde di superficie (onde di Rayleigh). Nel nostro studio:

- $\rho(\hat{v}^*, r^*) > 0.85 \rightarrow$ coefficiente di correlazione tra le componenti verticali e radiali filtrate e traslate
- $rd_z = \frac{PGD(v^*)}{PGD(v)} > 0.8$

Task 4: Fattori di sito nelle norme e nella Microzonazione sismica (UniSI)

1. Gli esiti degli studi di Microzonazione sismica (espressi in termini di tre fattori di amplificazione stratigrafica relativi a tre intervalli di periodi) relativi a 308 configurazioni relative a Comuni interessati dalla sequenza sismica del 2016-2017 sono stati posti a confronto con le stime previste per le corrispondenti classi di sottosuolo secondo le NTC18

	K (FA_NTC18 \geq FA_1D_MS3)	J (FA_NTC18 < FA_1D_MS3)	N	$\mu(M)$	$\sigma(M)$	Z
0.1-0.5 s						
B	39	169	208	104	7.21	-9.01
C	28	38	66	33	4.06	-1.23
D	3	0	3	1.50	0.87	1.73
E	13	18	31	15.50	2.78	-0.90
0.4-0.8 s						
B	184	24	208	104	7.21	11.09
C	61	5	66	33	4.06	6.89
D	3	0	3	1.50	0.87	1.73
E	30	1	31	15.50	2.78	5.21
0.7-1.1 s						
B	202	6	208	104	7.21	13.59
C	62	4	66	33	4.06	7.14
D	3	0	3	1.50	0.87	1.73
E	31	0	31	15.50	2.78	5.57

$$Z = \frac{K - \mu(M)}{\sigma(M)} \quad \mu(M) = Np \quad \sigma(M) = \sqrt{Np(1-p)}$$

I fattori NTC18 risultano inferiori per classe di suolo B nell'intervallo 0.1-0.5 s

I fattori NTC18 risultano superiori negli intervalli 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s

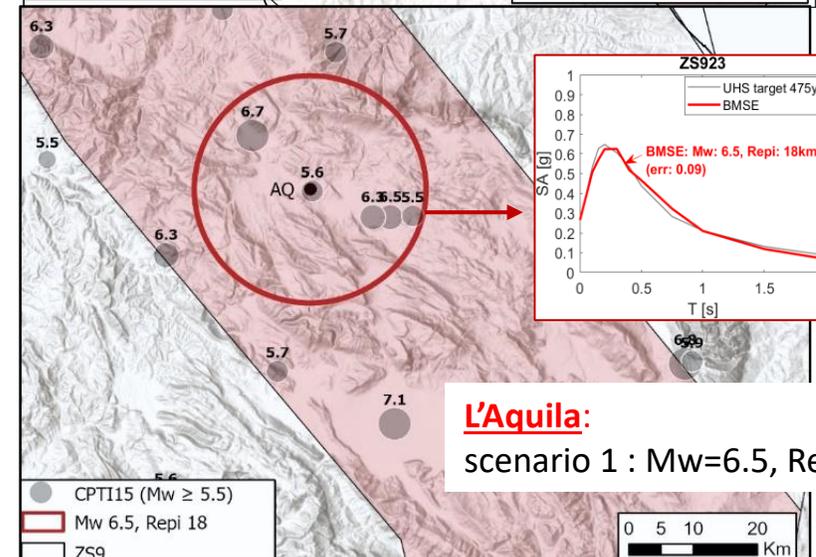
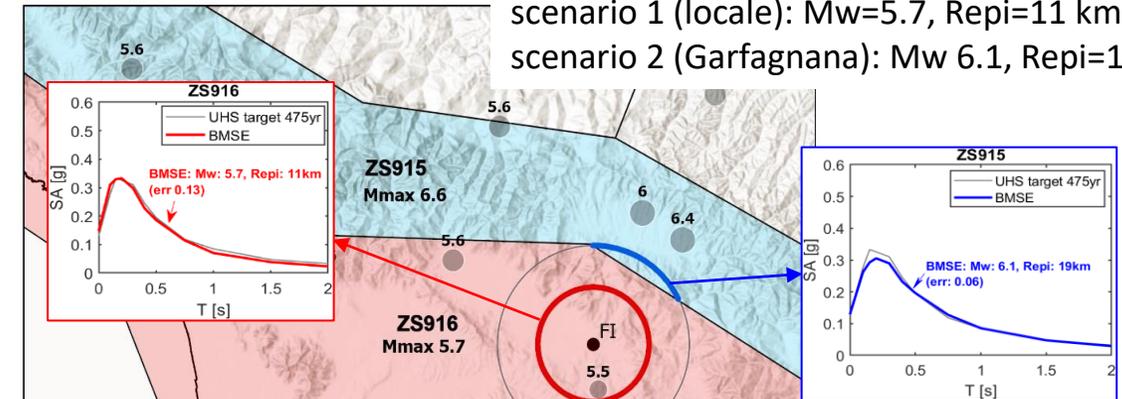
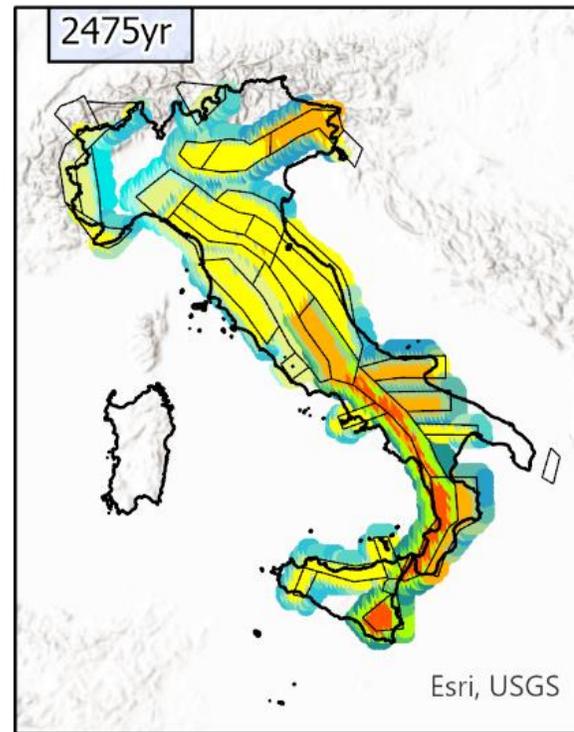
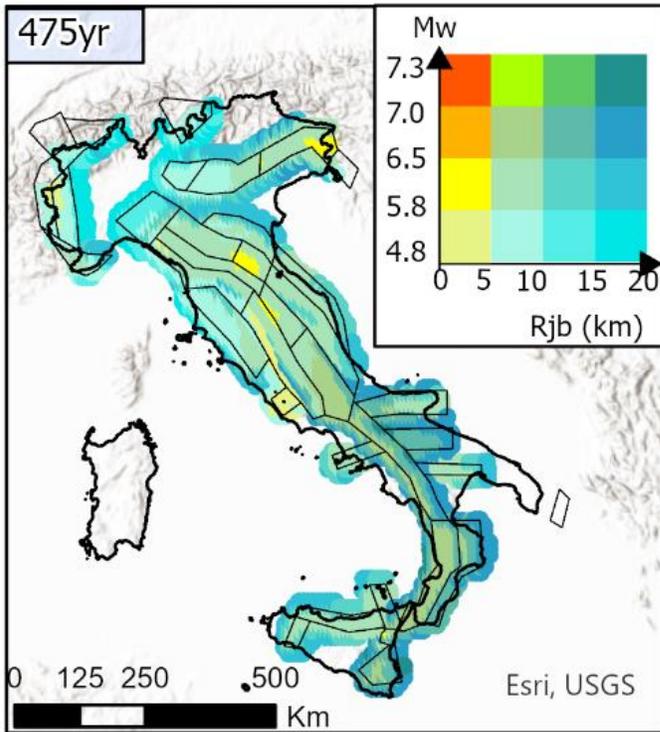
simili risultati anche sulla base di analisi 1D su profili generati stocasticamente in microzone omogenee per le quali sono disponibili indagini di MZS di I e II livello

Best Matching Scenario Earthquake:

definito dalla coppia (Mw,R), compatibili con la zonazione della PSHA, il cui scuotimento medio approssima al meglio lo spettro di progetto

Firenze:

scenario 1 (locale): Mw=5.7, Repi=11 km
scenario 2 (Garfagnana): Mw 6.1, Repi=19km

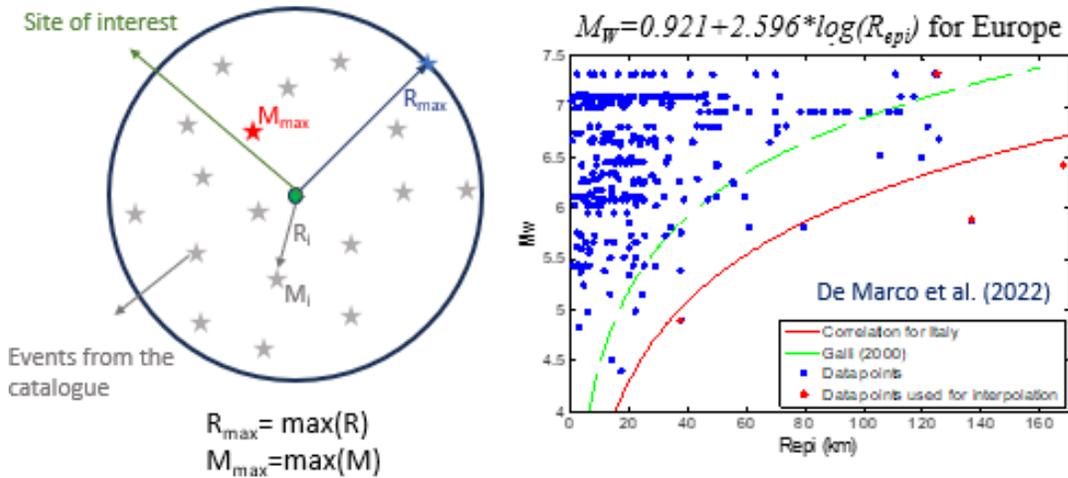


L'Aquila:

scenario 1 : Mw=6.5, Repi=18 km

Task 5: selezione della magnitudo nelle verifiche a liquefazione al sito (UniPV)

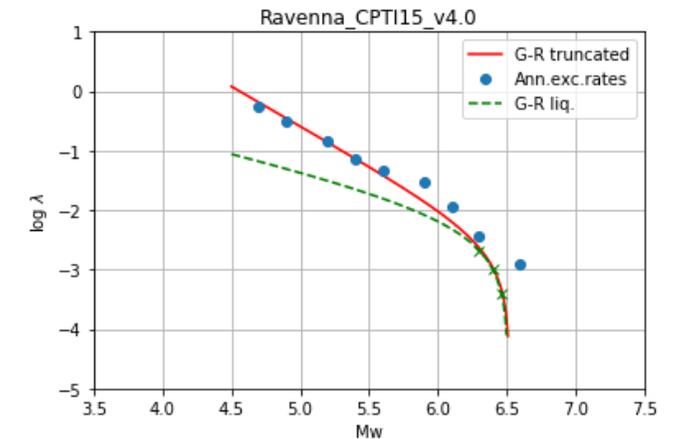
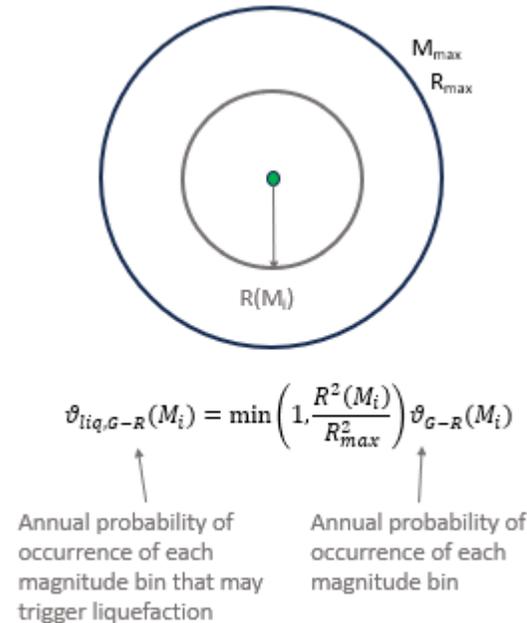
1. Identificazione dell'area di studio e della magnitudo massima sulla base delle curve empiriche di distanza magnitudo-limite superiore della liquefazione innescata dai terremoti calibrate nel progetto LIQUEFACT (De Marco et al., 2022)



2. Selezione dei terremoti storici avvenuti all'interno dell'area individuata al punto 1, calcolo dei parametri relazione di Gutenberg-Richter (G-R)

3. Troncamento della relazione di G-R (punto 2.) utilizzando i valori di magnitudo $M_{wmin} = 4.5$ e M_{wmax} automaticamente assegnati al sito di interesse

4. Rielaborazione della curva G-R troncata al punto 3 in modo che tutti gli intervalli di magnitudo possano potenzialmente innescare il fenomeno della liquefazione. Questa curva definisce la relazione M_w – periodo di ritorno

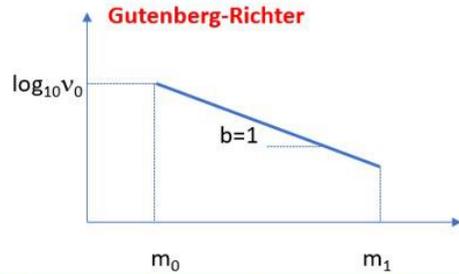
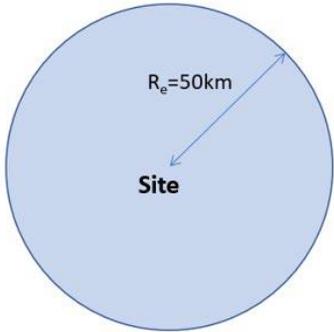


Catalogue of earthquakes	Completeness periods
Italian CPT15 v4.0 (2022)	MPS04 weighted 60% "historical" (CO-04.2) - 40% "statistical" (CO-04.4)
European ESHM20 catalogue (declustered)	ESHM20 for completeness super-zones (CSZs)

Task 5: selezione della magnitudo nelle verifiche a liquefazione al sito (PoliMI)

Probabilistic Liquefaction Hazard Assessment (PLHA):

determina la probabilità annua di liquefazione in uno strato con prefissato NSPT (o CPT o altro ..) a una data profondità

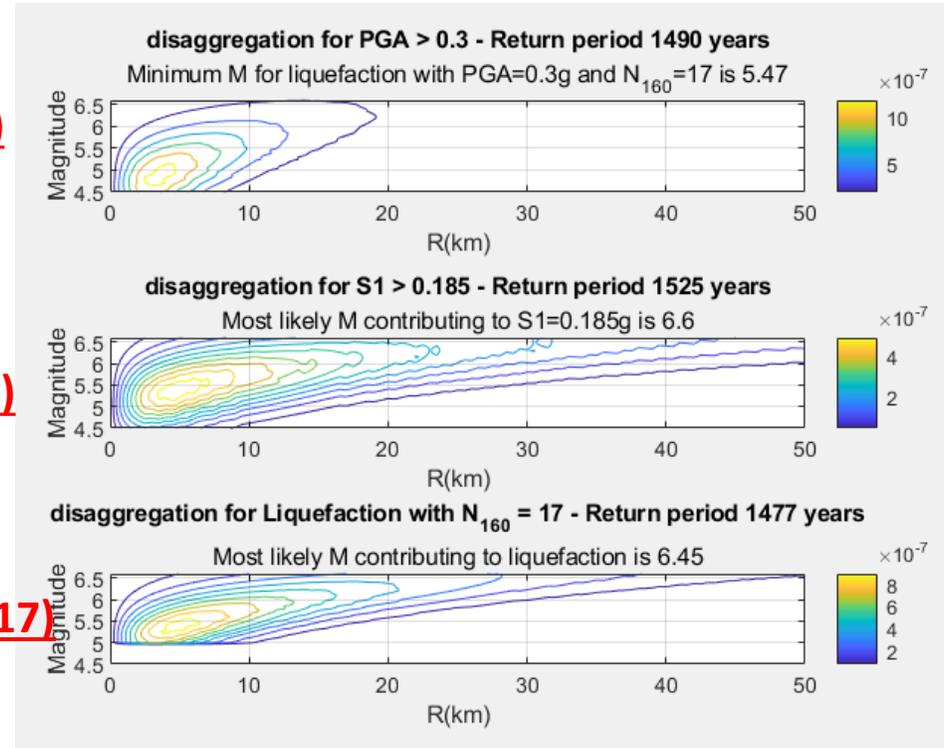


Seismicity	m0	m1	b	v0
High	4.5	6.8	1	0.2
Low	4.5	6.2	1	0.05

PSHA (PGA)

PSHA (Sa(1s))

PLHA (N₁₆₀=17)



$$\iiint_{m,r,\varepsilon} \Pr \left[\left(\frac{\tau_{cyc}}{\sigma'_{v0}} \right) > CRR_{7.5}(x)g(M) \mid M, R, \varepsilon \right] f_M(m) f_R(r) f_\varepsilon(\varepsilon) dm dr d\varepsilon$$

$$\tau_{cyc} = \frac{2}{3} \sigma_z \frac{a_{max}}{g} r_d(z)$$

$$f_M(m) = \frac{\beta e^{-\beta(m-m_0)}}{1 - e^{-\beta(m_1-m_0)}}$$

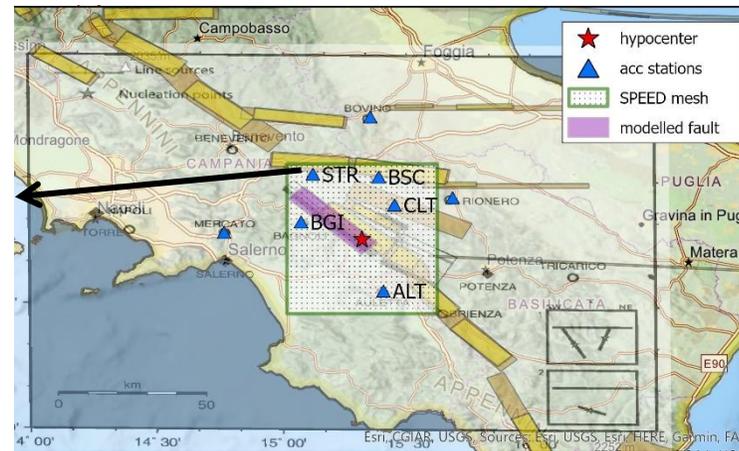
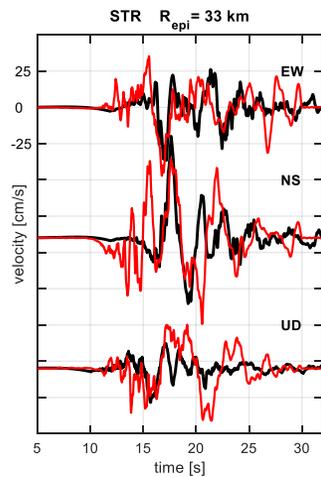
$$f_R(r) = \frac{2r}{R_e^2}$$

Conclusioni

- ✓ i contributi (M,R) alla PLHA e alla PSHA con Sa(1s) sono molto simili;
- ✓ c'è consistenza tra PLHA e verifiche convenzionali a liquefazione se si sceglie la M da disaggregazione di Sa(1s). La M da disaggregazione in PGA non permette invece di avere risultati consistenti con la PSHA

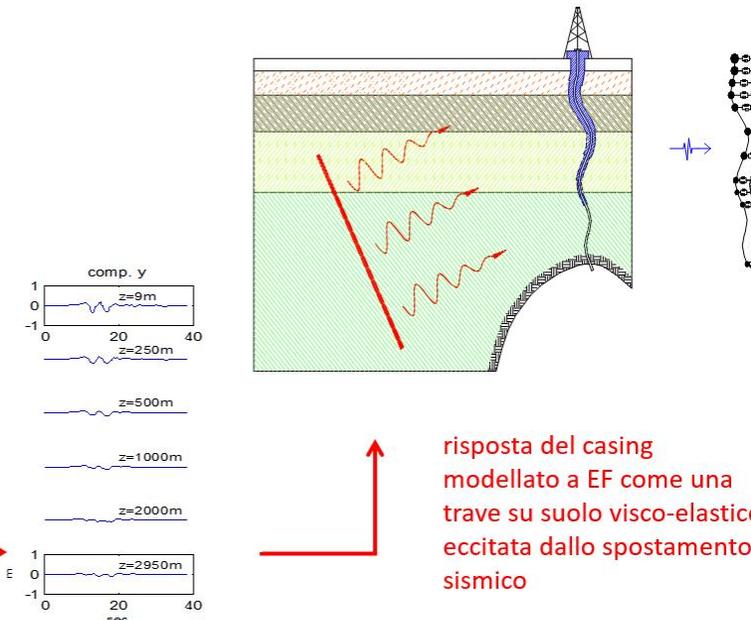
le conoscenze maturate in questi anni possono essere messe a disposizione di studi rivolti a:

- ✓ criteri alternativi (o complementari) alla definizione delle **azioni sismiche**, attualmente basate sulla sola corrispondenza con i risultati degli studi di pericolosità sismica (→ risk targeted spectra UniNA)
- ✓ creazione di **scenari di scuotimento fisicamente basati** per analisi di rischio sismico a scala urbana o di analisi multi-rischio



spostamenti calcolati a diverse verticali, idealmente rappresentative di casing petroliferi

effetto del terremoto dell'Irpinia su un casing petrolifero



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

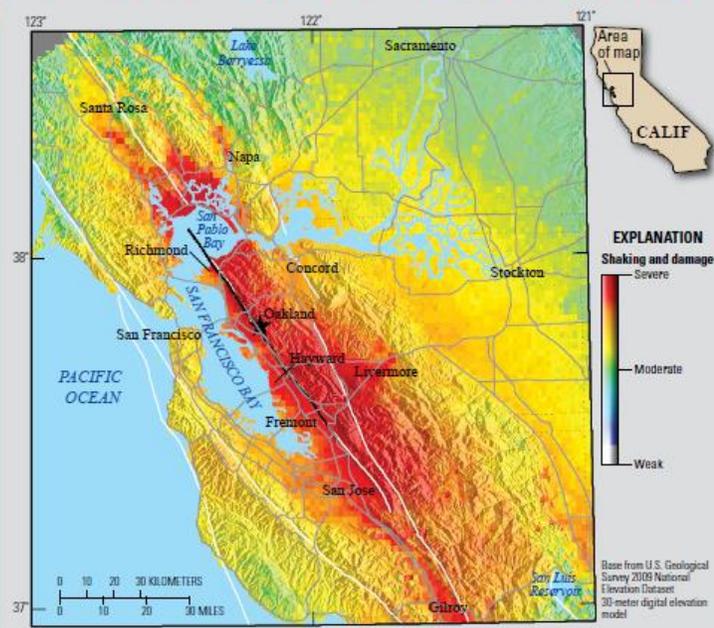
The Haywired scenario

<https://www.usgs.gov/programs/science-application-for-risk-reduction/science/haywired-scenario>

Example: evaluation of water network resilience

The HayWired Earthquake Scenario— **WE CAN OUTSMART DISASTER**

The HayWired earthquake scenario, led by the U.S. Geological Survey (USGS), anticipates the impacts of a hypothetical magnitude-7.0 earthquake on the Hayward Fault. The fault is along the east side of California's San Francisco Bay and is among the most active and dangerous in the United States, because it runs through a densely urbanized and interconnected region. One way to learn about a large earthquake without experiencing it is to conduct a scientifically realistic scenario. The USGS and its partners in the HayWired Coalition and the HayWired Campaign are working to energize residents and businesses to engage in ongoing and new efforts to prepare the region for such a future earthquake.



This map of the San Francisco Bay region, California, shows simulated ground shaking caused by the hypothetical magnitude-7.0 mainshock of the HayWired earthquake scenario on the Hayward Fault. Red shows the most extreme ground shaking and where damage is the worst. The mainshock begins beneath the City of Oakland (star) and causes the Hayward Fault to rupture along about 52 miles of its length (thick black line). White lines are other major faults in the region.

Example of Multi-Hazard map (HAZUS-MH): building damage ratio considering shaking, liquefaction and landslide hazards from mainshock and aftershock sequence

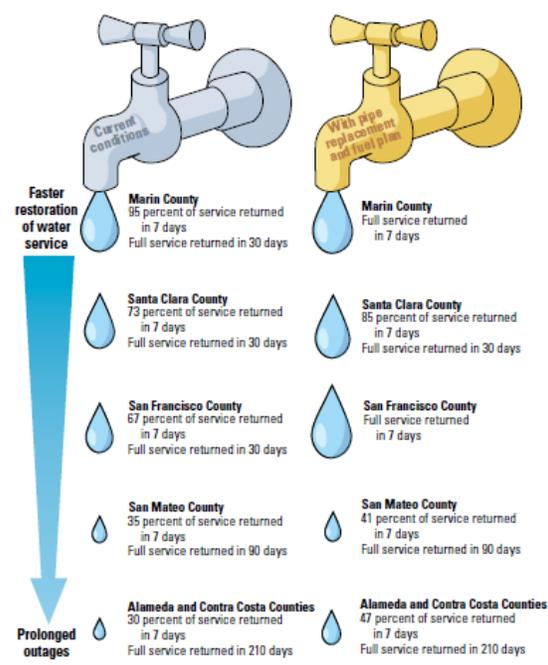
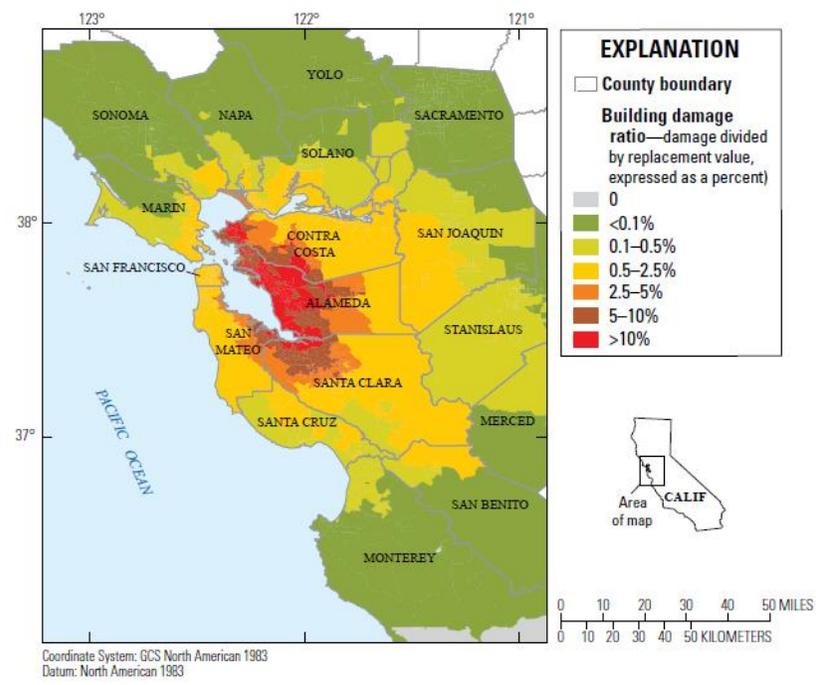
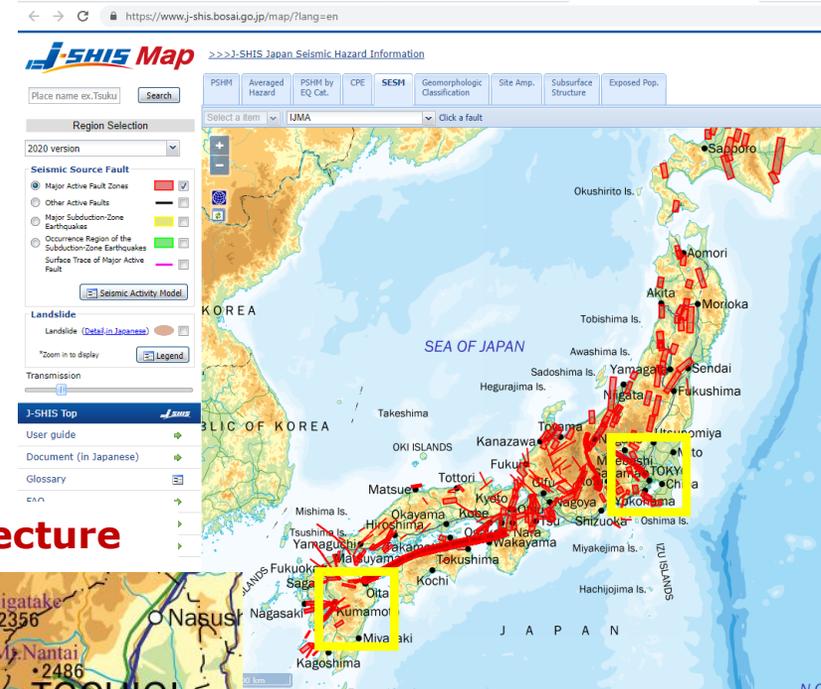


Figure 5. This illustration shows water-service restoration times for counties in California's San Francisco Bay region following the hypothetical moment-magnitude-7.0 mainshock of the HayWired earthquake scenario. The image at left shows current conditions, and the image at right shows how water-service restoration times could be substantially improved if water utilities replaced all brittle pipe in their systems and had a fuel-management plan and emergency generators with fuel at all pumping stations. (From Hudnut and others, 2018, <https://doi.org/10.3133/fs20183016>, using data in Porter, Water-Network Resilience, this volume.)

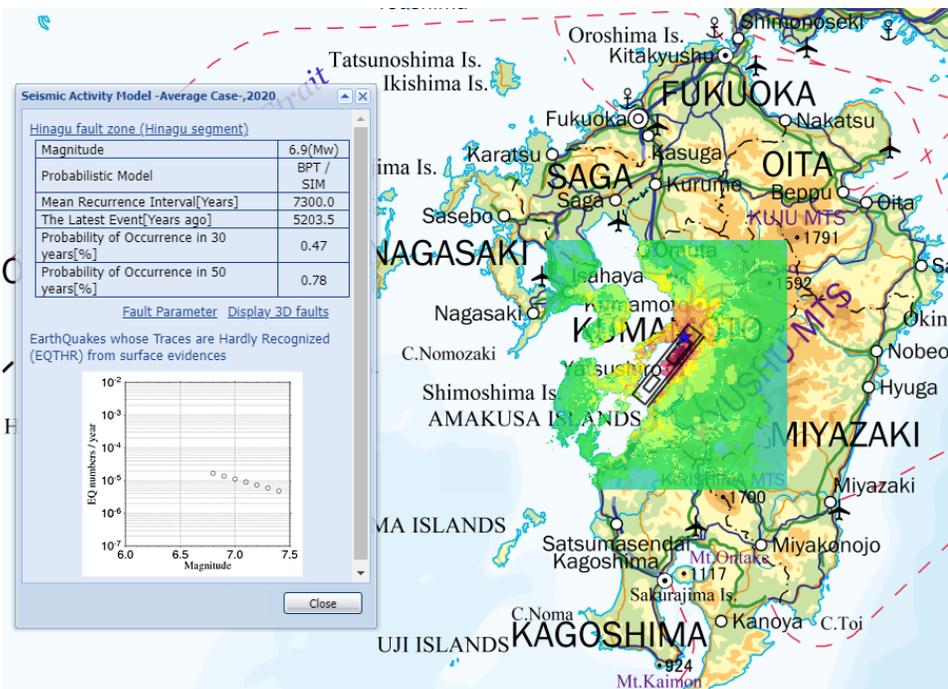
Japan: Scenario Earthquake Shaking Maps (SESM)

<http://www.j-shis.bosai.go.jp>

SESM are produced with advanced 3D Physics-Based Numerical Simulations accounting for fault finiteness and 3D geology. They are used as input for seismic risk scenario analyses, that are mandatory for each prefecture of Japan.



scenario in the Kumamoto prefecture



scenario in the Tokyo prefecture

