



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI NAPOLI FEDERICO II

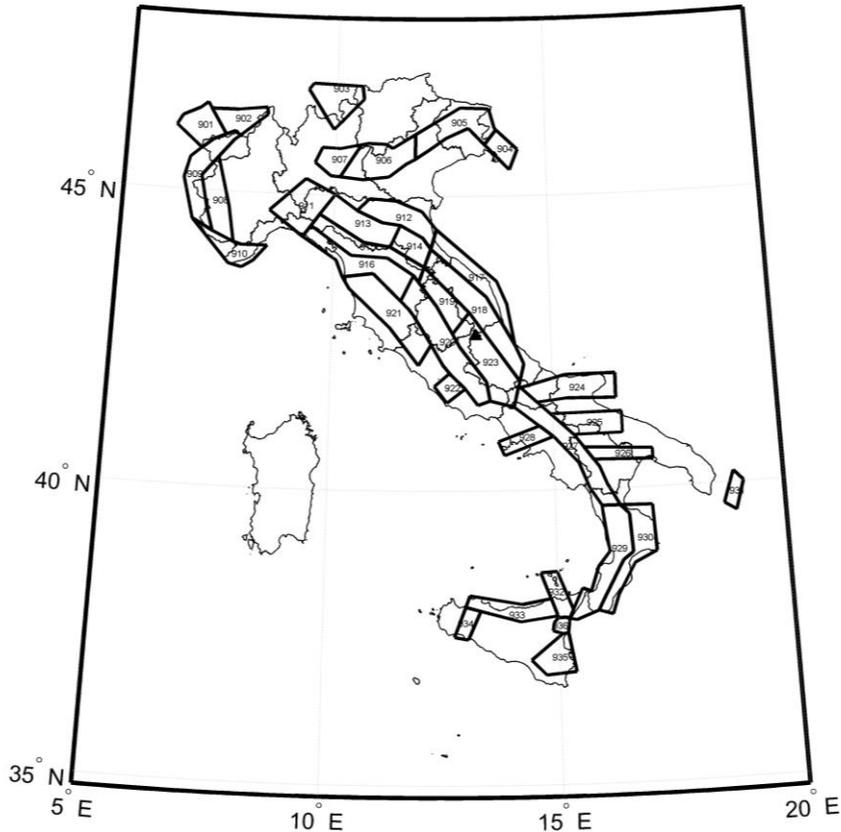
Da L'Aquila a Casamicciola: quand'è che un terremoto si può definire forte dal punto di vista strutturale?

Iunio Iervolino, prof. di dinamica delle costruzioni e ingegneria sismica.

Con contributi di: Georgios Baltzopoulos, Roberto Baraschino, Eugenio Chioccarelli, Pasquale Cito, Massimiliano Giorgio, Akiko Suzuki.

Dati INGV alla base delle NTC

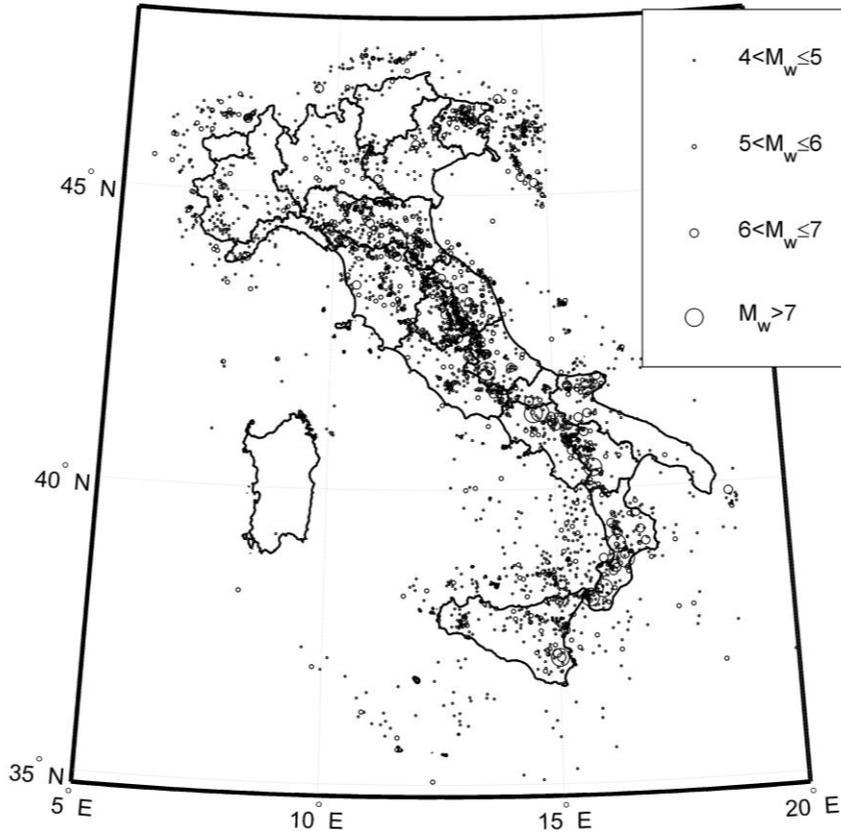
CPTI15 – Catalogo parametrico dei terremoti Italiani.



Circa tremilacinquecento terremoti di magnitudo momento (M_w) maggiore di quattro dall'anno 1005 D.C.

Zona	v - tasso $M \geq 4$ [terremoti/anno]	Tr - periodo di ritorno [anni]
923 Appennino Abruzzese	0.64	1.6
929 Calabria tirrenica	0.39	2.5
927 Sannio - Irpinia - Basilicata	0.36	2.8
920 Val di Chiana - Ciociaria	0.32	3.2
905 Friuli - Veneto Orientale	0.32	3.2
915 Garfagnana - Mugello	0.31	3.2
921 Etruria	0.30	3.4
919 Appennino Umbro	0.24	4.1
918 Medio-Marchigiana/Abruzzese	0.22	4.6
913 Appennino Emiliano-Romagnolo	0.21	4.9
924 Molise-Gargano	0.19	5.2
914 Forlivese	0.18	5.5
933 Sicilia settentrionale	0.17	5.8
930 Calabria ionica	0.15	6.8
908 Piemonte	0.14	7.2
906 Garda - Veronese	0.13	7.4
917 Rimini - Ancona	0.12	8.2
903 Grigioni - Valtellina	0.12	8.4
932 Eolie - Patti	0.12	8.5
902 Vallese	0.10	9.7
912 Dorsale Ferrarese	0.09	10.9
916 Versilia-Chianti	0.09	11.0
922 Colli Albani	0.09	11.1
935 Iblei	0.09	11.1
910 Nizza - Sanremo	0.09	11.7
925 Ofanto	0.07	14.1
936 Etna ($M \geq 3.5$)	0.07	14.3
907 Bergamasco	0.07	15.2
926 Basento	0.06	16.3
909 Alpi Occidentali	0.06	17.6
928 Ischia - Vesuvio	0.06	18.0
911 Tortona - Bobbio	0.05	20.0
904 Trieste - Monte Nevoso	0.05	20.0
901 Savoia	0.05	21.3
931 Canale d'Otranto	0.05	22.1
934 Belice	0.04	23.0

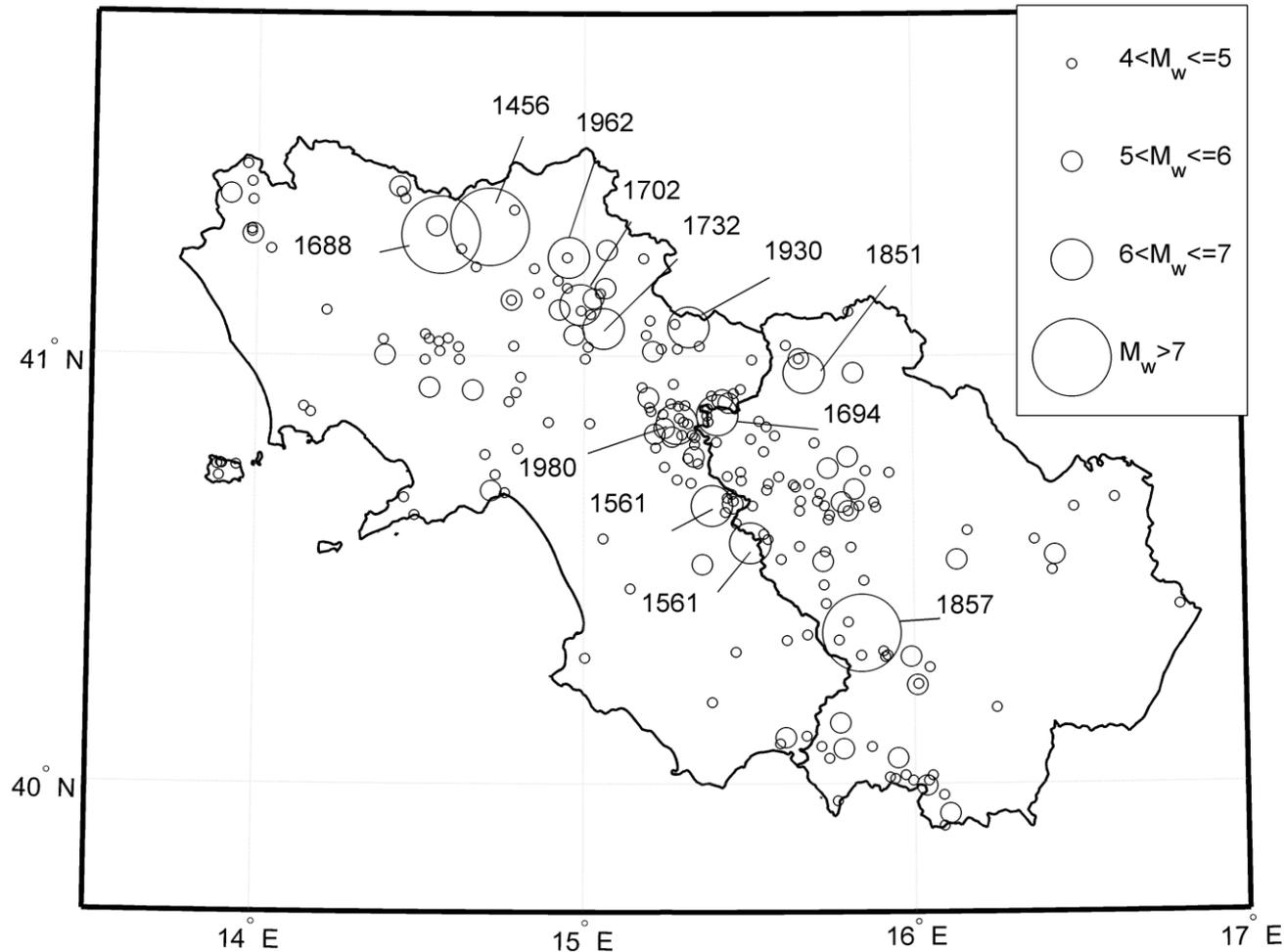
CPTI15 – Catalogo parametrico dei terremoti Italiani.



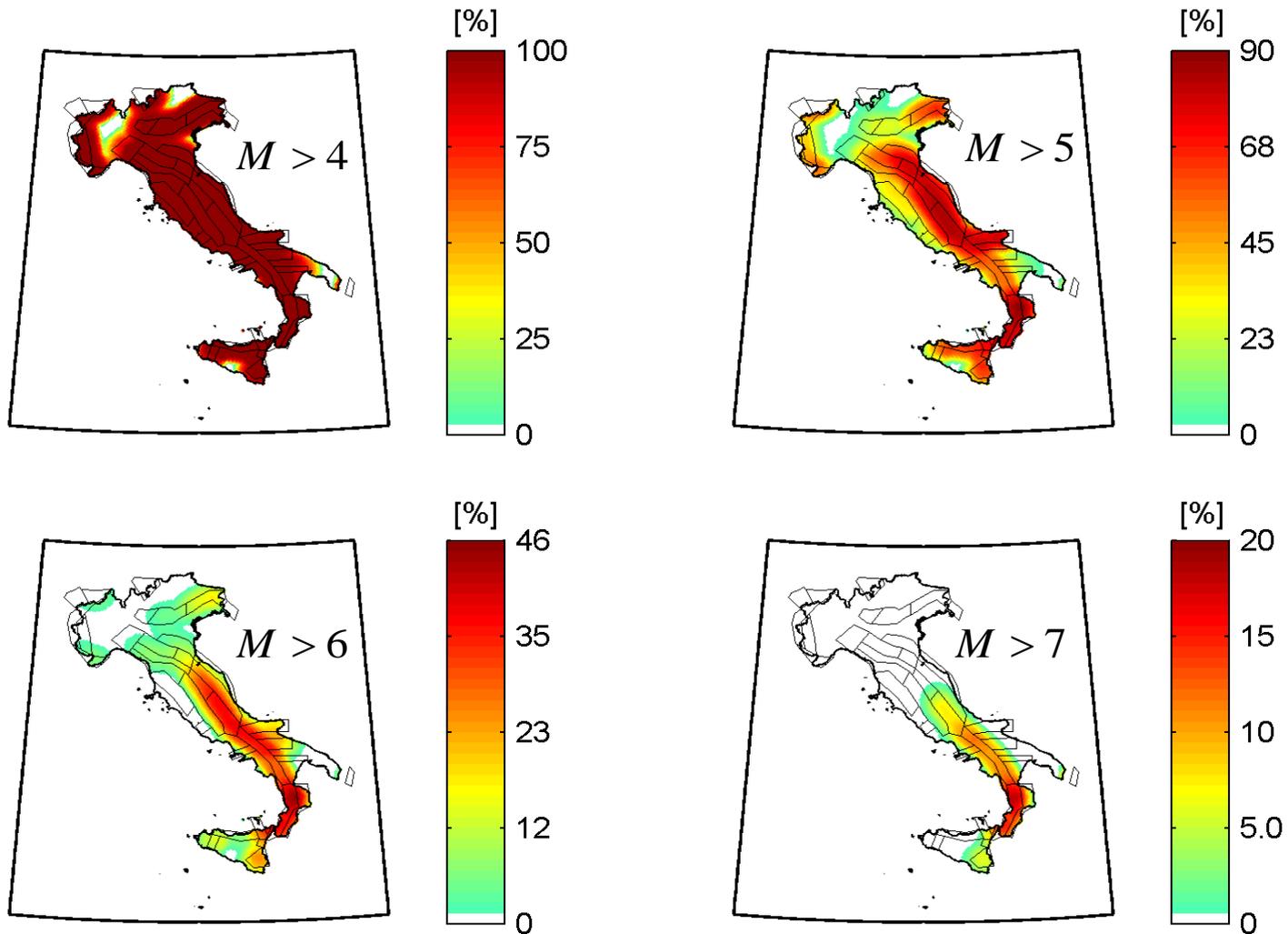
Probabilità (P) di terremoti nell'intero territorio italiano

	1 anno	10 anni	50 anni	Tr [anni]
$M \geq 5$	46%	~100%	~100%	2
$M \geq 6$	11%	69%	~100%	9
$M \geq 7$	2%	19%	65%	48

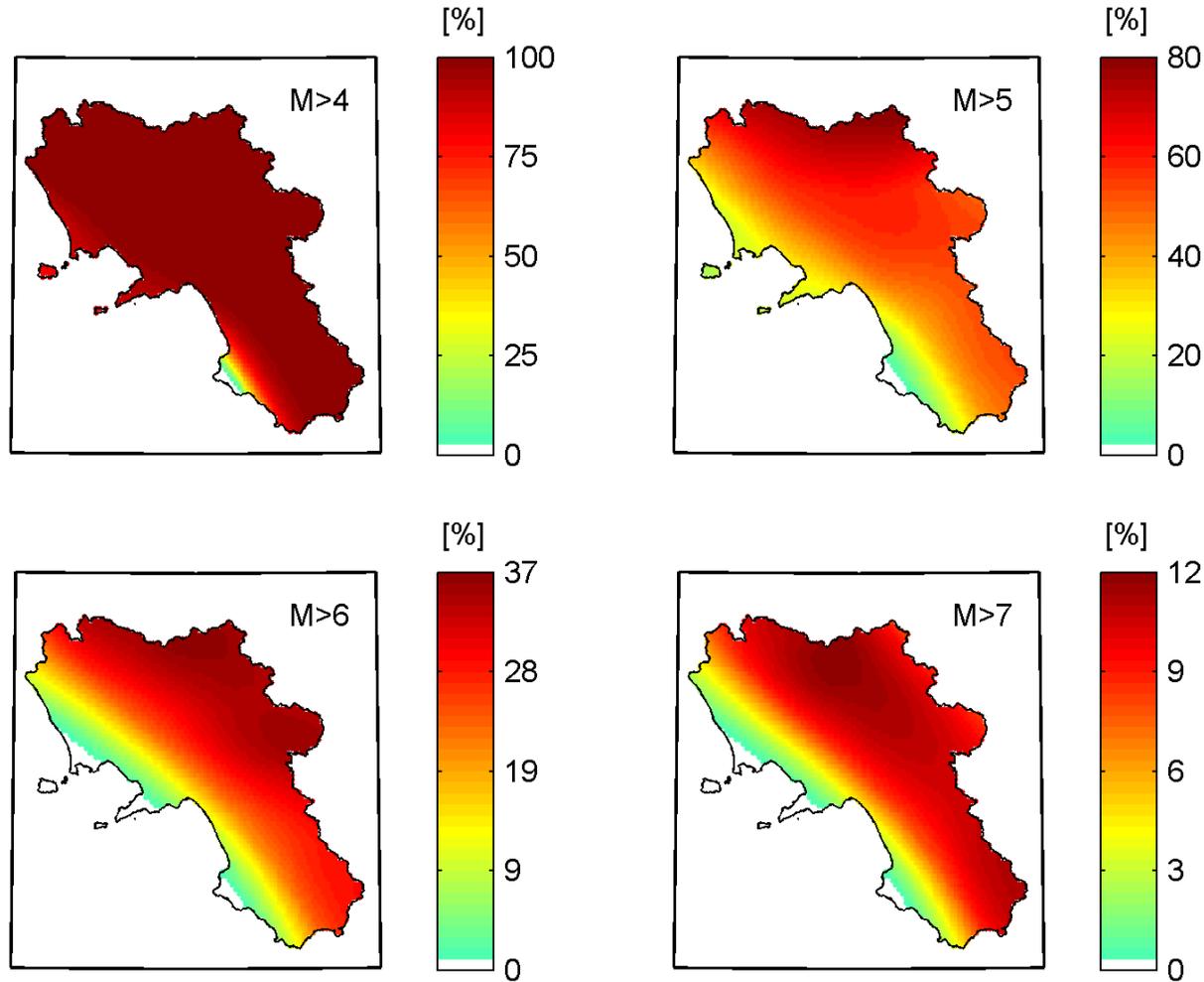
- Dodici terremoti $M > 6$ negli ultimi 560 anni;
- Uno ogni quarantacinque anni mediamente;
- **Probabilità di vederne almeno uno nei prossimi cinquant'anni circa 60%.**



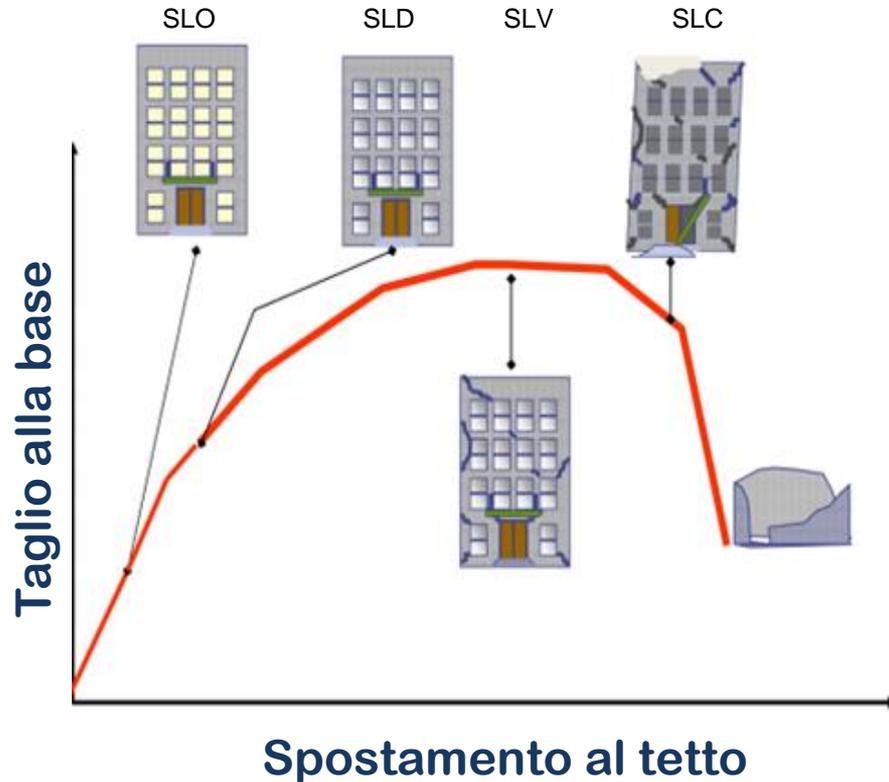
Probabilità di occorrenza in cinquant'anni di almeno un terremoto **entro 50km**



Probabilità di occorrenza in cinquant'anni di almeno un terremoto entro **50km**



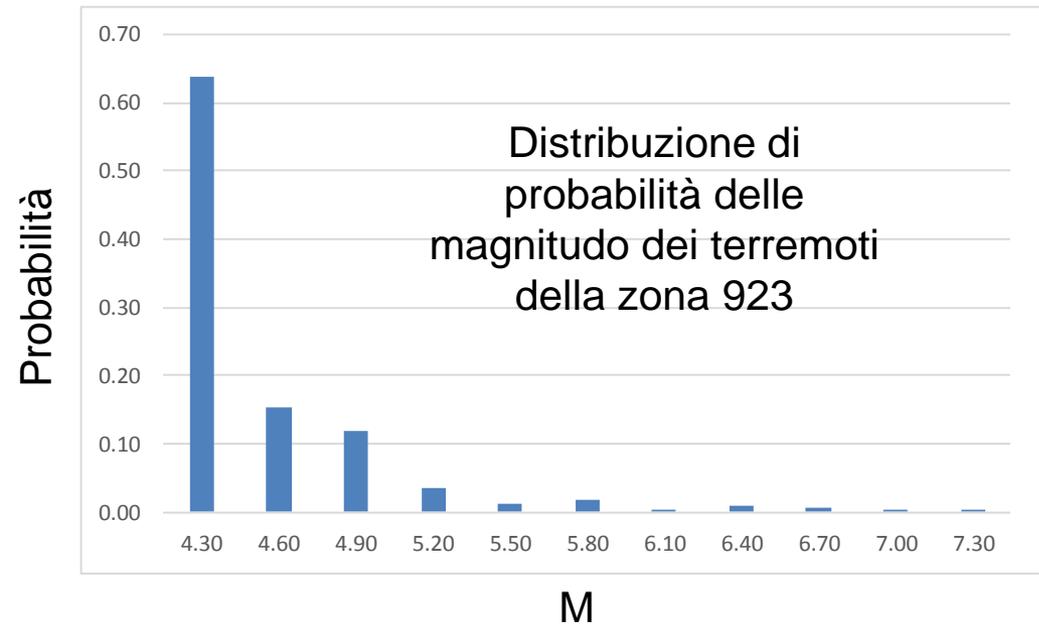
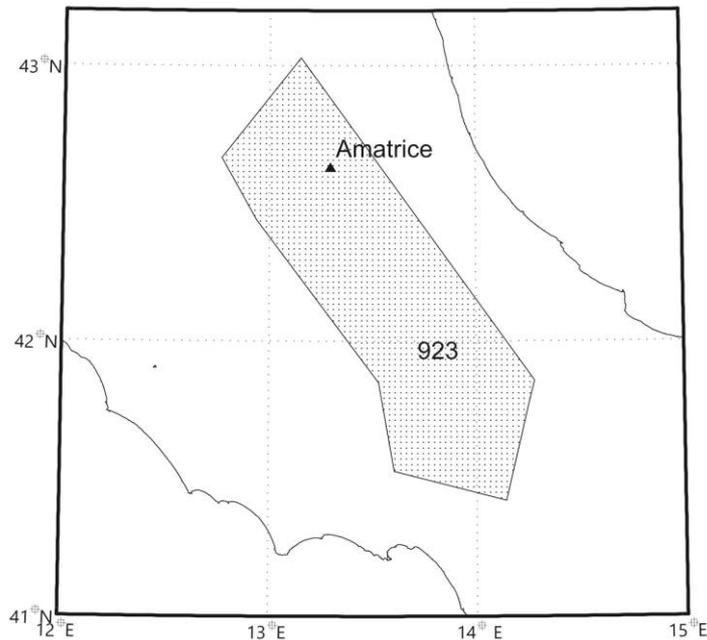
L'approccio prestazionale alla progettazione sismica



	SLO	SLD	SLV	SLC
Frequente (e.g., Tr = 30 anni)	●			
Occasionale (e.g., Tr = 50 anni)	●	●		
Raro (e.g., Tr = 475 anni)	●	●	●	
Molto raro (e.g., Tr = 975 anni)		●	●	●

- Per le NTC l'intensità del terremoto è una accelerazione (spettrale elastica), chiamiamola $S_a(T)$.
- La tabella si usa per identificare, in base alla prestazione (stato limite) di progetto, il periodo di ritorno di interesse.
- Il periodo di ritorno in tabella è quello di occorrenza dei terremoti che causano, al sito, il superamento della intensità di progetto.

Serve un modo per passare dai tassi di occorrenza delle magnitudo ai tassi di superamento delle accelerazioni del sito in questione:
analisi probabilistica di pericolosità sismica.



Tasso annuo di superamento
di un certo valore di intensità

$$\lambda_{Sa(T) > sa}$$

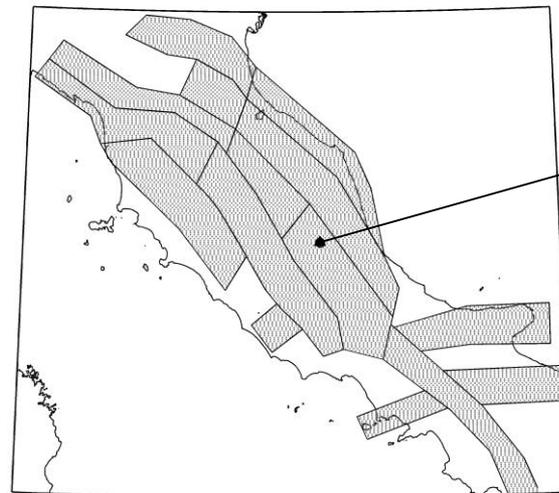
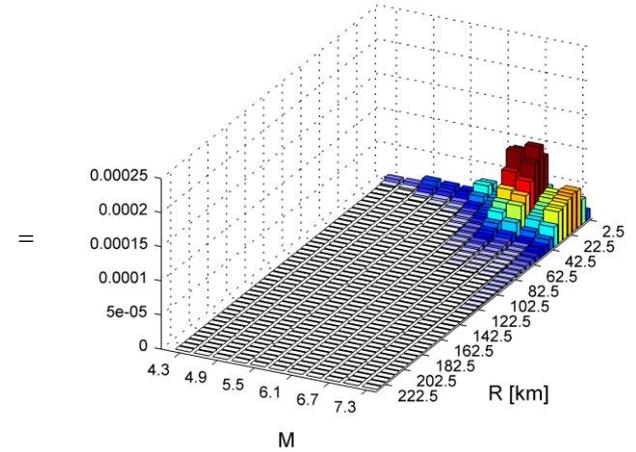
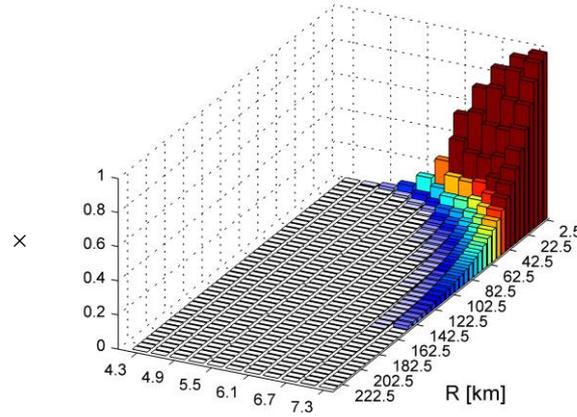
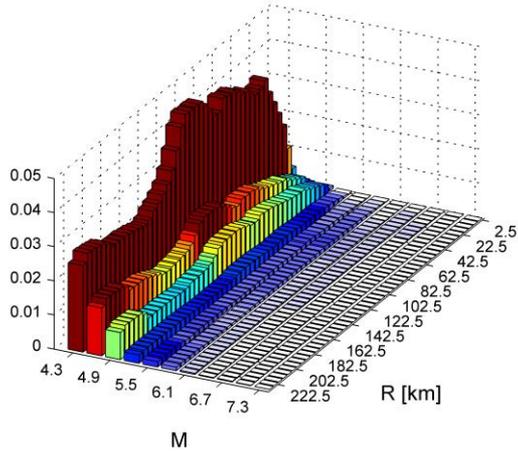
Valore di intensità di cui si vuole
calcolare il tasso di superamento

$$\sum_{R_{min}}^{R_{max}} \sum_{M_{min}}^{M_{max}} v_{M=m,R=r} \cdot P[Sa(T) > sa / m, r] = \lambda_{Sa(T) > sa}$$

$v_{M=m,R=r}$

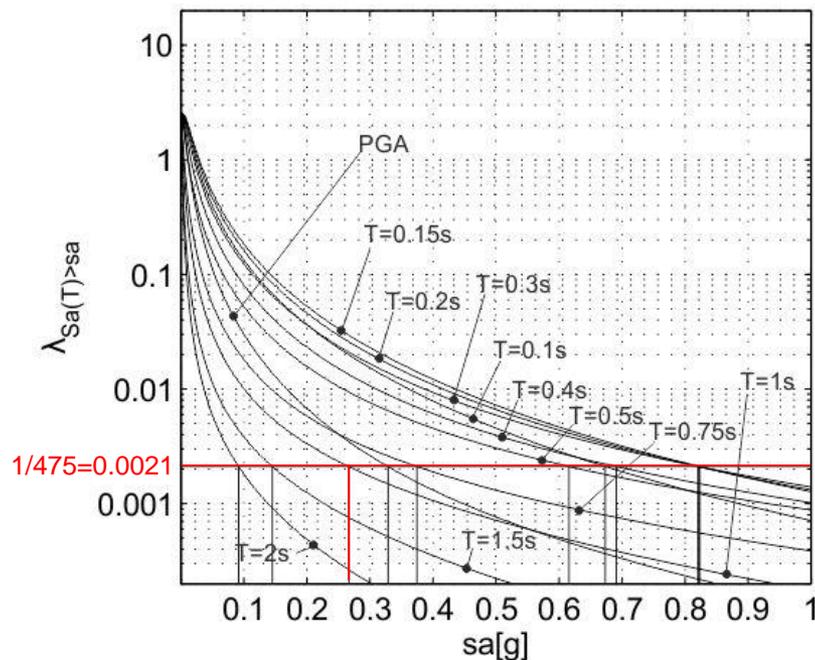
$P[Sa(T = 1s) > sa_{Tr=475} | M = m, R = r]$

$\lambda_{Sa(T=1s) > sa_{Tr=475}, M=m, R=r}$

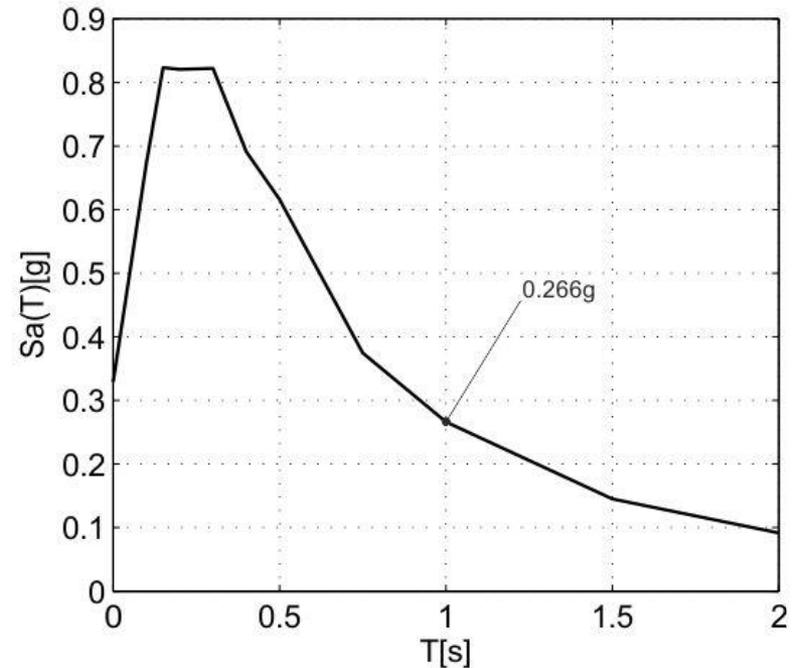


AMATRICE

Siccome non conosco l'intensità che corrisponde al tasso (periodo di ritorno) di progetto al mio sito, faccio il calcolo di pericolosità per tutte le possibili intensità e poi trovo quella col tasso che serve.

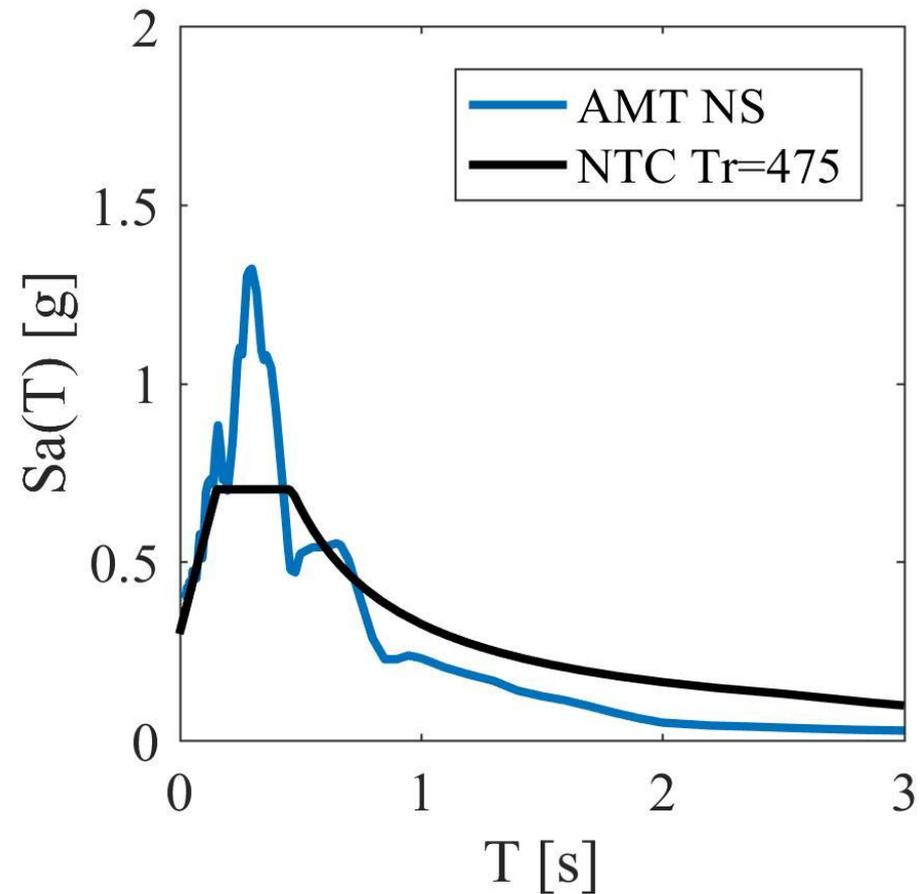
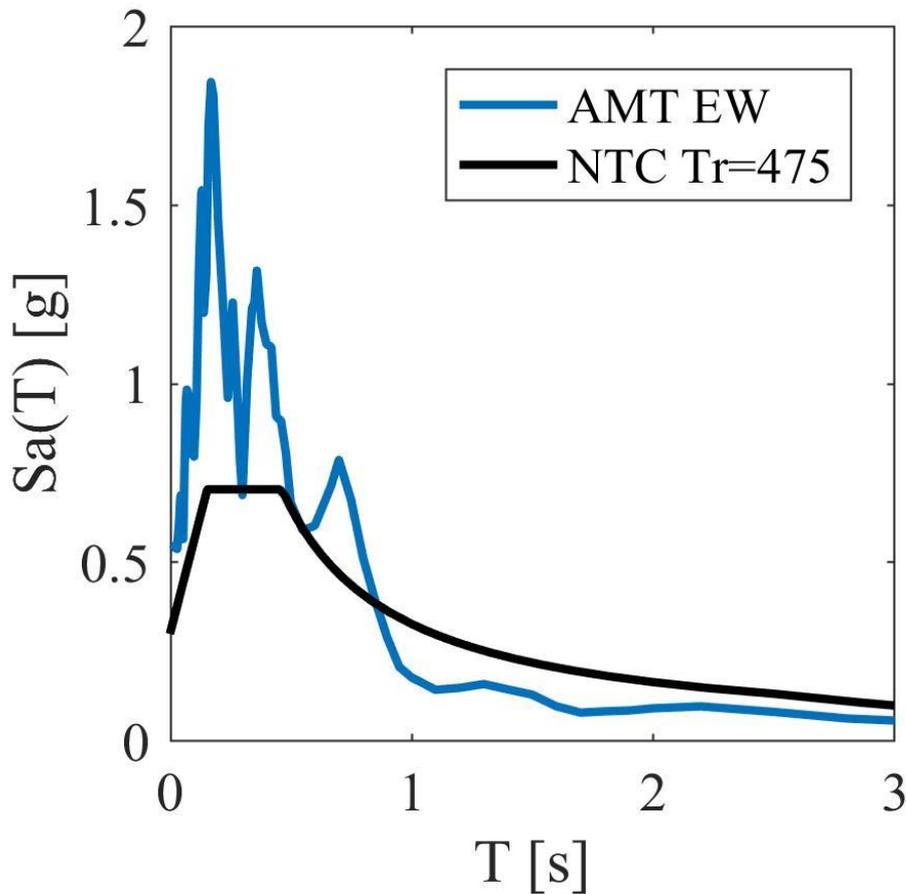


Curve di pericolosità per Amatrice (classe di suolo B)



Spettro a pericolosità uniforme (le cui ordinate sono superate mediamente ogni 475 anni).

Amatrice 30.10.2016 ($M_w=6.5$, $R=10\text{km}$)

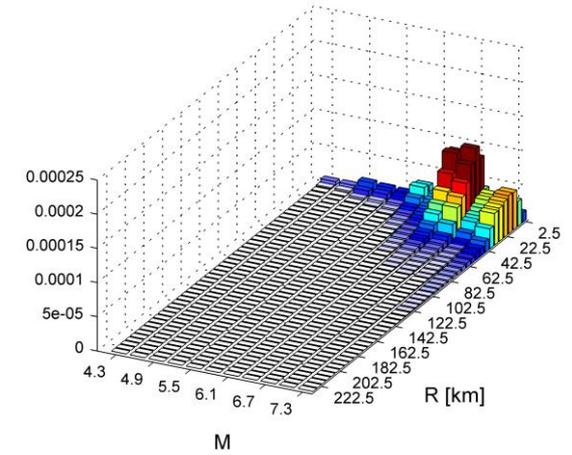
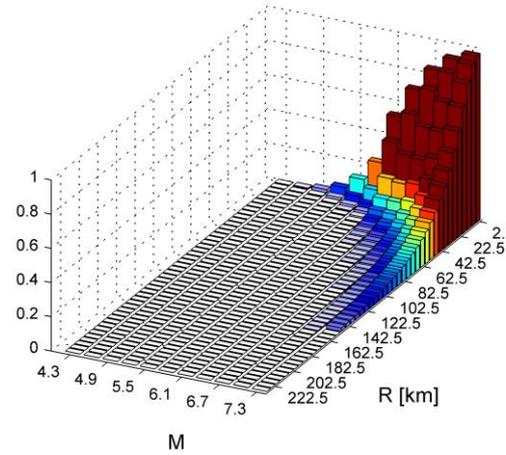
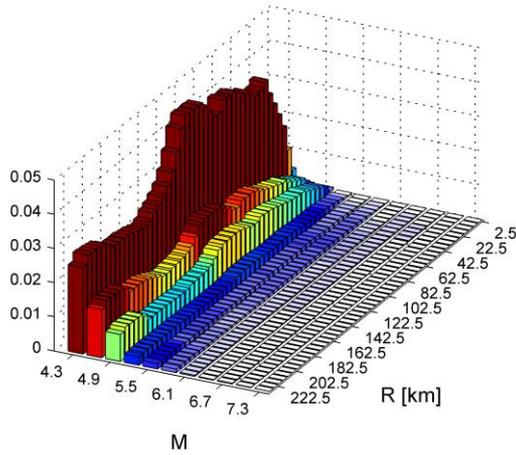


$$\sum_{R_{min}}^{R_{max}} \sum_{M_{min}}^{M_{max}} v_{M=m,R=r} \cdot P[Sa(T) > sa / m, r] = \lambda_{Sa(T) > sa}$$

$v_{M=m,R=r}$

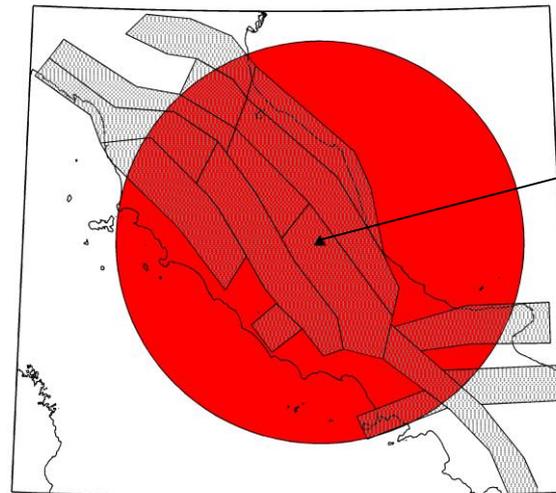
$P[Sa(T = 1s) > sa_{Tr=475} | M = m, R = r]$

$\lambda_{Sa(T=1s) > sa_{Tr=475}, M=m, R=r}$



~~$v_{R \leq 150}$~~

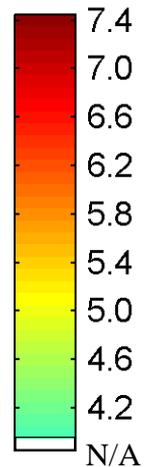
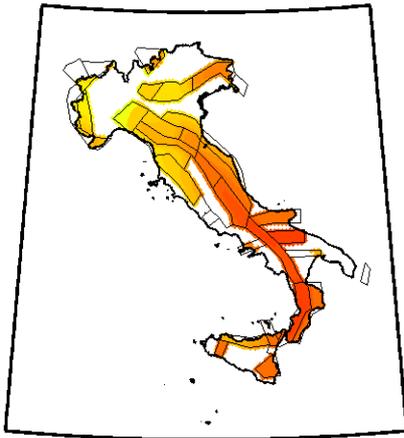
~~$\lambda_{Sa(T=1s) > sa_{Tr=475}}$~~



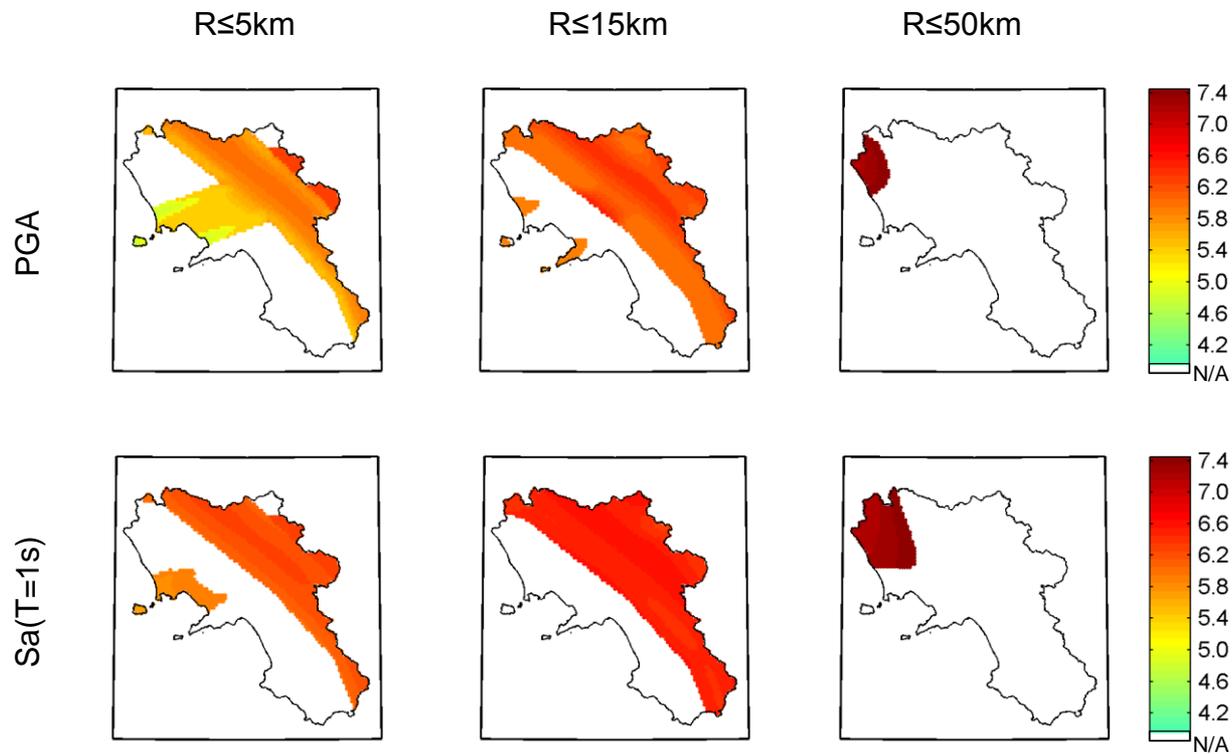
AMATRICE

Magnitudo minima dei terremoti che se occorressero vicino al sito probabilmente causerebbero il superamento dello spettro che ha $T_r = 475$ anni a $S_a(T=1s)$. Che si possono definire *forti*.

$R \leq 5km$

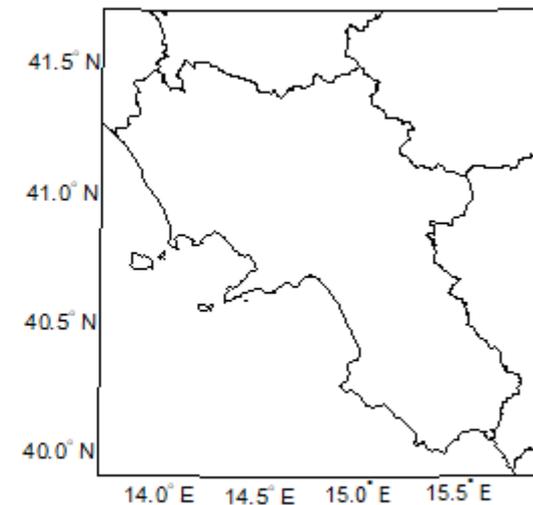
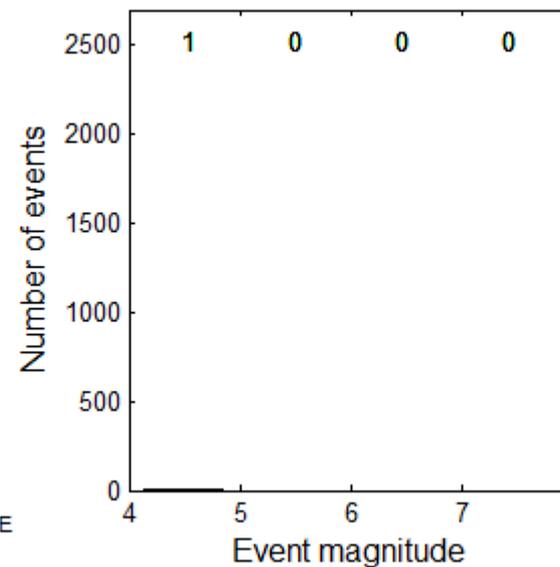
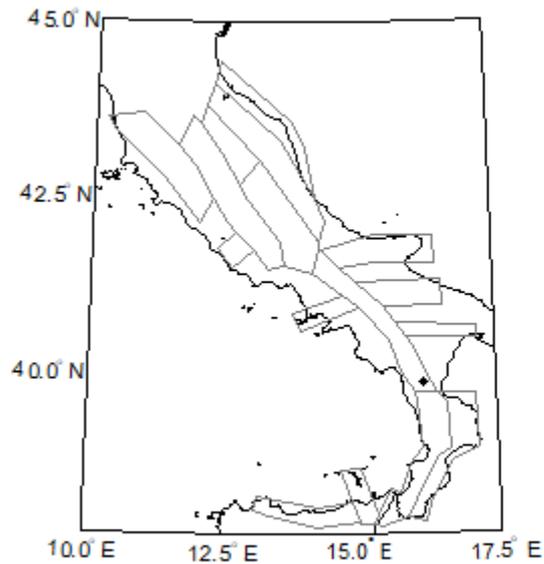


Magnitudo minima dei terremoti che se occorressero vicino al sito probabilmente causerebbero il superamento dello spettro che ha $T_r = 475$ anni a $S_a(T=1s)$. Che si possono definire *forti*.



Esempio di storia sismica in Campania, nelle aree grigie ci si aspetta il superamento delle azioni di progetto ($T_r=475$ anni)

Time interval: 10 years

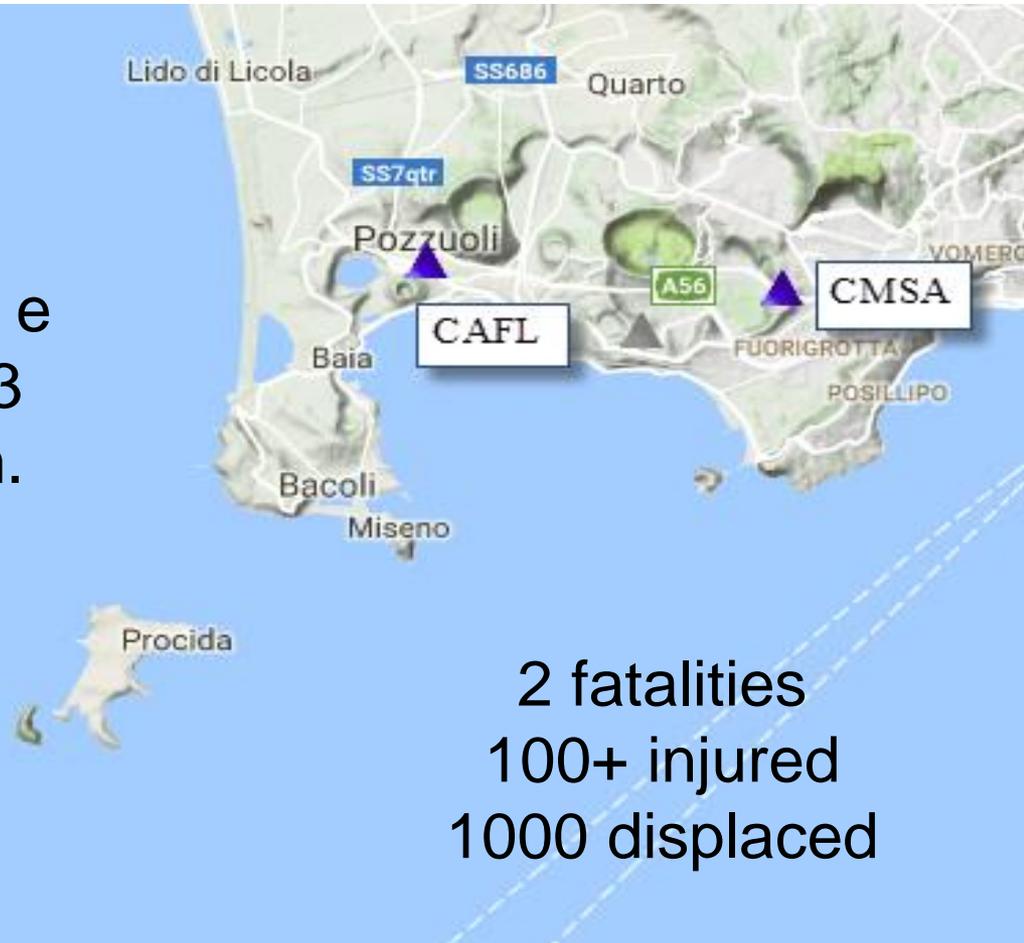


21 Agosto 2017 20:57:51



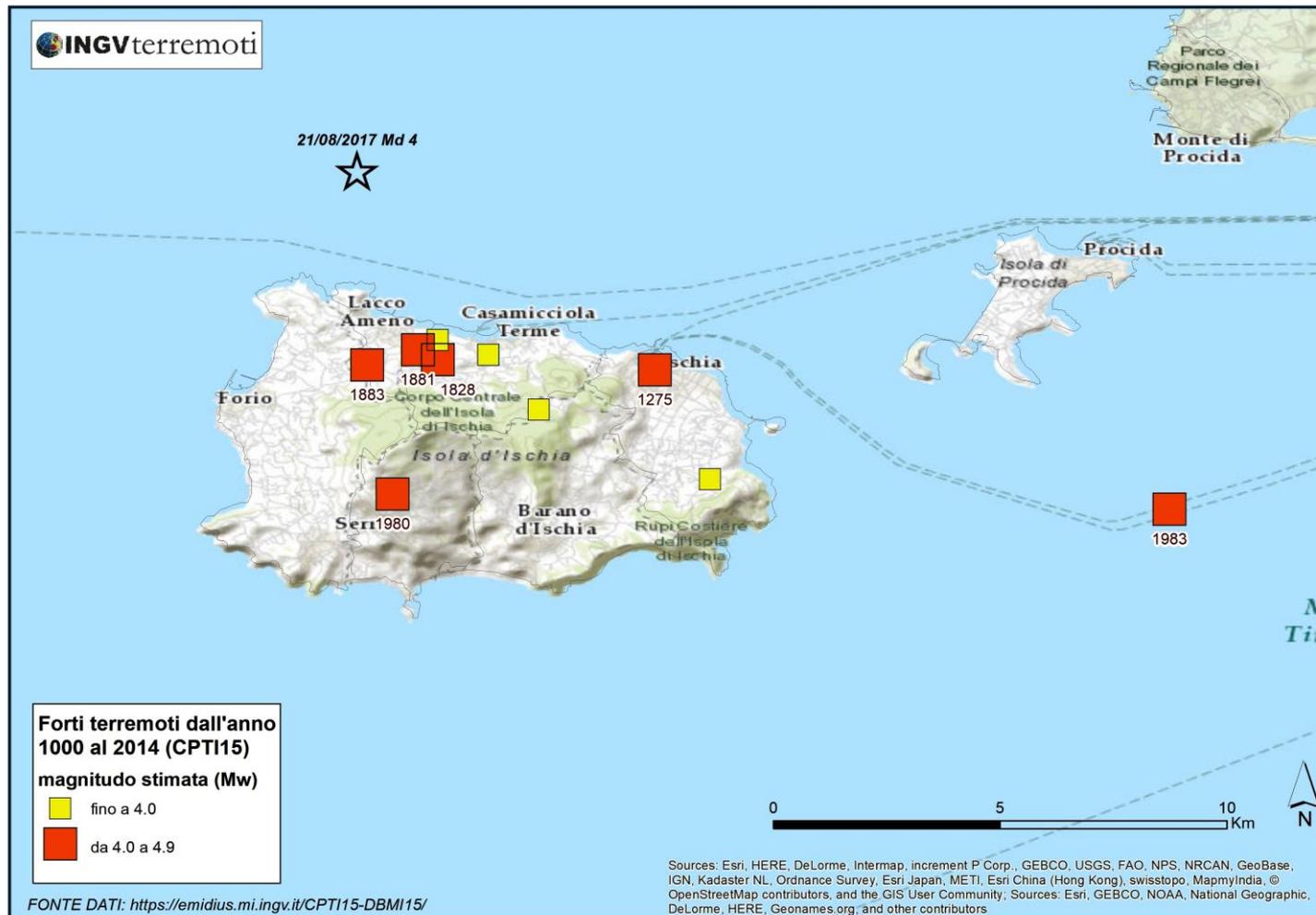
INGV

ML 3.6 ± 0.2 e
MD 4.0 ± 0.3
Depth 1.7km.



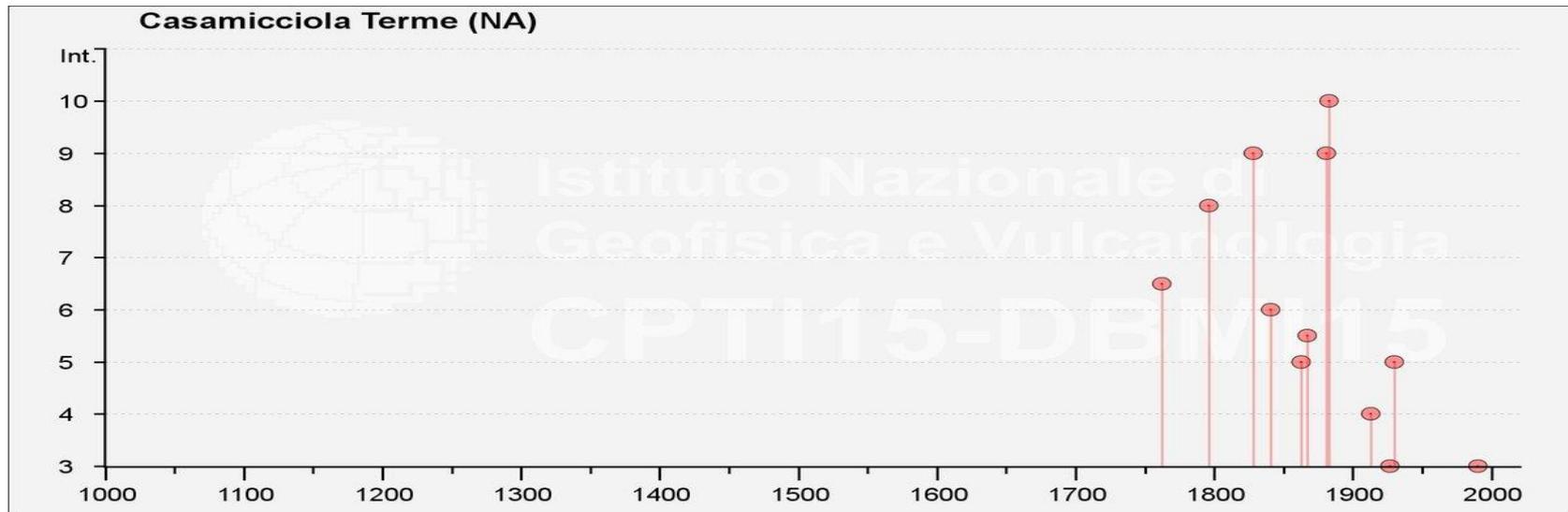
2 fatalities
100+ injured
1000 displaced

Ischia ha una lunga storia di terremoti dannosi (1/2)



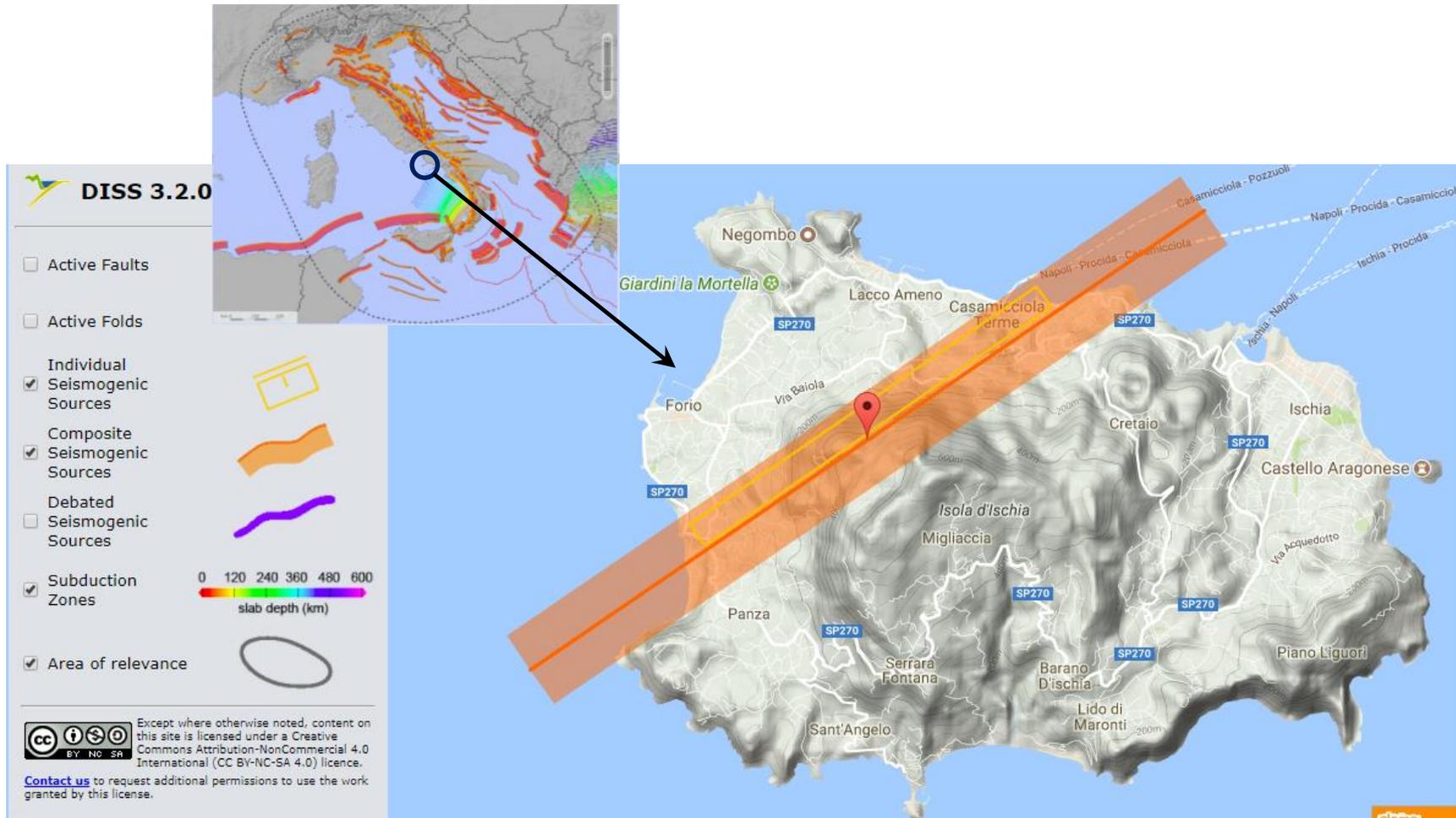
Year	M_w
1275	4.01
1557	3.5
1762	3.5
1767	3.5
1796	3.88
1828	4.01
1841	3.25
1863	2.87
1867	2.99
1881	4.14
1883	4.26
1980	4.37

Ischia ha una lunga storia di terremoti dannosi (1/2)

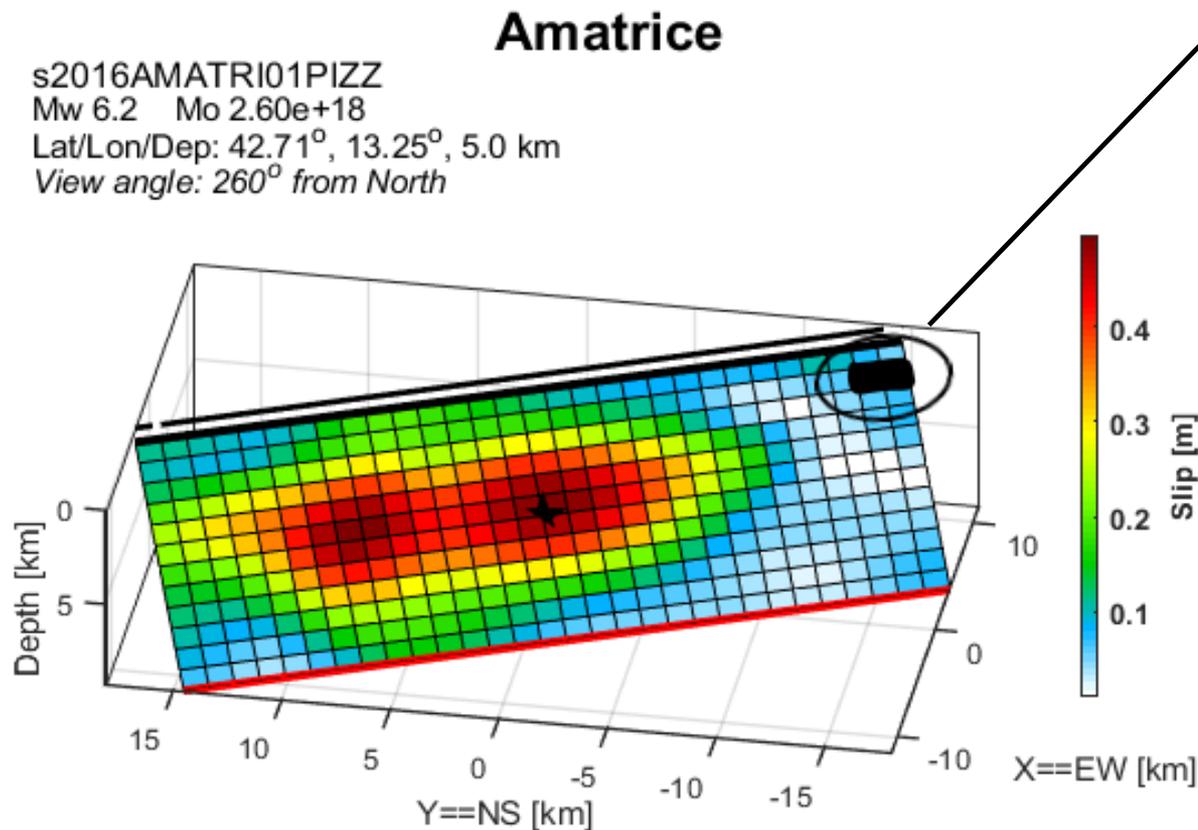


Year	MM	DD	Epicentral Area	Reference	Lat	Lon	I_{max}	M_w	$\pm ErrM_w$
1275	11	02	Island of Ischia	CFTI4med	40.743	13.942	8-9	4.01	0.5
1557			Island of Ischia	MOLAL008	40.721	13.953	D	3.5	0.5
1762	07	23	Island of Ischia	AMGNdT995	40.746	13.909	6-7	3.5	0.5
1767			Island of Ischia	AMGNdT995	40.735	13.919	D	3.5	0.5
1796	03	18	Island of Ischia	CFTI4med	40.746	13.909	8	3.88	0.5
1828	02	02	Island of Ischia	CFTI4med	40.745	13.899	9	4.01	0.5
1841	03	06	Island of Ischia	MOLAL008	40.749	13.899	6	3.25	0.5
1863	01	30	Island of Ischia	MOLAL008	40.746	13.909	5	2.87	0.5
1867	08	15	Island of Ischia	MOLAL008	40.746	13.909	5-6	2.99	0.5
1881	03	04	Island of Ischia	CFTI4med	40.747	13.895	9	4.14	0.5
1883	07	28	Island of Ischia	CFTI4med	40.744	13.885	10	4.26	0.5
1980	04	23	Island of Ischia	MOLAL008	40.718	13.89	5	4.37	0.2

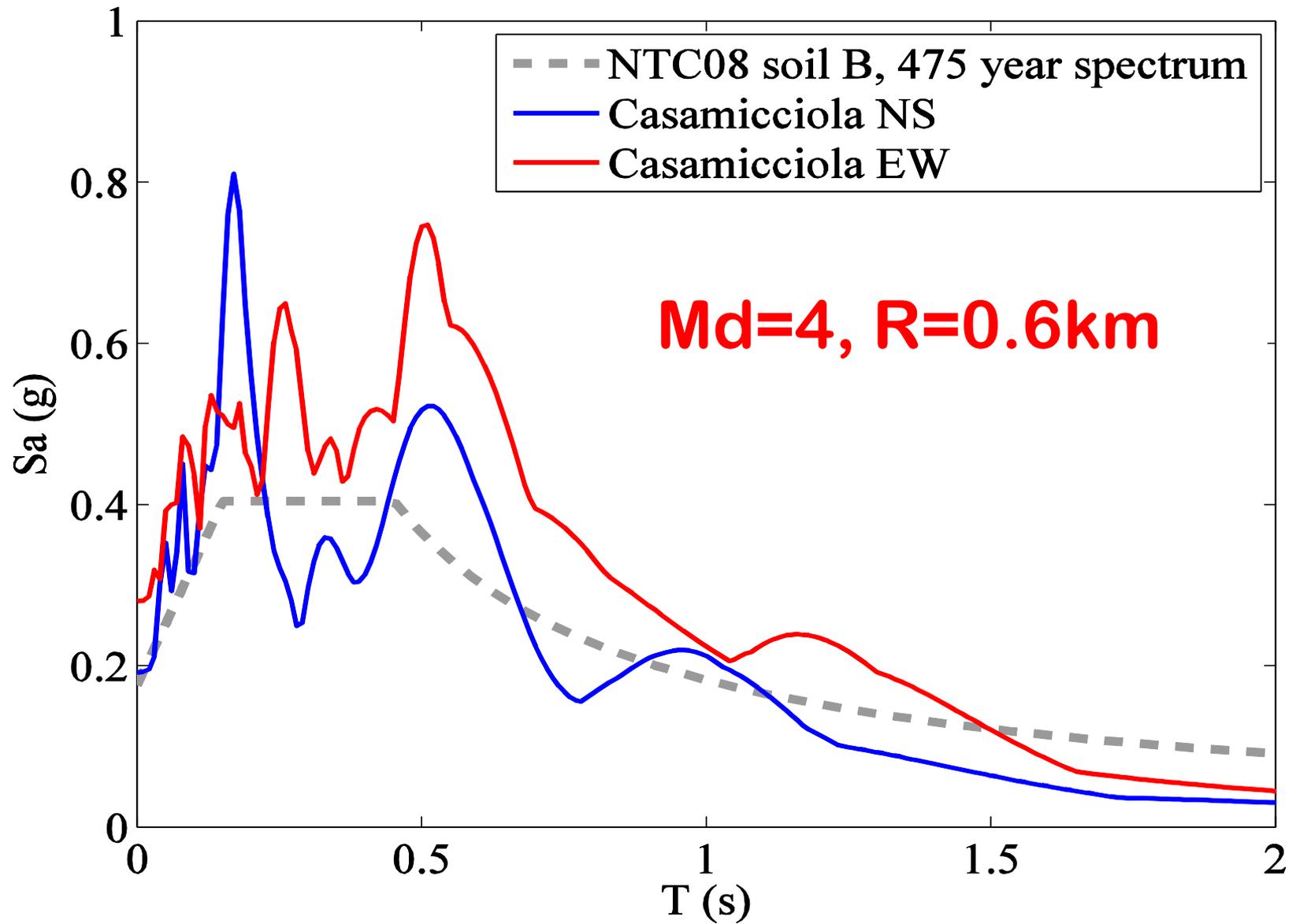
Ischia nel database italiano delle sorgenti sismiche (DISS)



Dimensioni della faglia comparate a quelle del terremoto di amatrice

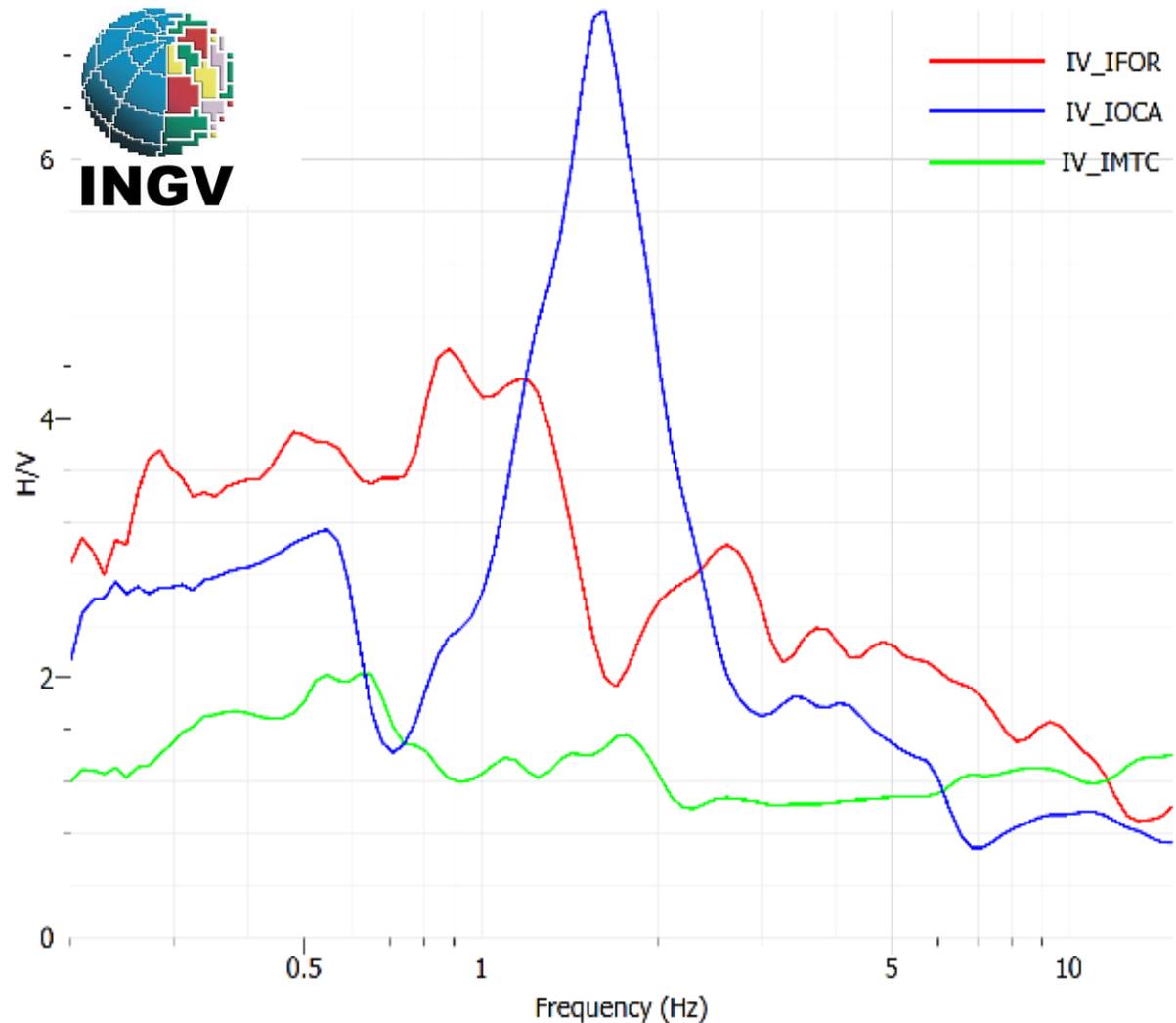


Area attesa del terremoto di Ischia (2.6km²), sovrapposta a un modello di faglia del terremoto di Amatrice del 24/08/2016 (432km²).

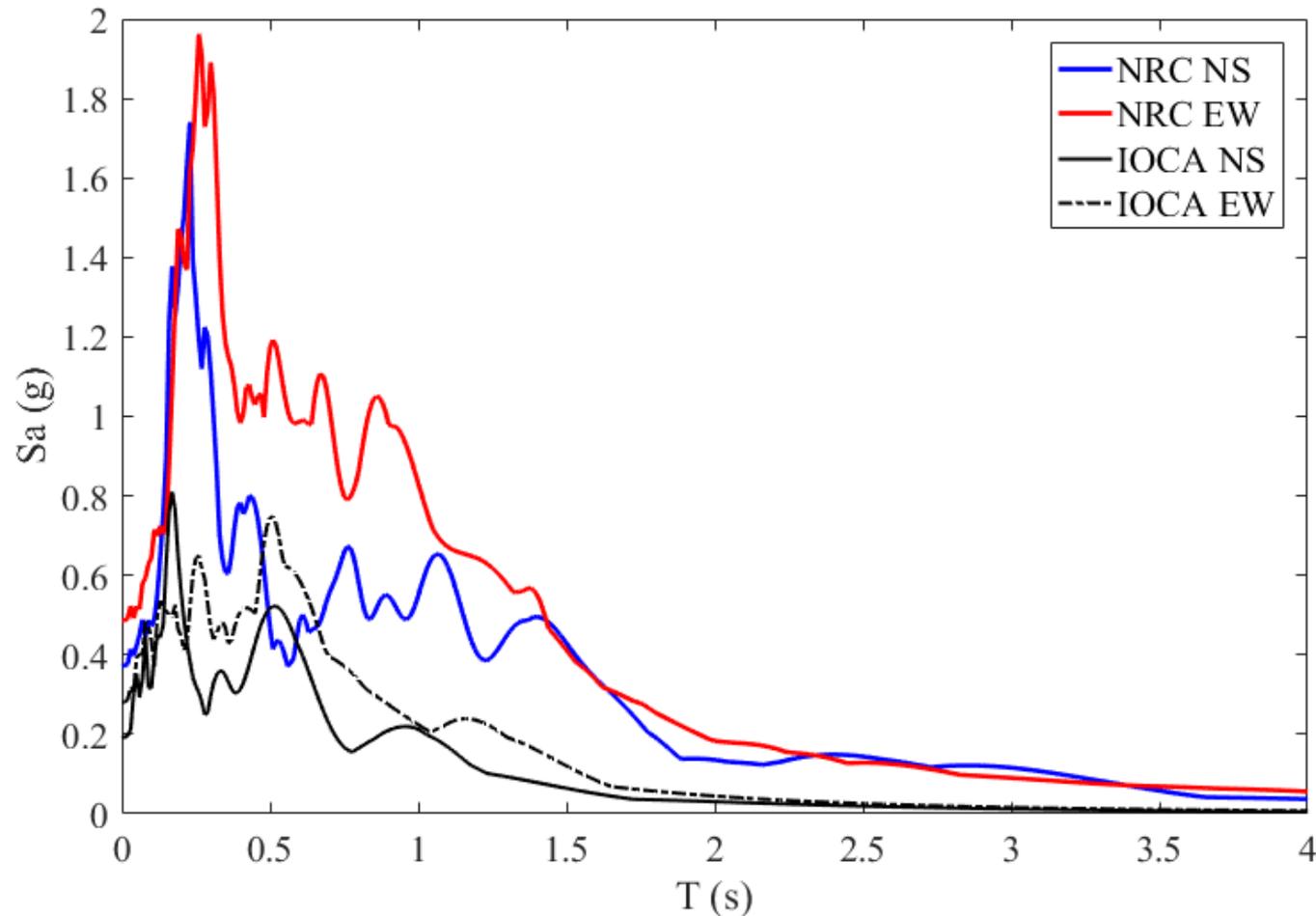


Risposta sismica locale a Casamicciola

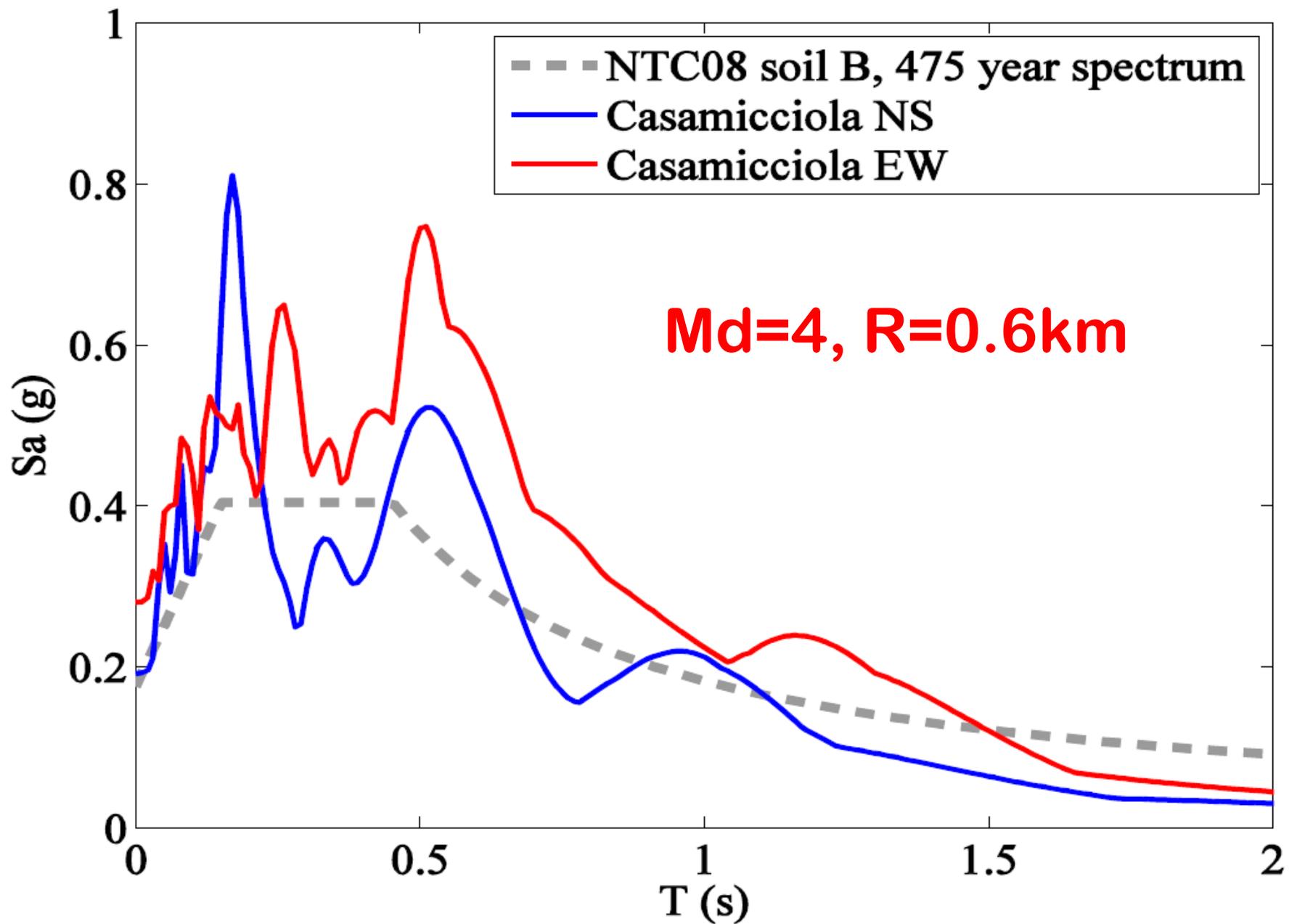
Ratio between
the Fourier
spectra of the
horizontal and
vertical
components of
microtremors



Confronto con spettri di terremoti di magnitudo maggiore, ma sempre registrati vicino la sorgente



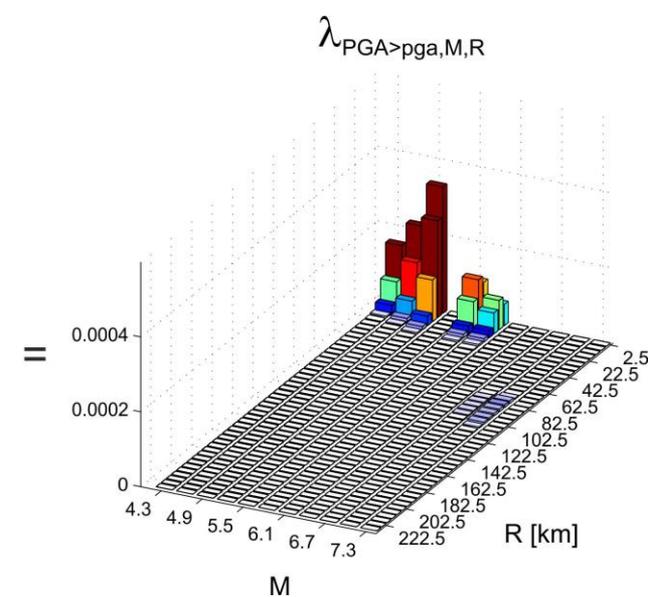
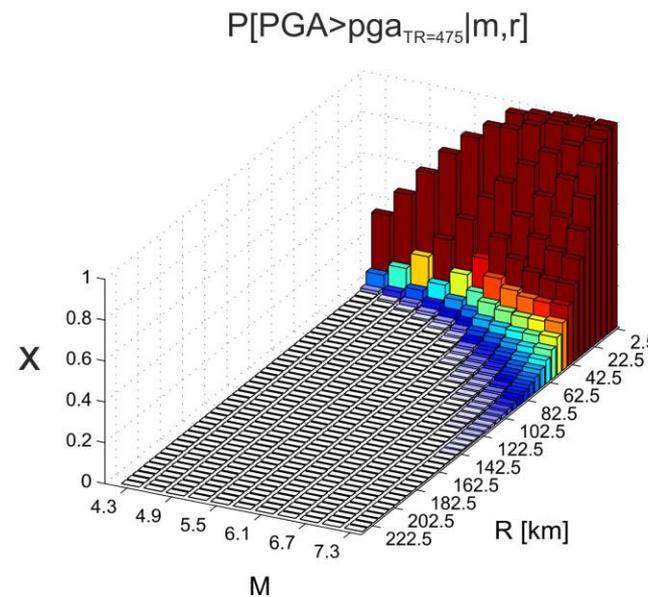
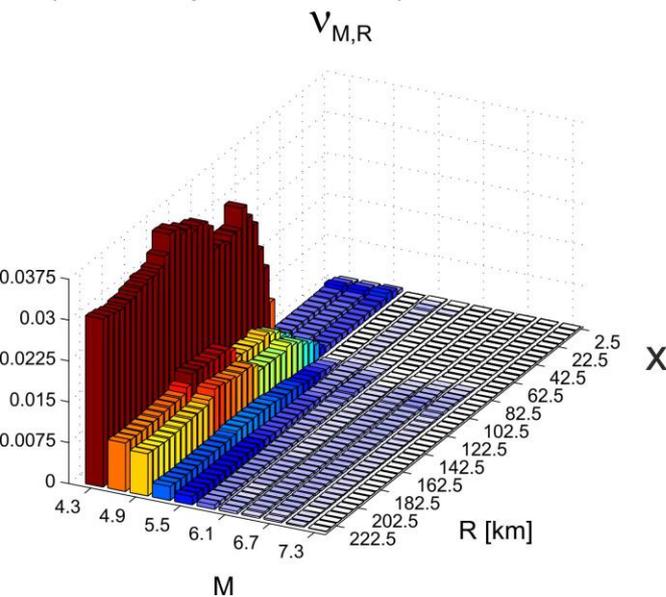
Casamicciola M4.0
(21/08/2017)
vs
Norcia M6.5
(30/10/2016)



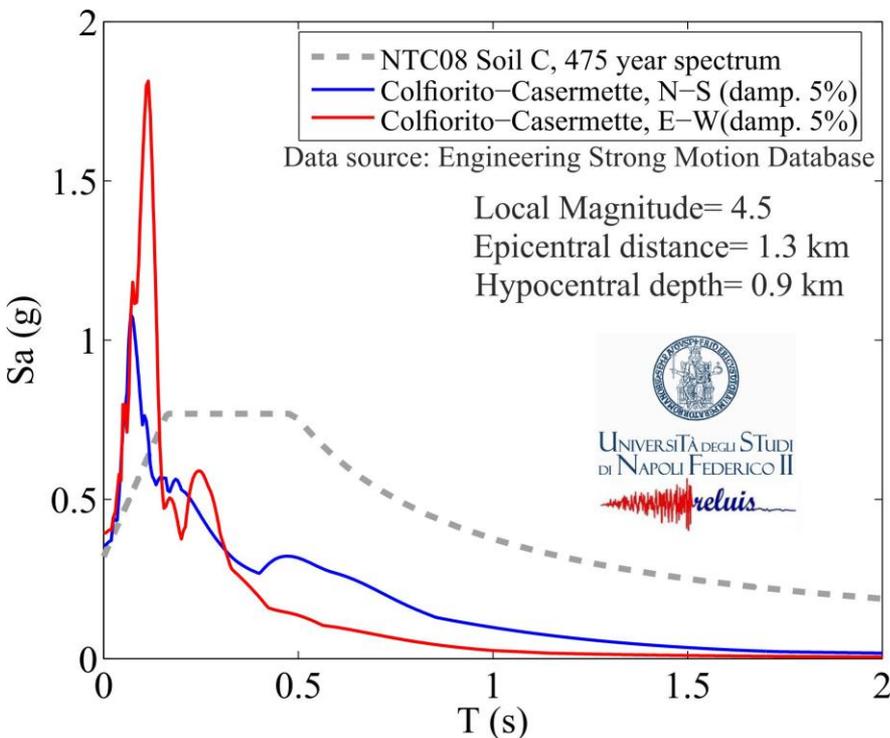
PGA con 10% probabilità di superamento in 50 anni ($T_r = 475$ anni)

$$\lambda_{S_a(T) > s_a} = \sum_{R_{min}}^{R_{max}} \sum_{M_{min}}^{M_{max}} \lambda_{S_a(T) > s_a, M=m, R=r}$$

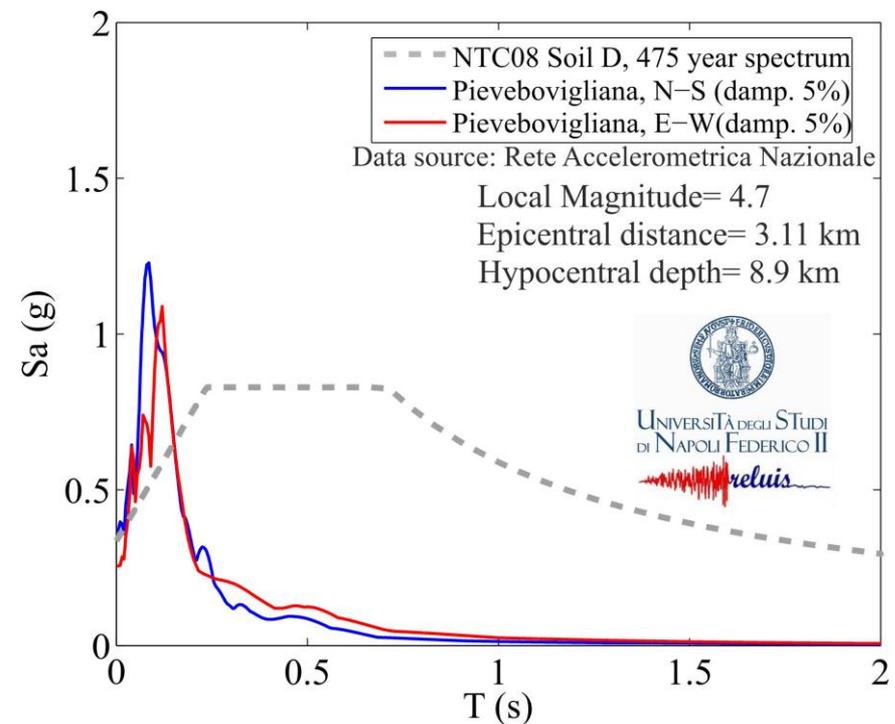
(Ambraseys et al., 1996)



There is a history of low-magnitude high-accelerations earthquakes in Italy



Colfiorito Casermette station M4.5 0.4g and 0.7g vertical PGAs respectively.



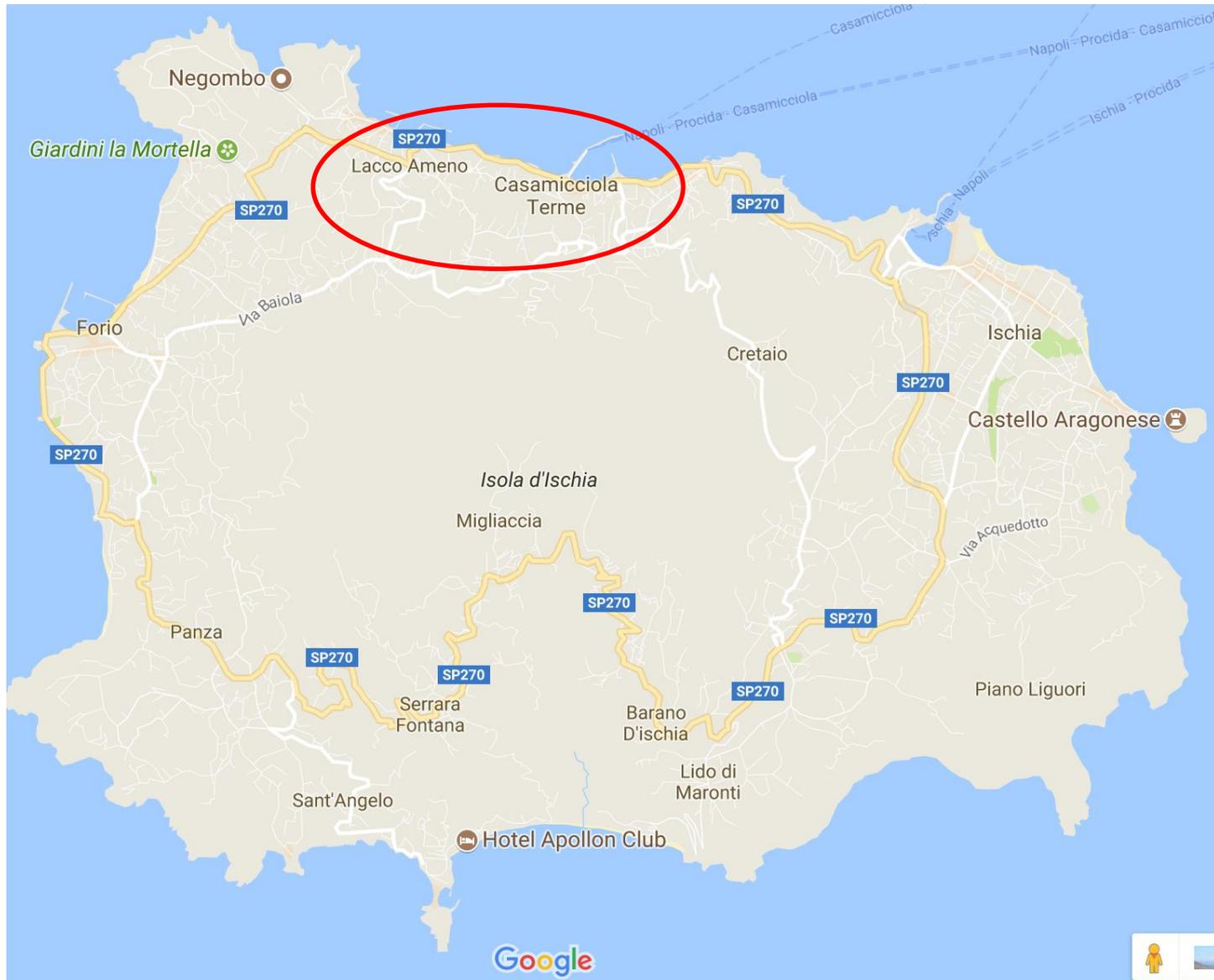
Pievebovigliana station M4.7 on April 10 2018.

Measured macroseismic intensity

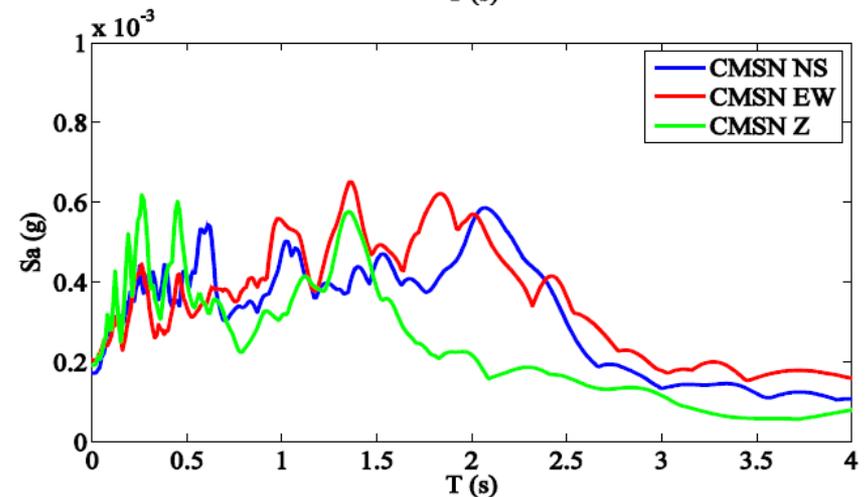
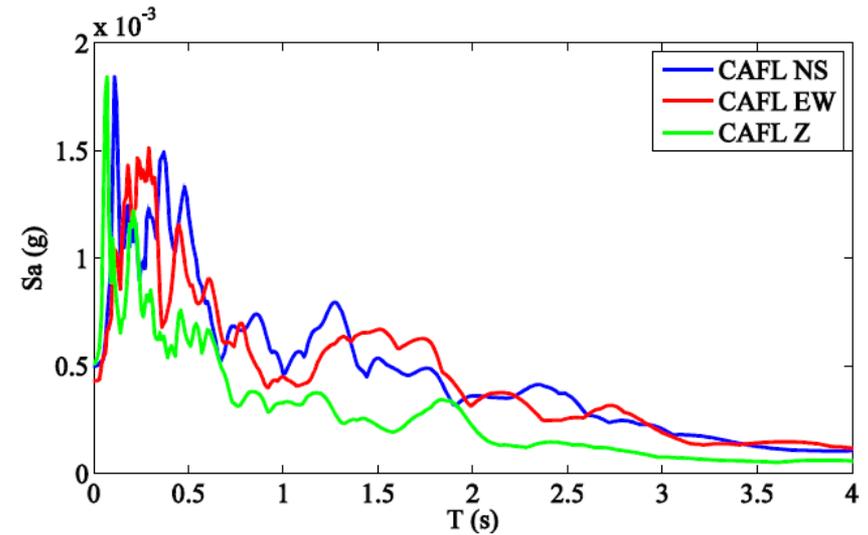
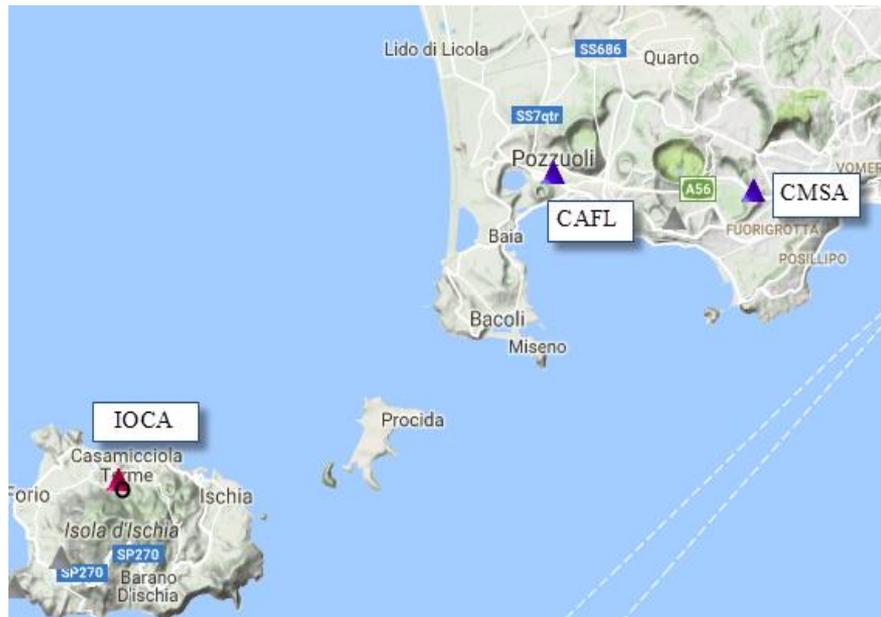


<i>Località</i>	<i>Intensità EMS</i>	
Casamicciola T. (zona rossa)	VIII	1. Not felt
Fango (Lacco Ameno)	VII	2. Scarcely felt
Marina di Casamicciola	VI	3. Weak
Fontana	V-VI	4. Largely observed
Ciglio	V	5. Strong
Lacco Ameno	V	6. Slightly damaging
Serrara	V	7. Damaging
Forio	IV-V	8. Heavily damaging
Perrone	IV-V	9. Destructive
Barano	IV-V	10. Very destructive
Ischia Porto	IV	11. Devastating
		12. Completely devastating

R. Azzaro, S. Del Mese, G. Martini, S. Paolini, A. Screpanti, V. Verrubbi A. Tertulliani (2017), QUEST- Rilievo macrosismico per il terremoto dell'isola di Ischia del 21 agosto 2017, Rapporto interno, doi:10.5281/zenodo.849091.



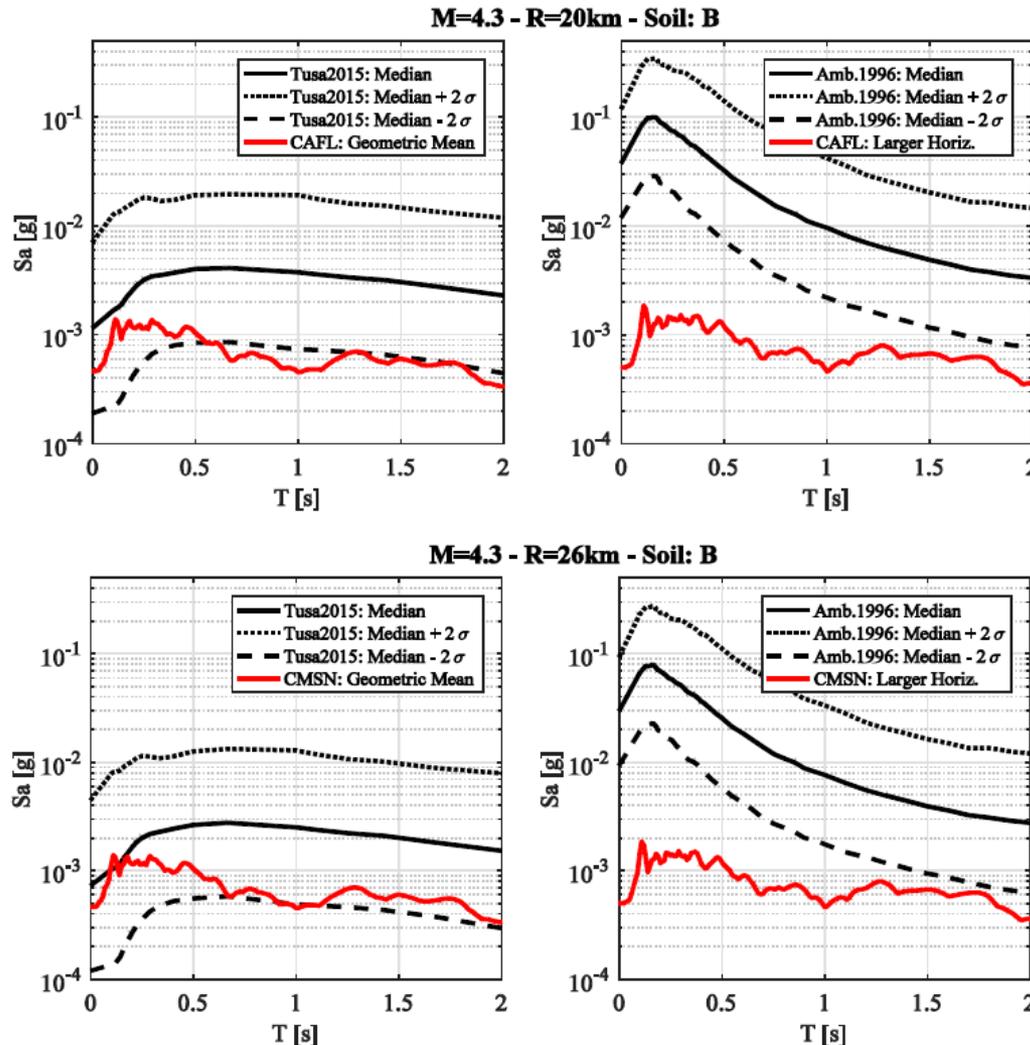
Strong attenuation on the coast



Comparison with GMPEs

Tusa (Volcanic)

Ambraseys (crustal)



CAFL

CMSN

Conclusioni

1. Gli spettri elastici di progetto sono difficilmente superati da terremoti lontani e da quelli più frequenti che si verificano nei pressi del sito di interesse. D'altro canto gli eventi più rari a verificarsi nelle vicinanze possono avere probabilità di superamento, condizionata all'occorrenza, che si avvicina ad uno.
2. I terremoti *forti*, per cui è da attendersi il superamento degli spettri di progetto con probabilità maggiore del 50%, possono essere di magnitudo anche circa 6 nelle zone a massima pericolosità e anche meno altrove.
3. Il terremoto di Ischia si può certamente definire forte in area epicentrale e non rappresenta una particolare anomalia rispetto ai modelli che si usano per il calcolo di pericolosità, in questo senso la magnitudo ritenuta moderata non ha alcun valore dal punto di vista dell'ingegneria sismica.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI NAPOLI FEDERICO II

Da L'Aquila a Casamicciola: quand'è che un terremoto si può definire forte dal punto di vista strutturale?

Iunio Iervolino, prof. di dinamica delle costruzioni e ingegneria sismica.