FONTS: **F**requencies **O**riented **N**atural **T**ime-histories **S**election

NUOVA METODOLOGIA PER UNA SELEZIONE FREQUENZA ORIENTATA DI ACCELEROGRAMMI NATURALI E SIMULATI

Gianluca Acunzo (CNR-IGAG)
Noemi Fiorini (CNR-IGAG)
Federico Mori (CNR-IGAG)
Giuseppe Naso (DPC)
Fabio Sabetta(DPC)

IMPIEGO DI ACCELEROGRAMMI: COSA AGGIUNGE LA NUOVA BOZZA DI REVISIONE NTC 16 FEBBRAIO 2015 RISPETTO ALLE NTC08

- CAP 3.2.3.6

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Servizio Tecnico Centrale

BOZZA DI REVISIONE DELLE

NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

di cui al parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n.53/2012, espresso nell'Adunanza dell'Assemblea Generale del 14 novembre 2014

www.lavoripubblici.it

L'uso di storie temporali del moto del terreno generate mediante simulazione del meccanismo di sor
ammesso a condizione che siano adeguatamente giustificate le ipotesi relative alle caratteristiche sis
del mezzo di propagazione.

L'uso di storie temporali del moto del terreno naturali o registrate è ammesso a condizione che la lo
della sismicità del sito e sia adeguatamente giustificata in base alle caratteristiche sismogenetiche d
del sito di registrazione, alla magnitudo, alla distanza dalla sorgente e alla massima accelerazione ori

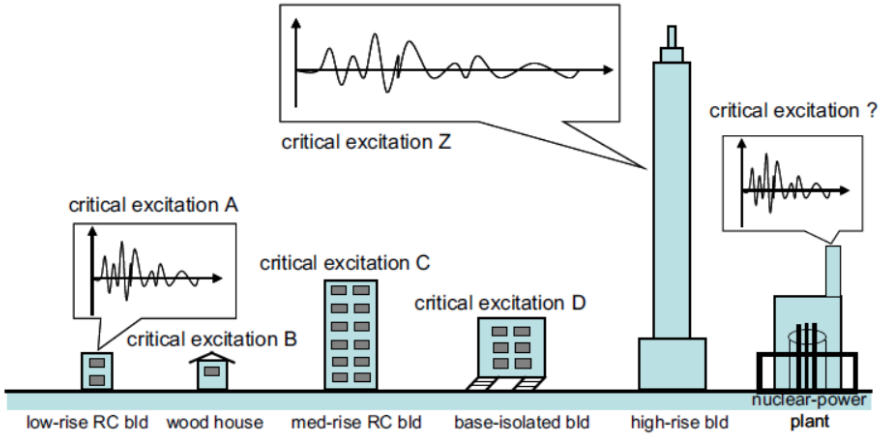
Le storie temporali del moto del terreno registrate devono essere selezionate e scalate in modo tale che
approssimino gli spettri di risposta elastici nel campo dei periodi propri di vibrazione di interesse per il problema in esame. Nello specifico la compatibilità con lo spettro di risposta elastico deve essere verificata in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi associati alle storie per un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ del 5%. L'ordinata spettrale media non deve presentare uno scarto in difetto superiore al 10% ed uno scarto in eccesso superiore al 30%, rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico in alcun punto dell'intervallo dei periodi propri di vibrazione di interesse per l'opera in esame per i diversi stati limite.

….introduce la condizione di compatibilità spettrale anche per i naturali, aggiungendo la specifica sullo scarto % superiore e rendendo l'intervallo di ricerca orientato alla specifica opera e stato limite di verifica

FONTS: **F**requencies **O**riented **N**atural **T**ime-histories **S**election

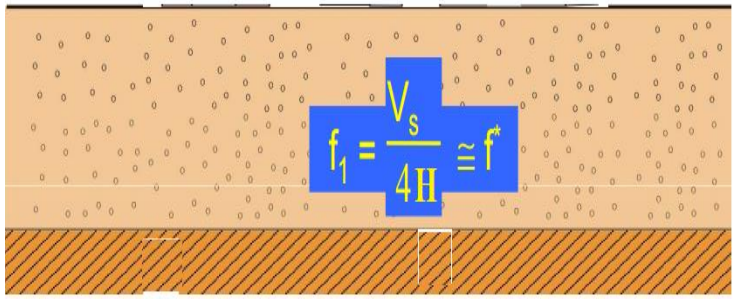
L'idea alla base della metodologia è quella di scegliere accelerogrammi «critici» per un dato sistema dinamico seguendo il criterio del contenuto in frequenza più sfavorevole (risonanza) sulla base delle caratteristiche del sito e/o dell'edificio da analizzare

SISTEMA DINAMICO EDIFICIO



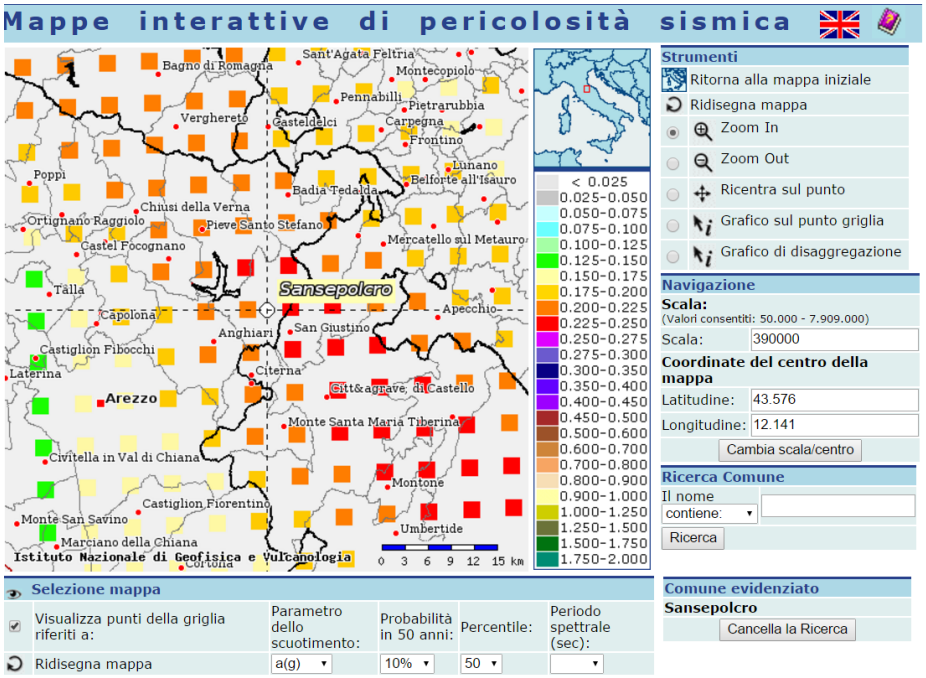
Critical excitation for nuclear power plant and high-rise buildings (Takewaki 2008). RC, reinforced concrete. (See Figure 15.1 for more information.)

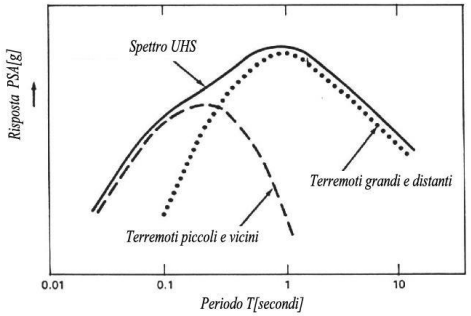
SISTEMA DINAMICO TERRENO

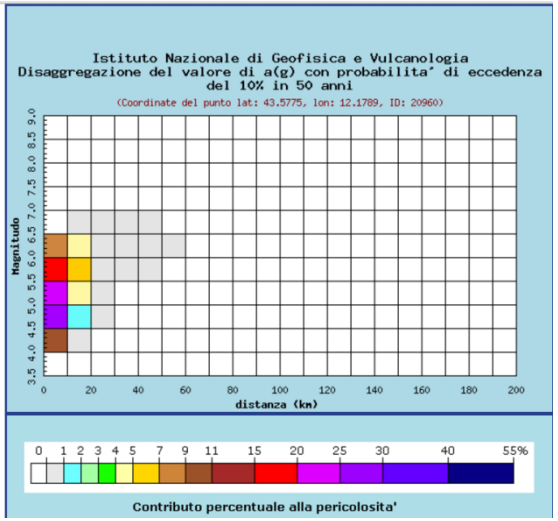


FONTS: **F**requencies **O**riented **N**atural **T**ime-histories **S**election

……accelerogrammi «critici» e <u>comunque</u> rappresentativi della sismicità del sito, delle sorgenti sismogenetiche (magnitudo, distanza) e della massima accelerazione orizzontale attesa al suolo

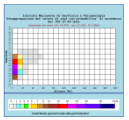
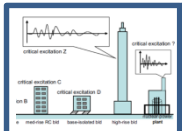
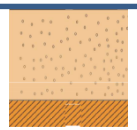






FONTS: **F**requencies **O**riented **N**atural **T**ime-histories **S**election

……con l'obiettivo di stilare una graduatoria di accelerogrammi naturali ed eventualmente simulati per quel dato sistema dinamico oggetto di studio rappresentative della sismicità del sito

Nome stazione	*Data evento*	*Mw*	*Repi [Km]*	*Componente*	*Contributo pericolosità [%]*	*Fattore di Scala*	*Posizione in graduatoria edificio*	*Posizione in graduatoria terreno*
0EQT Temporanea	30/06/2013	4.8	4.3	E/O	25.9	3.65	10	11
0EQT Temporanea	30/06/2013	4.8	4.3	N/S	25.9	2.67	8	12
Laino Temporanea	25/10/2012	5.3	8.5	E/O	22.3	3.37	4	3
Laino Temporanea	25/10/2012	5.3	8.5	N/S	22.3	3.63	13	7
L'Aquila-V.Aterno-M.Pettino	07/04/2009	4.5	1.4	E/O	25.9	3.51	7	10
L'Aquila-V.Aterno-M.Pettino	**09/04/2009**	**5.4**	**11**	**N/S**	**22.3**	**3.53**	**1**	**2**
Cesi Monte	14/10/1997	5.6	8.7	E/O	16	3.41	12	8
Cesi Monte	14/10/1997	5.6	8.7	N/S	16	1.97	5	9
Mormanno	**25/10/2012**	**5.3**	**1.7**	**E/O**	**22.3**	**2.3**	**2**	**1**
Mormanno	25/10/2012	5.3	1.7	N/S	22.3	2.2	6	4
Tarcento	11/09/1976	5.2	7	N/S	22.3	3.64	3	5
Sant'eusanio forconese	07/04/2009	5.5	5.3	E/O	16	0.801	14	13
Sant'eusanio forconese	07/04/2009	5.5	5.3	N/S	16	1.34	11	14
RM03	07/04/2009	5.5	3.4	E/O	16	3.74	9	6

FONTS: **F**requencies **O**riented **N**atural **T**ime-histories **S**election

Riassumendo…

La metodologia proposta si propone di guidare la scelta degli accelerogrammi di input al basamento per il calcolo della risposta in superficie seguendo **il criterio del contenuto in frequenza più sfavorevole (risonanza) sulla base delle caratteristiche del sito e dell'edificio da analizzare.**

In che modo?

COLMANDO:

- ASSENZA nei database mondiali di accelerogrammi naturali ad elevate magnitudo (Mw>6.0) e distanze ridotte (<10Km) mediante l'impiego di accelerogrammi simulati.

RISPETTANDO:

- PERICOLOSITA' DI BASE (contributi alla pericolosità da analisi di disaggregazione)
- INCERTEZZA ASSOCIATA AGLI STUDI PROBABILISTICI DI PERICOLOSITA' (frazione di sigma) tramite la condizione di spettro-compatibilità con lo spettro a pericolosità uniforme del sito in esame.

FONTS: **F**requencies **O**riented **N**atural **T**ime-histories **S**election

- RISPETTO DELL'INCERTEZZA ASSOCIATA AGLI STUDI PROBABILISTICI DI PERICOLOSITA'

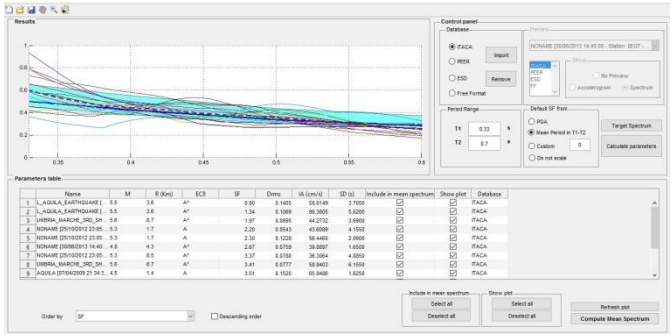
FONTS ricerca una compatibilità spettrale preliminare per ogni accelerogramma in corrispondenza del periodo caratteristico dell'edificio e/o del terreno di interesse.
La ricerca del *best-fit* può essere realizzata facilmente mediante il software gratuito *In-Spector* (Acunzo et al., 2014) e consiste nella ricerca di un fattore di scala FS che rende minima la differenza con lo spettro obiettivo nel range di periodi di interesse, ammettendo un valore compreso tra 0.25 e 4 (Krinitszky and Chang 1979).

In-Spector

CNR-IGAG

G. Acunzo, A. Pagliaroli, G. Scasserra

0.25 < FS < 4.0



FONTS: **F**requencies **O**riented **N**atural **T**ime-histories **S**election

Le assunzioni e i limiti della procedura attualmente sono:

- l'utilizzo allo stato attuale del solo DB ITACA;
- l'assunzione che i siti del DB ITACA marcati con A e A* siano effettivamente corrispondenti a siti di riferimento rigidi.

I dati e gli strumenti necessari sono:

- I valori di disaggregazione in magnitudo e distanza (M-R http://esse1-gis.mi.ingv.it/);
- I valori delle frequenze fondamentali di vibrazione del terreno;
- I valori delle frequenze fondamentali di vibrazione della struttura da verificare o progettare;
- Il Data Base (DB) di accelerogrammi naturali ITACA (http://itaca.mi.ingv.it; Luzi et al., 2010);
- Un software per il calcolo di accelerogrammi simulati , es. *Simnost* (Sabetta Pugliese, 1996), *Belfagor* (Mucciarelli et al. 2004), *Seismoartif* (Halldorsson Papageorgiou 2005);
- Il software *In-Spector* per la scalatura degli accelerogrammi (ottenibile da inspector.igag@gmail.com);
- Il software inedito *Class_SE* (presto in linea).

FONTS: **F**requencies **O**riented **N**atural **T**ime-histories **S**election

SOFTWARE CLASS_SE

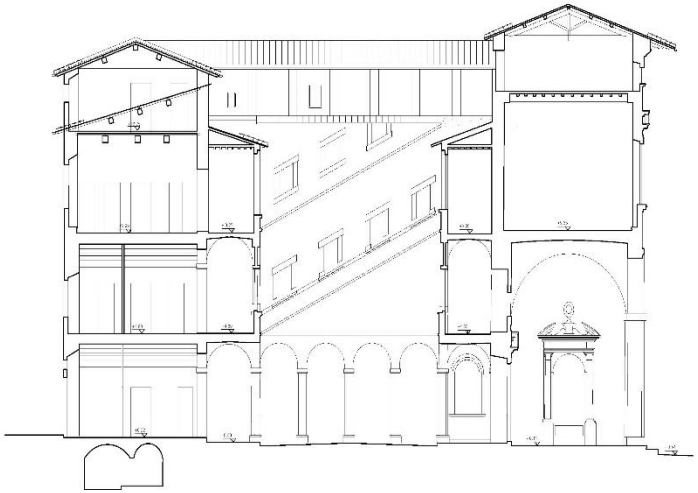
E' stato sviluppato un software denominato **Class_SE** che, per gli accelerogrammi naturali e sintetici scelti, consente di stilare una graduatoria degli accelerogrammi maggiormente gravosi per la struttura e per il terreno. Il software adotta i seguenti criteri:

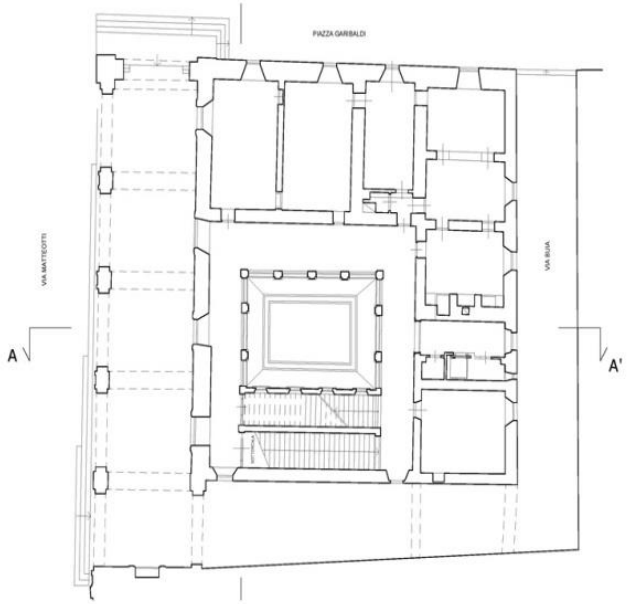
-la graduatoria orientata alla struttura è ottenuta attraverso il calcolo dell'intensità di Housner con estremi di integrazione il 2° periodo della struttura e il 1° periodo "elongato" (circa il doppio se l'edificio è in muratura e 1,5 volte se l'edificio è in cemento armato).
-la graduatoria orientata al terreno è ottenuta attraverso il calcolo di un integrale sullo spettro di Fourier in un range di +/- 0.2 Hz intorno alla frequenza fondamentale del terreno

FONTS: **F**requencies **O**riented **N**atural **T**ime-histories **S**election

CASO APPLICATIVO :

Municipio di Sansepolcro (AR) Palazzo delle Laudi





FONTS: **F**requencies **O**riented **N**atural **T**ime-histories **S**election

CASO APPLICATIVO : *Municipio di Sansepolcro (AR) Palazzo delle Laudi*

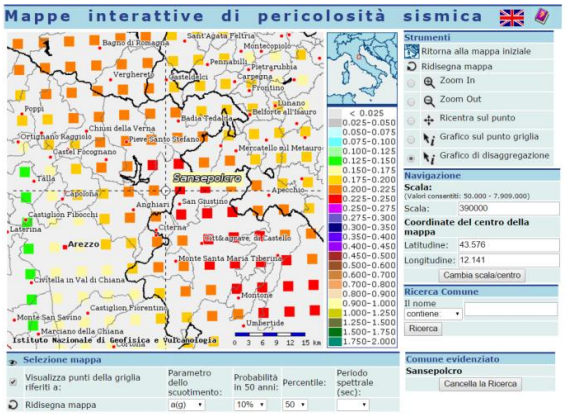
1. Misure di rumore sul terreno e sull'edificio

$f_{terreno}$ = 1.3 Hz (da prove HVSR)

$f_{edificio}$ = 2.9 – 3.0 Hz (f_1 e f_2 da prove di rumore ambientale)

2. Definizione degli intervalli di magnitudo di interesse per le analisi e contributo percentuale alla pericolosità di base (analisi di disaggregazione a 475 anni per il valore di PGA)

- Contributo alla pericolosità > 50 % → 3 Classi



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 43.5775, lon: 12.1789, ID: 20960)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0	10.2	25.9	22.3	16	8.22	0	0	0	0	0
10-20	0	0.179	1.82	4.06	5.29	4.27	0.042	0	0	0	0
20-30	0	0	0.001	0.12	0.575	0.778	0.026	0	0	0	0

FONTS: Frequencies Oriented Natural Time-histories Selection

CASO APPLICATIVO : *Municipio di Sansepolcro (AR) Palazzo delle Laudi*

3. Ricerca accelerogrammi naturali nel database ITACA per classi di magnitudo

	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0
0-10	0	10.2	25.9	22.3	16

Waveforms Search

Simple search | Advanced search

Magnitude (M_W or M_L)	from [≥]: 4.5	to [<]: 5.0
Epicentral distance [Km]	from [≥]: 0	to [<]: 10
Corrected PGA [cm/s^2]	from [≥]:	to [<]:
PGV [cm/s]	from [≥]:	to [<]:
Event id	from [≥]:	to [<]:
Date (YYYY-MM-DD)	from [≥]:	to [<]:
Station Code		
Station Name		
EC8	A	

```
( ( ( mag_value_whatever >= 4.5 ) AND ( mag_value_whatever < 5.0 ) ) AND ( ( ( epi_dist >= 0 )
AND ( epi_dist < 10 ) ) AND ( EXISTS (SELECT 'x' FROM station WHERE ( ( ( station.ec8_code like
```

New Search | Search | Parameter table

Results **1** - **9** of **9**

Date	M_W	M_L	Stat. Code	EC8	R epi. [km]
2009-04-07 21:34:30	4.5	4.3	AQP	A	1.400
2013-06-23 15:01:33	4.7	4.4	T0912	A*	0.841
2013-06-30 14:40:08	4.8	4.4	0EQT	A*	4.266
1980-12-01 19:04:29		4.6	OPB	A*	8.700
2010-08-16 12:54:47	4.7	4.2	LPR	A*	7.300
2013-06-23 15:01:33	4.7	4.4	VGL	A*	9.602
2013-06-30 14:40:08	4.8	4.4	VGL	A*	9.525
2009-06-22 20:58:40	4.7	4.6	AQP	A	7.900
2009-04-07 21:34:30	4.5	4.3	RM01	A*	9.995

Cluster 4.5-5.0

18 accelerogrammi

(Peso 25.9%)

Waveforms Search

Simple search | Advanced search

Magnitude (M_W or M_L)	from [≥]: 5.0	to [<]: 5.5
Epicentral distance [Km]	from [≥]: 0	to [<]: 10
Corrected PGA [cm/s^2]	from [≥]:	to [<]:
PGV [cm/s]	from [≥]:	to [<]:
Event id	from [≥]:	to [<]:
Date (YYYY-MM-DD)	from [≥]:	to [<]:
Station Code		
Station Name		
EC8	A	

```
( ( ( mag_value_whatever >= 5.0 ) AND ( mag_value_whatever < 5.5 ) ) AND ( ( ( epi_dist >= 0 )
AND ( epi_dist < 10 ) ) AND ( EXISTS (SELECT 'x' FROM station WHERE ( ( ( station.ec8_code like
```

New Search | Search | Parameter table

Results **1** - **11** of **11**

Date	M_W	M_L	Stat. Code	EC8	R epi. [km]
1976-09-11 16:31:10	5.2	5.5	TRC	A	7.000
2012-10-25 23:05:24	5.3	5.0	MRM	A	1.686
2012-10-25 23:05:24	5.3	5.0	0LAI	A*	8.549
1997-10-12 11:08:36	5.2	5.1	FORC	A*	4.100
1998-03-21 16:45:09	5.0	4.4	CESM	A*	6.300
2009-04-07 09:26:29	5.1	4.8	RM01	A*	7.833
1997-10-12 11:08:36	5.2	5.1	CESM	A*	9.800
2009-04-07 09:26:29	5.1	4.8	AQP	A	5.500
1980-11-25 17:06:44	5.0	5.0	ALT	A	8.200
2009-04-07 09:26:29	5.1	4.8	RM03	A*	9.782
2007-07-04 23:55:33	5.2	4.9	STB	A*	4.000

Cluster 5.0-5.5

22 accelerogrammi (Peso 22.3%)

Waveforms Search

Simple search | Advanced search

Magnitude (M_W or M_L)	from [≥]: 5.5	to [<]: 6
Epicentral distance [Km]	from [≥]: 0	to [<]: 10
Corrected PGA [cm/s^2]	from [≥]:	to [<]:
PGV [cm/s]	from [≥]:	to [<]:
Event id	from [≥]:	to [<]:
Date (YYYY-MM-DD)	from [≥]:	to [<]:
Station Code		
Station Name		
EC8	A	

```
( ( ( mag_value_whatever >= 5.5 ) AND ( mag_value_whatever < 6 ) ) AND ( ( ( epi_dist >= 0 )
AND ( epi_dist < 10 ) ) AND ( EXISTS (SELECT 'x' FROM station WHERE ( ( ( station.ec8_code like
```

New Search | Search | Parameter table

Results **1** - **4** of **4**

Date	M_W	M_L	Stat. Code	EC8	R epi. [km]
2009-04-07 17:47:37	5.5	5.4	MI05	A*	5.302
1997-10-14 15:23:09	5.6	5.5	CESM	A*	8.700
2009-04-07 17:47:37	5.5	5.4	RM03	A*	3.394
1984-05-11 10:41:48	5.5	5.7	PSC	A	9.100

Cluster 5.5-6.0

8 accelerogrammi (Peso 16.0%)

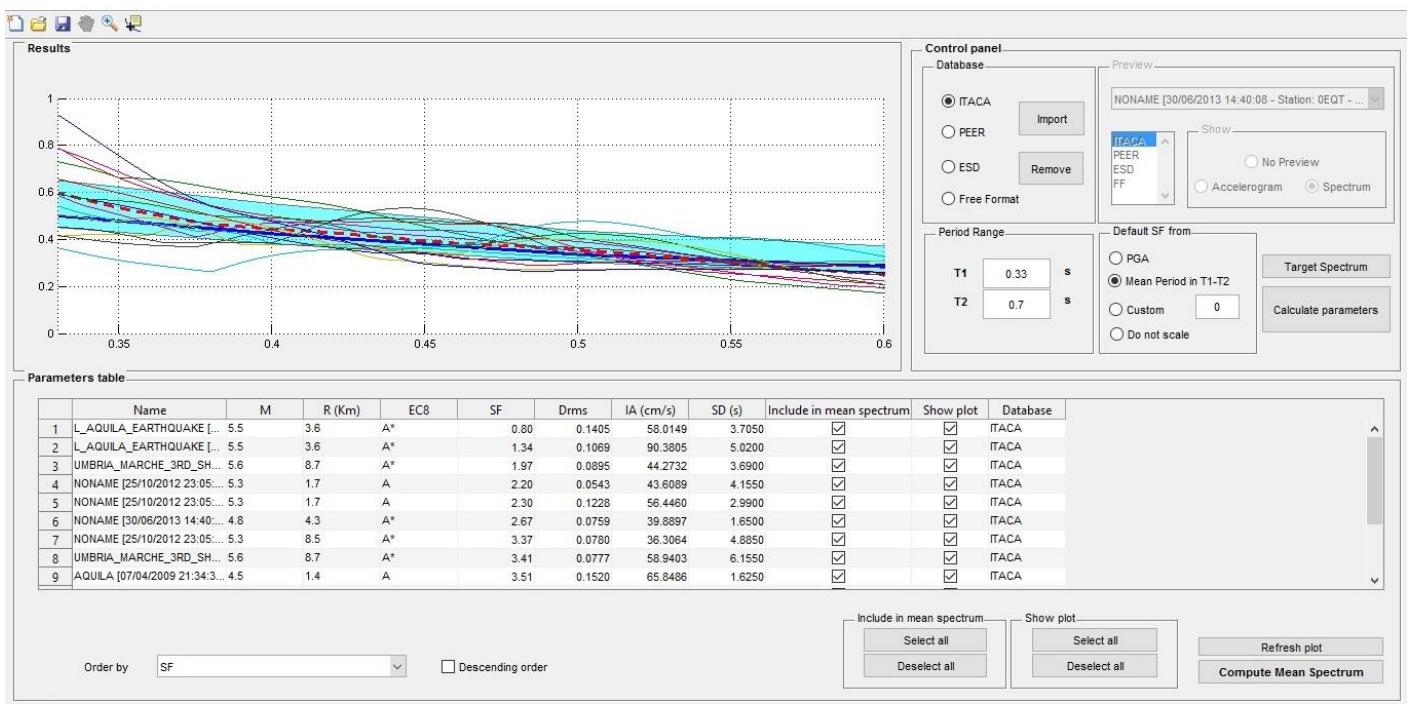
→48 accelerogrammi totali

FONTS: **F**requencies **O**riented **N**atural **T**ime-histories **S**election

CASO APPLICATIVO : *Municipio di Sansepolcro (AR) Palazzo delle Laudi*

4. Scalatura dei **singoli accelerogrammi** mediante il software *In-Spector* (Acunzo et al. 2014), ricercando il fattore di scala in grado di minimizzare lo scarto con lo spettro probabilistico a pericolosità uniforme nel range di frequenze misurate sperimentalmente sull'edificio, tenendo conto dell'elongazione del periodo per effetto del sisma.

Range di interesse: $\mathbf{T_1 < T < T_2}$ dove $T_1 = \frac{1}{f2} = 0.33$ s e $T_2 = \frac{1}{f1/2} = 0.7$ s



In-Spector

CNR-IGAG

G. Acunzo, A. Pagliaroli, G. Scasserra

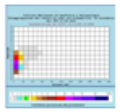
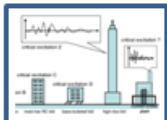
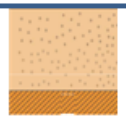
0.25 < FS < 4.0

da 48 a 14 accelerogrammi

FONTS: **F**requencies **O**riented **N**atural **T**ime-histories **S**election

CASO APPLICATIVO : *Municipio di Sansepolcro (AR) Palazzo delle Laudi*

5. Graduatoria dei segnali analizzati, specificandone la posizione in graduatoria, in relazione ai possibili effetti che si stimano sull'edificio e sul terreno, tramite software *Class_SE*. Viene inoltre evidenziato il contributo percentuale alla pericolosità e il FS adottato.

Nome stazione	*Data evento*	*Mw*	*Repi [Km]*	*Componente*	*Contributo pericolosità [%]*	*Fattore di Scala*	*Posizione in graduatoria edificio*	*Posizione in graduatoria terreno*
0EQT Temporanea	30/06/2013	4.8	4.3	E/O	25.9	3.65	10	11
0EQT Temporanea	30/06/2013	4.8	4.3	N/S	25.9	2.67	8	12
Laino Temporanea	25/10/2012	5.3	8.5	E/O	22.3	3.37	4	3
Laino Temporanea	25/10/2012	5.3	8.5	N/S	22.3	3.63	13	7
L'Aquila-V.Aterno-M.Pettino	07/04/2009	4.5	1.4	E/O	25.9	3.51	7	10
L'Aquila-V.Aterno-M.Pettino	**09/04/2009**	**5.4**	**11**	**N/S**	**22.3**	**3.53**	**1**	**2**
Cesi Monte	14/10/1997	5.6	8.7	E/O	16	3.41	12	8
Cesi Monte	14/10/1997	5.6	8.7	N/S	16	1.97	5	9
Mormanno	**25/10/2012**	**5.3**	**1.7**	**E/O**	**22.3**	**2.3**	**2**	**1**
Mormanno	25/10/2012	5.3	1.7	N/S	22.3	2.2	6	4
Tarcento	11/09/1976	5.2	7	N/S	22.3	3.64	3	5
Sant'eusanio forconese	07/04/2009	5.5	5.3	E/O	16	0.801	14	13
Sant'eusanio forconese	07/04/2009	5.5	5.3	N/S	16	1.34	11	14
RM03	07/04/2009	5.5	3.4	E/O	16	3.74	9	6

FONTS: **F**requencies **O**riented **N**atural **T**ime-histories **S**election

CONCLUSIONI:

- Sceglie l'input per le analisi numeriche più adatto a mettere in crisi il sistema dinamico da valutare (edificio, zona da edificare, zona in frana, …) tenendo conto del suo contributo percentuale alla pericolosità del sito.

- Risolve la ridotta disponibilità nei database di accelerogrammi naturali di magnitudo elevate e brevi distanze, su sito rigido, integrando i segnali naturali disponibili con accelerogrammi simulati.

- Effettua una preliminare scalatura dei singoli accelerogrammi mediante il best-fit con lo spettro a pericolosità uniforme, considerando così la frazione di sigma derivante dalle leggi di attenuazione e garantendo una coerenza spettrale non solo in termini di media.

- Rende più mirata la ricerca della spettrocompatibilità concentrandola nel range di periodi specifici del sistema strutturale, tenendo in questo modo conto dell'effettivo comportamento dinamico.

FONTS: **F**requencies **O**riented **N**atural **T**ime-histories **S**election

PROBLEMI APERTI

- Verificare la «sufficienza» e l'«efficienza» statistica di accelerogrammi naturali e sintetici (scalati e non) secondo:

Structure-Specific Scalar Intensity Measures for Near-Source and Ordinary Earthquake Ground Motions

Nicolas Luco,[a] M.EERI, and C. Allin Cornell,[b] M.EERI

357
Earthquake Spectra, Volume 23, No. 2, pages 357–392, May 2007; © 2007, Earthquake Engineering Research Institute

Al momento sono stati condotti test su accelerogrammi naturali non scalati dal database ITACA