

CASSA DI ESPANSIONE DEL TORRENTE BAGANZA NEI COMUNI DI FELINO, SALA BAGANZA, COLLECCHIO E PARMA (PR-E-1047)

PROGETTO ESECUTIVO

03	02/03/2021	Revisione per osservazioni Nota DGD n.21124 del 08-10-2020	MAGLIOCCHETTI	CASSANI	BERTERO
02	24/07/2020	Revisione per osservazioni DGD e validazione	MAGLIOCCHETTI	CASSANI	BERTERO
00	15/07/2019	Prima emissione	MAGLIOCCHETTI	CASSANI	BERTERO
REV.	DATA	MODIFICHE	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZ.

SISMICA RELAZIONE SISMICA GENERALE

ASSOCIAZIONE TEMPORANEA DI IMPRESE

MANDATARIA:

MANDANTI:



IL R.U.P.:

 Dott. Ing. Mirella Vergnani
 (documento firmato digitalmente)

 Progettista responsabile integrazioni
 prestazioni specialistiche e Direttore Tecnico
 della mandataria.
 Hydrodata S.p.A.
 Ord. Ing. Torino N°7570L
 Dott. Ing. Roberto Bertero
 (documento firmato digitalmente)

 Progettista/Progettisti responsabili elaborato
 Rock Soil S.p.A.
 Dott. Ing. Giovanna Cassani
 Ord. Ing. Milano N°20997

 Dott. Ing. Giovanna Cassani
 (documento firmato digitalmente)


CODICE ELABORATO:

B	A	G	3	0	4	S	I	S	R	R	E	0	2	3
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

ID (1)

CAP. (2)

TIPO (3)

DOC. (4)

PROGR. (5-6) REV. (7)

SCALA

 LUGLIO
2020

INDICE

1	PREMESSA.....	2
1.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	5
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE DI RIFERIMENTO	6
3.1	CAMPAGNE DI INDAGINI PRECEDENTI.....	6
3.1.1	<i>Indagini preliminari</i>	<i>6</i>
3.1.2	<i>Seconda campagna d'indagini.....</i>	<i>6</i>
3.1.3	<i>Indagini integrative</i>	<i>7</i>
3.2	CAMPAGNE DI INDAGINI PRECEDENTI.....	7
4	DEFINIZIONE CLASSE DI SUOLO E MODELLO DI RIFERIMENTO.....	8
4.1	DEFINIZIONE DELLA CLASSE DI SUOLO.....	8
4.2	DEFINIZIONE DEL MODELLO DI RIFERIMENTO	15
5	SPETTRI DI RISPOSTA DI RIFERIMENTO.....	20
6	ACCELEROGRAMMI SPETTROCOMPATIBILI DI PROGETTO	23
6.1	STUDIO DI DISAGGREGAZIONE	23
6.1.1	<i>Disaggregazione SLC.....</i>	<i>23</i>
6.1.2	<i>Disaggregazione SLV</i>	<i>33</i>
6.1.3	<i>Disaggregazione SLD</i>	<i>37</i>
6.1.4	<i>Disaggregazione SLO</i>	<i>38</i>
6.2	SCELTA DEGLI ACCELEROGRAMMI SPETTROCOMPATIBILI	39
7	ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE	44
7.1	STATO LIMITE DI COLLASSO - SLC.....	44
7.2	STATO LIMITE DI VITA - SLV	47
7.3	STATO LIMITE DI DANNO - SLD	50
7.4	STATO LIMITE DI OPERATIVITÀ - SLO	53
8	CONCLUSIONI.....	57
9	ALLEGATI	58
9.1	ACCELEROGRAMMI SPETTROCOMPATIBILI – SLC.....	58
9.2	ACCELEROGRAMMI SPETTROCOMPATIBILI – SLV.....	60
9.3	ACCELEROGRAMMI SPETTROCOMPATIBILI – SLD	63
9.4	ACCELEROGRAMMI SPETTROCOMPATIBILI – SLO	66

1 PREMESSA

La presente Relazione sismica generale si articola nello specifico nei seguenti capitoli:

- INQUADRAMENTO GEOLOGICO
- INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE DI RIFERIMENTO
- DEFINIZIONE CLASSE DI SUOLO E MODELLO DI RIFERIMENTO
- SPETTRI DI RISPOSTA DI RIFERIMENTO
- ACCELEROGRAMMI SPETTROCOMPATIBILI DI PROGETTO
- ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

La presente relazione riporta l'analisi di risposta sismica locale per la progettazione di una cassa di espansione del Torrente Baganza in località Sala Baganza, a sud ovest della città di Parma. I centri abitati più vicini sono:

- Sala Baganza, a sud-ovest dell'area di progetto;
- Casale di Felino (Comune di Felino), a sud-est dell'area di progetto;
- Carignano (Comune di Parma), a est dell'area di progetto.



Figura 1 – Inquadramento territoriale

Si deve premettere che lo studio di risposta sismica locale presentato all'interno della presente relazione è da considerarsi subordinato a quanto riportato all'interno della Relazione sismotettonica, i cui risultati vengono presi a riferimento esclusivo per le analisi dinamiche e sismiche effettuate all'interno dell'intero progetto esecutivo.



Figura 2 – Inserimento dell'opera

Le coordinate geografiche del sito sono le seguenti:

lat: 44°43'53.28" N (44°.741 N)

lon: 10°14'54.65" E (10°.2539 E)

La progettazione di qualsiasi opera sul territorio italiano richiede, ai sensi della normativa in vigore, la verifica in condizioni sismiche: tale verifica presuppone la definizione dell'azione sismica di riferimento che deve tenere conto della risposta sismica del sito in esame.

Nelle NTC2008 le caratteristiche della pericolosità sismica per un prefissato periodo di ritorno dell'azione sismica (associato quindi ad ogni stato limite: SLC, SLV, SLD e SLO) sono definite in termini di accelerazione di picco al suolo (PGA) e di spettro di risposta in accelerazione (accelerazione spettrale S_a). Entrambe queste grandezze si intendono riferite a condizioni di suolo rigido e superficie topografica orizzontale. L'azione sismica di base così definita deve quindi essere opportunamente modificata per tener conto delle condizioni lito-stratigrafiche e topografiche del sito in esame. In particolare viene richiesta l'esecuzione di specifiche analisi di risposta sismica locale.

Nel caso specifico si può affermare che non si prevedono effetti significativi di amplificazione dovuta alla topografia, in quanto l'area di interesse può ritenersi pianeggiante: il coefficiente di amplificazione topografico può pertanto essere assunto pari all'unità. Per quanto riguarda, invece, l'amplificazione stratigrafica, le NTC08 consentono di valutare in modo approssimato l'influenza degli effetti di sito, utilizzando un metodo semplificato basato sulla definizione di categorie di sottosuolo. A queste ultime vengono associati dei parametri che modificano gli spettri di risposta, per tener conto dell'effetto stratigrafico. Tuttavia nel caso in esame, la

presenza di valori della velocità di propagazione delle onde di taglio non crescenti con la profondità comporta una classificazione in categoria di sottosuolo B e quindi la necessità di effettuare uno studio di dettaglio della risposta sismica locale. Per la valutazione dell'effetto di amplificazione stratigrafica sono state eseguite analisi numeriche di risposta sismica locale, utilizzando un approccio di calcolo monodimensionale lineare elastico equivalente (tramite il software EERA) a partire dal modello geotecnico-sismico del terreno di fondazione, costruito in base alle proprietà geotecniche desunte dalle indagini e prove in sito.

1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- “Norme tecniche per le costruzioni” Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;
- CIRCOLARE 2 febbraio 2009 , n. 617 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008;
- UNI EN 1997-1:2013 Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali;
- UNI EN 1997-2:2007 Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo;
- UNI EN 1998-5:2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;
- Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche. 1977 AGI – Associazione Geotecnica Italiana;
- Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica - Linee guida 2005 AGI – Associazione Geotecnica Italiana;
- D.M. 26 giugno 2014 n.91 “Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (Dighe e Traverse)”;
- European Strong-Motion Database: "Luzi L, Puglia R, Russo E & ORFEUS WG5 (2016). **Engineering Strong Motion Database, version 1.0**. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Observatories & Research Facilities for European Seismology. doi: 10.13127/ESM”;

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Per quanto riguarda il dettaglio approfondito dell'inquadramento geologico si rimanda alla documentazione dedicata di progetto esecutivo, rappresentata nello specifico sia dagli elaborati grafici, sia dalla Relazione Geologica e Idrogeologica (BAG303GEORRE010) che dalla Relazione di Studio Sismotettonico (BAG304SISRRE010).

3 INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE DI RIFERIMENTO

Nel presente capitolo si riportano le campagne di indagine utilizzate al fine di eseguire lo studio di risposta sismica locale.

3.1 CAMPAGNE DI INDAGINI PRECEDENTI

3.1.1 Indagini preliminari

Nell'ambito della campagna di indagini preliminari commissionate da AIPO sono state condotte dalla ditta ParmaGeo s.r.l. di Basilicanova (PR), nel periodo compreso tra Luglio 2011 e Agosto 2011, le seguenti indagini:

- n.3 sondaggi (S1_PG, S2_PG e S3_PG) a carotaggio continuo spinti sino a profondità variabile tra i 40 e 50m da piano campagna;
- n.1 prova di permeabilità Lefranc in sito in corrispondenza del sondaggio S2_PG.

Nell'ambito delle indagini preliminari è stata condotta una campagna di prove geofisiche commissionate da AIPO a GeoExploration s.r.l. di Forlì (FC). Le indagini, eseguite nel periodo tra Luglio e Agosto 2011, sono le seguenti:

- **n.5 allineamenti geoelettrici con tecnica tomografica per una lunghezza complessiva di 24÷45m;**
- **n.1 stendimento sismico a rifrazione;**
- **n.2 stendimenti sismici a riflessione sovrapposti a quello a rifrazione,**
- **n.1 rilievo sismico di tipo down-hole nel foro di sondaggio S1 PG.**

Inoltre su n.6 campioni rimaneggiati prelevati dai fori di sondaggio sono state eseguite prove di classificazione in laboratorio.

3.1.2 Seconda campagna d'indagini

Nel periodo tra Giugno e Settembre 2012 è stata eseguita una seconda campagna d'indagini geognostiche commissionata da AIPO alla ditta SOGEO s.r.l. di Lugo (RA). Sono state eseguite le seguenti indagini:

- n.17 sondaggi (S1, S2, ... S16, S1bis) a carotaggio continuo spinti sino a profondità variabile di 30.0÷60.0m dal piano campagna;
- n.9 perforazioni a distruzione di nucleo a profondità variabile tra 20.0 e 28.0m dal p.c. (Sa, Sb,...Si);
- n.84 prove S.P.T. (Standard Penetration Test) in foro di sondaggio;
- n.21 prove di permeabilità Lefranc;
- n.10 prove penetrometriche dinamiche DPSH a profondità variabile da 2.0 a 12.0m dal p.c.;
- n.10 pozzetti esplorativi della profondità di 4.0 m con prelievo di campioni rimaneggiati.

Su incarico della società SOGEO s.r.l. la ditta GeoExploration s.r.l. di Forlì (FC) ha inoltre condotto:

- **n.1 indagine geofisica tipo down-hole nel foro di sondaggio S2.**

Oltre a ciò, è stato eseguito nell'Agosto 2012 n.1 sondaggio (S4_PG) dalla società ParmaGeo s.r.l. di Basilicanova (PR).

Durante questa seconda campagna d'indagine sono stati prelevati n.25 campioni di terreno indisturbato sottoposti a prove di laboratorio di classificazione e per definire i parametri di resistenza meccanica e deformabilità.

Le prove di laboratorio eseguite presso il Laboratorio prove materiali e strutture dell'Università degli Studi di Parma-DICATeA sono state:

- n.35 prove di classificazione;
- n.14 prove edometriche;
- n.7 prove di taglio diretto.

3.1.3 Indagini integrative

Nel mese di Luglio 2013 è stata svolta una campagna d'indagine integrativa che è consistita in:

- n.2 sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati.

3.2 CAMPAGNE DI INDAGINI PRECEDENTI

Nell'ambito del progetto definitivo è stata condotta una campagna d'indagine dalla società Vincenzetto s.r.l. di Villa Estense (PD) nel periodo compreso da Giugno ad Ottobre 2016. Le indagini eseguite sono le seguenti:

n.9 sondaggi (SI1, SI2, ... SI9) a carotaggio continuo spinti fino a profondità di 20m da p.c.;

- n.4 sondaggi (SIG1, SI2, SIG3, SIG4) a carotaggio continuo spinti fino a profondità di 45m da p.c., con prove SPT in corrispondenza dei terreni incoerenti e di prove tipo Torvane e Pocket Penetrometer in presenza delle lenti coesive;
- n.6 sondaggi (SMC1, SMC2, ... SMC6) a carotaggio continuo spinti fino a profondità variabile tra i 13m e i 25m da p.c., con prove tipo Torvane e Pocket Penetrometer in presenza dei terreni coesivi;
- n.80 pozzetti esplorativi con profondità variabili di 1.0÷3.0m da p.c.;
- **n.4 sezioni geoelettriche con tecnica tomografica;**
- **n.3 profili geofisici tipo MASW 2D (n.27 MASW).**

Durante la campagna d'indagine sono stati prelevati sia campioni indisturbati che campioni rimaneggiati stati sottoposti presso la stessa società Vincenzetto s.r.l. alle seguenti prove di laboratorio:

- n.42 prove di classificazione;
- n.6 prove di compressione con espansione laterale libera;
- n.6 prove edometriche;
- n.4 prove di taglio diretto;
- n.3 prove di colonna risonante;
- n.2 prove triassiali cicliche.

Inoltre i terreni prelevati dai pozzetti esplorativi sono stati sottoposti ad analisi chimica completa da parte del laboratorio R&C Lab s.r.l. di Altavilla Vicentina (VI).

Negli elaborati grafici sarà riportata l'ubicazione delle indagini geotecniche soprariportate.

4 DEFINIZIONE CLASSE DI SUOLO E MODELLO DI RIFERIMENTO

In tale capitolo si andrà a determinare la classe di suolo nell'area in esame, prendendo come riferimento delle verticali in cui sono disponibili informazioni riguardanti la velocità delle onde di taglio Vs. Inoltre si andrà quindi a definire il modello di riferimento per l'analisi di risposta sismica locale (RSL).

4.1 DEFINIZIONE DELLA CLASSE DI SUOLO

Al fine di definire la classe di suolo del sito in esame si utilizzeranno le informazioni derivate dalla sismica profonda disponibile nel sondaggio S2 e S1_PG, correlate con le informazioni ricavate dagli allineamenti MASW (prossimi alle due Down-Hole) che interessano l'area del comparto 2 della cassa di espansione.

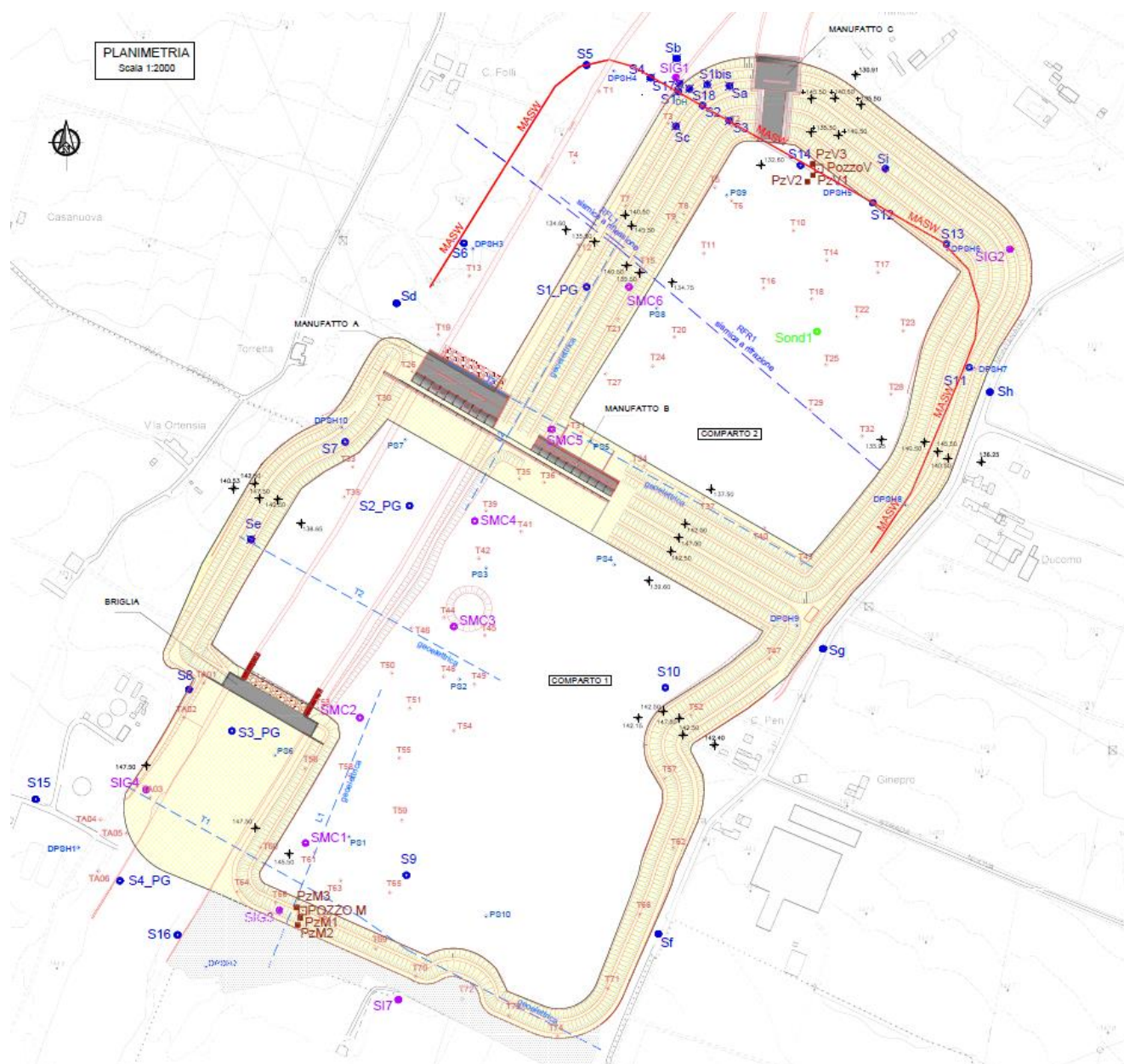


Figura 3 – Planimetria delle indagini

L'individuazione delle categorie sismiche di sottosuolo si effettua facendo riferimento alla seguente tabella:

Categoria di suolo		
A	<i>Ammazzi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m</i>	$V_{s,30} > 800$ m/s
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)</i>	$360 \text{ m/s} < V_{s,30} < 800$ m/s ovvero $N_{SPT,30} > 50$ (terreni a grana grossa) ovvero $c_{u,30} > 250$ kPa (terreni a grana fina)
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)</i>	$180 \text{ m/s} < V_{s,30} < 360$ m/s ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ (terreni a grana grossa) ovvero $70 < c_{u,30} < 250$ kPa (terreni a grana fina)
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)</i>	$V_{s,30} < 180$ m/s ovvero $N_{SPT,30} < 15$ (terreni a grana grossa) ovvero $c_u < 70$ kPa (terreni a grana fina)
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)</i>	

Figura 4 – Valutazione della V_{s30} da DM14/01/2008

La velocità equivalente nei primi 30 metri delle onde di taglio $V_{s,30}$ è definita come:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad \left[\frac{m}{s} \right]$$

Con: h_i spessore dell'i-esimo strato e $V_{s,i}$ velocità dell'i-esimo strato.

Di seguito riportano i profili di V_s fino a 30 metri utilizzati per la determinazione della classe di suolo.

In particolare si riportano le due sismiche down-hole nei sondaggi S1_PG ed S2 e le MASW a questi associate, ovvero 22, 23, 24, 25, 26, 27.

DH - S1PG			DH-S2		
z(m)	Vs (m/s)	$h_i/V_{s,i}$	z(m)	Vs (m/s)	$h_i/V_{s,i}$
0	123	-	0	355	-
1	165	0.006061	1	433	0.002309
2	207	0.004831	2	611	0.001637
3	264	0.003788	3	633	0.00158
4	310	0.003226	4	701	0.001427
5	332	0.003012	5	720	0.001389
6	330	0.00303	6	699	0.001431
7	319	0.003135	7	643	0.001555
8	349	0.002865	8	655	0.001527
9	403	0.002481	9	637	0.00157
10	482	0.002075	10	621	0.00161
11	571	0.001751	11	615	0.001626
12	662	0.001511	12	611	0.001637
13	728	0.001374	13	540	0.001852
14	749	0.001335	14	514	0.001946
15	727	0.001376	15	512	0.001953
16	682	0.001466	16	516	0.001938
17	618	0.001618	17	514	0.001946
18	564	0.001773	18	501	0.001996
19	528	0.001894	19	489	0.002045
20	537	0.001862	20	488	0.002049
21	564	0.001773	21	488	0.002049
22	597	0.001675	22	488	0.002049
23	614	0.001629	23	490	0.002041
24	620	0.001613	24	492	0.002033
25	608	0.001645	25	494	0.002024
26	566	0.001767	26	494	0.002024
27	487	0.002053	27	494	0.002024
28	406	0.002463	28	494	0.002024
29	364	0.002747	29	494	0.002024
30	384	0.002604	30	494	0.002024
Vs_{30}		426	Vs_{30}		542

 Figura 5 – Valutazione della Vs_{30} in corrispondenza delle sismiche Down-Hole all'interno dei sondaggi S2 ed S1_PG

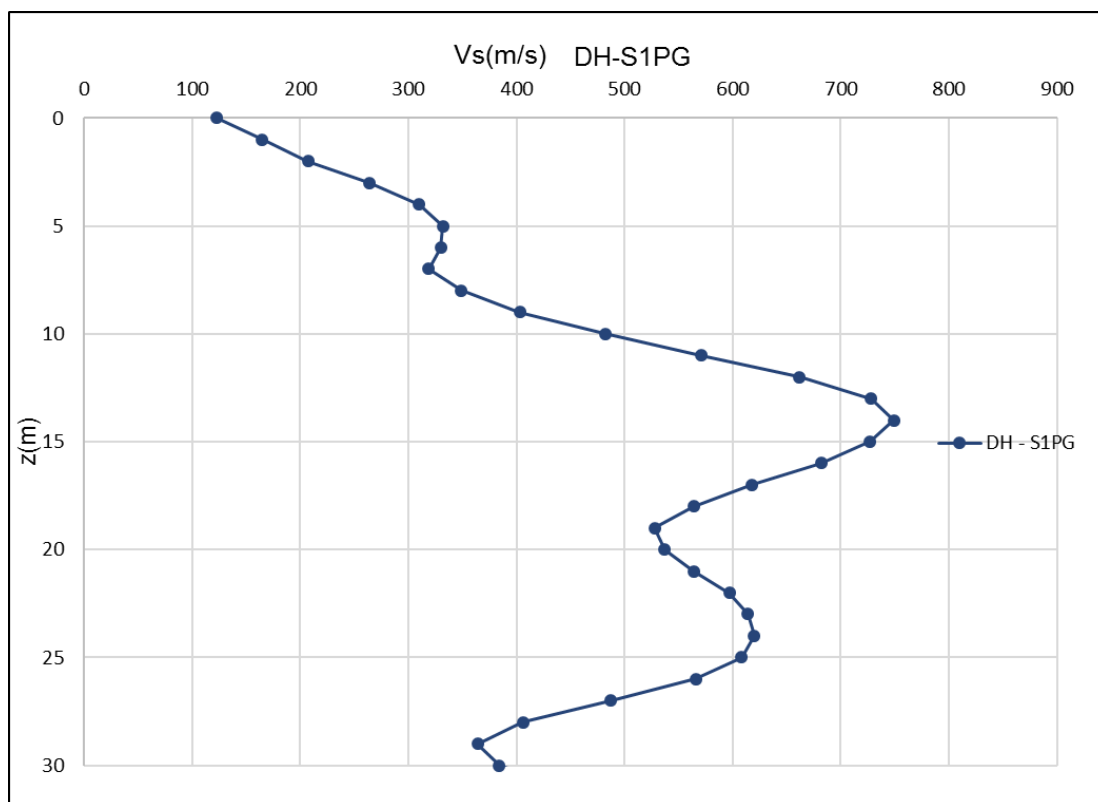


Figura 6 – Distribuzione delle Vs lungo il sondaggio S1_PG

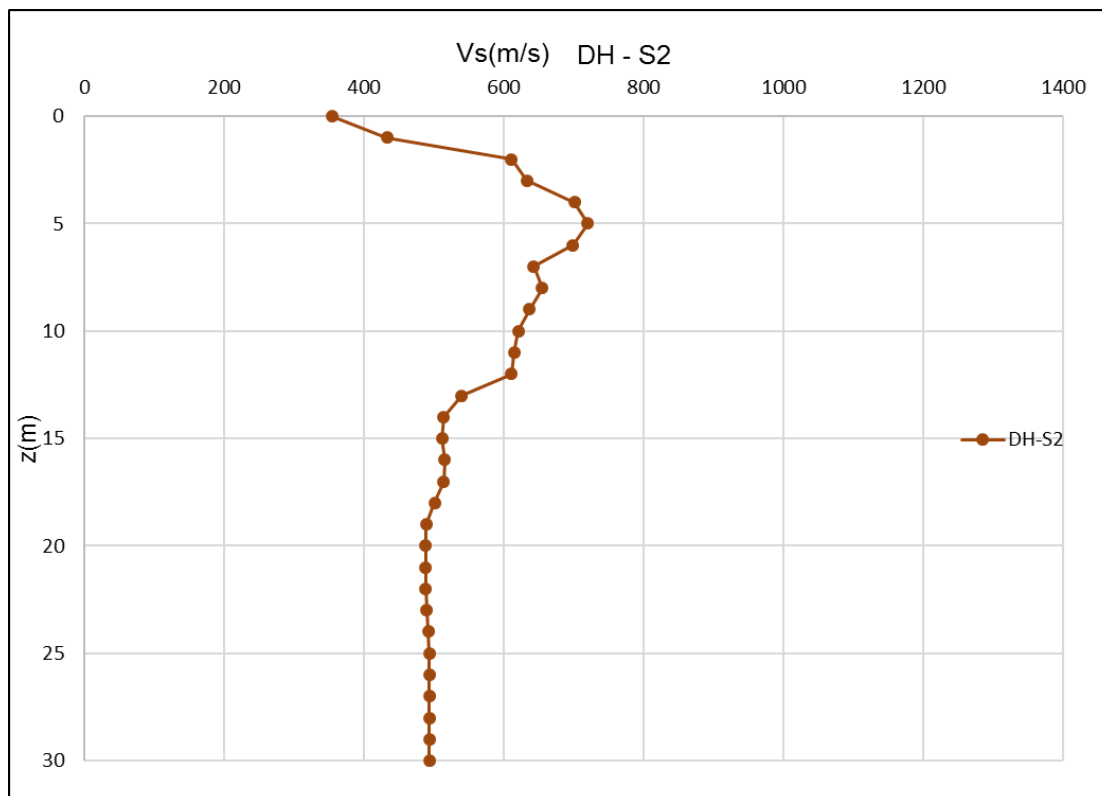


Figura 7 – Distribuzione delle Vs lungo il sondaggio S2

MASW22			MASW23			MASW24		
zmedia*	Vs*	$h_i/V_{s,i}$	zmedia*	Vs*	$h_i/V_{s,i}$	zmedia*	Vs*	$h_i/V_{s,i}$
0	400	-	0	250	-	0	300	-
1	400	0.0025	1	264	0.003793	1	320	0.003125
2	400	0.0025	2	291	0.003438	2	360	0.002778
3	405	0.002472	3	318	0.003143	3	400	0.0025
4	414	0.002418	4	345	0.002895	4	410	0.002442
5	423	0.002366	5	373	0.002683	5	419	0.002386
6	432	0.002316	6	400	0.0025	6	429	0.002333
7	441	0.002268	7	412	0.002426	7	438	0.002283
8	450	0.002222	8	424	0.002357	8	448	0.002234
9	436	0.002295	9	436	0.002292	9	457	0.002188
10	421	0.002373	10	448	0.00223	10	467	0.002143
11	407	0.002456	11	461	0.002171	11	476	0.0021
12	410	0.002439	12	473	0.002115	12	486	0.002059
13	430	0.002326	13	485	0.002063	13	495	0.002019
14	450	0.002222	14	497	0.002012	14	505	0.001981
15	461	0.002169	15	485	0.002062	15	514	0.001944
16	472	0.002118	16	465	0.002151	16	524	0.001909
17	483	0.002069	17	445	0.002247	17	533	0.001875
18	494	0.002022	18	425	0.002353	18	543	0.001842
19	504	0.001983	19	405	0.002469	19	552	0.00181
20	513	0.001951	20	413	0.002419	20	562	0.00178
21	521	0.00192	21	431	0.00232	21	571	0.00175
22	529	0.00189	22	449	0.002228	22	581	0.001721
23	538	0.00186	23	467	0.002143	23	590	0.001694
24	546	0.001832	24	484	0.002064	24	600	0.001667
25	554	0.001805	25	502	0.001991	25	622	0.001607
26	563	0.001778	26	520	0.001923	26	644	0.001552
27	571	0.001752	27	538	0.00186	27	667	0.0015
28	579	0.001727	28	556	0.0018	28	689	0.001452
29	588	0.001702	29	573	0.001744	29	711	0.001406
30	596	0.001678	30	591	0.001692	30	733	0.001364
Vs₃₀		473	Vs₃₀		431	Vs₃₀		505

 Figura 8 – Valutazione della Vs₃₀ in corrispondenza delle sismiche MASW 22, 23 e 24

MASW25			MASW26			MASW27		
zmedia*	Vs*	$h_i/V_{s,i}$	zmedia*	Vs*	$h_i/V_{s,i}$	zmedia*	Vs*	$h_i/V_{s,i}$
0	400	-	0	300	-	0	400	-
1	400	0.0025	1	300	0.003333	1	400	0.0025
2	400	0.0025	2	300	0.003333	2	400	0.0025
3	400	0.0025	3	313	0.003191	3	415	0.00241
4	420	0.002381	4	327	0.003061	4	445	0.002247
5	440	0.002273	5	340	0.002941	5	475	0.002105
6	460	0.002174	6	353	0.00283	6	505	0.00198
7	480	0.002083	7	367	0.002727	7	535	0.001869
8	500	0.002	8	380	0.002632	8	529	0.001892
9	520	0.001923	9	393	0.002542	9	486	0.002059
10	540	0.001852	10	409	0.002446	10	443	0.002258
11	560	0.001786	11	426	0.002345	11	400	0.0025
12	556	0.001798	12	444	0.002252	12	430	0.002326
13	560	0.001784	13	462	0.002166	13	460	0.002174
14	565	0.001771	14	479	0.002086	14	490	0.002041
15	569	0.001758	15	497	0.002012	15	520	0.001923
16	573	0.001745	16	515	0.001943	16	550	0.001818
17	577	0.001733	17	532	0.001878	17	558	0.001793
18	581	0.00172	18	550	0.001818	18	565	0.001769
19	585	0.001708	19	560	0.001786	19	573	0.001745
20	590	0.001696	20	570	0.001754	20	581	0.001722
21	594	0.001684	21	580	0.001724	21	588	0.001699
22	598	0.001672	22	590	0.001695	22	596	0.001677
23	608	0.001645	23	600	0.001667	23	610	0.001639
24	624	0.001603	24	621	0.00161	24	630	0.001587
25	640	0.001563	25	642	0.001557	25	650	0.001538
26	656	0.001524	26	663	0.001508	26	670	0.001493
27	672	0.001488	27	684	0.001462	27	690	0.001449
28	688	0.001453	28	705	0.001418	28	710	0.001408
29	704	0.00142	29	726	0.001377	29	730	0.00137
30	720	0.001389	30	747	0.001338	30	750	0.001333
Vs₃₀		544	Vs₃₀		466	Vs₃₀		528

 Figura 9 – Valutazione della Vs₃₀ in corrispondenza delle sismiche MASW 25, 26 e 27

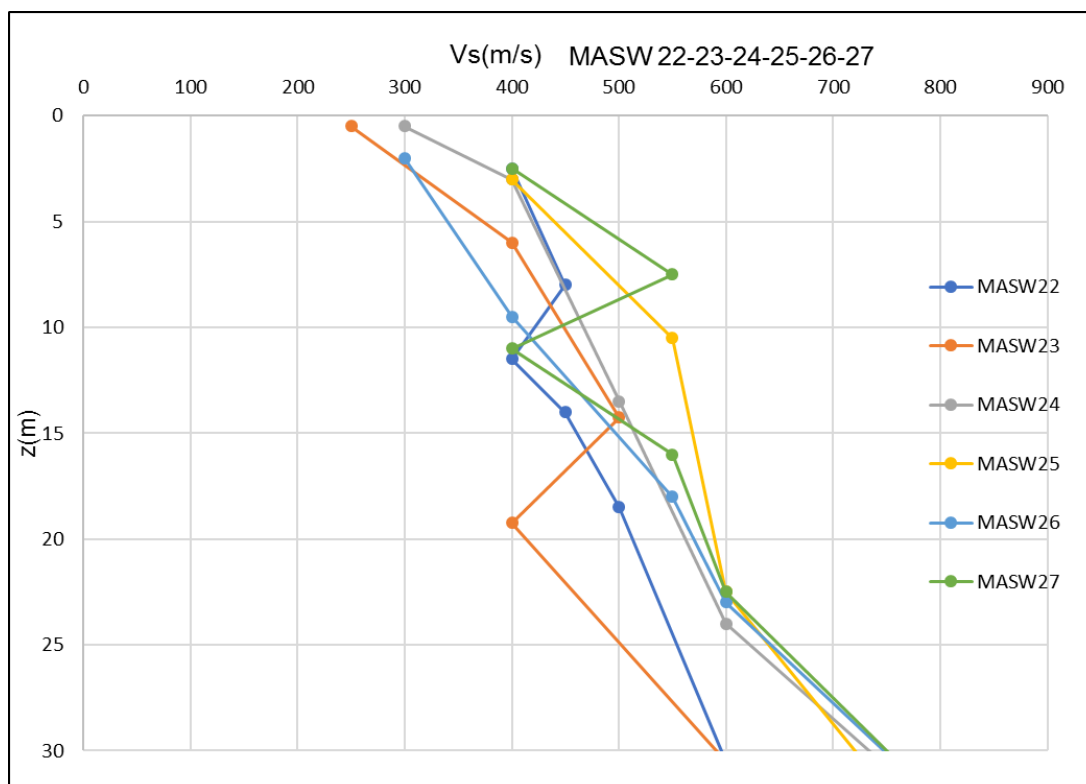


Figura 10 – Distribuzione delle Vs ricavate dalle MASW 22, 23, 24, 25, 26, 27

Si può dunque affermare dai calcoli eseguiti e mostrati che la categoria di suolo dell'area della cassa di espansione ricade in categoria B.

Sismica	Vs ₃₀ [m/s]	MEDIA Vs ₃₀ [m/s]
DH - S1PG	426	489
DH-S2	542	
MASW22	473	
MASW23	431	
MASW24	505	
MASW25	544	
MASW26	466	
MASW27	528	

Figura 11 – Valore medio della Vs₃₀ che indica l'appartenenza ad una categoria di suolo B

4.2 DEFINIZIONE DEL MODELLO DI RIFERIMENTO

Si ritiene opportuno eseguire una analisi di risposta sismica locale per l'area in esame, si utilizza un profilo di velocità ottenuto dall'elaborazione delle indagini precedentemente citate, quindi si ricava un profilo di Vs minimo che verrà implementato tramite il software di analisi lineare-equivalente di risposta sismica locale per terreni stratificati (EERA), sviluppato da J. P. Bardet, K. Ichii e C. H. Lin nell'anno 2000.

La stratigrafia di riferimento utilizzata è quella appartenente al profilo geotecnico 3 e al profilo geotecnico 1, integrati con le informazioni ricavate dai sondaggi S2 e S1_PG, tali verticali sono considerate rappresentative della situazione geotecnica e geologica nella quale sono state eseguite le due sismiche profonde DH e comprensivo degli stendimenti sismici MASW da 22 a 27.

La stratigrafia adottata è dunque riportata nella tabella seguente.

Tabella 1 – Stratigrafia di riferimento per l'analisi RSL

Numero dello stato	Spessore dello strato	Peso specifico del materiale	Unità Geotecnica
[-]	[m]	[kN/m ³]	[-]
1	1.0	20.00	2A
2	1.0	20.00	2A
3	1.0	20.00	2A
4	1.0	20.00	2A
5	1.0	20.00	2A
6	1.0	20.00	2A
7	1.0	20.00	2A
8	1.0	20.00	2A
9	1.0	19.00	2B
10	1.0	20.00	2A
11	1.0	20.00	2A
12	1.0	20.00	2A
13	1.0	20.00	2A
14	1.0	20.00	2A
15	1.0	20.00	2A
16	1.0	20.00	2A
17	1.0	20.00	2A
18	1.0	20.00	2A
19	1.0	20.00	2A
20	1.0	19.00	2B
21	1.0	19.00	2B
22	1.0	19.00	2B
23	1.0	19.00	2B
24	1.0	19.00	2B
25	1.0	19.00	2B

Numero dello stato	Spessore dello strato	Peso specifico del materiale	Unità Geotecnica
[-]	[m]	[kN/m ³]	[-]
26	1.0	19.00	2B
27	1.0	19.00	2B
28	1.0	19.00	2B
29	1.0	19.00	2B
30	1.0	19.00	2B
31	1.0	19.00	2B
32	1.0	19.00	2B
33	1.0	19.00	2B
34	1.0	19.00	2B
35	1.0	19.00	2B
36	1.0	19.00	2B
37	1.0	19.00	2B
38	1.0	20.00	2A
39	1.0	20.00	2A
40	1.0	20.00	2A
41	1.0	20.00	2A
42	1.0	20.00	2A
43	1.0	20.00	2A
44	1.0	20.00	2A
45	1.0	20.00	2A
46	1.0	20.00	2A
47	1.0	20.00	2A
48	1.0	20.00	2A
49	1.0	20.00	2A
50	1.0	20.00	2B

Il profilo di Vs minimo che si intende utilizzare è quindi ottenuto sulla base delle indagini sismiche profonde DH e MASW disponibili, di seguito si mostra il grafico del profilo adottato.

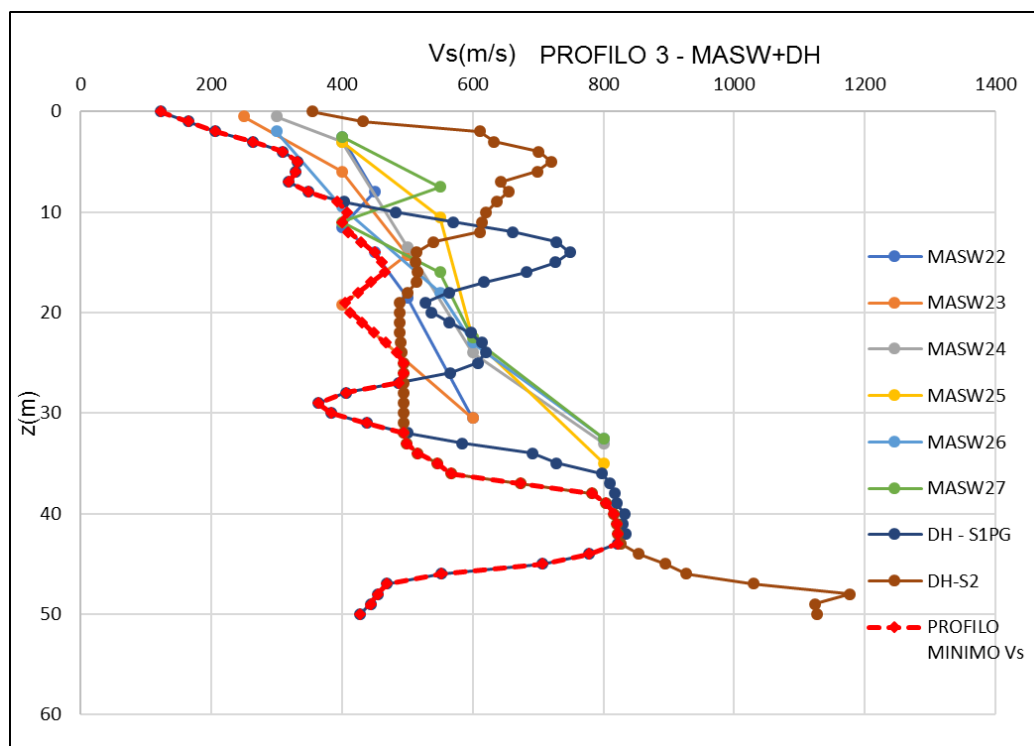


Figura 12 – Profilo minimo di V_s adottato per l'analisi di RSL

Il posizionamento dello strato di base (bedrock) avviene basandosi sulla sismica DH-S2 (le cui V_s hanno un andamento generale crescente con la profondità), la quale raggiunge valori superiori a 800 m/s per profondità pari a 50 m circa.

All'interno del modello di calcolo si sono individuati due unità geotecniche di riferimento: sabbia e ghiaia ed argilla e limo.

Il comportamento dinamico nelle analisi lineari-equivalenti per gli strati sabbiosi e ghiaiosi è stato simulato utilizzando le curve di decadimento del modulo di taglio e del rapporto di smorzamento presenti in letteratura.

Nel caso in esame si è utilizzato il decadimento del modulo di taglio riferito agli studi di Seed & Idriss (1970), mentre per quanto riguarda il damping ratio si è assunto l'andamento riportato da Idriss (1990).

Gli strati argillosi-limosi fanno invece riferimento alle curve di decadimento riportate da Seed and Sun (1989), mentre per quanto riguarda l'andamento del damping ratio si è adottata la curva di Idriss (1990).

Tali curve e le tabelle contenenti i valori puntuali al variare della deformazione a taglio sono riportati nel seguito.

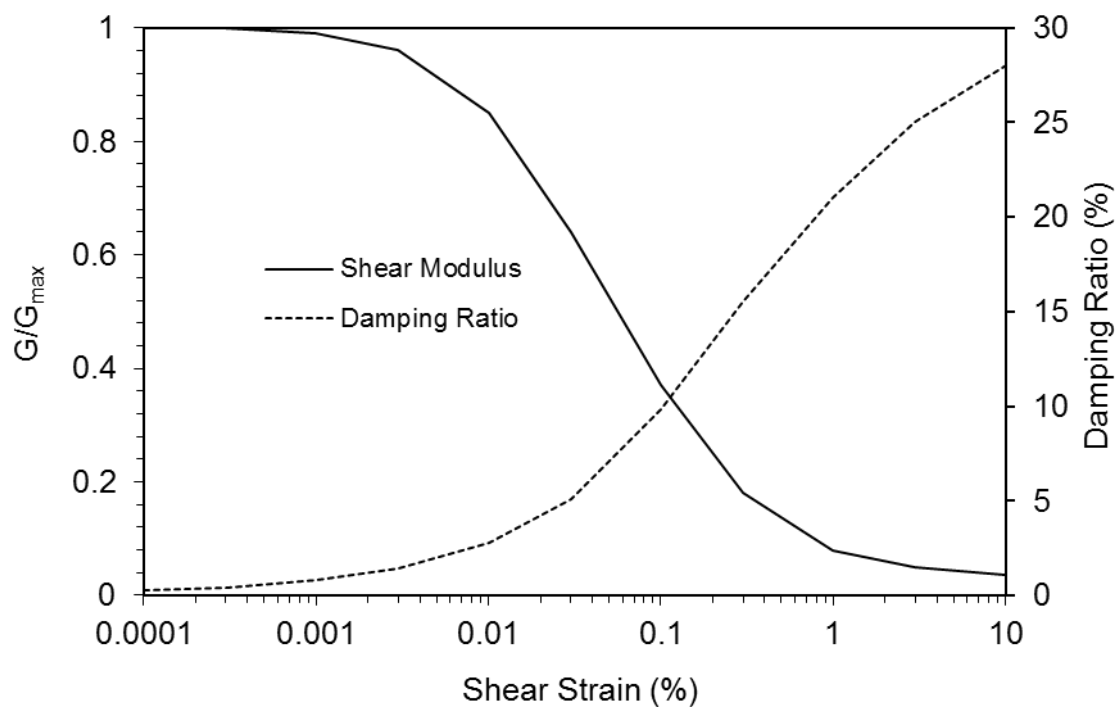


Figura 13 – Curve di decadimento del modulo e andamento del valore di damping ratio al variare delle deformazioni di taglio per sabbia e ghiaia

Tabella 2 – Decadimento del modulo e andamento del damping ratio al variare delle deformazioni di taglio per sabbia e ghiaia

Strain (%)	G/G _{max}	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	1	0.0001	0.24
0.0003	1	0.0003	0.42
0.001	0.99	0.001	0.8
0.003	0.96	0.003	1.4
0.01	0.85	0.01	2.8
0.03	0.64	0.03	5.1
0.1	0.37	0.1	9.8
0.3	0.18	0.3	15.5
1	0.08	1	21
3	0.05	3	25
10	0.035	10	28

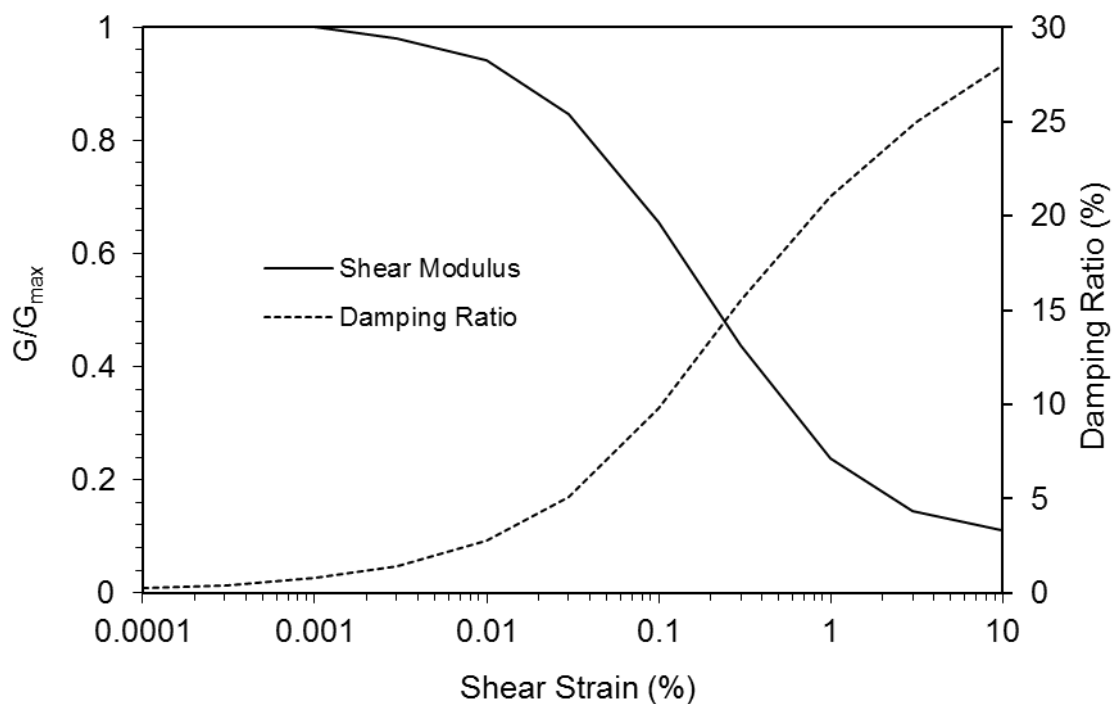


Figura 14 – Curve di decadimento del modulo e andamento del valore di damping ratio al variare delle deformazioni di taglio per argille e limi

Tabella 3 – Decadimento del modulo e andamento del damping ratio al variare delle deformazioni di taglio per argille e limi

Strain (%)	G/G _{max}	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	1	0.0001	0.24
0.0003	1	0.0003	0.42
0.001	1	0.001	0.8
0.003	0.981	0.003	1.4
0.01	0.941	0.01	2.8
0.03	0.847	0.03	5.1
0.1	0.656	0.1	9.8
0.3	0.438	0.3	15.5
1	0.238	1	21
3	0.144	3.16	25
10	0.11	10	28

5 SPETTRI DI RISPOSTA DI RIFERIMENTO

A seguito dello studio sismotettonico inerente all'area in esame (Relazione Studio Sismotettonico BAG304SISRRE010) si è definito lo spettro di risposta in termini di accelerazione di riferimento, per tutti e quattro gli stati limiti definiti in normativa: SLC, SLV, SLD e SLO per la classe di suolo A.

Categoria di Suolo	Tr (anni) - Pr (%)	PGA (g)
Classe A	90 – 81 (SLO)	0.057
Classe A	151 – 63 (SLD)	0.076
Classe A	1424 - 10 (SLV)	0.235
Classe A	2475 - 5 (SLC)	0.268

Tali spettri di risposta sono dunque utilizzati nel proseguo del presente elaborato per ricavare i set di accelerogrammi spettro compatibili con i quali si eseguirà l'analisi di risposta sismica locale.

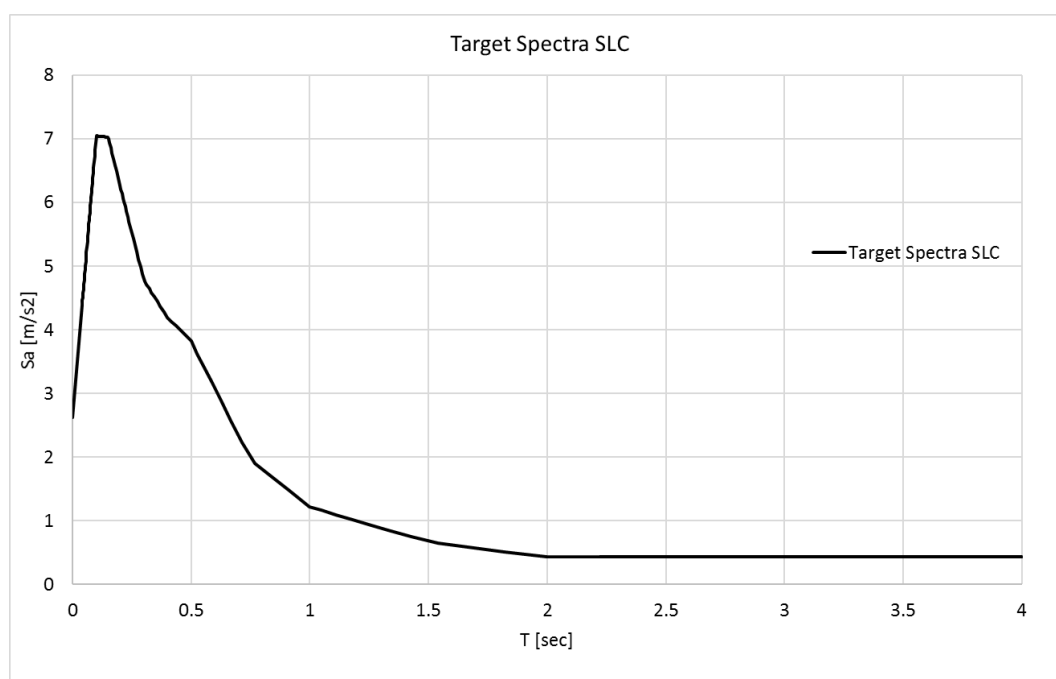


Figura 15 – Spettro di risposta ottenuto dallo studio sismotettonico per lo stato limite di collasso (SLC) e un terreno di categoria A

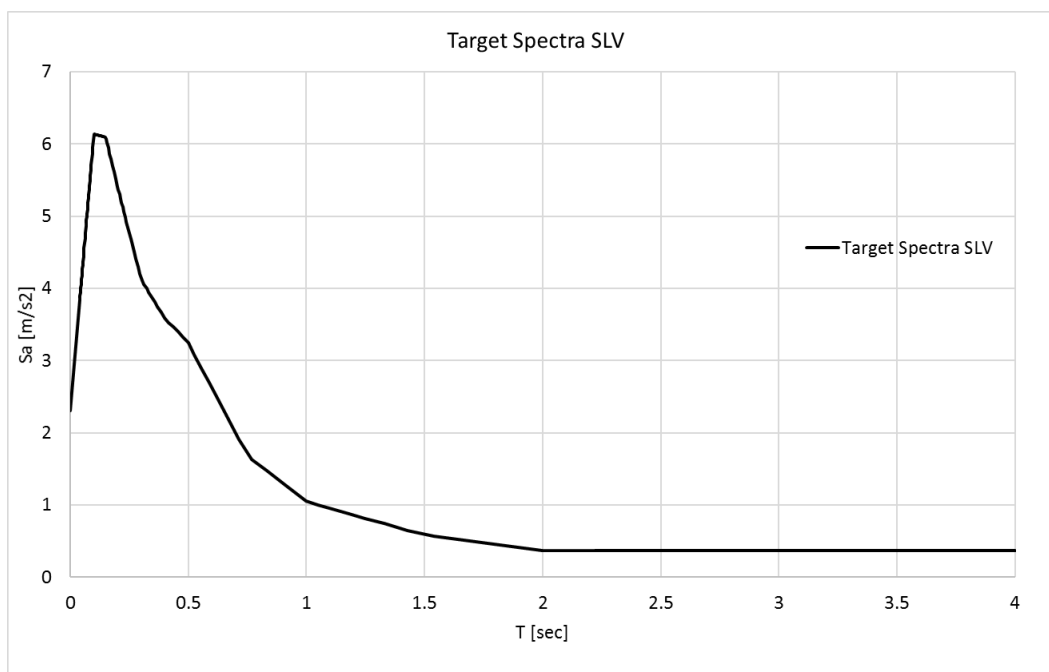


Figura 16 – Spettro di risposta ottenuto dallo studio sismotettonico per lo stato limite di vita (SLV) e un terreno di categoria A

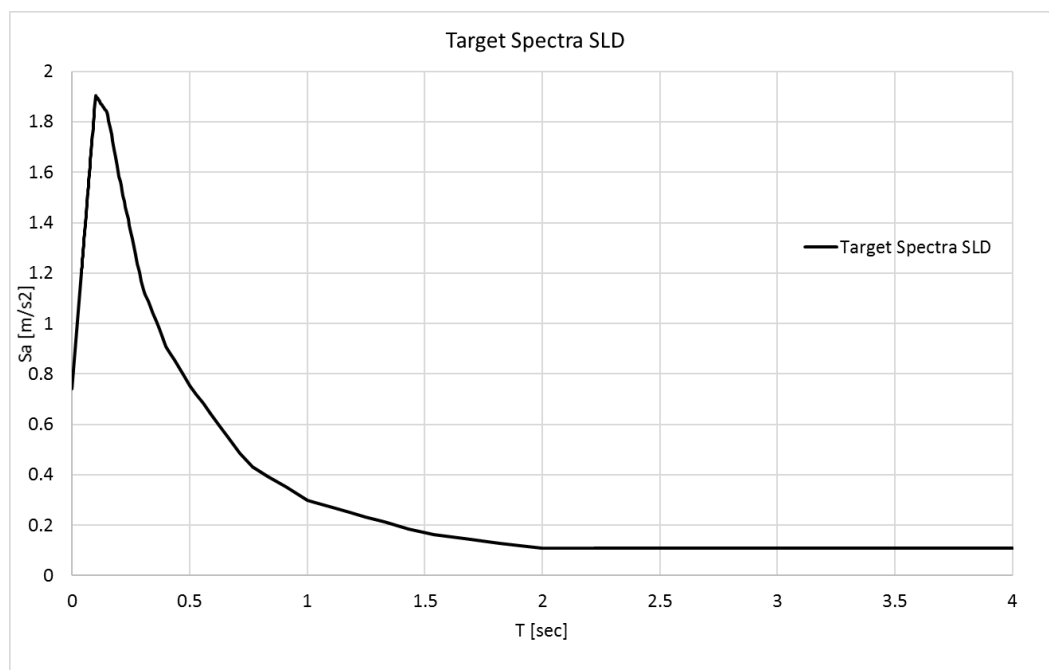


Figura 17 – Spettro di risposta ottenuto dallo studio sismotettonico per lo stato limite di danno (SLD) e un terreno di categoria A

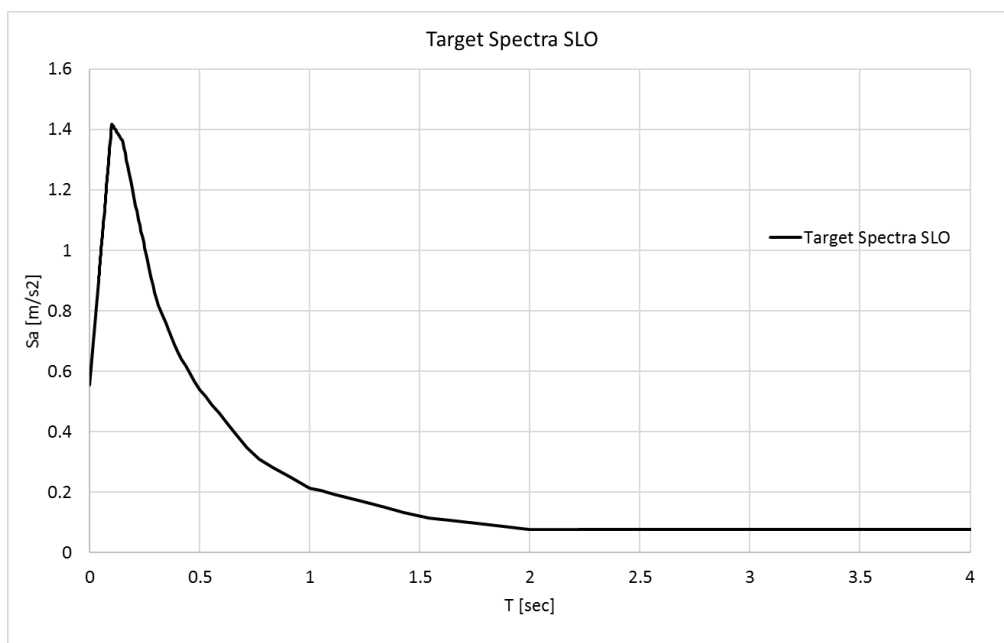


Figura 18 – Spettro di risposta ottenuto dallo studio sismotettonico per lo stato limite di operatività (SLO) e un terreno di categoria A

6 ACCELEROGRAMMI SPETTROCOMPATIBILI DI PROGETTO

L'analisi di risposta sismica locale, seguendo le indicazioni delle NTC2008, utilizza accelerogrammi naturali spettro-compatibili. Si definiscono accelerogrammi naturali in quanto sono registrazioni accelerometriche relative ad eventi sismici realmente avvenuti, reperibili in banche dati digitali "strong motion" accreditate, nazionali ed internazionali (nel caso in esame si utilizzeranno dati ricavati dal "European Strong-Motion Database").

Gli accelerogrammi di progetto sono stati definiti tenendo presente quanto indicato al punto 3.2.3.6 delle NTC08, dove è precisato che "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 sismo-genetiche della sorgente, alle condizioni di sito di registrazione, alla magnitudo, alla distanza dalla sorgente e alla massima accelerazione orizzontale attesa al sito".

Dall'analisi sismotettonica relativa al sito in esame sono stati ricavati, per determinati periodi di ritorno dell'azione sismica, l'accelerazione di picco orizzontale attesa al sito e i corrispondenti spettri di progetto, presentati nel capitolo precedente sotto la forma di spettri di risposta (S_a).

6.1 STUDIO DI DISAGGREGAZIONE

Gli accelerogrammi reali selezionati devono essere compatibili con i parametri sismologici ottenuti dal processo di disaggregazione. Tale processo consente di separare i contributi alla pericolosità delle diverse coppie magnitudo-distanza, identificando, per una prefissata probabilità di eccedenza del parametro di moto selezionato, i valori di magnitudo e distanza epicentrale del terremoto che contribuisce maggiormente alla sismicità del sito di interesse.

Si riportano quindi i processi di disaggregazione per tutti e quattro gli stati limite:

6.1.1 Disaggregazione SLC

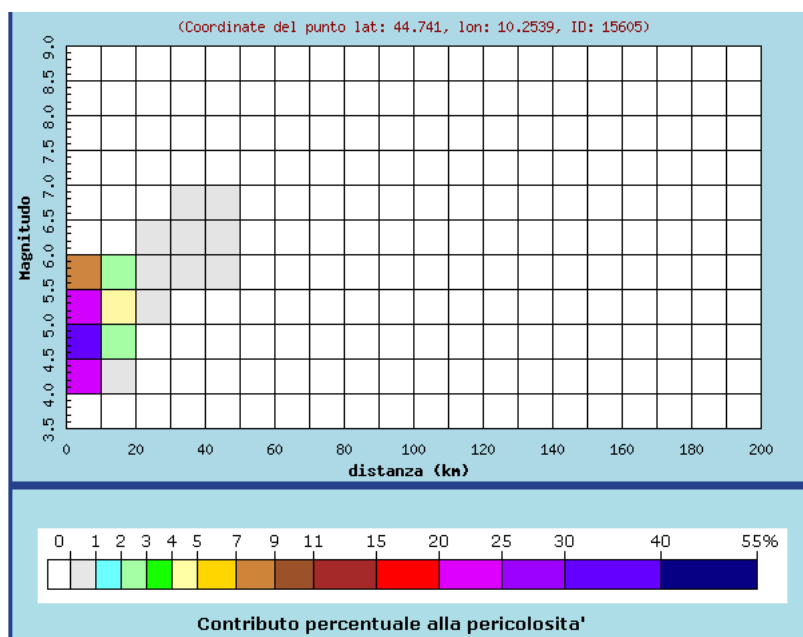


Figura 19 – Grafico di disaggregazione SLC

Distanza in km	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	0.000	20.000	38.500	22.500	8.540	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.402	2.710	4.160	2.780	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.000	0.103	0.324	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.022	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.910	5.340	1.220

Figura 20 – Coppie di valori di disaggregazione Magnitudo-Distanza – SLC

Come si può vedere dalla disaggregazione sopra riportata il maggiore contributo percentuale alla pericolosità sismica è dovuto a terremoti di magnitudo da 4 a 6 con una distanza compresa in 20 km circa.

Inoltre si riportano inoltre gli studi di disaggregazione eseguiti sulla base dello studio sismotettonico tramite il programma R-CRISIS, che permette di costruire il grafico di disaggregazione sismica. Si riporta dunque come confronto per lo stato limite SLC, per ogni singola GMPE adottata e si calcolano dunque i valori medi.

Le GMPE adottate sono quelle alla base dello studio sismotettonico (Relazione Sismotettonica BAG304SISRRE012) e come esplicitato nelle “Linee Guida per la redazione degli studi sismotettonici dell’INGV” le quattro relazioni, sono le seguenti:

- *Bindi et al. (2011)*
- *Akkar et al. (2014)*
- *Boore et al. (2014)*
- *Cauzzi et al. (2015)*

Inoltre è stata utilizzata una relazione proposta per una scala più locale (Italia centro-settentrionale) ritenuta valida per la zona di Parma, proposta da *Massa et al (2008)*.

Pubblicazione di riferimento	Area	Tipo di distanza (R)	Classi di sito
Bindi et al. (2011)	Italia	RJB, Repi (M<5)	5 classi
Boore et al. (2014)	Globale	RJB	Vs30
Akkar et al. (2014)	Europa e Medio Oriente	RJB, Repi, Rhypo	Vs30
Cauzzi et al. (2015)	Globale	Rrup	Vs30
Massa et al. (2008)	Italia centro settentrionale	Repi	2 classi

Nota tale legge è possibile calcolare la probabilità totale, estesa ad ogni zona ZS, che si abbia un terremoto che produca l'evento $Y > y$ proveniente da una generica distanza r dal sito, considerata come variabile aleatoria, e quindi caratterizzata da una funzione densità di probabilità $f_R(r)$:

$$P(Y > y)_{ZS} = \int_{ZS} P(Y > y / R=r) f_R(r) dr$$

in cui $P(Y > y)$ dipende dalla forma della legge di attenuazione; per cui nel caso generico in cui essa sia pari a:

$$Y(M, R) = c_1 + c_2 M - c_3 f(R)$$

assume la forma (per $M > m_0$):

$$P(Y > y / R=r) = G(r) C e^{(-\beta/c^2 y)}$$

con:

$$C = e^{(\beta (c_1/c_2 + m_0))}$$

$$G(r) = r^{(-\beta c_3/c_2)}$$

a) Bindi et al. (2011)

L'espressione utilizzata è:

$$\begin{aligned}\log_{10} Y &= e_1 + F_D + F_M + F_S + F_{sof} \\ F_D &= [c_1 + c_2(M - M_{ref})] \log_{10} \left(\sqrt{R_{JB}^2 + h^2} / R_{ref} \right) \\ &\quad - c_3 \left(\sqrt{R_{JB}^2 + h^2} - R_{ref} \right) \\ F_M &= \begin{cases} b_1(M - M_h) + b_2(M - M_h)^2 & \text{for } M \leq M_h \\ b_3(M - M_h) & \text{otherwise} \end{cases} \\ F_S &= s_j C_j \\ F_{sof} &= f_j E_j\end{aligned}$$

Y è espressa in cm/sec²

$e_1 = 3.672$, $c_1 = -1.940$, $c_2 = 0.413$, $h = 10.322$, $c_3 = 1.34 \cdot 10^{-4}$, $b_1 = -0.262$, $b_2 = -0.0707$, $s_A = 0$, $s_B = 0.162$, $s_C = 0.240$, $s_D = 0.105$, $s_E = 0.570$, $f_1 = -5.03 \cdot 10^{-2}$, $f_2 = 0.105$, $f_3 = -5.441 \cdot 10^{-2}$, $f_4 = 0$, $\sigma = 0.337$ per PGA orizzontale

$e_1 = 3.511$, $c_1 = -1.741$, $c_2 = 0.324$, $h = 9.052$, $c_3 = 1.28 \cdot 10^{-3}$, $b_1 = 9.04 \cdot 10^{-3}$, $b_2 = -0.0270$, $s_A = 0$, $s_B = 0.167$, $s_C = 0.204$, $s_D = 0.190$, $s_E = 0.350$, $f_1 = -7.09 \cdot 10^{-2}$, $f_2 = 7.79 \cdot 10^{-2}$, $f_3 = -6.96 \cdot 10^{-3}$, $f_4 = 0$, and $\sigma = 0.314$ per PGA verticale

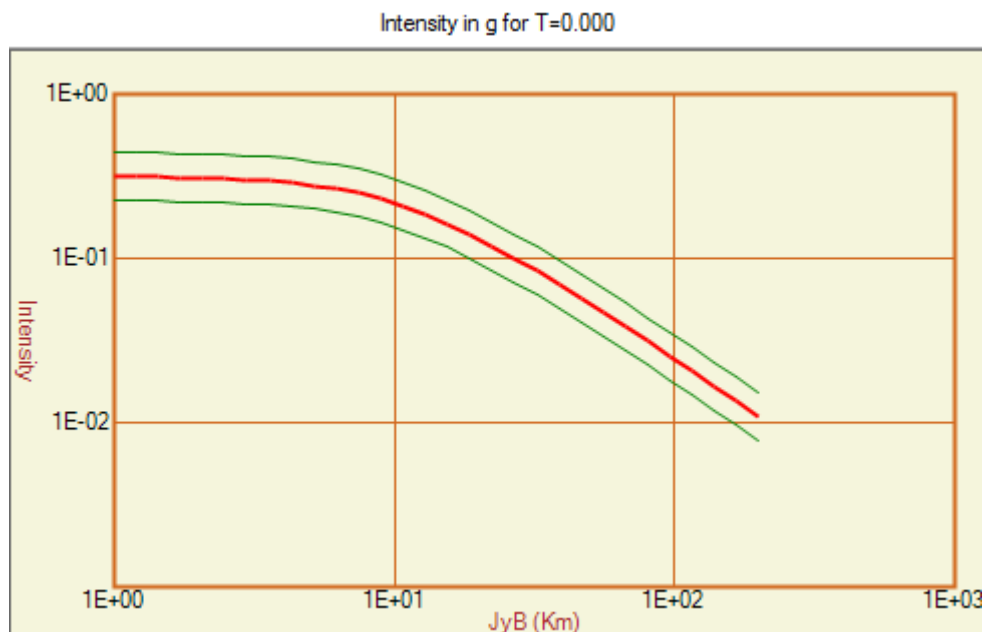


Figura 21 – Relazione di attenuazione di Bindi et al. 2011, sull'asse verticale si riporta l'intensità espressa in g, mentre sull'asse orizzontale le distanze JyB espressa in Km (T=0.00 sec)

b) Boore et al. (2014)

L'espressione utilizzata è:

$$\begin{aligned}
 \ln Y &= F_E + F_P + F_S \\
 F_E &= \begin{cases} e_0 U + e_1 SS + e_2 NS + e_3 RS + e_4 (M_w - M_h) + e_5 (M - M_h)^2 & M \leq M_h \\ e_0 U + e_1 SS + e_2 NS + e_3 RS + e_6 (M_w - M_h) & M > M_h \end{cases} \\
 F_P &= [c_1 + c_2 (M_w - M_{ref})] \ln(R/R_{ref}) + (c_3 + \Delta c_3)(R - R_{ref}) \\
 R &= \sqrt{r_{jb}^2 + h^2} \\
 F_S &= \ln(F_{lin}) + \ln(F_{nl}) + F_{\delta z_1}(\delta z_1) \\
 \ln(F_{lin}) &= \begin{cases} c \ln\left(\frac{V_{s,30}}{V_{ref}}\right) & V_{s,30} \leq V_c \\ c \ln\left(\frac{V_c}{V_{ref}}\right) & V_{s,30} > V_c \end{cases} \\
 \ln(F_{nl}) &= f_1 + f_2 \ln\left(\frac{PGA_r + f_3}{f_3}\right) \\
 f_2 &= f_4 [\exp\{f_5(\min(V_{s,30}, 760) - 360)\} - \exp f_5(760 - 360)] \\
 F_{\delta z_1} &= \begin{cases} 0 & T < 0.65 \\ f_6 \delta z_1 & T \geq 0.65 \& \delta z_1 \leq f_7/f_6 \\ f_7 & T \leq 0.65 \& \delta z_1 > f_7/f_6 \end{cases} \\
 \delta z_1 &= z_1 - \mu_{z1} \\
 \ln(\mu_{z1}) &= \begin{cases} \frac{-7.15}{4} \ln\left(\frac{V_{s,30}^4 + 570.94^4}{1360^4 + 570.94^4}\right) & \text{for California} \\ \frac{-5.23}{2} \ln\left(\frac{V_{s,30}^2 + 412.39^2}{1360^2 + 412.39^2}\right) & \text{for Japan} \end{cases}
 \end{aligned}$$

Y è espressa in g

Mref = 4.5, Rref = 1 km, Vref = 760m/s, PGAr è la PGA media for roccia (i.e. Vs30 = Vref), e0 = 0.4473, e1 = 0.4856, e2 = 0.2459, e3 = 0.4539, e4 = 1.4310, e5 = 0.05053, e6 = -0.1662, Mh = 5.5, c1 = -1.134, c2 = 0.1917, c3 = -0.008088, h = 4.5, c3China;Turkey = 0.0028576, c3Italy;Japan = -0.0025500, c = -0.6, Vc = 1500m/s, f1 = 0, f3 = 0.1, f4 = -0.15, f5 = -0.00701, f6 = -9.9 and f7 = -9.9.

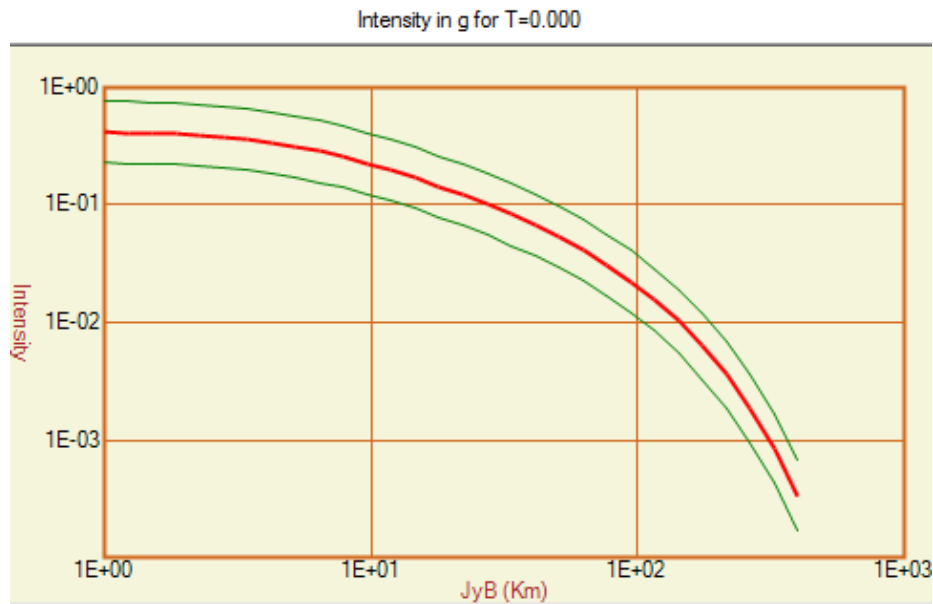


Figura 22 – Relazione di attenuazione di Boore et al. 2014, sull'asse verticale si riporta l'intensità espressa in g, mentre sull'asse orizzontale le distanze JyB espressa in Km (T=0.00 sec)

c) Akkar et al. (2014)

L'espressione utilizzata è:

$$\begin{aligned} \ln Y &= \ln Y_{REF} + \ln S \\ \ln Y_{REF} &= \begin{cases} a_1 + a_2(M - 6.75) + a_3(8.5 - M)^2 + [a_4 + a_5(M - 6.75)] \ln \sqrt{R^2 + a_6^2} + a_8 F_N + a_9 F_R & M_w \leq 6.75 \\ a_1 + a_7(M - 6.75) + a_3(8.5 - M)^2 + [a_4 + a_5(M - 6.75)] \ln \sqrt{R^2 + a_6^2} + a_8 F_N + a_9 F_R & M_w > 6.75 \end{cases} \\ \ln S &= \begin{cases} b_1 \ln(V_{s,30}/V_{REF}) + b_2 \ln \left[\frac{PGA_{REF} + c(V_{s,30}/V_{REF})^n}{(PGA_{REF} + c)(V_{s,30}/V_{REF})^n} \right] & V_{s,30} \leq V_{REF} \\ b_1 \ln \left[\frac{\min(V_{s,30}, V_{CON})}{V_{REF}} \right] & V_{s,30} > V_{REF} \end{cases} \end{aligned}$$

Y è espressa in g

a8 = -0.1091, a9 = 0.0937, a2 = 0.0029, a5 = 0.2529, a6 = 7.5 and a7 = -0.5096 per tutte le distanze metriche
 a1 = 1.85329, a3 = -0.02807, a4 = -1.23452, s = 0.7121 per rjb;
 a1 = 2.52977, a3 = -0.05496, a4 = -1.31001, s = 0.7312 per repi;
 a1 = 3.26685, a3 = -0.04846, a4 = -1.47905, s = 0.7347 per rhypo;
 VREF = 750m/s, VCON = 1000m/s, b1 = -0.41997, b2 = -0.28846, c = 2.5 and n = 3.2

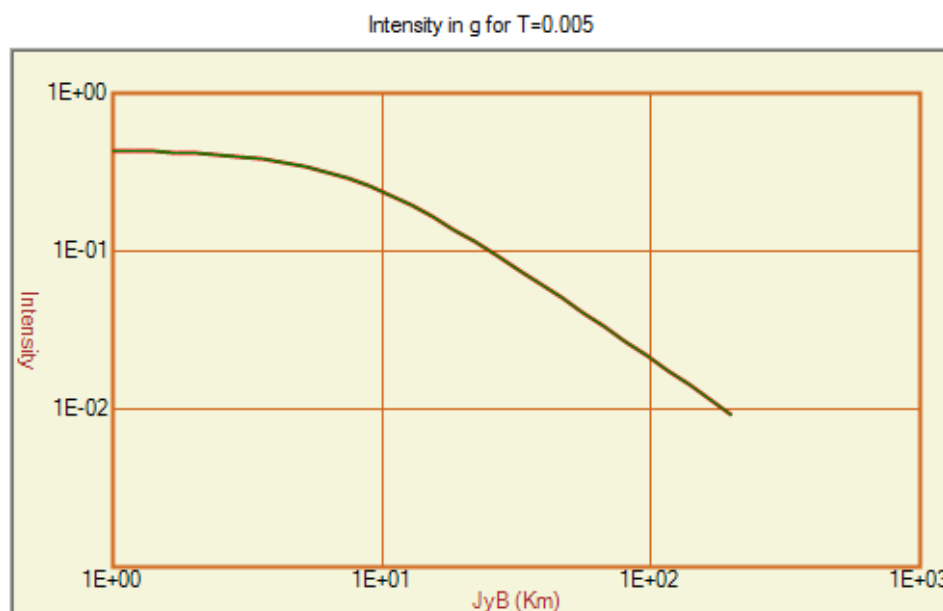


Figura 23 – Relazione di attenuazione di Akkar et al. 2014, sull'asse verticale si riporta l'intensità espressa in g, mentre sull'asse orizzontale le distanze JyB espressa in Km (T=0.00 sec)

d) Cauzzi et al. (2015)

L'espressione utilizzata è:

$$\begin{aligned} \log_{10} y &= f_M + f_R + f_S + f_{SOF} \\ f_M &= c_1 + m_1 M_w + m_2 M_w^2 \\ f_R &= (r_1 + r_2 M_w) \log_{10}(r_{rup} + r_3) \\ f_S &= \begin{cases} s_B S_B + s_C S_C + s_D S_D & \text{or alternatively} \\ b_V \log_{10} \left(\frac{V_{s,30}}{V_A} \right) & \text{or alternatively} \\ b_{V800} \log_{10} \left(\frac{V_{s,30}}{800} \right) \end{cases} \\ f_{SOF} &= f_N F_N + f_R F_R + f_{SS} F_{SS} \end{aligned}$$

Y è espressa in cm

$c1 = -2.19617$, $m1 = 0.52375$, $m2 = -0.06094$, $r1 = -3.80190$, $r2 = 0.35508$, $r3 = 11.64156$, $sB = 0.21070$, $sC = 0.28251$, $sD = 0.28288$, $bV = -0.31007$, $bV\ 800 = -0.70244$, $VA = 2319.18598$, $fN = -0.02411$, $fR = 0.07246$, $fSS = -0.05632$, $\sigma = 0.34071$.

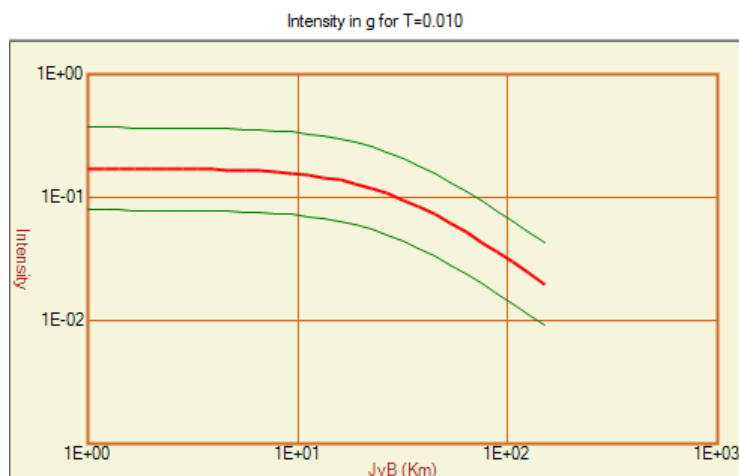


Figura 24 – Relazione di attenuazione di Cauzzi et al. 2015, sull'asse verticale si riporta l'intensità espressa in g, mentre sull'asse orizzontale le distanze JyB espressa in Km (T=0.00 sec)

e) **Massa et al. (2008)**

L'espressione utilizzata è:

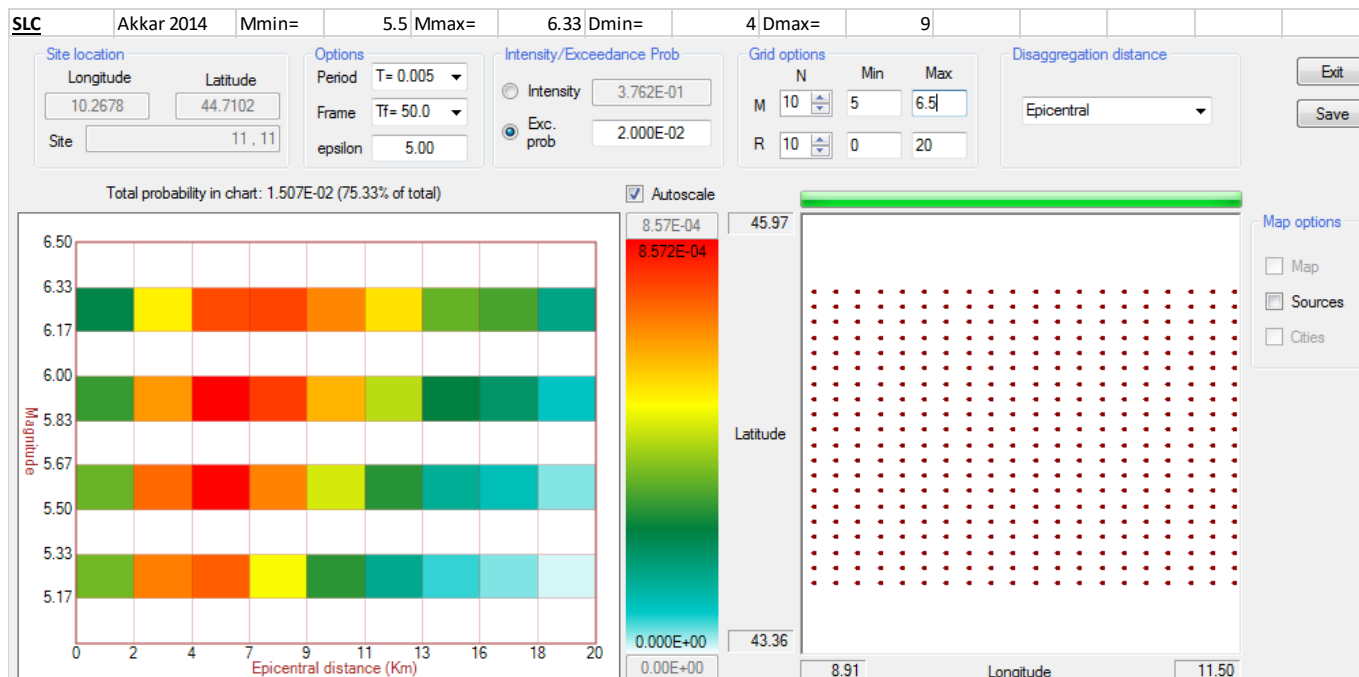
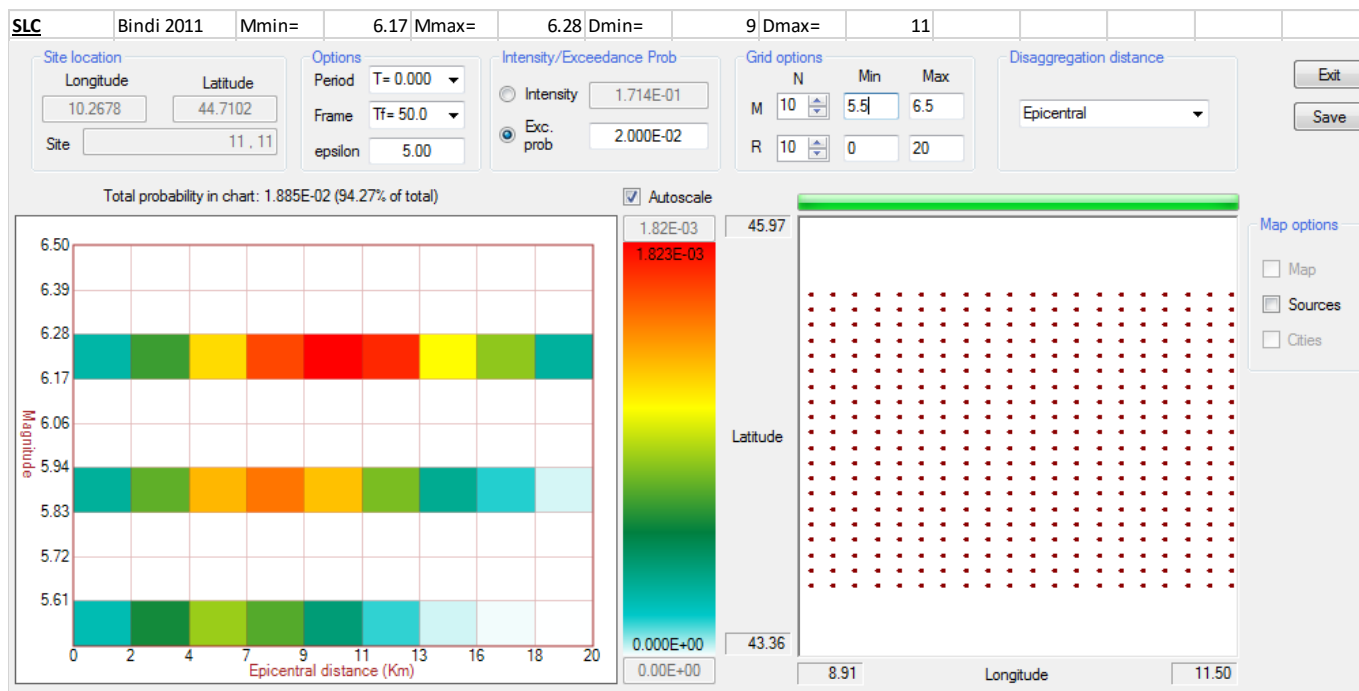
$$\log_{10}(Y) = a + b M + c \log(R^2 + h^2)^{0.5} + d1 SA + d2 S(B+C) \pm \sigma$$

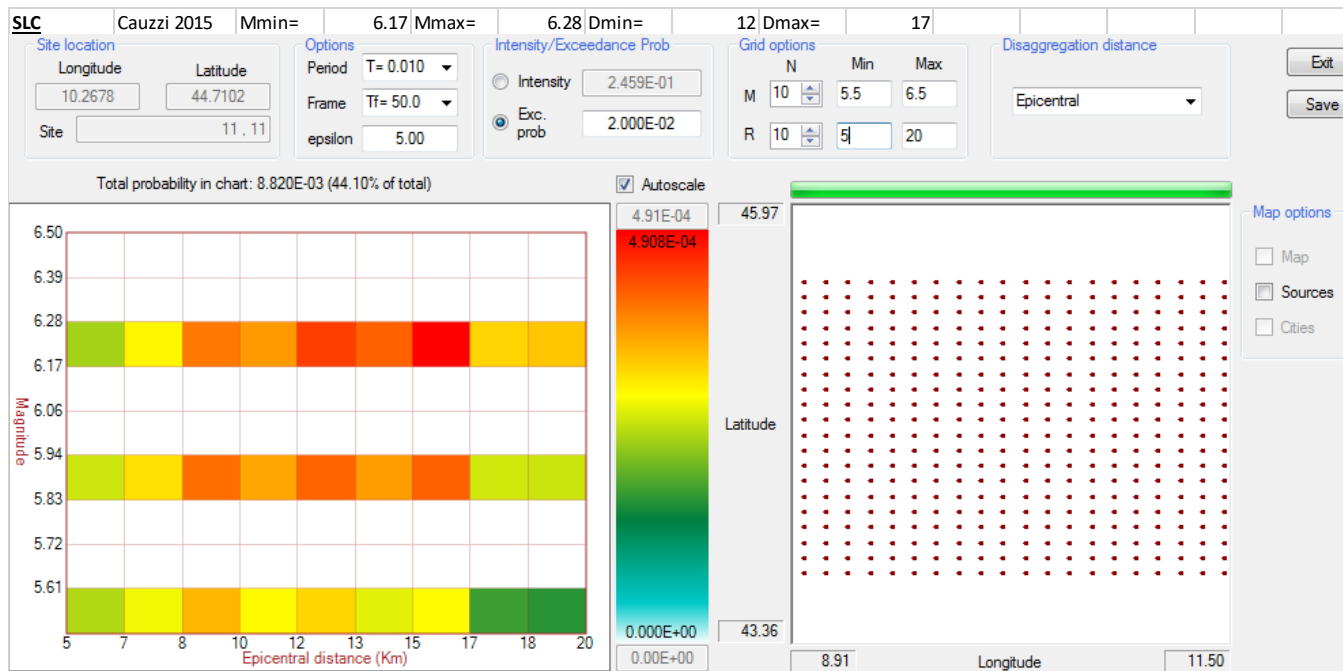
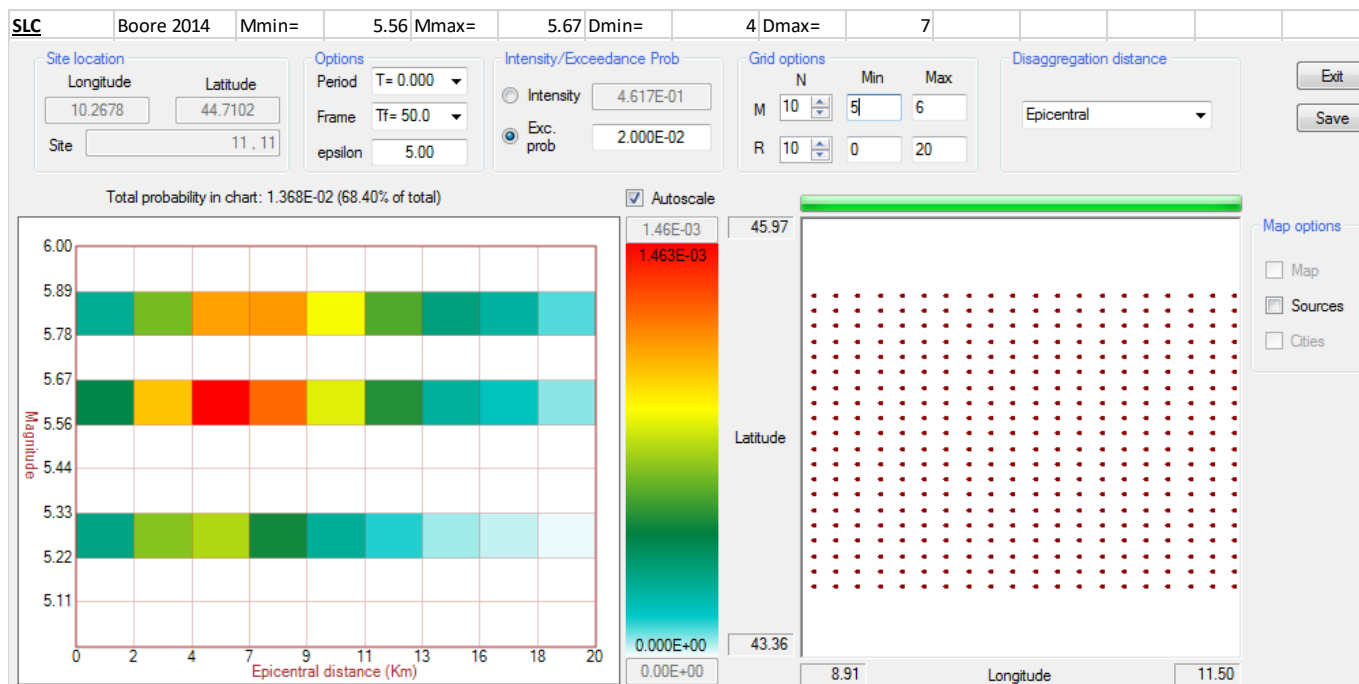
con SA=1 per suoli rigidi e S(B+C) per suoli soffici.

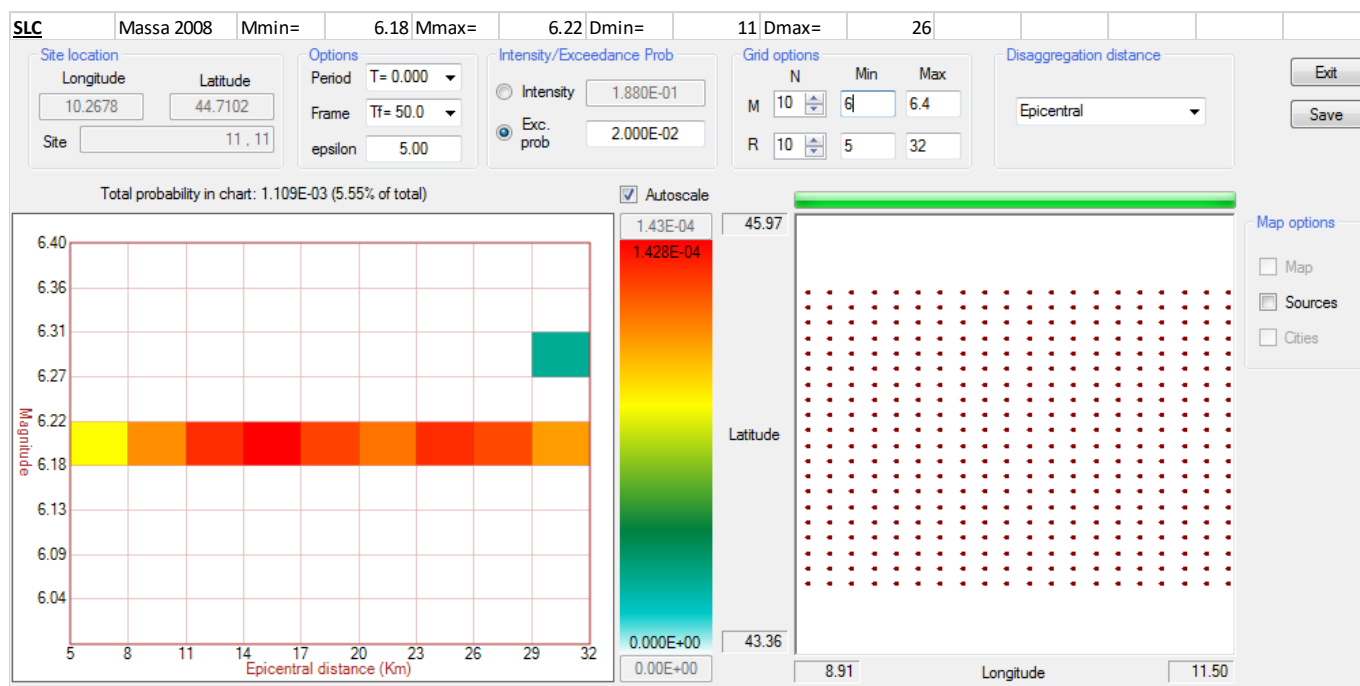
Y è espressa in g

Si riportano di seguito i valori dei parametri anche in funzione dei periodi spettrali e relativa deviazione standard.

parameter	a	error	b	error	c	error	d1 stiff	d2 soft	σ
PGHA	-3.2191	±0.16	0.7194	±0.025	-1.7521	±0.075	0.1780	–	±0.282
PGHV	-4.1967	±0.14	0.8561	±0.022	-1.7270	±0.065	0.1774	–	±0.248
PGHD	-3.9474	±0.14	1.0047	±0.023	-1.7293	±0.066	0.1726	–	±0.232
SA – 0.1	-2.7799	±0.14	0.6380	±0.028	-1.7075	±0.073	0.1254	–	±0.351
SA – 0.3	-4.0539	±0.11	0.8595	±0.023	-1.5138	±0.059	0.2338	–	±0.261
SA – 0.5	-4.7976	±0.11	0.9854	±0.023	-1.5097	±0.058	0.2259	–	±0.274
SA – 0.7	-5.2896	±0.12	0.9862	±0.022	-1.4544	±0.059	0.1936	–	±0.271
SA – 0.9	-5.4916	±0.12	0.9694	±0.024	-1.4638	±0.062	0.1342	–	±0.268
SA – 1.1	-5.6916	±0.11	1.0141	±0.023	-1.5366	±0.060	0.1332	–	±0.264
SA – 1.3	-5.8083	±0.11	1.0055	±0.024	-1.5575	±0.060	0.1430	–	±0.263
SA – 1.5	-5.8847	±0.12	0.9889	±0.022	-1.5766	±0.058	0.1547	–	±0.259







SLC		
R-CRISIS	Mmax	6.18
	Mmin	5.98
	Dmax	14.75
	Dmin	8.45

Tale analisi fornisce valori più specifici che devono essere considerati per la procedura di selezione degli accelerogrammi spettro compatibili, quindi si ritiene rappresentativo un range di magnitudo compreso tra 4.5 e 6.1 e un range di distanze compreso tra 5 e 15 km.

6.1.2 Disaggregazione SLV

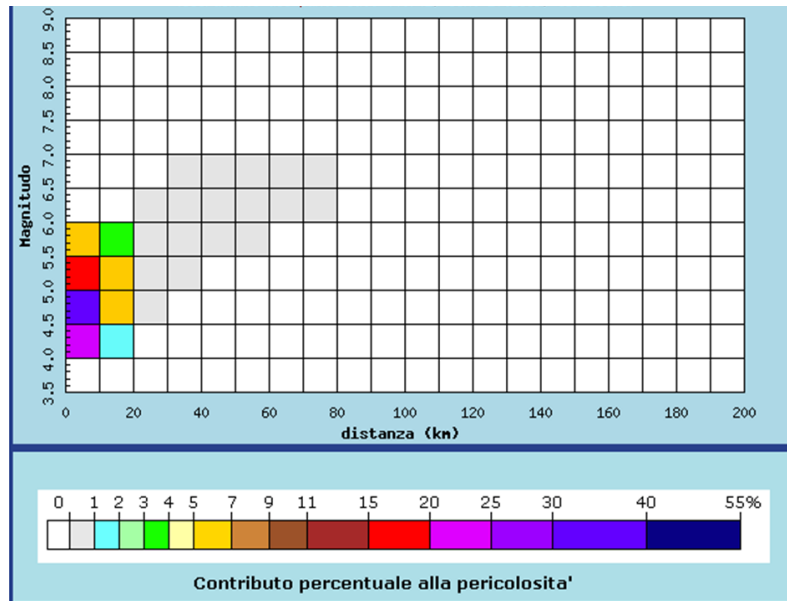


Figura 25 – Grafico di disaggregazione SLV

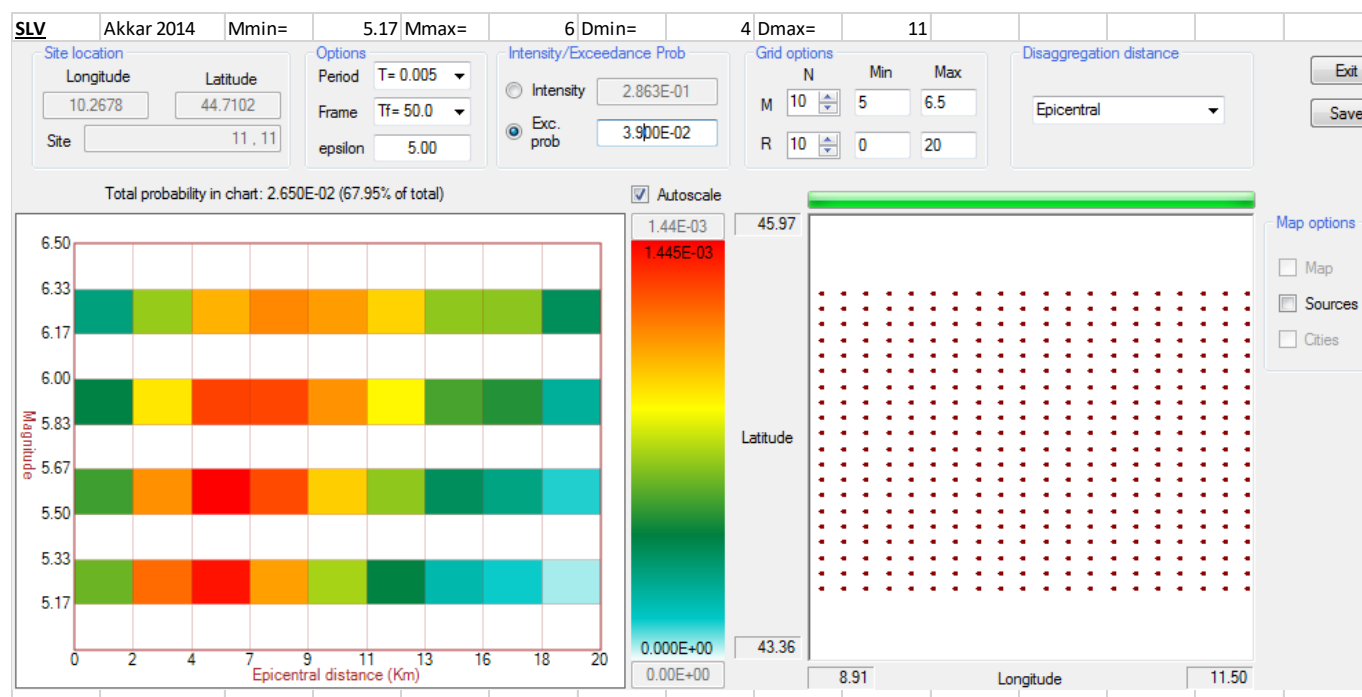
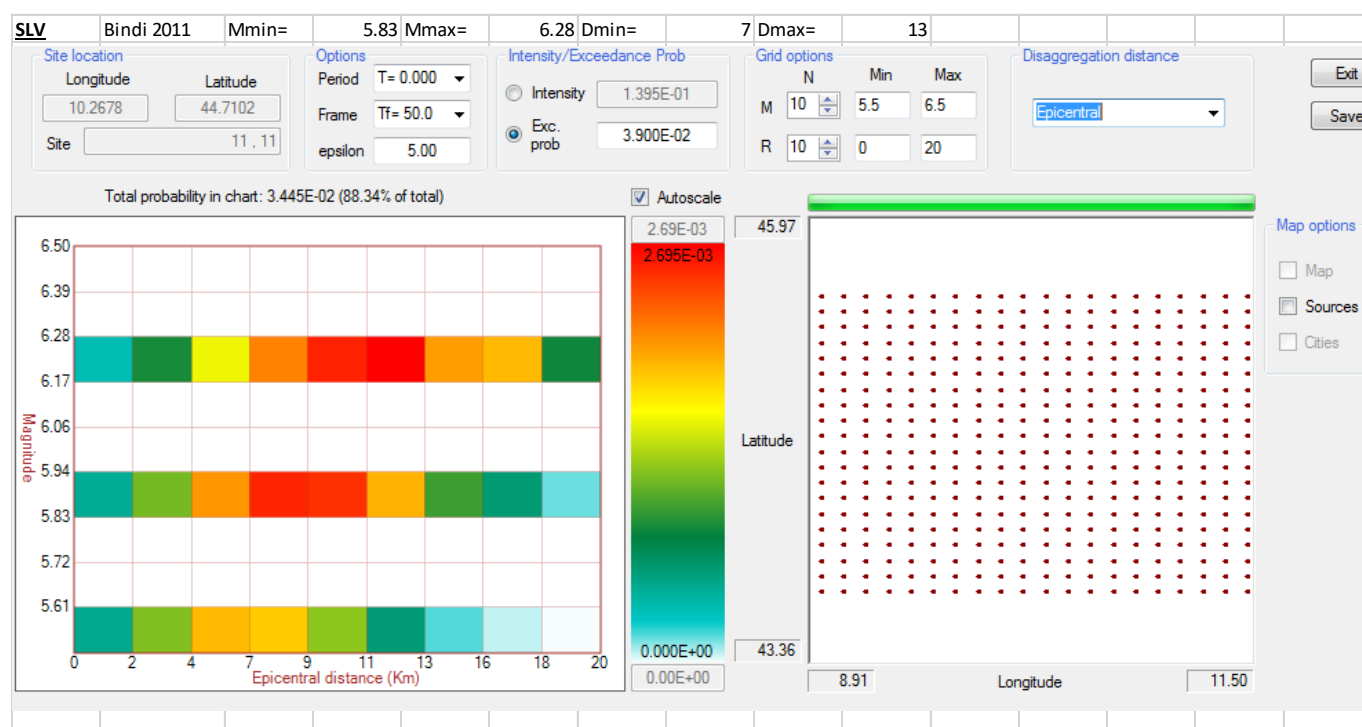
Distanza in km	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	21.100	36.200	18.000	6.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	1.850	6.050	5.840	3.110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.000	0.100	0.662	0.675	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.024	0.147	0.072	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.044	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.006	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

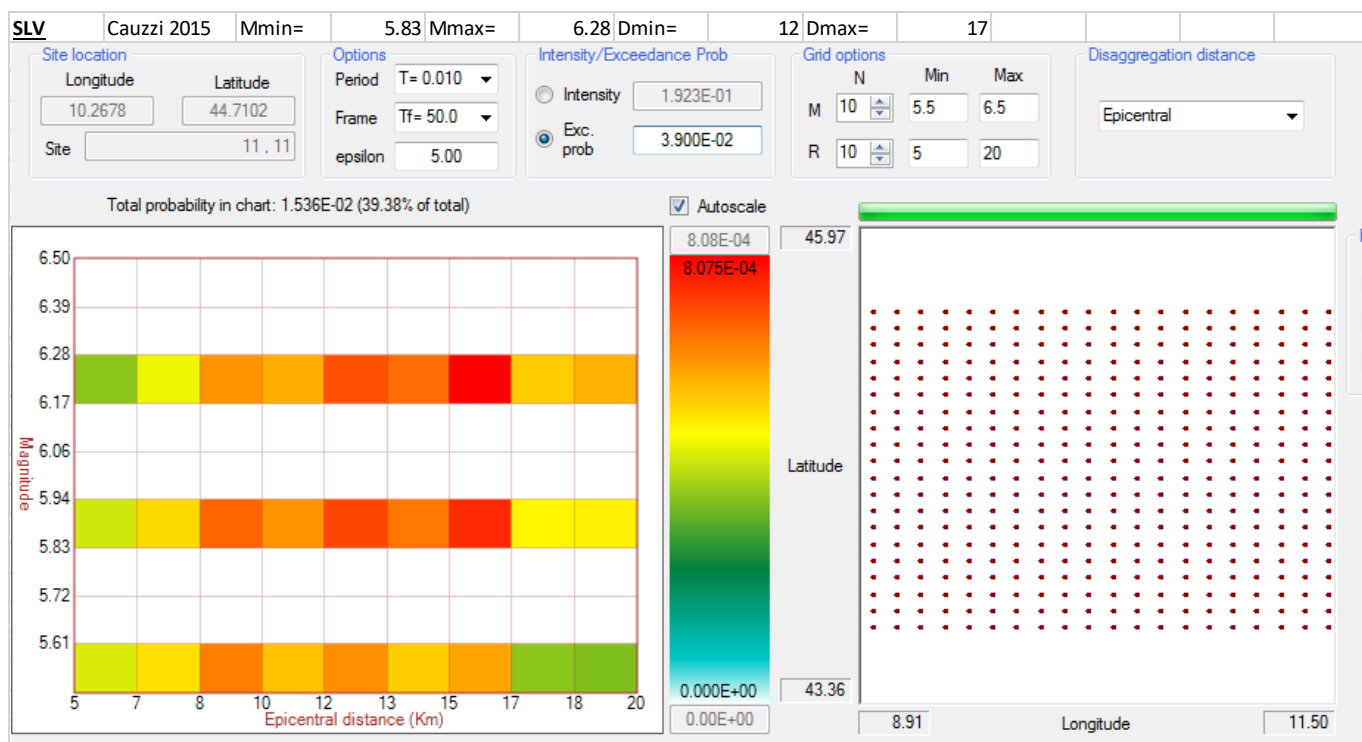
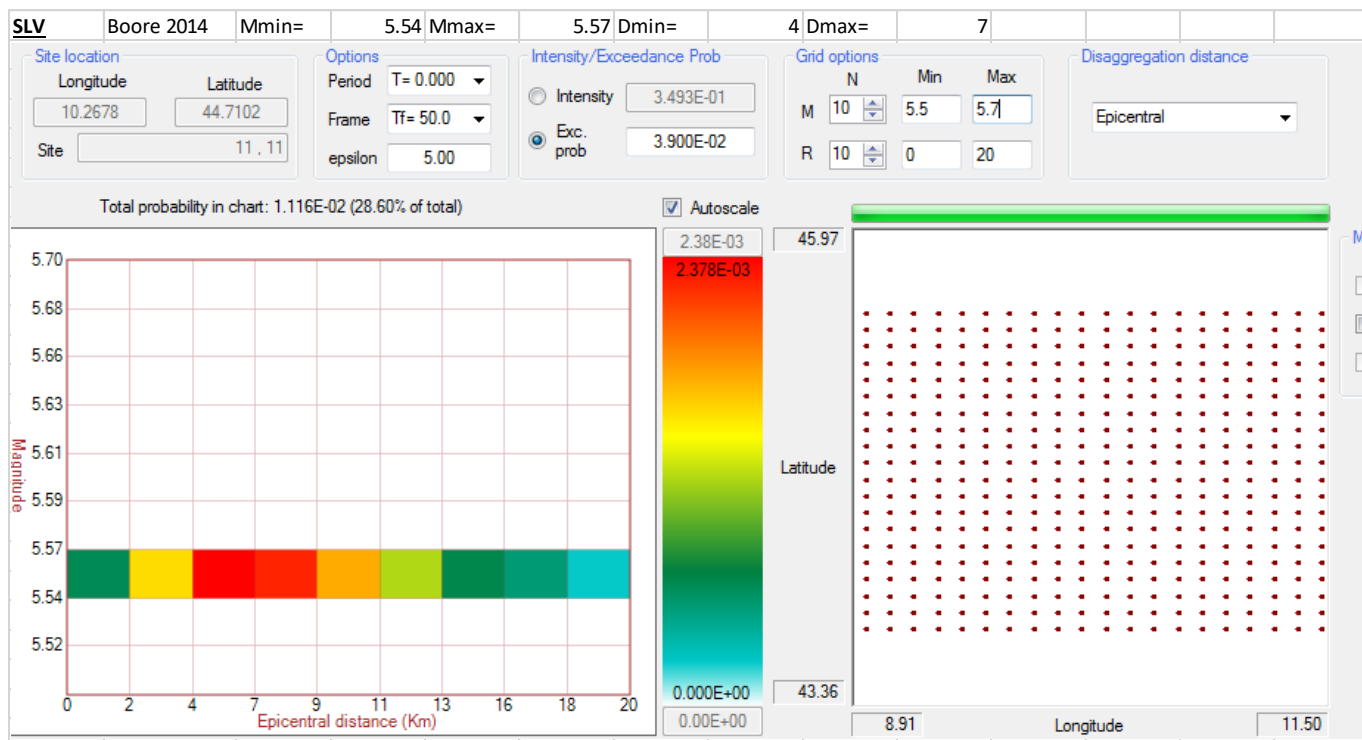
Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.870	6.600	1.000

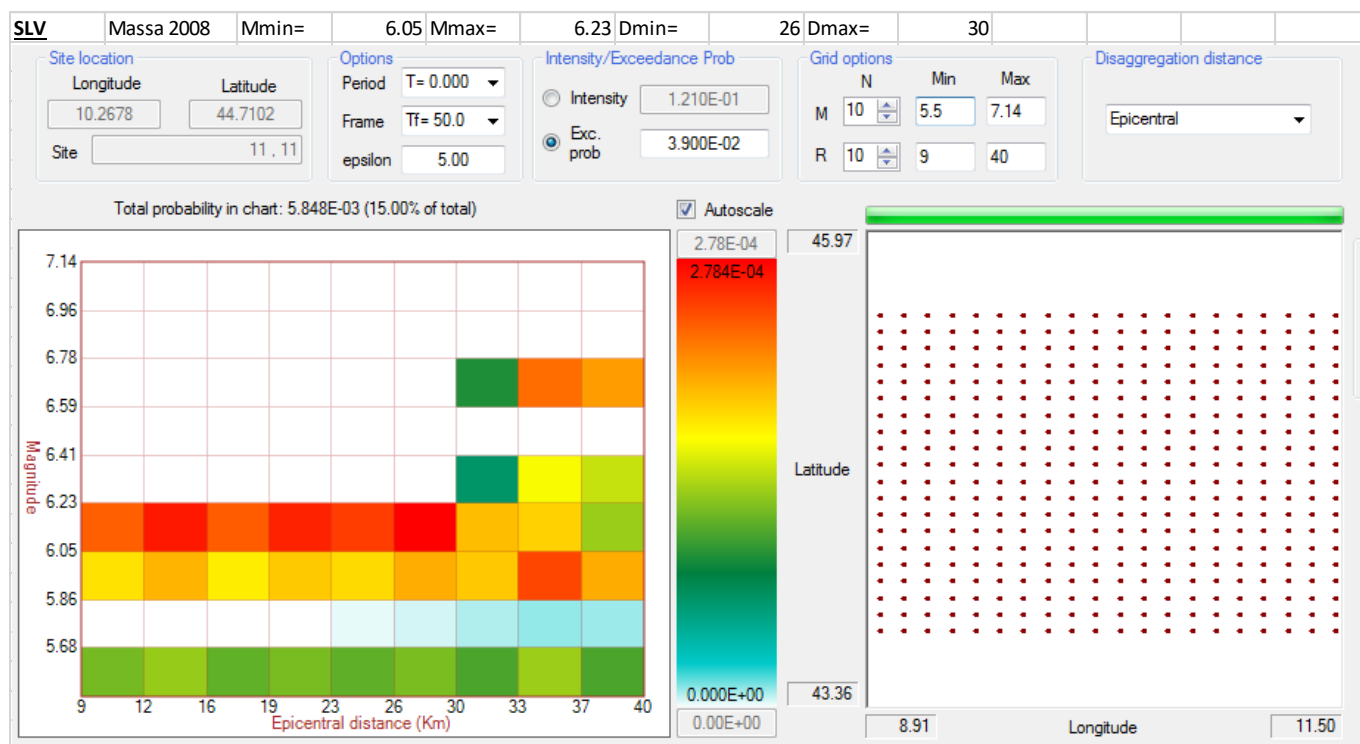
Figura 26 – Coppie di valori di disaggregazione Magnitudo-Distanza – SLV

Come si può vedere dalla disaggregazione sopra riportata il maggiore contributo percentuale alla pericolosità sismica è dovuto a terremoti di magnitudo da 4 a 6 con una distanza compresa in 20 km circa.

Inoltre si riportano inoltre gli studi di disaggregazione eseguiti sulla base dello studio sismotettonico tramite il programma R-CRISIS, che permette di costruire il grafico di disaggregazione sismica. Si riporta dunque come confronto per lo stato limite SLV, per ogni singola GMPE adottata e si calcolano dunque i valori medi.







SLV		
R-CRISIS	Mmax	6.12
	Mmin	5.74
	Dmax	16.65
	Dmin	11.6

Tale analisi fornisce valori più specifici che devono essere considerati per la procedura di selezione degli accelerogrammi spettro compatibili, quindi si ritiene rappresentativo un range di magnitudo compreso tra 4.5 e 6.1 e un range di distanze compreso tra 5 e 17 km.

6.1.3 Disaggregazione SLD

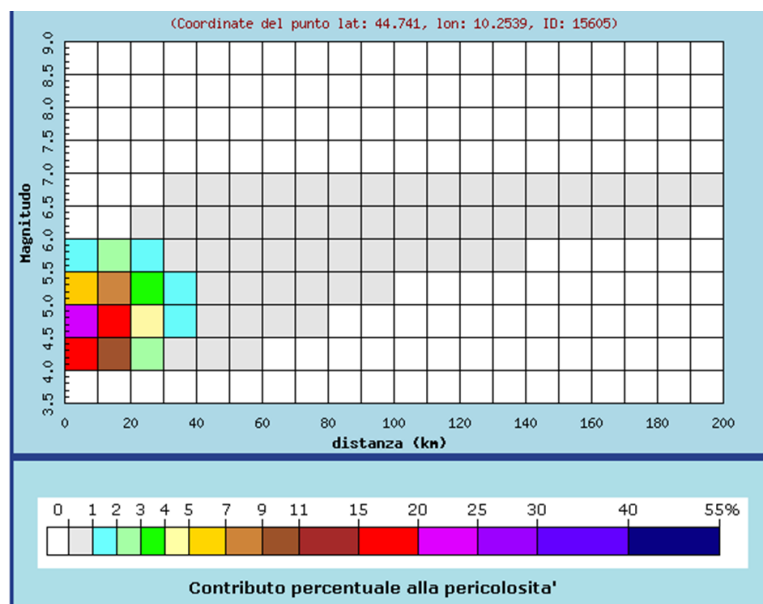


Figura 27 – Grafico di disaggregazione SLD

Distanza in km	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	0.000	16.000	20.500	6.750	1.630	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	9.130	15.500	7.520	2.410	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	2.120	4.830	3.400	1.470	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.431	1.530	1.570	0.986	0.226	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.025	0.346	0.676	0.621	0.315	0.047	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.052	0.271	0.352	0.226	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.007	0.103	0.183	0.125	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.040	0.101	0.074	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.011	0.054	0.049	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.002	0.027	0.030	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.019	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.012	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.007	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.830	14.200	0.464

Figura 28 – Coppie di valori di disaggregazione Magnitudo-Distanza – SLD

Come si può vedere dalla disaggregazione sopra riportata il maggiore contributo percentuale alla pericolosità sismica è dovuto a terremoti di magnitudo da 4 a 6 con una distanza compresa in 40 km circa.

6.1.4 Disaggregazione SLO

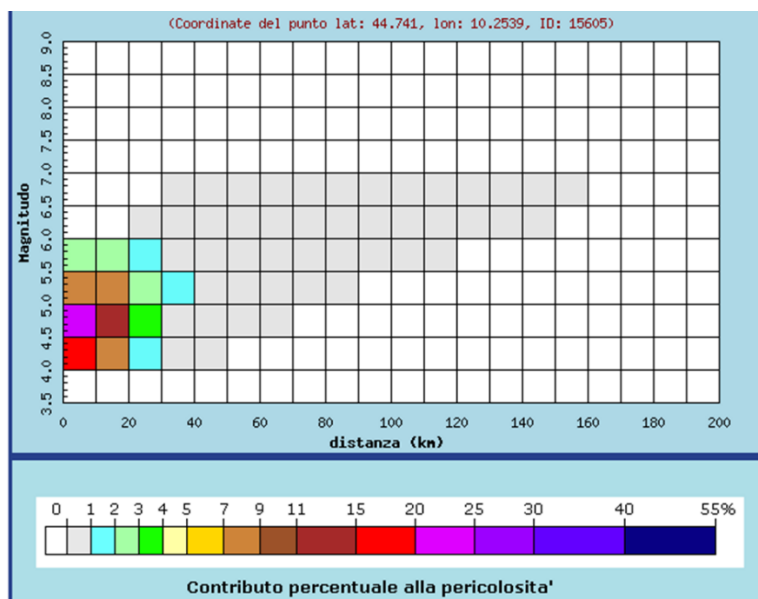


Figura 29 – Grafico di disaggregazione SLO

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 30% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.741, lon: 10.2539, ID: 15605)										
	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	0.000	17.600	23.500	8.190	2.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	8.050	14.600	7.760	2.670	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	1.470	3.770	2.990	1.420	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.172	0.940	1.210	0.850	0.209	0.029	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.002	0.120	0.432	0.484	0.271	0.043	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.009	0.126	0.247	0.181	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.035	0.116	0.096	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.009	0.057	0.054	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.001	0.025	0.033	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.019	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.011	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.830	12.400	0.533

Figura 30 – Coppie di valori di disaggregazione Magnitudo-Distanza - SLO

Come si può vedere dalla disaggregazione sopra riportata il maggiore contributo percentuale alla pericolosità sismica è dovuto a terremoti di magnitudo da 4 a 6 con una distanza compresa in 40 km circa.

6.2 SCELTA DEGLI ACCELEROGRAMMI SPETTROCOMPATIBILI

La Norma richiede che *“le registrazioni selezionate devono essere compatibili con il modello sismotettonico regionale, con la magnitudo e la distanza epicentrale di uno o più eventi di scenario”* deve intendersi appunto che gli accelerogrammi devono essere compatibili con l'esito dello Studio sismotettonico che contiene implicitamente tutte queste informazioni.

Lo Studio Sismotettonico è stato condotto, secondo le linee guida fornite da DGD, con approccio di tipo probabilistico, in cui le caratteristiche di *“scenari di terremoti tipo e relative magnitudo, distanze epicentrali, caratteristiche delle sorgenti, etc...”*, sono implicitamente incluse nello studio, perché vengono considerate appunto in modo probabilistico considerando il contributo di ogni zona sismogenetica nell'intorno di centinaia di chilometri dal sito in esame. Pertanto gli accelerogrammi sono stati scelti con il criterio della spettrocompatibilità, con riferimento ad uno spettro che deriva direttamente dallo Studio Sismotettonico e che quindi implicitamente ne tiene conto.

Tenendo conto delle caratteristiche di magnitudo e distanza derivate dallo studio di disaggregazione, sono stati selezionati accelerogrammi di Magnitudo superiore a 4.5, con profondità inferiore a 20-40 km (dipendentemente dallo stato limite di riferimento), registrati su siti di tipo A, corretti e filtrati secondo le indicazioni riportati nello European Strong Motion Database stesso.

Ogni accelerogramma costituisce una componente dell'azione sismica orizzontale. Una terna accelerometrica è costituita dall'insieme delle tre componenti di un accelerogramma, due orizzontali e una verticale: nel caso in esame, sarà presa in considerazione la sola componente orizzontale. Il numero di accelerogrammi da considerare deve essere adeguato alla stabilizzazione della media dei risultati delle analisi dinamiche, riducendo la dispersione, senza tuttavia rendere eccessivamente onerose le analisi da un punto di vista computazionale. Le NTC2008 (punto 7.3.5), stabiliscono che l'utilizzo di almeno 7 diversi accelerogrammi consente di descrivere in modo adeguato la variabilità dell'input sismico. I 7 accelerogrammi selezionati devono comunque rispettare il requisito di spettro-compatibilità con lo spettro di risposta definito all'interno dello studio sismotettonico e riportato nel precedente capitolo. 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, senza tuttavia definire in modo preciso il campo di periodi di interesse.

Il requisito di spettro-compatibilità per gli accelerogrammi artificiali (punto 3.2.3.6 delle NTC08) consiste nel fatto che *“l'ordinata spettrale media non deve presentare uno scarto in difetto superiore al 10% rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico, in alcun punto del maggiore tra gli intervalli $0.15\text{ s} \div 2.0\text{ s}$ e $0.15\text{ s} \div 2T$, in cui T è il periodo fondamentale di vibrazione della struttura in campo elastico, per le verifiche agli stati limite ultimi, e $0.15\text{ s} \div 1.5T$, per le verifiche agli stati limite di esercizio”*.

Nel caso in esame l'intervallo utilizzato è di 0.15-2 sec, mentre lo scarto in difetto massimo è stato assunto al 10% dello spettro di risposta, mentre lo scarto in eccesso massimo al 30%.

La normativa NTD2014 inoltre fornisce una raccomandazione generale sul limite del fattore di scala da applicare per la ricerca di accelerogrammi spettrocompatibili, tale range è compreso tra 0.5 e 2.0, nel caso in esame il valore medio dei fattori di scala è di circa 2.50. Considerando che tale limitazione può inficiare la individuazione di un

numero sufficiente di accelerogrammi con riferimento ad uno spettro di riferimento (determinato da uno specifico studio sismotettonico, considerato molto cautelativo) non si ritiene che tale circostanza possa rappresentare una criticità per l'attendibilità delle relative analisi dinamiche.

Gli spettri dei 7 accelerogrammi così selezionati per le analisi eseguite (SLC, SLV, SLD, SLO) sono riportati e confrontati con lo spettro di riferimento nelle successive figure.

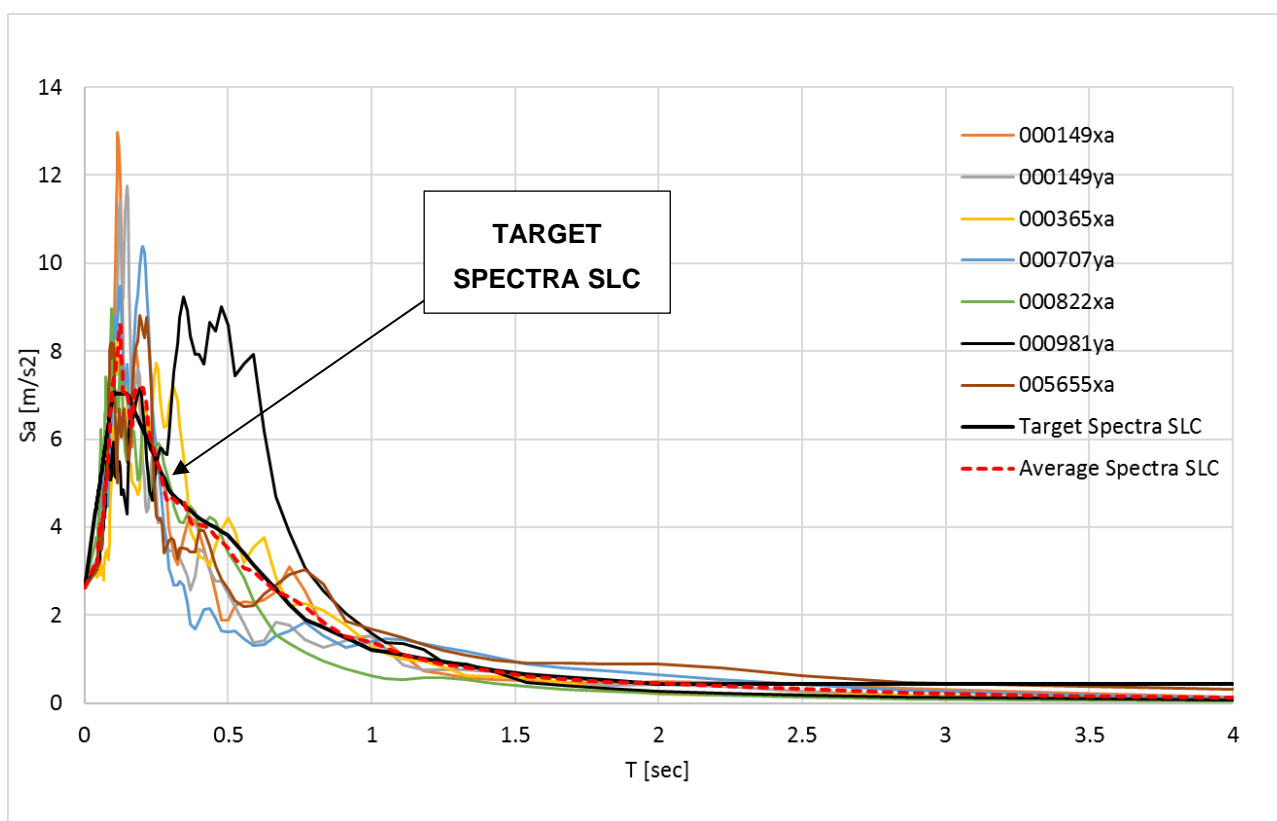


Figura 31 – Confronto tra spettro di riferimento e spettri di risposta compatibili – SLC

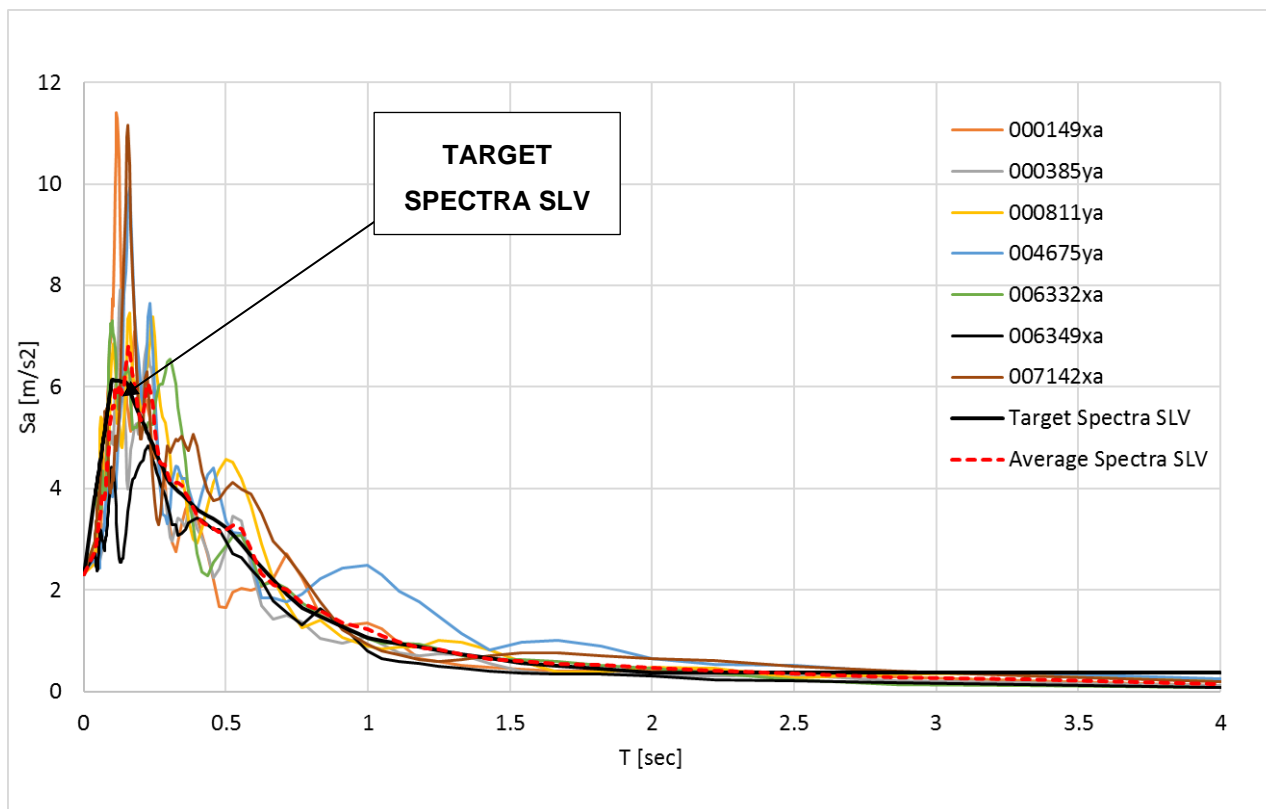


Figura 32 – Confronto tra spettro di riferimento e spettri di risposta compatibili – SLV

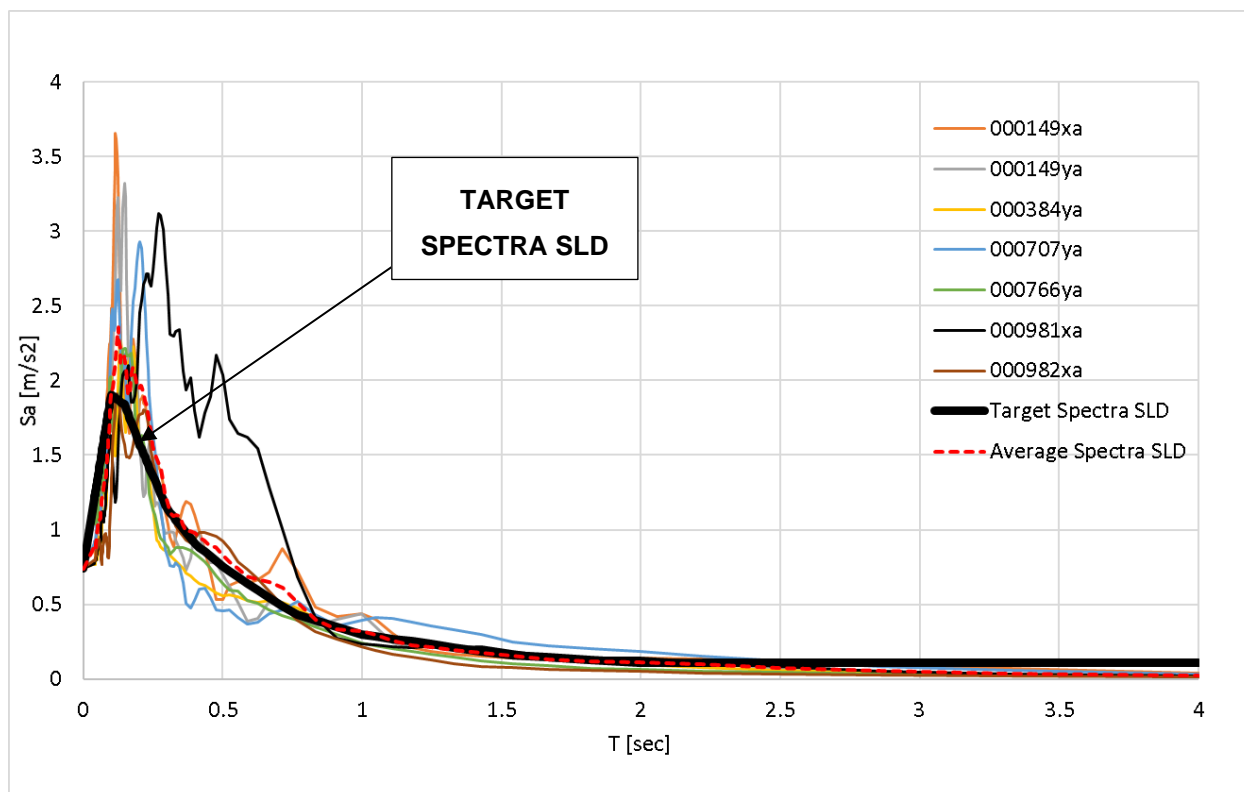


Figura 33 – Confronto tra spettro di riferimento e spettri di risposta compatibili – SLD

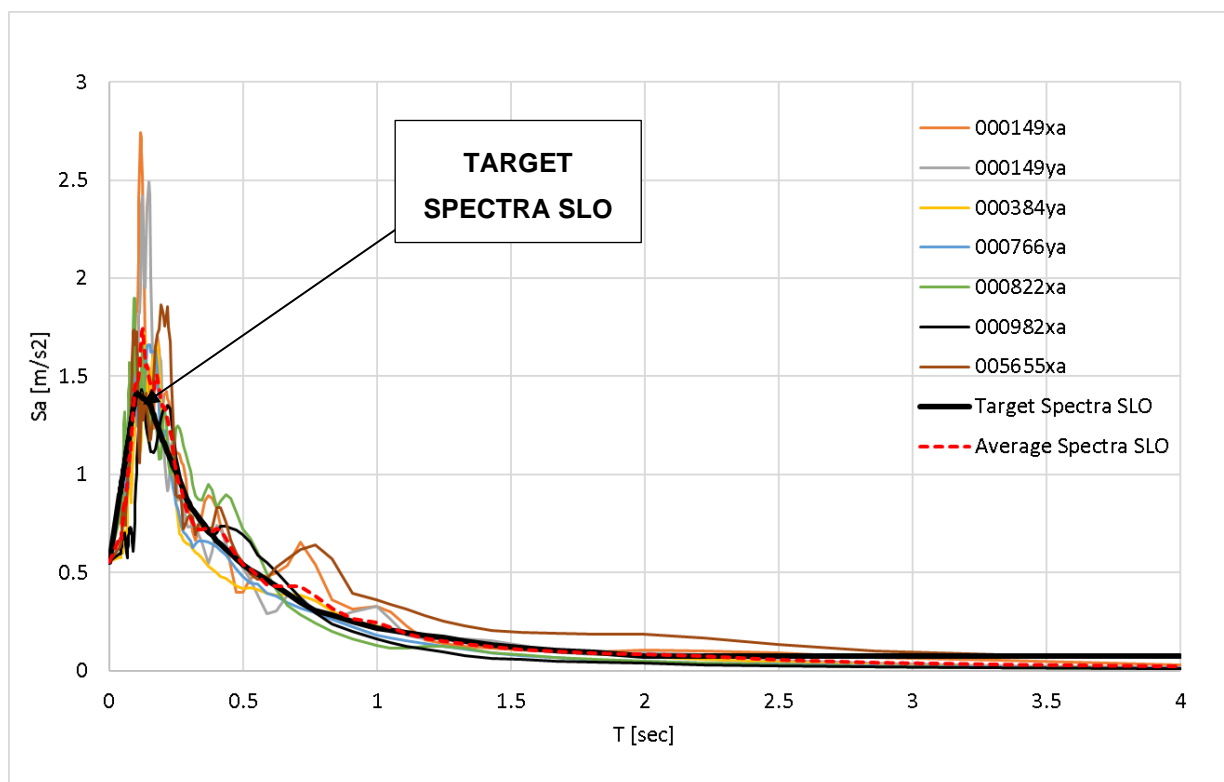


Figura 34 – Confronto tra spettro di riferimento e spettri di risposta compatibili – SLO

Inoltre si riportano le caratteristiche dei 7 eventi selezionati per le analisi in condizioni di SLC, SLV, SLD e SLO.

Le singole storie di accelerazione scalate al valore di progetto dell'accelerazione per i rispettivi stati limite sono riportate in allegato.

Tabella 4 – Accelerogrammi spettrocompatibili SLC

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]
149	65	ST26	Friuli (aftershock)	15/09/1976	6	thrust	12
365	175	ST140	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5.9	normal	5
822	350	ST236	Umbria Marche (aftershock)	03/10/1997	5.3	normal	5
149	65	ST26	Friuli (aftershock)	15/09/1976	6	thrust	12
5655	1825	ST2950	NE of Banja Luka	13/08/1981	5.7	oblique	10
707	60	ST26	Friuli (aftershock)	11/09/1976	5.3	thrust	8
981	72	ST1043	Friuli (aftershock)	16/09/1977	5.4	thrust	11
mean:					5.657142857		9

Tabella 5 – Accelerogrammi spettrocompatibili SLV

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]
149	65	ST26	Friuli (aftershock)	15/09/1976	6	thrust	12
385	176	ST155	Lazio Abruzzo (aftershock)	11/05/1984	5.5	normal	15
6332	2142	ST2483	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	6
6349	2142	ST2558	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	5
811	360	ST225	Umbria Marche (aftershock)	09/11/1997	4.9	normal	15
7142	2309	ST539	Bingol	01/05/2003	6.3	strike slip	14
4675	1635	ST2487	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	13
mean:					6		11.42857143

Tabella 6 – Accelerogrammi spettrocompatibili SLD

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]
384	176	ST154	Lazio Abruzzo (aftershock)	11/05/1984	5.5	normal	6
766	292	ST266	Umbria Marche (aftershock)	14/10/1997	5.6	normal	12
149	65	ST26	Friuli (aftershock)	15/09/1976	6	thrust	12
149	65	ST26	Friuli (aftershock)	15/09/1976	6	thrust	12
982	72	ST309	Friuli (aftershock)	16/09/1977	5.4	thrust	9
707	60	ST26	Friuli (aftershock)	11/09/1976	5.3	thrust	8
981	72	ST1043	Friuli (aftershock)	16/09/1977	5.4	thrust	11
mean:					5.6		10

Tabella 7 – Accelerogrammi spettrocompatibili SLO

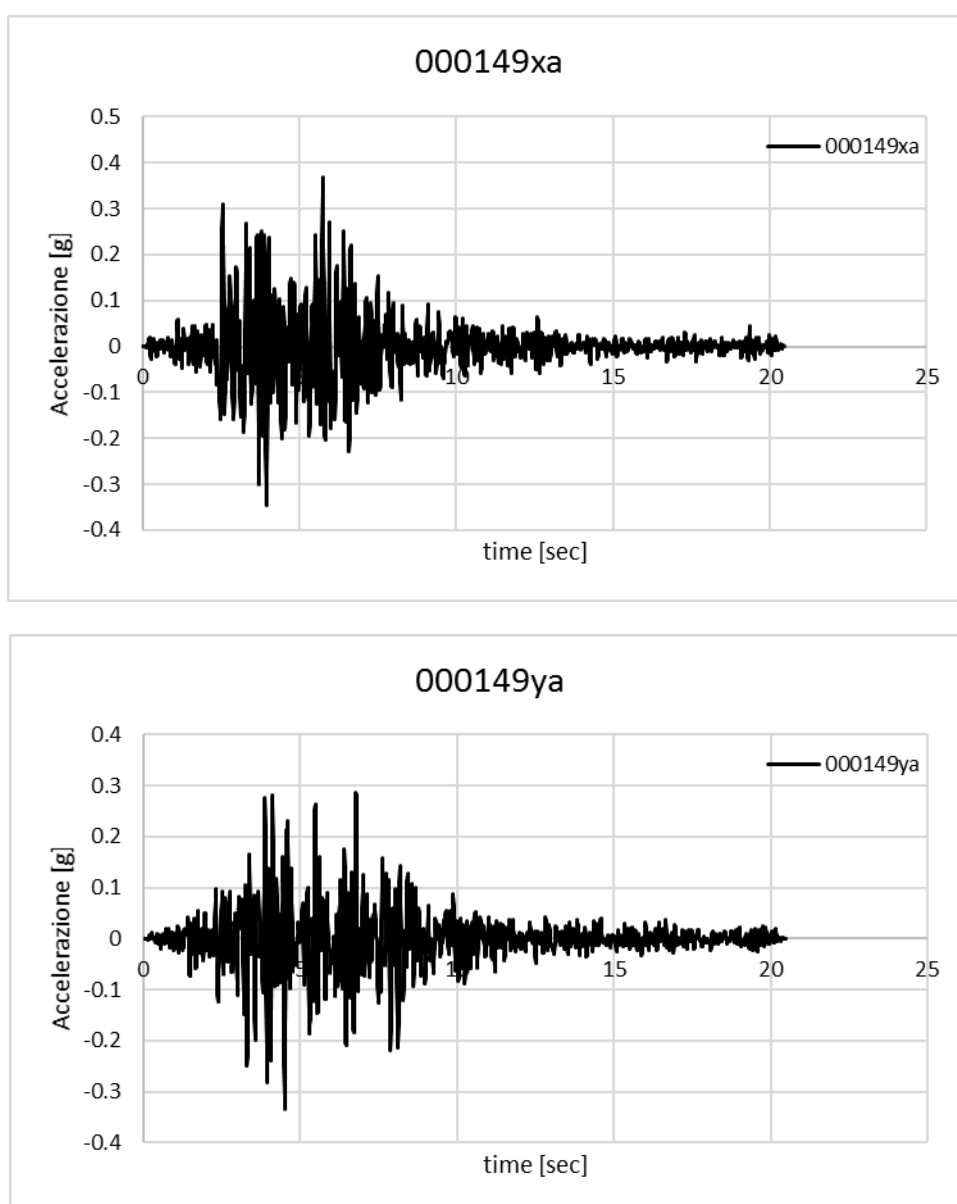
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]
384	176	ST154	Lazio Abruzzo (aftershock)	11/05/1984	5.5	normal	6
766	292	ST266	Umbria Marche (aftershock)	14/10/1997	5.6	normal	12
149	65	ST26	Friuli (aftershock)	15/09/1976	6	thrust	12
982	72	ST309	Friuli (aftershock)	16/09/1977	5.4	thrust	9
822	350	ST236	Umbria Marche (aftershock)	03/10/1997	5.3	normal	5
149	65	ST26	Friuli (aftershock)	15/09/1976	6	thrust	12
5655	1825	ST2950	NE of Banja Luka	13/08/1981	5.7	oblique	10
mean:					5.642857143		9.428571429

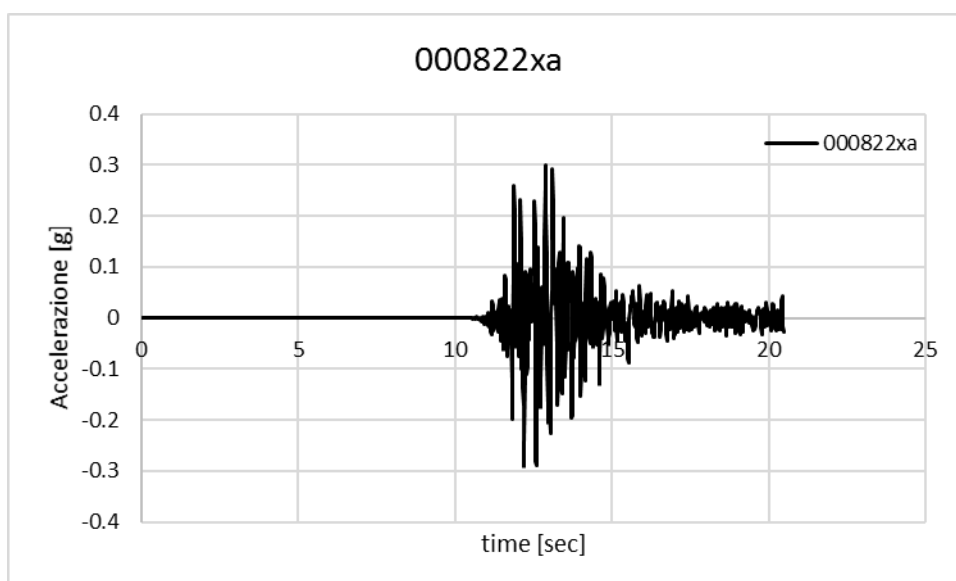
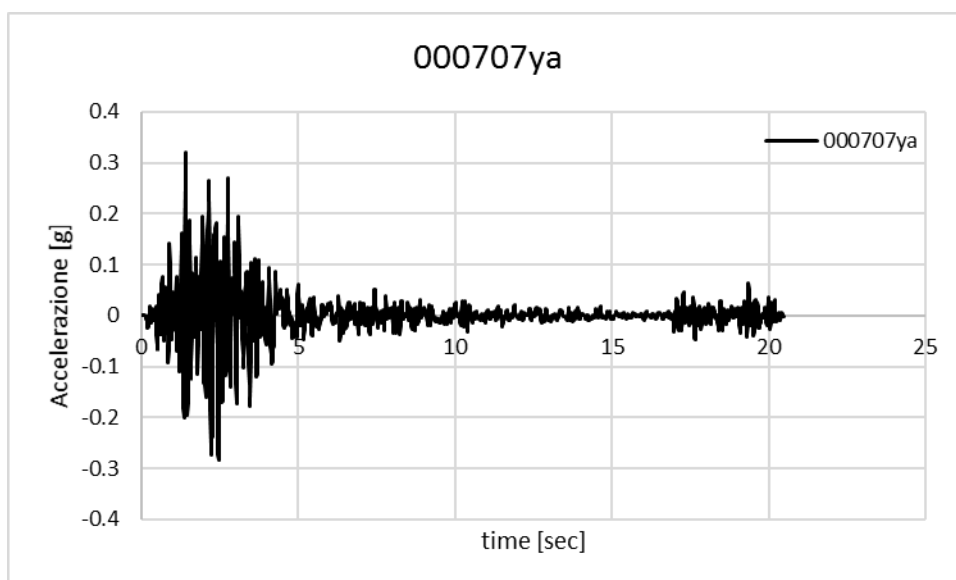
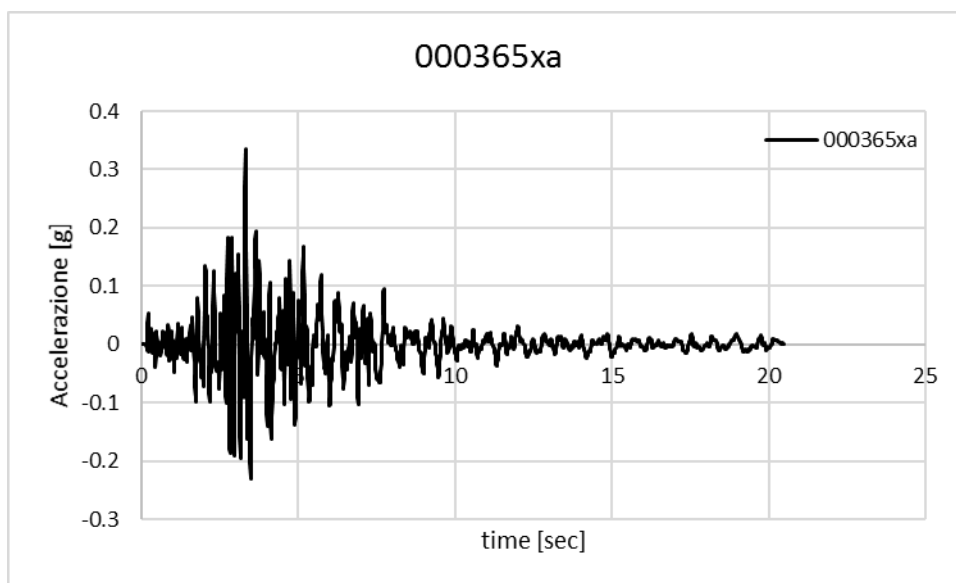
7 ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

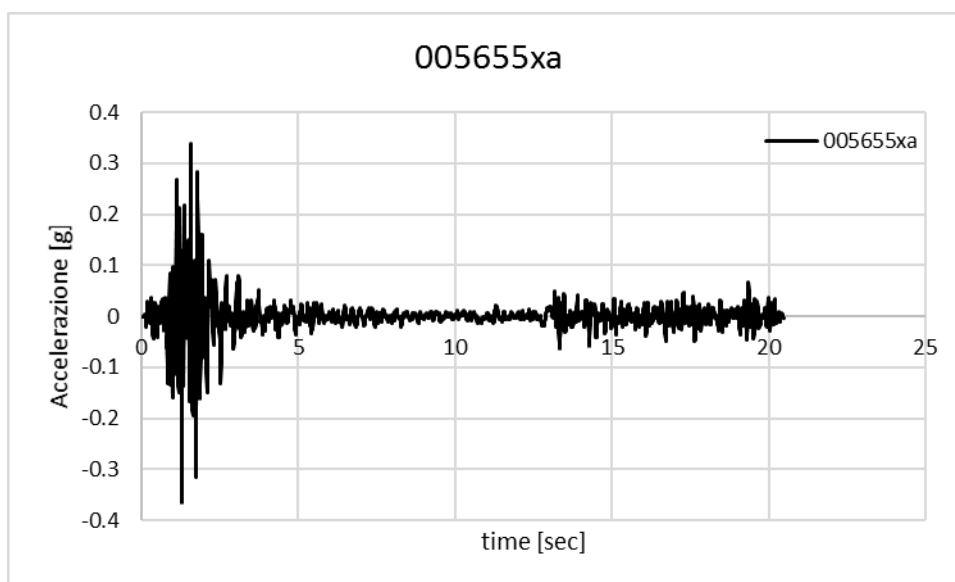
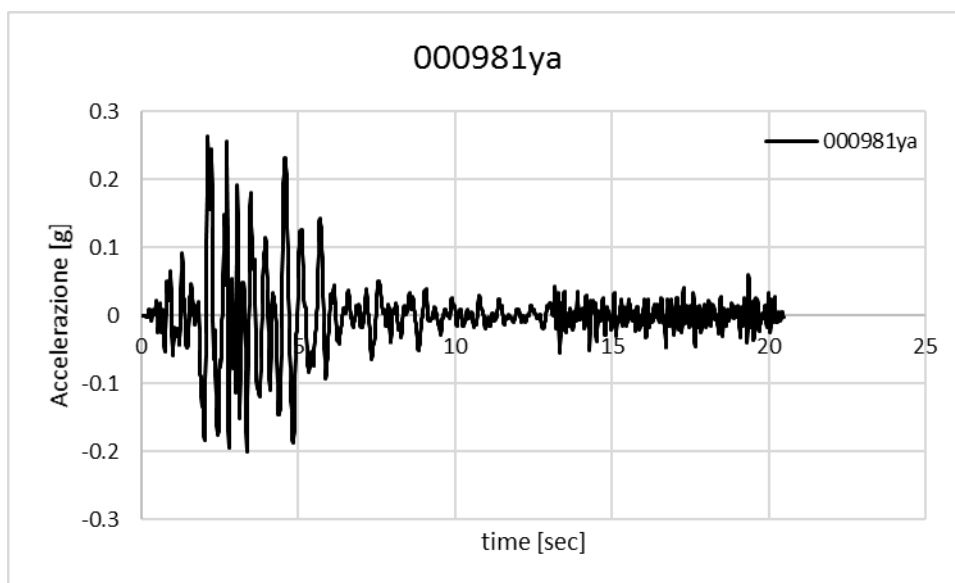
Nel seguito si riportano i risultati delle analisi di risposta sismica locale rispettivamente per le condizioni a SLC, SLV, SLD ed SLO, condotte con il programma EERA. Il modello utilizzato come riferimento presenta il profilo di velocità delle onde di taglio minimo e la stratigrafia indicata nella corrispondente tabella all'interno del capitolo "Definizione del modello di riferimento".

7.1 STATO LIMITE DI COLLASSO - SLC

Nel presente paragrafo si riportano gli accelerogrammi ottenuti con l'analisi condotta tramite il programma EERA a piano campagna, quindi a seguito dell'amplificazione dovuta alla stratigrafia adottata, e si riportano quindi i valori di accelerazione massima PGA.







Sisma	a_{max}
[-]	[g]
000149xa	0.3671
000149ya	0.3316
000365xa	0.3346
000707ya	0.3202
000822xa	0.2992
000981ya	0.2641
005655xa	0.3641

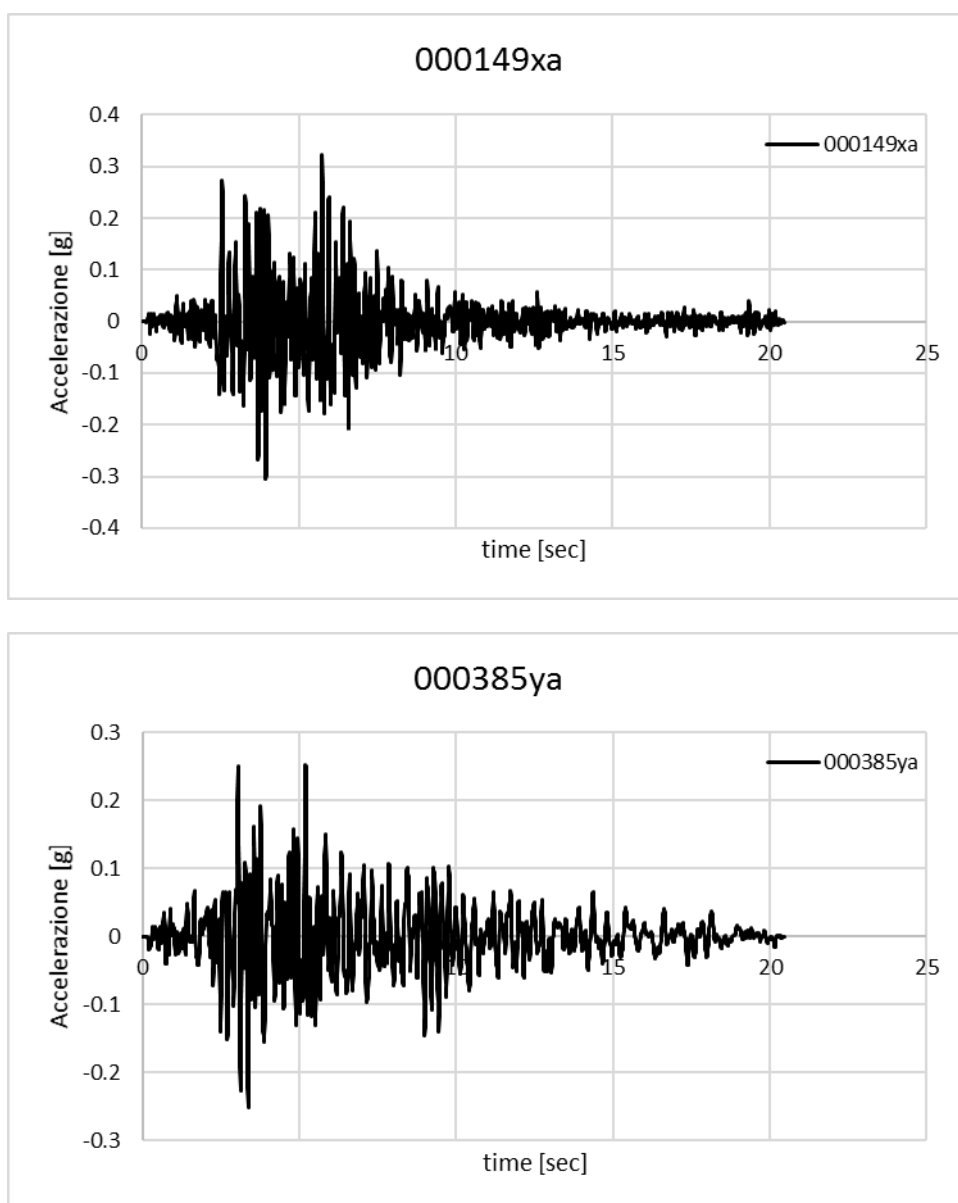
Avendo considerato sette diversi eventi sismici, la risposta del terreno in termini di accelerazione massima in superficie può essere valutata facendo riferimento al valore medio delle accelerazioni ottenute dalle analisi (EC8, parte 1; NTC08, punto 7.3.5). Tale valore medio, rapportato al valore dell'accelerazione orizzontale massima

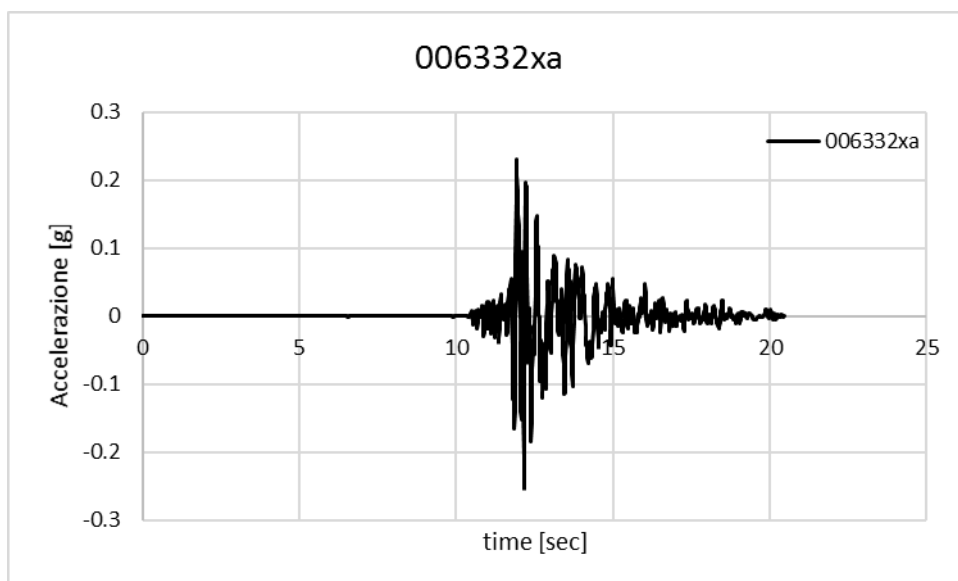
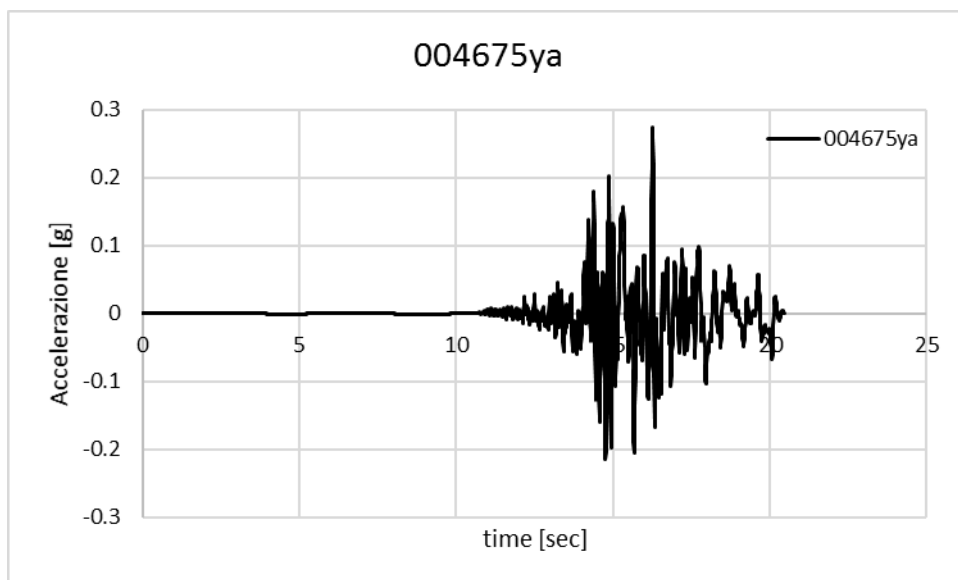
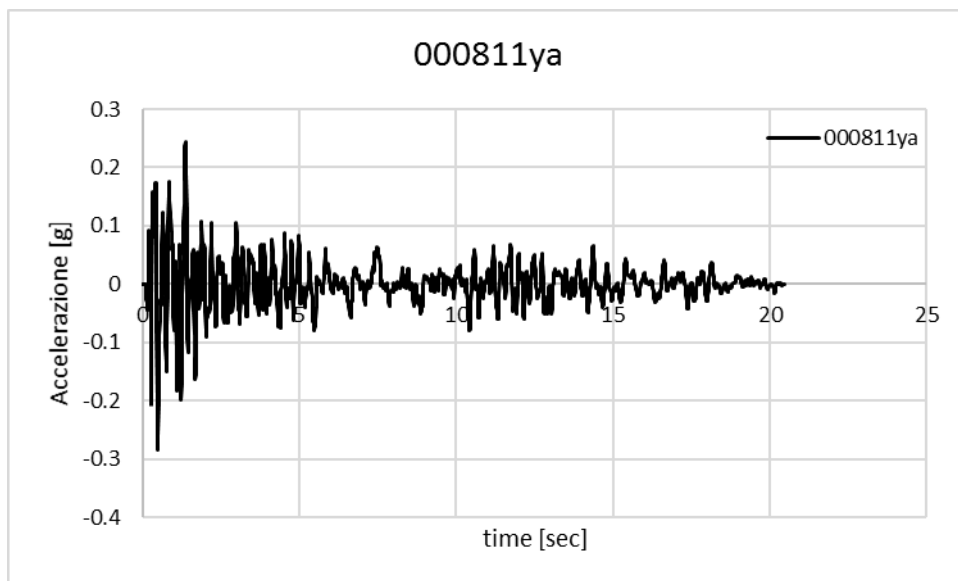
applicata al bedrock, fornisce un'indicazione sull'amplificazione attesa. Il risultato in termini numerici di tale rapporto è riportato nella tabella sottostante.

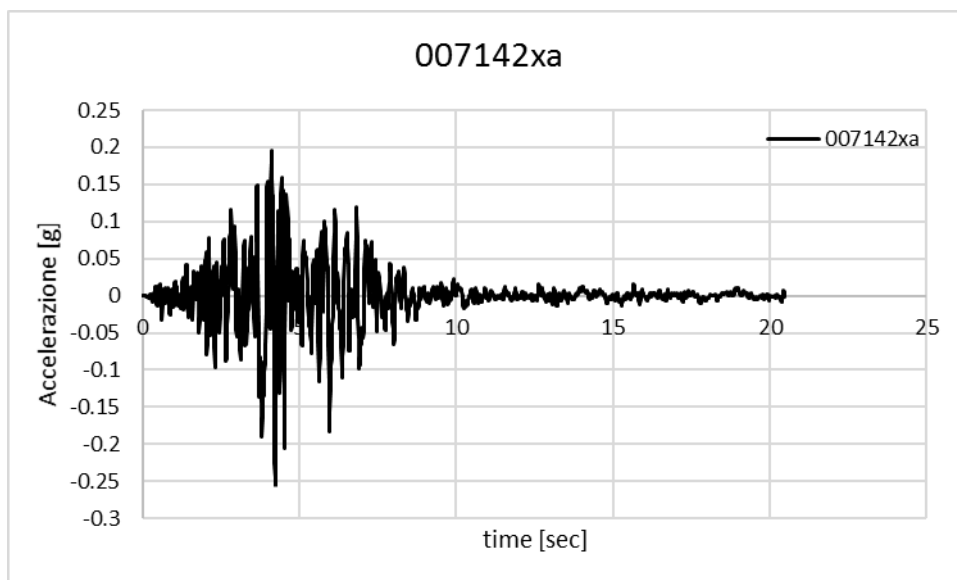
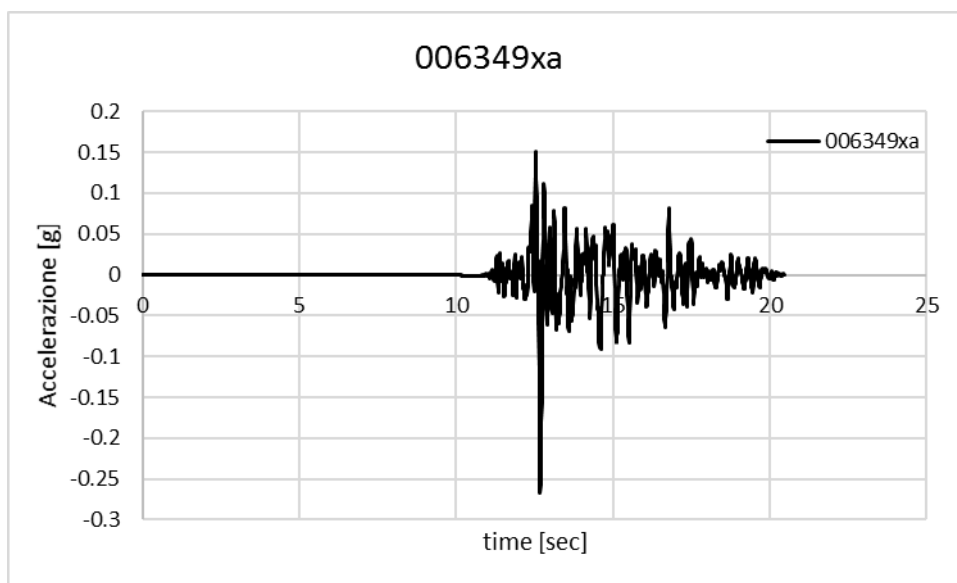
a_g	$a_{\max AV}$	$a_{\max AV}/a_g$
[g]	[g]	[-]
0.268	0.3259	1.215877

7.2 STATO LIMITE DI VITA - SLV

Nel presente paragrafo si riportano gli accelerogrammi ottenuti con l'analisi condotta tramite il programma EERA a piano campagna, quindi a seguito dell'amplificazione dovuta alla stratigrafia adottata, e si riportano quindi i valori di accelerazione massima PGA.







Sisma	a_{max}
[-]	[g]
000149xa	0.3221
000385ya	0.2518
000811ya	0.2834
004675ya	0.2746
006332xa	0.2534
006349xa	0.2672
007142xa	0.2540

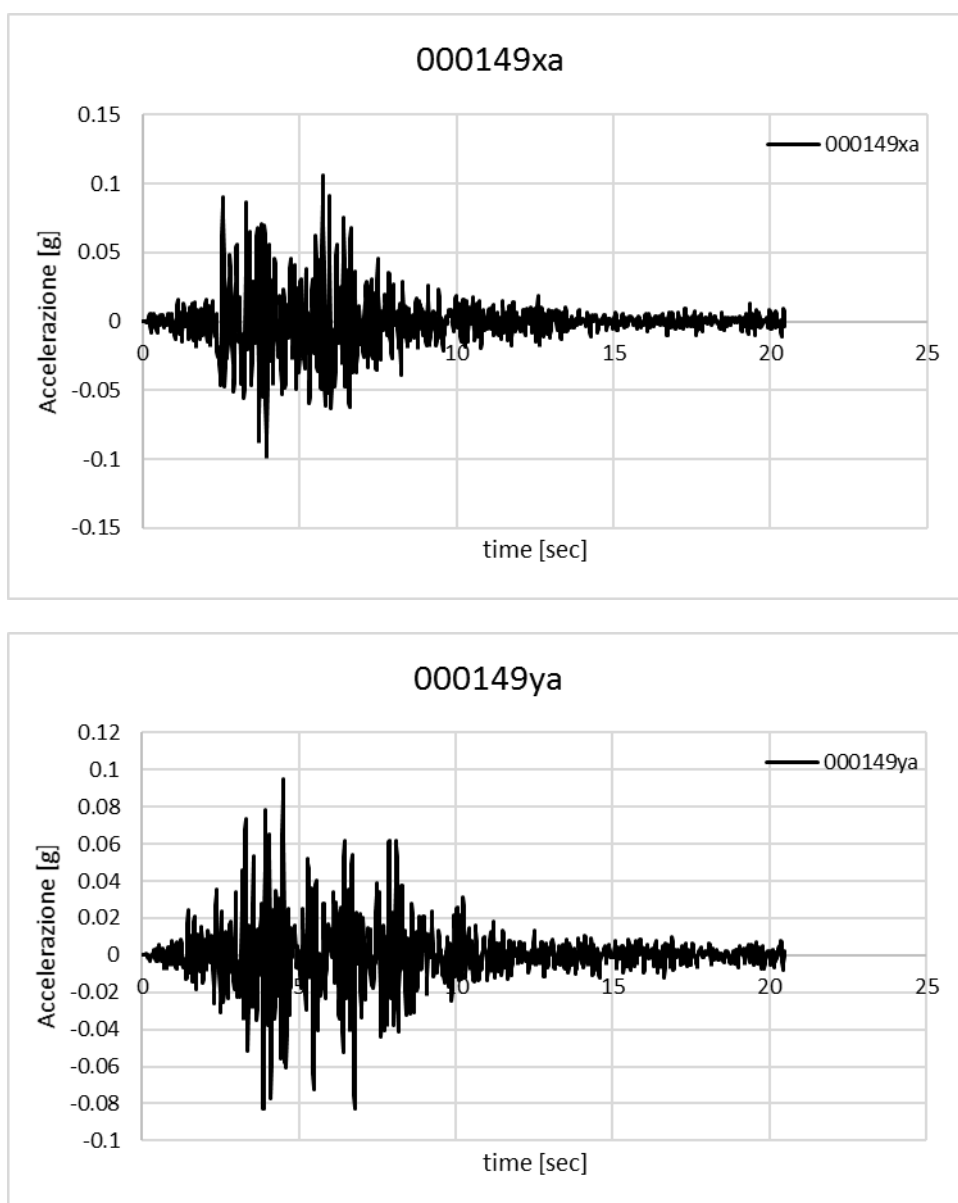
Avendo considerato sette diversi eventi sismici, la risposta del terreno in termini di accelerazione massima in superficie può essere valutata facendo riferimento al valore medio delle accelerazioni ottenute dalle analisi (EC8, parte 1; NTC08, punto 7.3.5). Tale valore medio, rapportato al valore dell'accelerazione orizzontale massima

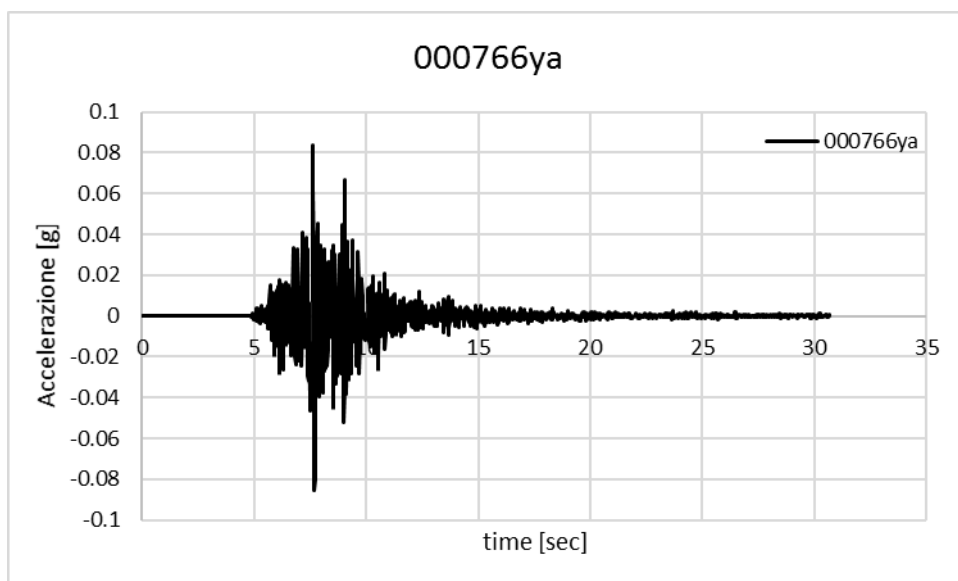
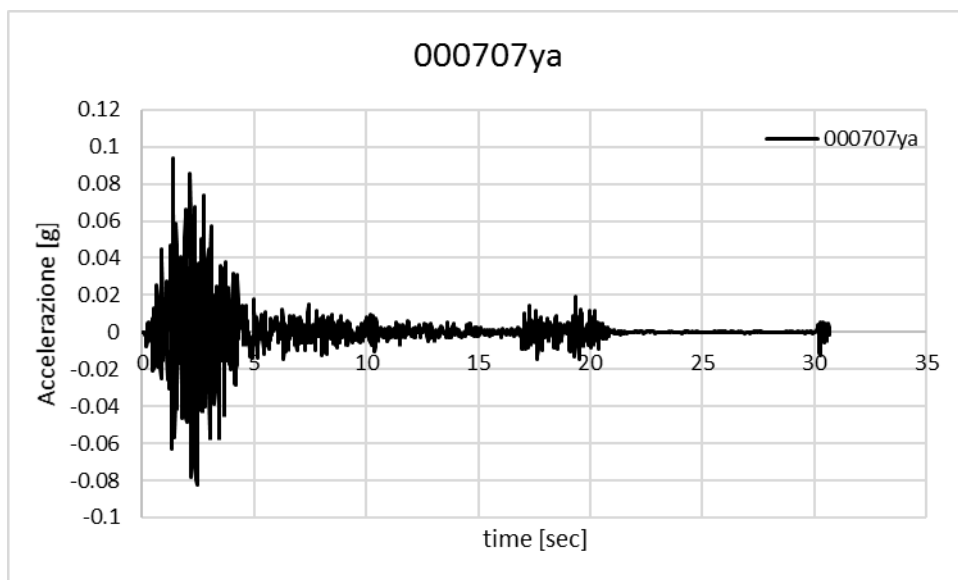
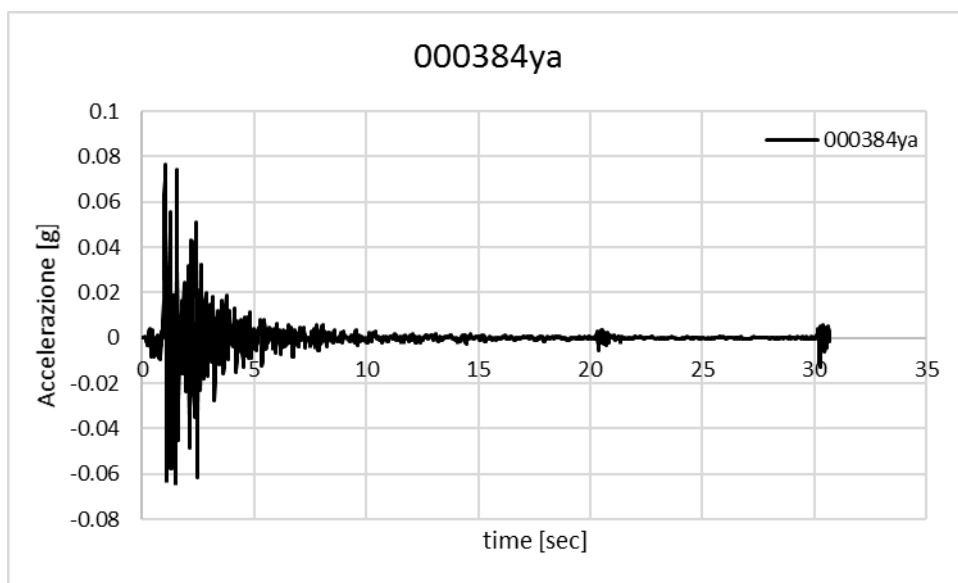
applicata al bedrock, fornisce un'indicazione sull'amplificazione attesa. Il risultato in termini numerici di tale rapporto è riportato nella tabella sottostante.

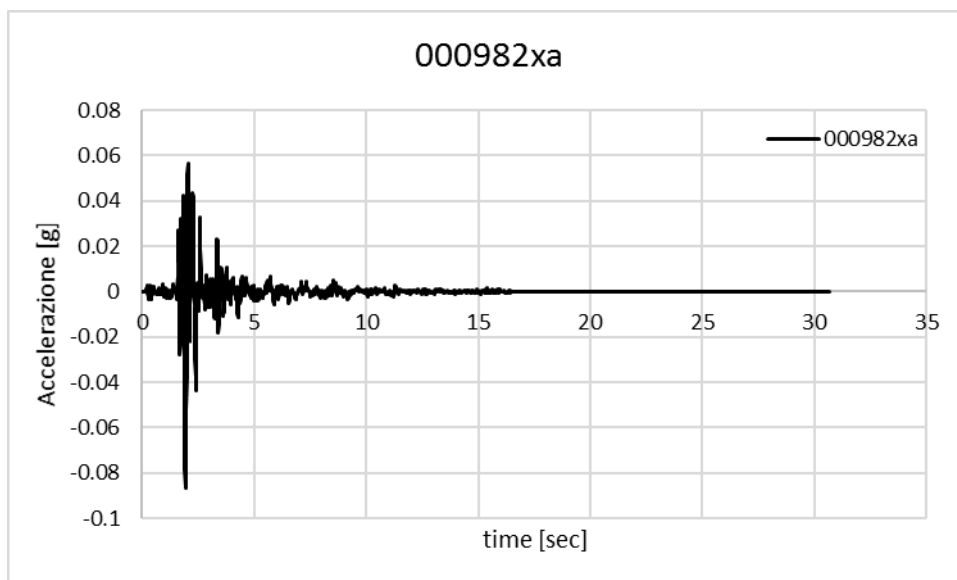
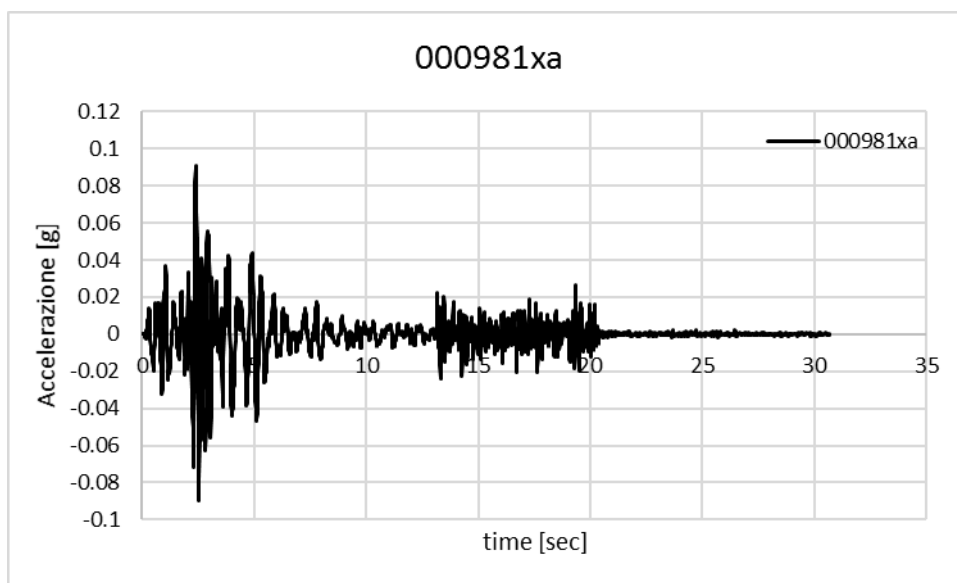
a_g	$a_{\max AV}$	$a_{\max AV}/a_g$
[g]	[g]	[-]
0.235	0.2724	1.158984

7.3 STATO LIMITE DI DANNO - SLD

Nel presente paragrafo si riportano gli accelerogrammi ottenuti con l'analisi condotta tramite il programma EERA a piano campagna, quindi a seguito dell'amplificazione dovuta alla stratigrafia adottata, e si riportano quindi i valori di accelerazione massima PGA.







Sisma	a_{max}
[-]	[g]
000149xa	0.1058
000149ya	0.0946
000384ya	0.0765
000707ya	0.0938
000766ya	0.0855
000981xa	0.0911
000982xa	0.0864

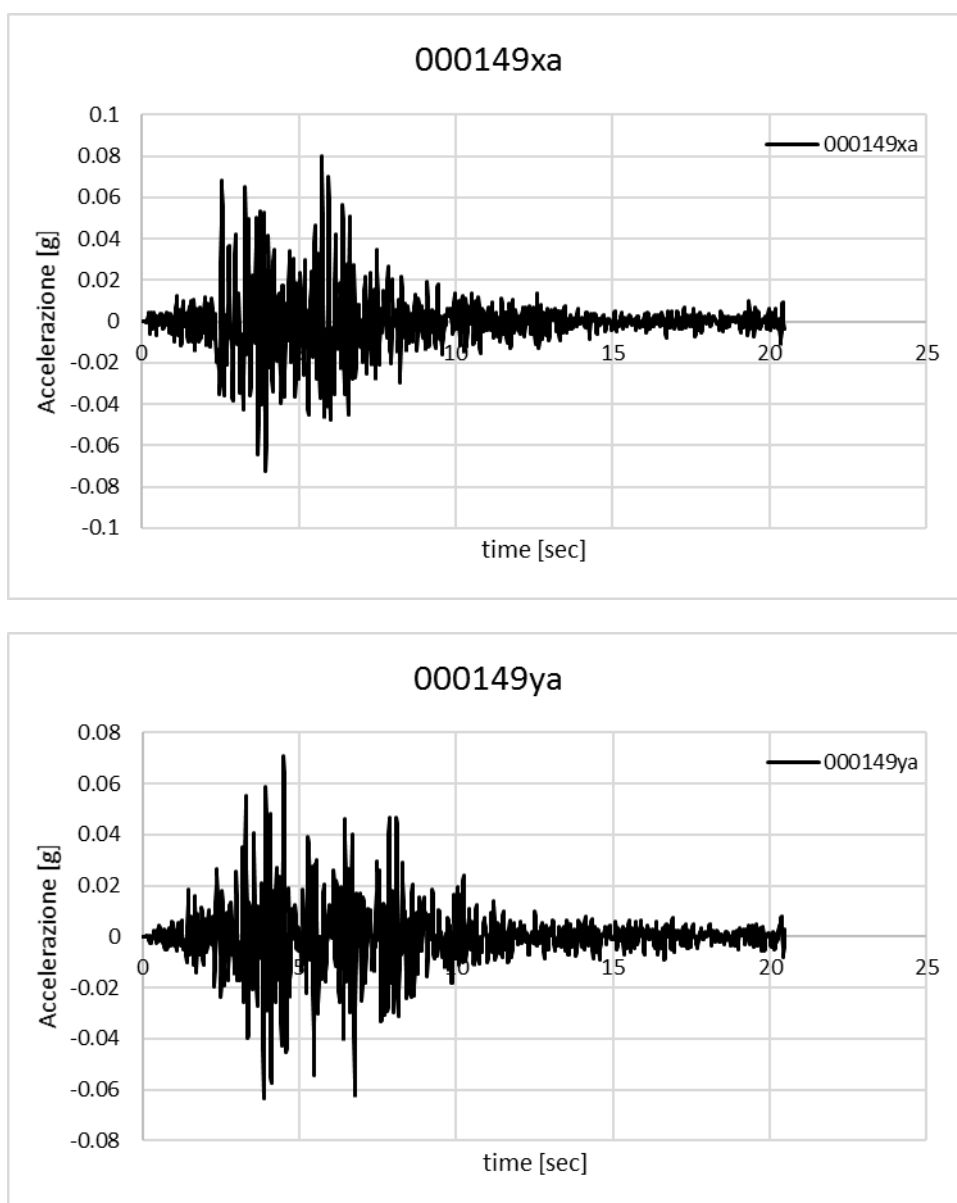
Avendo considerato sette diversi eventi sismici, la risposta del terreno in termini di accelerazione massima in superficie può essere valutata facendo riferimento al valore medio delle accelerazioni ottenute dalle analisi (EC8, parte 1; NTC08, punto 7.3.5). Tale valore medio, rapportato al valore dell'accelerazione orizzontale massima

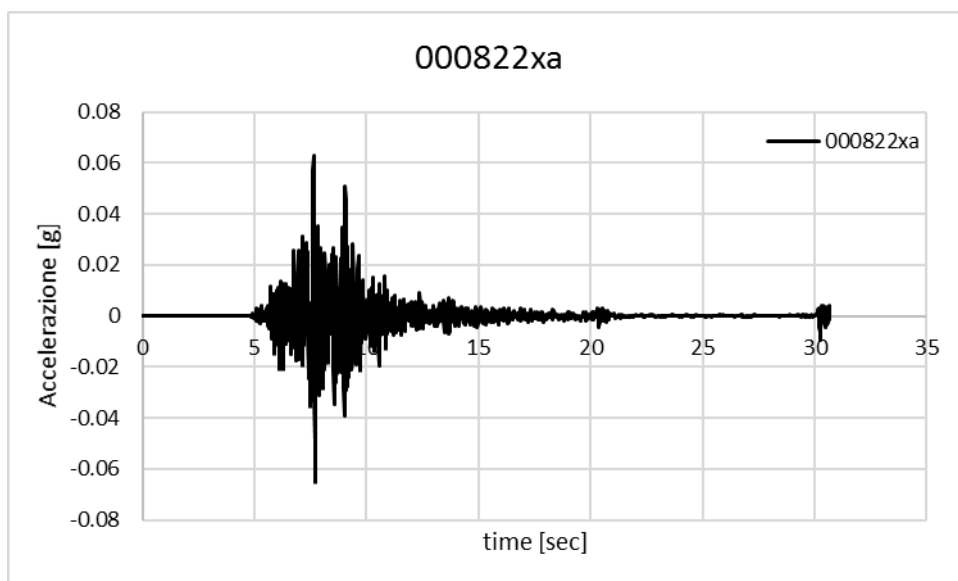
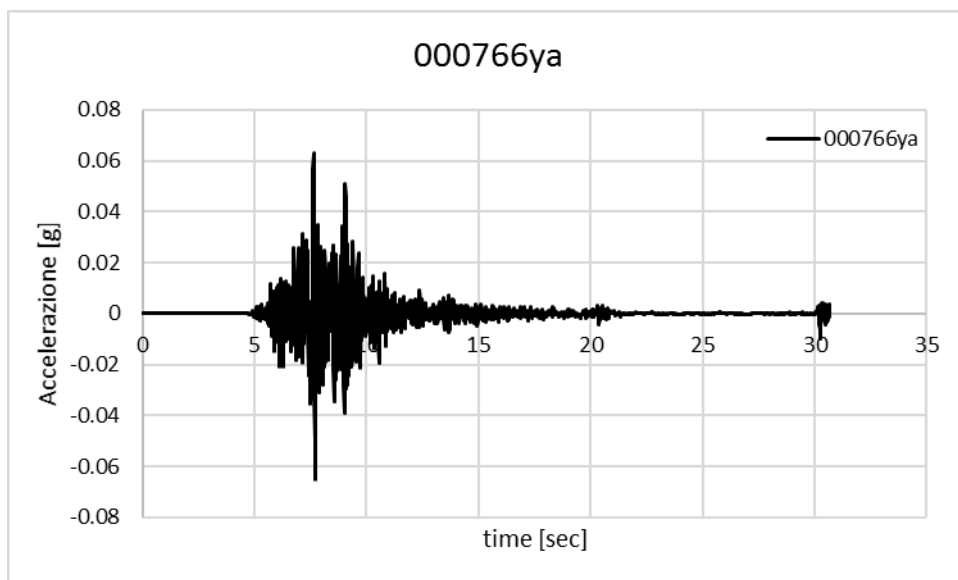
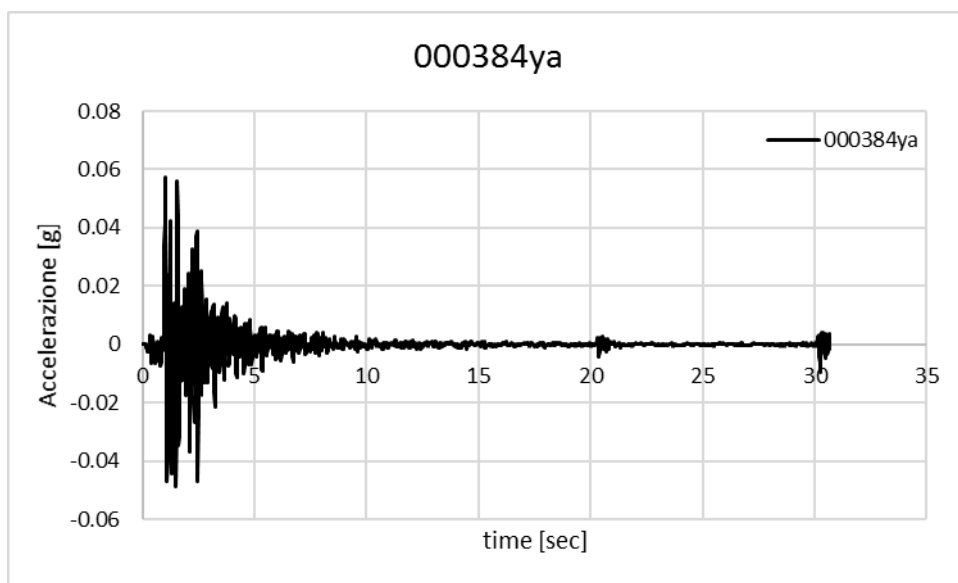
applicata al bedrock, fornisce un'indicazione sull'amplificazione attesa. Il risultato in termini numerici di tale rapporto è riportato nella tabella sottostante.

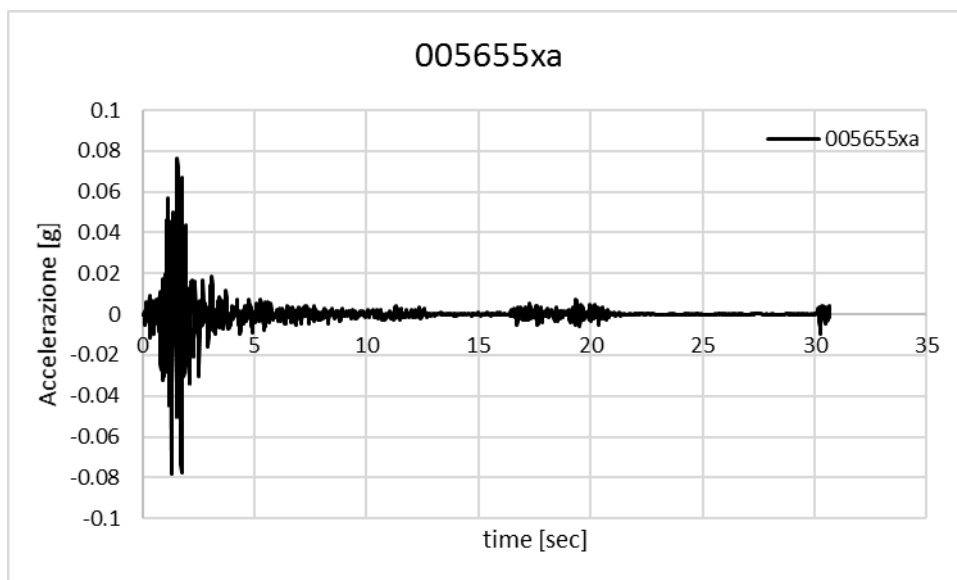
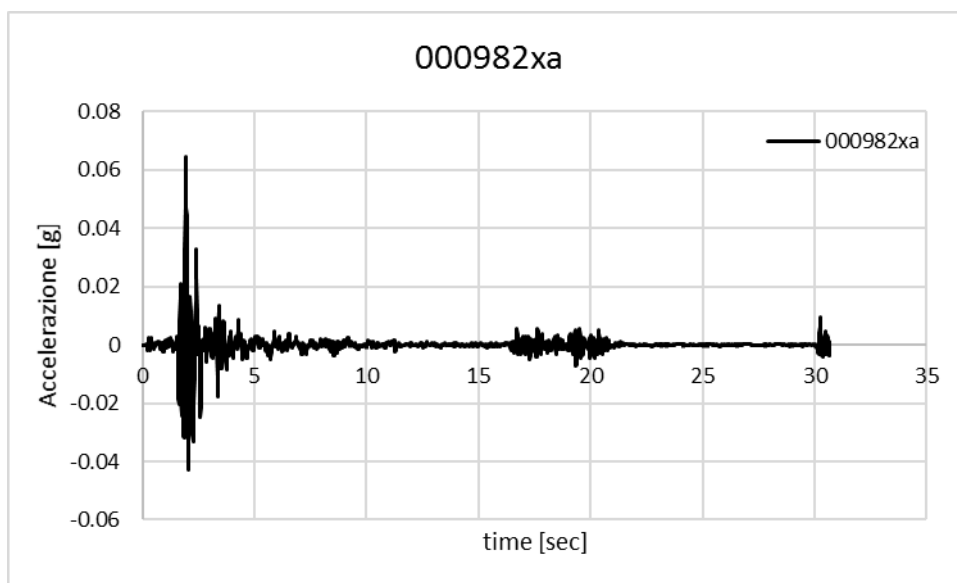
a_g	$a_{\max AV}$	$a_{\max AV}/a_g$
[g]	[g]	[-]
0.076	0.0905	1.191

7.4 STATO LIMITE DI OPERATIVITÀ - SLO

Nel presente paragrafo si riportano gli accelerogrammi ottenuti con l'analisi condotta tramite il programma EERA a piano campagna, quindi a seguito dell'amplificazione dovuta alla stratigrafia adottata, e si riportano quindi i valori di accelerazione massima PGA.







Sisma	a_{max}
[-]	[g]
000149xa	0.0799
000149ya	0.0709
000384ya	0.0576
000766ya	0.0648
000822xa	0.0648
000982xa	0.0647
005655xa	0.0783

Avendo considerato sette diversi eventi sismici, la risposta del terreno in termini di accelerazione massima in superficie può essere valutata facendo riferimento al valore medio delle accelerazioni ottenute dalle analisi (EC8, parte 1; NTC08, punto 7.3.5). Tale valore medio, rapportato al valore dell'accelerazione orizzontale massima

applicata al bedrock, fornisce un'indicazione sull'amplificazione attesa. Il risultato in termini numerici di tale rapporto è riportato nella tabella sottostante.

a_g	$a_{\max AV}$	$a_{\max AV}/a_g$
[g]	[g]	[-]
0.057	0.0687	1.205424

8 CONCLUSIONI

La presente relazione riporta l'analisi di risposta sismica locale (RSL) tramite il programma di analisi lineare-equivalente 1D per terreni stratificati (EERA), necessaria per la verifica sismica della cassa di espansione in progetto sul Torrente Baganza in località Sala Baganza, a sud ovest della città di Parma.

La stratigrafia di calcolo è stata valutata sulla base delle informazioni reperibili tramite l'osservazione dei profili geotecnici e delle verticali dei sondaggi in cui sono state eseguite le indagini sismiche profonde.

L'individuazione del profilo di Vs di riferimento per il modello è stata possibile grazie alle informazioni reperite tramite 2 prove Down-Hole e alle prove sismiche MASW, al fine di considerare una condizione cautelativa, si è preso l'inviluppo minimo di tale andamento con la profondità. Sulla base della sismica DH all'interno della verticale S2 si è considerata una profondità del bedrock posta a circa 50 m da p.c..

Al fine di implementare l'analisi di risposta sismica locale (RSL), seguendo le indicazioni delle NTC2008, sono stati adottati accelerogrammi naturali, ovvero registrazioni accelerometriche relative ad eventi sismici realmente avvenuti, reperibili all'interno dell'European Strong Motion Database.

Gli accelerogrammi sono stati selezionati tenendo conto della sismicità del sito in esame, tramite l'analisi sismotettonica, di pericolosità sismica locale ed in relazione alle caratteristiche di magnitudo e distanza dalla sorgente (studio di disaggregazione) oltre ad avere la caratteristica di spettro-compatibilità nei confronti degli spettri ottenuti dallo studio sismotettonico. Tali accelerogrammi sono stati scalati alla massima accelerazione orizzontale attesa al sito.

Sono state considerate quattro condizioni di verifica: SLC, SLV, SLD e SLO.

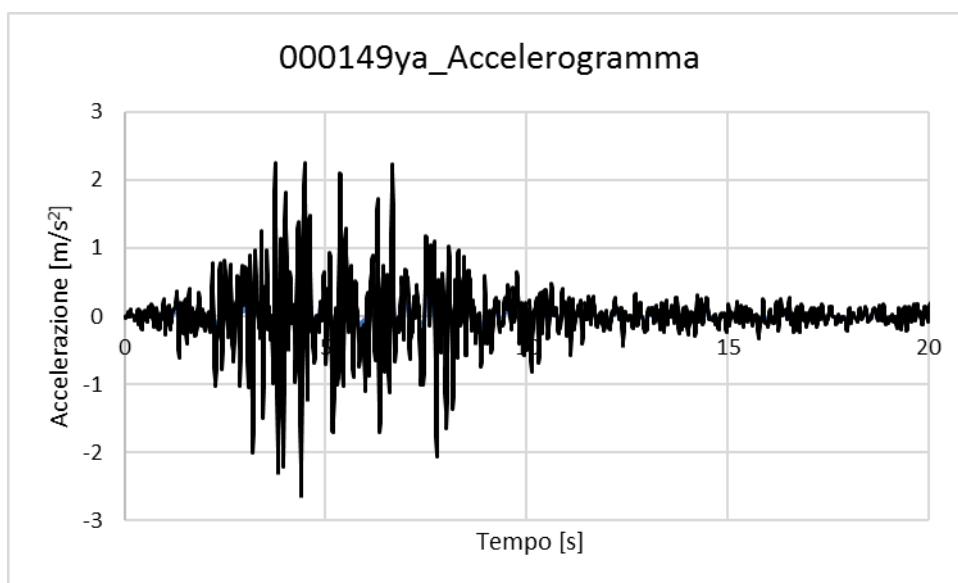
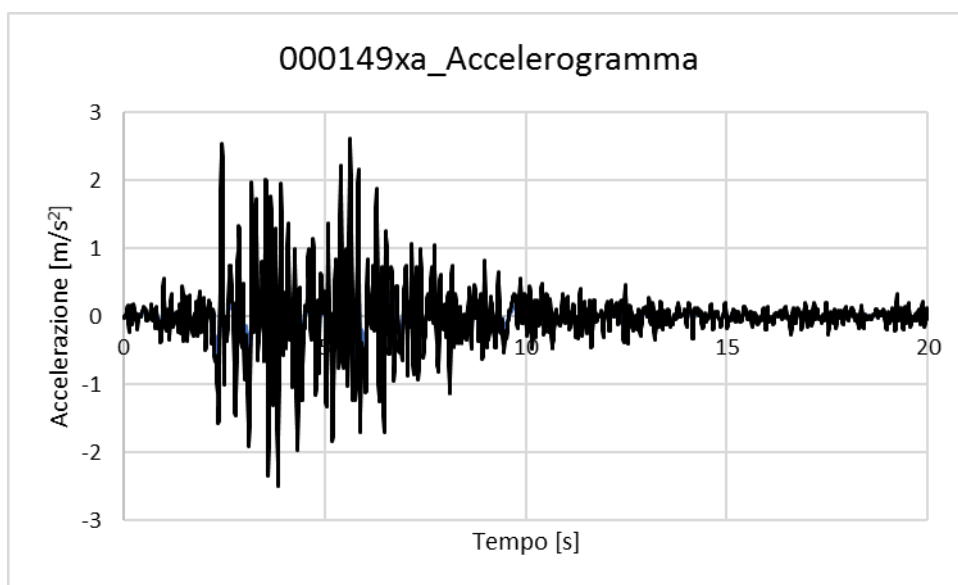
Per tutte le quattro condizioni sono stati selezionati 7 differenti accelerogrammi di input spettrocompatibili: seguendo la normativa vigente (EC8, parte 1; NTC08, punto 7.3.5) la risposta del terreno in termini di accelerazione massima in superficie è stata quindi valutata facendo riferimento al valore medio delle accelerazioni ottenute dalle analisi. In particolare, le accelerazioni attese in superficie allo SLC sono pari a circa 0.325 g, allo SLV sono invece risultate pari a circa 0.272 g, allo SLD pari a 0.090 g ed infine in condizioni SLO pari a 0.069.

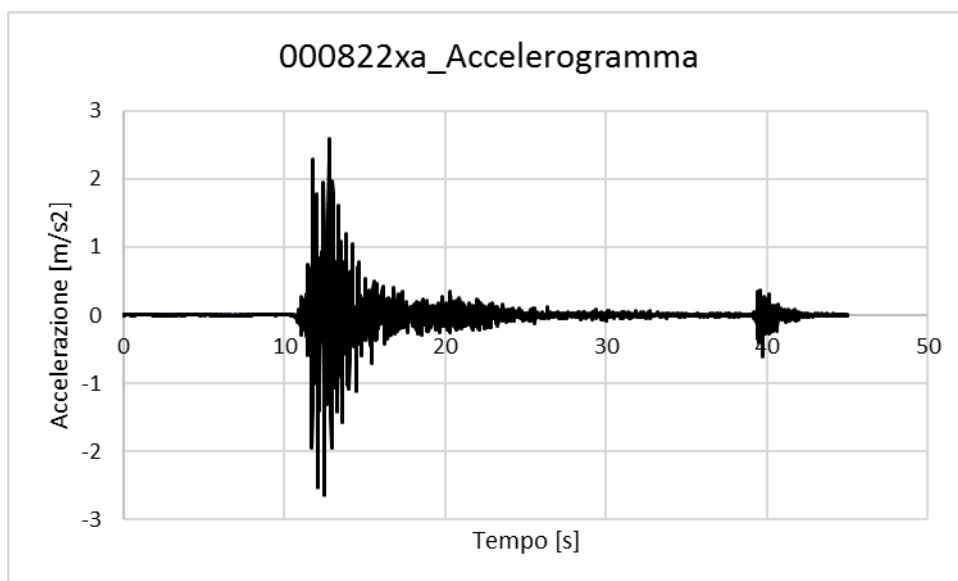
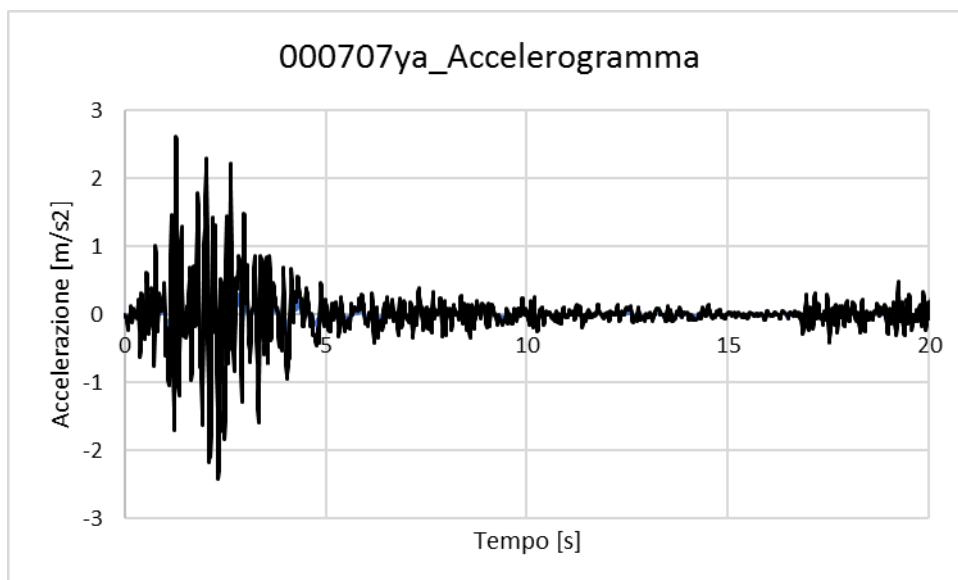
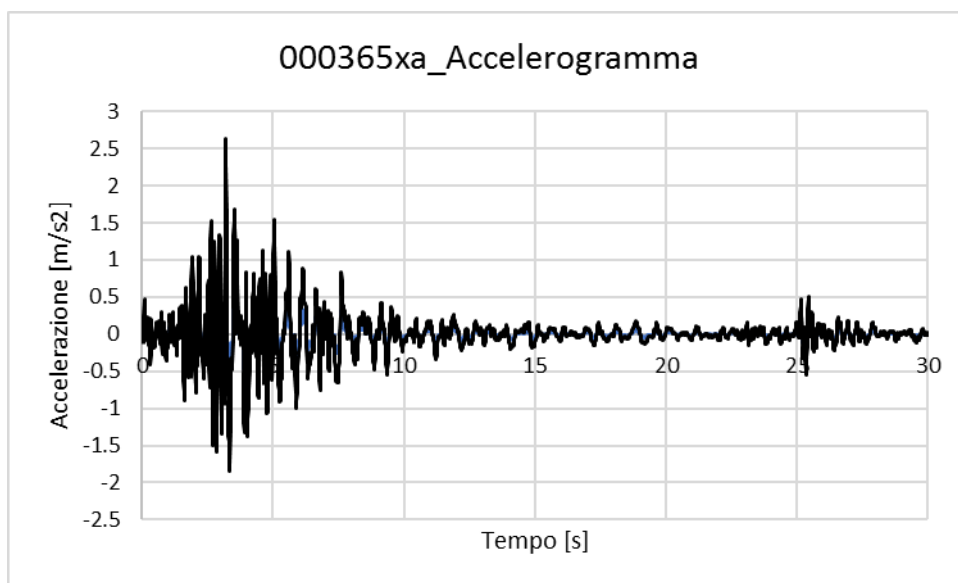
Gli accelerogrammi di progetto sono riportati nella presente relazione e potranno essere utilizzati per la verifica della stabilità sismica delle opere in relazione agli stati limite considerati.

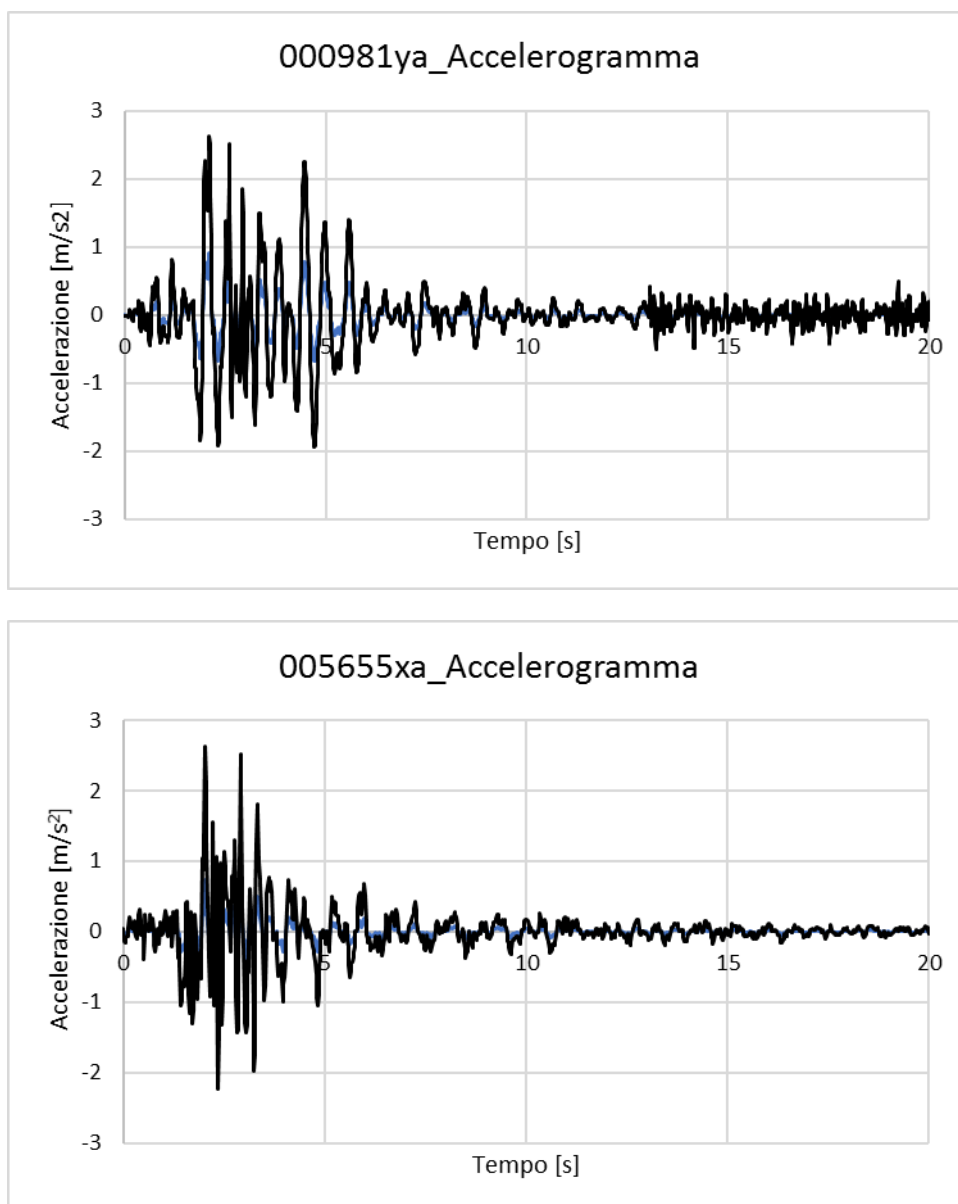
9 ALLEGATI

9.1 ACCELEROGRAMMI SPETTROCOMPATIBILI – SLC

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]
149	65	ST26	Friuli (aftershock)	15/09/1976	6	thrust	12
365	175	ST140	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5.9	normal	5
822	350	ST236	Umbria Marche (aftershock)	03/10/1997	5.3	normal	5
149	65	ST26	Friuli (aftershock)	15/09/1976	6	thrust	12
5655	1825	ST2950	NE of Banja Luka	13/08/1981	5.7	oblique	10
707	60	ST26	Friuli (aftershock)	11/09/1976	5.3	thrust	8
981	72	ST1043	Friuli (aftershock)	16/09/1977	5.4	thrust	11
mean:					5.657142857		9

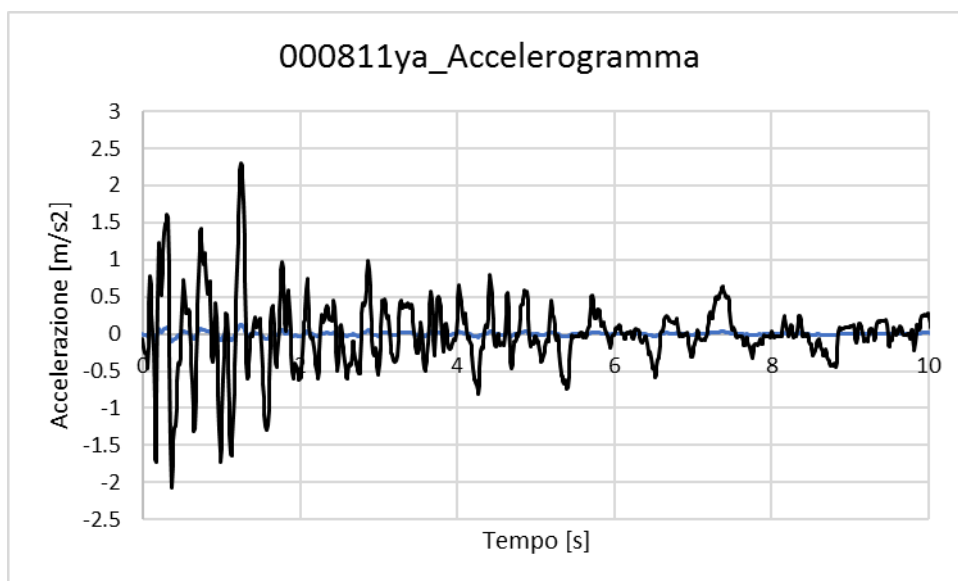
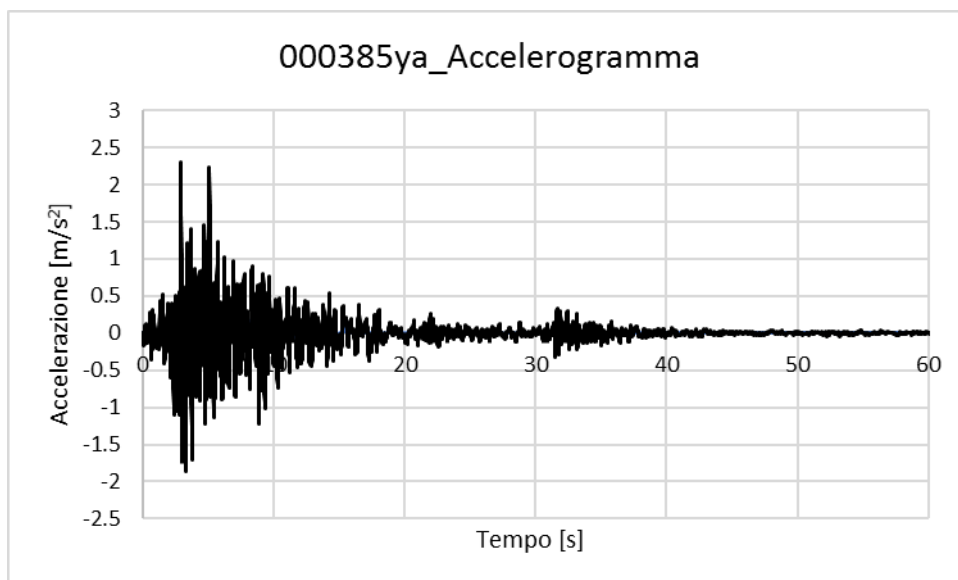
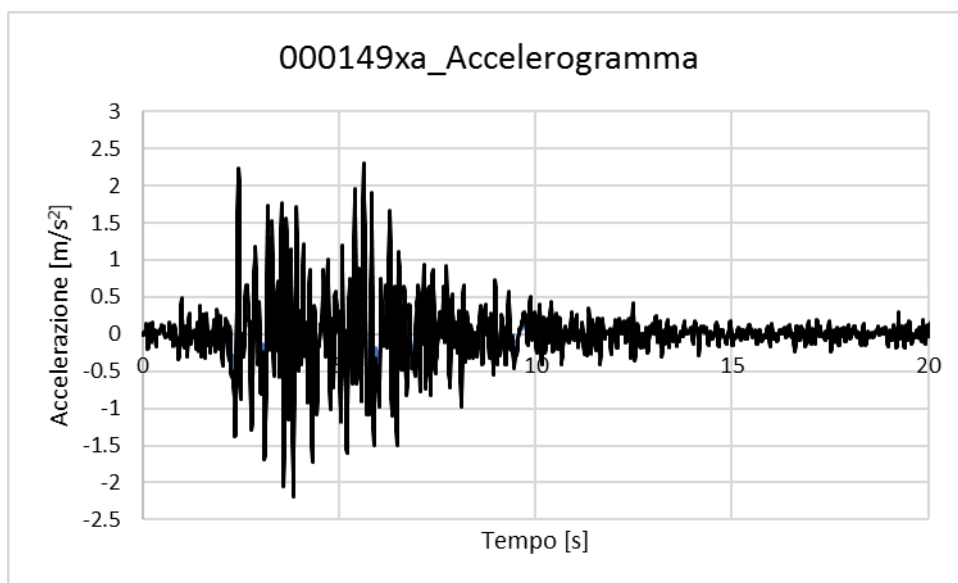




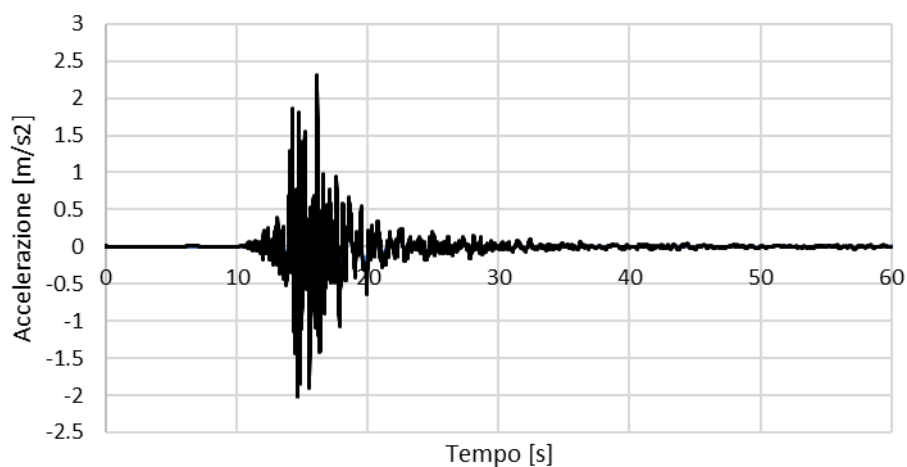


9.2 ACCELEROGRAMMI SPETTROCOMPATIBILI – SLV

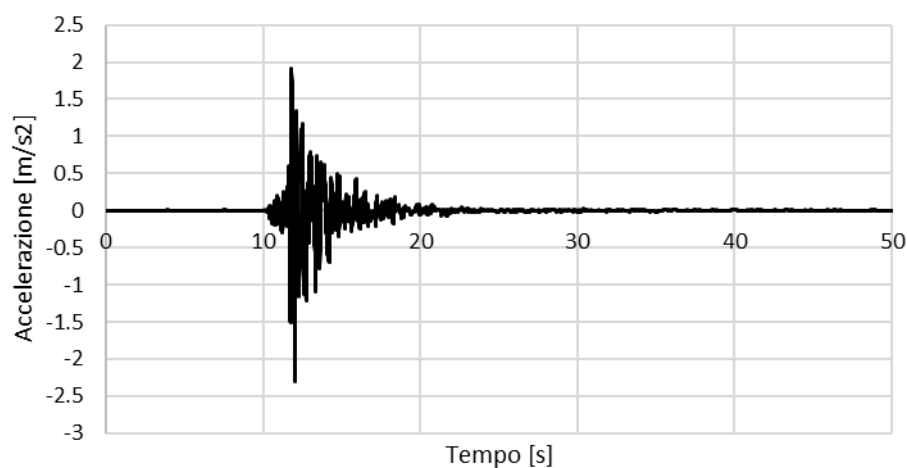
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]
149	65	ST26	Friuli (aftershock)	15/09/1976	6	thrust	12
385	176	ST155	Lazio Abruzzo (aftershock)	11/05/1984	5.5	normal	15
6332	2142	ST2483	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	6
6349	2142	ST2558	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	5
811	360	ST225	Umbria Marche (aftershock)	09/11/1997	4.9	normal	15
7142	2309	ST539	Bingol	01/05/2003	6.3	strike slip	14
4675	1635	ST2487	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	13
mean:					6		11.42857143



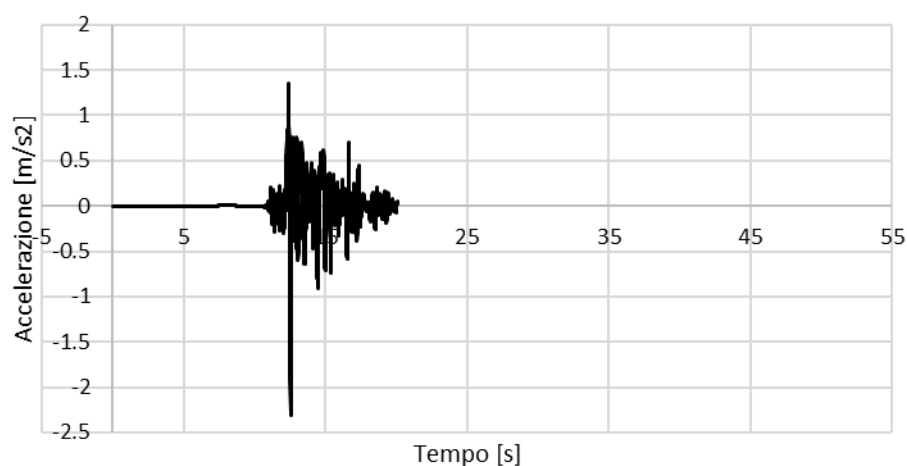
004675ya_Accelerogramma

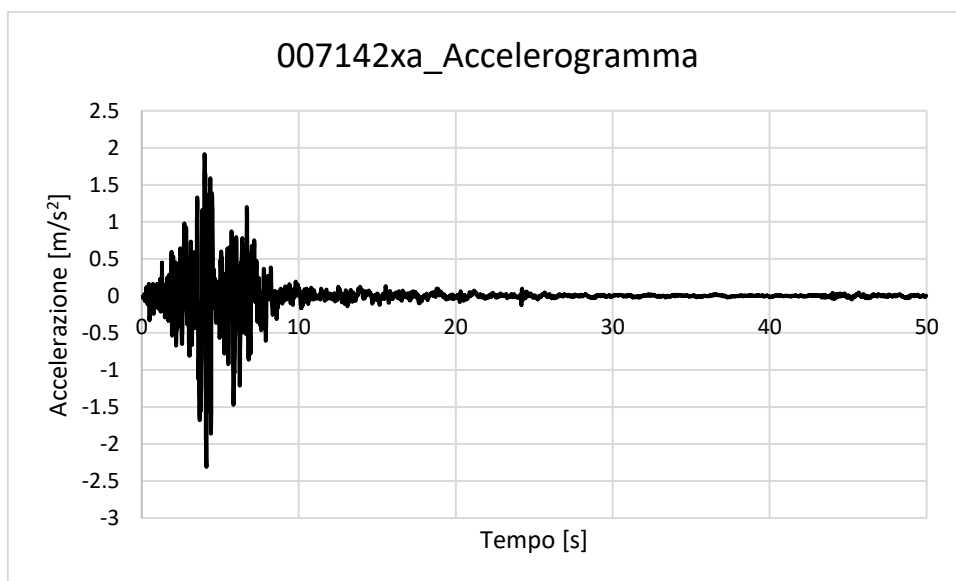


006332xa_Accelerogramma



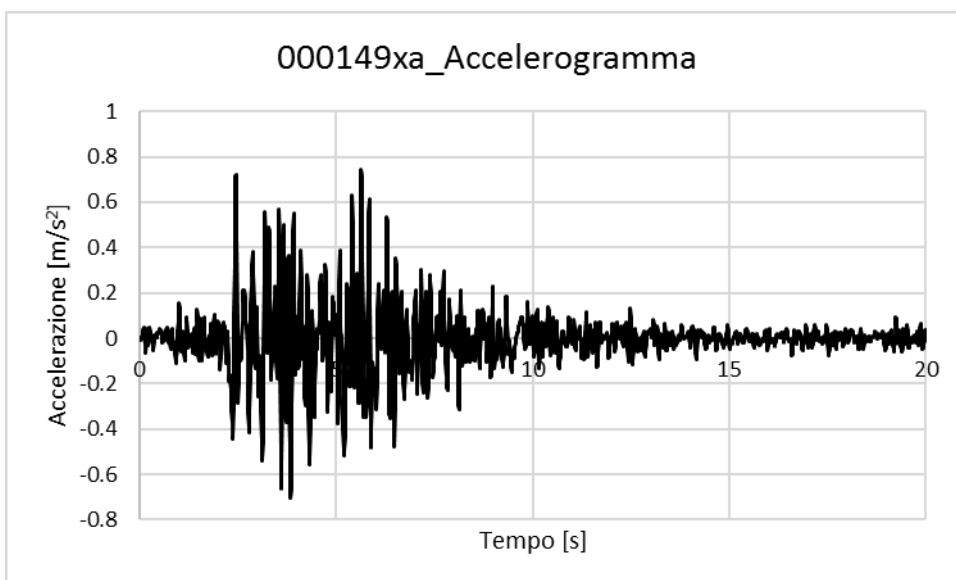
006349xa_Accelerogramma

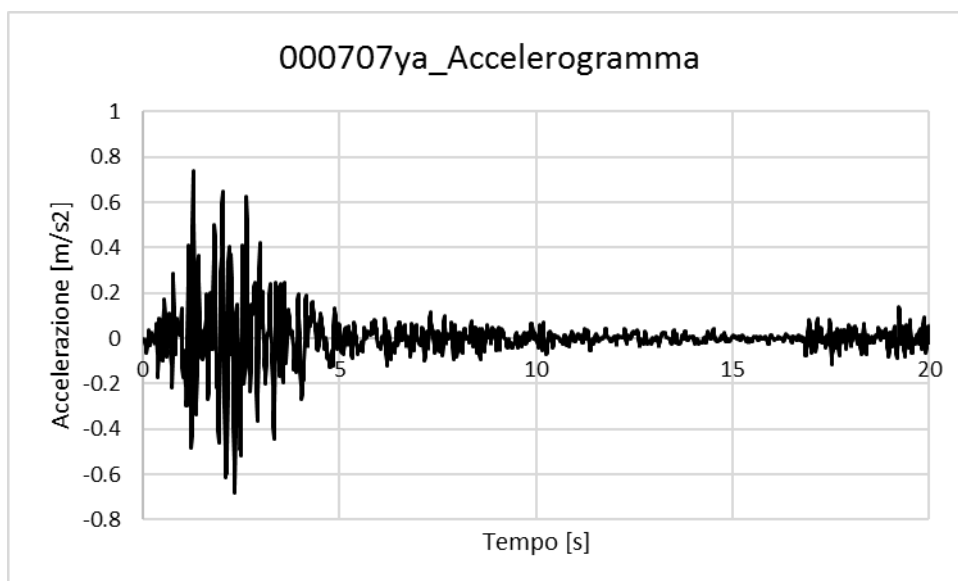
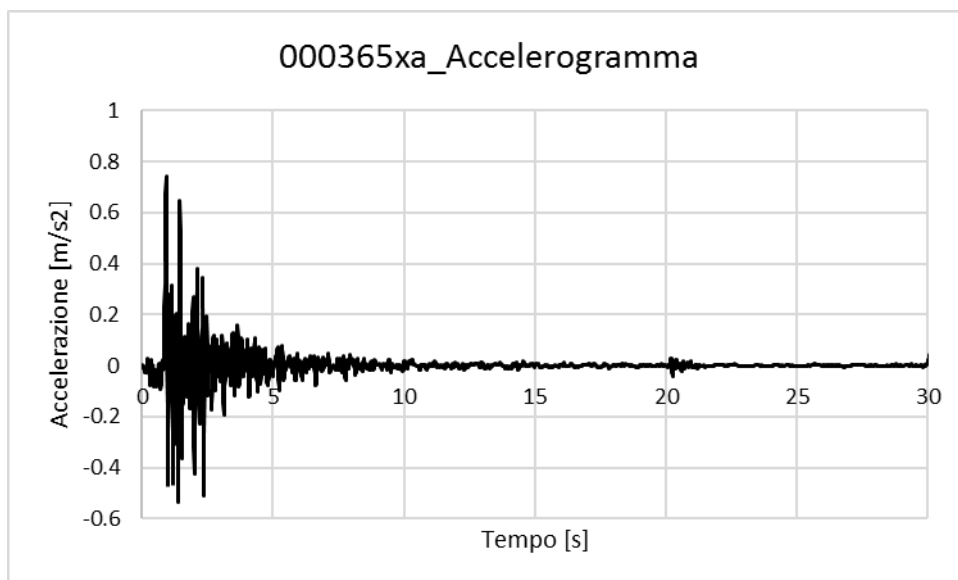
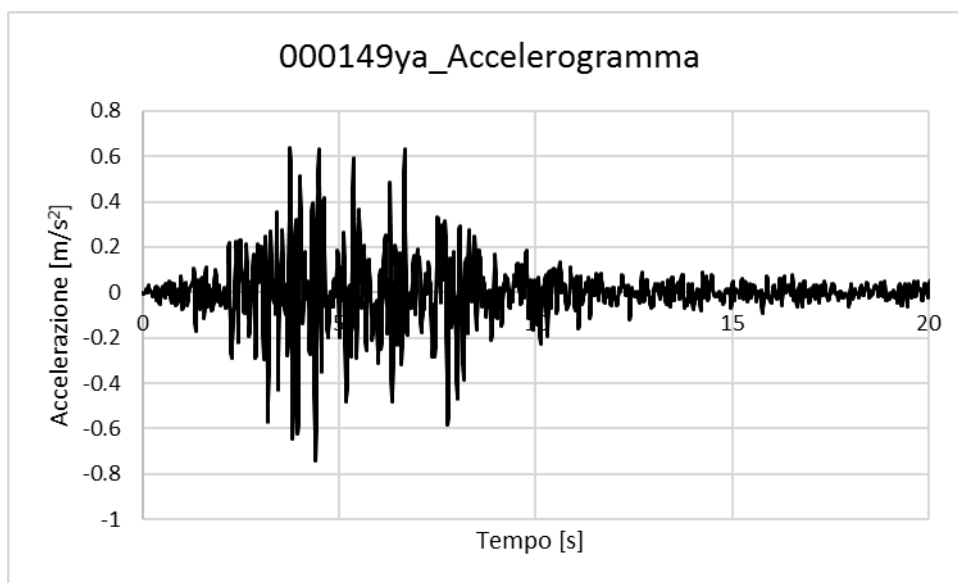


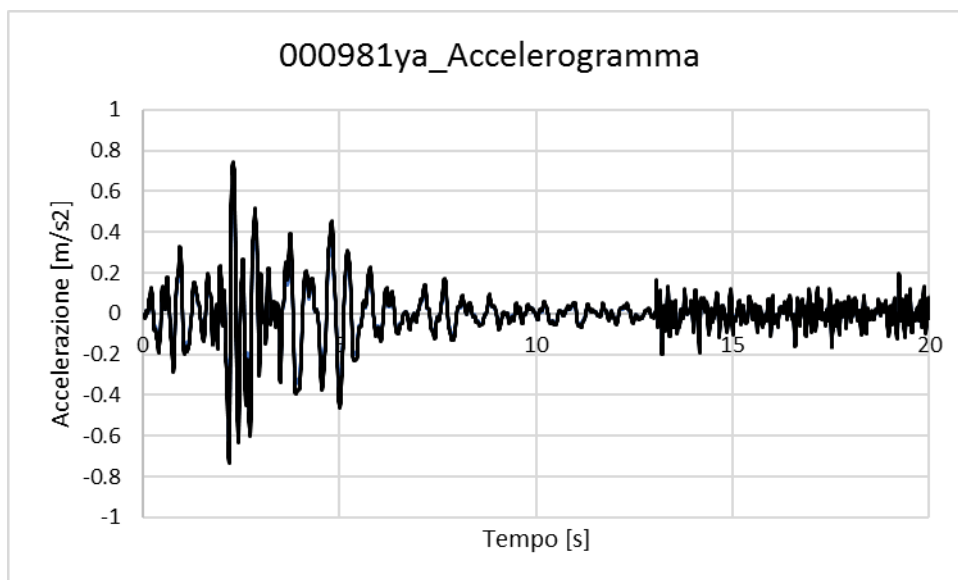
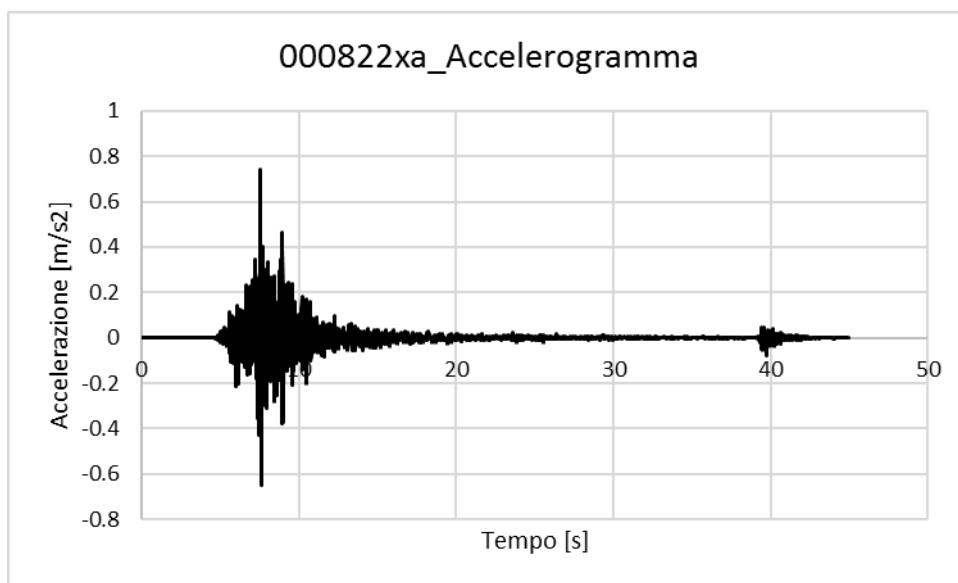


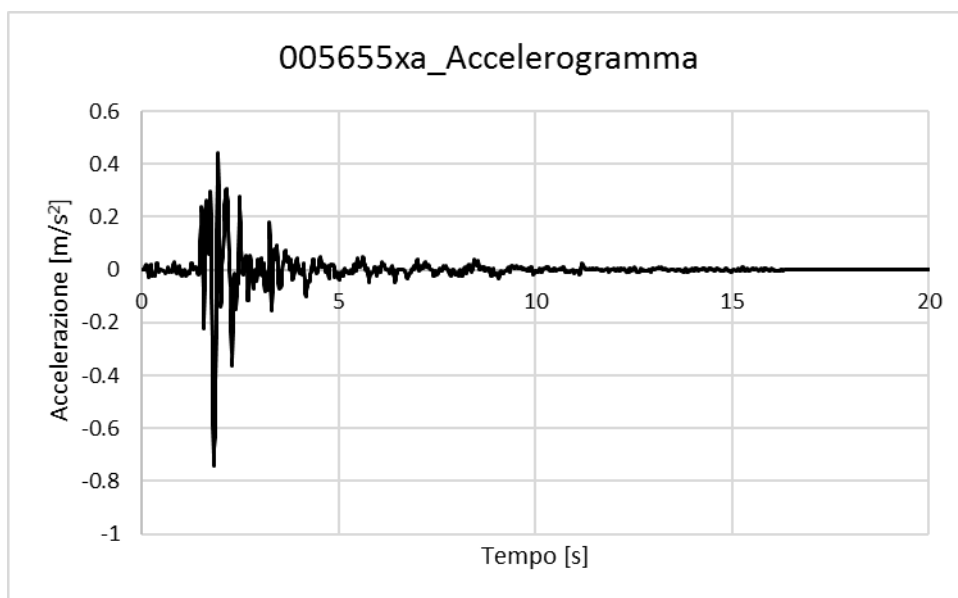
9.3 ACCELEROGRAMMI SPETTROCOMPATIBILI – SLD

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]
384	176	ST154	Lazio Abruzzo (aftershock)	11/05/1984	5.5	normal	6
766	292	ST266	Umbria Marche (aftershock)	14/10/1997	5.6	normal	12
149	65	ST26	Friuli (aftershock)	15/09/1976	6	thrust	12
149	65	ST26	Friuli (aftershock)	15/09/1976	6	thrust	12
982	72	ST309	Friuli (aftershock)	16/09/1977	5.4	thrust	9
707	60	ST26	Friuli (aftershock)	11/09/1976	5.3	thrust	8
981	72	ST1043	Friuli (aftershock)	16/09/1977	5.4	thrust	11
mean:					5.6		10









9.4 ACCELEROGRAMMI SPETTROCOMPATIBILI – SLO

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]
384	176	ST154	Lazio Abruzzo (aftershock)	11/05/1984	5.5	normal	6
766	292	ST266	Umbria Marche (aftershock)	14/10/1997	5.6	normal	12
149	65	ST26	Friuli (aftershock)	15/09/1976	6	thrust	12
982	72	ST309	Friuli (aftershock)	16/09/1977	5.4	thrust	9
822	350	ST236	Umbria Marche (aftershock)	03/10/1997	5.3	normal	5
149	65	ST26	Friuli (aftershock)	15/09/1976	6	thrust	12
5655	1825	ST2950	NE of Banja Luka	13/08/1981	5.7	oblique	10
mean:					5.642857143		9.428571429

