



# Aspetti Tecnico-Operativi degli studi di MS3

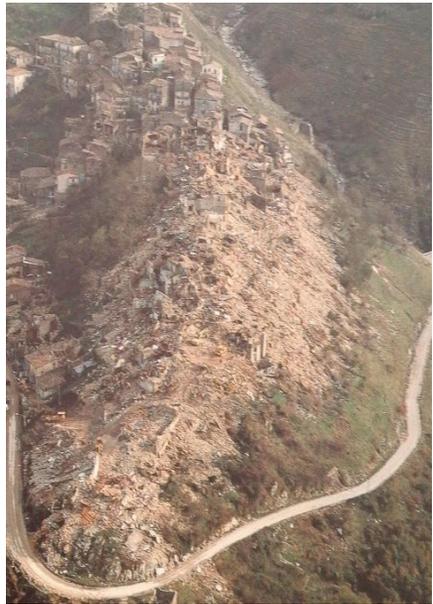
**Ing. Iolanda Gaudiosi, CNR IGAG**

*Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria*

# The local geology definitely matters.

La struttura del sottosuolo è spesso importante tanto quanto magnitudo e frequenza di un evento sismico.  
I terreni possono effettivamente amplificare le onde sismiche, portando a un incremento del danneggiamento.

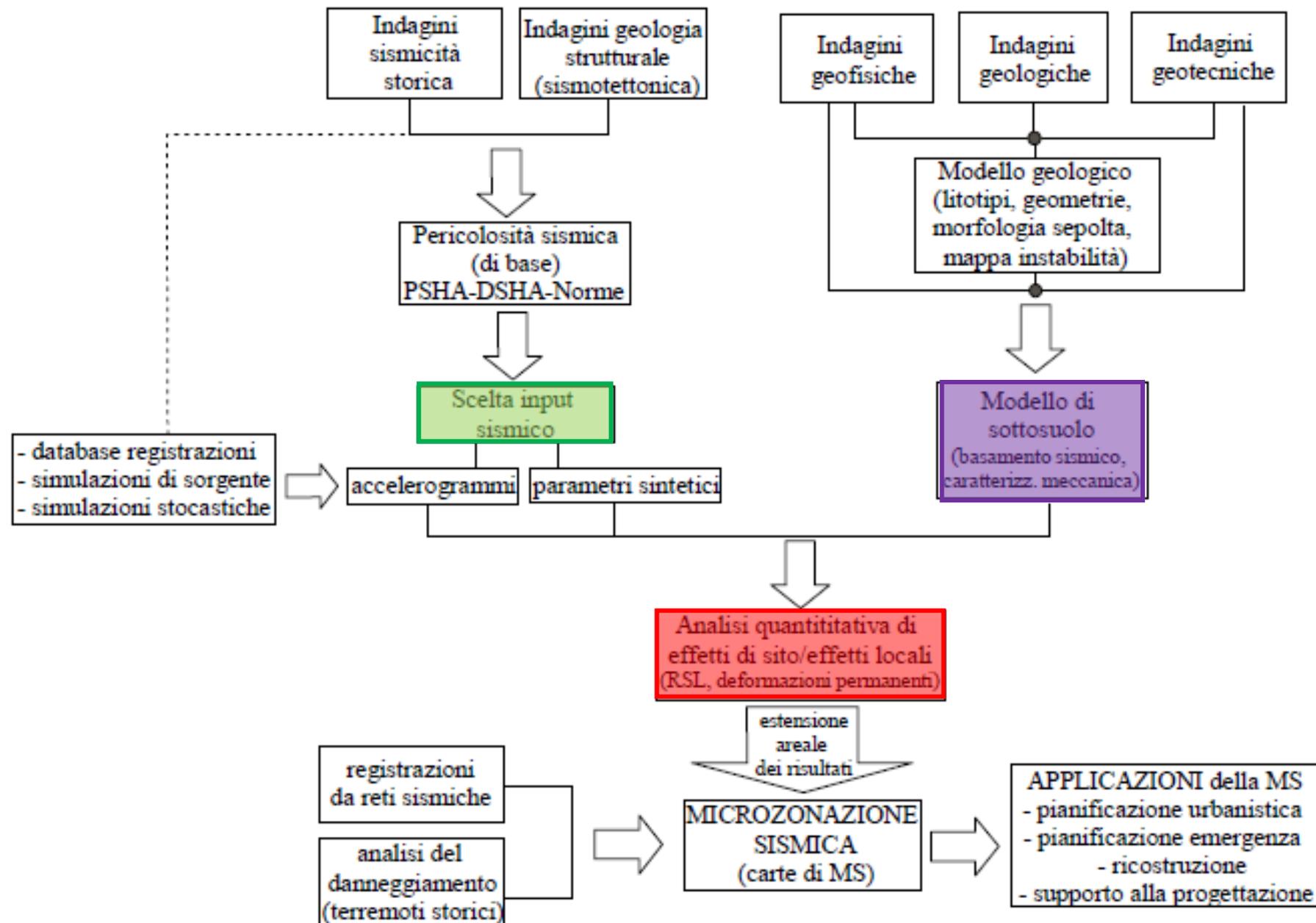
*Irpinia, 1980*



*Amatrice, sequenza sismica 2016-2017 – Italia Centrale*

# Outline

- ❑ Scelta dell'**input sismico**
- ❑ Scelta dei **parametri meccanici e dinamici** del modello di sottosuolo e **calibrazione** del modello di sottosuolo
- ❑ Calcolo delle terne di **fattori di amplificazione** per ogni microzona di Livello 3;
- ❑ Gestione delle **incertezze**;
- ❑ **Prospettive future.**



# Scelta dell'input sismico

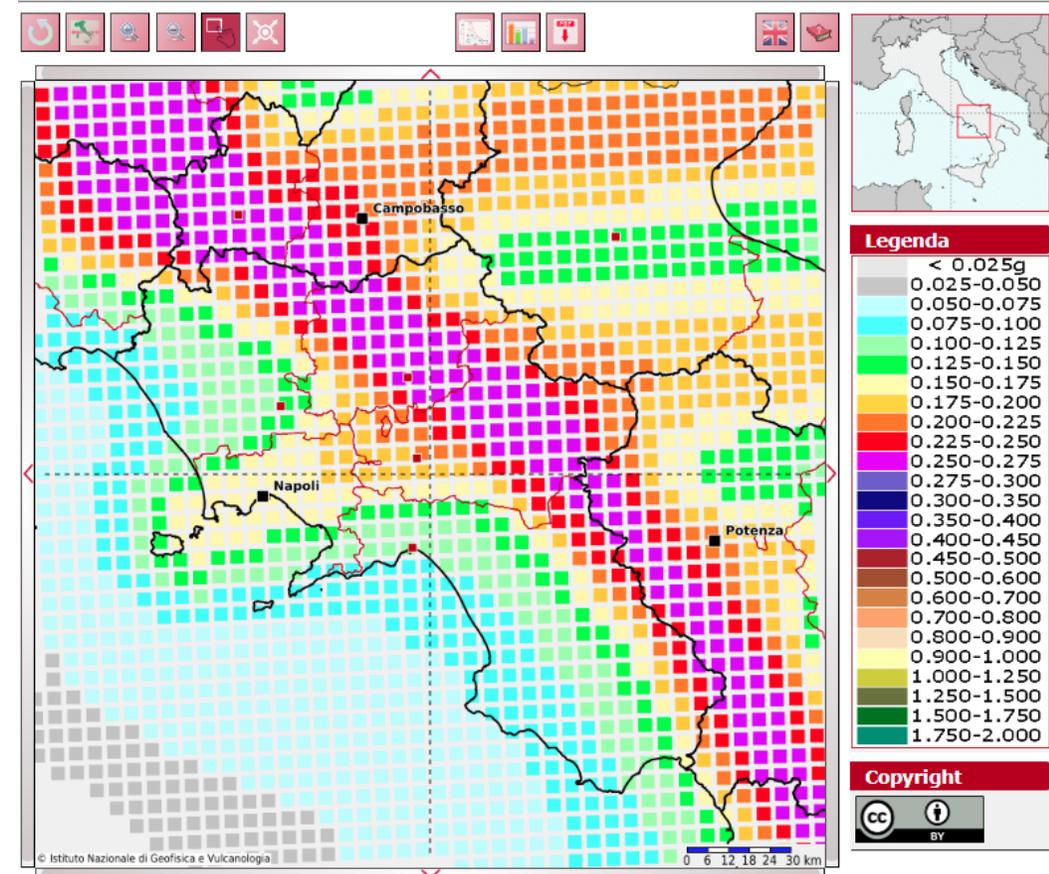
La risposta dei terreni a una sollecitazione ciclica è **non lineare**, la rigidezza e la capacità di dissipare energia dipendono dall'ampiezza del livello deformativo. Perciò, durante il sisma, il terreno modifica le proprie proprietà meccaniche adattandole all'ampiezza delle vibrazioni che riceve. **Se l'azione sismica è poco realistica, la rigidezza e lo smorzamento operativi prodotti dalla non-linearità del comportamento del terreno sono molto distanti dal vero, e la conseguente risposta sismica risulta falsata.**

Ai fini ingegneristici e di Microzonazione sismica, l'azione sismica transitoria è in primo luogo rappresentata dall'**accelerazione massima di riferimento** (indicata con  $a_g$  nelle NTC), e da uno **spettro di risposta di riferimento in accelerazione** ( $S_a(T)$ , di cui  $a_g$  rappresenta l'ordinata per  $T=0$ ), definiti su un affioramento rigido orizzontale del substrato (il c.d. bedrock di riferimento).

I valori di  $a_g$  e degli spettri di risposta di riferimento sono codificati dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC18). Le NTC, a loro volta, sono basate sulla mappa di pericolosità sismica a scala nazionale (OPCM 3519 del 28/04/2006; Montaldo et al 2007).

*Da: valori di  $a_g$  per la regione Campania,  
fonte del dato: <https://esse1-gis.mi.ingv.it/>*

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

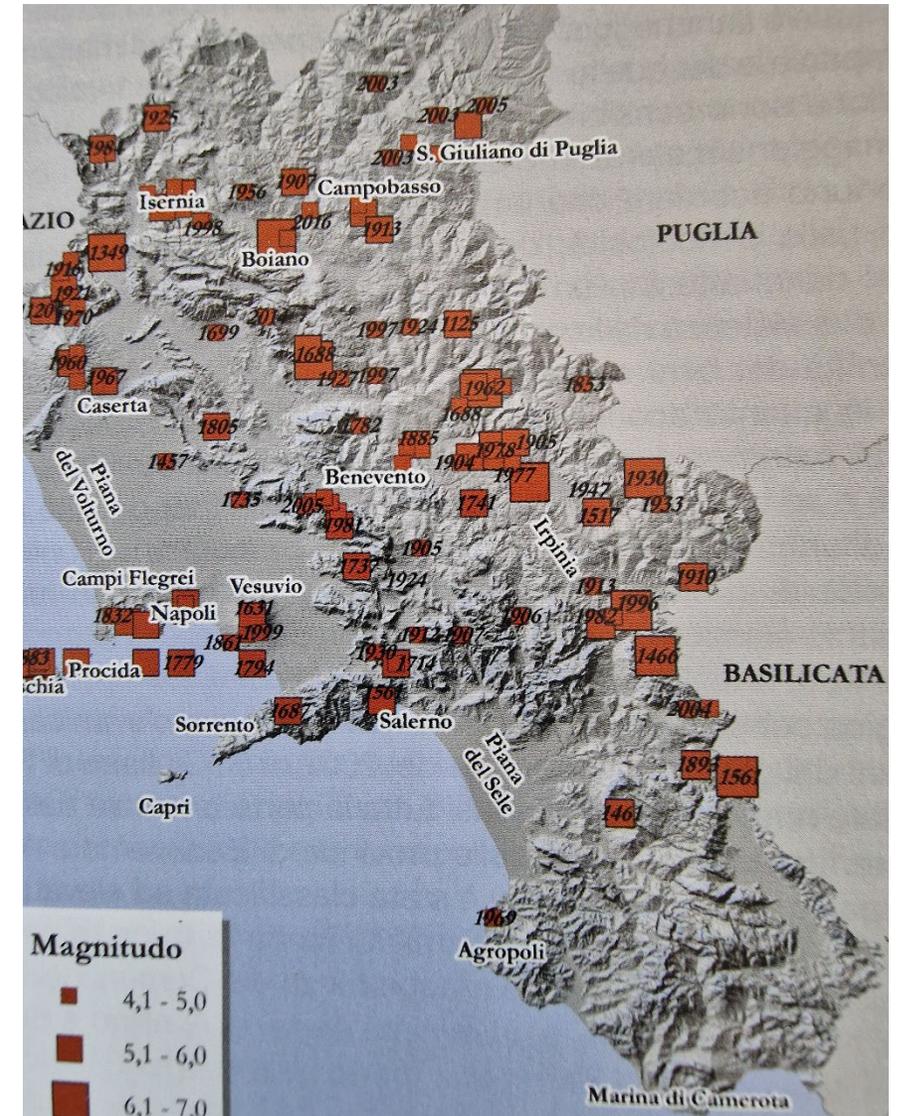


# Scelta dell'input sismico: contesto sismotettonico regionale

- ❑ La deformazione attiva e quindi la pericolosità sismica non è uniforme, ma si differenzia per intensità lungo fasce longitudinali che possiamo distinguere, da O verso E, come **Margine tirrenico, Catena appenninica e Area molisana centro-orientale**.
- ❑ Le grandi pianure costiere non subiscono gli effetti di grandi terremoti generati da sorgenti locali, ma risentono di quelli originatisi nella Catena appenninica.
- ❑ La Catena appenninica è invece soggetta a distensione (4mm/a).
- ❑ Ad Est della catena, si ha un insieme di movimenti orizzontali lungo faglie trascorrenti, generalmente orientate E-O, che coincidono con sistemi di taglio nella Piattaforma apula scorsa sotto la Catena appenninica.

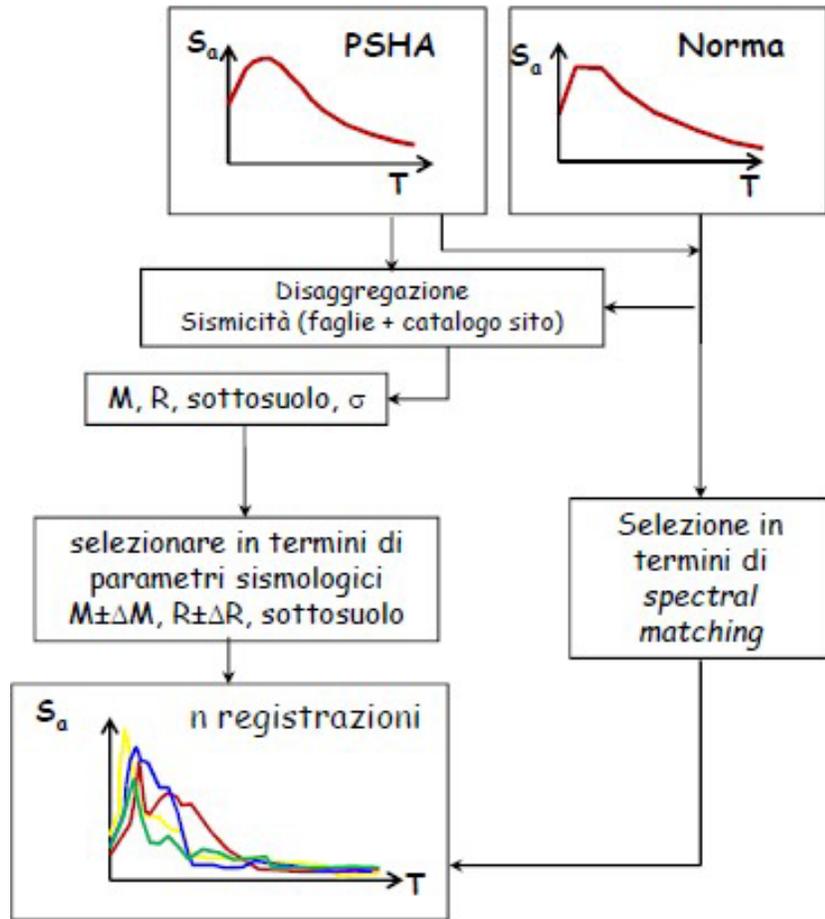
*Distribuzione dei principali eventi sismici in Campania e Molise tra il 1100 d.C. e il 2016.*

*Da Calcaterra et al., 2016. Guide Geologiche Regionali: 13 itinerari. Campania e Molise*



# Scelta dell'input sismico

Gli ICMS prescrivono che il moto di riferimento sia definito in termini di **accelerogrammi** rappresentativi del potenziale moto di un ipotetico affioramento rigido suborizzontale.



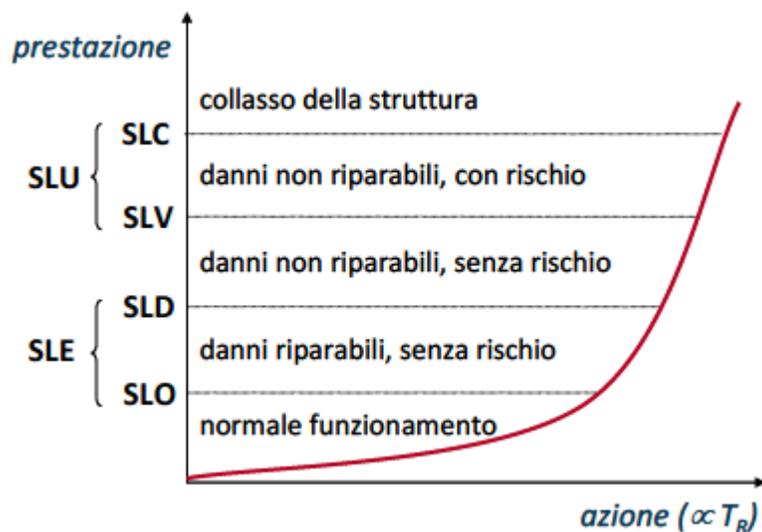
(modificata da Bommer & Acevedo, 2004)

- ❑ **Definizione dello spettro target** (PSHA-Norma);
- ❑ **Preselezione** degli accelerogrammi in banche dati nazionali/internazionali sulla base di **parametri sismologici** (M, R, stile tettonico) definiti sulla base di inquadramento sismotettonico e sismicità storica (ovvero da disaggregazione);
- ❑ **Selezione** di un insieme di 7 segnali (anche scalati) e verifica di spettrocompatibilità (spettro medio).
- ❑ **Eventuale aggiornamento della selezione** (sostituzione di alcuni segnali, rispetto altri vincoli)

# Scelta dell'input sismico: spettro target

Il fine ultimo della progettazione delle strutture è quello di garantire che l'opera assolva alla funzione per cui è stata concepita mantenendo un prefissato *livello di sicurezza*.

Nella pratica ingegneristica si parla quindi di approccio «affidabilistico», ovvero di progettazione prestazionale (*Performance Based Design*, PBD).



Da: Silvestri e d'Onofrio, 2014

Gli Stati limite di esercizio (SLE) comprendono:

**Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

**Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli Stati limite ultimi (SLU) comprendono:

**Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

**Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi delle componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

# Scelta dell'input sismico: spettro target

La norma introduce il concetto di tempo di ritorno dell'evento sismico,  $T_R$ :

$$T_R = \frac{1}{\lambda_{IM}} = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

dove:

$\lambda_{IM}$  la frequenza annua media di superamento

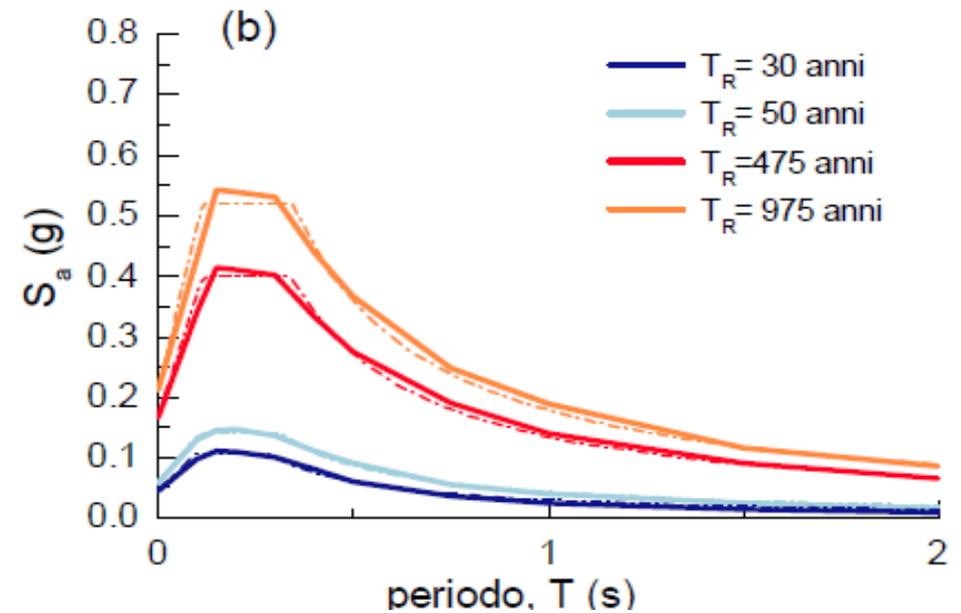
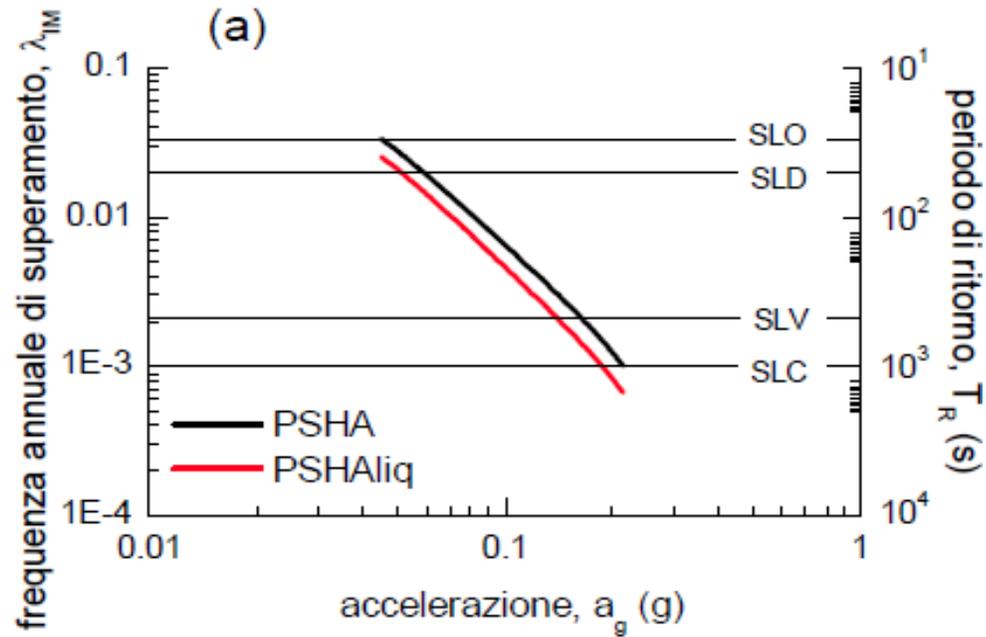
$P_{VR}$  è la probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $V_R$

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento,  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stato limite considerati, sono le seguenti:

**Tab. 3.2.I** – Probabilità di superamento  $P_{VR}$  in funzione dello stato limite considerato

Stati Limite	$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

# Scelta dell'input sismico: spettro target



Curva di pericolosità di  $a_g$  (a) e spettri di risposta (b) deducibili dalla MPS per la città di Napoli. Da: Silvestri e d'Onofrio, 2014

# Scelta dell'input sismico: spettro target

Tabella IV - Parametri di stato limite per casi rappresentativi di edifici e infrastrutture

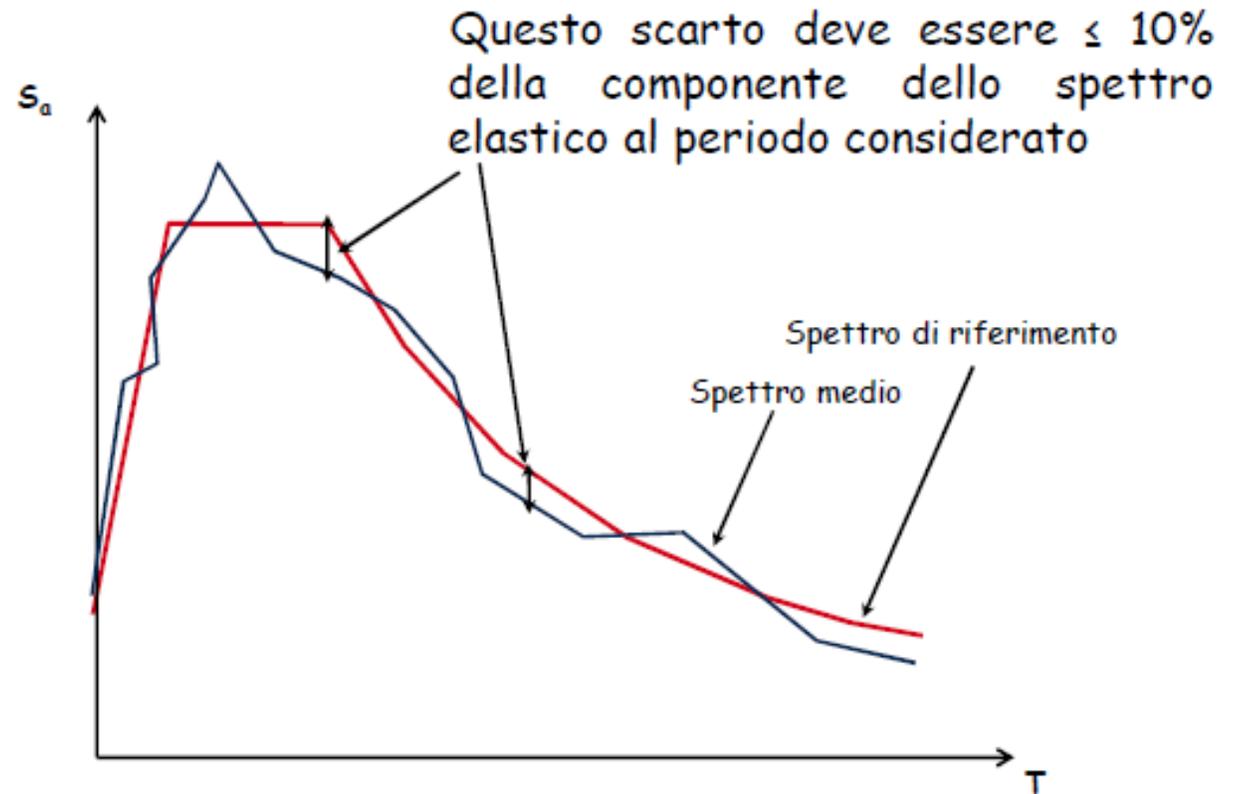
Costruzione	Coefficiente d'uso $C_U$	Vita nominale $V_N$ (anni)	Periodo di riferimento $V_R = C_U V_N$ (anni)	SLO	SLD	SLV	SLC
				Probabilità di eccedenza $P_{VR}$ (%)			
				81	63	10	5
Periodo di ritorno, $T_R$ (anni)							
Edificio o infrastruttura d'importanza strategica	2.0	100	200	120	200	1900	2475
Edificio ordinario ad uso normale Diga esistente d'importanza normale	1.0	50	50	30	50	475	975
Costruzione provvisoria o ad uso occasionale	0.7	50	35	30	35	332	682

*Da: Silvestri e d'Onofrio, 2014*

# Scelta dell'input sismico

L'ordinata spettrale media non deve presentare uno **scarto in difetto superiore al 10%**, rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico, in alcun punto tra gli intervalli  $0,15s \div 2,0s$  e  $0,15s \div 2T$ , in cui  $T$  è il periodo fondamentale di vibrazione della struttura in campo elastico, per le verifiche agli stati limite ultimi, e  $0,15 s \div 1,5 T$ , per le verifiche agli stati limite di esercizio.

Le NTC18 non impongono alcun limite per lo scarto in eccesso dello spettro di risposta medio rispetto allo spettro di risposta di riferimento.



*Cortesia di A. Pagliaroli*

# Scelta dell'input sismico

Lo studio di sistemi strutturali o geotecnici mediante analisi dinamiche richiede che l'azione sismica sia rappresentata mediante accelerogrammi:

- **sintetici**: generati mediante simulazione numerica del processo di rottura e di propagazione;
- **artificiali**: generati mediante algoritmi stocastici (simulazioni non stazionarie);
- **naturali (reali)**: registrazioni accelerometriche di eventi sismici

Le NTC18 al § 3.2.3.6 recitano:

“L'uso di **accelerogrammi artificiali** NON È AMMESSO nelle analisi dinamiche di opere e sistemi geotecnici.

L'uso di accelerogrammi generati mediante **simulazione del meccanismo di sorgente e della propagazione** è ammesso a condizione che siano adeguatamente giustificate le ipotesi relative alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente e del mezzo di propagazione.

L'uso di **accelerogrammi registrati** è ammesso, a condizione che la loro scelta sia rappresentativa della sismicità del sito e sia adeguatamente giustificata in base alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente, alle condizioni del sito di registrazione, alla magnitudo, alla distanza dalla sorgente e alla massima accelerazione orizzontale attesa al sito.

Gli accelerogrammi registrati devono essere selezionati e scalati in modo da approssimare gli spettri di risposta nel campo di periodi di interesse per il problema in esame.”

# Scelta dell'input sismico: RexelWeb

Per la selezione degli accelerogrammi da utilizzare come input viene utilizzato il **codice REXELWeb** (Iervolino et al, 2011; Sgobba et al., 2021), sviluppato come collaborazione tra INGV, Politecnico di Milano e RELUIS, e disponibile al sito della banca dati accelerometrica Europea e Italiana (rispettivamente <http://esm.mi.ingv.it> e [https://itaca.mi.ingv.it/ItacaNet\\_40/#/rexel](https://itaca.mi.ingv.it/ItacaNet_40/#/rexel)).

Lo spettro elastico di accelerazione di riferimento al sito in REXELweb viene costruito a partire dalle indicazioni di NTC18, specificando le coordinate geografiche del sito, la categoria di sottosuolo (A, B, C, D o E), la categoria topografica (T1, T2, T3, T4), la “Vita Nominale” dell’opera strutturale, la “Classe d’Uso” e lo “Stato Limite” di interesse.

REXELweb Ok - pronto per il caricamento step#1

Manuale Utente

The screenshot displays the REXELweb interface during the 'Selezione preliminare' (Preliminary Selection) step. The interface is organized into two main panels.

**Left Panel: Input Form**

- Target:** NTC18 - Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 2018)
- Tipo di spettro:** Alto livello di pericolosità
- Latitudine [°]:** 40.85786
- Longitudine [°]:** 14.282045
- Accelerazione al suolo ag [g]:** 0.16
- Categoria Sito:** A
- Topografia:** T1
- Vita nominale:** 50 anni - Costruzioni con livelli di prestazio...
- Importanza della struttura:** II
- Stato limite:** SLV (10)
- Probabilità di Superamento:** 0.5 = 50% in 50 anni, periodo di ritorno 73
- Livello di Aggregazione:** media

**Right Panel: Map**

The map shows a street grid with a blue location pin and a yellow highlighted area. The map includes labels for streets such as Via Zara, Via Taddeo Da Sessa, and Via Donatello. A 'Sommaro' (Summary) tab is visible at the top of the map panel.

# Scelta dell'input sismico: RexelWeb

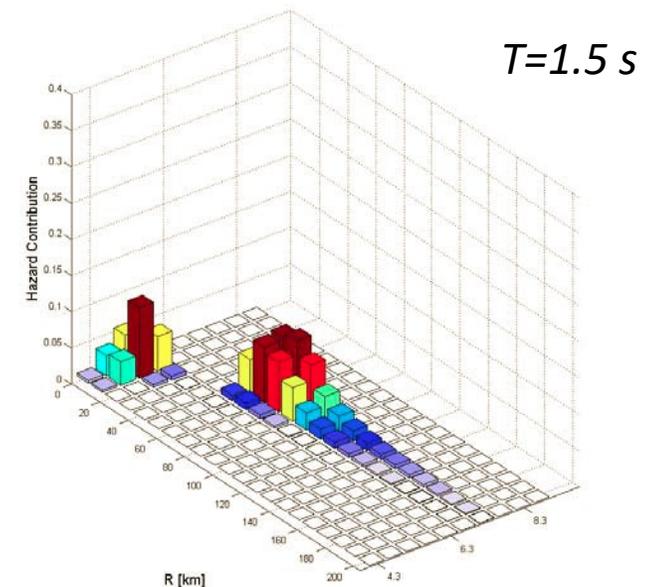
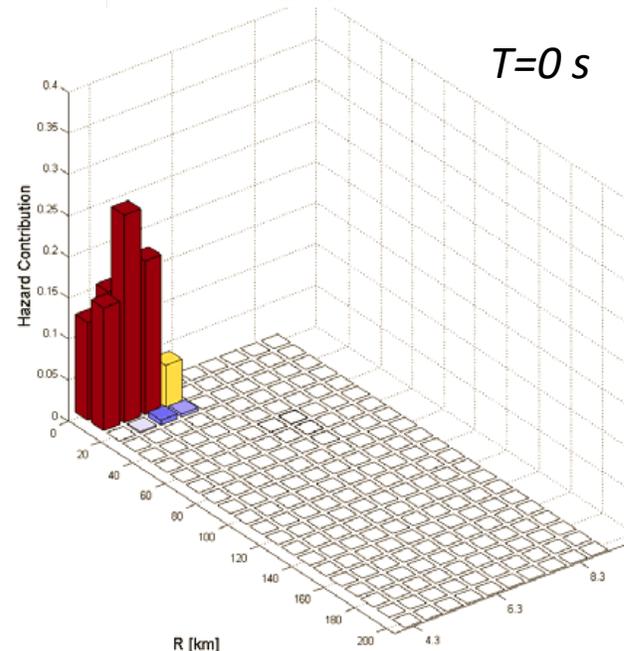
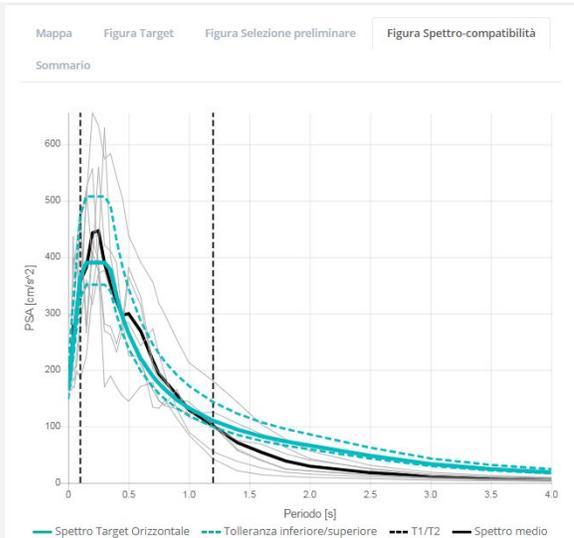
Gli accelerogrammi naturali vengono selezionati dalla banca dati, specificando:

- i) un intervallo di magnitudo e distanza sorgente-sito;
- ii) il tipo di meccanismo focale dell'evento;
- iii) la categoria di sottosuolo della postazione di registrazione.

La disaggregazione della mappa di pericolosità sismica (disponibile al sito <http://esse1.mi.ingv.it>) rappresenta il riferimento per l'individuazione dello scenario, in termini di magnitudo e distanza, che maggiormente contribuisce alla pericolosità del sito in esame.

The screenshot shows the 'Selezione preliminare' (Preliminary Selection) tab of the RexelWeb interface. It includes several input fields and checkboxes for defining search criteria:

- Componente:** 1 componente orizzontale
- Limite:** 500
- Classe di sito desunta:**  (checked)
- Eventi late-trigger:**  (unchecked)
- Tipo:** Classe di sito
- Categoria Sito:** A , B , C , D , E
- T1 [s]:** 0.100000
- T2 [s]:** 1.200000
- Tipo di strumento:** Qualunque
- Meccanismo focale:** Qualunque
- CRITERIO:** Magnitudo-Distanza
- Tipo di magnitudo:** Magnitudo momento o locale
- M minima:** 4.3
- M massima:** 5.7
- R minima [km]:** 0
- R massima [km]:** 30



*Disaggregazione della pericolosità in termini di ordinate spettrali a 1.5 s per la verifica allo SLV (PVR = 10%, VR = 50 anni, TR = 475 anni) nella zona orientale di Napoli.  
Da: Silvestri e d'Onofrio, 2014*

# Scelta dell'input sismico: RexelWeb

L'insieme di 7 accelerogrammi viene selezionato in modo che la loro media, in un intervallo di periodi di interesse, sia compresa tra una tolleranza minima e massima rispetto allo spettro di riferimento.

Registrazioni selezionate: 7

Combinazione corrente:  (Punteggio: 0.101)

Scarica ascii

Scarica hdf5

Combinazione	ID registrazione	ID ITACA	Codice rete	Codice stazione	ID sensore	Strumento	Orientamento	ML	MW	Tipologia di faglia	Distanza epicentrale [km]	Classe EC8	Vs30 [m/s]	Punteggio	Fattore di scala
1	IT.NRC.00.HG.EMSC-20161026_0000077	EMSC-20161026_0000077	IT	NRC	00	HG	E	5.4	5.4	Normal faulting	9.4	B	498	E: 0.651	E: 1.000
1	IV.T1212..HN.EMSC-20161026_0000077	EMSC-20161026_0000077	IV	T1212		HN	E	5.4	5.4	Normal faulting	15.2	A		E: 0.225	E: 1.000
1	IT.NRC.00.HG.EMSC-20160824_0000013	EMSC-20160824_0000013	IT	NRC	00	HG	E	5.4	5.3	Normal faulting	4.4	B	498	E: 0.330	E: 1.000
1	IT.NOR.00.HG.EMSC-20161026_0000077	EMSC-20161026_0000077	IT	NOR	00	HG	N	5.4	5.4	Normal faulting	9.5	B	423	N: 0.243	N: 1.000
1	IT.MSCT.00.HG.EMSC-20170118_0000034	EMSC-20170118_0000034	IT	MSCT	00	HG	E	5.4	5.5	Normal faulting	5.5	B	652	E: 0.239	E: 1.000
1	IV.FEMA..HN.EMSC-20161026_0000077	EMSC-20161026_0000077	IV	FEMA		HN	E	5.4	5.4	Normal faulting	11.5	A		E: 0.270	E: 1.000
1	IT.MSC.00.HG.EMSC-20170118_0000034	EMSC-20170118_0000034	IT	MSC	00	HG	E	5.4	5.5	Normal faulting	5.5	B	652	E: 0.224	E: 1.000



# Scelta dell'input sismico

## In-Spector

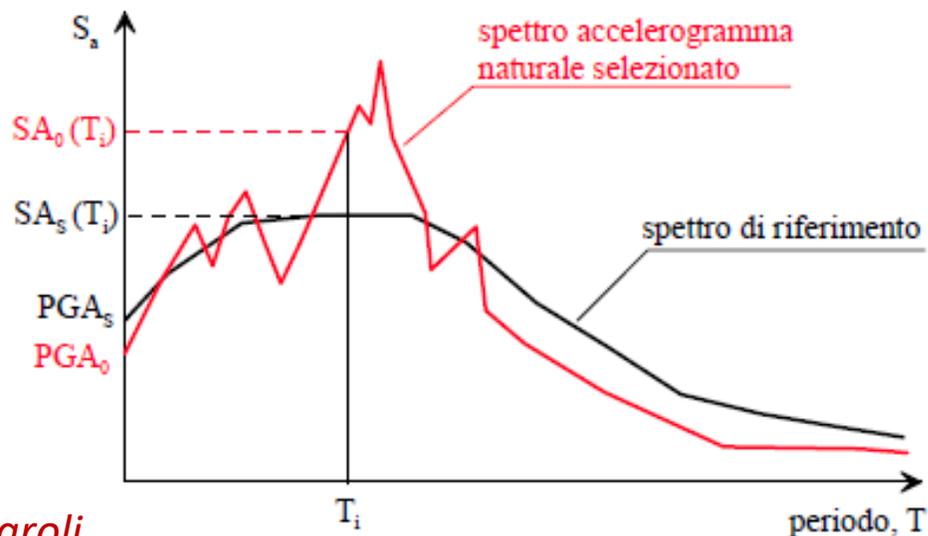
Indicando con il pedice '0' le grandezze del moto di riferimento relativo alla registrazione selezionata, la compatibilità dell'ampiezza del moto è esprimibile mediante un fattore di scala, SF, dell'accelerazione massima:

$$SF = PGA_0 / PGA_s$$

La compatibilità del contenuto in frequenza è invece quantificabile dalla misura dello scostamento tra le forme spettrali in un prefissato intervallo di periodi, per esempio espressa da:

$$D_{rms} = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N \left( \frac{SA_0(T_i)}{PGA_0} - \frac{SA_s(T_i)}{PGA_s} \right)^2}$$

cioè lo scarto quadratico medio tra le 'forme spettrali', definite per n periodi  $T_i$ .

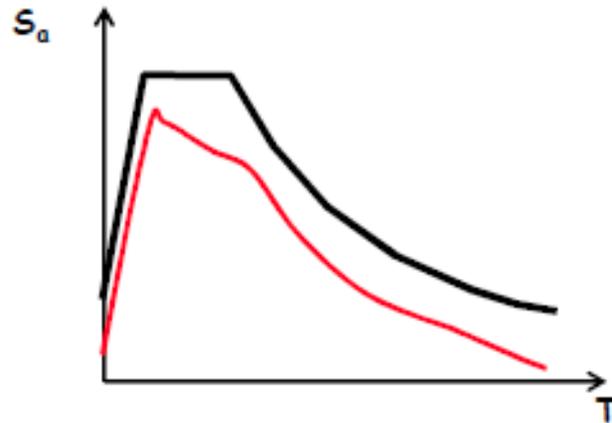


# Scelta dell'input sismico

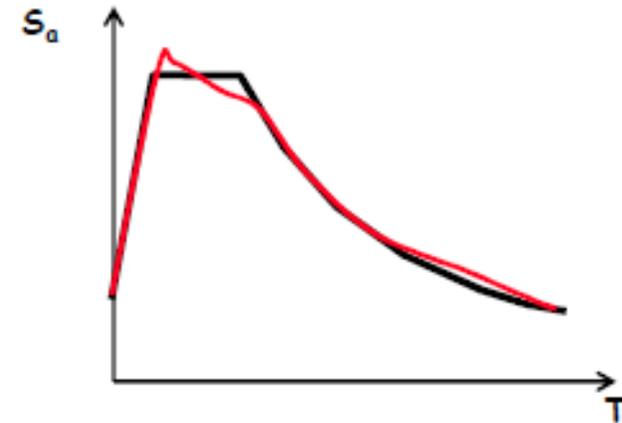
## In-Spector

Un segnale è quindi caratterizzato da buona spettrocompatibilità se:

- Basso valore di  $D_{rms}$
- $PGA/S_a$  prossime a quelle target:



$D_{rms}$  basso e  $PGA/S_a$  lontane da quelle target, bassa spettrocompatibilità



$D_{rms}$  basso e  $PGA/S_a$  prossime a quelle target, elevata spettrocompatibilità

### Vincoli:

- Limitazione del fattore di scala ( $SF < 4$ )
- Preferenza ai segnali con  $D_{rms}$  più basso (per evitare eccessive deviazioni individuali dallo spettro target)
- Evitare che un evento sismico e una stazione siano eccessivamente rappresentati nella selezione

# 7 time histories of acceleration + scaled «volcanic» input

## Return period = 475yrs

Chosen by using INSPECTOR code (Acunzo et al. 2014)

In-Spector 1.0 beta - input\_scalati\_prova1.SPE

File Settings Export ?

### Results

Legend:

- Tolerance area (+30% / -10%)
- Target Spectrum
- Mean Spectrum
- SICILY\_ITALY [26/12/2018 02:19:17 - Station: SVN - Component: E/O - MagnitudeW: 4.9 - Epicentral Distance: 4.5]
- IV.EMCN.HNN.D.20190108.235034.C.ACC\_mod.ASC
- NORTHERN\_ITALY [30/06/2013 14:40:08 - Station: 0EQT - Component: N/S - MagnitudeW: 4.5 - Epicentral Distance: 3]
- CENTRAL\_ITALY [07/04/2009 17:47:37 - Station: RM03 - Component: E/O - MagnitudeW: 5.5 - Epicentral Distance: 3.4]
- IV.EMCN.HNE.D.20190108.235034.C.ACC\_mod.ASC
- COSENZA [25/10/2012 23:05:24 - Station: MRM - Component: N/S - MagnitudeW: - - Epicentral Distance: 2.4]
- CENTRAL\_ITALY [26/10/2016 17:10:36 - Station: CLO - Component: N/S - MagnitudeW: 5.4 - Epicentral Distance: 8.4]

### Control panel

Database

ITACA 2.1 / ESM

PEER

ITACA 2.0

Free Format

Preview

SOUTHERN\_ITALY [01/12/1980 19:04:29 - Station: OPB - Compo...

ESM  
PEER  
ITACA  
FF

Show

No Preview

Accelerogram

Spectrum

Period Range

T1: 0.1 s

T2: 1 s

Default SF from

PGA

Mean Period in T1-T2

Custom: 0

Do not scale

Target Spectrum

Calculate parameters

### Parameters table

	Name	M	R (Km)	EC8	SF	Drms	IA (cm/s)	SD (s)	Include in mean spectrum	Show plot	Database
1	CENTRAL_ITALY [07/04/2009 21:34:29 - Station: AQP - Component: Vert - MagnitudeW: 4.5 - Epicentral Distance: 1.4]	4.5	1.4	A	1.38	0.1152	3.0751	1.9000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ESM
2	CENTRAL_ITALY [12/11/2016 14:43:33 - Station: FCC - Component: N/S - MagnitudeW: 4.1 - Epicentral Distance: 4.1]	4.1	4.1	A*	1.16	0.1245	3.5188	1.5550	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ESM
3	CENTRAL_ITALY [12/11/2016 14:43:33 - Station: FCC - Component: E/O - MagnitudeW: 4.1 - Epicentral Distance: 4.1]	4.1	4.1	A*	1.23	0.1223	3.7935	2.2700	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ESM
4	CENTRAL_ITALY [07/04/2009 21:34:29 - Station: AQP - Component: E/O - MagnitudeW: 4.5 - Epicentral Distance: 1.4]	4.5	1.5	A	1.30	0.0839	9.0316	1.6250	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ESM
5	CENTRAL_ITALY [12/11/2016 14:43:33 - Station: ACC - Component: Vert - MagnitudeW: 4.1 - Epicentral Distance: 3.9]	4.1	3.9	A*	1.12	0.1392	3.9654	1.6500	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ESM
6	CENTRAL_ITALY [31/10/2016 03:27:40 - Station: FCC - Component: N/S - MagnitudeW: 4 - Epicentral Distance: 8.8]	4.0	8.8	A*	2.24	0.0970	4.5302	3.2650	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ESM
7	CENTRAL_ITALY [07/04/2009 21:34:29 - Station: AQP - Component: N/S - MagnitudeW: 4.5 - Epicentral Distance: 1.4]	4.5	1.4	A	0.94	0.0911	4.5553	2.1150	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ESM
8	CENTRAL_ITALY [26/10/2016 17:10:36 - Station: T1212 - Component: N/S - MagnitudeW: 5.4 - Epicentral Distance: 15.2]	5.4	15.2	A*	0.75	0.0457	4.9567	3.7550	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ESM
9	CENTRAL_ITALY [26/10/2016 21:42:01 - Station: T1245 - Component: N/S - MagnitudeW: 4.5 - Epicentral Distance: 5.4]	4.5	5.4	A*	0.76	0.0562	5.1623	3.7750	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ESM
10	CENTRAL_ITALY [12/11/2016 14:43:33 - Station: ACC - Component: N/S - MagnitudeW: 4.1 - Epicentral Distance: 3.9]	4.1	3.9	A*	0.98	0.1250	5.5696	0.8050	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ESM
11	CENTRAL_ITALY [12/11/2016 14:43:33 - Station: ACC - Component: E/O - MagnitudeW: 4.1 - Epicentral Distance: 3.9]	4.1	3.9	A*	1.38	0.1201	5.8992	1.5450	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ESM
12	SICILY_ITALY [26/12/2018 02:19:17 - Station: SVN - Component: E/O - MagnitudeW: 4.9 - Epicentral Distance: 4.5]	4.9	4.5	A*	0.46	0.0361	18.3650	1.9450	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ESM
13	CENTRAL_ITALY [26/10/2016 17:10:36 - Station: T1212 - Component: E/O - MagnitudeW: 5.4 - Epicentral Distance: 15.2]	5.4	15.2	A*	0.81	0.0265	6.4844	3.0500	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ESM

Order by: SF  Descending order

Include in mean spectrum

Select all

Deselect all

Show plot

Select all

Deselect all

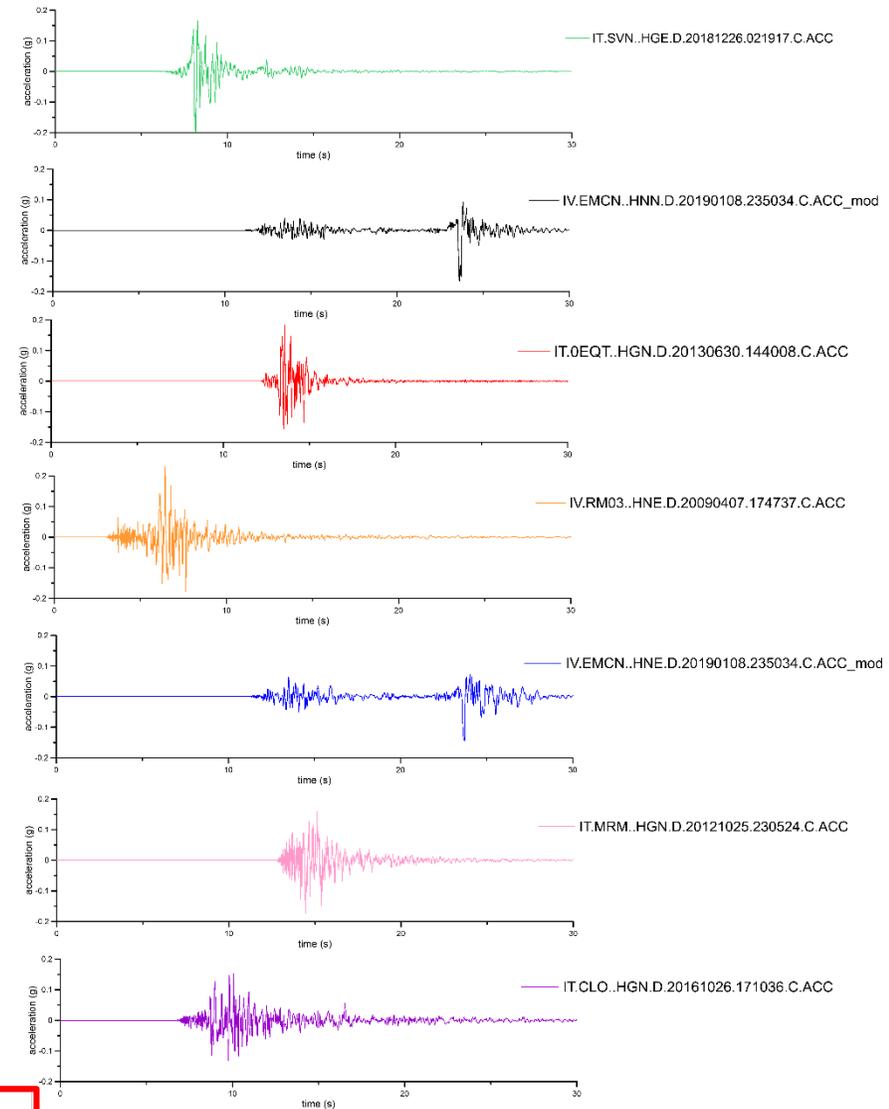
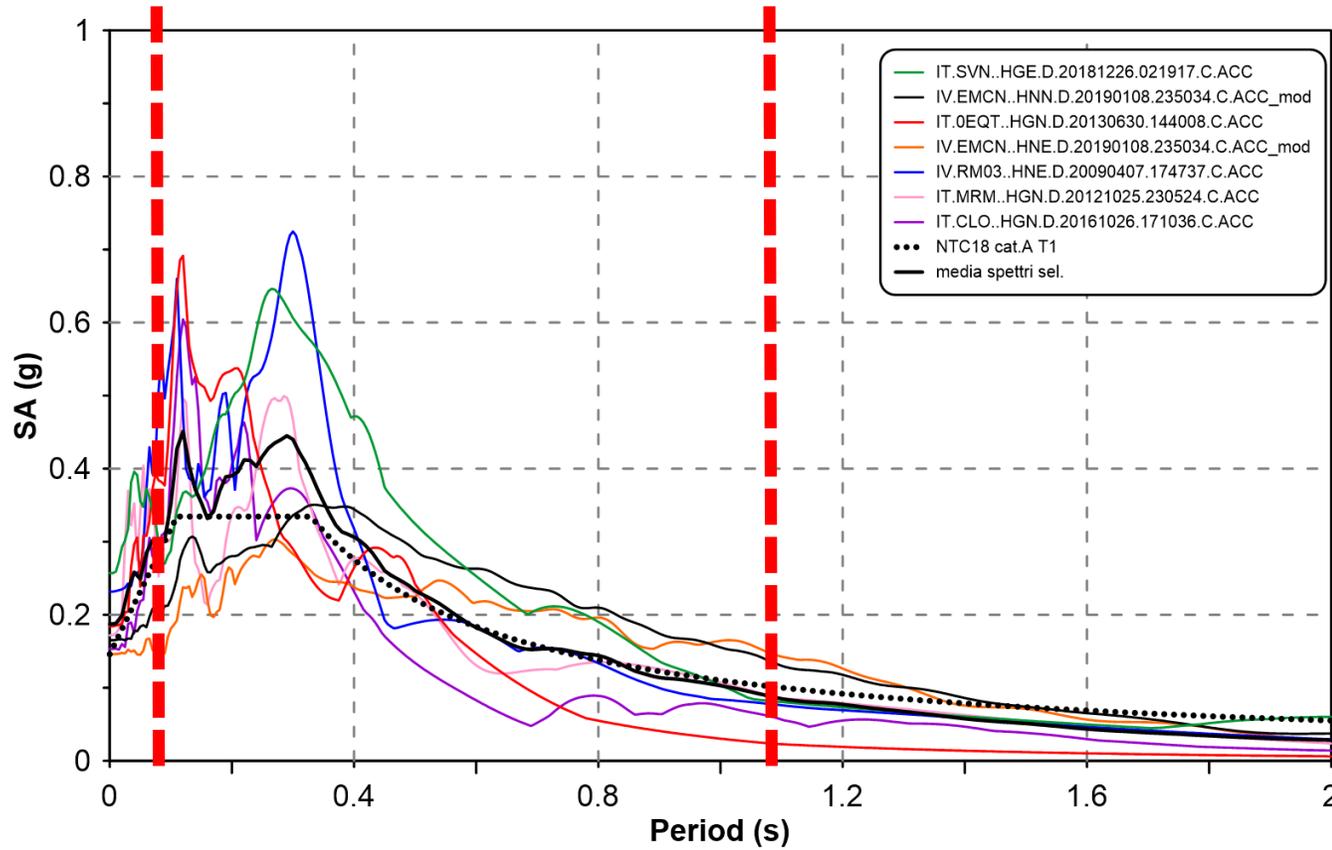
Refresh plot

Compute Mean Spectrum

# 7 time histories of acceleration+ scaled «volcanic» input

## Return period = 475yrs

Chosen by using INSPECTOR code (Acunzo et al. 2014)



Event	MW	Epicentral Distance [Km]	Subsoil class (EC8)	SF	Drms	Ia [cm/s]	SD [s]
SICILY_ITALY [26/12/2018 02:19:17 - Station: SVN - Component: E/O - MagnitudeW: 4.9 - Epicentral Distance: 4.5]	4.9	4.5	A*	0.46	0.04	18.36	1.95
IV.EMCN..HNN.D.20190108.235034.C.ACC_mod.ASC	4.1	1	A*	1.30	0.04	9.86	11.89
NORTHERN_ITALY [30/06/2013 14:40:08 - Station: 0EQT - Component: N/S - MagnitudeW: 4.5 - Epicentral Distance: 3]	4.5	3	A*	1.60	0.06	14.29	1.65
CENTRAL_ITALY [07/04/2009 17:47:37 - Station: RM03 - Component: E/O - MagnitudeW: 5.5 - Epicentral Distance: 3.4]	5.5	3.4	A*	2.50	0.05	22.62	3.63
IV.EMCN..HNE.D.20190108.235034.C.ACC_mod.ASC	4.1	1.2	A*	1.35	0.04	10.86	13.40
COSENZA [25/10/2012 23:05:24 - Station: MRM - Component: N/S - MagnitudeW: - Epicentral Distance: 2.4]		2.4	A	1.30	0.04	15.19	4.16
CENTRAL_ITALY [26/10/2016 17:10:36 - Station: CLO - Component: N/S - MagnitudeW: 5.4 - Epicentral Distance: 8.4]	5.4	8.4	A*	1.20	0.06	16.71	7.76

# Substrato di riferimento per la modellazione numerica

**Substrato sismico:** è costituito da una successione litostratigrafica che non induce effetti locali di amplificazione o modificazioni in frequenza del moto sismico assunto come riferimento; si presuppone quindi che all'interno del substrato sismico non esistano forti contrasti di impedenza sismica o che questi siano trascurabili rispetto a quelli che caratterizzano le coperture; si presuppone che i materiali che lo compongono siano rigidi ed abbiano proprietà meccaniche di tipo lineare (corpo visco-elastico).

**Substrato ingegneristico:** Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m; viene definito convenzionalmente dalle seguenti condizioni:

- valori di  $V_s$  almeno pari o superiori a 800 m/s;
- avere una superficie topografica orizzontale.

**Substrato geologico:** Il Substrato Geologico costituisce la base su cui poggiano in discordanza rocce e corpi sedimentari meno compatte o alterate o sedimenti sciolti, chiamati con il termine generale di terreni di copertura caratterizzati anche da importanti variazioni di spessore verticali e laterali sia litologici sia composizionali tali da far ipotizzare la presenza di importanti contrasti di impedenza.

Le rocce che costituiscono il substrato geologico, possono:

- non avere il requisito di rigidità richiesto ( $V_s=800$  m/s),
- non introdurre contrasti di impedenza significativi con le soprastanti coperture.

Il substrato ingegneristico può o meno corrispondere ad un substrato sismico o ad un substrato geologico.



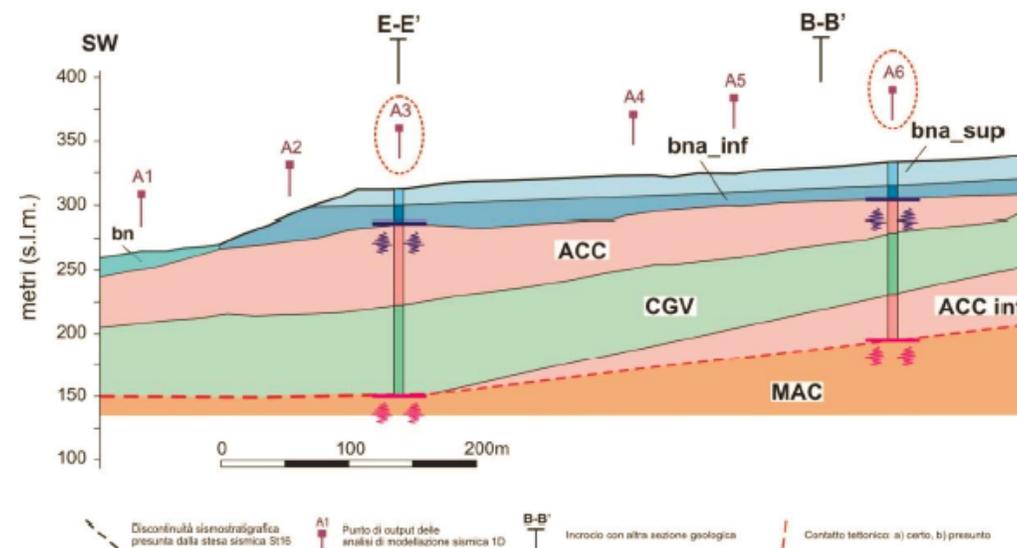
Substrato *sismico*,  
substrato *ingegneristico* o  
substrato *geologico*?

# Substrato di riferimento per la modellazione numerica

Quota di imposizione dell'input per le simulazioni numeriche

**IPOTESI  
"SUPERFICIALE"**  
(minori profondità da  
investigare, minori  
incertezze)

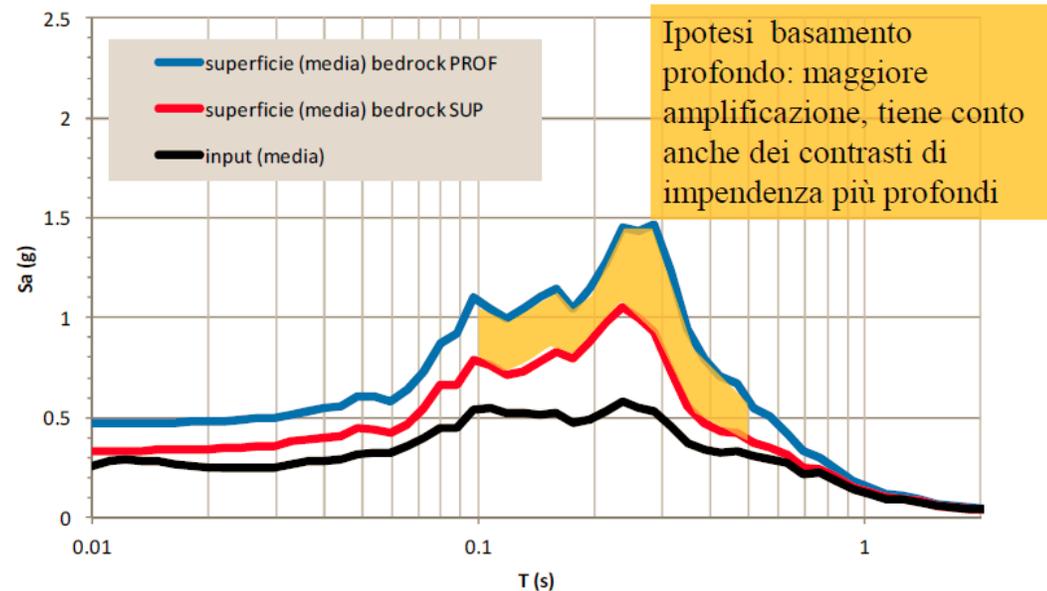
**IPOTESI "PROFONDA"**  
(maggiori incertezze su assetto  
profondo ma più coerenza con  
le caratteristiche geologiche  
dell'area)



da CNR Edizioni,  
Il caso di studio di Fivizzano

# Substrato di riferimento per la modellazione numerica

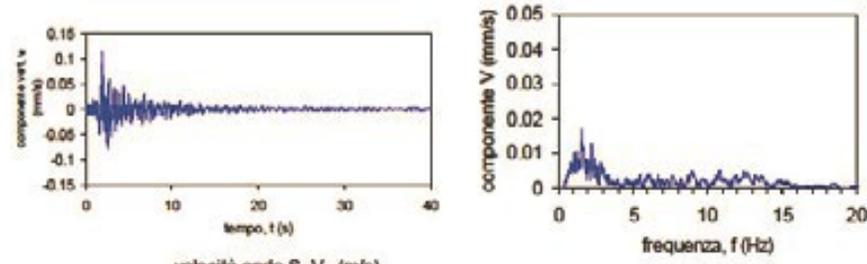
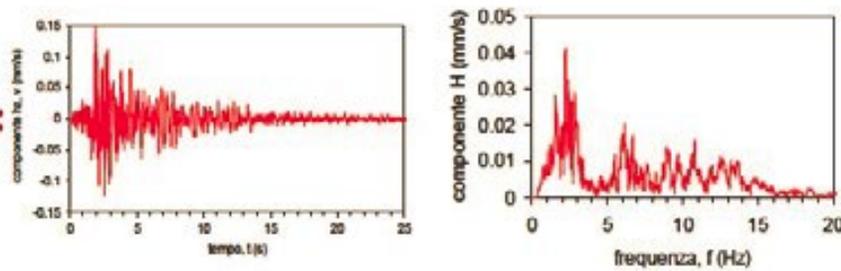
- La determinazione del substrato sismico è di importanza primaria per uno studio di MS e, sapendo che questo non necessariamente corrisponde al Substrato Geologico, la principale discussione/revisione del Modello Geologico deve portare alla indicazione (ipotetica) di quali livelli stratigrafici possano corrispondere al tetto del substrato sismico.



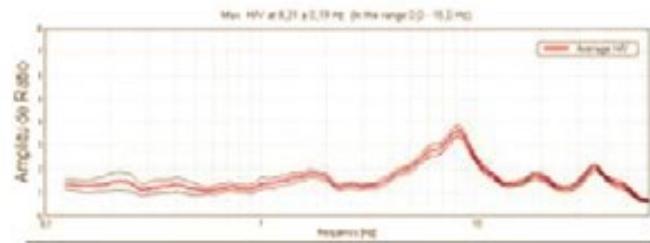
- Tuttavia, l'identificazione della profondità di impostazione del substrato può essere problematica, perché esso può trovarsi ben al di sotto della profondità di penetrazione dei più comuni metodi di prospezione (in genere di poche decine di metri).

# Strategia per la calibrazione delle sismostratigrafie

sperimentale:



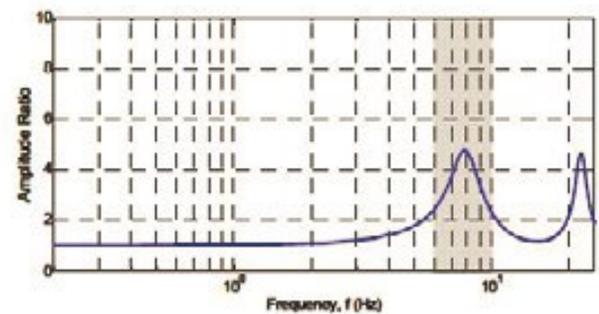
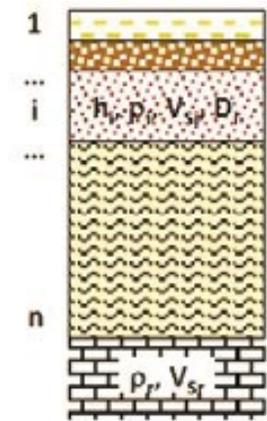
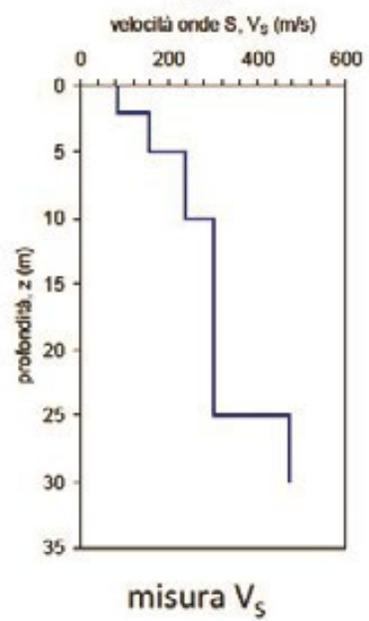
rapporti spettrali sperimentali SSR o HVSR



confronto  
frequenze  
fondamentali  
 $f_{exp} \approx f_{calc}?$



analitica:



funzione di trasferimento analitica

# Parametri meccanici e dinamici del modello di sottosuolo

E' presente in letteratura un tentativo di stabilire uno strumento di **armonizzazione** dei dati reperiti finora alla scala nazionale, utilizzabili per gli Studi di **Microzonazione Sismica**.



Statistiche e grafici



Sistema Web-GIS



Catalogo dei servizi di rete



Lo studio della variabilità delle curve  $G/G_0(\gamma)$  e  $D(\gamma)$  con la deformazione di taglio in funzione delle unità geologico-tecniche (UGT) degli Studi di Microzonazione Sismica è stato utile all'esplorazione dei **vantaggi** e dei **limiti** di un approccio basato sulla suddivisione in gruppi UGT rispetto all'estensione delle misure sperimentali alla vasta scala.

L'analisi effettuata ha avuto anche l'obiettivo di ottenere una stima dell'incertezza di cui tener conto nel settaggio dei parametri dinamici nelle **modellazioni numeriche per la Microzonazione Sismica** effettuate con un **approccio totalmente probabilistico**.



# Archivio

Il set di dati utilizzato nello studio raccoglie circa **450** curve di variazione di  $G/G_0(\gamma)$  e  $D(\gamma)$  con la deformazione di taglio.

Sono state organizzate, armonizzate, archiviate ed analizzate le informazioni disponibili a partire:

- dagli studi di **MS di 3 ° livello post - terremoto** de L'Aquila 2009; della sequenza sismica dell'Italia centrale 2016-2017; dell'Emilia Romagna 2012; dell'Umbria - Marche 1998; di Santa Venerina/Catania;
- dal **Progetto “Valutazione degli Effetti Locali - VEL”**, <http://150.217.73.23/BancaDatiVEL/>;
- da altri **lavori pubblicati**.

Ognuno dei campioni appartenenti al dataset è stato associato ad **un'unità geologico-tecnica** e, laddove possibile, al codice relativo alla classificazione USCS dei terreni (ASTM, 2017).

A partire dalle informazioni disponibili per ciascuna unità geologico-tecnica (e-g unit), sono state aggregate le proprietà di non linearità espresse in termini di variazione del modulo secante normalizzato,  $G/G_0(\gamma)$ , e del rapporto di smorzamento,  $D(\gamma)$ , in funzione dell'ampiezza della deformazione di taglio.

Il risultato finale è una rappresentazione delle curve  $G/G_0(\gamma)$  e  $D(\gamma)$  in termini di **formulazioni aggregate** archiviate nella cartella “Averaged”.

# Sfruttamento completo delle informazioni disponibili negli archivi di Microzonazione Sismica: curve di $G/G_0$ e $D$

The screenshot shows the Zenodo interface for a dataset. At the top, there is a blue navigation bar with the Zenodo logo, a search bar, and buttons for 'Upload', 'Communities', 'Log in', and 'Sign up'. Below the navigation bar, the date 'January 30, 2023' is displayed. The main title of the record is 'Shear modulus reduction and damping ratio curves collected from multiple literature sources available in Italy'. Below the title, the authors are listed: Iolanda Gaudiosi, Gino Romagnoli, Dario Albarello, Carolina Fortunato, Paola Imprescia, Francesco Stigliano, and Massimiliano Moscatelli. A short description follows: 'Data are 485  $G/G_0(\gamma)$  and damping ratio,  $D(\gamma)$  curves collected from multiple literature sources available in Italy. Each curve was associated with the related engineering geological units considered in seismic microzonation studies. The data focus on providing reference information that can serve as key data for large-scale hazard assessments worldwide and to guide the translation of information from the laboratory scale to the scale of geological-engineering cross-sections.' To the right of the title, there are statistics: 34 views and 6 downloads, with a link to 'See more details...'. Below the statistics, it says 'Indexed in OpenAIRE'. The 'Publication date' is 'January 30, 2023', and the 'DOI' is '10.5281/zenodo.7584708'. The 'Keyword(s)' are 'site effects; seismic microzonation; nonlinear soil behavior;'. The 'License (for files)' is 'Creative Commons Attribution 4.0 International'. On the left, there is a 'Preview' section showing a file named 'MS\_STUDIES\_G\_G0\_AND\_D\_CURVES\_WITH\_EG-UNIT.zip'. A red banner indicates 'The previewer is not showing all the files'. Below this, a tree view shows the folder structure: 'MS\_STUDIES\_G\_G0\_AND\_D\_CURVES\_WITH\_EG-UNIT' containing subfolders 'AL', 'average', 'processed', and 'raw'. The 'average' folder contains 'AL\_av.csv' (1.1 kB), 'processed' contains 'Tossicia\_reg.csv' (522 Bytes), and 'raw' contains 'Tossicia.csv' (476 Bytes).

*L'archivio è stato pubblicato su zenodo, mentre le relative elaborazioni sono descritte in un articolo proposto per la pubblicazione su una rivista internazionale (sottomesso, in revisione):*

*Gaudiosi et al. (submitted)  $G/G_0(\gamma)$  and  $D(\gamma)$  curves joined with engineering geological units in Italy. Scientific Data.*

<https://zenodo.org/record/7584708>

# Cosa restituire al Committente?

I risultati delle analisi numeriche saranno restituiti in termini di:

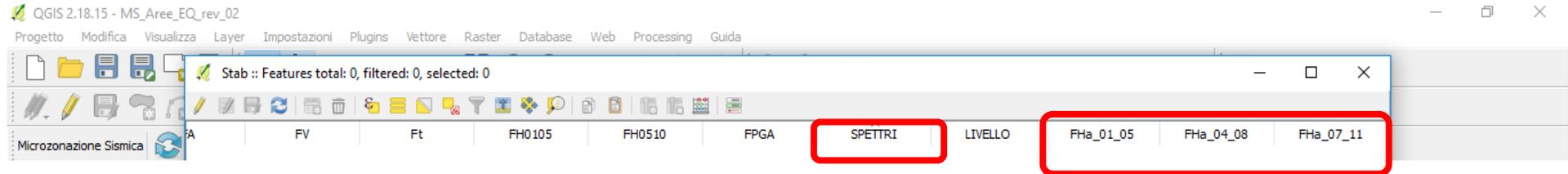
- fattori di amplificazione in pseudo-accelerazione** calcolati per prefissati intervalli di periodi (**0.1-0.5s, 0.4-0.8s e 0.7-1.1s**);
- spettri di risposta in accelerazione al 5% di smorzamento.**

Gli effetti di amplificazione topografica, in assenza di analisi 2D, potranno essere stimati con la procedura semplificata riportata nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC18).

*“begin with the end in your mind”*

# Cosa restituire al Committente?

## Attributi dello shapefile da compilare



## spettri di risposta in accelerazione al 5% di smorzamento da organizzare in banca dati

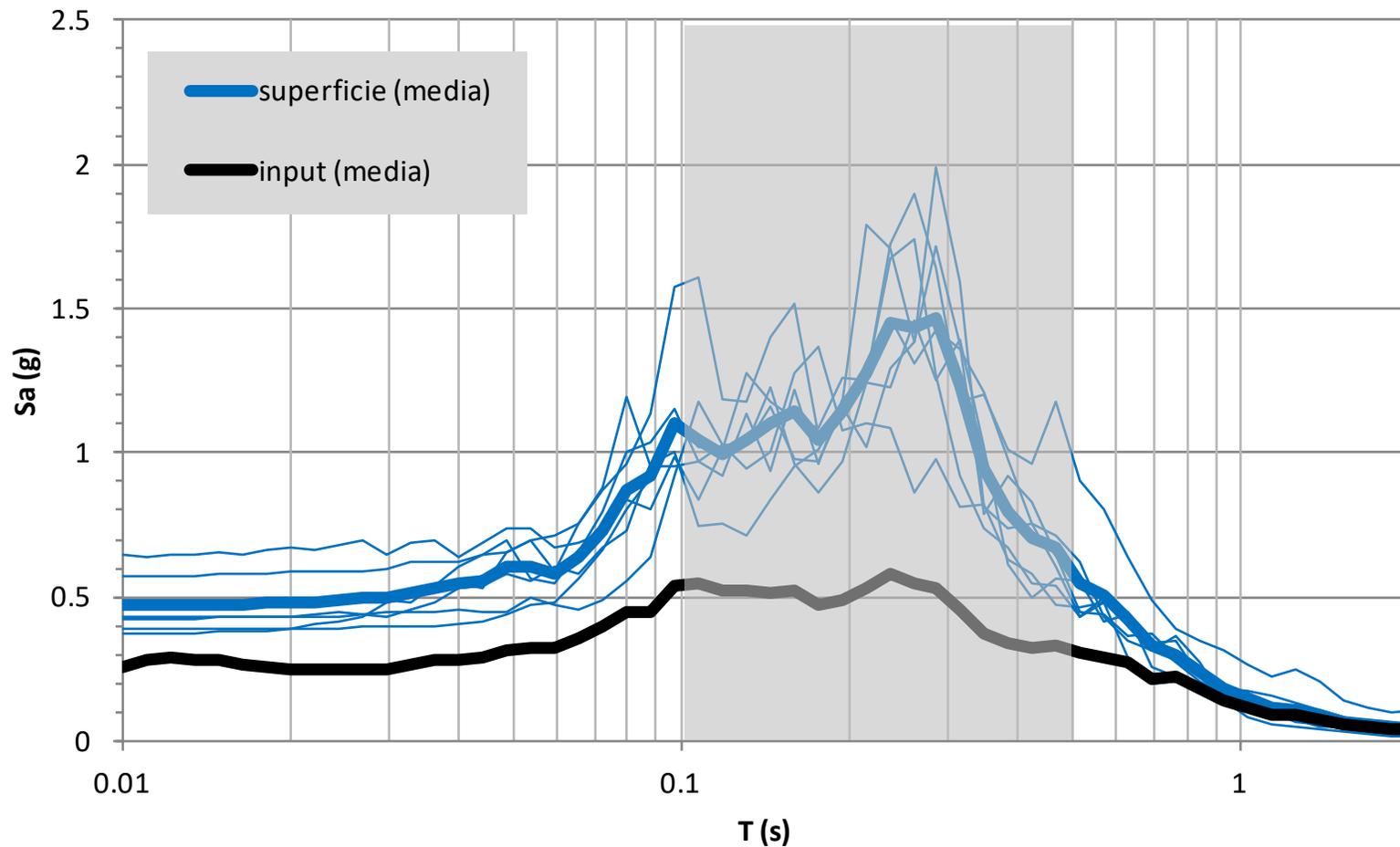
Nome	Ultima modifica	Tipo	Dimensione
AmatricePSAOm01.txt	22/12/2017 10:33	Documento di testo	2 KB
AmatricePSAOm02.txt	22/12/2017 10:33	Documento di testo	2 KB
AmatricePSAOm03.txt	22/12/2017 10:33	Documento di testo	2 KB
AmatricePSAOm04.txt	22/12/2017 10:33	Documento di testo	2 KB
AmatricePSAOm05.txt	22/12/2017 10:33	Documento di testo	2 KB
AmatricePSAOm06.txt	22/12/2017 10:33	Documento di testo	3 KB
AmatricePSAOm07.txt	22/12/2017 10:33	Documento di testo	2 KB
AmatricePSAOm08.txt	22/12/2017 10:33	Documento di testo	2 KB
AmatricePSAOm09.txt	22/12/2017 10:33	Documento di testo	3 KB
AmatricePSAOm10.txt	22/12/2017 10:33	Documento di testo	3 KB
AmatricePSAOm11.txt	22/12/2017 10:33	Documento di testo	3 KB
AmatricePSAOm12.txt	22/12/2017 10:33	Documento di testo	18 KB
AmatricePSAOm13.txt	22/12/2017 10:33	Documento di testo	18 KB

*“begin with the end in your mind”*

# Calcolo fattori di amplificazione

$$FHa = Sa_{m,output} / Sa_{m,input}$$

$T_1 - T_2 = 0.1 - 0.5s$   
oppure  $0.4 - 0.8s$  oppure  $0.7 - 1.1s$ .



**Spettri di risposta in superficie**

$$Sa_{m,output} = \int_{T_1}^{T_2} SA(T) dT$$

**Spettri di risposta in input**

$$Sa_{m,input} = \int_{T_1}^{T_2} SA(T) dT$$

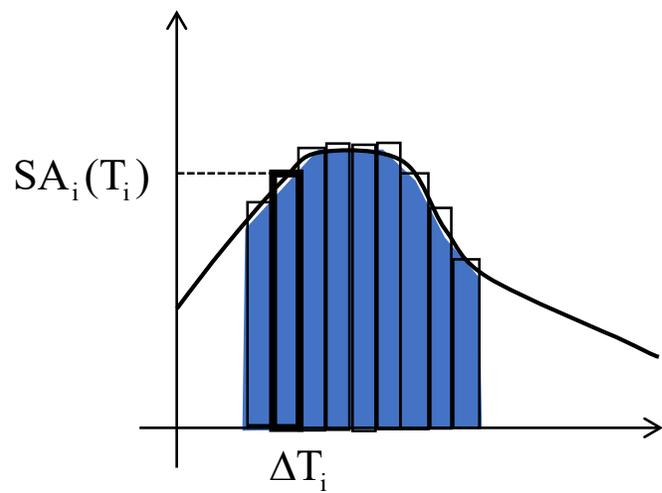
# Calcolo fattori di amplificazione

input (i)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L
1											
2											
3		T (s)	VGG	AQP	ATH4	ATN	MMO	T1213	VGL	MEDIO	Σ Sa ΔT
4		0.01	0.201945	0.410707	0.319873	0.201875	0.258423	0.204359	0.208296	0.257925	0.183963
5		0.011037	0.201723	0.483757	0.377741	0.202272	0.301252	0.204254	0.205443	0.282349	
6		0.012181	0.201889	0.498227	0.392274	0.202759	0.303284	0.205343	0.20984	0.287659	
7		0.013444	0.202144	0.488876	0.382706	0.203554	0.289383	0.206045	0.21025	0.28328	
19		0.043915	0.221501	0.32441	0.293167	0.220012	0.390104	0.302018	0.27502	0.289462	
20		0.048468	0.234818	0.337522	0.333979	0.226033	0.418029	0.376063	0.298355	0.317828	
21		0.053493	0.220818	0.343878	0.345535	0.256057	0.357186	0.391503	0.316869	0.318835	
22		0.059038	0.264084	0.350467	0.30815	0.235542	0.343249	0.390711	0.379924	0.32459	
23		0.065159	0.331192	0.359191	0.300644	0.228523	0.403531	0.464558	0.384696	0.353191	
24		0.071914	0.354254	0.468766	0.31979	0.25543	0.49015	0.52103	0.372174	0.397371	
25		0.07937	0.455747	0.450242	0.389363	0.27032	0.562578	0.621427	0.387415	0.448156	
26		0.087599	0.464942	0.559443	0.357241	0.292549	0.479541	0.504249	0.467429	0.446485	
27		0.09668	0.551226	0.793723	0.44808	0.461636	0.51729	0.487678	0.506495	0.538018	
28		0.106704	0.565466	0.801608	0.522709	0.629082	0.486413	0.491705	0.343491	0.548639	0.005446
29		0.117766	0.583193	0.620396	0.557672	0.593309	0.478681	0.531331	0.311716	0.525185	0.00594
30		0.129975	0.506173	0.614444	0.655917	0.546711	0.562305	0.465836	0.29805	0.521348	0.006389
31		0.14345	0.55429	0.646704	0.617889	0.570298	0.427546	0.454669	0.339147	0.515792	0.006988
32		0.158322	0.455884	0.703262	0.540302	0.424604	0.541051	0.574649	0.406174	0.520847	0.007708
33		0.174736	0.450664	0.450039	0.519655	0.380366	0.458543	0.601901	0.444434	0.472229	=+MEDIA
34		0.192852	0.516903	0.486196	0.534924	0.381282	0.523986	0.465091	0.501672	0.48715	0.00869
35		0.212846	0.528489	0.736644	0.510619	0.505387	0.522171	0.480712	0.416461	0.52864	0.010155
36		0.234912	0.585095	0.671162	0.656233	0.491302	0.672943	0.436704	0.521804	0.576463	0.012193
37		0.259266	0.49561	0.510453	0.689792	0.558368	0.664615	0.36713	0.548764	0.547819	0.013691
38		0.286146	0.53099	0.616732	0.572493	0.489166	0.462293	0.355793	0.706897	0.533481	0.014532
39		0.315811	0.509668	0.505684	0.43776	0.545888	0.345754	0.304396	0.56573	0.459268	0.014725
40		0.348553	0.435891	0.303492	0.487371	0.410193	0.307301	0.335707	0.307118	0.369582	0.013569
41		0.384689	0.412068	0.369917	0.415792	0.28141	0.27862	0.321034	0.295172	0.339145	0.012805
42		0.424571	0.363621	0.352783	0.421392	0.243934	0.249418	0.290041	0.350706	0.324557	0.013235
43		0.468588	0.26764	0.302392	0.562531	0.296566	0.255391	0.248595	0.366155	0.328467	0.014372
44		0.517168	0.256669	0.231859	0.486384	0.314337	0.267045	0.257041	0.318311	0.304521	0.015375
45		0.570785	0.316023	0.240586	0.426416	0.247584	0.273784	0.292135	0.246779	0.291901	
46		0.629961	0.288596	0.256229	0.357278	0.279531	0.189594	0.283785	0.239226	0.270606	

$$FHa = Sa_{m,o} / Sa_{m,i}$$

$$Sa_m = \int_{T_1}^{T_2} SA(T) dT \approx \sum SA_i(T_i) \Delta T_i$$



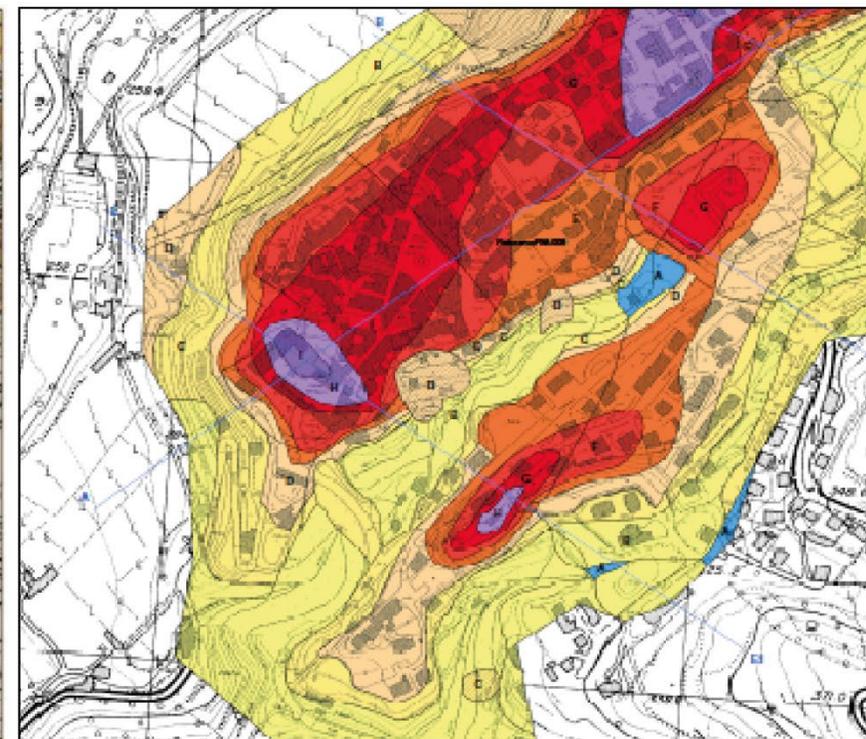
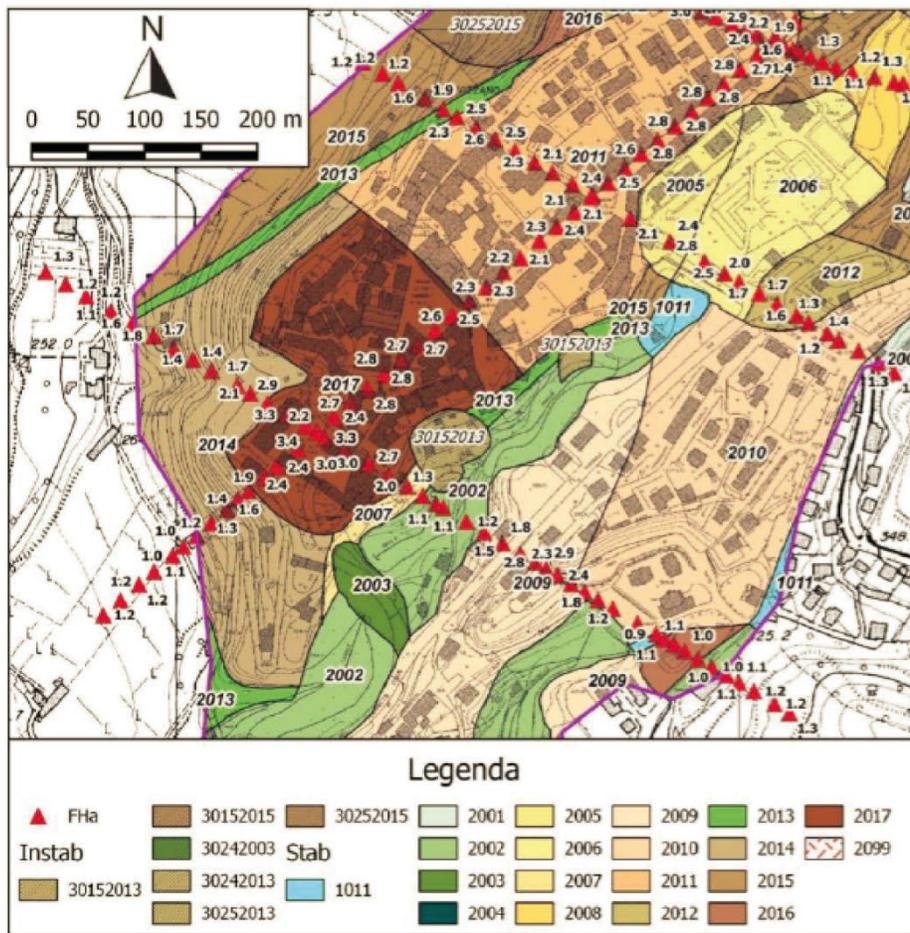
# Calcolo fattori di amplificazione

Output in superficie (i)

$$FH_a = Sa_{m,o} / Sa_{m,i}$$

T (s)	VGG	AQP	ATH4	ATN	MMO	T1213	VGL	MEDIO	Σ Sa ΔT	FHa 0.1-0.5
0.01	0.386519	0.574205	0.643012	0.424024	0.468738	0.372593	0.427686	0.470968	0.428712	2.33
0.011037	0.386725	0.572448	0.639219	0.424435	0.467191	0.373534	0.427665	0.470174		
0.012181	0.387009	0.573247	0.645019	0.425167	0.468162	0.374507	0.427779	0.471556		
0.071914	0.661524	0.868144	0.720349	0.486123	0.796253	0.876796	0.674329	0.726217		
0.07937	0.799922	0.961179	0.834582	0.552276	0.998867	1.195814	0.725242	0.86684		
0.087599	0.909635	1.139139	0.80029	0.634321	1.036879	0.953563	0.965157	0.919855		
0.1	0.09668	1.12007	1.578108	0.982535	0.919137	1.152458	0.949103	1.004598	1.100859	
	0.106704	1.016512	1.60941	0.838775	1.175987	0.969414	0.966011	0.746466	1.046082	0.01076
	0.117766	1.023005	1.184805	1.012224	1.028673	0.919233	1.031074	0.753372	0.993198	0.01128
	0.129975	1.026736	1.180316	1.275463	1.029581	1.133895	0.945002	0.708458	1.042779	0.012429
	0.14345	1.162308	1.398349	1.178694	1.229505	0.93542	1.000403	0.835006	1.105669	0.014475
	0.158322	0.977373	1.512694	1.116124	0.963577	1.215738	1.275649	0.95682	1.145425	0.016739
	0.174736	0.968235	1.060972	1.087862	0.865307	0.958269	1.363422	1.009613	1.044812	0.017975
	0.192852	1.148941	1.1758	1.257654	0.967359	1.188697	1.075954	1.161377	1.139397	0.019784
	0.212846	1.283764	1.786329	1.250356	1.241899	1.262269	1.10416	1.022188	1.278709	0.024173
	0.234912	1.469766	1.706223	1.723729	1.224651	1.67747	1.08261	1.294045	1.454071	0.030152
	0.259266	1.307157	1.386277	1.896775	1.460378	1.742035	0.861468	1.384206	1.434042	0.035169
	0.286146	1.425384	1.718217	1.643451	1.249257	1.267183	0.978798	1.987696	1.467141	0.038991
	0.315811	1.357383	1.373335	1.17446	1.396193	0.917947	0.808879	1.59309	1.231612	0.04003
	0.348553	1.209472	0.785921	1.203048	1.019011	0.733451	0.823904	0.813995	0.941257	0.035571
	0.384689	0.980687	0.919187	1.010571	0.614396	0.66762	0.632078	0.737188	0.794532	0.031362
	0.424571	0.757468	0.826009	0.961596	0.494946	0.546365	0.577944	0.750975	0.702186	0.029846
	0.468588	0.601772	0.644401	1.177215	0.563802	0.536701	0.473874	0.71509	0.673265	0.030272
0.5	0.517168	0.426624	0.449317	0.907157	0.554683	0.429937	0.460445	0.61914	0.549615	0.029704
	0.570785	0.500224	0.435121	0.802328	0.411773	0.477598	0.477559	0.433357	0.505423	
	0.629961	0.417576	0.362001	0.641364	0.437516	0.285898	0.449957	0.347526	0.420263	
	0.695271	0.336659	0.375937	0.489712	0.254868	0.199835	0.338507	0.312218	0.329677	

$$Sa_m = \int_{T_1}^{T_2} SA(T) dT \approx \sum SA_i(T_i) \Delta T_i$$



Zone stabili

A FH = 1

Zone stabili suscettibili di amplificazione locali

B  $1,1 < FH \leq 1,3$

C  $1,3 < FH \leq 1,6$

D  $1,6 < FH \leq 1,9$

E  $1,9 < FH \leq 2,2$

F  $2,2 < FH \leq 2,5$

G  $2,5 < FH \leq 2,8$

H  $2,8 < FH \leq 3,1$

I  $3,1 < FH \leq 3,4$

L  $3,4 < FH \leq 3,7$

da CNR Edizioni, Il caso di studio di Fivizzano

Sovrapposizione dei valori di FA0105 con le MOPS individuate nello studio di MS di livello 1.

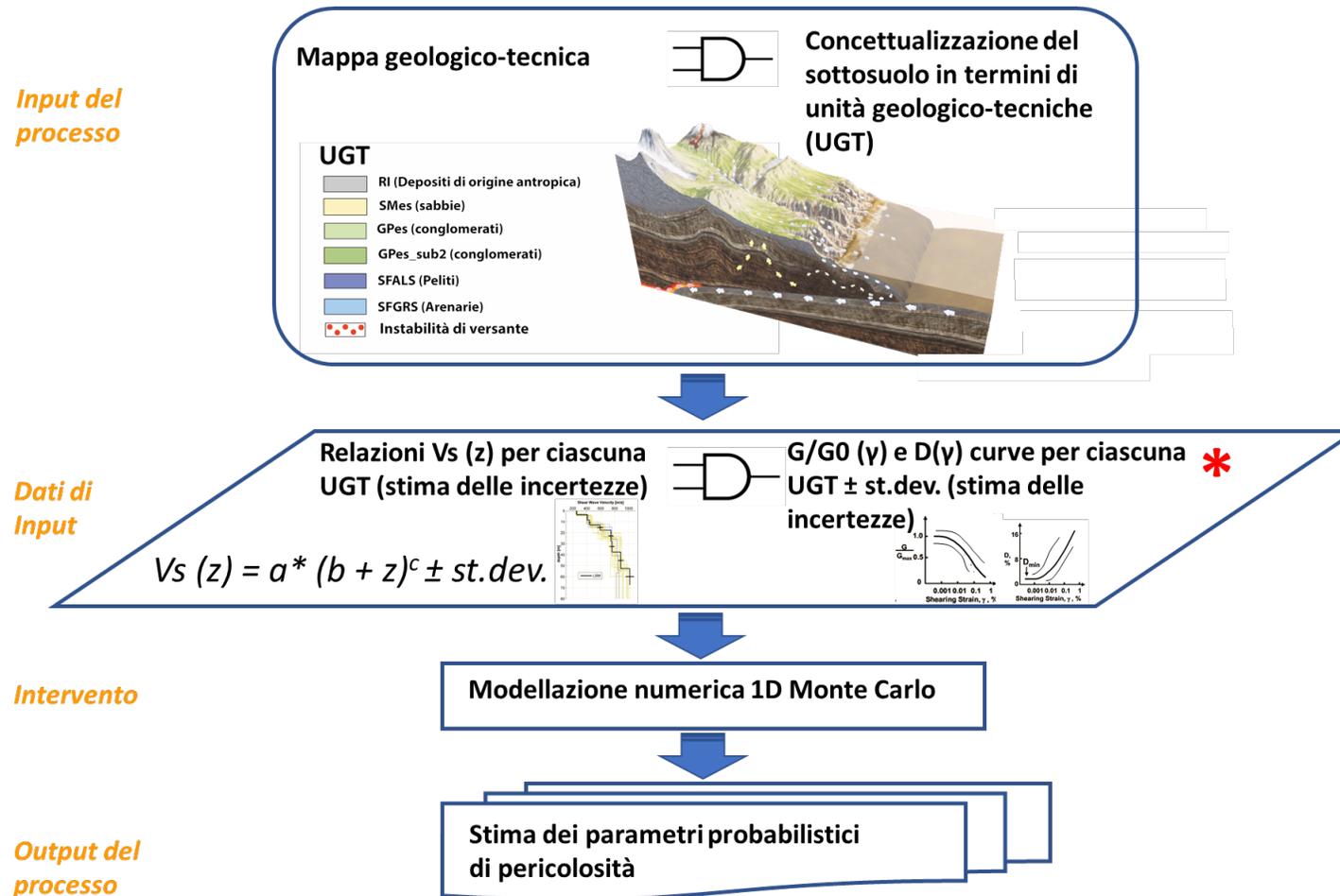
# Analisi di RSL stocastiche

In generale, si può tenere considerare che alcuni fattori producono una molteplicità di valori possibili per le stesse proprietà del sottosuolo.

Questi fattori possono essere ad esempio:

- Variabilità intrinseca di spessori e velocità;
- Incertezza nella definizione del profilo  $V_s(h)$  di velocità delle onde S legata alle condizioni sperimentali (es. profondità del basamento sismico non verificata da indagini dirette e derivante da procedure di inversione che, per il carattere fortemente non lineare delle relazioni fra il profilo di  $V_s$  e gli osservabili, rende non univoco il risultato: molte configurazioni del sottosuolo sono tutte ugualmente possibili e compatibili con la geologia locale);
- Imperfetta esecuzione delle prove;
- Errori di misura;
- Ecc.

# Analisi di RSL stocastiche



*Diagramma di flusso del processo orientato alla valutazione probabilistica della pericolosità sismica comprensiva dell'effetto di sito. L'asterisco indica il posizionamento dell'analisi effettuata.*

# Analisi di RSL stocastiche

File Edit Tools Window Help

General Settings Soil Types Soil Profile Motion(s) Output Specification Compute Results

Project

Title: MS III Macroarea 1

Notes: MOPS

Filename prefix: \_

Units: Metric Note: only changes labels and gravity, no unit conversion.

Save motion data within the input file.

Type of Analysis

Method: Equivalent Linear (EQL)

Approach: Time Series

Vary the properties

Site Property Variation

Number of realizations: 100

Vary the nonlinear properties

- shear-modulus reduction curve
- damping ratio curve
- damping of the bedrock

Vary the site profile

- shear-wave velocity
- layer thickness
- depth to bedrock

Specify seed number 42

Calculation Parameters

Error tolerance: 1.0 %

Maximum number of iterations: 20

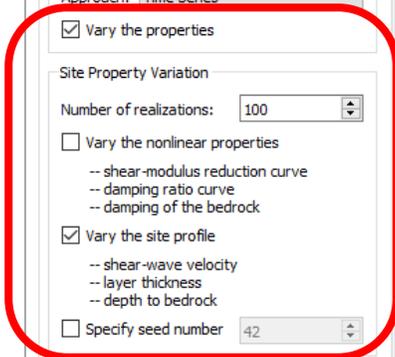
Effective strain ratio: 0.65

Layer Discretization

Maximum frequency: 20 Hz

Wavelength fraction: 0.12

Disable auto-discretization



# Software NC92-Soil: analisi stocastica in batch per la valutazione probabilistica della pericolosità

Il software nell'implementazione attuale permette di lavorare in 5 diverse modalità:

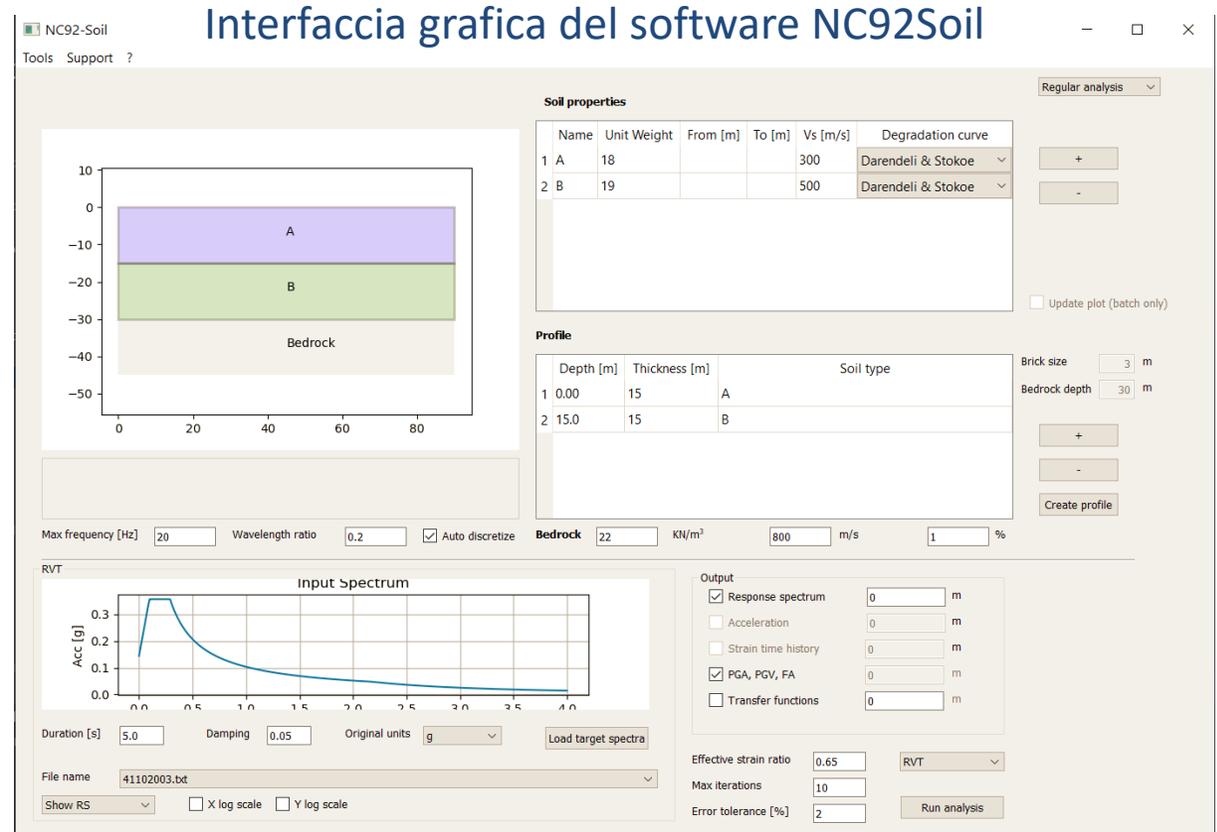
- Analisi singolo profilo
- Analisi «alternanze virtuali»

GUI

- Analisi di profili in batch
- Analisi stocastica
- Analisi a permutazioni stocastica

Excel + GUI

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	Group name	Unit weight [KN/m3]	From [m]	To [m]	Min thickness [m]	Max thickness [m]	Vs Law	Sigma logn	Degradation curve Mean	Degradation curve Std	Inter-layer correlation	Maximum depth [m]
1												
2	MCH	18			0	50	189.45*H^0.15	0.38	ML_CL	Darendeli	1-0.130551590224413*EXP(-0.0685147912965816*H+0.2766337489485)	28
3	MCL	18			0	50	163.18*H^0.26	0.39	ML_CL	Darendeli	1-0.130551590224413*EXP(-0.0685147912965816*H+0.2766337489485)	28
4	O	18			0	50	150.29*H^0.17	0.40	OH_OL	Darendeli	1-0.130551590224413*EXP(-0.0685147912965816*H+0.2766337489485)	28
5	S	18			0	50	152.65*H^0.35	0.44	S	Darendeli	1-0.130551590224413*EXP(-0.0685147912965816*H+0.2766337489485)	28
6	G	18			0	50	187.37*H^0.36	0.39	Rollins_10_20m	Darendeli	1-0.130551590224413*EXP(-0.0685147912965816*H+0.2766337489485)	28
7	LP	20			0	150	245.32*H^0.45	0.47	LVE	Darendeli	1-0.130551590224413*EXP(-0.0685147912965816*H+0.2766337489485)	28
8	SFLP	20			0	150	198.53*H^0.48	0.47	LVE	Darendeli	1-0.130551590224413*EXP(-0.0685147912965816*H+0.2766337489485)	28
9	GR	20			0	150	165.07*H^0.47	0.41	LVE	Darendeli	1-0.130551590224413*EXP(-0.0685147912965816*H+0.2766337489485)	28
10	CO	20			0	150	153.41*H^0.45	0.41	LVE	Darendeli	1-0.130551590224413*EXP(-0.0685147912965816*H+0.2766337489485)	28
11	SFCO	20			0	150	159.31*H^0.39	0.38	LVE	Darendeli	1-0.130551590224413*EXP(-0.0685147912965816*H+0.2766337489485)	28
12												



\* NC92soil is available at: <http://www.pongovernance1420.gov.it/en/>

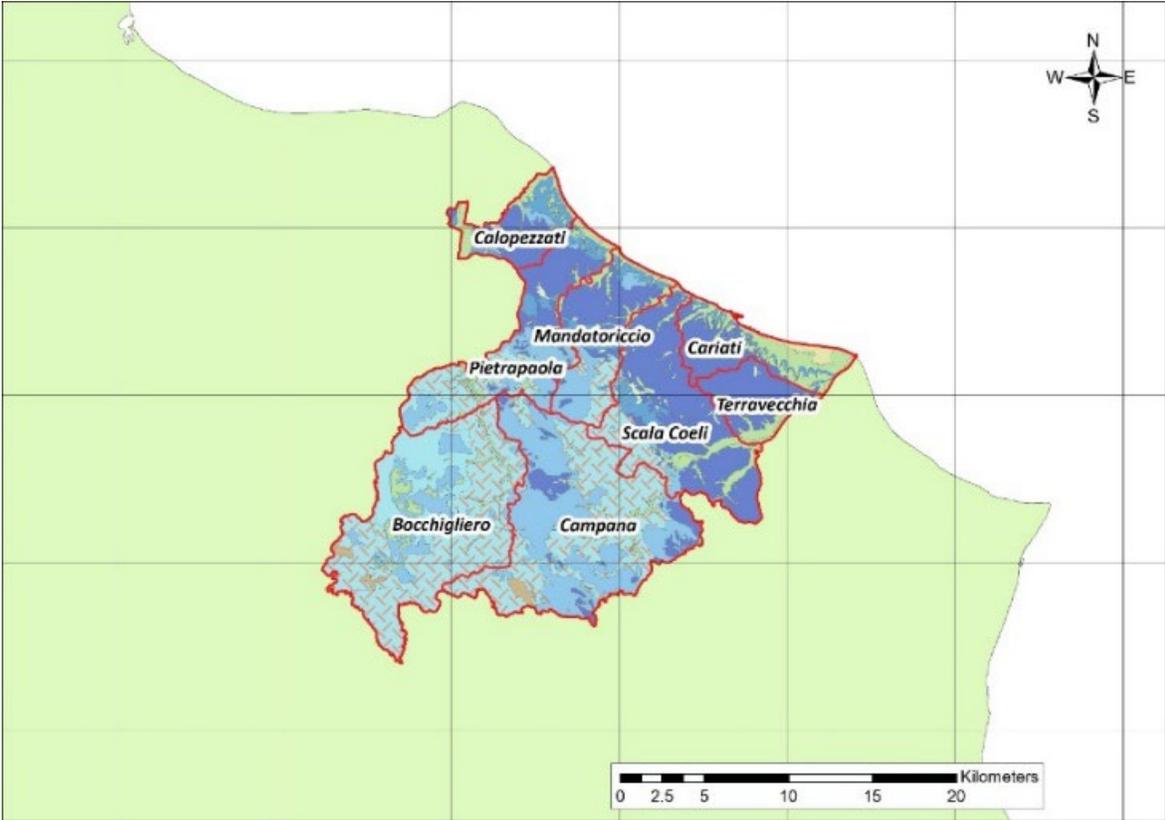


PON Governance Rischio Sismico e Vulcanico

# Il caso studio del Contesto Territoriale di Cariati (CS)

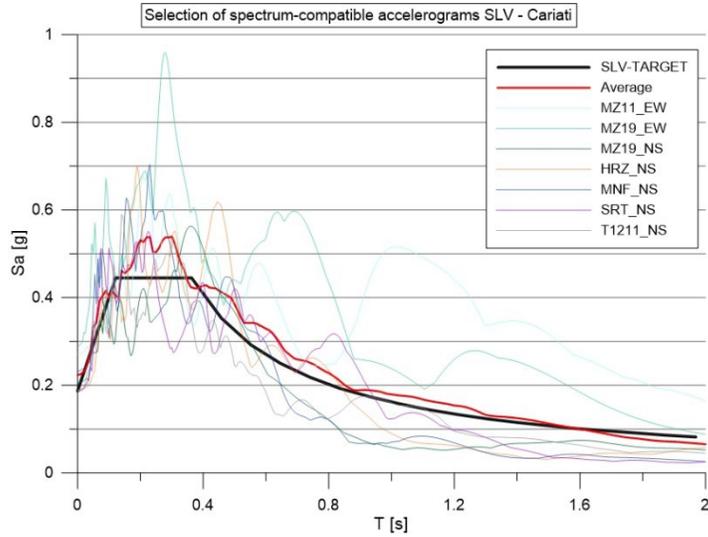
- Le mappe SM, disegnate alla scala minima 1:5.000-1:10.000, tengono conto delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche che controllano il movimento del suolo e descrivono il sottosuolo in termini di unità geologico-tecniche.

RI					LP			
GW		OL		0,31,61,18	GR			
GP		OH			CO			
GM		MH			AL			
GC		ML			LPS			
SW		CL			GRS			
SP		CH			COS			
SM					PT	0,8,14,38		
SC								



Engineering-geological maps for 8 municipalities in the Cariati CT.

# Input sismico



## Accelerogrammi selezionati compatibili con lo spettro SLV

Event	Database	Station	Component	Mw	Repi	SF
CENTRAL_ITALY 30/10/2016 06:40:18	ESM	T1211	NS	6	39.3	2.5
SICILY 13/12/1990 00:24:26	ESM	SRT	NS	5.6	36.9	1
CENTRAL_ITALY 30/10/2016 06:40:18	ESM	MZ19	EW	6.5	22.6	0.8
NORTHWESTERN BALKAN_PENINSULA 24/05/1979 17:23:17	ESM	HRZ	NS	6.2	29.9	2.7
CENTRAL_ITALY 26/10/2016 19:18:06	ESM	MZ19	NS	5.9	30.4	2.8
CENTRAL_ITALY 30/10/2016 06:40:18	ESM	MZ11	EW	6.5	24.8	1.6
CENTRAL_ITALY	ESM	MNF	NS	6.5	26	1

## Parametri sorgente

Mmin	Mmax	Rmin	Rmax
5.5	7	10	50

*La selezione della suite di accelerogrammi è stata effettuata utilizzando il software InSpector (Acunzo et al., 2014).*

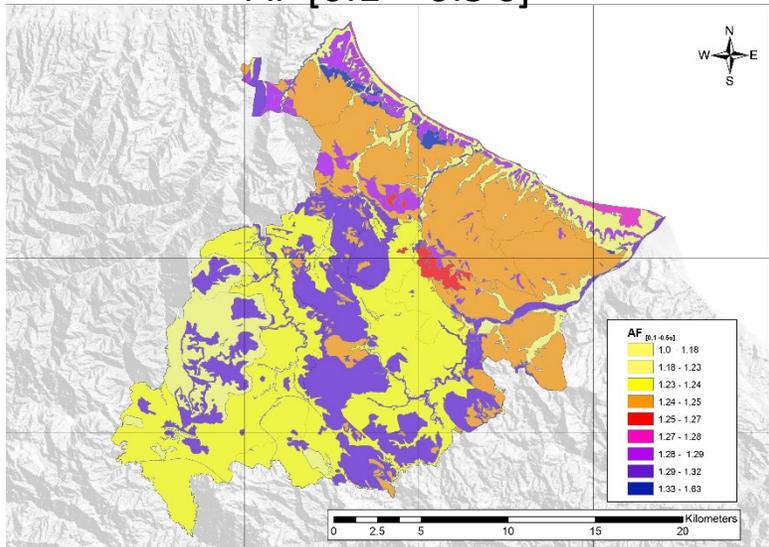
# Risultati

in termini di fattori di amplificazione

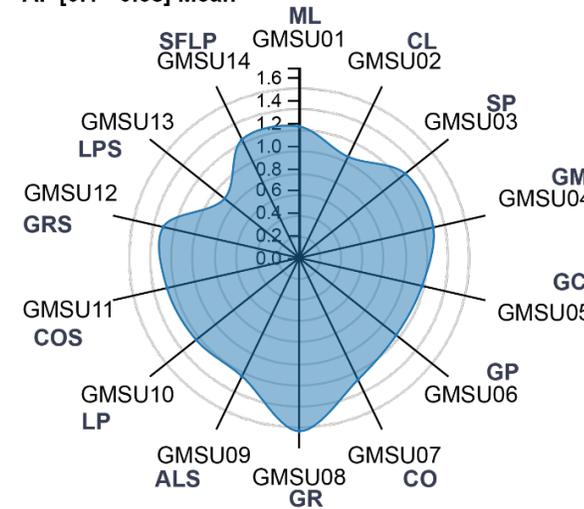
# Mappe

dei fattori di amplificazione

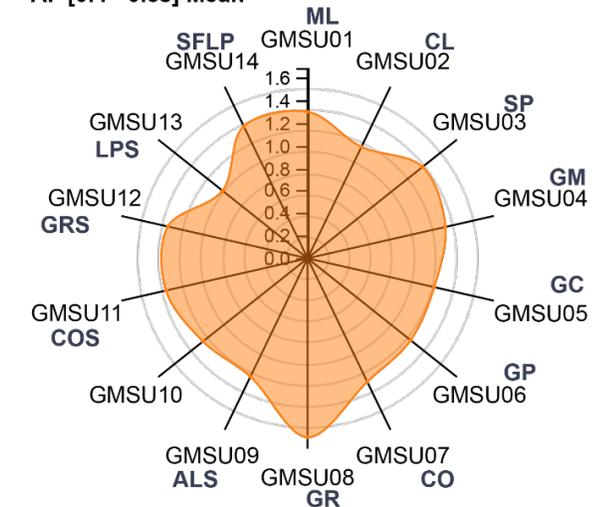
AF [0.1 – 0.5 s]



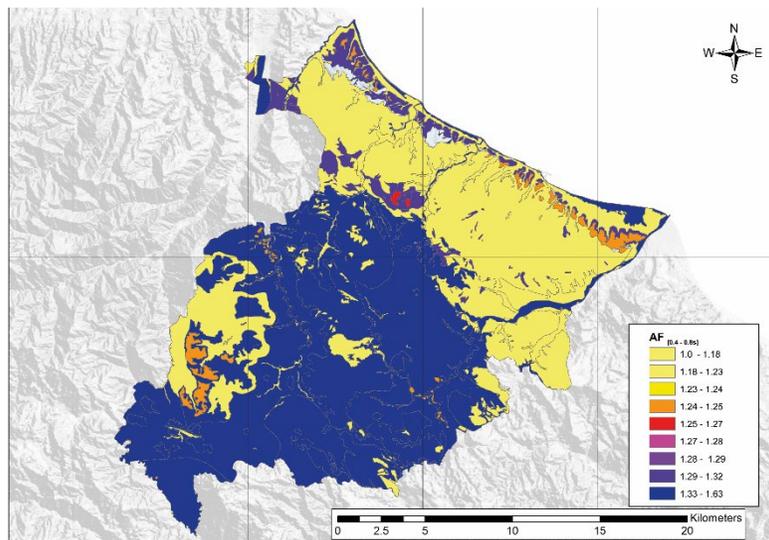
AF [0.1 - 0.5s] Mean



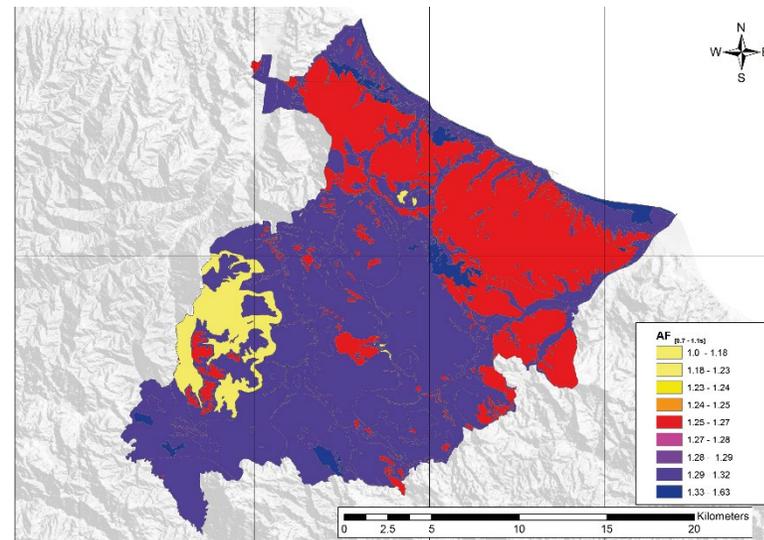
AF [0.4 - 0.8s] Mean



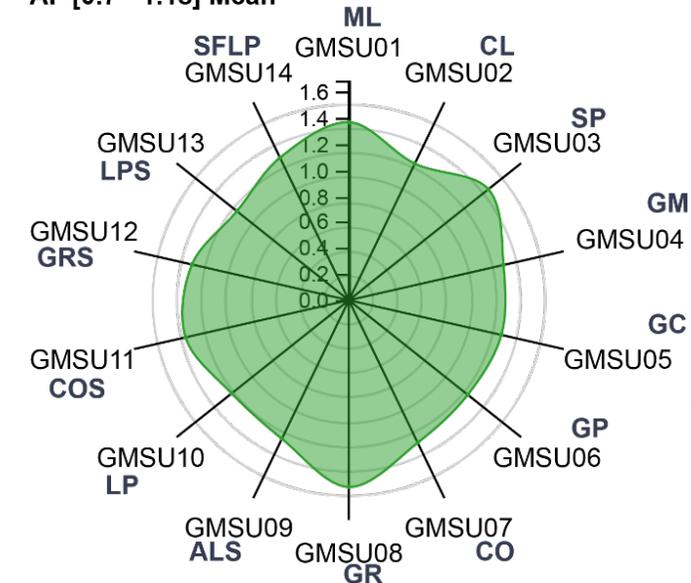
AF [0.4 – 0.8 s]



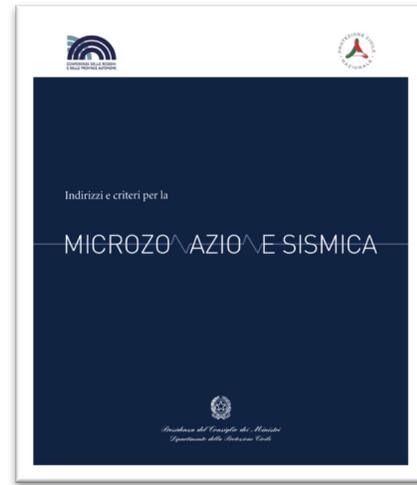
AF [0.7 – 1.1 s]



AF [0.7 - 1.1s] Mean



Graphs were created with Rawgraphs, Mauri et al. 2017



# Prospettive future

È stato proposto un parametro definito  $H_{SM}$  capace di stimare la pericolosità sismica totale attesa in un sito. È matematicamente espresso dalla convoluzione del fattore di amplificazione per la pericolosità di base ed è normalizzato in maniera tale che la sua dimensione sia in g.

$$H_{SM} = ASI_{UHS} \cdot \left( \frac{AF_{Tn}}{\Delta T} \right)$$

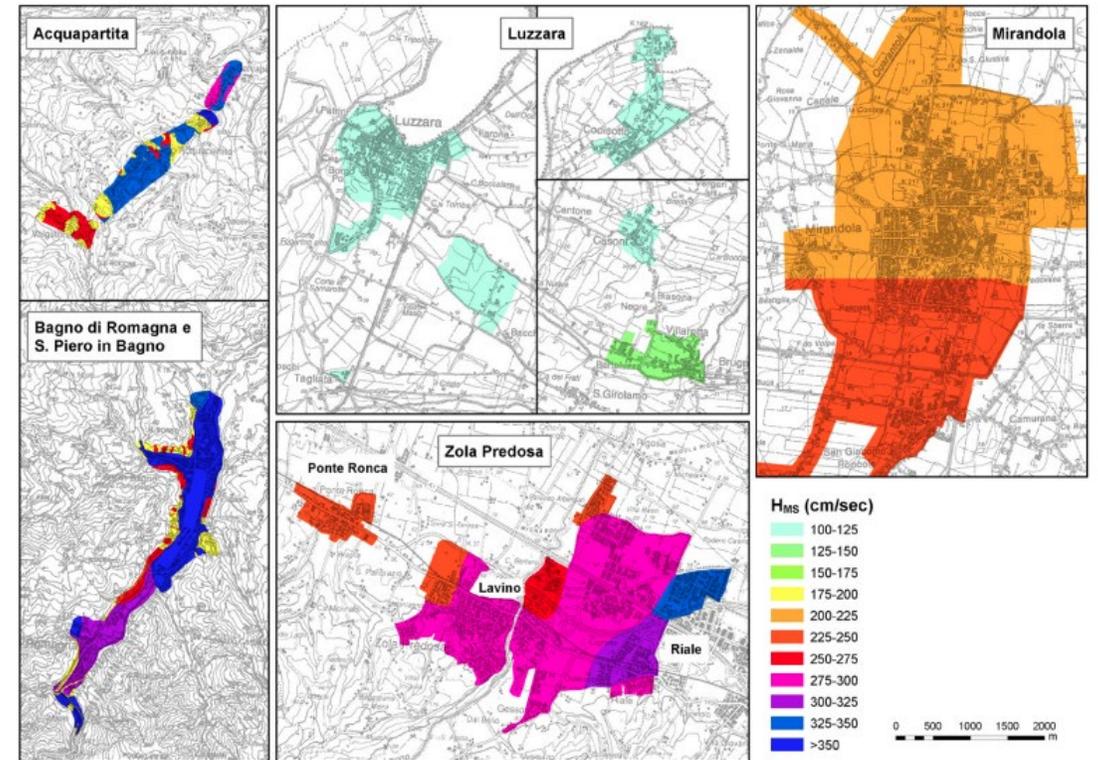
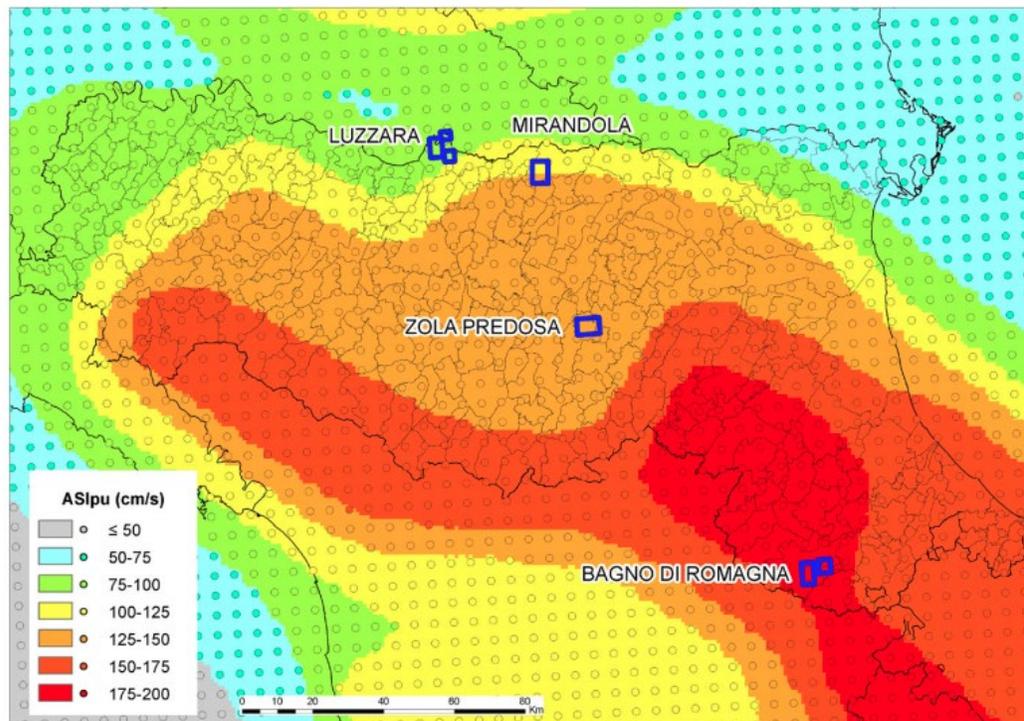
$ASI_{UHS}$  è l'intensità spettrale in accelerazione, ovvero il valore dell'integrale dello spettro calcolato sullo spettro a pericolosità uniforme (UHS) nel relativo intervallo di periodi  $T_n$  con  $n=1,2,3$ :  $T_1=0.1-0.5s$ ;  $T_2=0.4-0.8s$ ;  $T_3=0.7-1.1s$ ;  
 $\Delta T$  è l'ampiezza dell'intervallo di integrazione (0.4 s);  
 $AF_{Tn}$  è il fattore di amplificazione, calcolato da simulazioni numeriche.

In particolare, l'effettivo contributo di  $H_{SM}$  può essere visto in due prospettive, mutuamente non esclusive:

- **Pianificazione:** definire priorità di intervento per la mitigazione del rischio sismico, in funzione delle categorie urbanistiche e del livello di pericolosità.
- **Monitoraggio e controllo:** considerare la pericolosità, alla stessa stregua dell'attuale classificazione sismica, per fornire una graduatoria alla quale il decisore associa determinate procedure tecnico amministrative: esempio procedure di verifica e controllo sui progetti.

# Linee guida per lo studio delle amplificazioni

## Prime applicazioni del parametro $H_{SM}$



*\*modificata da Martelli et al. (2020) Evaluation and representation of the local seismic hazard through the HMS parameter: example in Emilia-Romagna. BGTA. Vol. 61, n. 1.*

# Conclusioni

- ❑ È stato illustrato un **archivio** di dati utile ad individuare le **curve** di decadimento del modulo al taglio e di incremento del fattore di smorzamento.
  - ❑ L'approccio illustrato per individuare l'**input sismico** è utile ad operare adottando un **approccio probabilistico**.
  - ❑ È stata illustrata la **procedura utile a calcolare i fattori di amplificazione nei tre intervalli**  $[0.1 - 0.5s]$ ,  $[0.4 - 0.8s]$  e  $[0.7 - 1.1s]$ .
  - ❑ È stata illustrata la teoria relativa al parametro **HSM** capace di stimare la pericolosità sismica totale attesa in un sito.
  - ❑ I nuovi metodi proposti possono descrivere la **variabilità spaziale** dei fattori di amplificazione ed incorporare l'incertezza, anche attraverso l'utilizzo di dataset estensivi di microzonazione sismica.
- 

# Bibliografia

- ❑ Acunzo G., Pagliaroli A., Scasserra G. (2014) IN-SPECTOR: un software di supporto alla selezione di accelerogrammi naturali spettrocompatibili per analisi geotecniche e strutturali, Proc. 33° Convegno Nazionale GNGTS, Bologna 25-27 Novembre 2014, volume 2, 107-114, ISBN: 978-88-940442-2-5.
- ❑ Baglione M., Bottero D., Brammerini F., Castenetto S., Gaudiosi I., Martelli L., Mori F., Moscatelli M., Motti A., Naso G., Tiberi P., Spina D. (2022) Microzonazione sismica Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazione
- ❑ Cesarano, M., Porchia, A., Romagnoli, G., Peronace, E., Mendicelli, A., Nocentini, M., Naso, G., Castenetto, S., Catalano, S., & Moscatelli, M. (2022). Multiscale geothematic maps for using the database from the Italian Seismic Microzonation Project: an example of application in the Calabria Region (Southern Italy). *Italian Journal of Geosciences*, 141 (1): 35–52 doi: <https://doi.org/10.3301/IJG.2022.03>
- ❑ Falcone, G., Acunzo, G., Mendicelli, A., Mori, F., Naso, G., Peronace, E., Porchia, A., Romagnoli, G., Tarquini, E., & Moscatelli, M. (2021). Seismic amplification maps of Italy based on site-specific microzonation dataset and one-dimensional numerical approach. *Engineering Geology*, 289, 106170.
- ❑ Falcone G., Acunzo G. (2020) Software NC92Soil, [governancerischio.protezionecivile.gov.it](http://governancerischio.protezionecivile.gov.it)
- ❑ Gaudiosi, I., Romagnoli, G., Albarello, D., Fortunato, C., Imprescia, P., Moscatelli, M. & Stigliano F. (2021) Verso un approccio totalmente probabilistico alle stime di pericolosità sismica: studio della variabilità delle curve del modulo secante normalizzato,  $G/G_0$  ( $\gamma$ ) e del rapporto di smorzamento,  $D$  ( $\gamma$ ) con la deformazione di taglio, associate alle unità geologico-tecniche degli Studi di Microzonazione Sismica, Proc. of the XXXIX GNGTS
- ❑ Gaudiosi, I., Romagnoli G., Albarello, D., Fortunato, C., Imprescia, P., Stigliano, F., Moscatelli, M. (under review)  $G/G_0$  ( $\gamma$ ) and  $D(\gamma)$  curves joined with engineering geological units in Italy. *Scientific Data*
- ❑ Gruppo di Lavoro Fivizzano (2019), Microzonazione sismica di livello 3: il caso del centro abitato di Fivizzano (MS), Roma, CNR Edizioni. CODICE ISBN edizione cartacea: 978 88 8080 334 8 – edizione digitale: 978 88 8080 335 5; <https://www.centromicrozonazioneisismica.it/it/download>
- ❑ Gruppo di lavoro Protocolli di acquisizione ed elaborazione dati relativi alle attività di Microzonazione Sismica di livello 3 in Italia Centrale (2020) Supporto e coordinamento tecnico-scientifico per le attività di microzonazione sismica dei territori colpiti dagli eventi sismici a far data dal 24 agosto 2016. Roma, CNR Edizioni. CODICE ISBN edizione cartacea: 978 88 8080 407 9 – edizione digitale: 978 88 8080 408 6; <https://www.centromicrozonazioneisismica.it/it/download>
- ❑ Mori, F., Mendicelli, A., Moscatelli, M., Romagnoli, G., Peronace, E., & Naso, G. (2020). A new  $V_s30$  map for Italy based on the seismic microzonation dataset. *Engineering Geology*, 275, 105745.
- ❑ Romagnoli, G., Tarquini, E., Porchia, A., Catalano S., Albarello D., Moscatelli, M. (2022) Constraints for the  $V_s$  profiles from engineering-geological qualitative characterization of shallow subsoil in seismic microzonation studies. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*
- ❑ Sgobba, S., Felicetta, C., Russo, E., D'Amico, M., Lanzano, G., Pacor F., Luzi, L., Baraschino, R., Baltzopoulos, G., Iervolino, I. The online graphical user interface of REXELweb for the selection of accelerograms from the Engineering Strong Motion database (ESM). 39° Convegno Nazionale Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida (GNGTS), 22 – 24 giugno 2021 (online).

Grazie per  
l'attenzione!

iolanda Gaudiosi

[iolanda.gaudiosi@cnr.it](mailto:iolanda.gaudiosi@cnr.it)