

CALCOLO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE DA ACCELEROGRAMMI NATURALI

Definizione del moto di input

Il moto di input rappresenta il segnale sismico al bedrock, la cui ampiezza e il contenuto in frequenza dipendono dalle caratteristiche del meccanismo della sorgente sismica, dalla magnitudo e del tragitto sorgente-sito compiuta dalle onde sismiche. In generale i periodi fondamentali e la durata di un moto sismico aumentano all'aumentare del contenuto energetico e della distanza epicentrale, mentre l'ampiezza massima diminuisce allontanandosi dalla sorgente per effetto dell'attenuazione geometrica (espansione del fronte d'onda) e di quella anelastica (energia dispersa per smorzamento interno del mezzo di propagazione).

Esistono diversi approcci per la determinazione del moto di input che, per comodità, vengono raggruppati in tre categorie: metodo deterministico, metodo di simulazione stocastico e metodo probabilistico statistico.

I metodi deterministici e stocastici sono di difficile utilizzo poiché richiedono la conoscenza di parametri non sempre disponibili e stimabili talvolta con un margine di errore anche di un ordine di grandezza, mentre il metodo probabilistico statistico non sempre corrisponde agli effettivi valori riscontrabili in sito.

Nel caso in esame sono stati utilizzati accelerogrammi reali spettro-compatibili con gli spettri di risposta delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC18). Secondo la normativa italiana e la letteratura tecnica internazionale più avanzata, gli accelerogrammi reali sono da preferire, per le analisi dinamiche non lineari, rispetto agli accelerogrammi artificiali, ibridi e sintetici. L'input sismico in termini di registrazioni accelerometriche è stato definito a partire dai risultati dello studio di pericolosità sismica condotto sul territorio nazionale dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (<http://esse1.mi.ingv.it/>) e recepito dalle NTC18. Il calcolo è stato svolto per il periodo di ritorno di 475 anni.

Data la notevole variabilità delle forme spettrali previste dalle NTC18 (Figura 1), il territorio italiano è stato suddiviso in aree omogenee dal punto di vista delle forme degli spettri di risposta prescritti dalle NTC18 (mesozonazione).

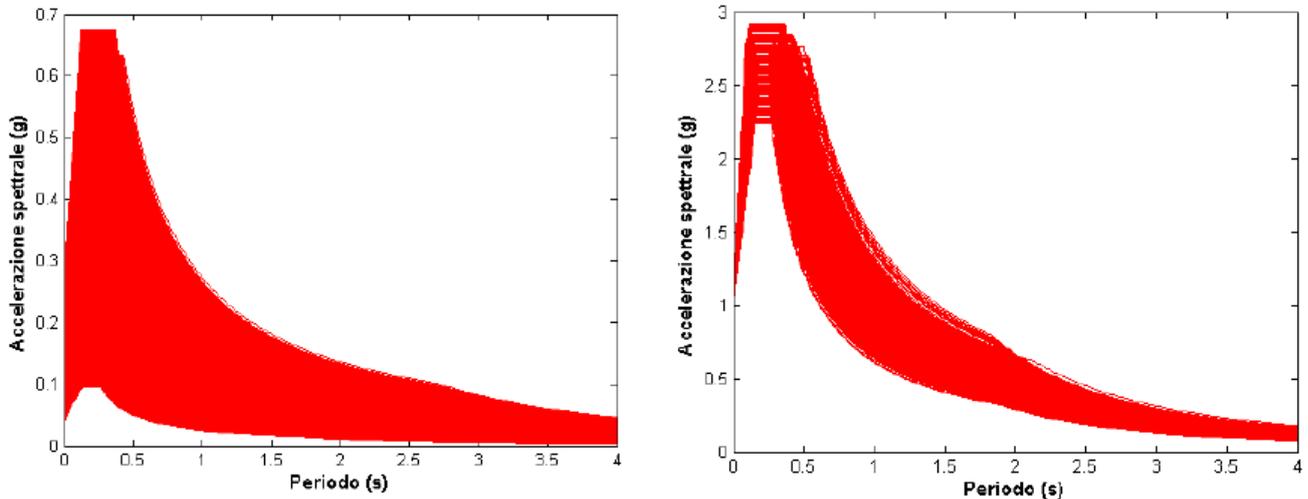


Figura 1 - Rappresentazione degli 8948 spettri in accelerazione della componente orizzontale studiati, per un periodo di ritorno di 475 anni, suolo di categoria A e vita di riferimento di 50 anni (a sinistra) e degli stessi spettri, ciascuno normalizzato al proprio valore di a_g (destra).

Queste aree sono state individuate sulla base di alcuni parametri, ovvero la deviazione spettrale media tra gli spettri del gruppo e la variazione dei due parametri T_c^* e F_0 contemplati dalle NTC18 per la definizione degli spettri. L'operazione di mesozonazione ha permesso di identificare 40 gruppi spettrali, riportati in Figura 2 con diversi colori. La sovrapposizione di questi risultati con la zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004) mostra buona corrispondenza in termini di dislocazione geografica. Per ogni gruppo è stato quindi definito uno spettro di risposta di riferimento, utilizzato per la selezione degli accelerogrammi reali mediante il codice di calcolo ASCONA (Corigliano et al., 2012).

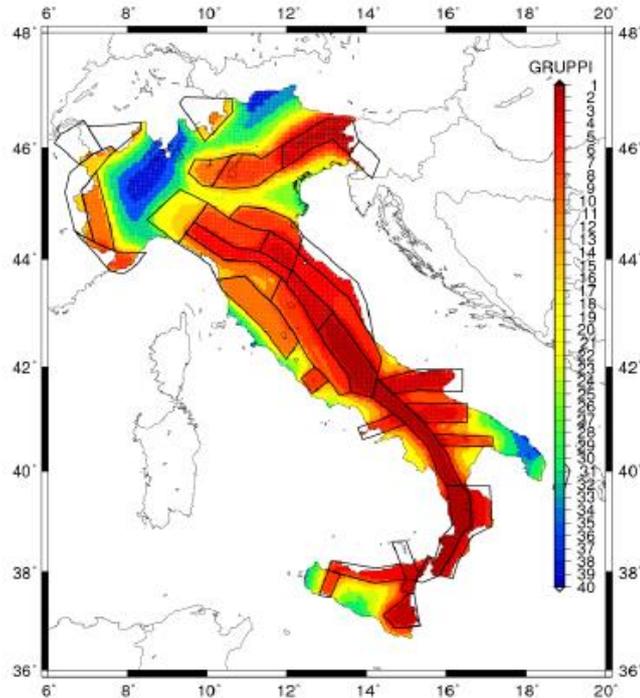


Figura 2 - Distribuzione geografica dei gruppi di spettri (mesozonazione del territorio Italiano) definiti per un periodo di ritorno di 475 anni (la numerazione corrisponde all'ordine con cui sono stati identificati, a partire da quelli con ordinate spettrali massime). La mappa è sovrapposta alla zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004).

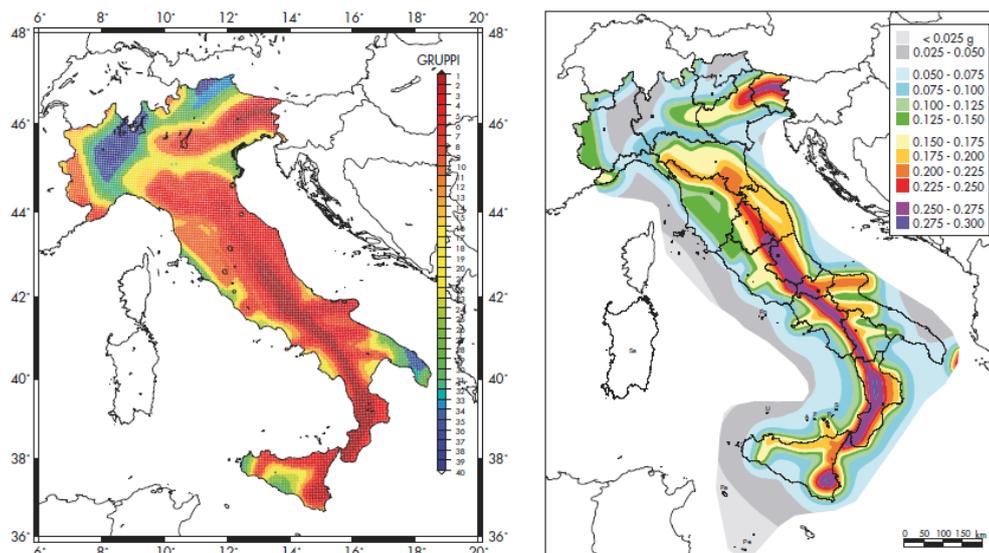


Figura 3 Confronto tra a) i risultati della mesozonazione del territorio italiano per il periodo di ritorno di 475 anni e b) la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale per lo stesso periodo di ritorno espressa in termini di accelerazione massima del terreno (Gruppo di Lavoro MPS, 2004).

La selezione delle registrazioni accelerometriche su ciascuno spettro di riferimento è stata condotta imponendo il soddisfacimento della spettrocompatibilità secondo le indicazioni delle NTC18 e limitando il valore dei fattori di scala. Gli accelerogrammi sono stati scalati linearmente alla componente orizzontale del picco di accelerazione a_g oppure, laddove questo non abbia portato a risultati soddisfacenti, le registrazioni sono state scalate rispetto all'ordinata spettrale corrispondente a T_c^* (definito dalle NTC18) dello spettro di riferimento. Gli accelerogrammi selezionati sugli spettri di riferimento di ciascun gruppo, opportunamente scalati, risultano spettrocompatibili con tutti gli spettri del gruppo. Per ottenere questo importante risultato, gli accelerogrammi sono scalati utilizzando due fattori di scala: il primo necessario per passare dallo spettro di riferimento ai singoli spettri (e quindi calcolato come rapporto tra le ordinate spettrali rispetto a cui gli accelerogrammi sono stati scalati per ottenere la spettrocompatibilità per lo spettro di riferimento), il secondo utilizzato per il raggiungimento della spettro-compatibilità (laddove non fosse verificata), imponendo cioè che il massimo scarto negativo sia pari al 10%, come prescritto dalle NTC18. Nonostante tali operazioni, i fattori di scala finali, ottenuti come prodotto del fattore di scala di ASCONA con i due di SEISM-HOME sono risultati contenuti tra 0.31 a 3.5. La bontà dell'adattamento degli spettri di risposta degli accelerogrammi selezionati rispetto allo spettro di riferimento è controllata dai valori di scarto massimo, scarto medio, deviazione spettrale media e massima e dal fattore di scala finale. SEISM-HOME permette quindi di ottenere, per il sito di interesse, un gruppo di 7 accelerogrammi reali che soddisfano i requisiti di spettro-compatibilità prescritti dalle NTC18 per il periodo di ritorno di 475 anni e per suolo di categoria A con superficie topografica orizzontale. L'input sismico viene fornito in tempi molto rapidi e può essere utilizzato direttamente nelle analisi ingegneristiche.

Modello GEOSISMICO del sito

Il modello geosismico del sito interessato dai fini progettuali è stato definito sulla base delle informazioni di carattere geologico e geofisico derivate dalle prospezioni geognostiche. Nel corso della specifica campagna di indagini sono stati realizzati SONDAGGI MECCANICI, prove di sismica IN FORO DOWN - HOLE e prove GEOTECNICHE di laboratorio sui campioni prelevati.

Nella zona oggetto di studio affiorano suoli alluvionale a carattere limoso, argilloso, sabbiosa.

I profili parametrici utilizzati vengono di seguito riportati.

Damping and ratio G/Gmax (Depth 2.70 m)

	Strain (%)	Damping (%)		Strain (%)	G/Gmax
1	3.46e-03	6.120	1	3.46e-03	1.000
2	6.50e-03	6.768	2	6.50e-03	0.936
3	1.16e-02	8.128	3	1.16e-02	0.821
4	2.04e-02	8.570	4	2.04e-02	0.743
5	3.35e-02	9.187	5	3.35e-02	0.672
6	5.92e-02	9.831	6	5.92e-02	0.554
7	8.97e-02	11.334	7	8.97e-02	0.400
8	1.38e-01	14.790	8	1.38e-01	0.319
9	2.10e-01	17.731	9	2.10e-01	0.252

Damping and ratio G/Gmax (Depth 17.50 m)

	Strain (%)	Damping (%)		Strain (%)	G/Gmax
1	5.40e-03	5.658	1	5.40e-03	1.000
2	8.58e-03	6.248	2	8.58e-03	0.903
3	1.23e-02	6.633	3	1.23e-02	0.766
4	1.94e-02	6.892	4	1.94e-02	0.718
5	2.72e-02	6.961	5	2.72e-02	0.691
6	3.53e-02	7.163	6	3.53e-02	0.639
7	5.80e-02	7.820	7	5.80e-02	0.565
8	7.96e-02	8.234	8	7.96e-02	0.517
9	1.04e-01	8.344	9	1.04e-01	0.464
10	1.28e-01	8.867	10	1.28e-01	0.420
11	1.84e-01	9.131	11	1.84e-01	0.358
12	2.51e-01	9.531	12	2.51e-01	0.309
13	3.92e-01	10.858	13	3.92e-01	0.213

Damping and ratio G/Gmax (Depth 25.50 m)

	Strain (%)	Damping (%)		Strain (%)	G/Gmax
1	5.99e-03	2.729	1	5.99e-03	1.000
2	8.62e-03	3.087	2	8.62e-03	0.939
3	1.31e-02	3.692	3	1.31e-02	0.917
4	1.84e-02	4.482	4	1.84e-02	0.897
5	2.44e-02	5.165	5	2.44e-02	0.840
6	3.33e-02	5.664	6	3.33e-02	0.777
7	4.91e-02	6.170	7	4.91e-02	0.683
8	6.73e-02	7.205	8	6.73e-02	0.600
9	9.27e-02	7.571	9	9.27e-02	0.521
10	1.20e-01	7.928	10	1.20e-01	0.451
11	1.63e-01	8.460	11	1.63e-01	0.366
12	2.23e-01	8.629	12	2.23e-01	0.286

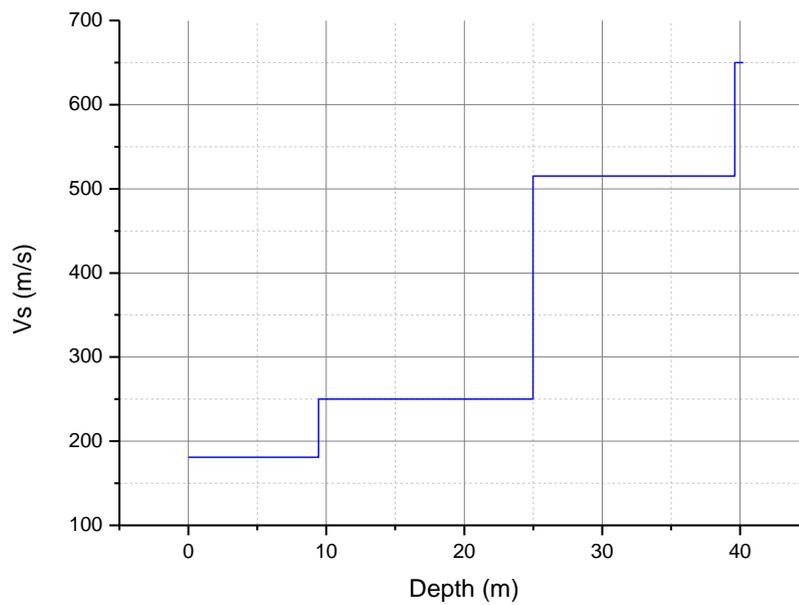


Figura 1 Velocity Wave Profile

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	9.50	Clay silt	181.00
2	9.50	16.00	Silty sand	250.00
3	25.50	14.50	Silty Clay	515.00
4	40.00	Half-Space	Bedrock	650.00

Figura 2 Soil Profile

	Name	Unit Weight (kN/m ³)	G/G_max Model	Damping Mo
1	Clay silt	19.88	SIGONELLA 2	SIGONELLA 2
2	Silty sand	19.77	SIGONELLA 2A	SIGONELLA 2A
3	Silty Clay	19.37	SIGONELLA 2B	SIGONELLA 2B

Figura 3 Soil Tipe

Seguono accelerogrammi di input e “output analisi numerica”.

% Periodo di ritorno di 475 anni

% Gruppo ID_NTC longitudine latitudine

% 6 48308 14.9340 37.4250

% Magnitude(Mw) Epic.Distance(km) SF_ASCONA SF1 SF2 SF_TOT Source File_Name

7.40 114.00 0.65 1.15 1.00 0.75 % ESD 001249xa.cor

6.87 11.00 0.72 1.15 1.00 0.83 % ESD 000182xa.cor

6.20 32.00 2.54 1.15 1.00 2.92 % ESD 000234xa.cor

6.93 83.53 2.92 1.15 1.00 3.36 % NGA 0804x.txt

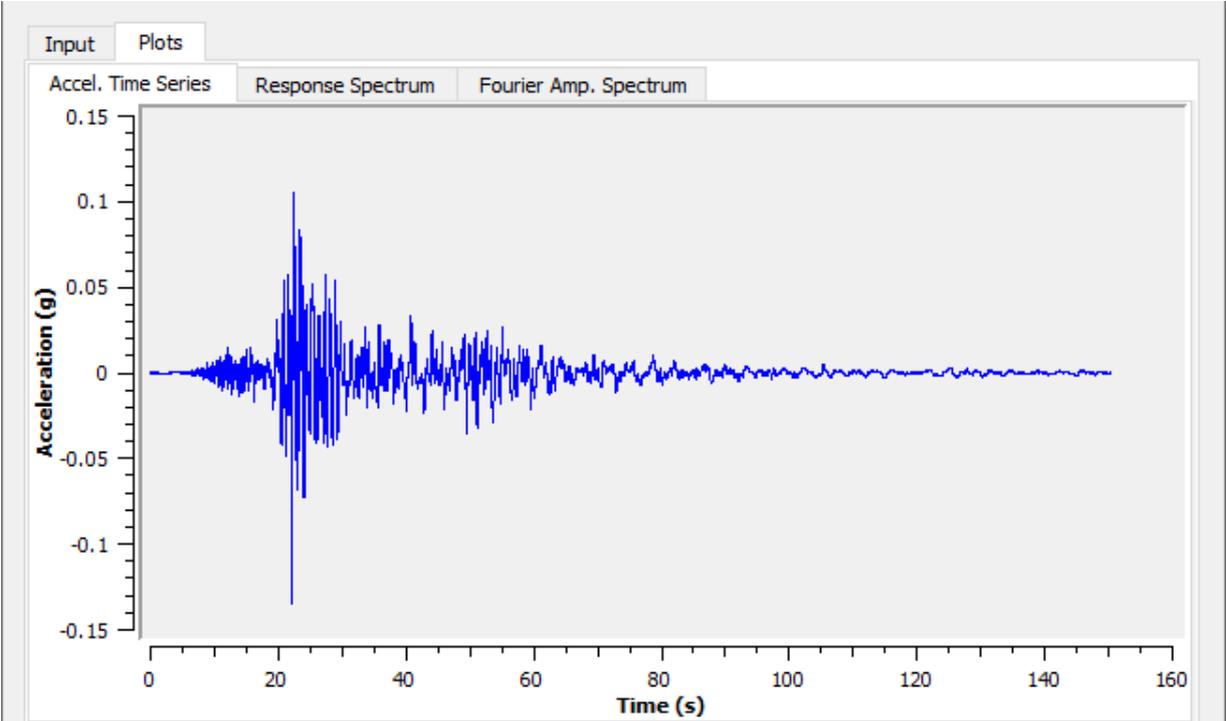
6.69 38.07 1.42 1.15 1.00 1.63 % NGA 1091y.txt

6.60 36.18 1.76 1.15 1.00 2.03 % KNET1 SAG0010503201053.NS

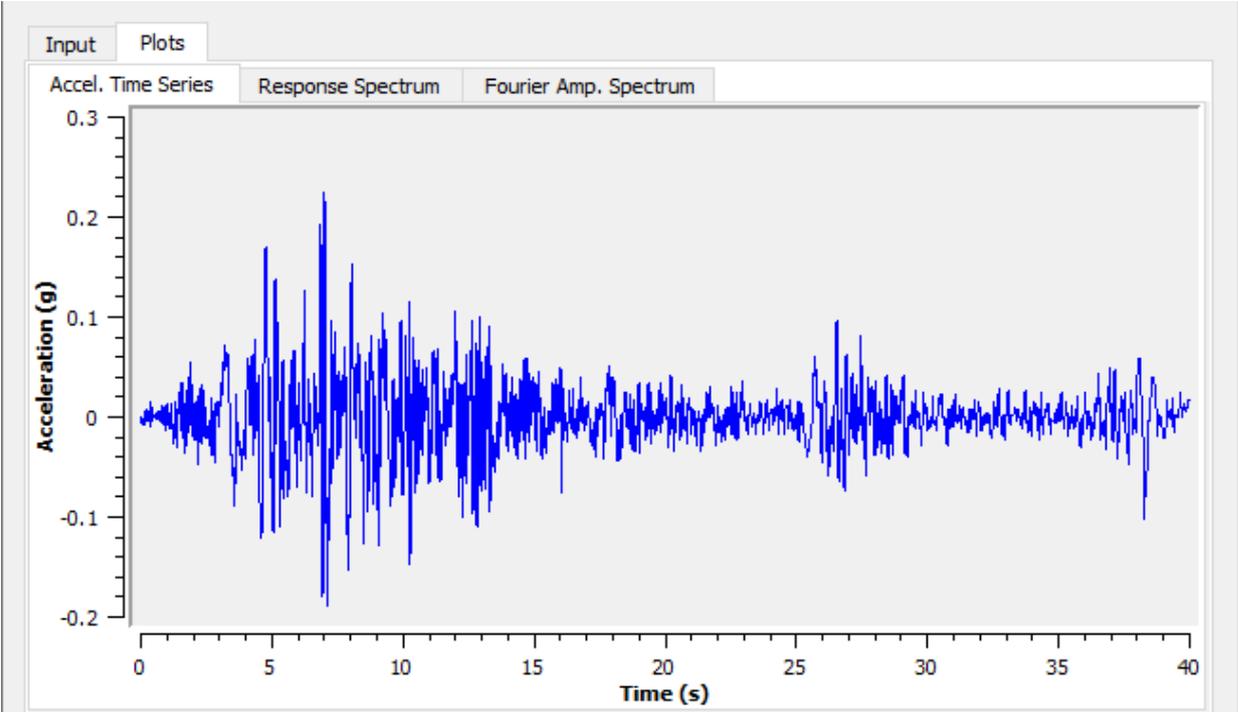
6.30 50.42 0.34 1.15 1.00 0.39 % ITACA 20090406_013239ITDPC_SBC__WEC.DAT

TR475_ID48308_1.txt

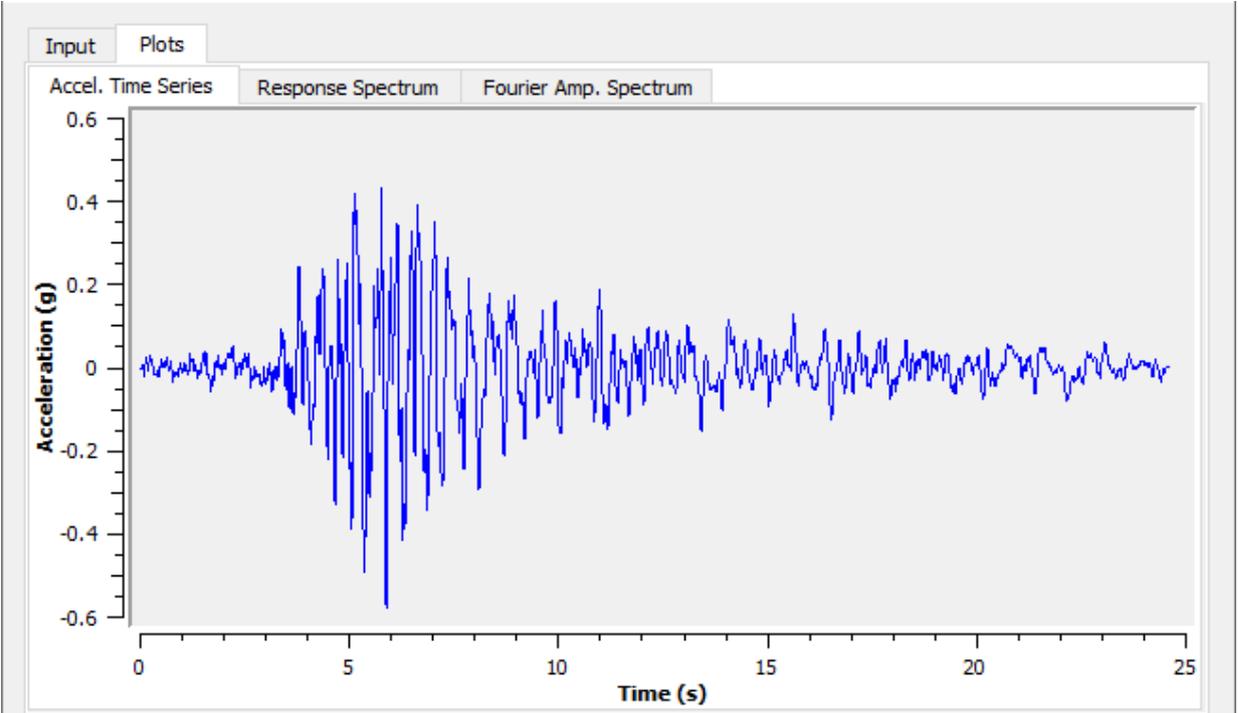
PROGETTO *****



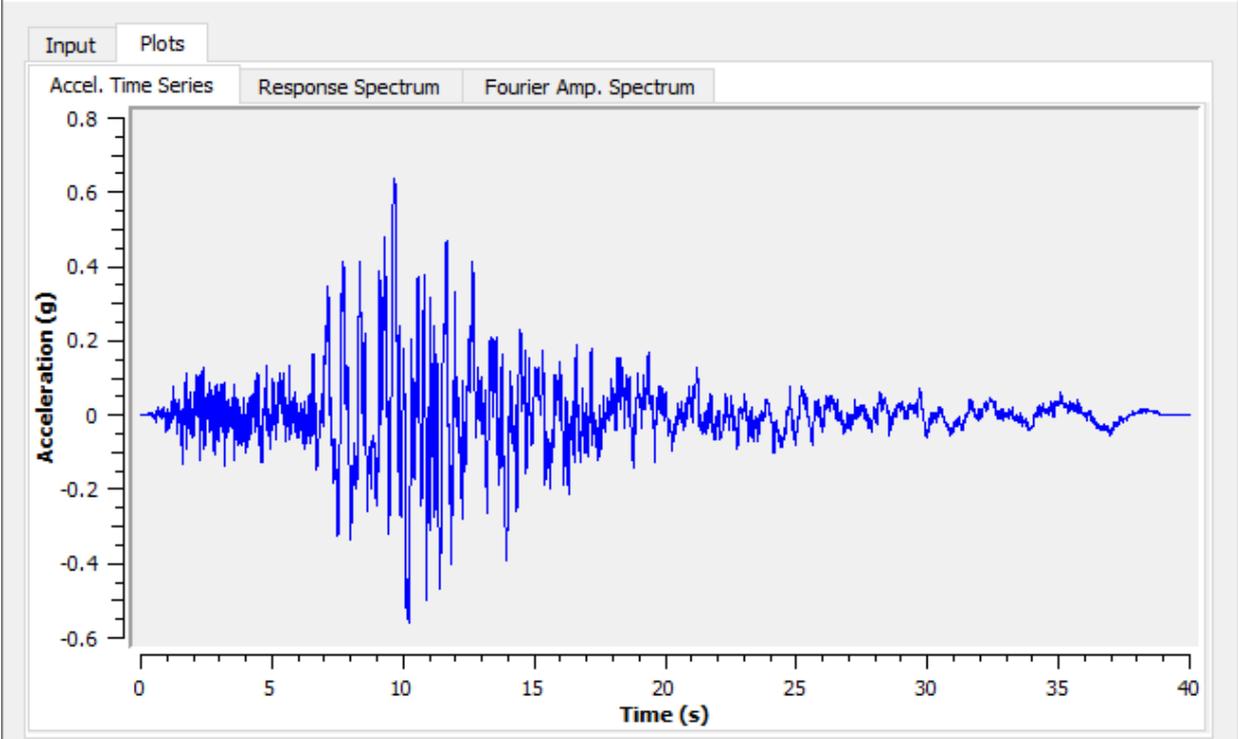
TR475_ID48308_2.txt



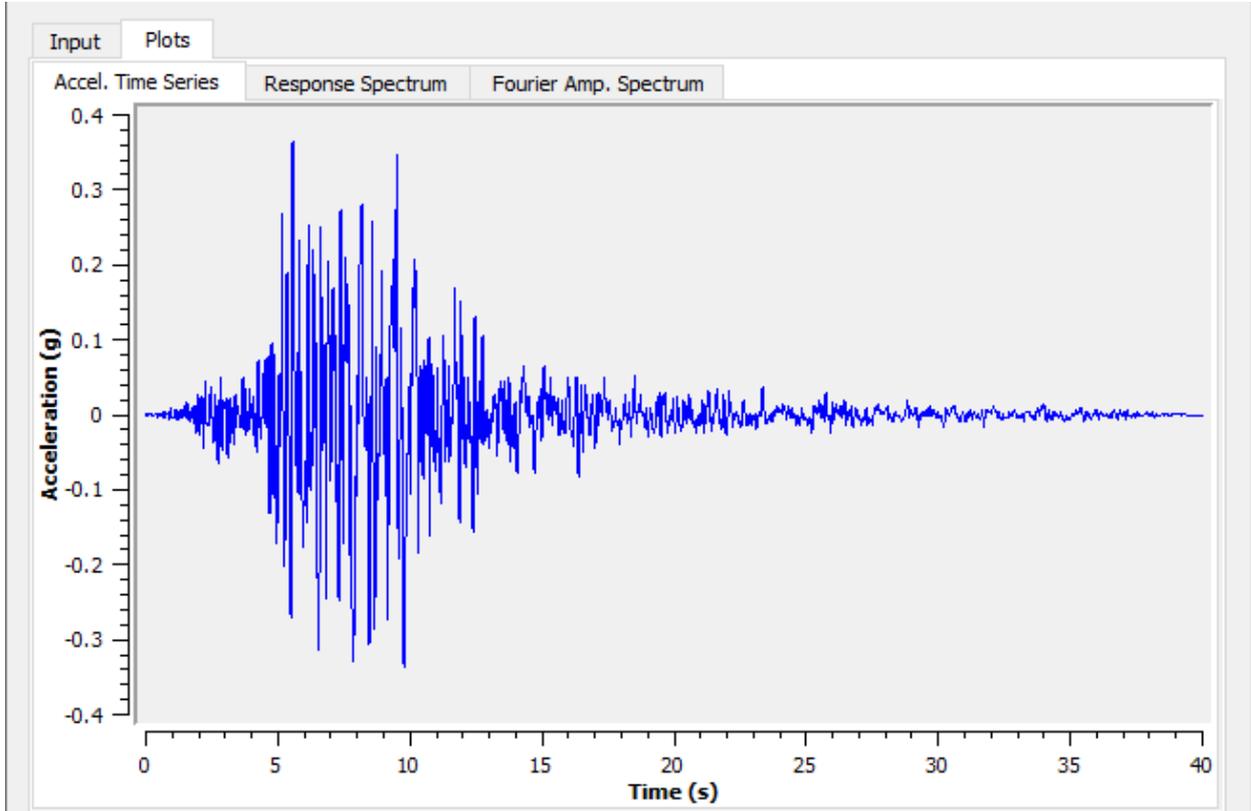
TR475_ID48308_3.txt



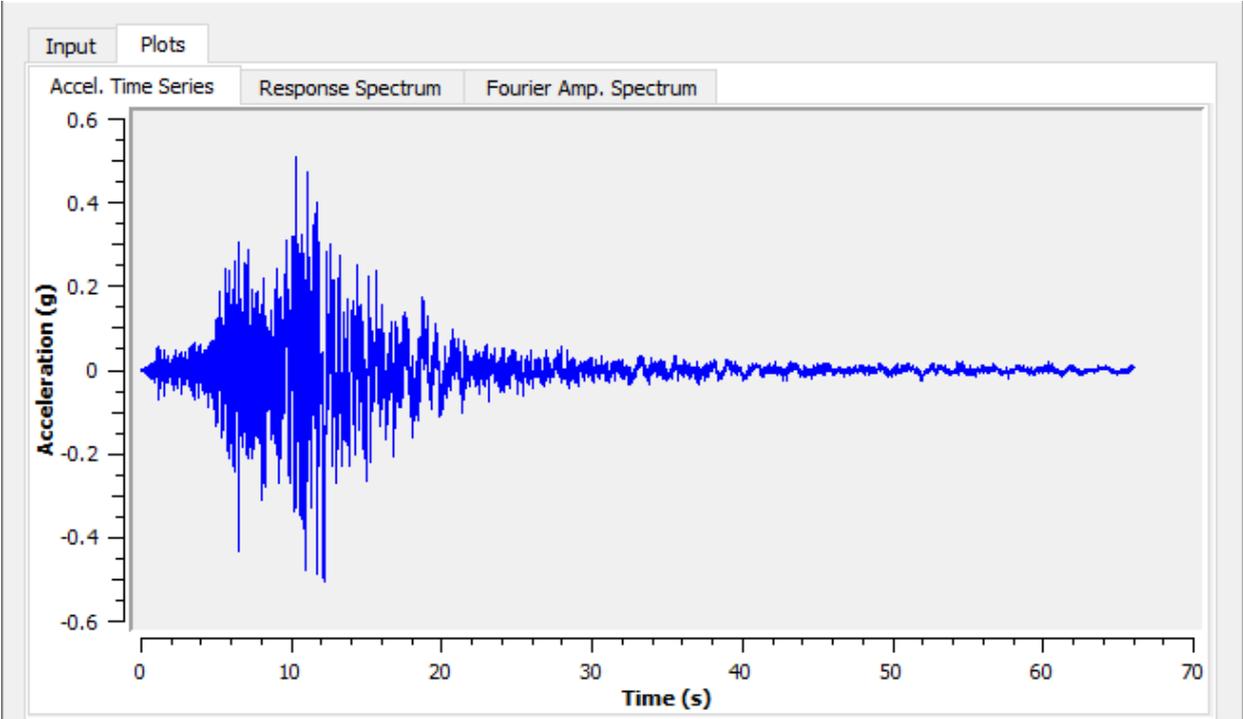
TR475_ID48308_4.txt



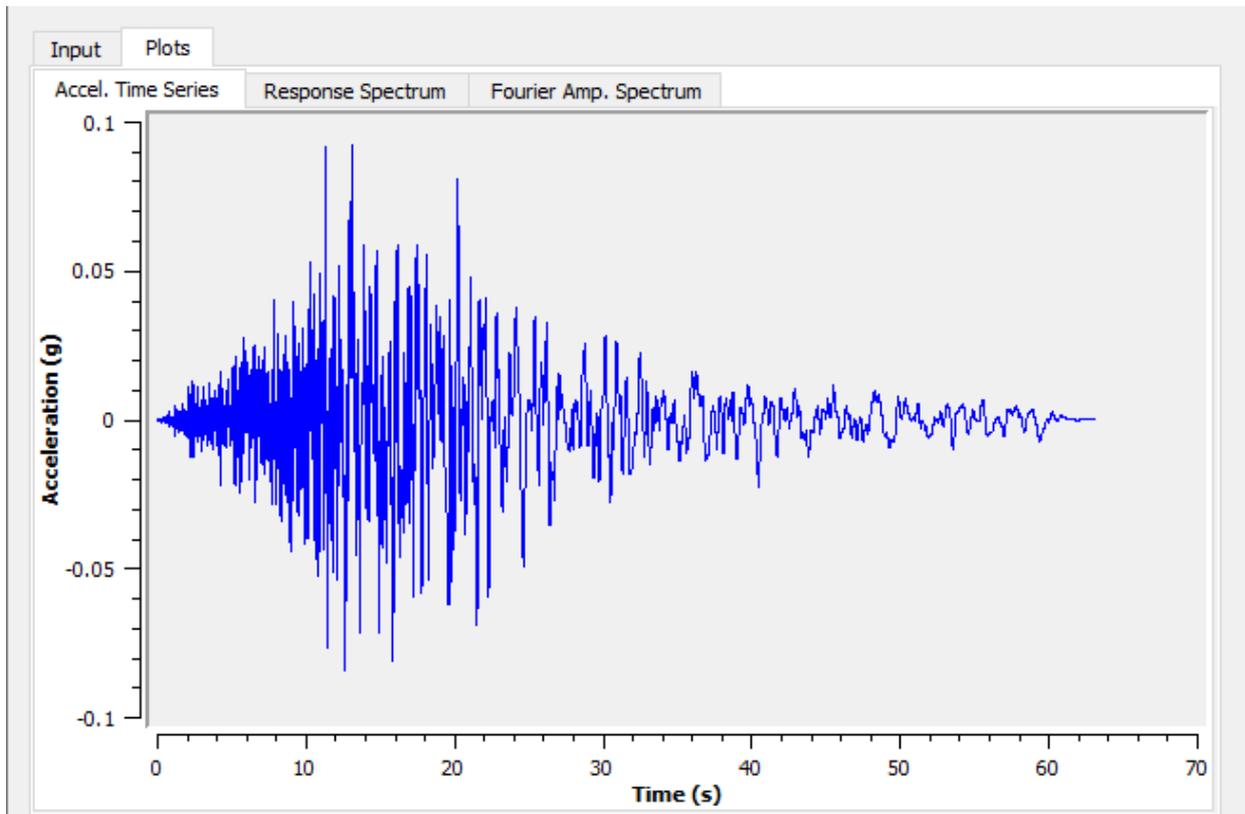
TR475_ID48308_5.txt



TR475_ID48308_6.txt



TR475_ID48308_7.txt



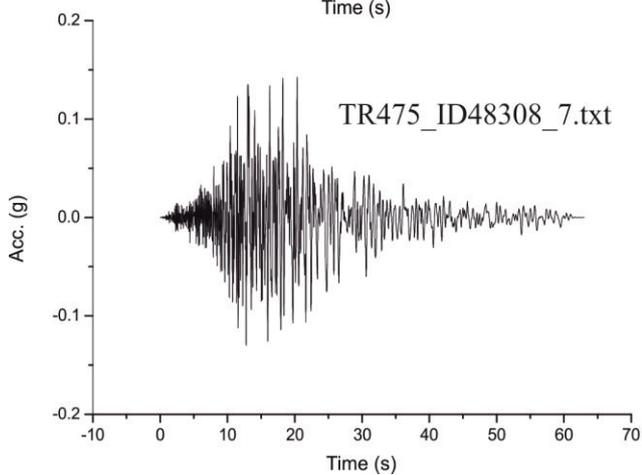
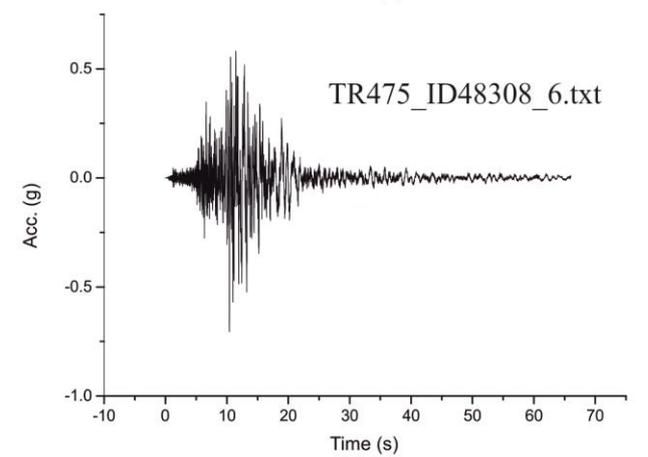
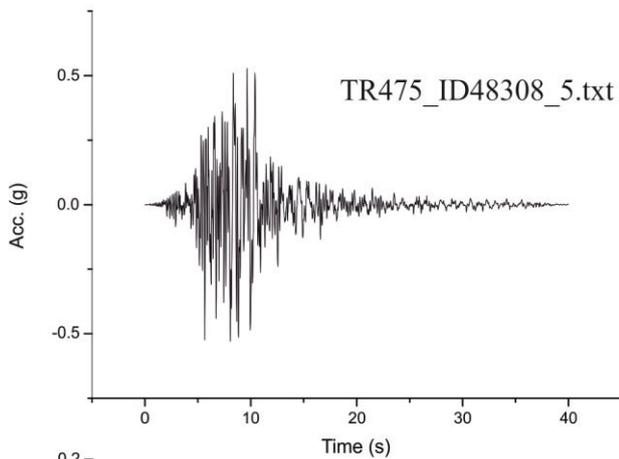
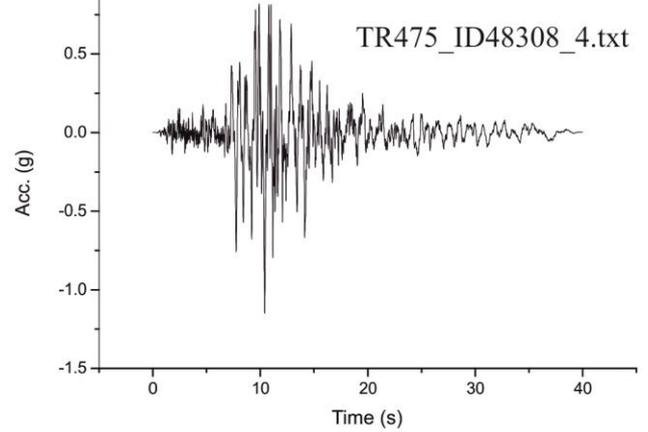
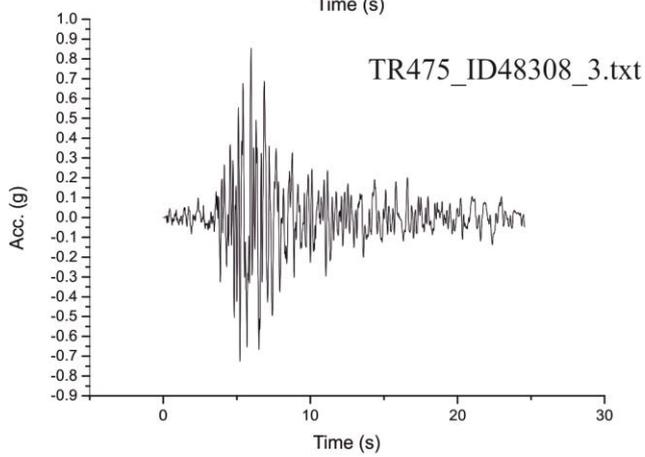
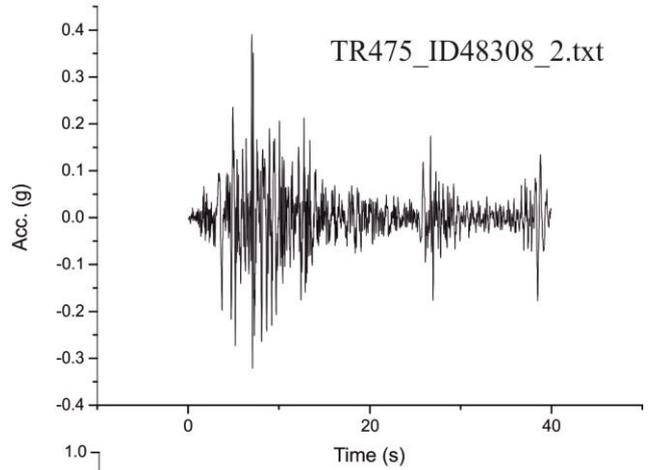
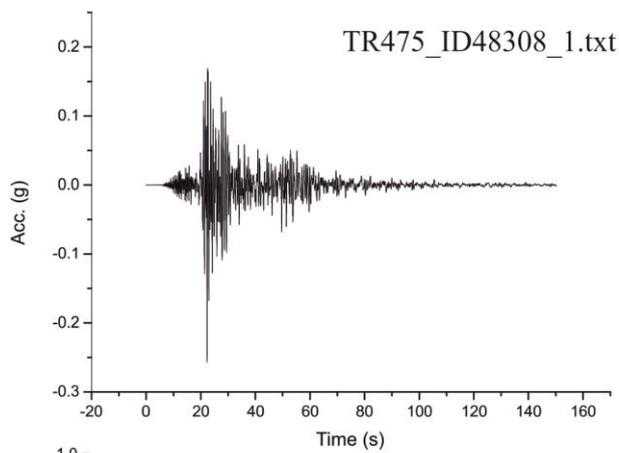
Analisi numerica – Calcolo dell’accelerazione sismica al sito

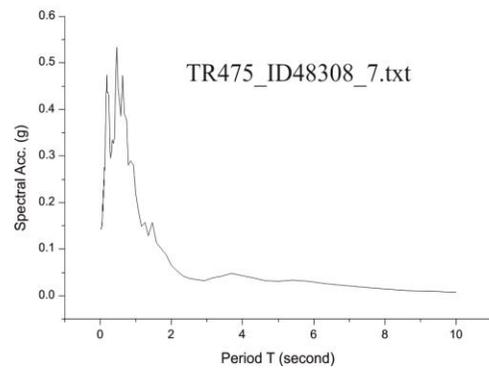
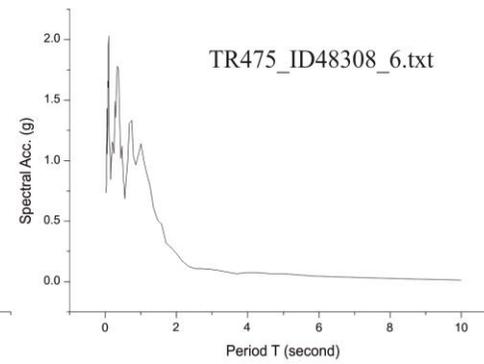
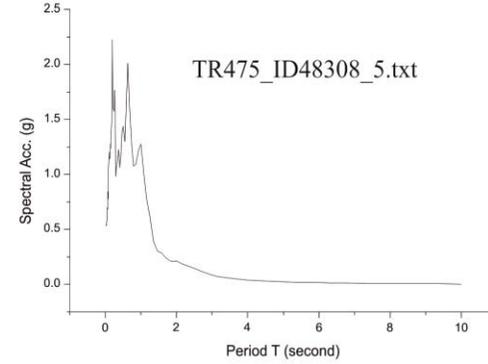
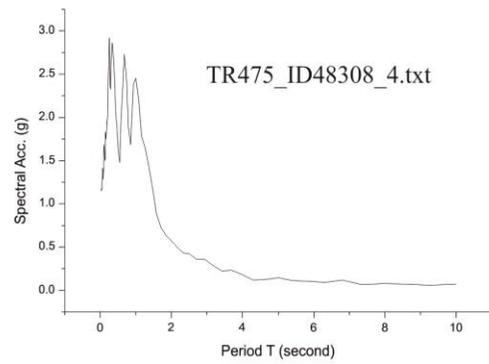
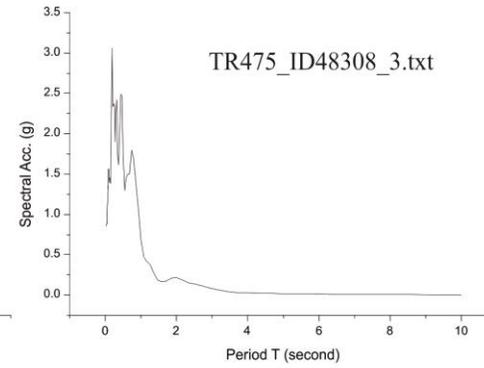
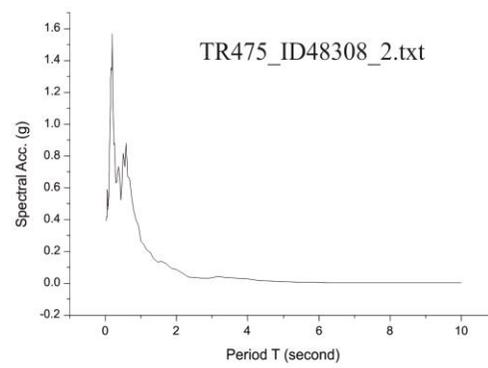
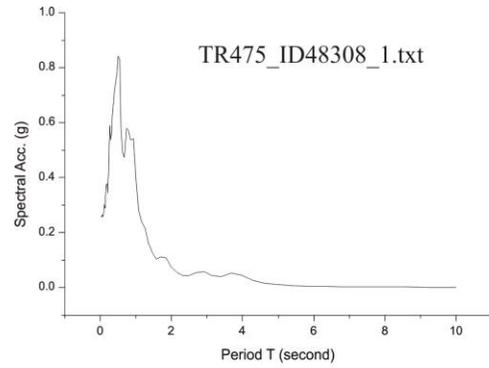
Il calcolo dell’accelerazione sismica attesa al sito è stato eseguito mediante un’appropriata e dettagliata caratterizzazione geometrica e meccanica dello stesso, e valutando la risposta sismica locale tramite opportuni codici di calcolo. La funzione di amplificazione dipende dalla combinazione tra le caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo, ampiezza e contenuto in frequenza del moto sismico del basamento e l’incidenza del comportamento non lineare dei terreni. Nel caso in specie è stato utilizzato un codice di calcolo numerico basato sulla teoria della propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo e la teoria del **comportamento non lineare** e dissipativo dei terreni in condizioni dinamiche. I risultati ottenuti e restituiti in forma grafica di seguito riportati sono:

- Simulazioni sismiche al bedrock e in superficie;
- Spettri di risposta.

TR475_ID48308_1.txt; TR475_ID48308_2.txt; TR475_ID48308_3.txt; TR475_ID48308_4.txt;
TR475_ID48308_5.txt; TR475_ID48308_6.txt; TR475_ID48308_7.txt.

TIME SERIES IN OUTCROP





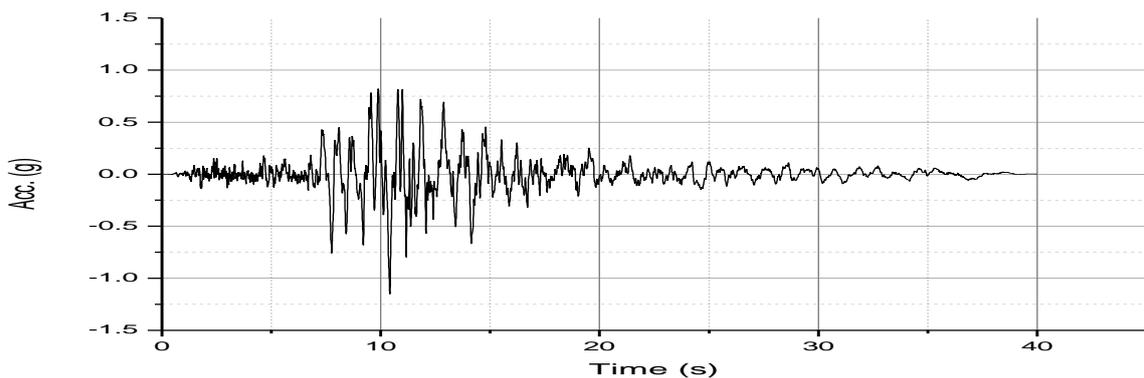
CONCLUSIONI

Le misure di rumore sismico eseguite per le due vasche ed il calcolo della risposta sismica locale effettuato partendo da accelerogrammi al bedrock aventi

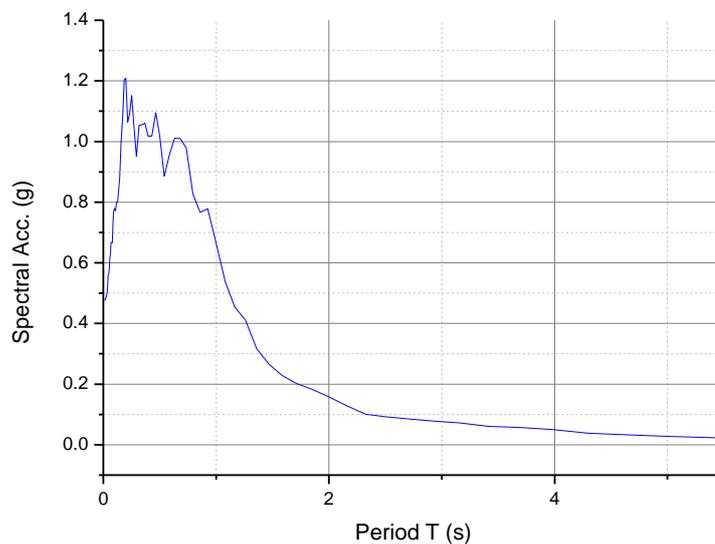
```
% Periodo di ritorno di 475 anni
% Gruppo ID_NTC longitudine latitudine
% 6 48308 14.9340 37.4250
% Magnitude(Mw) Epic.Distance(km) SF_ASCONA SF1 SF2 SF_TOT Source File_Name
7.40 114.00 0.65 1.15 1.00 0.75 % ESD 001249xa.cor
6.87 11.00 0.72 1.15 1.00 0.83 % ESD 000182xa.cor
6.20 32.00 2.54 1.15 1.00 2.92 % ESD 000234xa.cor
6.93 83.53 2.92 1.15 1.00 3.36 % NGA 0804x.txt
6.69 38.07 1.42 1.15 1.00 1.63 % NGA 1091y.txt
6.60 36.18 1.76 1.15 1.00 2.03 % KNET1 SAG0010503201053.NS
6.30 50.42 0.34 1.15 1.00 0.39 % ITACA 20090406_013239ITDPC_SBC__WEC.DAT
```

hanno consentito di desumere quanto segue:

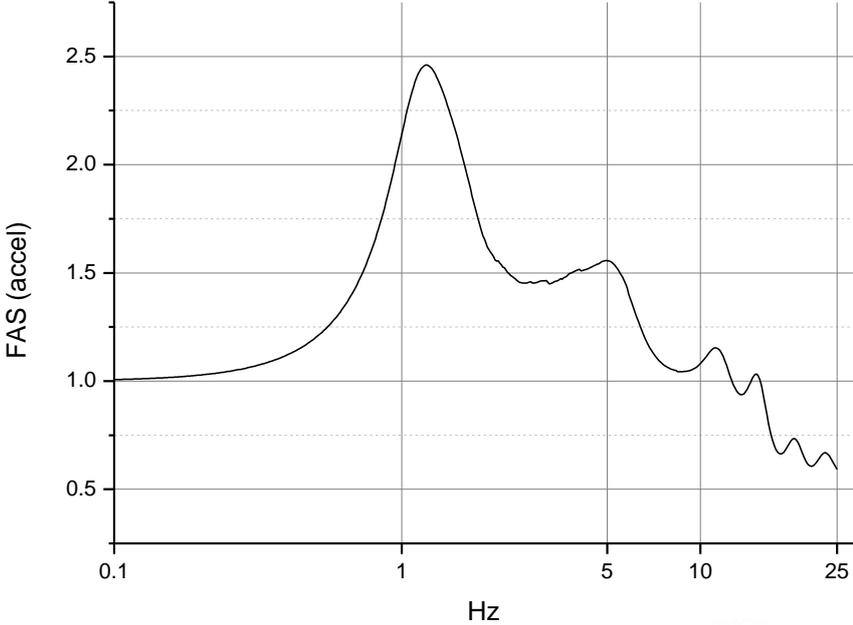
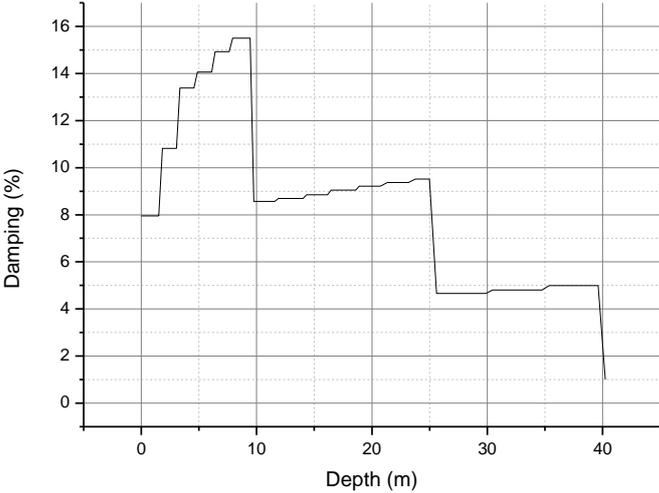
1. L'accelerazione sismica massima al sito (in emersion) risulta pari a 1.15 g per l'accelerogramma TR475_ID48308_4.txt.



2. Lo spettro medio di risposta calcolato è.



OUTPUT



Catania, marzo 2021

Dr. Mauro Corrao