

**AGENZIA INTERREGIONALE FIUME PO - PARMA**

**PROGETTAZIONE DI UNA CASSA DI ESPANSIONE IN  
LOCALITÀ SALA BAGANZA - PARMA**

**ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE E DEFINIZIONE  
DELL'AZIONE SISMICA**



**ALISEA s.r.l. - Torino**

**Febbraio 2013**

## INDICE

PREMESSA	3
1. DOCUMENTI DI PROGETTO	4
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	5
3. INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE E MODELLO DI RIFERIMENTO	12
4. AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO	20
5. ACCELEROGRAMMI DI PROGETTO	21
6. CONFRONTO DIVERSE IPOTESI SUL BEDROCK SISMICO	29
7. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE	35
7.1. Stato limite ultimo (SLV)	35
7.2. Stato limite di esercizio (SLD)	39
8. CONCLUSIONI	42
9. BIBLIOGRAFIA	44

## PREMESSA

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.

Le coordinate geografiche del sito sono le seguenti:

44° 43' 53,28" NORD (44°,73146667 N)

10° 14' 54,65" EST (10°,24851389 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 NTC08, le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse (o pericolosità sismica di base) per un prefissato periodo di ritorno dell'azione sismica, associato ad ogni stato limite (funzione della classe d'uso e della vita nominale della struttura), sono definite in termini di accelerazione di picco al suolo e di spettro di risposta elastico in accelerazione. 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. Per quanto riguarda l'amplificazione topografica, non si prevedono effetti significativi per il caso in esame 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 S2 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 a partire dal modello geotecnico-sismico del terreno di fondazione, costruito in base alle proprietà geotecniche desunte dalle indagini e prove in sito. Per la costruzione del modello, le informazioni disponibili sono state quindi integrate, laddove possibile, con i risultati delle prove di laboratorio e, in loro assenza, con dati di letteratura.

## 1. DOCUMENTI DI PROGETTO

- 1.1. APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici), "Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50000, foglio 199 – Parma sud", progetto CARG a cura di G. Di Dio, S. Lasagna, A. Martini, G. Zanzucchi, 2005
- 1.2. APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici), "Carta geologica d'Italia alla scala 1:50000, foglio 199 – Parma sud", progetto CARG a cura di G. Di Dio, S. Lasagna, A. Martini, G. Zanzucchi, 2005
- 1.3. APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici), "Carta geologica d'Italia alla scala 1:50000, foglio 199 – Parma sud: Isobate della base del Sintema di Costamezzana (base degli acquiferi utili) Tavola I", progetto CARG a cura di G. Di Dio, S. Lasagna, A. Martini, G. Zanzucchi, 2005
- 1.4. APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici), "Carta geologica d'Italia alla scala 1:50000, foglio 199 – Parma sud: Carta del tetto delle ghiaie Tavola II", progetto CARG a cura di G. Di Dio, S. Lasagna, A. Martini, G. Zanzucchi, 2005
- 1.5. Sito internet ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), <http://www.isprambiente.gov.it/MEDIA/carg/emilia.html>, Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000, Emilia Romagna.
- 1.6. GeoExploration srl., AIPO (Agenzia Interregionale Fiume Po) – Parma, "Indagini geofisiche preliminari per la progettazione di una cassa d'espansione in località Sala Baganza – Parma, Rapporto Lavori", 22 agosto 2011 (Rel\_18-11 AIPO, Parma – Indagini Sala Baganza - PR)
- 1.7. GeoExploration srl., AIPO (Agenzia Interregionale Fiume Po) – Parma, "Indagini geofisiche preliminari per la progettazione di una cassa d'espansione in località Sala Baganza – Parma, Allegato 1a – Planimetria – scala 1:2000", 22 agosto 2011
- 1.8. GeoExploration srl., AIPO (Agenzia Interregionale Fiume Po) – Parma, "Indagini geofisiche preliminari per la progettazione di una cassa d'espansione in località Sala Baganza – Parma, Allegato 1b – Planimetria – scala 1:5000", 22 agosto 2011
- 1.9. GeoExploration srl., AIPO (Agenzia Interregionale Fiume Po) – Parma, "Indagini geofisiche preliminari per la progettazione di una cassa d'espansione in località Sala Baganza – Parma, Allegato 2 – Geoelettrica – scala 1:1000", 22 agosto 2011
- 1.10. GeoExploration srl., AIPO (Agenzia Interregionale Fiume Po) – Parma, "Indagini geofisiche preliminari per la progettazione di una cassa d'espansione in località Sala Baganza – Parma, Allegato 3 – Sismica Rifrazione – scala 1:1000", 22 agosto 2011
- 1.11. GeoExploration srl., AIPO (Agenzia Interregionale Fiume Po) – Parma, "Indagini geofisiche preliminari per la progettazione di una cassa d'espansione in località Sala Baganza – Parma, Allegato 3 – Sismica Riflessione – scala 1:1000", 22 agosto 2011

- 1.12.PARMAGEO s.r.l., “Stratigrafie Sondaggi S1, S2, S3”, a cura di E. Faccini, cod. Rapporti 11-141\_Sc.1, 11-141\_Sc.2, 11-141\_Sc.3, luglio 2011
- 1.13.Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, CNR, “Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250000”, 2004, a cura di Mario Boccaletti e Luca Martelli.
- 1.14.Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, CNR, “Note illustrative alla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250000”, 2004, a cura di Mario Boccaletti e Luca Martelli.
- 1.15.Università degli Studi di Parma, DICATeA (Dipartimento di Ingegneria Civile, dell’Ambiente, del Territorio e Architettura), “Prove di classificazione sui campioni prelevati dal Sondaggio S1”

## **2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

L’analisi di risposta sismica locale richiede preliminarmente la definizione di un modello di sottosuolo per il sito in esame quanto più accurato possibile. Per l’area interessata dalla cassa di espansione oggetto della presente relazione è disponibile l’inquadramento geologico riportato al Foglio 199 – Parma Sud della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50000. Il modello geotecnico è stato costruito sulla base delle informazioni ottenute con tre sondaggi geognostici effettuati dalla ditta Parmageo s.r.l. nel mese di luglio 2011 e con prove geoelettriche, downhole, sismiche a rifrazione e a riflessione effettuate in sito dalla ditta GeoExploration srl nei mesi di luglio e agosto 2011. I dati raccolti sono stati quindi integrati con i risultati delle prove di laboratorio prelevati in un nuovo sondaggio in prossimità del manufatto scolmatore di valle della cassa di espansione in progetto (doc. rif. 1.15).

Al fine dell’inquadramento geologico generale dell’area oggetto dell’intervento si è fatto riferimento ai dati riportati nella cartografia geologica alla scala 1:50000 del progetto CARG (CARTografia Geologica) dell’Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA). In particolare il sito in esame rientra nel Foglio 199 – Parma Sud: l’estratto della carta geologica è riportato nella Figura 2.1 (fuori scala) in cui è evidenziata la posizione della cassa di espansione in progetto.

L’area di interesse è composta per la maggior parte da depositi quaternari alluvionali intravallivi, recenti (di tipo  $b_{1a}$ , fissati dalla vegetazione e corrispondenti ad aree esondabili in condizioni di piena ordinaria) e in evoluzione (di tipo  $b_1$ , presenti all’interno di alvei fluviali attivi): tali depositi sono del tipo di canale fluviale e argine prossimale con alternanze di sabbie, in strati da sottili a spessi, e limi, limi argillosi in strati sottili, molto sottili (localmente possono essere presenti depositi di ventaglio di rotta o di tracimazione e subordinati corpi ghiaiosi di canale fluviale). Tale zona rientra nell’unità di Modena (Olocene), interna al subsistema di Ravenna ( $AES_8$ ), che presenta

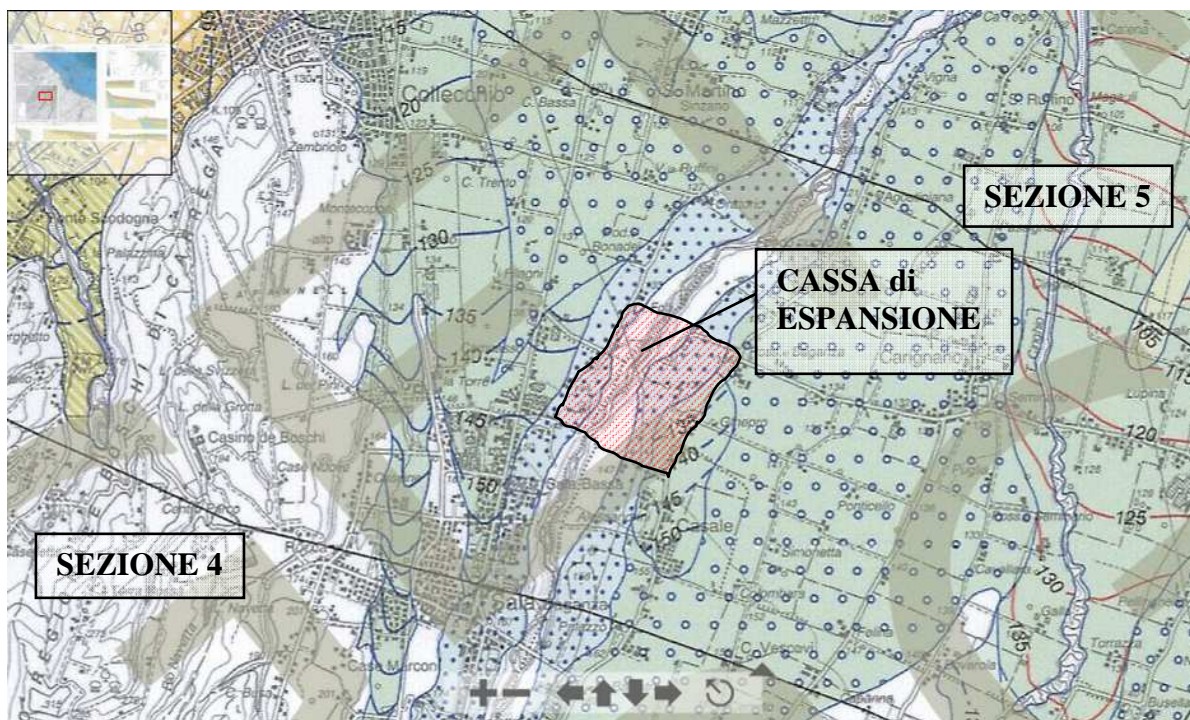
ghiaie prevalenti con livelli e lenti di sabbie, ricoperte da una coltre limoso-argillosa discontinua: depositi alluvionali intravallivi, terrazzati e di conoide. Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri.

**Figura 2.1.** Estratto carta geologica (Foglio 199 – Parma Sud) [ISPRA].

In sponda destra del Torrente Baganza, l'area arriva ad interessare anche i depositi di argine distale costituiti da limi, limi argillosi, limi sabbiosi con intercalati livelli di sabbia in strati sottili, molto sottili, attribuibili a depositi di ventaglio di rotta o di tracimazione, con occasionali ghiaie di riempimento di canale fluviale. Tale zona rientra nel sintema emiliano-romagnolo superiore (AES): nel dettaglio fa parte dell'AES<sub>8</sub>, subsintema di Ravenna (Pleistocene Superiore – Olocene), consistente in depositi di conoide alluvionale costituiti da ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi sabbiosi e argillosi; lo spessore massimo dell'unità è di circa 20 m e il tetto è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sugli altri subsintemi e sulle altre unità più antiche.

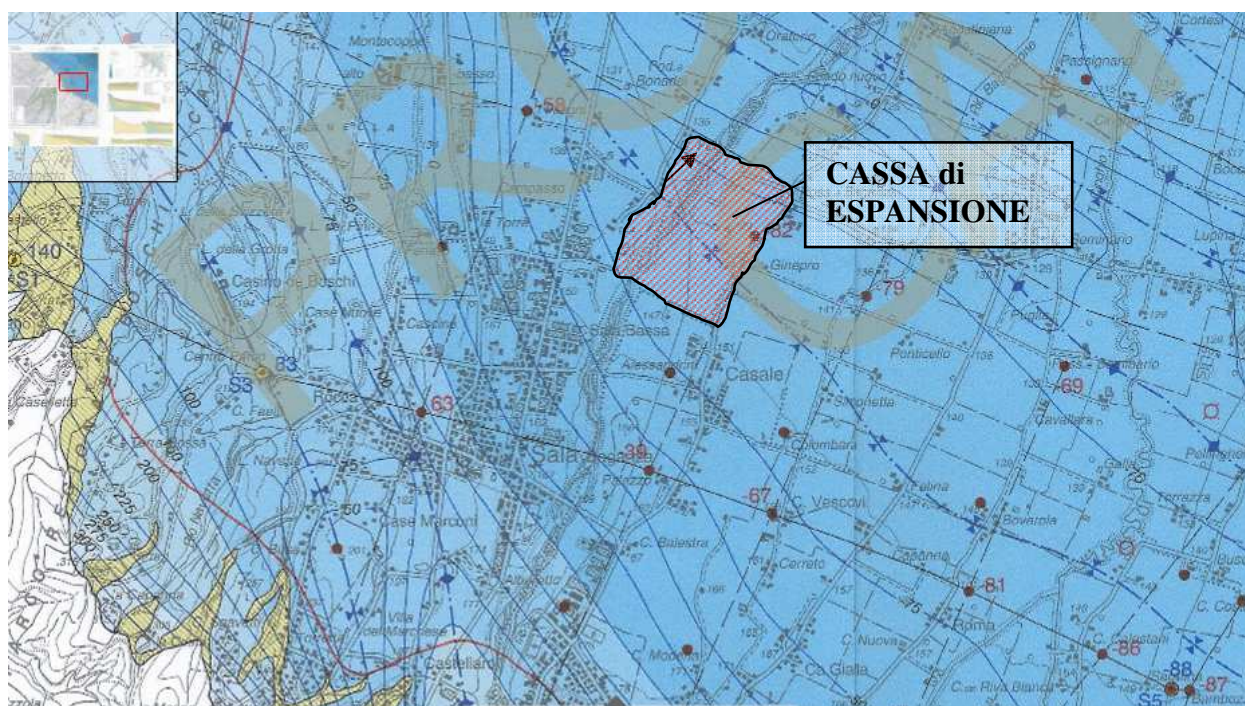
Dalla cartografia geologica presente nel sito internet dell'ISPRA è possibile consultare anche le carte geologiche di sottosuolo, in particolare la carta del tetto delle ghiaie (Figura 2.2) e la carta con le isobate della base del sintema di Costamezzana (base degli acquiferi utili, Figura 2.3). Su tali carte sono evidenziate anche le sezioni geologiche n. 4 e 5 a cui si è fatto riferimento per la definizione dell'andamento geologico in profondità (riportate rispettivamente in Figura 2.4 e in Figura 2.5).





**Figura 2.2.** Carta del Tetto delle ghiaie [ISPRA].

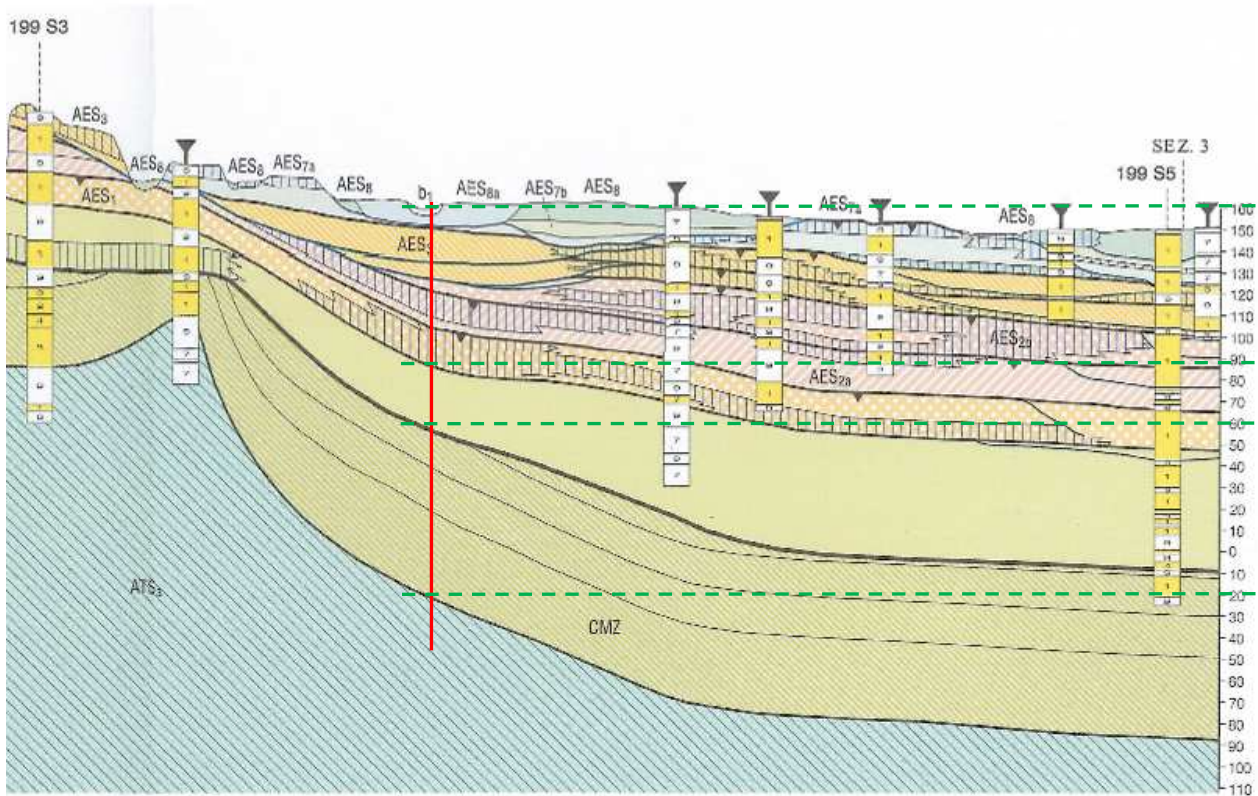
Dalla carta del tetto delle ghiaie (Figura 2.2) è confermata la presenza di sabbie affioranti unità di Modena AES<sub>8a</sub> attorno all'alveo fluviale che degradano in ghiaie affioranti Subsintema di Ravenna AES<sub>8</sub>.



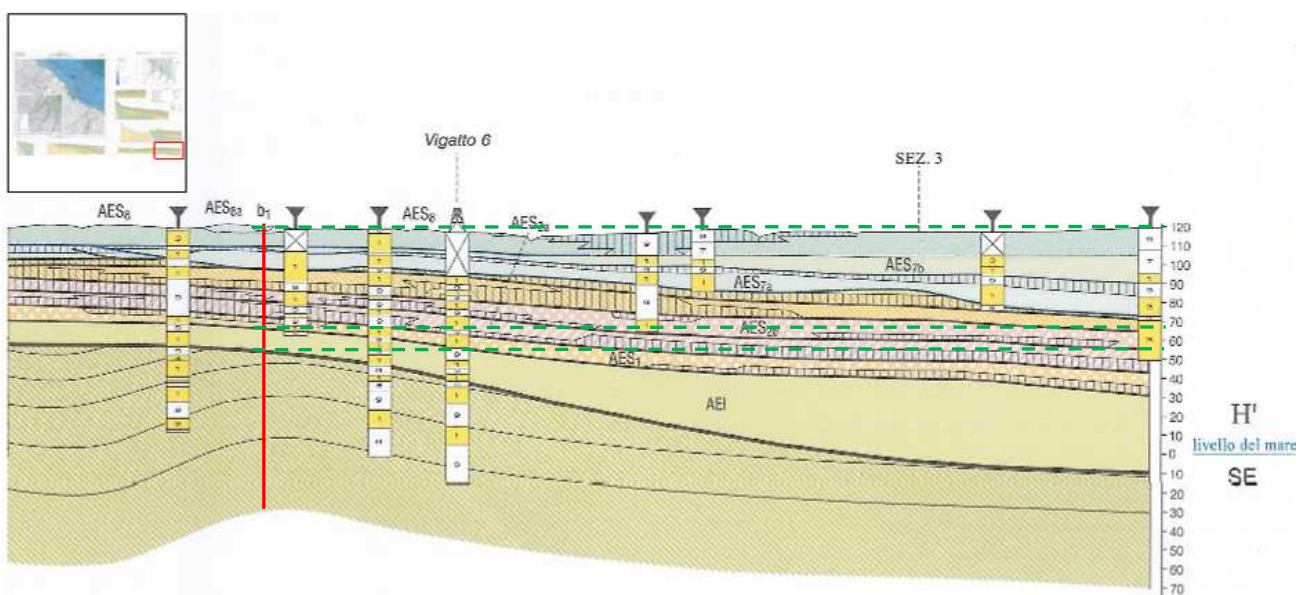
**Figura 2.3.** Carta con le isobate della base del sintema di Costamezzana (base degli acquiferi utili) [ISPRA].



Dalla carta con le isobate della base del sintema di Costamezzana emerge che l'area interessata dalla cassa di espansione presenta le isobate a circa  $-75 \div -80$  m s.l.m. ed è attraversata da un asse strutturale di sinclinale.



**Figura 2.4.** Sezione geologica n. 4 (Progetto CARG: Foglio 199 – Parma Sud) [ISPRA].



**Figura 2.5.** Sezione geologica n.5 (Progetto CARG: Foglio 199 – Parma Sud) [ISPRA].

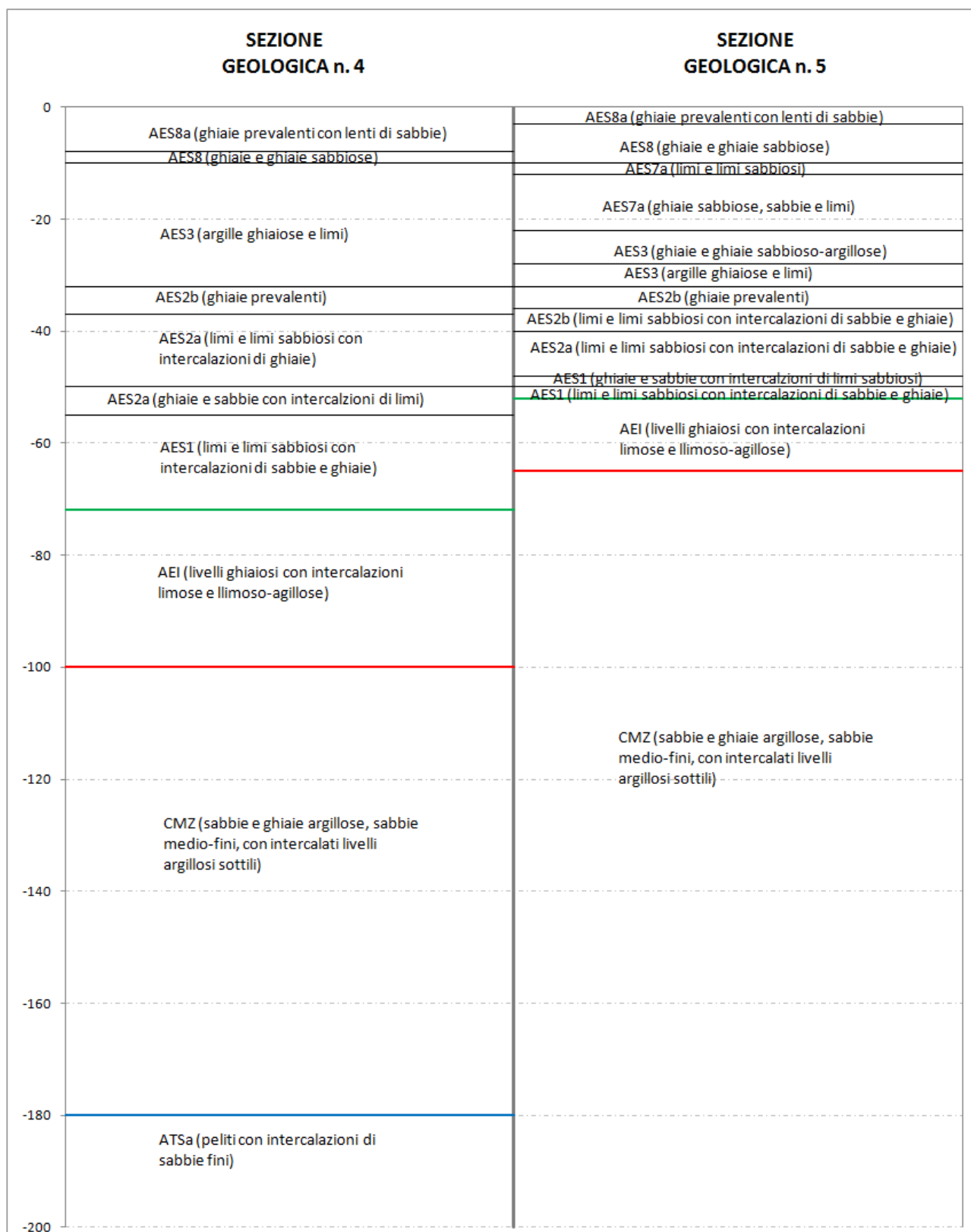


Per la caratterizzazione geologica in profondità si è fatto riferimento alle sezioni 4 e 5 riportate nel sito dell'ISPRA per il Foglio 199 – Parma Sud della Carta Geologica d'Italia (progetto CARG): i dettagli della ricostruzione stratigrafica sono riportati nella Figura 2.6.

Le sequenze stratigrafiche individuate nelle due sezioni considerate sono riportate nelle tabelle seguenti:

<b>Sezione Geologica n. 4</b>		
<b>Profondità [m]</b>	<b>Sezione geologica</b>	<b>Caratterizzazione</b>
<b>0 ÷ 8</b>	AES8a (Subsistema di Ravenna - Unità di Modena)	Depositi di conoide alluvionale (adiacenti all'alveo di piena attuale): ghiaie prevalenti con livelli e lenti di sabbie
<b>8 ÷ 10</b>	AES8 (Subsistema di Ravenna)	Depositi di conoide alluvionale: ghiaie e ghiaie sabbiose prevalenti con locali intercalazioni di sabbie e limi sabbiosi
<b>10 ÷ 32</b>	AES3 (Subsistema di Agazzano)	Depositi alluvionali intravallivi: locale prevalenza di argille ghiaiose e limi
<b>32 ÷ 37</b>	AES2b (Subsistema di Maiatico - Unità di Fico Rosso)	Depositi alluvionali intravallivi: locale prevalenza di ghiaie prevalenti con intercalazioni di limi sabbiosi
<b>37 ÷ 50</b>	AES2a (Subsistema di Maiatico - Unità di Miano)	Depositi alluvionali intravallivi: limi e limi sabbiosi con intercalazioni di ghiaie
<b>50 ÷ 55</b>	AES2a (Subsistema di Maiatico - Unità di Miano)	Depositi alluvionali intravallivi: ghiaie e sabbie con intercalazioni di limi e limi sabbiosi
<b>55 ÷ 72</b>	AES1 (Subsistema di Monterlinzana)	Depositi alluvionali intravallivi: limi e limi sabbiosi con intercalazioni di ghiaie
<b>72 ÷ 100</b>	AEI (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore)	Unità deposta in ambienti sedimentari di piana alluvionale, bacino interfluviale e conoide distale: livelli ghiaiosi preponderanti con intercalazioni limose
<b>100 ÷ 180</b>	CMZ (Sintema di Costamezzana)	Tre associazioni di facies: sabbie e ghiaie argillose in strati spessi con sottili livelli argillosi; sabbie medio-fini in strati sottili e medi; corpi costituiti da sabbie medie e fini
<b>&gt; -180</b>	ATSa (Sintema del Torrente Stirone)	Depositi di prodelta prevalentemente fini: peliti con intercalazioni di strati sottili generalmente di sabbie fini, eccezionalmente di ghiaie e ciottoli

Sezione Geologica n. 5		
Profondità [m]	Sezione geologica	Caratterizzazione
0 ÷ 3	AES8a (Subsistema di Ravenna - Unità di Modena)	Depositi di conoide alluvionale (adiacenti all'alveo di piena attuale): ghiaie prevalenti con livelli e lenti di sabbie
3 ÷ 10	AES8 (Subsistema di Ravenna)	Depositi di conoide alluvionale: ghiaie e ghiaie sabbiose prevalenti con locali intercalazioni di sabbie e limi sabbiosi
10 ÷ 12	AES7a (Subsistema di Villa Verucchio - Unità di Niviano)	Depositi di interconoide e del reticolo idrografico minore: limi e limi sabbiosi prevalenti, con intercalazioni di ghiaie e sabbie
12 ÷ 22	AES7a (Subsistema di Villa Verucchio - Unità di Niviano)	Depositi di conoide ghiaiosa: ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati
22 ÷ 28	AES3 (Subsistema di Agazzano)	Depositi alluvionali intravallivi: prevalenza di ghiaie e ghiaie sabbioso-argillose
28 ÷ 32	AES3 (Subsistema di Agazzano)	Depositi alluvionali intravallivi: locale prevalenza di argille ghiaiose e limi
32 ÷ 36	AES2b (Subsistema di Maiatico - Unità di Fico Rosso)	Depositi alluvionali intravallivi: locale prevalenza di ghiaie prevalenti con intercalazioni di limi sabbiosi
36 ÷ 40	AES2b (Subsistema di Maiatico - Unità di Fico Rosso)	Depositi alluvionali intravallivi: limi e limi sabbiosi con intercalazioni di ghiaie e sabbie
40 ÷ 48	AES2a (Subsistema di Maiatico - Unità di Miano)	Depositi alluvionali intravallivi: limi e limi sabbiosi con intercalazioni di ghiaie
48 ÷ 50	AES1 (Subsistema di Monterlinzana)	Depositi alluvionali intravallivi: limi e limi sabbiosi con intercalazioni di ghiaie
50 ÷ 52	AES1 (Subsistema di Monterlinzana)	Depositi alluvionali intravallivi: ghiaie e sabbie con intercalazioni di limi e limi sabbiosi
52 ÷ 65	AEI (Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore)	Unità deposta in ambienti sedimentari di piana alluvionale, bacino interfluviale e conoide distale: livelli ghiaiosi preponderanti con intercalazioni limose
> -65	CMZ (Sistema di Costamezzana)	Tre associazioni di facies: sabbie e ghiaie argillose in strati spessi con sottili livelli argillosi; sabbie medio-fini in strati sottili e medi; corpi costituiti da sabbie medie e fini



**Figura 2.6.** Confronto tra le sezioni geologica n. 4 e 5 (Progetto CARG: Foglio 199 – Parma Sud).

Al fine di posizionare il substrato sismico ( $V_s > 800\text{m/s}$ ) di riferimento per le analisi numeriche, in prima approssimazione si possono fare due ipotesi:



1. Il bedrock sismico è posizionato in corrispondenza del tetto del Sintema di Costamezzana (CMZ, linea rossa in Figura 2.6), profondità di circa 85 m (media tra le sezioni geologiche n. 4 e 5);
2. Il bedrock sismico è posizionato in corrispondenza del tetto del Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI, linea verde in Figura 2.6), profondità di circa 60 m (media tra le sezioni geologiche n. 4 e 5);

Una terza ipotesi, ritenuta meno realistica alla luce delle informazioni disponibili, potrebbe vedere il bedrock sismico posizionato alla base del Sintema di Costamezzana (linea blu in Figura 2.6) che, come riportato in Figura 2.4, per il sito in esame si trova ad una quota di  $-75 \div -80$  m s.l.m.; essendo il sito in esame a circa 135 m s.l.m., la profondità del bedrock verrebbe ad essere pari a circa 210 m dal p.c.

In assenza di informazioni certe sulla posizione del bedrock sismico, sono state eseguite nel sito prove di sismica passiva (i.e. indagini a stazione singola con il metodo H/V) cercando indicazioni utili a validare una delle ipotesi di cui sopra, così come riportato nel capitolo 6 della presente relazione.

### **3. INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE E MODELLO DI RIFERIMENTO**

Per la verifica del profilo geologico ipotizzato e la definizione della stratigrafia da adottare nel modello di calcolo e dei corrispondenti parametri geotecnici, si è fatto riferimento ai risultati di n. 3 sondaggi geognostici (nel seguito denominati S1, S2 ed S3) effettuati dalla ditta PARMAGEO s.r.l. nel mese di luglio 2011 (doc. rif. 1.12); ai risultati delle prospezioni geofisiche nel sito in esame (prospezioni geofisiche innovative del tipo sismico a riflessione ad alta risoluzione con onde di pressione P e di taglio S mediante energizzazione impulsionale e vibroseis; rilievo downhole sempre con onde P ed S nel foro di sondaggio S1, sismica a rifrazione e geoelettrica con tecniche tomografiche) effettuate dalla ditta GeoExploration s.r.l. tra i mesi di luglio e agosto 2011 (doc. rif. da 1.6 a 1.11); nonché ai risultati desunti dalle prove di classificazione sui campioni prelevati dal nuovo sondaggio S1 effettuato dalla ditta SOGEO s.r.l. (doc. rif. 1.15).

Data l'estensione dell'area in esame, costituente la cassa di espansione del Torrente Baganza, i tre sondaggi geognostici effettuati nel luglio 2011 sono stati realizzati a monte (sondaggio S3), in posizione intermedia (sondaggio S2) ed in prossimità del manufatto scolmatore di valle (sondaggio S1) della cassa di espansione stessa (vedi planimetria in scala 1:5000 e 1:2000 riportata nei doc. rif. 1.7 e 1.8). Per la stessa esigenza di indagare in maniera più diffusa il sottosuolo sono state realizzate le seguenti prospezioni (l'ubicazione degli allineamenti realizzati è riportata nei doc. rif. 1.7 e 1.8):

- a. registrazioni di 5 allineamenti geoelettrici (T1, T2, T3, L1 ed L2) multi-elettrodi con tecnica tomografica della lunghezza complessiva di 2445 metri lineari di stendimento, disposti trasversalmente e longitudinalmente al corso d'acqua;
- b. acquisizione di uno stendimento sismico a rifrazione esteso per 715 metri lineari in corrispondenza del presunto sbarramento a valle della cassa di espansione;
- c. registrazione di due stendimenti sismici a riflessione sovrapposti a quello a rifrazione in corrispondenza del letto del fiume, utilizzando nuove tecniche innovative ed esclusive ad alta risoluzione con geofoni spazati di 1 e 2 metri ed energizzazione del terreno con sorgenti impulsionali e vibratorie (onde di pressione P e di taglio S); la lunghezza complessiva dello stendimento è di 261 metri;
- d. rilievo con tecnica downhole nel foro di sondaggio meccanico S1 perforato a rotazione e carotaggio continuo, con onde di pressione P e di taglio S, per una lunghezza complessiva di 50 metri lineari.

Tutte queste indagini hanno permesso di validare il profilo stratigrafico definito in prima ipotesi dalle carte geologiche: in particolare per i primi 50 m si è riscontrata effettivamente l'alternanza di sabbie a ghiaie con lenti di limi ed argille e la presenza di strati limo-sabbiosi ed argillosi in profondità.

Il profilo stratigrafico evidenziato dai tre sondaggi geognostici è riassunto nelle seguenti tabelle.

<b>Sondaggio S1 (falda a -1,50 m dal p.c.)</b>	
<b>Profondità [m]</b>	<b>Descrizione</b>
<b>0 ÷ 3,2</b>	Ghiaie e ciottolame dei terrazzi attuali e recenti
<b>3,2 ÷ 14</b>	Alternanze di ghiaie sabbio-limose con argille sabbio-limose
<b>14 ÷ 15,7</b>	Argille con limo
<b>15,7 ÷ 25,4</b>	Ghiaie fluviali con sabbie
<b>25,4 ÷ 25,7</b>	Limo argilloso
<b>25,7 ÷ 32</b>	Argille localmente limose o debolmente limose
<b>32 ÷ 42</b>	Ghiaie fluviali con argilla, sabbioso-limose
<b>42 ÷ 49,5</b>	Argille da limose a debolmente limose, molto consistenti
<b>49,5 ÷ 50</b>	Argilla debolmente ghiaiosa
<b>50 ÷ 51,5</b>	Argille con ghiaie minute e medie, sovente alterate

<b>Sondaggio S2 (falda a -1,70 m dal p.c.)</b>	
<b>Profondità [m]</b>	<b>Descrizione</b>
<b>0 ÷ 2,5</b>	Ghiaie e ciottolame dei terrazzi attuali e recenti
<b>2,5 ÷ 20,5</b>	Alternanze di ghiaie con sabbie argillo-limose e ghiaie con argille sabbio-limose
<b>20,5 ÷ 29</b>	Argille localmente limo-sabbiose
<b>29 ÷ 32,6</b>	Ghiaie fluviali con argilla, sabbioso-limose
<b>32,6 ÷ 32,7</b>	Argille localmente limo-sabbiose
<b>32,7 ÷ 40</b>	Ghiaie fluviali con sabbie, argilloso-limose

<b>Sondaggio S3 (falda a -1,00 m dal p.c.)</b>	
<b>Profondità [m]</b>	<b>Descrizione</b>
<b>0 ÷ 2</b>	Ghiaie e ciottolame dei terrazzi attuali e recenti
<b>2 ÷ 10,8</b>	Ghiaie con sabbie argilloso-limose
<b>10,8 ÷ 23</b>	Argille con limo
<b>23 ÷ 26</b>	Argille con ghiaie, debolmente limose
<b>26 ÷ 33,5</b>	Ghiaie fluviali con argilla, sabbioso-limose
<b>33,5 ÷ 34,8</b>	Argille
<b>34,8 ÷ 40</b>	Ghiaie con sabbie argilloso-limose

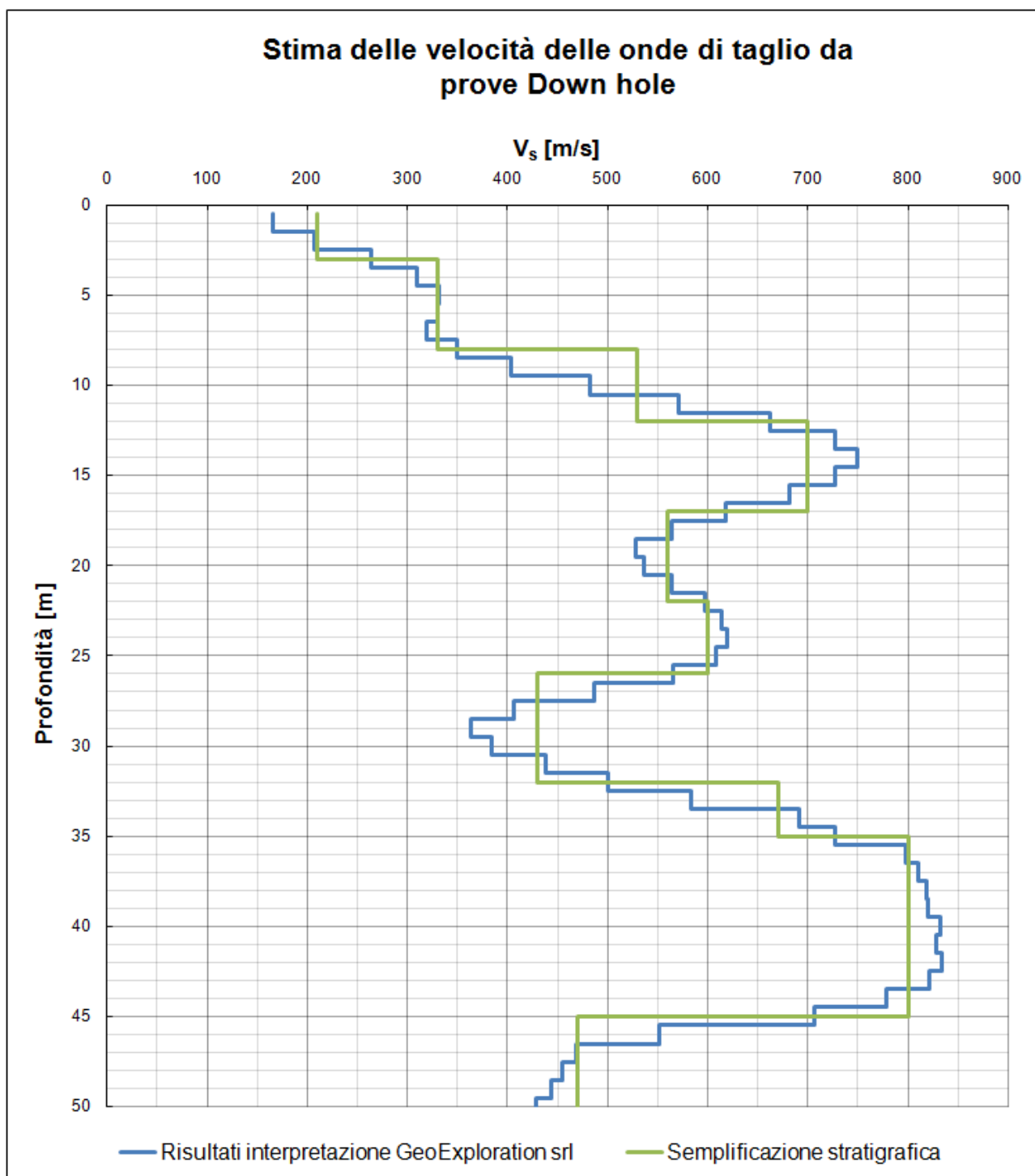
A partire da tali profili, tenendo conto dell'ubicazione di ciascun sondaggio, si è costruita la stratigrafia media di riferimento per la valutazione della risposta sismica locale.

Nel foro del sondaggio S1 è stata realizzata inoltre una prova sismica downhole: nel grafico in Figura 3.1 è riportata l'interpretazione dei risultati effettuati dalla ditta GeoExploration s.r.l. in termini di velocità delle onde di taglio in funzione della profondità. Lo stesso grafico riporta inoltre una semplificazione del profilo di  $V_s$  al fine di ottimizzare le procedure di calcolo, tenendo conto dei risultati dei sondaggi geognostici e delle considerazioni geologiche riportate nel paragrafo precedente. La semplificazione adottata risulta inoltre coerente con una interpretazione complessiva dei tempi di primo arrivo in funzione della profondità di indagine. Il profilo di  $V_s$  e la stratigrafia corrispondente, assunti come riferimento nel modello di calcolo, sono sintetizzati nella seguente tabella.



<b>z [m]</b>	<b><math>V_{s,def}</math> [m/s]</b>	<b>stratigrafia</b>
<b>0,5 ÷ 3</b>	210	Ghiaia
<b>3 ÷ 8</b>	330	Sabbia
<b>8 ÷ 12</b>	530	Sabbia
<b>12 ÷ 17</b>	700	Argilla limosa
<b>17 ÷ 22</b>	560	Ghiaia
<b>22 ÷ 26</b>	600	Argilla limosa
<b>26 ÷ 32</b>	430	Argilla limosa
<b>32 ÷ 35</b>	670	Ghiaia
<b>35 ÷ 45</b>	800	Argilla limosa
<b>45 ÷ 50</b>	470	Argilla limosa
<b>&gt; 50</b>	470	Ghiaia

Il profilo delle velocità delle onde di taglio così individuato comporta un valore di  $V_{s,30}$  che ricade nell'intervallo di valori della categoria di sottosuolo B. Tuttavia la presenza di inversioni di velocità (ossia andamento della velocità di propagazione delle onde di taglio decrescente al crescere della profondità) comporta la collocazione del sito nella categoria di sottosuolo S2, per la quale è richiesto lo specifico studio della risposta sismica locale. Tenendo conto delle informazioni disponibili per il sito, appare ragionevole il riferimento ad un mezzo stratificato a strati piani e paralleli, quindi le simulazioni numeriche vengono effettuate con un approccio monodimensionale per la colonna stratigrafica di riferimento. Le analisi sono state eseguite con il programma 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.



**Figura 3.1.** Interpretazione dei risultati prova downhole realizzata in S1 (fino a 50 m dal p.c.).

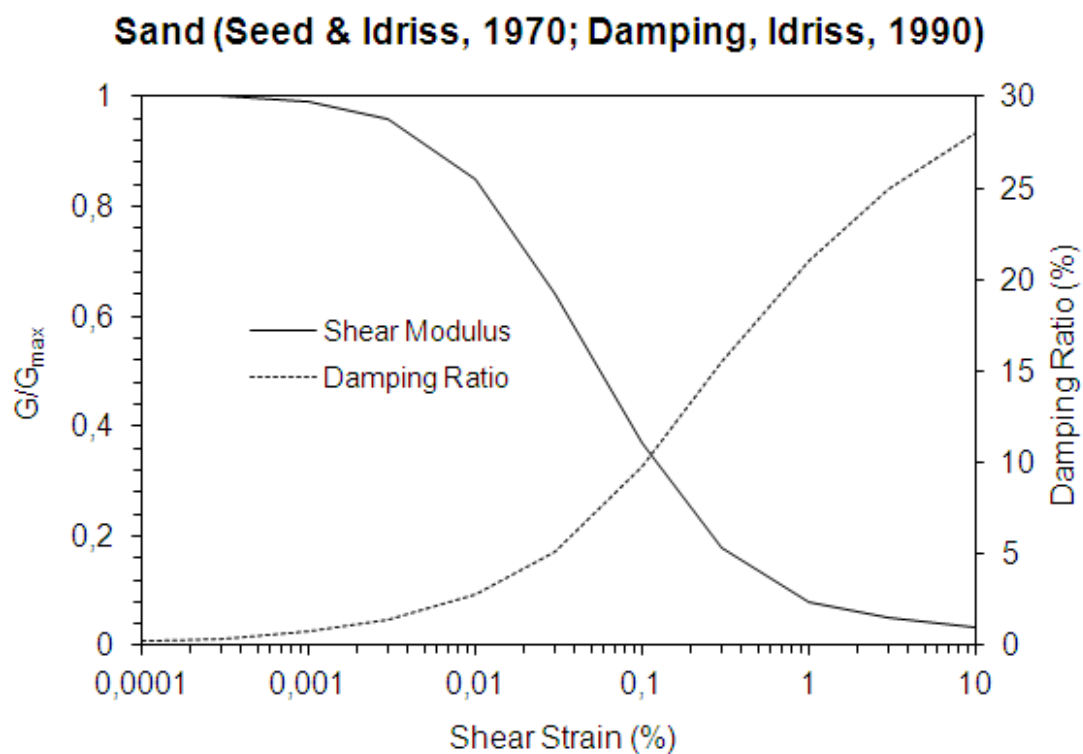
La profondità massima raggiunta dai sondaggi è di 50 m, e dalle prove downhole non si è evidenziato il raggiungimento di un bedrock sismico, che potrebbe essere collocato a profondità maggiori. Ciò comporta l'esigenza della ricerca del bedrock con ulteriori prove in sito per una sua corretta individuazione in profondità, non essendo chiara la sua possibile ed univoca posizione dalle carte geologiche disponibili. In via preliminare si farà riferimento alle tre ipotesi di profondità del bedrock ipotizzate nel paragrafo precedente in base alle sezioni geologiche disponibili: non avendo

valori diretti misurati in sito, oltre i 50 m dal piano campagna e fino al bedrock ipotizzato, in assenza di altre informazioni, si è considerato lo stesso materiale rilevato a 50 m dal p.c. con il corrispondente valore di  $V_s$  pari a 470 m/s (Fig. 3.1).

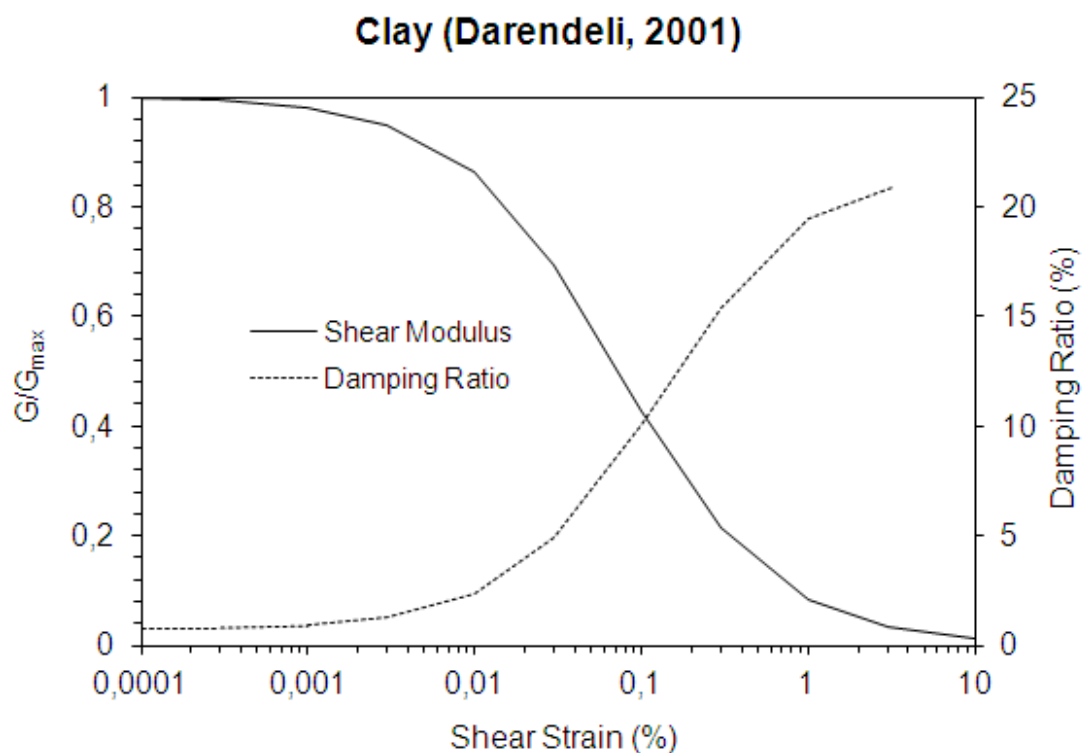
Facendo riferimento alla stratigrafia semplificata adottata nel modello di calcolo si sono individuati tre litotipi di riferimento: ghiaia, sabbia ed argilla. Non essendo disponibili dati specifici da prove di laboratorio per la sabbia, il comportamento dinamico nelle analisi lineari-equivalenti per gli strati sabbiosi è stato simulato utilizzando le curve di decadimento del modulo di taglio e del rapporto di smorzamento presenti in letteratura: in particolare, vedi Figura 3.2, il decadimento del modulo di taglio fa riferimento agli studi di Seed & Idriss (1970, curva “upper range”), mentre il damping ratio segue l’andamento riportato da Idriss (1990). Gli strati argillosi-limosi fanno invece riferimento alle curve di decadimento riportate da Darendeli (2001) con un IP pari a 15%, valore in linea con i risultati delle prove di laboratorio sul campione S1C4 relativo al limo, limo-argilloso (doc. rif. 1.15): tali curve saranno variabili per i diversi strati argillo-limosi in funzione della tensione di confinamento dello strato considerato (i.e. Figura 3.3 per lo strato argilloso a profondità media di 24 m). Per quanto riguarda infine gli strati ghiaiosi, la presenza in tutti i provini analizzati in laboratorio di una matrice limosa determina un IP variabile dal 10 al 15%: per tenere conto della presenza della matrice limosa, si sono confrontate le curve di decadimento del modulo e il damping ratio ottenute con le formulazioni di Darendeli (2001), con IP variabile da 0 a 15%, con quelle riportate in letteratura per le ghiaie. Dal confronto è emerso che le curve di riferimento per materiali ghiaiosi che meglio approssimano il comportamento della matrice limosa sono quelle medie riportate da Rollins et al. (1998, vedi Figura 3.4), un po’ più cautelative per quanto riguarda il damping ratio a deformazioni superiori allo 0,1%.

Il bedrock sismico è stato modellato con riferimento alle curve di decadimento medie per la roccia implementate direttamente in EERA (Figura 3.5).

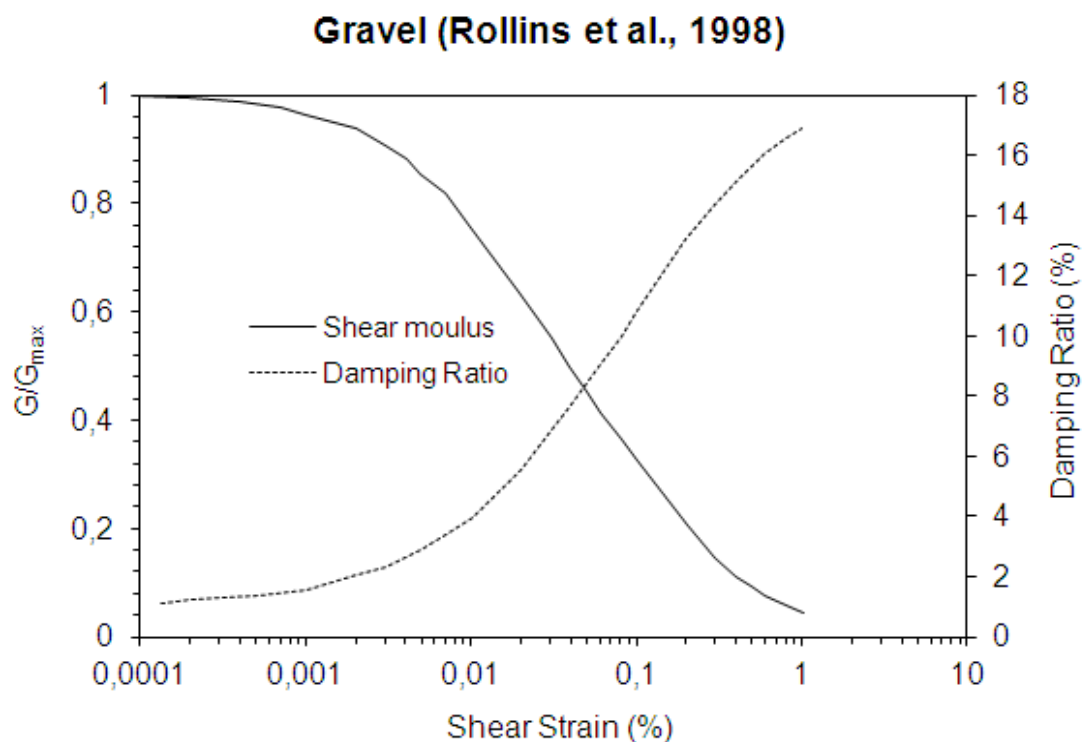




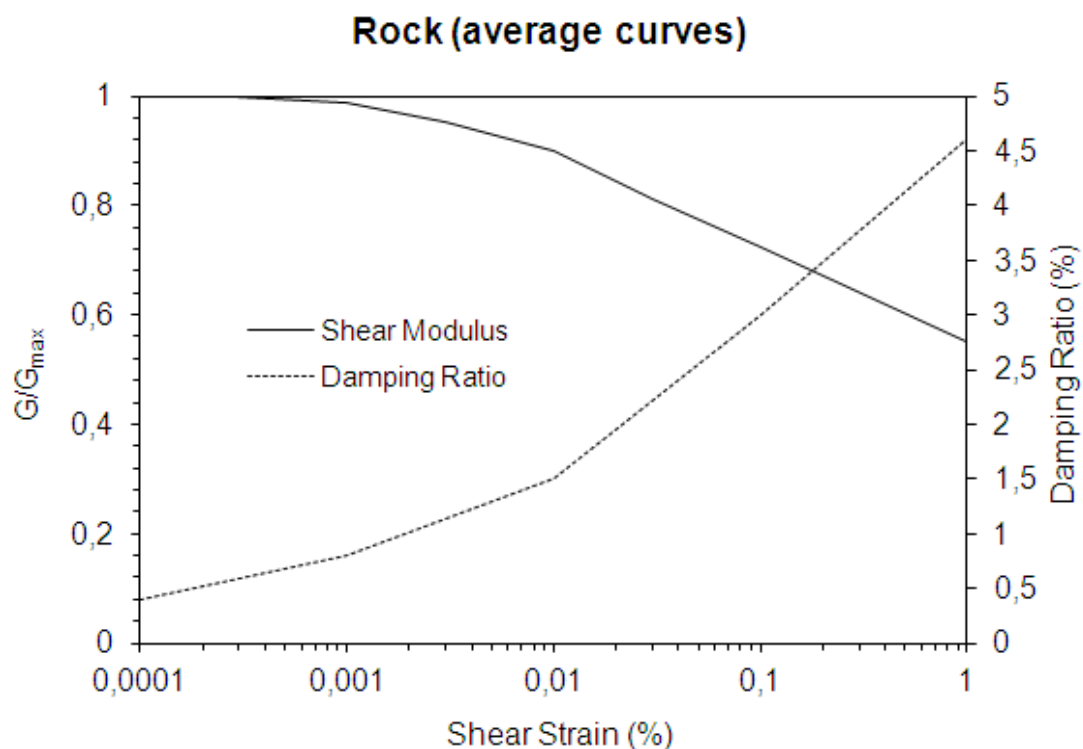
**Figura 3.2.** Curve di decadimento del modulo di taglio e del rapporto di smorzamento adottate per gli strati sabbiosi.



**Figura 3.3.** Curve di decadimento del modulo di taglio e del rapporto di smorzamento adottate per gli strati argillosi.



**Figura 3.4.** Curve di decadimento del modulo di taglio e del rapporto di smorzamento adottate per gli strati ghiaiosi.



**Figura 3.5.** Curve di decadimento del modulo di taglio e del rapporto di smorzamento medie per il bedrock sismico (roccia).

## 4. AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Per la valutazione delle azioni sismiche di progetto si è fatto riferimento alla macrozonazione sismica definita nel D.M. 14/01/2008. L'infrastruttura è localizzata alle seguenti coordinate geografiche:

Latitudine: 44°,73146667 Nord

Longitudine: 10°,24851389 Est

Considerando che l'opera in progetto è una cassa di espansione, importante nella gestione dell'emergenza e con rilevanti conseguenze, in termini di vittime e di rischi per l'ambiente, derivabili da un eventuale collasso, la vita nominale e la classe d'uso da considerare sono quelle relative alle opere strategiche. Verranno quindi assunti i seguenti parametri :

Vita nominale: 100 anni (Classe 3)

Classe d'uso: IV (CU=2,0)

Si ottiene un periodo di riferimento pari a :

$$V_R = \max(35 ; V_N \cdot C_U) = \max(35 ; 100 \cdot 2,0) = 200 \text{ anni}$$

Le verifiche di sicurezza allo stato limite ultimo saranno sviluppate considerando lo Stato Limite di Salvaguardia per la Vita (SLV), per il quale si deve garantire una possibilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$  pari al 10%.

In accordo con le indicazioni fornite nell'Allegato A del D.M. 14/01/2008 (formula [1]) il periodo di ritorno  $T_R$  dell'azione sismica può quindi essere ottenuto dalla seguente espressione :

Stato Limite di salvaguardia della Vita: 
$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} = 1898 \text{ anni}$$

Sulla base di questi dati, interpolando sul reticolo geografico per cui è definita la pericolosità sismica da normativa e in relazione ai periodi di ritorno disponibili nello studio di pericolosità di base si ottengono le informazioni relative alla pericolosità locale.

L'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido risulta pari a:

$$a_g = 0.237g$$

Le verifiche di sicurezza allo stato limite di esercizio saranno invece sviluppate considerando lo Stato Limite di Danno (SLD), per il quale si deve garantire una possibilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$  pari al 63%.

Il periodo di ritorno  $T_R$  dell'azione sismica risulta dunque pari a:

Stato Limite di Danno: 
$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} = 201 \text{ anni}$$

L'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido risulta pari a:

$$a_g = 0.112g$$

Nel dettaglio, i parametri che definiscono la pericolosità sismica di base secondo le NTC08, in condizioni ideali di sito di riferimento, necessari per la definizione dello spettro di risposta elastico, sono riportati nella seguente tabella in funzione dello specifico periodo di ritorno considerato per le verifiche SLV e SLD.

STATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
<b>SLO</b>	120	0,092	2,453	0,269
<b>SLD</b>	201	0,112	2,460	0,274
<b>SLV</b>	1898	0,237	2,501	0,298
<b>SLC</b>	2475	0,255	2,512	0,301

Si ricorda nel seguito il significato di tali parametri, così come definiti nell'Allegato A alle NTC08:

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima del terreno;

$F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_c^*$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

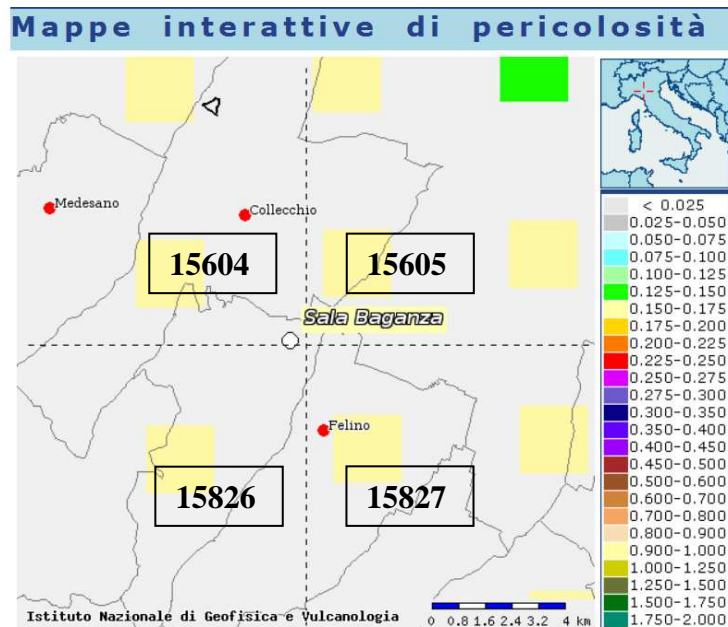
## 5. ACCELEROGRAMMI DI PROGETTO

Per implementare l'analisi di risposta sismica locale, seguendo le indicazioni delle NTC08, sono stati adottati accelerogrammi naturali, ovvero registrazioni accelerometriche relative ad eventi sismici realmente avvenuti, reperibili in banche dati digitali "strong motion" accreditate, nazionali ed internazionali.

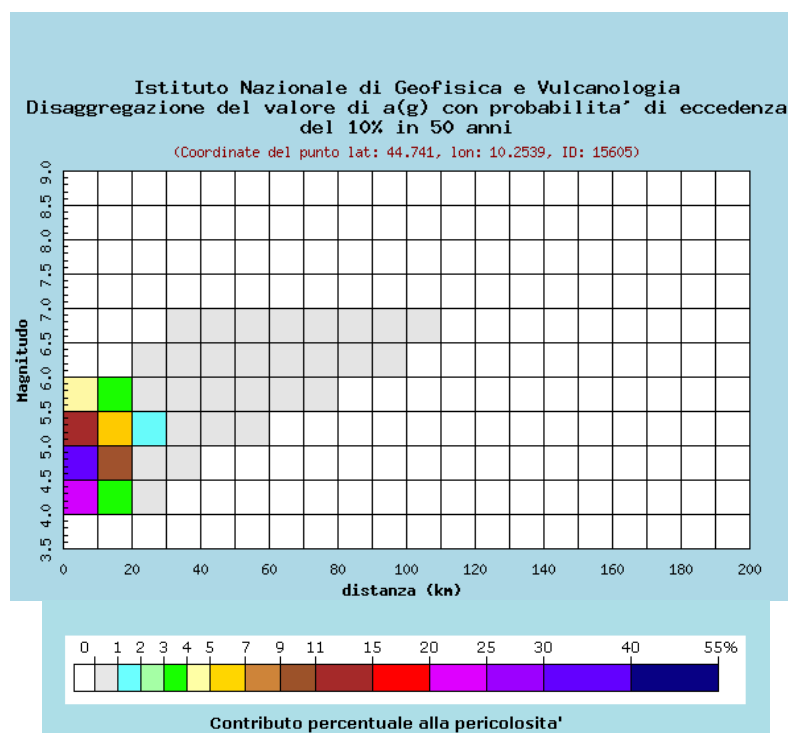
Gli accelerogrammi di progetto sono stati definiti tenendo presente quanto indicato al punto 3.2.3.6 delle NTC08, dove è precisato che "l'uso di accelerogrammi registrati è ammesso, a condizione che la loro scelta sia rappresentativa della sismicità del sito e sia adeguatamente giustificata in base alle 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 di pericolosità sismica locale relativa al sito in esame sono stati ricavati, per determinati periodi di ritorno dell'azione sismica, l'accelerazione di picco orizzontale attesa al sito, i corrispondenti spettri isoprobabili e il contributo delle diverse coppie magnitudo-distanza alla pericolosità sismica del sito, espressa da un determinato parametro di scuotimento (i.e. l'accelerazione spettrale). Nonostante le NTC08 non prescrivano nulla di specifico al riguardo, gli accelerogrammi reali selezionati dovrebbero essere in particolare 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.



**Figura 5.1.** Maglia elementare del reticolo di riferimento per il sito di Sala Baganza (PR), con indicati i valori di  $a_g$  con probabilità di occorrenza del 10% in 50 anni [<http://esse1-gis.mi.ingv.it>]



**Figura 5.2.** Disaggregazione del valore di  $a_g$  con probabilità di occorrenza del 10% in 50 anni per il sito di Sala Baganza (PR) [<http://esse1-gis.mi.ingv.it>].

I risultati dello studio di disaggregazione per il sito in esame sono stati ricavati a partire dall'analisi di pericolosità del territorio italiano disponibile sul sito dell'INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>): per il punto del reticolo di riferimento più prossimo al sito in esame (Figura 5.1), graficamente e in forma di tabella è riportato il contributo percentuale alla pericolosità delle diverse coppie di magnitudo e distanza (Figure 5.2).

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilità di eccedenza del 10% 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	21.000	32.800	14.400	4.330	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	3.790	9.250	6.980	3.170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.056	0.790	1.400	0.974	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.011	0.228	0.359	0.120	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.011	0.099	0.113	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.046	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.016	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	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

La coppia di valori che domina lo scenario sismico è riportata nella seguente tabella.

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.850	8.060	0.824

Come si può vedere dalla disaggregazione sopra riportata il maggiore contributo percentuale alla pericolosità sismica è dovuto a terremoti di magnitudo da 4 a 5,5 con una distanza compresa in 20 km (i valori medi indicano magnitudo 4,85, distanza 8,1 km; per un valore di occorrenza del 63% la distanza media aumenta a circa 20 km, mentre il valore medio di magnitudo rimane pressoché invariato).

Nella scelta degli accelerogrammi di progetto si terrà dunque conto di questi valori.

Gli accelerogrammi naturali possono essere selezionati da banche dati accelerometriche digitali accreditate, accessibili via internet: nel caso in esame si è utilizzata la banca dati accelerometrica “strong-motion” digitale ITACA (al sito <http://itaca.mi.ingv.it>).

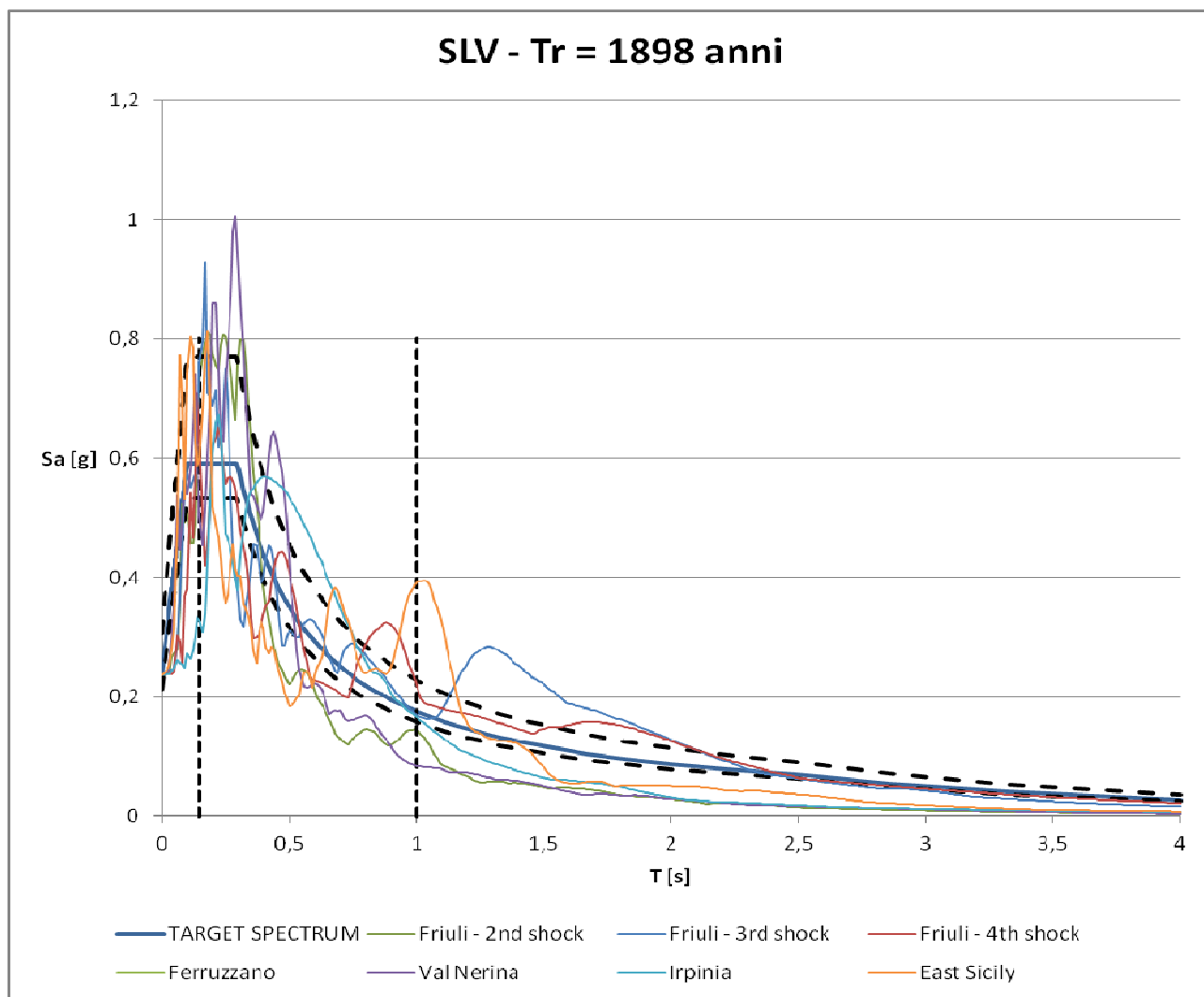
Nella selezione degli accelerogrammi naturali, non è possibile prescindere da alcune considerazioni di base, relative al contesto sismo-tettonico regionale in cui le registrazioni sono state effettuate. Infatti, profondità ipocentrale e meccanismo di rottura associati alla generazione di un terremoto conferiscono caratteristiche peculiari al corrispondente moto sismico al suolo. È pertanto opportuno selezionare solo quelle registrazioni accelerometriche compatibili con il contesto sismo tettonico regionale cui appartiene il sito oggetto dello studio o comunque a contesti sismotettonici simili. Facendo riferimento alla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (doc. rif. 1.13) e alle zone sismogenetiche individuate dall'INGV, l'area in esame è interessata da terremoti in gran parte superficiali con meccanismo di rottura prevalente thrust fault o incerto. Tenendo conto di queste caratteristiche, dal database ITACA, sono stati selezionati accelerogrammi di Magnitudo superiore a 4,5, con profondità inferiore a 30 km, registrati su siti di tipo A, corretti e filtrati secondo le indicazioni riportati nel database stesso. Dal database si sono selezionati 31 accelerogrammi significativi per il sito in esame.

Ogni accelerogramma costituisce una componente dell'azione sismica, orizzontale o verticale. 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 NTC08 (punto 7.3.5), stabiliscono che l'utilizzo di almeno 7 diversi accelerogrammi consente di descrivere in modo adeguato la variabilità dell'input sismico e pertanto, in questo caso, la risposta della struttura è rappresentata dai valori medi delle funzioni della risposta ottenute dalle analisi (i.e. sollecitazioni, spostamenti, deformazioni, ecc.). I 7 accelerogrammi selezionati devono comunque rispettare il requisito di spettro-compatibilità con lo spettro elastico di progetto definito, per il sito in esame, dai

parametri riportati in tabella nel capitolo 4 della presente relazione. Si osserva, tuttavia, che le NTC08 prescrivono il requisito di spettro-compatibilità soltanto nel caso si utilizzino accelerogrammi artificiali, mentre “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. La Circ. NTC08 (punto C3.2.3.6) aggiunge che nelle NTC08 è previsto che gli accelerogrammi simulati e naturali siano scelti “in base alle effettive caratteristiche della sorgente, della propagazione e/o dell’evento dominante. Tuttavia, non sono sempre disponibili informazioni dettagliate sui meccanismi di sorgente nonché sulla magnitudo e la distanza determinanti lo spettro di sito nell’intervallo di periodi di interesse per la struttura in esame. È quindi possibile, in alternativa, utilizzare le condizioni di compatibilità spettrale media definite per i segnali artificiali anche per quelli naturali, avendo cura in ogni caso di rispettare le condizioni geologiche di sito e di scegliere accelerogrammi il cui spettro è, per quanto possibile, generalmente simile a quello di riferimento. Se ciò richiede che gli accelerogrammi siano scalati linearmente in ampiezza è opportuno limitare il fattore di scala nel caso di segnali provenienti da eventi di piccola magnitudo”. 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”. Nelle NTC08 non è imposto alcun limite per lo scarto in eccesso dello spettro di risposta medio rispetto allo spettro di risposta di riferimento, ma è evidente che accelerazioni spettrali troppo elevate possono determinare una domanda sismica eccessiva nell’analisi dinamica delle strutture.

Nel caso in esame, l’intervallo sul periodo considerato per la spettrocompatibilità, sia per SLV che per SLD, è stato ridotto a  $0.15\text{ s} \div 1.0\text{ s}$ : in tale intervallo lo scarto in difetto massimo è stato assunto al 10% dello spettro elastico, mentre lo scarto in eccesso massimo al 30%. Tra le possibili combinazioni di 7 accelerogrammi a partire dai 31 eventi ricavati dal database ITACA, si è selezionata, per i rispettivi stati limite, la combinazione che presenta il minore scarto assoluto, nell’intervallo di periodo considerato, rispetto allo spettro elastico di riferimento. Gli spettri dei 7 accelerogrammi così selezionati per le analisi a SLV e a SLD sono riportati rispettivamente in Figura 5.3 e 5.5; gli spettri medi confrontati con lo spettro elastico per SLV e SLD sono invece riportati in Figura 5.4 e 5.6.

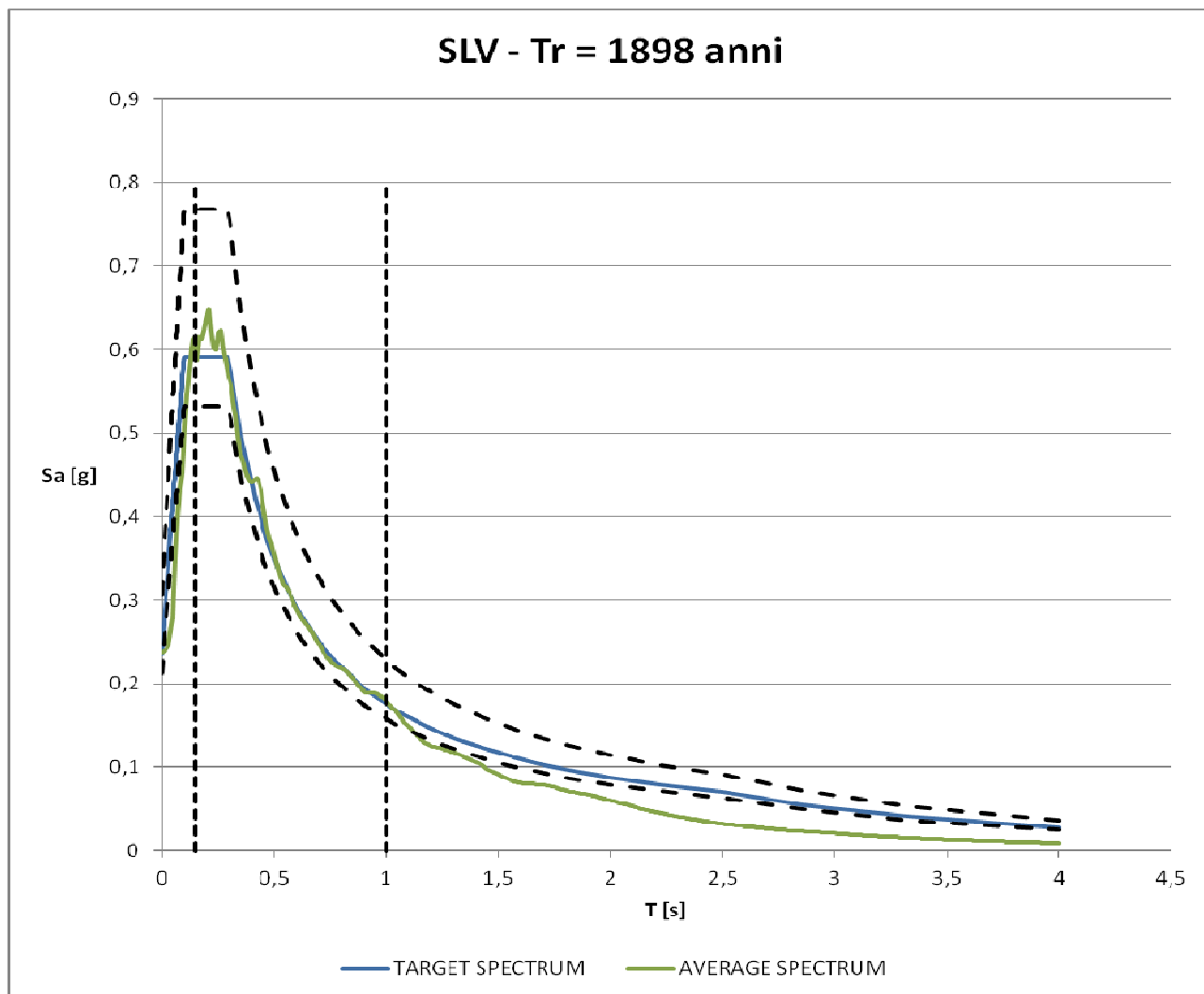
I 7 accelerogrammi selezionati per i rispettivi stati limite, in accordo con quanto specificato al punto 7.11.3.2 delle NTC08, costituiscono “l’azione sismica di ingresso, descritta in termini di storia temporale di accelerazione su un sito di riferimento rigido ed affiorante, con superficie topografica orizzontale”, e saranno utilizzati nelle analisi di risposta sismica locale, per definire le variazioni che il segnale sismico subisce a causa delle caratteristiche geotecniche dei depositi di terreno attraversati e delle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono.



**Figura 5.3.** Spettri di risposta elastici, damping 5%, dei 7 accelerogrammi selezionati allo SLV, confrontati con il corrispondente spettro elastico di progetto.

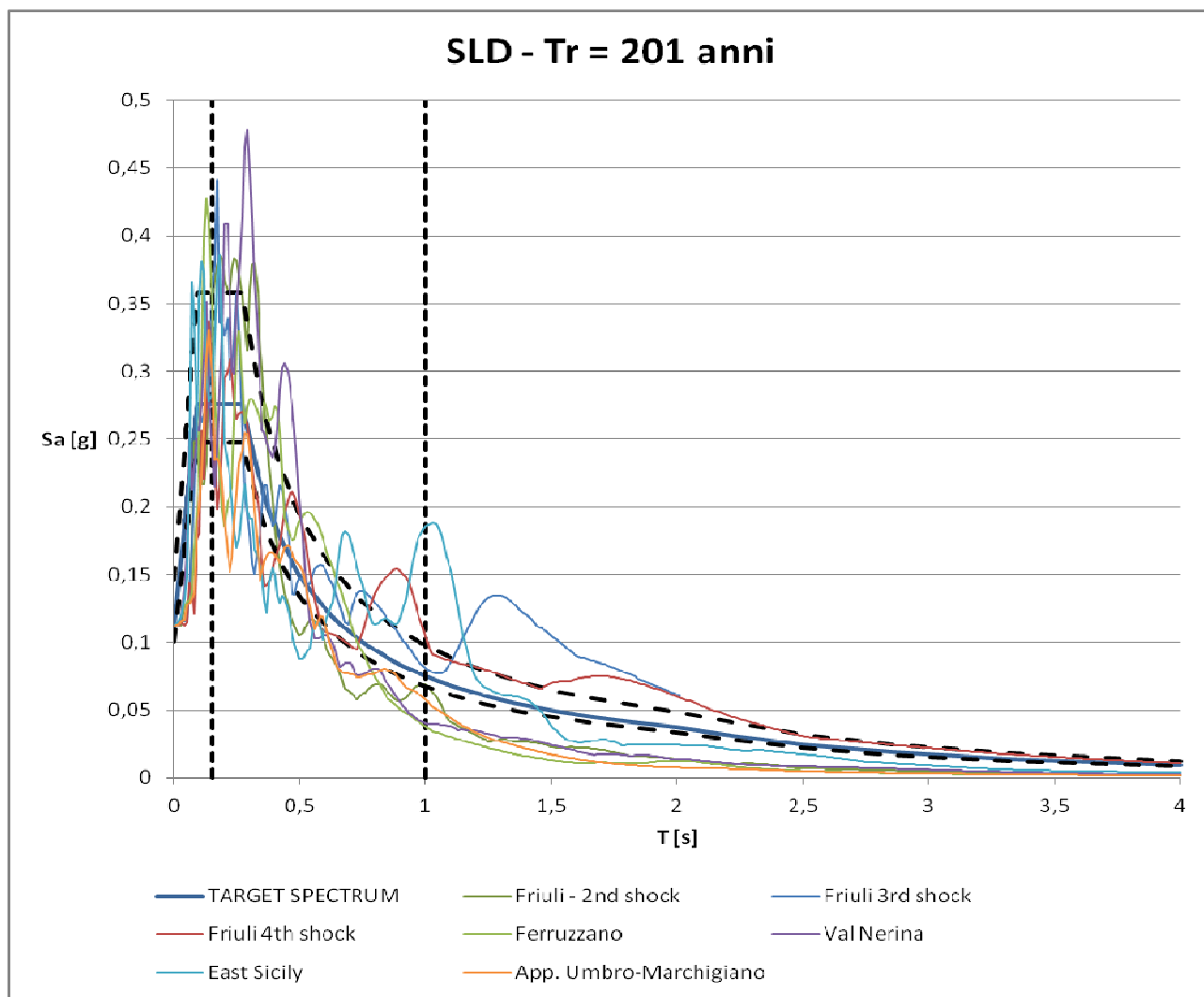
Earthquake Name	Date	Station ID	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	Event Depth [km]	COMPONENT	PGA_X [m/s <sup>2</sup> ]	EC8 Site class	Scaling Factor
FRIULI EARTHQUAKE 2ND SHOCK	11/09/1976 16.35.01	SRC0	5,6	Thrust	25,9	9	WE	0,931	A	2,497
FRIULI EARTHQUAKE 3RD SHOCK	15/09/1976 03.15.18	SRC0	5,9	Thrust	16,9	2	NS	0,587	A	3,959
FRIULI EARTHQUAKE 4TH SHOCK	15/09/1976 09.21.18	SRC0	5,9	Thrust	16,4	21	NS	1,285	A	1,809
FERRUZZANO	11/03/1978 19.20.43	FRR	5,2	Normal	9,2	5	NS	0,716	A	3,250
VAL NERINA	19/09/1979 21.35.37	ARQ	5,8	Normal	21,0	6	NS	0,547	A	4,254
IRPINIA	01/12/1980 19.04.29	OPB	4,6	Unknown	8,7	9	WE	0,824	A	2,821
EAST SICILY	13/12/1990 00.24.26	NOT	5,6	Strike-Slip	46,8	7	NS	0,612	A	3,800
mean:			5,51		20,7	8,43		0,786		3,199

La tabella soprastante riporta le caratteristiche principali dei 7 eventi selezionati per le analisi in condizioni SLV. Le singole storie di accelerazione scalate al valore di progetto dell'accelerazione per lo SLV con i dettagli dell'evento sismico corrispondente sono riportate in Appendice A.1.



**Figura 5.4.** Spettro di risposta elastico medio, damping 5%, dei 7 accelerogrammi selezionati allo SLV, confrontato con il corrispondente spettro elastico di progetto.

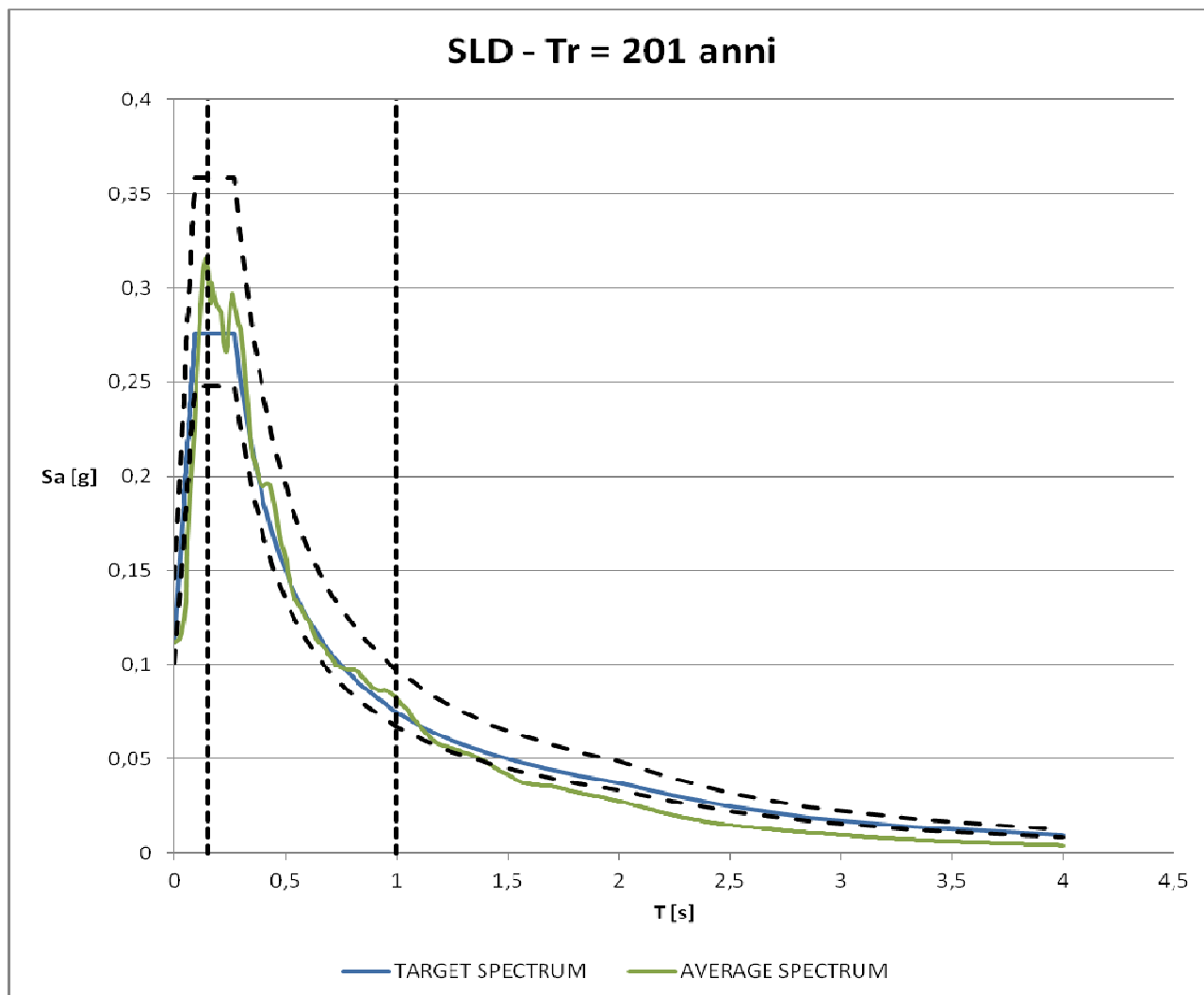




**Figura 5.5.** Spettri di risposta elastici, damping 5%, dei 7 accelerogrammi selezionati allo SLD, confrontati con il corrispondente spettro elastico di progetto.

Earthquake Name	Date	Station ID	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	Event Depth [km]	COMPONENT	PGA_X [m/s <sup>2</sup> ]	EC8 Site class	Scaling Factor
FRIULI EARTHQUAKE 2ND SHOCK	11/09/1976 16.35.01	SRC0	5,6	Thrust	25,9	9	WE	0,931	A	1,180
FRIULI EARTHQUAKE 3RD SHOCK	15/09/1976 03.15.18	SRC0	5,9	Thrust	16,9	2	NS	0,587	A	1,871
FRIULI EARTHQUAKE 4TH SHOCK	15/09/1976 09.21.18	SRC0	5,9	Thrust	16,4	21	NS	1,285	A	0,855
FERRUZZANO	11/03/1978 19.20.43	FRR	5,2	Normal	9,2	5	NS	0,716	A	1,536
VAL NERINA	19/09/1979 21.35.37	ARQ	5,8	Normal	21,0	6	NS	0,547	A	2,010
EAST SICILY	13/12/1990 00.24.26	NOT	5,6	Strike-Slip	46,8	7	NS	0,612	A	1,796
APP. UMBRO-MARCHIGIANO	07/10/1997 00.24.53	NCM	5,4	Normal	14,1	4	NS	1,445	A	0,761
mean:			5,63		21,47	7,71		0,875		1,430

La tabella soprastante riporta le caratteristiche principali dei 7 eventi selezionati per le analisi in condizioni SLD. Le singole storie di accelerazione scalate al valore di progetto dell'accelerazione per lo SLV con i dettagli dell'evento sismico corrispondente sono riportate in Appendice A.2.



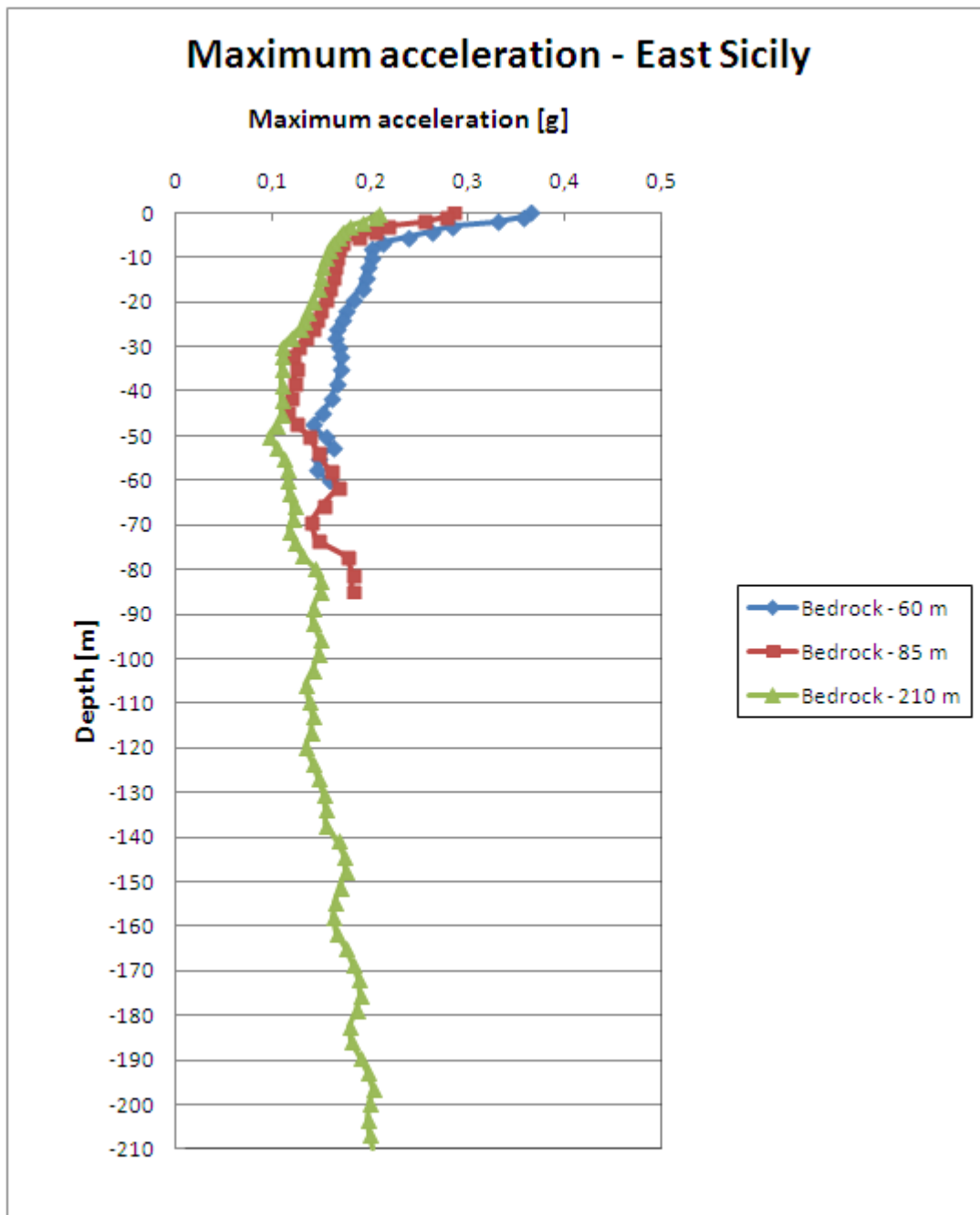
**Figura 5.6.** Spettro di risposta elastico medio, damping 5%, dei 7 accelerogrammi selezionati allo SLD, confrontato con il corrispondente spettro elastico di progetto.

## 6. CONFRONTO DIVERSE IPOTESI SUL BEDROCK SISMICO

Al fine di definire una ragionevole risposta sismica locale nel sito di interesse, la profondità del bedrock sismico di riferimento è stata inizialmente simulata nelle tre ipotesi presentate nel capitolo 2 della presente relazione, considerando i diversi accelerogrammi di input.

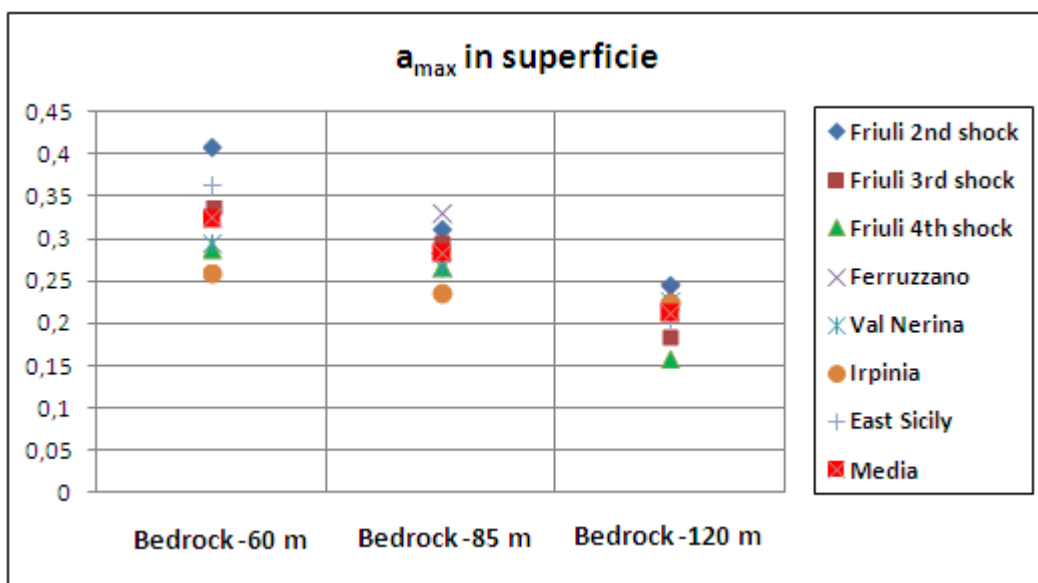
A titolo di esempio si riportano in Figura 6.1 i risultati dei profili dell'accelerazione massima ottenuti dal programma EERA considerando le tre diverse ipotesi di bedrock, per l'evento East

Sicily (del 13/12/1990) scalato all'accelerazione massima di progetto per lo SLV.



**Figura 6.1.** Profili di accelerazione massima nelle diverse ipotesi di bedrock; Input: East Sicily, 13/12/1990,  $a_g = 0,237g$ .

In Figura 6.2 sono riportati i singoli valori di accelerazione massima in superficie per i diversi accelerogrammi di input scalati all'accelerazione di progetto allo SLV e i rispettivi valori medi nelle tre ipotesi di profondità del bedrock: come si può notare i valori massimi di amplificazioni si hanno nel caso di bedrock più superficiale.



**Figura 6.2.** Valori di accelerazione massima in superficie e corrispondenti valori medi nelle diverse ipotesi di bedrock per i differenti accelerogrammi di input.

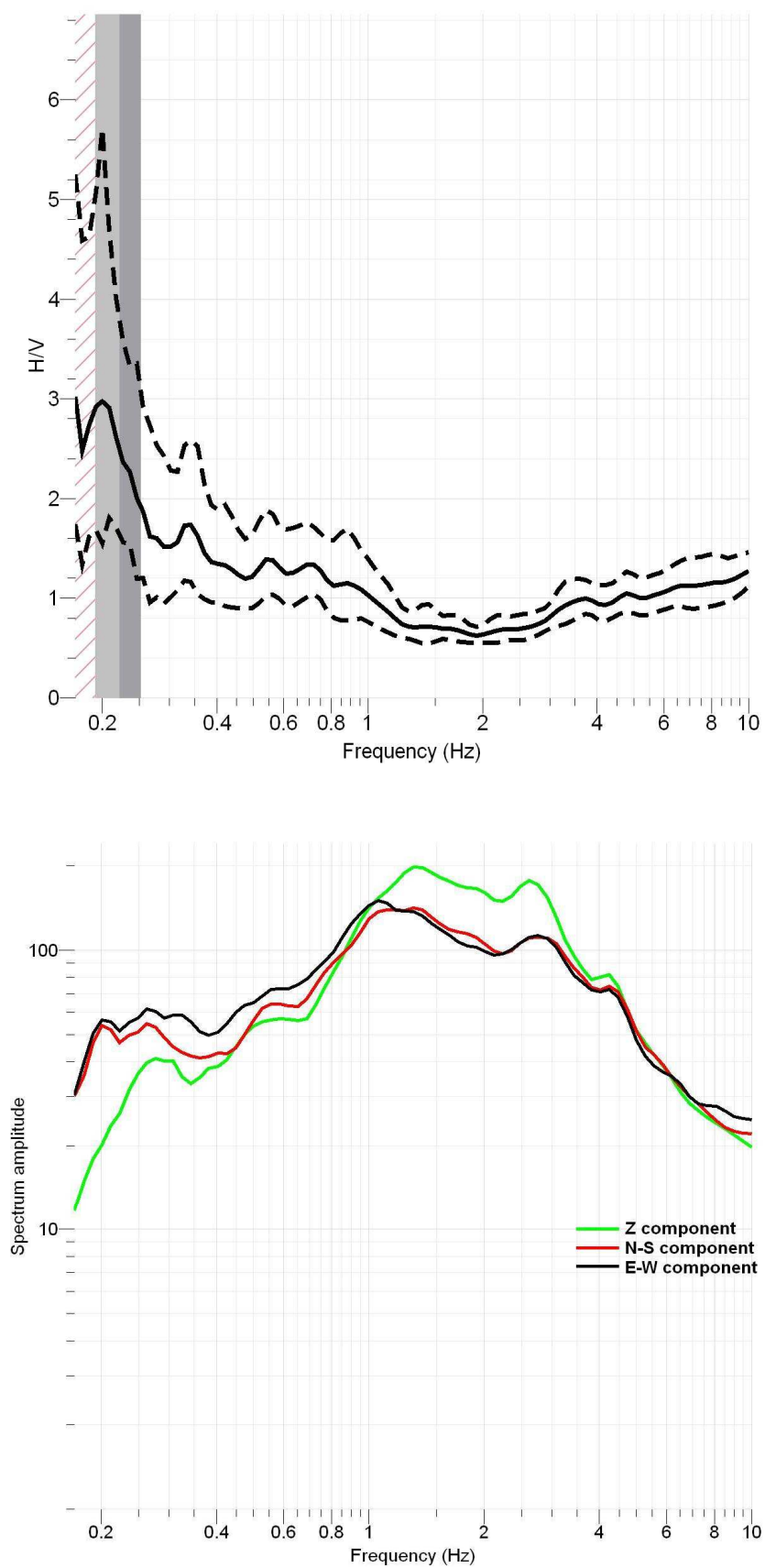
Dai risultati ottenuti, in generale si può assumere che il valore massimo di accelerazione in superficie è raggiunto nei casi di bedrock a 60 m e a 85 m di profondità dal p.c., con valori leggermente superiori, in tutti i casi analizzati, nella prima ipotesi. Risulta pertanto ragionevole supporre, nelle analisi di risposta sismica locale, un bedrock a profondità di 60 m dal p.c.

Per verificare la reale corrispondenza di tale valore con le condizioni effettivamente presenti nell'area in esame sono state eseguite opportune prove in sito: si è cercato di validare la profondità del bedrock con la prova H/V ricorrendo alle tecniche sismiche passive a stazione singola. La prova, comunemente denominata prova HVSR o prova di "Nakamura" (Nogoshi e Igarashi, 1970; Nakamura, 1989), è una valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e verticali (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurate in un punto con un apposito sismometro a tre componenti. L'esito della prova è una curva sperimentale (curva H/V) che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alle quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. In generale, la stima della frequenza di risonanza  $f$  è tanto più precisa quanto maggiore è il contrasto di impedenza sismica responsabile del fenomeno: in casi semplici (i.e. coperture soffici al di sopra di un basamento sismico rigido), è possibile stabilire una relazione fra lo spessore  $H$  dello strato soffice, la velocità media  $V_s$  delle onde S all'interno di quest'ultimo e la frequenza di risonanza fondamentale  $f$  dello strato, nella forma:

$$f = \frac{V_s}{4H}$$

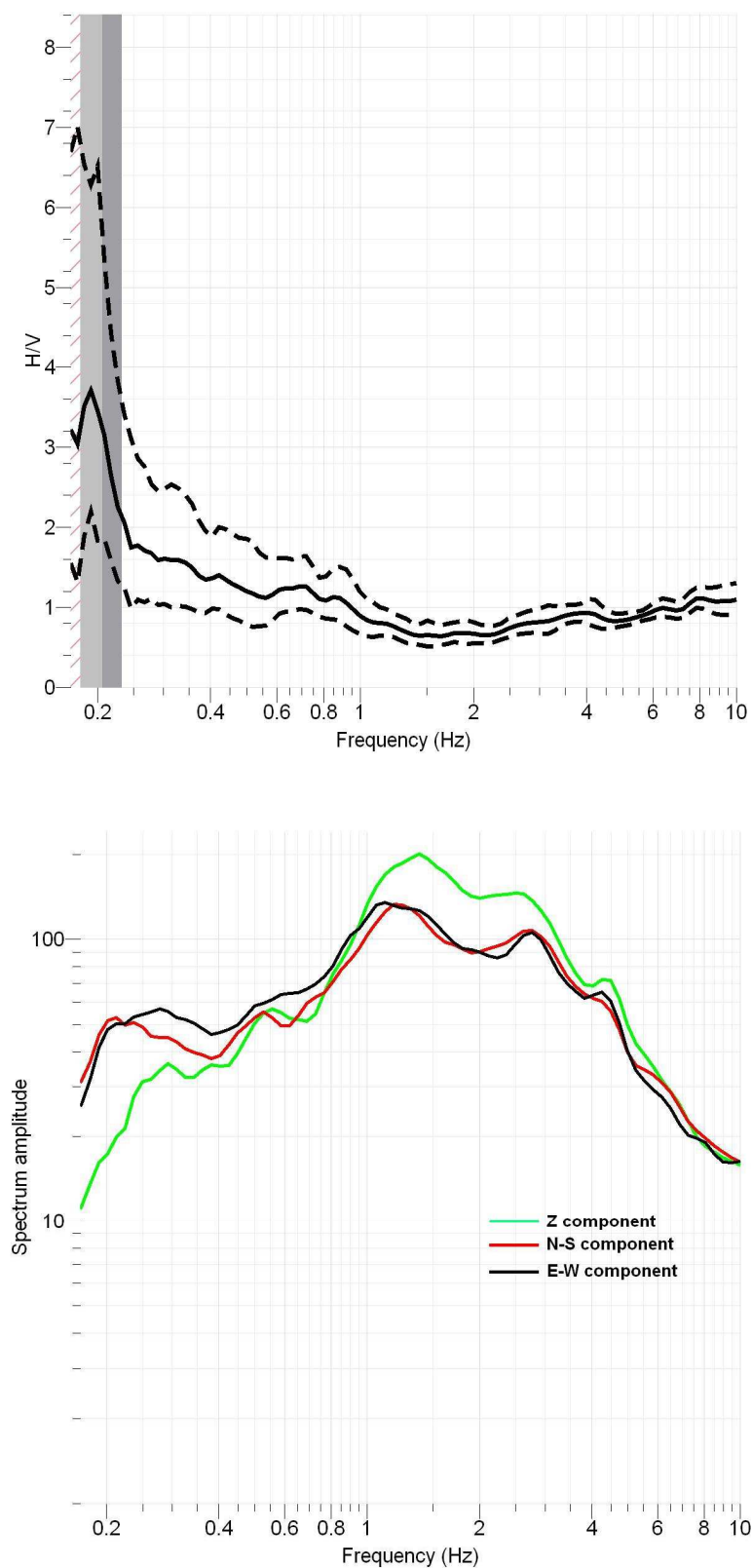
Da tale relazione, a partire da una misura di vibrazioni ambientali che vincola il valore di  $f$ , nota la  $V_s$  delle coperture, si può stimare la profondità del bedrock sismico o dei riflettori sismici principali. È importante ricordare che la tecnica H/V indica la risonanza verticale locale nell'assunzione di una configurazione puramente 1D, cioè sono ammesse solo variazioni verticali del profilo di velocità: essa è pertanto sensibile alle variazioni stratigrafiche laterali e, per una corretta interpretazione dei risultati, occorre eseguire almeno due misure a breve distanza l'una dall'altra, che rendano conto del livello di omogeneità del sito in esame. Si sono pertanto eseguite due prove H/V: una in corrispondenza del sondaggio S1 e l'altra immediatamente a valle del manufatto in progetto. Altre due prove nei pressi della strada di accesso al sito in esame hanno cercato di validare l'interpretazione dei risultati ottenuti. Nell'esecuzione delle misure si è fatto riferimento alle linee guida sviluppate nell'ambito del progetto SESAME (Site EffectS Assessment using Ambient Excitations, 2004) e al corrispondente protocollo di esecuzione della prova e di interpretazione dei risultati.

Le curve H/V e i relativi spettri delle singole componenti (NS, EW, Z) in corrispondenza del sondaggio S1 e a valle del manufatto sono riportate rispettivamente in Figura 6.3 e 6.4. Le registrazioni sono state effettuate con un sensore Sercel L4C-3D 1Hz, utilizzando un acquisitore Reftek PFC\_130B, con frequenza di campionamento a 100 Hz. Nel caso in esame le curve H/V sono calcolate come media di 31 finestre (in prossimità del sondaggio S1) e di 22 finestre (a valle del manufatto) della durata di 45 s ciascuna. Le finestre sono state selezionate in modo da mantenere le parti più stazionarie delle vibrazioni ambientali, eliminando le parti transitorie, spesso associate a sorgenti antropiche specifiche. La procedura adottata per eliminare queste ultime parti fa riferimento al classico confronto tra la media a breve termine (STA: il livello medio dell'ampiezza del segnale su un breve periodo di tempo, fissato nel caso in esame a 0,7 secondi) e la media a lungo termine (LTA: il livello medio dell'ampiezza del segnale su un lungo periodo di tempo, fissato nel caso in esame a 30 secondi). Per selezionare finestre senza transitori particolarmente energetici si è fissato un valore di soglia massimo al rapporto STA/LTA, pari a 2 sull'intera durata del segnale registrato. Simultaneamente, al fine di eliminare le finestre di rumore ambientale con ampiezze particolarmente basse è stata introdotta una soglia minima del rapporto STA/LTA pari a 0,20. Seguendo le indicazioni riportate nel progetto SESAME (2004) gli spettri di Fourier per il calcolo del rapporto H/V sono quindi lisciati con il metodo di Konno & Ohmachi (1998).



**Figura 6.3.** Curva H/V media e deviazione standard registrata in corrispondenza del sondaggio S1 e relativi spettri delle singole componenti del moto (NS, EW, Z).





**Figura 6.4.** Curva H/V media e deviazione standard registrata a valle del manufatto e relativi spettri delle singole componenti del moto (NS, EW, Z).

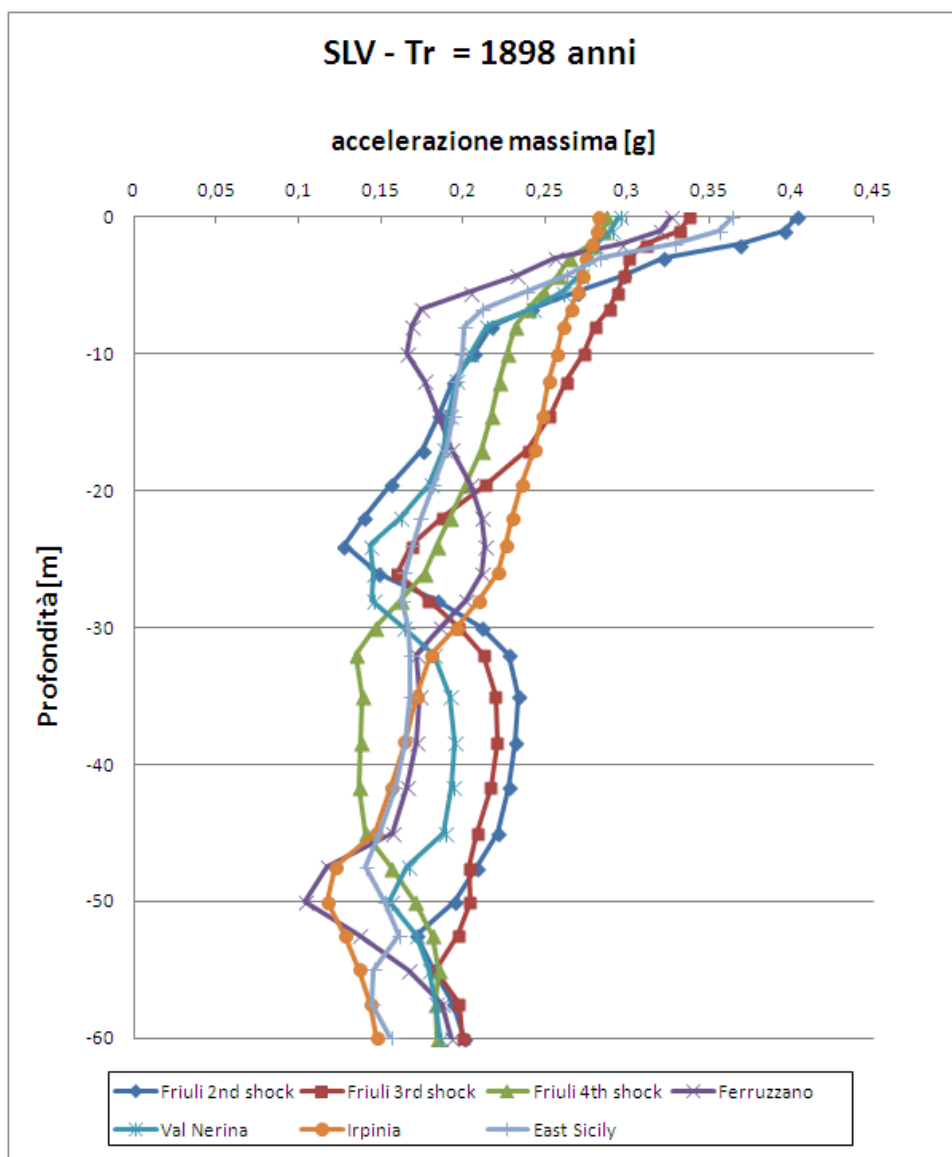
Il rapporto H/V ottenuto non evidenzia picchi chiari nell'intervallo di frequenze di interesse: ciò porta a confermare la presenza di terreni senza importanti contrasti di impedenza e non è pertanto immediata l'individuazione della profondità del bedrock sismico. I risultati H/V per i due siti in esame hanno evidenziato un picco intorno a 0,19 Hz: tale valore (che corrisponderebbe ad un bedrock molto profondo) non può tuttavia essere considerato attendibile in quanto i criteri di valutazione della significatività dei picchi da un punto di vista statistico non sono soddisfatti (SESAME 2004). Analizzando nel dettaglio il rapporto H/V si può tuttavia notare che si colloca su ampiezze inferiori ad 1 per un largo intervallo di frequenze (all'incirca da 1 a 4 Hz), segno di inversione del profilo di velocità (misurata sperimentalmente in sito dalle prove D-H), che interessa pesantemente le componenti spettrali orizzontali del microtremore mentre lascia la componente verticale quasi inalterata (Castellaro e Mulargia, 2009b): effetto che risulta evidente, sul range di frequenze considerato, negli spettri delle singole componenti. Tale fenomeno può impedire l'individuazione di risonanze esistenti: in questi contesti è suggerito di individuare i picchi di risonanza osservando gli spettri delle singole componenti del moto, senza rispettare i requisiti SESAME. L'analisi dello spettro verticale evidenzia un minimo locale a circa 2 Hz, non così significativo tuttavia da definire con ragionevole accuratezza una posizione del bedrock sismico. In assenza dunque di evidenze sperimentali, l'ipotesi di scegliere il bedrock sismico a 60 m di profondità rimane la più cautelativa.

## **7. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE**

Nel seguito si riportano i risultati delle analisi di risposta sismica locale rispettivamente per le condizioni a SLV e a SLD, condotte con il programma EERA. Il modello utilizzato come riferimento presenta il profilo di velocità delle onde di taglio riportato in Figura 3.1 e la stratigrafia indicata nella corrispondente tabella (capitolo 3).

### **7.1. STATO LIMITE ULTIMO (SLV)**

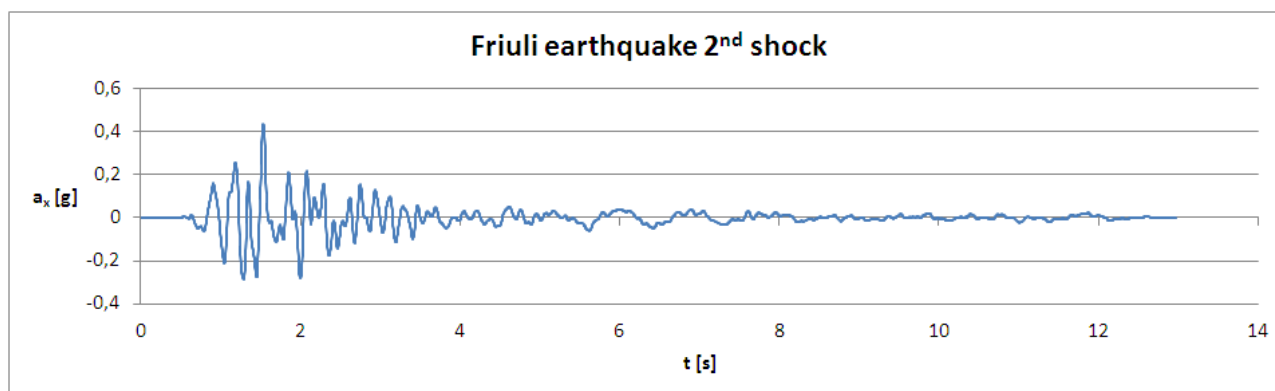
In Figura 7.1 è riportato il profilo di accelerazione massima nell'ipotesi di bedrock a 60 m di profondità dal p.c., considerando i 7 accelerogrammi selezionati seguendo la procedura riportata nel capitolo 5 della presente relazione.



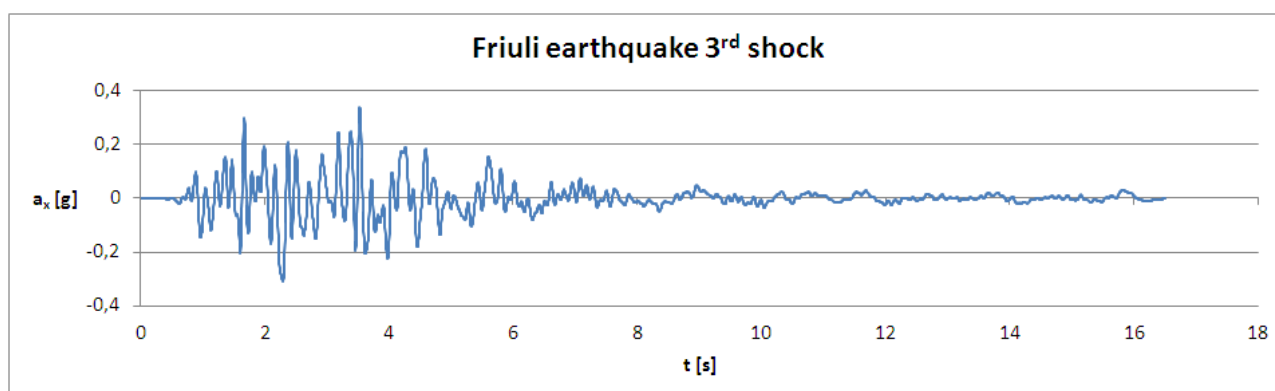
**Figura 7.1.** Profili di accelerazione massima per i 7 accelerogrammi selezionati per le analisi allo SLV (bedrock a 60 m dal p.c.).

Il valore dell’accelerazione massima in superficie derivante dall’analisi di risposta sismica locale per ciascun accelerogramma è riportato nella tabella sottostante (le singole storie temporali in superficie sono rappresentate in Figura 7.2a, 7.2b, 7.2c, 7.2d, 7.2e, 7.2f, 7.2g). I dettagli delle storie temporali di accelerazione sono riportati nell’Allegato A1.

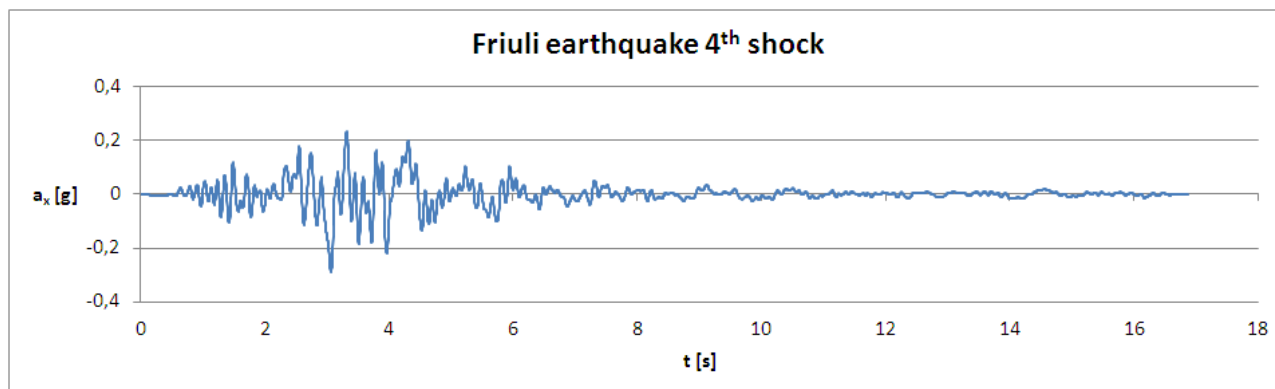
Earthquake Name	$a_{max}$ [g]
FRIULI EARTHQUAKE 2ND SHOCK	0,404
FRIULI EARTHQUAKE 3RD SHOCK	0,338
FRIULI EARTHQUAKE 4TH SHOCK	0,288
FERRUZZANO	0,327
VAL NERINA	0,295
IRPINIA	0,283
EAST SICILY	0,365



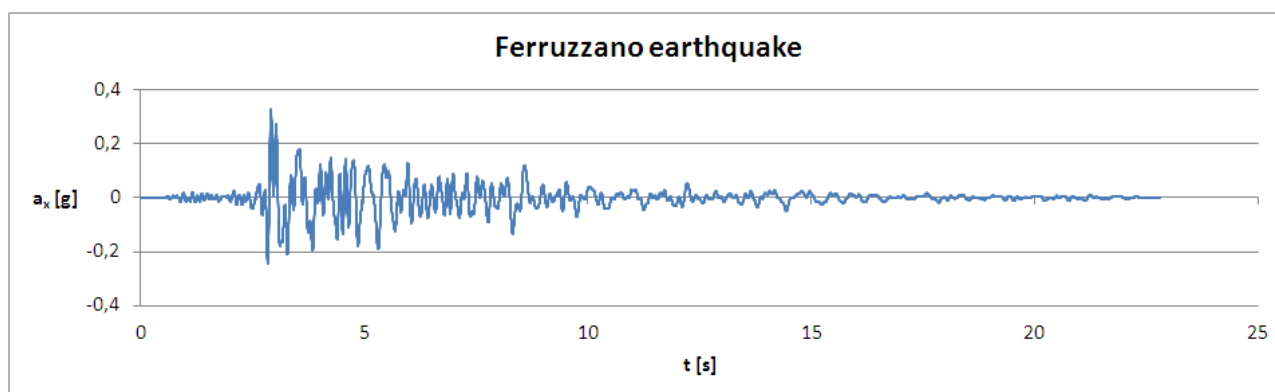
**Figura 7.2a.** Storia di accelerazione in superficie allo SLV, Friuli earthquake 2<sup>nd</sup> shock.



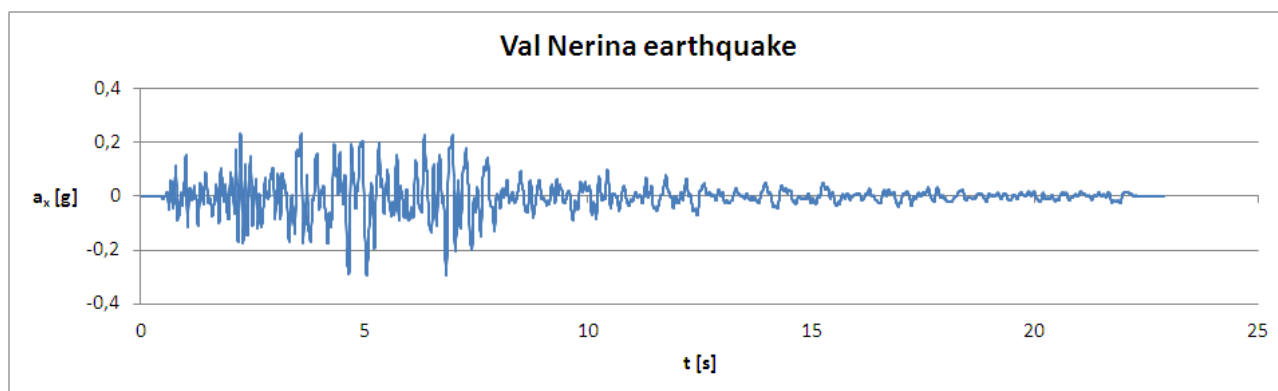
**Figura 7.2b.** Storia di accelerazione in superficie allo SLV, Friuli earthquake 3<sup>rd</sup> shock.



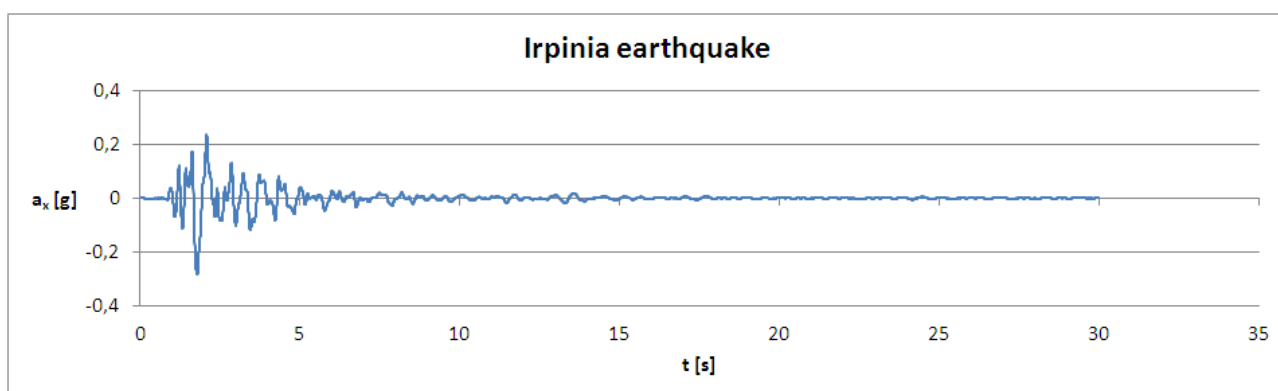
**Figura 7.2c.** Storia di accelerazione in superficie allo SLV, Friuli earthquake 4<sup>th</sup> shock.



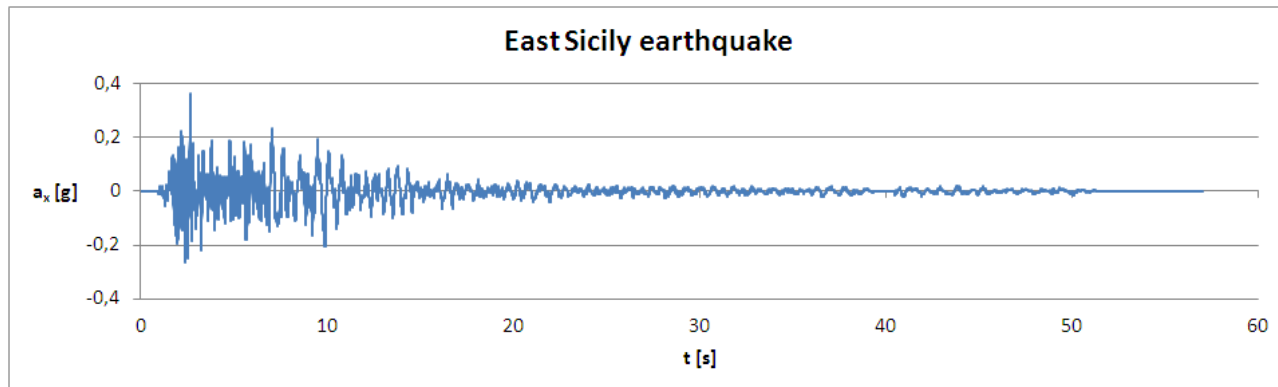
**Figura 7.2d.** Storia di accelerazione in superficie allo SLV, Ferruzzano.



**Figura 7.2e.** Storia di accelerazione in superficie allo SLV, Val Nerina.



**Figura 7.2f.** Storia di accelerazione in superficie allo SLV, Irpinia.



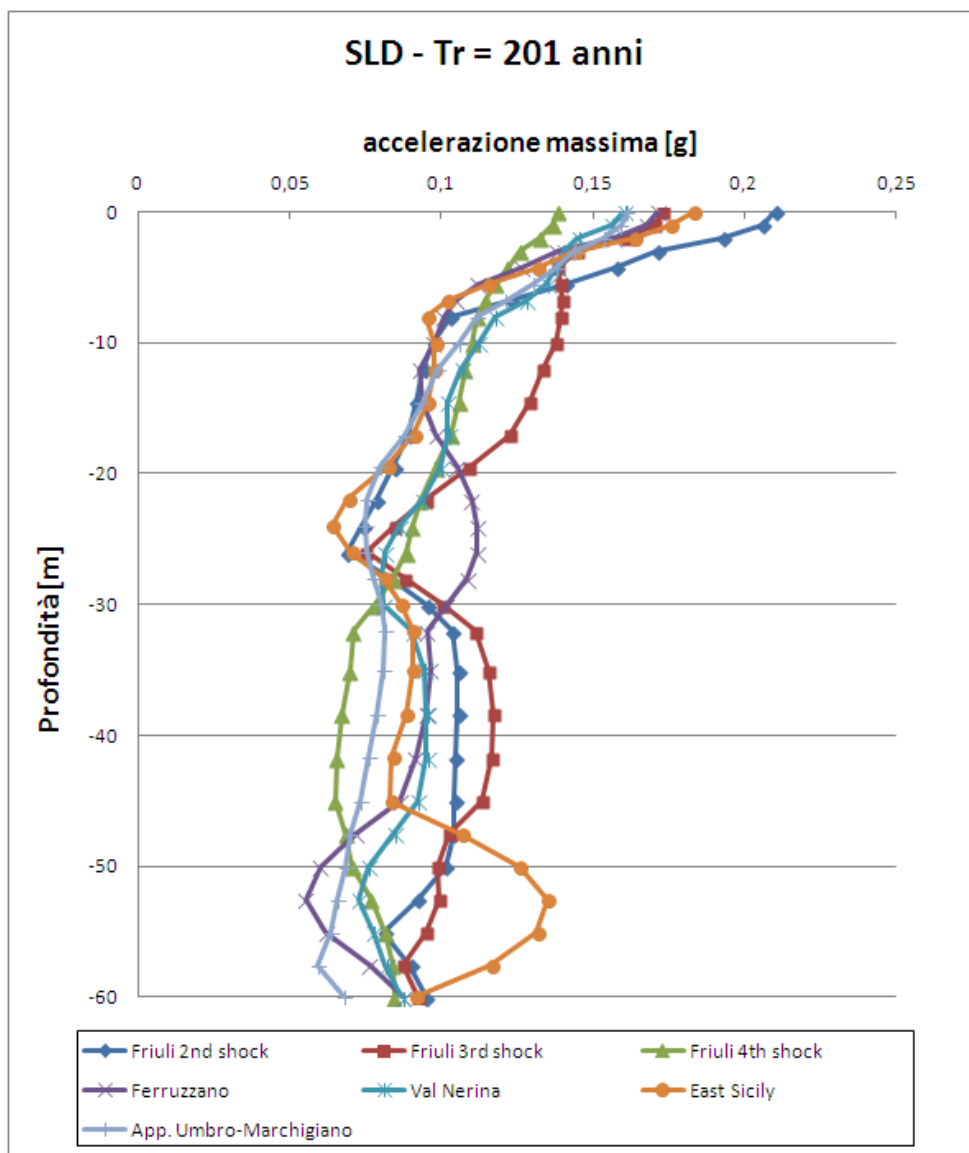
**Figura 7.2g.** Storia di accelerazione in superficie allo SLV, East Sicily.

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 allo SLV. Il risultato in termini numerici di tale rapporto è riportato nella tabella sottostante.

$a_{\max,AV}$ [g]	$a_g$ [g]	$a_{\max,AV}/a_g$ [-]
0,328	0,237	1,39

## 7.2. STATO LIMITE DI ESERCIZIO (SLD)

In Figura 7.3 è riportato il profilo di accelerazione massima nell'ipotesi di bedrock a 60 m di profondità dal p.c. considerando i 7 accelerogrammi selezionati seguendo la procedura riportata nel capitolo 5 della presente relazione.

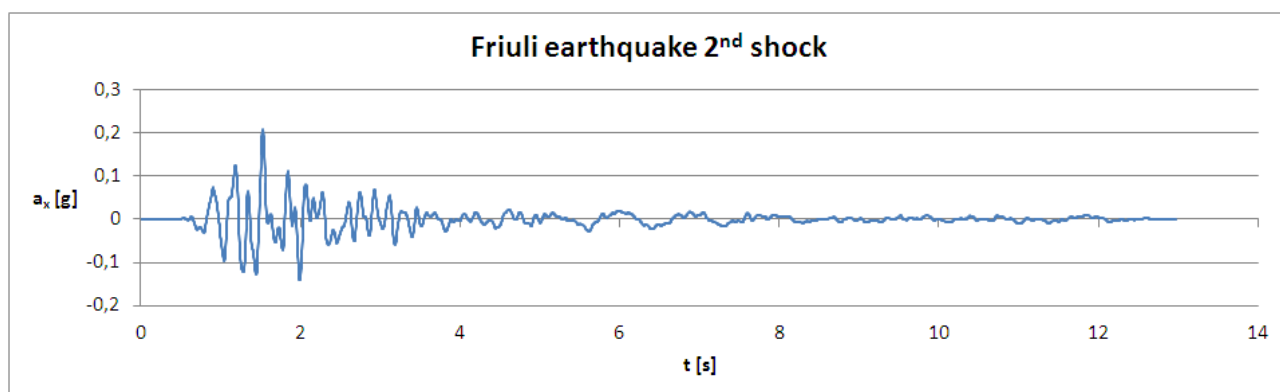


**Figura 7.3.** Profili di accelerazione massima per i 7 accelerogrammi selezionati per le analisi allo SLD (bedrock a 60 m dal p.c.).

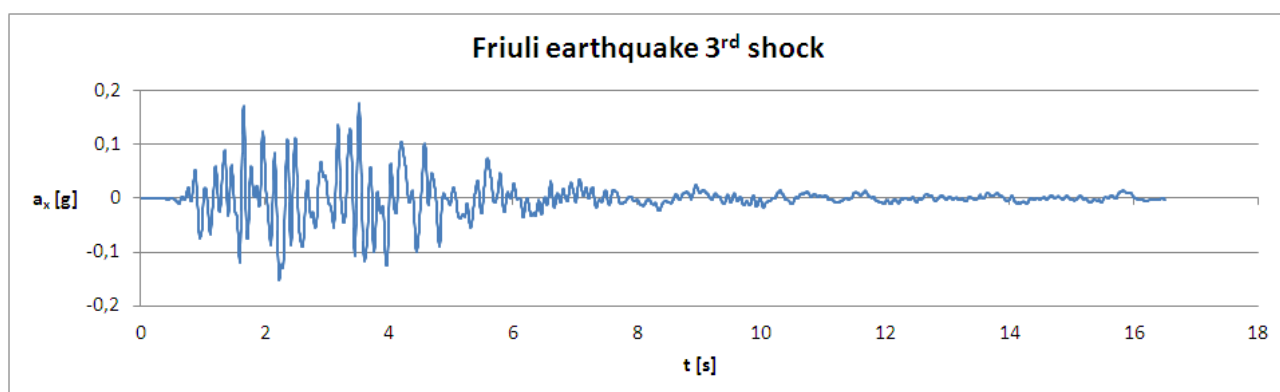
Il valore dell'accelerazione massima in superficie derivante dall'analisi di risposta sismica locale per ciascun accelerogramma è riportato nella tabella sottostante (le singole storie temporali in superficie sono rappresentate in Figura 7.4a, 7.4b, 7.4c, 7.4d, 7.4e, 7.4f, 7.4g). I dettagli delle storie temporali di accelerazione sono riportati nell'Allegato A2.



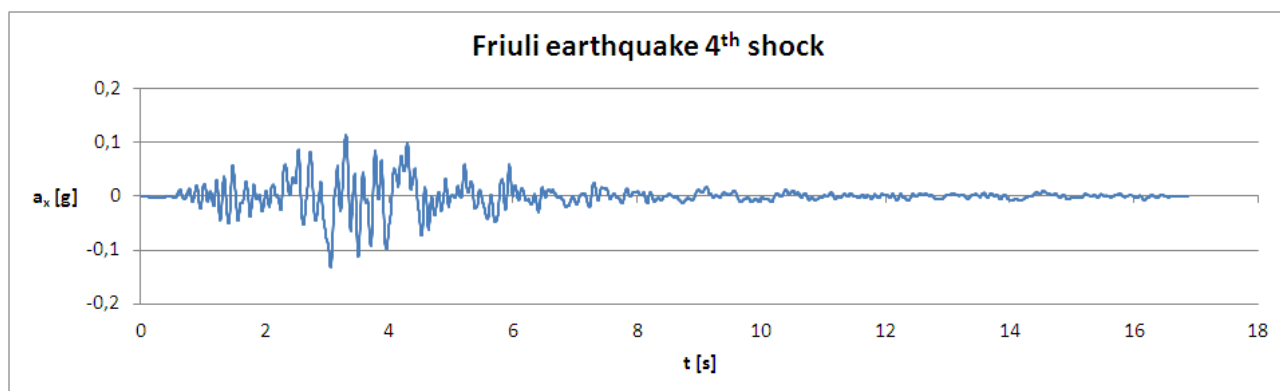
Earthquake Name	$a_{\max}$ [g]
FRIULI EARTHQUAKE 2ND SHOCK	0,209
FRIULI EARTHQUAKE 3RD SHOCK	0,174
FRIULI EARTHQUAKE 4TH SHOCK	0,137
FERRUZZANO	0,171
VAL NERINA	0,160
EAST SICILY	0,183
APP. UMBRO-MARCHIGIANO	0,161



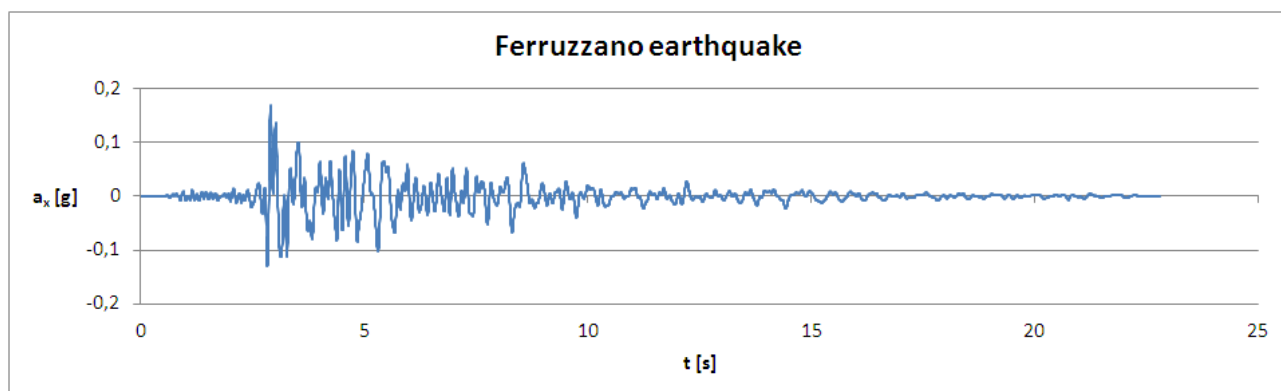
**Figura 7.4a.** Storia di accelerazione in superficie allo SLD, Friuli earthquake 2<sup>nd</sup> shock.



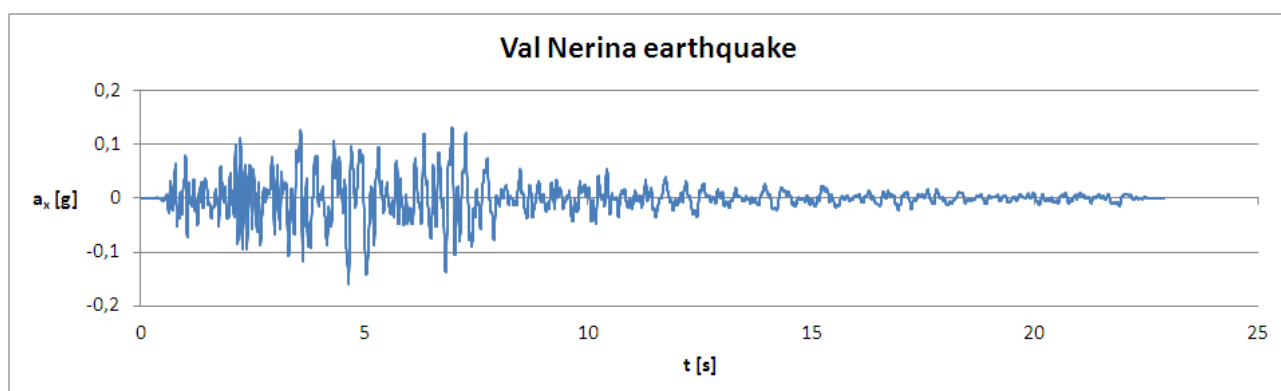
**Figura 7.4b.** Storia di accelerazione in superficie allo SLD, Friuli earthquake 3<sup>rd</sup> shock.



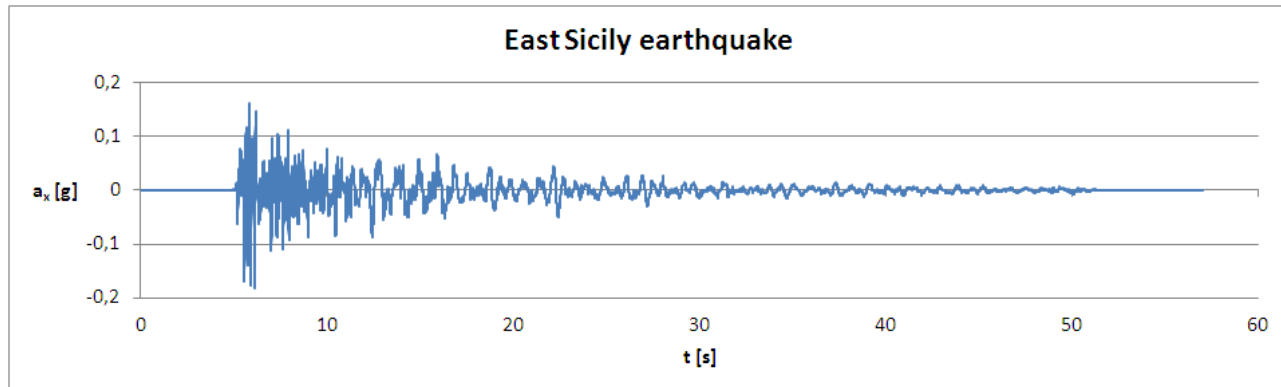
**Figura 7.4c.** Storia di accelerazione in superficie allo SLD, Friuli earthquake 4<sup>th</sup> shock.



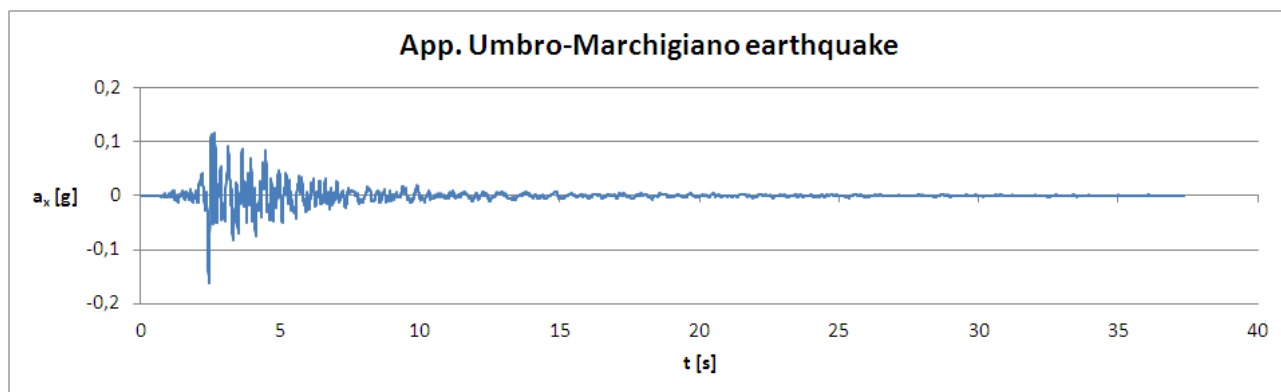
**Figura 7.4d.** Storia di accelerazione in superficie allo SLD, Ferruzzano.



**Figura 7.4e.** Storia di accelerazione in superficie allo SLD, Val Nerina.



**Figura 7.4f.** Storia di accelerazione in superficie allo SLD, East Sicily.



**Figura 7.4g.** Storia di accelerazione in superficie allo SLD, App. Umbro-Marchigiano.

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 allo SLD. Il risultato in termini numerici di tale rapporto è riportato nella tabella sottostante.

$a_{\max,AV}$ [g]	$a_g$ [g]	$a_{\max,AV}/a_g$ [-]
0,171	0,112	1,53

## 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 sulla carta geologica del sito in esame e dettagliata utilizzando i dati dei sondaggi geognostici, delle prospezioni geofisiche realizzate in sito e delle prove di laboratorio di classificazione. La realizzazione di una prova sismica downhole in uno dei fori di sondaggio ha permesso inoltre l'individuazione del profilo di  $V_s$  di riferimento per il modello: tale profilo presenta inversione di velocità delle onde di taglio, giustificando l'analisi di RSL sulla base della normativa vigente, e non individua un chiaro bedrock sismico nei primi 50 m dal p.c. Dalle informazioni geologiche disponibili si sono inizialmente ipotizzate tre diverse profondità del bedrock sismico: l'analisi di RSL nelle differenti ipotesi, in assenza di informazioni chiare sulla loro effettiva corrispondenza con la situazione reale in sito, ha portato alla stima cautelativa di tale profondità a 60 m dal p.c.

Ulteriori indagini consentirebbero una definizione più accurata del modello geotecnico-sismico di riferimento, in particolare per quanto riguarda i seguenti aspetti:

1. andamento del profilo di  $V_s$  per profondità maggiori di 50 m e posizione del bedrock sismico;
2. valutazione diretta delle curve di variazione del modulo di taglio e dello smorzamento in funzione della deformazione ciclica di taglio con opportune prove di laboratorio (i.e. prove di colonna risonante, RC, o di taglio torsionale ciclico, TTC).

Per implementare l'analisi di risposta sismica locale, seguendo le indicazioni delle NTC08, sono stati adottati accelerogrammi naturali, ovvero registrazioni accelerometriche relative ad eventi sismici realmente avvenuti, reperibili nel database ITACA. In accordo con la normativa, gli accelerogrammi sono stati selezionati tenendo conto della sismicità del sito in esame, tramite l'analisi di pericolosità sismica locale e in relazione alle caratteristiche sismo-genetiche della

sorgente, alla magnitudo e alla distanza dalla sorgente, e scalati alla massima accelerazione orizzontale attesa al sito. In particolare sono state considerate due condizioni di verifica: allo stato limite ultimo, considerando lo Stato Limite di Salvaguardia per la Vita (SLV) con un tempo di ritorno  $T_R$  pari a 1898 anni, e allo stato limite di esercizio, considerando lo Stato Limite di Danno (SLD) con un tempo di ritorno  $T_R$  pari a 201 anni. Per le due 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 SLV sono pari a circa 0,33g, allo SLD sono invece risultate pari a circa 0,17g.

Gli accelerogrammi di progetto sono allegati alla presente relazione e potranno essere utilizzati per la verifica della stabilità sismica del manufatto in relazione allo stato limite ultimo (SLV) e di esercizio (SLD).

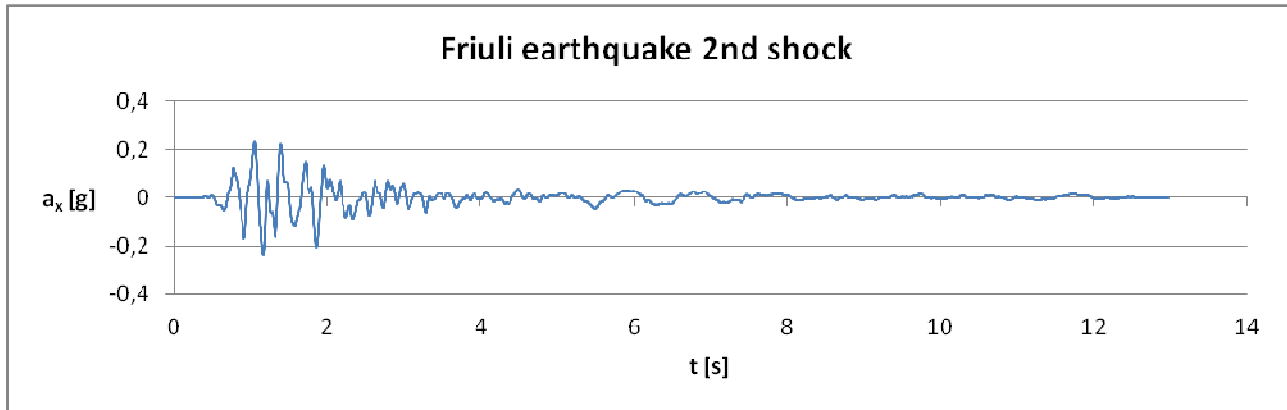
## 9. BIBLIOGRAFIA

- [1] Albarello D. and Castellaro S., “Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola”, *Supplemento alla rivista Ingegneria sismica*, Anno XXVIII, n. 2, pag. 32-62, 2011
- [2] Bardet, J. P., Ichii, K., and Lin, C. H., “EERA: A Computer program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analysis of Layered soil deposits”, Department of Civil Engineering, University of Southern California, August 2000.
- [3] Castellaro S. and Mulargia F., “The effect of velocity inversions on H/V”, *Pure Appl. Geophys.*, 166, 567-592, 2009b
- [4] Darendeli M. “Development of a new family of normalized modulus reduction and material damping curves”, 2001, Ph.D. Dissertation, Dept. of Civil Eng., Univ. of Texas, Austin.
- [5] Idriss I. M., “Response of soft soil sites during earthquakes”, *Proceedings Memoria Symposium to honor Professor Harry Bolton Seed*, Berkeley, California, Vol. II, May 1990.
- [6] Lai C.G., Foti S., Rota M., “Input sismico e stabilità geotecnica dei siti di costruzione”, *Collana di Manuali di Progettazione Antisismica*, Vol. 6, IUSS Press, 2009
- [7] Lancellotta R. (1993), *Geotecnica* - Zanichelli, Bologna, 2° edizione.
- [8] Nakamura Y, “A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface”, *QR of RTRI*, 30, 25-33, 1989
- [9] Nogoshi M. and Igarashi T., “On the propagation characteristics of microtremors”, *Journal Seism. Soc. Japan*, 23, 264-280, 1970
- [10] Rollins K. M., Evans M. D., Diehl N. B. and Daily III W. D., “Shear modulus and damping relationships for gravels, *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 124, 396, 1998.
- [11] Seed H. B. and Idriss I. M., “Soil moduli and damping factors for dynamic response analysis”, Report n. UCB/EERC-70/10, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, December 1970
- [12] SESAME Project, “Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation, WP12, deliverable n. D23.12”, [http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Papers/HV\\_User\\_Guidelines.pdf](http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Papers/HV_User_Guidelines.pdf), 2004
- [13] Sun J. I., Golesorkhi R. and Seed H. B., “Dynamic moduli and damping ratios for cohesive soils”, Report n. UCB/EERC-88/15, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 1988

## ALLEGATI

### A.1. Accelerogrammi di progetto selezionati allo SLV (applicati al bedrock)

#### A.1.1 Friuli Earthquake 2<sup>nd</sup> shock



Allo SLV: fattore di scala 2,497.

#### Dettagli evento:

EVENT\_NAME: FRIULI EARTHQUAKE 2ND SHOCK

EVENT\_DATE\_YYYYMMDD: 19760911

EVENT\_TIME\_HHMMSS: 163501

EVENT\_LATITUDE\_DEGREE: 46,3000

EVENT\_LONGITUDE\_DEGREE: 13,3170

EVENT\_DEPTH\_KM: 9

MAGNITUDE\_L: 5,8

MAGNITUDE\_S: 5,4

MAGNITUDE\_W: 5,6

FOCAL\_MECHANISM: TF

STATION\_CODE: SRC0

STATION\_NAME: S, ROCCO

STATION\_LATITUDE\_DEGREE: 46,226389

STATION\_LONGITUDE\_DEGREE: 12,998333

STATION\_ELEVATION\_M: 420

SITE\_CLASSIFICATION\_EC8: A\*

MORPHOLOGIC\_CLASSIFICATION: SL

EPICENTRAL\_DISTANCE\_KM: 25,9

EARTHQUAKE\_BACKAZIMUTH\_DEGREE: 71,5

TIME\_FIRST\_SAMPLE\_S: 0,000000

SAMPLING\_INTERVAL\_S: 0,005000

NDA: 2594

DURATION\_S: 12,965000

COMPONENT: WE

UNITS: cm/s^2

INSTRUMENT: KINEMATICS SMA-1

INSTRUMENTAL\_FREQUENCY\_HZ: 25,700

INSTRUMENTAL\_DAMPING: 0,600

SENSITIVITY\_V/G: 0,018400

FULL\_SCALE\_G:

N\_BIT\_DIGITAL\_CONVERTER:

PGA\_CM/S^2: -93,102752

TIME\_PGA\_S: 1,165000

OWNER\_RECORD: DPC-USSN 00139

INSTRUMENT\_ANALOG/DIGITAL: A

BASILINE\_CORRECTION: BASELINE REMOVED

FILTER\_TYPE: BUTTERWORTH

FILTER\_ORDER: 2

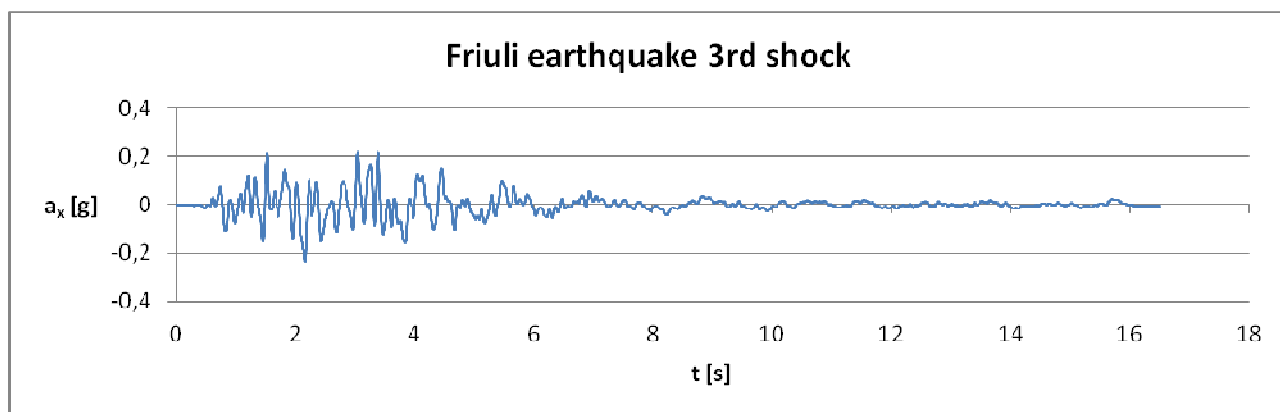
LOW\_CUT\_FREQUENCY\_HZ: 0,300

HIGH\_CUT\_FREQUENCY\_HZ: 29,000

LATE/NORMAL\_TRIGGERED: NT

DATA\_VERSION: ITACA 1,1

### A.1.2 Friuli Earthquake 3<sup>rd</sup> shock



Allo SLV: fattore di scala 3,959.

#### Dettagli evento:

EVENT\_NAME: FRIULI EARTHQUAKE 3RD SHOCK

EVENT\_DATE\_YYYYMMDD: 19760915

EVENT\_TIME\_HHMMSS: 031518

EVENT\_LATITUDE\_DEGREE: 46,3000

EVENT\_LONGITUDE\_DEGREE: 13,1900

EVENT\_DEPTH\_KM: 2

MAGNITUDE\_L: 6,1

MAGNITUDE\_S: 6

MAGNITUDE\_W: 5,9

FOCAL\_MECHANISM: TF

STATION\_CODE: SRCO

STATION\_NAME: S, ROCCO

STATION\_LATITUDE\_DEGREE: 46,226389

STATION\_LONGITUDE\_DEGREE: 12,998333

STATION\_ELEVATION\_M: 420

SITE\_CLASSIFICATION\_EC8: A\*

MORPHOLOGIC\_CLASSIFICATION: SL

EPICENTRAL\_DISTANCE\_KM: 16,9

EARTHQUAKE\_BACKAZIMUTH\_DEGREE: 61,0

TIME\_FIRST\_SAMPLE\_S: 0,000000

SAMPLING\_INTERVAL\_S: 0,005000

NDATA: 3301

DURATION\_S: 16,500000

COMPONENT: NS

UNITS: cm/s^2

INSTRUMENT: KINEMATICS SMA-1

INSTRUMENTAL\_FREQUENCY\_HZ: 25,800

INSTRUMENTAL\_DAMPING: 0,600

SENSITIVITY\_V/G: 0,018500

FULL\_SCALE\_G:

N\_BIT\_DIGITAL\_CONVERTER:

PGA\_CM/S^2: -58,723647

TIME\_PGA\_S: 2,165000

OWNER\_RECORD: DPC-USSN 00153

INSTRUMENT\_ANALOG/DIGITAL: A

BASELINE\_CORRECTION: BASELINE REMOVED

FILTER\_TYPE: BUTTERWORTH

FILTER\_ORDER: 2

LOW\_CUT\_FREQUENCY\_HZ: 0,150

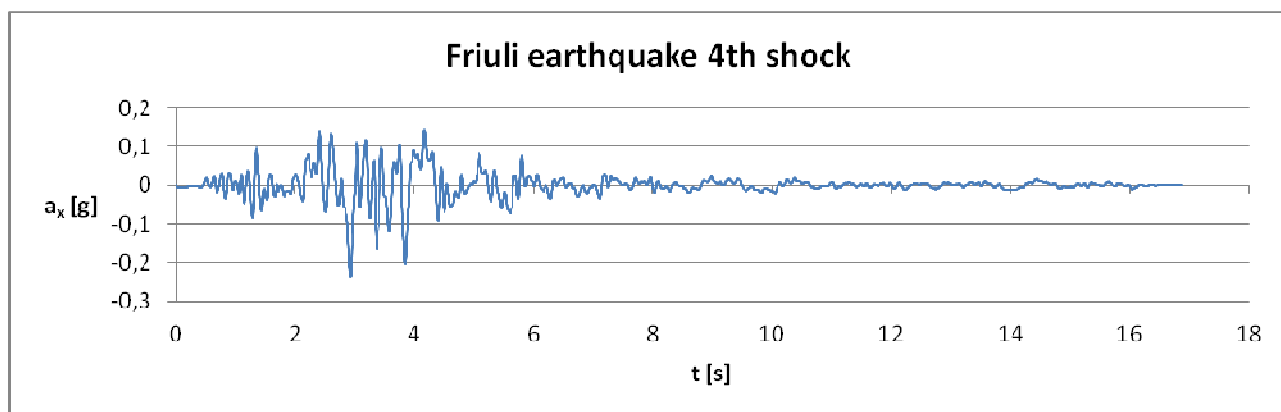
HIGH\_CUT\_FREQUENCY\_HZ: 29,000

LATE/NORMAL\_TRIGGERED: NT

DATA\_VERSION: ITACA 1,1



### A.1.3 Friuli Earthquake 4<sup>th</sup> shock



Allo SLV: fattore di scala 1,809.

#### Dettagli evento:

EVENT\_NAME: FRIULI EARTHQUAKE 4TH SHOCK

EVENT\_DATE\_YYYYMMDD: 19760915

EVENT\_TIME\_HHMMSS: 092118

EVENT\_LATITUDE\_DEGREE: 46,3000

EVENT\_LONGITUDE\_DEGREE: 13,1830

EVENT\_DEPTH\_KM: 21

MAGNITUDE\_L: 6

MAGNITUDE\_S: 5,9

MAGNITUDE\_W: 5,9

FOCAL\_MECHANISM: TF

STATION\_CODE: SRCO

STATION\_NAME: S, ROCCO

STATION\_LATITUDE\_DEGREE: 46,226389

STATION\_LONGITUDE\_DEGREE: 12,998333

STATION\_ELEVATION\_M: 420

SITE\_CLASSIFICATION\_EC8: A\*

MORPHOLOGIC\_CLASSIFICATION: SL

EPICENTRAL\_DISTANCE\_KM: 16,4

EARTHQUAKE\_BACKAZIMUTH\_DEGREE: 60,0

TIME\_FIRST\_SAMPLE\_S: 0,000000

SAMPLING\_INTERVAL\_S: 0,005000

NDATA: 3375

DURATION\_S: 16,870000

COMPONENT: NS

UNITS: cm/s<sup>2</sup>

INSTRUMENT: KINEMATICS SMA-1

INSTRUMENTAL\_FREQUENCY\_HZ: 25,800

INSTRUMENTAL\_DAMPING: 0,600

SENSITIVITY\_V/G: 0,018500

FULL\_SCALE\_G:

N\_BIT\_DIGITAL\_CONVERTER:

PGA\_CM/S<sup>2</sup>: -128,515119

TIME\_PGA\_S: 2,940000

OWNER\_RECORD: DPC-USSN 00169

INSTRUMENT\_ANALOG/DIGITAL: A

BASELINE\_CORRECTION: BASELINE REMOVED

FILTER\_TYPE: BUTTERWORTH

FILTER\_ORDER: 2

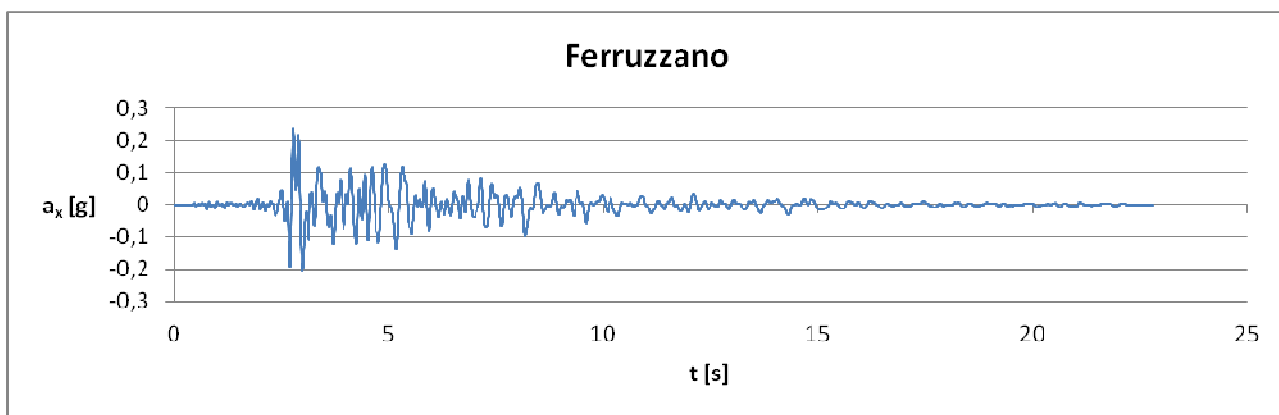
LOW\_CUT\_FREQUENCY\_HZ: 0,100

HIGH\_CUT\_FREQUENCY\_HZ: 29,000

LATE/NORMAL\_TRIGGERED: NT

DATA\_VERSION: ITACA 1,1

### A.1.4 Ferruzzano

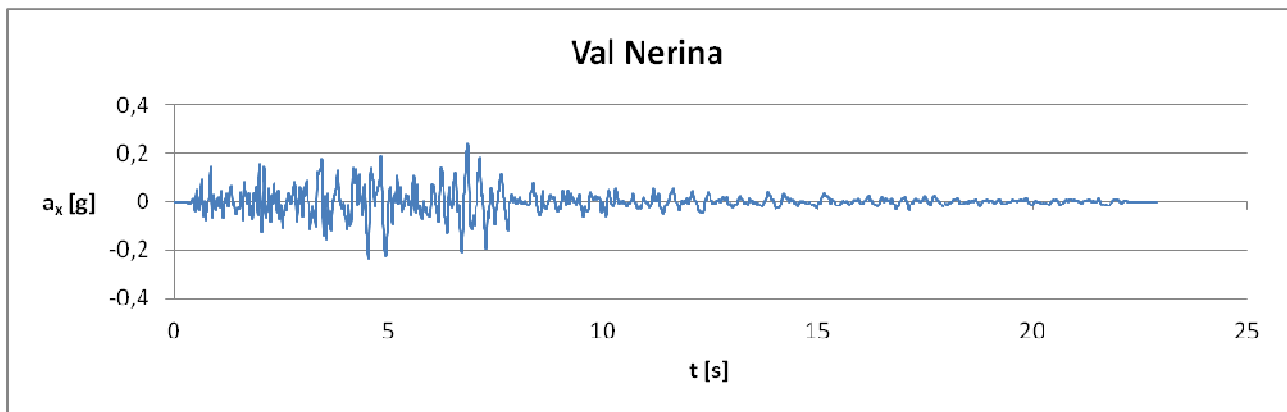


Allo SLV: fattore di scala 3,250.

#### Dettagli evento:

EVENT_NAME: FERRUZZANO	NDATA: 4562
EVENT_DATE_YYYYMMDD: 19780311	DURATION_S: 22,805000
EVENT_TIME_HHMMSS: 192043	COMPONENT: NS
EVENT_LATITUDE_DEGREE: 37,9790	UNITS: cm/s^2
EVENT_LONGITUDE_DEGREE: 16,1840	INSTRUMENT: KINEMATICS SMA-1
EVENT_DEPTH_KM: 5	INSTRUMENTAL_FREQUENCY_HZ: 25,600
MAGNITUDE_L: 5,3	INSTRUMENTAL_DAMPING: 0,520
MAGNITUDE_S: 5,1	SENSITIVITY_V/G: 0,018100
MAGNITUDE_W: 5,2	FULL_SCALE_G:
FOCAL_MECHANISM: NF	N_BIT_DIGITAL_CONVERTER:
STATION_CODE: FRR	PGA_CM/S^2: 71,545930
STATION_NAME: FERRUZZANO (AFRICO NUOVO)	TIME_PGA_S: 2,780000
STATION_LATITUDE_DEGREE: 38,051111	OWNER_RECORD: DPC-USSN 00297
STATION_LONGITUDE_DEGREE: 16,132500	INSTRUMENT_ANALOG/DIGITAL: A
STATION_ELEVATION_M: 18	BASELINE_CORRECTION: BASELINE REMOVED
SITE_CLASSIFICATION_EC8: A*	FILTER_TYPE: BUTTERWORTH
MORPHOLOGIC_CLASSIFICATION:	FILTER_ORDER: 2
EPICENTRAL_DISTANCE_KM: 9,2	LOW_CUT_FREQUENCY_HZ: 0,300
EARTHQUAKE_BACKAZIMUTH_DEGREE: 150,5	HIGH_CUT_FREQUENCY_HZ: 27,000
TIME_FIRST_SAMPLE_S: 0,000000	LATE/NORMAL_TRIGGERED: NT
SAMPLING_INTERVAL_S: 0,005000	DATA_VERSION: ITACA 1,1

### A.1.5 Val Nerina

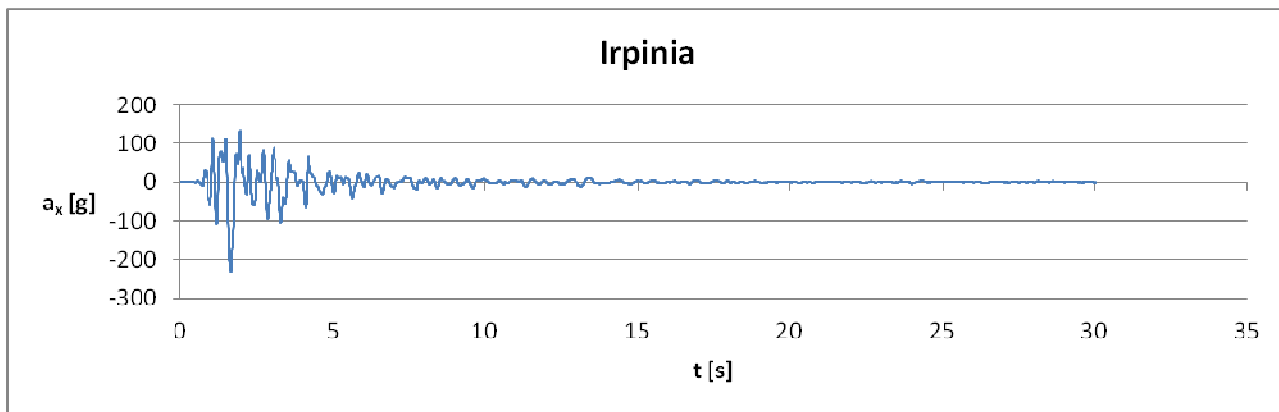


Allo SLV: fattore di scala 4,254.

#### Dettagli evento:

EVENT_NAME: VAL NERINA	NDATA: 4581
EVENT_DATE_YYYYMMDD: 19790919	DURATION_S: 22,900000
EVENT_TIME_HHMMSS: 213537	COMPONENT: NS
EVENT_LATITUDE_DEGREE: 42,8000	UNITS: cm/s <sup>2</sup>
EVENT_LONGITUDE_DEGREE: 13,0400	INSTRUMENT: KINEMATICS SMA-1
EVENT_DEPTH_KM: 6	INSTRUMENTAL_FREQUENCY_HZ: 25,800
MAGNITUDE_L: 5,5	INSTRUMENTAL_DAMPING: 0,560
MAGNITUDE_S: 5,9	SENSITIVITY_V/G: 0,018400
MAGNITUDE_W: 5,8	FULL_SCALE_G:
FOCAL_MECHANISM: NF	N_BIT_DIGITAL_CONVERTER:
STATION_CODE: ARQ	PGA_CM/S <sup>2</sup> : 54,655015
STATION_NAME: ARQUATA DEL TRONTO	TIME_PGA_S: 6,835000
STATION_LATITUDE_DEGREE: 42,772222	OWNER_RECORD: DPC-USSN 00356
STATION_LONGITUDE_DEGREE: 13,294444	INSTRUMENT_ANALOG/DIGITAL: A
STATION_ELEVATION_M: 700	BASELINE_CORRECTION: BASELINE REMOVED
SITE_CLASSIFICATION_EC8: A*	FILTER_TYPE: BUTTERWORTH
MORPHOLOGIC_CLASSIFICATION: SL	FILTER_ORDER: 2
EPICENTRAL_DISTANCE_KM: 21,0	LOW_CUT_FREQUENCY_HZ: 0,500
EARTHQUAKE_BACKAZIMUTH_DEGREE: 278,5	HIGH_CUT_FREQUENCY_HZ: 29,000
TIME_FIRST_SAMPLE_S: 0,000000	LATE/NORMAL_TRIGGERED: NT
SAMPLING_INTERVAL_S: 0,005000	DATA_VERSION: ITACA 1,1

### A.1.6 Irpinia



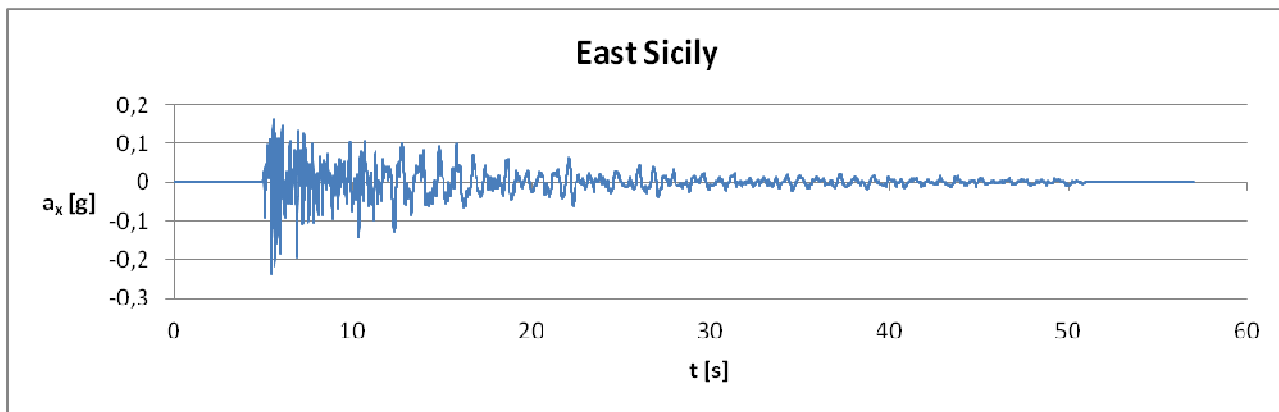
Allo SLV: fattore di scala 2,821.

*Questo evento è stato tagliato a 30 secondi.*

#### Dettagli evento:

EVENT_NAME: IRPINIA	NDATA: 21694
EVENT_DATE_YYYYMMDD: 19801201	DURATION_S: 108,465000
EVENT_TIME_HHMMSS: 190429	COMPONENT: WE
EVENT_LATITUDE_DEGREE: 40,8850	UNITS: cm/s^2
EVENT_LONGITUDE_DEGREE: 15,3080	INSTRUMENT: KINEMATRICS SMA-1
EVENT_DEPTH_KM: 9	INSTRUMENTAL_FREQUENCY_HZ: 17,900
MAGNITUDE_L: 4,6	INSTRUMENTAL_DAMPING: 0,600
MAGNITUDE_S:	SENSITIVITY_V/G: 0,037600
MAGNITUDE_W:	FULL_SCALE_G:
FOCAL_MECHANISM:	N_BIT_DIGITAL_CONVERTER:
STATION_CODE: OPB	PGA_CM/S^2: -82,405976
STATION_NAME: OPPIDO BALZATA	TIME_PGA_S: 1,650000
STATION_LATITUDE_DEGREE: 40,869167	OWNER_RECORD: DPC-USSN 00766
STATION_LONGITUDE_DEGREE: 15,207222	INSTRUMENT_ANALOG/DIGITAL: A
STATION_ELEVATION_M:	BASELINE_CORRECTION: BASELINE REMOVED
SITE_CLASSIFICATION_EC8: A*	FILTER_TYPE: BUTTERWORTH
MORPHOLOGIC_CLASSIFICATION:	FILTER_ORDER: 2
EPICENTRAL_DISTANCE_KM: 8,7	LOW_CUT_FREQUENCY_HZ: 0,300
EARTHQUAKE_BACKAZIMUTH_DEGREE: 78,3	HIGH_CUT_FREQUENCY_HZ: 20,000
TIME_FIRST_SAMPLE_S: 0,000000	LATE/NORMAL_TRIGGERED: NT
SAMPLING_INTERVAL_S: 0,005000	DATA_VERSION: ITACA 1,0

### A.1.7 East Sicily



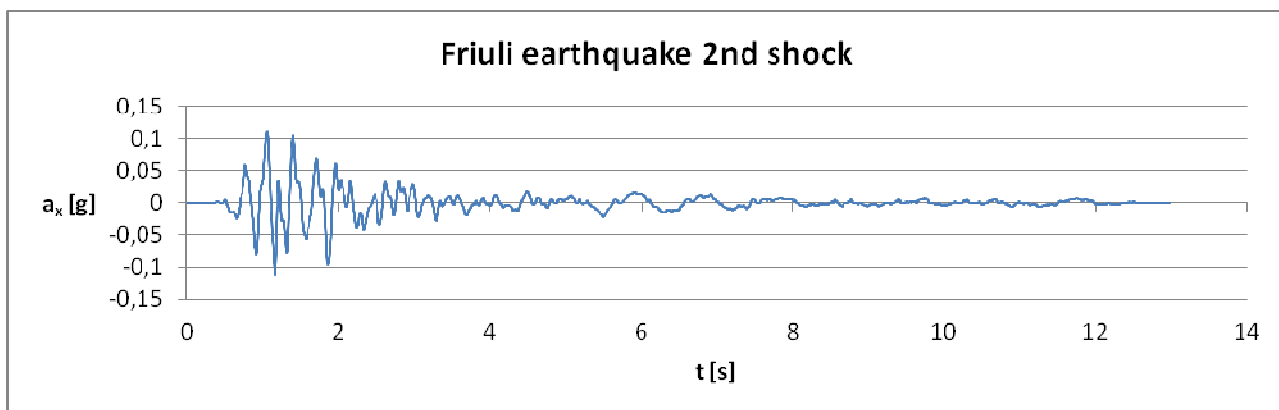
Allo SLV: fattore di scala 3,800.

#### Dettagli evento:

EVENT_NAME: EAST SICILY	NDATA: 11409
EVENT_DATE_YYYYMMDD: 19901213	DURATION_S: 57,040000
EVENT_TIME_HHMMSS: 002426	COMPONENT: NS
EVENT_LATITUDE_DEGREE: 37,2700	UNITS: cm/s^2
EVENT_LONGITUDE_DEGREE: 15,3200	INSTRUMENT: KINEMATICS SMA-1
EVENT_DEPTH_KM: 7	INSTRUMENTAL_FREQUENCY_HZ: 26,100
MAGNITUDE_L: 5,4	INSTRUMENTAL_DAMPING: 0,680
MAGNITUDE_S: 5,2	SENSITIVITY_V/G: 0,018000
MAGNITUDE_W: 5,6	FULL_SCALE_G:
FOCAL_MECHANISM: SS	N_BIT_DIGITAL_CONVERTER:
STATION_CODE: NOT	PGA_CM/S^2: -61,176984
STATION_NAME: NOTO	TIME_PGA_S: 5,440000
STATION_LATITUDE_DEGREE: 36,900000	OWNER_RECORD: DPC-USSN 01035
STATION_LONGITUDE_DEGREE: 15,068333	INSTRUMENT_ANALOG/DIGITAL: A
STATION_ELEVATION_M: 171	BASELINE_CORRECTION: BASELINE REMOVED
SITE_CLASSIFICATION_EC8: A*	FILTER_TYPE: BUTTERWORTH
MORPHOLOGIC_CLASSIFICATION:	FILTER_ORDER: 2
EPICENTRAL_DISTANCE_KM: 46,8	LOW_CUT_FREQUENCY_HZ: 0,300
EARTHQUAKE_BACKAZIMUTH_DEGREE: 28,5	HIGH_CUT_FREQUENCY_HZ: 26,000
TIME_FIRST_SAMPLE_S: 0,000000	LATE/NORMAL_TRIGGERED: LT
SAMPLING_INTERVAL_S: 0,005000	DATA_VERSION: ITACA 1,1

## A.2. Accelerogrammi di progetto selezionati allo SLD (applicati al bedrock)

### A.2.1 Friuli Earthquake 2<sup>nd</sup> shock



Allo SLD: fattore di scala 1,180.

#### Dettagli evento:

EVENT\_NAME: FRIULI EARTHQUAKE 2ND SHOCK

EVENT\_DATE\_YYYYMMDD: 19760911

EVENT\_TIME\_HHMMSS: 163501

EVENT\_LATITUDE\_DEGREE: 46,3000

EVENT\_LONGITUDE\_DEGREE: 13,3170

EVENT\_DEPTH\_KM: 9

MAGNITUDE\_L: 5,8

MAGNITUDE\_S: 5,4

MAGNITUDE\_W: 5,6

FOCAL\_MECHANISM: TF

STATION\_CODE: SRC0

STATION\_NAME: S, ROCCO

STATION\_LATITUDE\_DEGREE: 46,226389

STATION\_LONGITUDE\_DEGREE: 12,998333

STATION\_ELEVATION\_M: 420

SITE\_CLASSIFICATION\_EC8: A\*

MORPHOLOGIC\_CLASSIFICATION: SL

EPICENTRAL\_DISTANCE\_KM: 25,9

EARTHQUAKE\_BACKAZIMUTH\_DEGREE: 71,5

TIME\_FIRST\_SAMPLE\_S: 0,000000

SAMPLING\_INTERVAL\_S: 0,005000

NDA: 2594

DURATION\_S: 12,965000

COMPONENT: WE

UNITS: cm/s^2

INSTRUMENT: KINEMATICS SMA-1

INSTRUMENTAL\_FREQUENCY\_HZ: 25,700

INSTRUMENTAL\_DAMPING: 0,600

SENSITIVITY\_V/G: 0,018400

FULL\_SCALE\_G:

N\_BIT\_DIGITAL\_CONVERTER:

PGA\_CM/S^2: -93,102752

TIME\_PGA\_S: 1,165000

OWNER\_RECORD: DPC-USSN 00139

INSTRUMENT\_ANALOG/DIGITAL: A

BASELINE\_CORRECTION: BASELINE REMOVED

FILTER\_TYPE: BUTTERWORTH

FILTER\_ORDER: 2

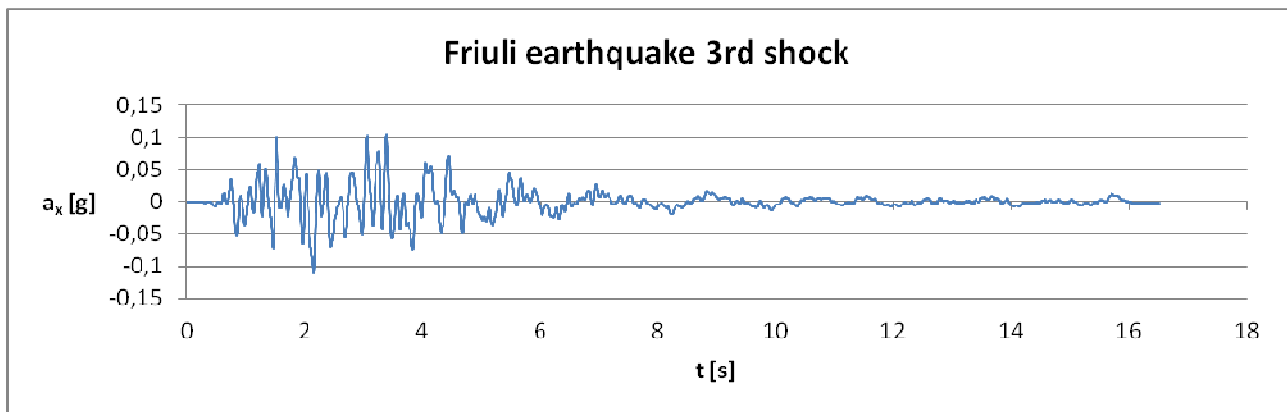
LOW\_CUT\_FREQUENCY\_HZ: 0,300

HIGH\_CUT\_FREQUENCY\_HZ: 29,000

LATE/NORMAL\_TRIGGERED: NT

DATA\_VERSION: ITACA 1,1

## A.2.2 Friuli Earthquake 3<sup>rd</sup> shock



Allo SLD: fattore di scala 1,871.

### Dettagli evento:

EVENT\_NAME: FRIULI EARTHQUAKE 3RD SHOCK

EVENT\_DATE\_YYYYMMDD: 19760915

EVENT\_TIME\_HHMMSS: 031518

EVENT\_LATITUDE\_DEGREE: 46,3000

EVENT\_LONGITUDE\_DEGREE: 13,1900

EVENT\_DEPTH\_KM: 2

MAGNITUDE\_L: 6,1

MAGNITUDE\_S: 6

MAGNITUDE\_W: 5,9

FOCAL\_MECHANISM: TF

STATION\_CODE: SRCO

STATION\_NAME: S, ROCCO

STATION\_LATITUDE\_DEGREE: 46,226389

STATION\_LONGITUDE\_DEGREE: 12,998333

STATION\_ELEVATION\_M: 420

SITE\_CLASSIFICATION\_EC8: A\*

MORPHOLOGIC\_CLASSIFICATION: SL

EPICENTRAL\_DISTANCE\_KM: 16,9

EARTHQUAKE\_BACKAZIMUTH\_DEGREE: 61,0

TIME\_FIRST\_SAMPLE\_S: 0,000000

SAMPLING\_INTERVAL\_S: 0,005000

NDATA: 3301

DURATION\_S: 16,500000

COMPONENT: NS

UNITS: cm/s<sup>2</sup>

INSTRUMENT: KINEMATICS SMA-1

INSTRUMENTAL\_FREQUENCY\_HZ: 25,800

INSTRUMENTAL\_DAMPING: 0,600

SENSITIVITY\_V/G: 0,018500

FULL\_SCALE\_G:

N\_BIT\_DIGITAL\_CONVERTER:

PGA\_CM/S<sup>2</sup>: -58,723647

TIME\_PGA\_S: 2,165000

OWNER\_RECORD: DPC-USSN 00153

INSTRUMENT\_ANALOG/DIGITAL: A

BASELINE\_CORRECTION: BASELINE REMOVED

FILTER\_TYPE: BUTTERWORTH

FILTER\_ORDER: 2

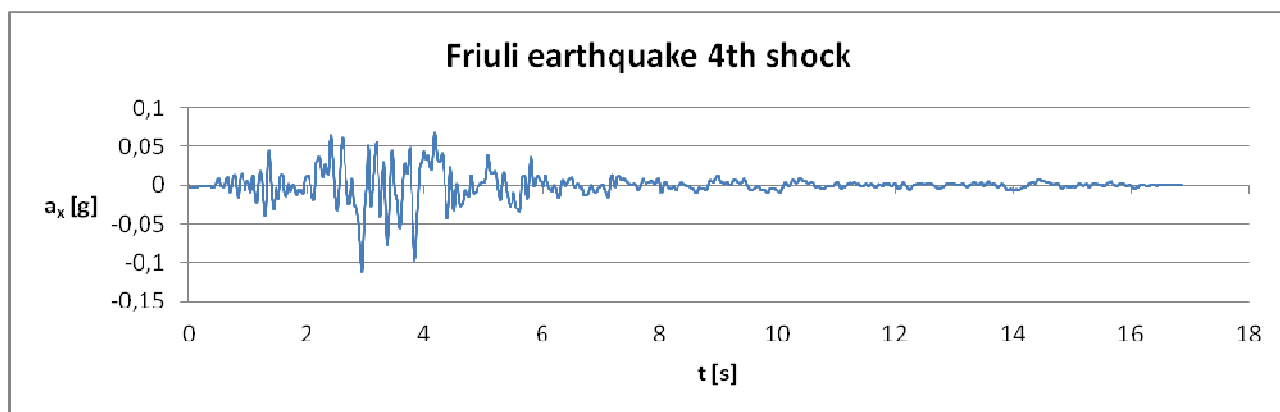
LOW\_CUT\_FREQUENCY\_HZ: 0,150

HIGH\_CUT\_FREQUENCY\_HZ: 29,000

LATE/NORMAL\_TRIGGERED: NT

DATA\_VERSION: ITACA 1,1

### A.2.3 Friuli Earthquake 4<sup>th</sup> shock



Allo SLD: fattore di scala 0,855.

#### Dettagli evento:

EVENT\_NAME: FRIULI EARTHQUAKE 4TH SHOCK

EVENT\_DATE\_YYYYMMDD: 19760915

EVENT\_TIME\_HHMMSS: 092118

EVENT\_LATITUDE\_DEGREE: 46,3000

EVENT\_LONGITUDE\_DEGREE: 13,1830

EVENT\_DEPTH\_KM: 21

MAGNITUDE\_L: 6

MAGNITUDE\_S: 5,9

MAGNITUDE\_W: 5,9

FOCAL\_MECHANISM: TF

STATION\_CODE: SRCO

STATION\_NAME: S, ROCCO

STATION\_LATITUDE\_DEGREE: 46,226389

STATION\_LONGITUDE\_DEGREE: 12,998333

STATION\_ELEVATION\_M: 420

SITE\_CLASSIFICATION\_EC8: A\*

MORPHOLOGIC\_CLASSIFICATION: SL

EPICENTRAL\_DISTANCE\_KM: 16,4

EARTHQUAKE\_BACKAZIMUTH\_DEGREE: 60,0

TIME\_FIRST\_SAMPLE\_S: 0,000000

SAMPLING\_INTERVAL\_S: 0,005000

NDATA: 3375

DURATION\_S: 16,870000

COMPONENT: NS

UNITS: cm/s<sup>2</sup>

INSTRUMENT: KINEMATICS SMA-1

INSTRUMENTAL\_FREQUENCY\_HZ: 25,800

INSTRUMENTAL\_DAMPING: 0,600

SENSITIVITY\_V/G: 0,018500

FULL\_SCALE\_G:

N\_BIT\_DIGITAL\_CONVERTER:

PGA\_CM/S<sup>2</sup>: -128,515119

TIME\_PGA\_S: 2,940000

OWNER\_RECORD: DPC-USSN 00169

INSTRUMENT\_ANALOG/DIGITAL: A

BASELINE\_CORRECTION: BASELINE REMOVED

FILTER\_TYPE: BUTTERWORTH

FILTER\_ORDER: 2

LOW\_CUT\_FREQUENCY\_HZ: 0,100

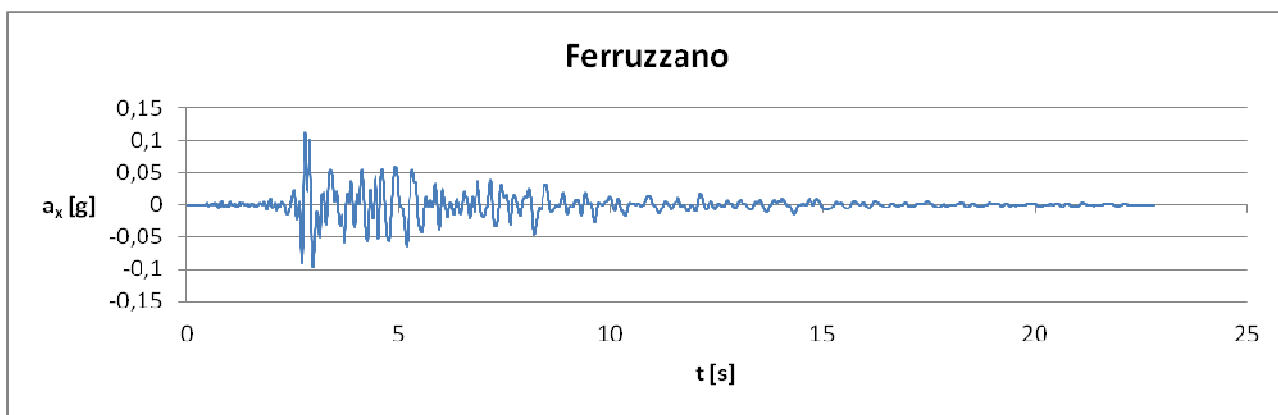
HIGH\_CUT\_FREQUENCY\_HZ: 29,000

LATE/NORMAL\_TRIGGERED: NT

DATA\_VERSION: ITACA 1,1



## A.2.4 Ferruzzano

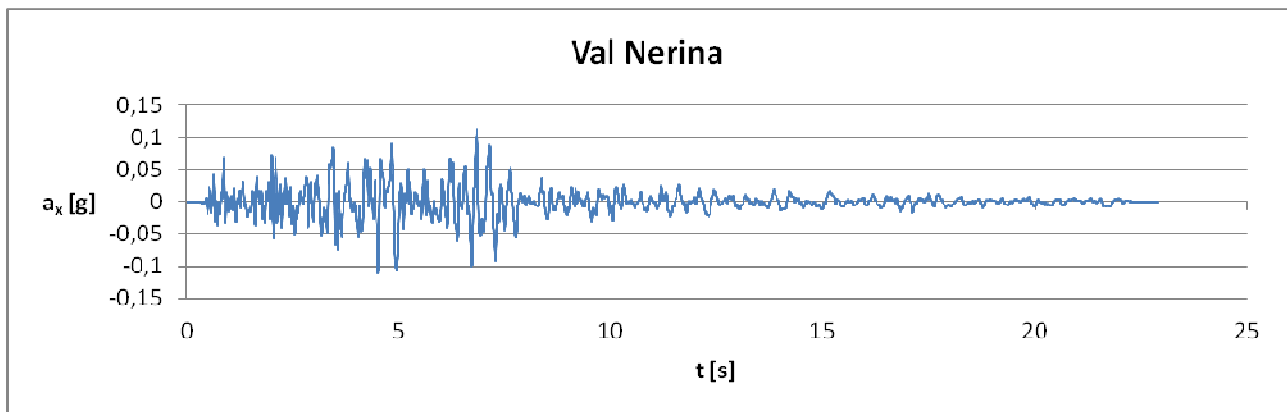


Allo SLD: fattore di scala 1,536.

### Dettagli evento:

EVENT_NAME: FERRUZZANO	NDATA: 4562
EVENT_DATE_YYYYMMDD: 19780311	DURATION_S: 22,805000
EVENT_TIME_HHMMSS: 192043	COMPONENT: NS
EVENT_LATITUDE_DEGREE: 37,9790	UNITS: cm/s^2
EVENT_LONGITUDE_DEGREE: 16,1840	INSTRUMENT: KINEMATICS SMA-1
EVENT_DEPTH_KM: 5	INSTRUMENTAL_FREQUENCY_HZ: 25,600
MAGNITUDE_L: 5,3	INSTRUMENTAL_DAMPING: 0,520
MAGNITUDE_S: 5,1	SENSITIVITY_V/G: 0,018100
MAGNITUDE_W: 5,2	FULL_SCALE_G:
FOCAL_MECHANISM: NF	N_BIT_DIGITAL_CONVERTER:
STATION_CODE: FRR	PGA_CM/S^2: 71,545930
STATION_NAME: FERRUZZANO (AFRICO NUOVO)	TIME_PGA_S: 2,780000
STATION_LATITUDE_DEGREE: 38,051111	OWNER_RECORD: DPC-USSN 00297
STATION_LONGITUDE_DEGREE: 16,132500	INSTRUMENT_ANALOG/DIGITAL: A
STATION_ELEVATION_M: 18	BASELINE_CORRECTION: BASELINE REMOVED
SITE_CLASSIFICATION_EC8: A*	FILTER_TYPE: BUTTERWORTH
MORPHOLOGIC_CLASSIFICATION:	FILTER_ORDER: 2
EPICENTRAL_DISTANCE_KM: 9,2	LOW_CUT_FREQUENCY_HZ: 0,300
EARTHQUAKE_BACKAZIMUTH_DEGREE: 150,5	HIGH_CUT_FREQUENCY_HZ: 27,000
TIME_FIRST_SAMPLE_S: 0,000000	LATE/NORMAL_TRIGGERED: NT
SAMPLING_INTERVAL_S: 0,005000	DATA_VERSION: ITACA 1,1

## A.2.5 Val Nerina

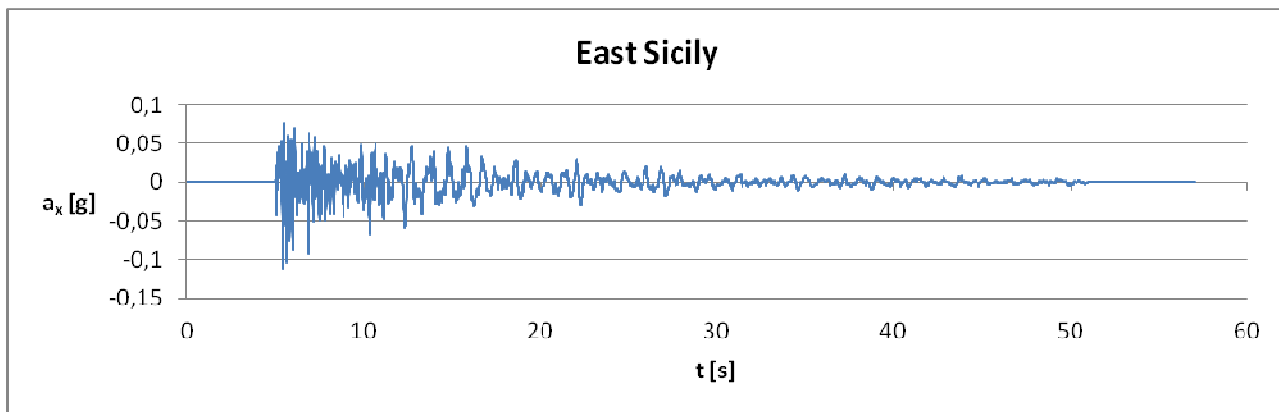


Allo SLD: fattore di scala 2,010.

### Dettagli evento:

EVENT_NAME: VAL NERINA	NDATA: 4581
EVENT_DATE_YYYYMMDD: 19790919	DURATION_S: 22,900000
EVENT_TIME_HHMMSS: 213537	COMPONENT: NS
EVENT_LATITUDE_DEGREE: 42,8000	UNITS: cm/s^2
EVENT_LONGITUDE_DEGREE: 13,0400	INSTRUMENT: KINEMATICS SMA-1
EVENT_DEPTH_KM: 6	INSTRUMENTAL_FREQUENCY_HZ: 25,800
MAGNITUDE_L: 5,5	INSTRUMENTAL_DAMPING: 0,560
MAGNITUDE_S: 5,9	SENSITIVITY_V/G: 0,018400
MAGNITUDE_W: 5,8	FULL_SCALE_G:
FOCAL_MECHANISM: NF	N_BIT_DIGITAL_CONVERTER:
STATION_CODE: ARQ	PGA_CM/S^2: 54,655015
STATION_NAME: ARQUATA DEL TRONTO	TIME_PGA_S: 6,835000
STATION_LATITUDE_DEGREE: 42,772222	OWNER_RECORD: DPC-USSN 00356
STATION_LONGITUDE_DEGREE: 13,294444	INSTRUMENT_ANALOG/DIGITAL: A
STATION_ELEVATION_M: 700	BASELINE_CORRECTION: BASELINE REMOVED
SITE_CLASSIFICATION_EC8: A*	FILTER_TYPE: BUTTERWORTH
MORPHOLOGIC_CLASSIFICATION: SL	FILTER_ORDER: 2
EPICENTRAL_DISTANCE_KM: 21,0	LOW_CUT_FREQUENCY_HZ: 0,500
EARTHQUAKE_BACKAZIMUTH_DEGREE: 278,5	HIGH_CUT_FREQUENCY_HZ: 29,000
TIME_FIRST_SAMPLE_S: 0,000000	LATE/NORMAL_TRIGGERED: NT
SAMPLING_INTERVAL_S: 0,005000	DATA_VERSION: ITACA 1,1

## A.2.6 East Sicily

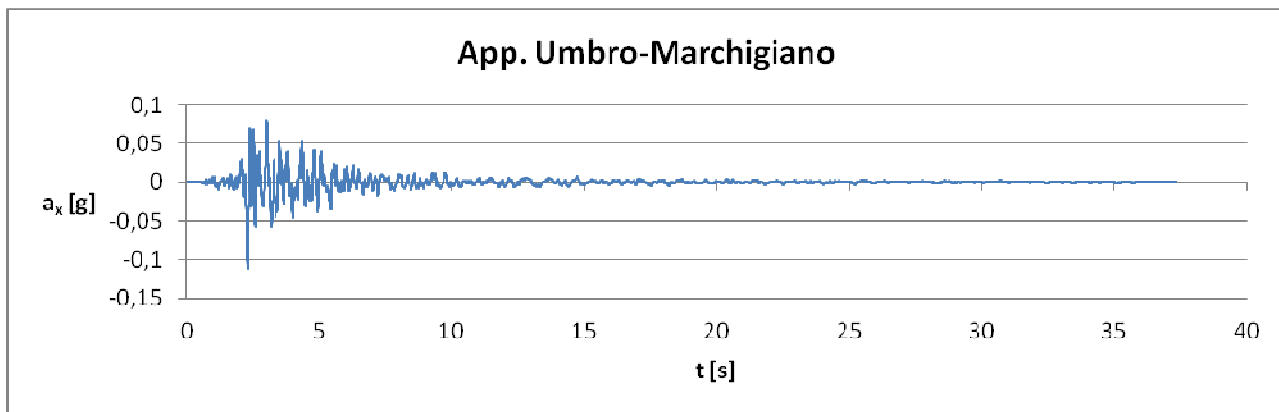


Allo SLD: fattore di scala 1,796.

### Dettagli evento:

EVENT_NAME: EAST SICILY	NDATA: 11409
EVENT_DATE_YYYYMMDD: 19901213	DURATION_S: 57,040000
EVENT_TIME_HHMMSS: 002426	COMPONENT: NS
EVENT_LATITUDE_DEGREE: 37,2700	UNITS: cm/s^2
EVENT_LONGITUDE_DEGREE: 15,3200	INSTRUMENT: KINEMATICS SMA-1
EVENT_DEPTH_KM: 7	INSTRUMENTAL_FREQUENCY_HZ: 26,100
MAGNITUDE_L: 5,4	INSTRUMENTAL_DAMPING: 0,680
MAGNITUDE_S: 5,2	SENSITIVITY_V/G: 0,018000
MAGNITUDE_W: 5,6	FULL_SCALE_G:
FOCAL_MECHANISM: SS	N_BIT_DIGITAL_CONVERTER:
STATION_CODE: NOT	PGA_CM/S^2: -61,176984
STATION_NAME: NOTO	TIME_PGA_S: 5,440000
STATION_LATITUDE_DEGREE: 36,900000	OWNER_RECORD: DPC-USSN 01035
STATION_LONGITUDE_DEGREE: 15,068333	INSTRUMENT_ANALOG/DIGITAL: A
STATION_ELEVATION_M: 171	BASELINE_CORRECTION: BASELINE REMOVED
SITE_CLASSIFICATION_EC8: A*	FILTER_TYPE: BUTTERWORTH
MORPHOLOGIC_CLASSIFICATION:	FILTER_ORDER: 2
EPICENTRAL_DISTANCE_KM: 46,8	LOW_CUT_FREQUENCY_HZ: 0,300
EARTHQUAKE_BACKAZIMUTH_DEGREE: 28,5	HIGH_CUT_FREQUENCY_HZ: 26,000
TIME_FIRST_SAMPLE_S: 0,000000	LATE/NORMAL_TRIGGERED: LT
SAMPLING_INTERVAL_S: 0,005000	DATA_VERSION: ITACA 1,1

### A.2.7 App. Umbro-Marchigiano



Allo SLD: fattore di scala 0,761.

#### Dettagli evento:

EVENT\_NAME: APP, UMBRO-MARCHIGIANO  
EVENT\_DATE\_YYYYMMDD: 19971006  
EVENT\_TIME\_HHMMSS: 232453  
EVENT\_LATITUDE\_DEGREE: 43,0275  
EVENT\_LONGITUDE\_DEGREE: 12,8467  
EVENT\_DEPTH\_KM: 4  
MAGNITUDE\_L: 5,4  
MAGNITUDE\_S:  
MAGNITUDE\_W: 5,4  
FOCAL\_MECHANISM: NF  
STATION\_CODE: NCM  
STATION\_NAME: NOCERA UMBRA SALMATA  
STATION\_LATITUDE\_DEGREE: 43,149170  
STATION\_LONGITUDE\_DEGREE: 12,797222  
STATION\_ELEVATION\_M:  
SITE\_CLASSIFICATION\_EC8: A\*  
MORPHOLOGIC\_CLASSIFICATION: SL  
EPICENTRAL\_DISTANCE\_KM: 14,1  
EARTHQUAKE\_BACKAZIMUTH\_DEGREE: 163,4  
TIME\_FIRST\_SAMPLE\_S: 0,000000  
SAMPLING\_INTERVAL\_S: 0,005000

NDATA: 7470  
DURATION\_S: 37,345000  
COMPONENT: NS  
UNITS: cm/s<sup>2</sup>  
INSTRUMENT: SMA 1  
INSTRUMENTAL\_FREQUENCY\_HZ: 12,700  
INSTRUMENTAL\_DAMPING: 0,660  
SENSITIVITY\_V/G:  
FULL\_SCALE\_G:  
N\_BIT\_DIGITAL\_CONVERTER:  
PGA\_CM/S<sup>2</sup>: -144,449651  
TIME\_PGA\_S: 2,320000  
OWNER\_RECORD: DPC-USSN  
INSTRUMENT\_ANALOG/DIGITAL: A  
BASELINE\_CORRECTION: BASELINE REMOVED  
FILTER\_TYPE: BUTTERWORTH  
FILTER\_ORDER: 2  
LOW\_CUT\_FREQUENCY\_HZ: 0,300  
HIGH\_CUT\_FREQUENCY\_HZ: 15,000  
LATE/NORMAL\_TRIGGERED: NT  
DATA\_VERSION: ITACA 1,1