



**REGIONE
LAZIO**

**DIREZIONE REGIONALE INFRASTRUTTURE,
AMBIENTE E POLITICHE ABITATIVE**

**LAVORI DI RIPRISTINO DELL'OFFICIOSITA' DEL FOSSO DI
PRATOLUNGO COMPRESA LA M.S. DELL'ALVEO E LA COSTITUZIONE
DI OPPORTUNE OPERE DI ACCUMULO E
LAMINAZIONE DELLE PIENE - II LOTTO**

**PROGETTO ESECUTIVO
PERIZIA DI VARIANTE E SUPPLETIVA**

**STUDI SPECIALISTICI
GEOLOGIA
Studio di Risposta Sismica Locale**

IMPRESA DI COSTRUZIONE:
ATI:

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
Dott. Dario Maturro



(capogruppo)



(mandante)

PROGETTISTI:

DIREZIONE DEI LAVORI
Ing. Severino Marasco



(mandataria)
Prof. Ing. Marco Petrangeli
Ing. Geol. Massimo Pietrantonì



(mandante)
Ing. Luciano Landolfi
Ing. Roberto De Gennaro
Ing. Antonio Petti

STUDI GEOLOGICI:

Ing. Geol. Massimo Pietrantonì

CODICE ELABORATO	RIFERIMENTO ELABORATO		SCALA
	File name:		
	R	IN 122GE - RE 102 - R 0	RIN122GE-RE102-R0
			-

rev	Data	Redazione	Verifica	Approvazione	Visto committente	Descrizione
0	08/07/2015	A. Tagliaferri	M. Pietrantonì	M. Petrangeli		Ottemperanza prescrizioni. Consegna definitiva
1						
2						

INDICE

1	PREMESSA E INQUADRAMENTO TECNICO NORMATIVO	3
2	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE DEL SITO ANALIZZATO	7
2.1	Azione sismica	9
2.2	Azione sismica elastica per suolo di tipo A.....	9
3	MODELLO GEOLOGICO E GEOFISICO DEL SOTTOSUOLO	11
3.1	Assetto stratigrafico locale.....	12
3.2	Le indagini geofisiche: prova Down-hole	12
3.3	Le indagini geofisiche: prove con dilatometro sismico (SDMT)	14
3.4	Analisi sismologica d'insieme	14
3.5	Classificazione dei terreni in termini di $V_{s,30}$	15
3.6	Modello sismo stratigrafico per l'analisi di RSL	15
4	RISPOSTA SISMICA LOCALE SUL MODELLO GEOLOGICO ADOTTATO	16
4.1	Selezione degli accelerogrammi.....	16
4.2	Analisi numeriche	26
4.3	Analisi e valutazioni dei risultati: individuazione dell'azione di verifica	27
5	SINTESI DEI RISULTATI	33

1 PREMESSA E INQUADRAMENTO TECNICO NORMATIVO

Il presente documento fa parte del Progetto Esecutivo degli interventi di protezione idraulica del fosso di Pratolungo, nel Comune di Roma.

Il progetto prevede la realizzazione di una vasca di laminazione in linea, tramite uno sbarramento in terra trasversale al corso d'acqua. Lo sbarramento ha una lunghezza di circa 400m, con una quota di coronamento a m 33 s.l.m. ed una altezza dell'ordine della decina di metri rispetto al piano di campagna.

La regolazione avviene tramite un manufatto in calcestruzzo, formato da uno sfioratore composto di 4 soglie libere, con sistemi di regolazione e controllo delle portate presidiati da paratoie.

La descrizione dettagliata delle opere è riportata nella Relazione Generale oltre che nelle tavole progettuali.

In questa Relazione è esposta la sintesi dello studio di Risposta Sismica Locale per l'opera in questione.

Per ciò che riguarda l'approccio conoscitivo al sito in esame, la normativa tecnica vigente è rappresentata dalla D.G.R. Lazio n.489 del 17/10/2012 che modifica l'Allegato 2 della D.G.R. Lazio n.387/2009 ("Nuovo elenco delle strutture in classe d'uso III e IV ai sensi del D.M. del 14/01/2008").

In particolare, sulla base delle indicazioni del Committente e in relazione a quest'ultima normativa, l'opera in esame è classificabile in Classe d'Uso III (*"Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'Uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni d'emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso"*).

Dal punto di vista della **pianificazione del rischio sismico** il territorio comunale di Roma è dotato di un Livello 1 di Microzonazione Sismica validato dai competenti Uffici della Regione Lazio ai sensi della D.G.R. Lazio 545/2010 e s.m.i.; tale studio è stato realizzato dall'Università degli Studi Sapienza di Roma, dall'ENEA e dall'Università degli Studi di Cassino. Nella figura che segue viene riportato uno stralcio della tavola delle Microzone omogenee in prospettiva sismica (pubblicata sul sito istituzionale della Regione Lazio) con l'ubicazione dell'opera oggetto del presente studio di RSL.

In relazione all'Allegato 1 della D.G.R. Lazio 387/2009, il comune di Roma è suddiviso in 21 Municipi (chiamati appositamente per questa classifica UAS: Unità Amministrative sismiche) a ognuno dei quali spetta una sottoclasse (3A e 2B in particolare); il sito di progetto, che ricade nel Municipio (UAS) V, è classificato in zona 2B.

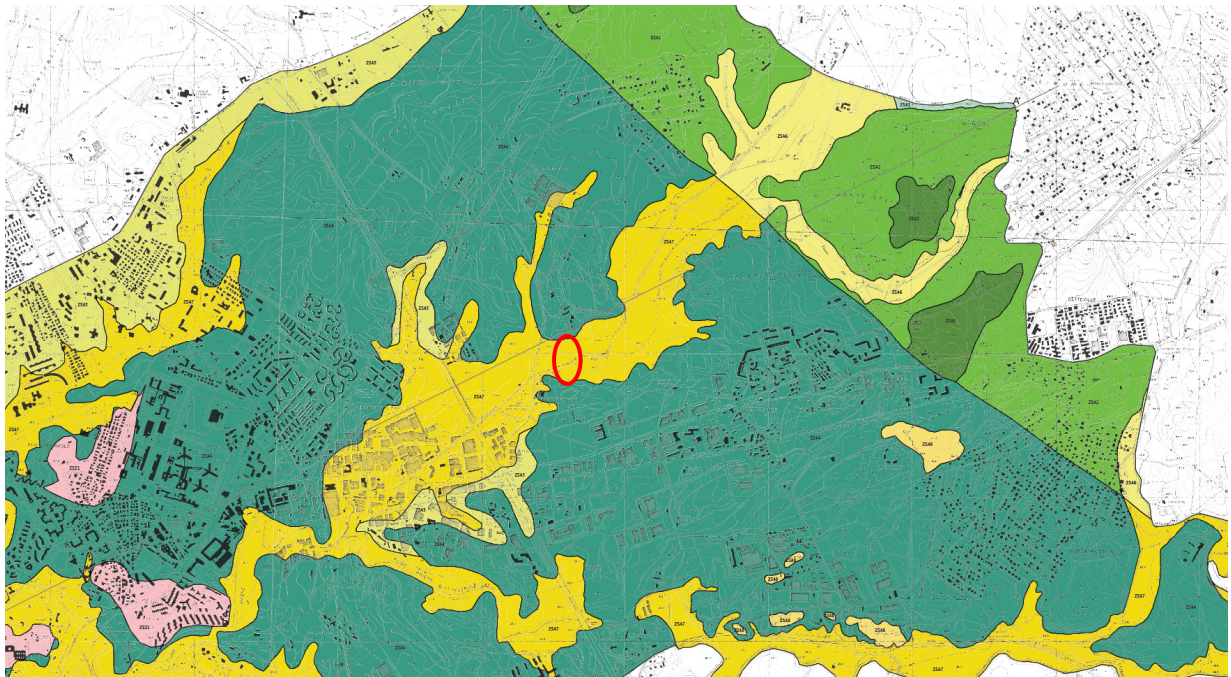
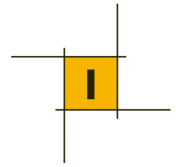


Figura 1: D.G.R. Lazio n.545 del 26 Novembre 2010: Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1)

Da quanto emerge dalla mappa, l'opera ricade nella microzona omogenea ZSA7, classificata come "zona stabile suscettibile di amplificazioni locali). In figura 2 vengono riportate le colonnine stratigrafiche in legenda della suddetta tavola: per l'area in esame lo studio non individua il bedrock sismico che risulta posto ad una profondità superiore ai 50m dal p.c..

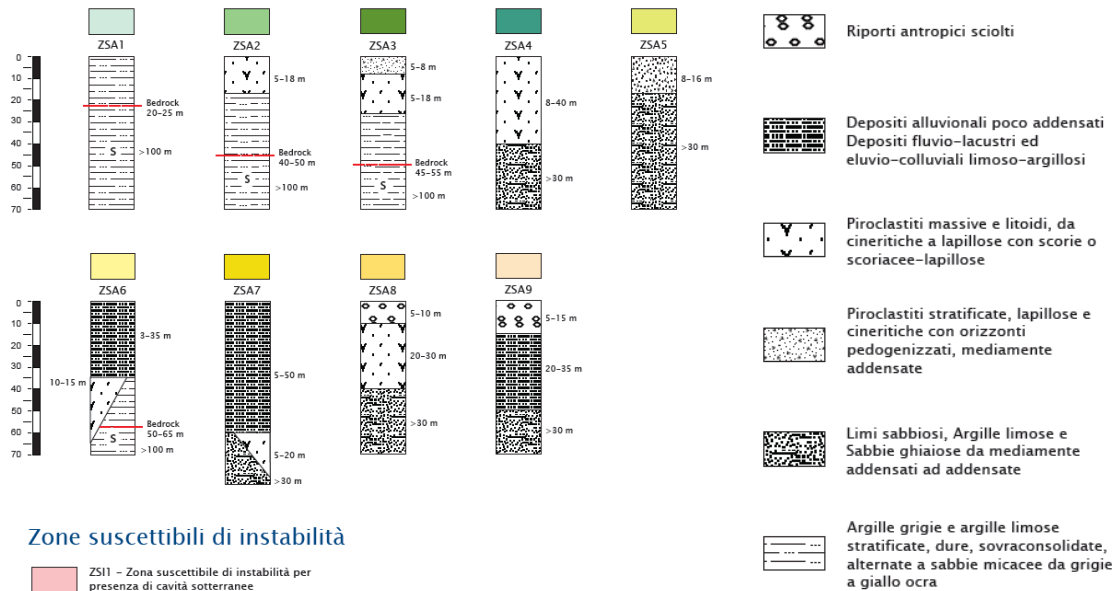


Figura 2: D.G.R. Lazio n.545 del 26 Novembre 2010: Colonne stratigrafiche

In sintesi, quindi, il presente documento rappresenta la relazione illustrativa del processo di RSL, come da D.G.R. 489/2012; lo studio di RSL, è basato su un set di indagini di campo (geognostiche e geofisiche) di seguito elencate.

Si è fatto riferimento ai risultati della campagna di eseguita nell'ottobre 2009, a supporto del **progetto definitivo**, che è consistita nelle seguenti attività:

- 6 sondaggi a carotaggio continuo;
- 7 prove dilatometriche Marchetti delle quali 3 con dilatometro sismico per la misura della velocità delle onde di taglio e con 14 prove di dissipazione.
- 13 prove penetrometriche dinamiche SPT;
- 13 prove Lefranc di permeabilità a carico costante e variabile;
- installazione di 3 piezometri Casagrande in altrettanti sondaggi;
- 1 prova geosismico down-hole in foro di sondaggio;
- 5 stendimenti geoelettrici;
- prelievo di 17 campioni per le prove di laboratorio geotecnico, dei quali 12 indisturbati e 5 rimaneggiati, sui quali sono state effettuate le seguenti prove.
 - 17 analisi granulometriche;
 - 12 determinazioni del peso di volume naturale;
 - 12 determinazioni del contenuto naturale d'acqua;
 - 11 determinazioni dei limiti di Atterberg;
 - 11 prove di taglio diretto;
 - 3 prove triassiali non consolidate non drenate (UU);
 - 10 prove di compressione edometrica.

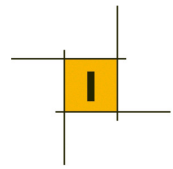
Le suddette indagini hanno riguardato esclusivamente la zona dello sbarramento principale con il relativo manufatto in calcestruzzo di regolazione.

In fase di **progetto esecutivo** è stata eseguita una integrazione d'indagine che ha riguardato la zona del rilevato arginale a protezione degli edifici storici, non precedentemente indagata, la zona dell'invaso e, infine, lo sbarramento principale a completamento della precedente indagine.

Complessivamente sono quindi state eseguite le seguenti indagini.

Argine a protezione degli edifici storici

- 2 sondaggi a carotaggio continuo della profondità di 15 m (S1 e S2);
- installazione di due piezometri a tubo aperto;
- 5 pozzetti geognostici;
- 10 prove penetrometriche dinamiche SPT;
- 6 prove Lefranc di permeabilità;
- prelievo di 11 campioni per le prove di laboratorio geotecnico, dei quali 6 indisturbati e 5 rimaneggiati (da pozzetti), sui quali sono state effettuate le seguenti prove.



- 11 analisi granulometriche;
- 6 determinazioni del peso di volume naturale;
- 6 determinazioni del contenuto naturale d'acqua;
- 11 determinazioni dei limiti di Atterberg;
- 2 prove di taglio diretto;
- 2 prove triassiali non consolidate non drenate (UU);
- 2 prove triassiali consolidate non drenate con misura delle pressioni neutre (CIU);
- 3 prove di compressione edometrica.

Zona dell'invaso

- 2 sondaggi a carotaggio continuo della profondità di 12 m (S3 e S4);
- installazione di due piezometri a tubo aperto;
- 6 prove Lefranc di permeabilità.

Sbarramento principale

- 2 sondaggi a carotaggio continuo della profondità di 30 e 38.5 m;
- installazione di due piezometri a tubo aperto;
- 9 pozzetti geognostici;
- 16 prove penetrometriche dinamiche SPT;
- 10 prove Lefranc di permeabilità;
- prelievo di 28 campioni per le prove di laboratorio geotecnico, dei quali 8 indisturbati e 20 rimaneggiati (da pozzetti), sui quali sono state programmate le seguenti prove.
 - 23 analisi granulometriche;
 - 3 determinazioni del peso di volume naturale;
 - 3 determinazioni del contenuto naturale d'acqua;
 - 23 determinazioni dei limiti di Atterberg;
 - 1 prova di taglio diretto;
 - 1 prova triassiale non consolidata non drenata (UU);

Dall'insieme dei dati ottenuti è possibile definire le caratteristiche sismo stratigrafiche del sito.

La documentazione su queste indagini è contenuta nell'elaborato IN-RE-101, mentre l'ubicazione di tutte le indagini (comprese quelle del progetto definitivo) è illustrata nella planimetria dell'elaborato IN-PL-101.

Nell'esecuzione dello studio di RSL sono state tenute in considerazione le indicazioni presenti nella normativa tecnica nazionale (NTC2008 e Circolare C.S.LL.PP. 2/2/2009 e s.m.i.; "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica", approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Gruppo di lavoro MS, 2008) e regionale (D.G.R. Lazio n. 387/2009 "Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Lazio in applicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3519 del 28 Aprile 2006 e della DGR Lazio 766/03"; D.G.R. Lazio n. 545/2010 "Linee guida per l'utilizzo degli Indirizzi e Criteri generali per gli studi di MS nel territorio della Regione Lazio"; D.G.R. Lazio 490/2011 "Approvazione degli abachi regionali di MS di Livello 2"; Regolamento Regionale n. 2 del 7 febbraio 2012; D.G.R. Lazio 489/2012 "Modifica dell'Allegato 2 della D.G.R. Lazio n. 387/2009"; D.G.R. Lazio n.535/2012 "Modifica alle D.G.R. Lazio 545/2010 e 490/2011").

2 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE DEL SITO ANALIZZATO

Sulla base delle indicazioni del Committente, all'opera per la quale si effettua il presente studio di RSL va attribuita una vita nominale di $V_N=100$ anni ed una classe d'uso III, da cui $c_u=1.5$ e $V_R=150$ anni. Pertanto i diversi stati limite sono caratterizzati dalle seguenti probabilità di eccedenza e dai seguenti periodi di ritorno:

$$T_R = -V_R / [\ln(1 - P_{ecc})]$$

Tabella 1: Probabilità di eccedenza e periodo di ritorno per diversi i stati limite

	P_{ecc}	T_R
SLO	81%	90
SLD	63%	151
SLV	10%	1424
SLC	5%	2475

Si riportano nel seguito i valori dei parametri a_g , F_0 , e C_c nel sito di intervento, per i periodi di ritorno di riferimento, come ottenuti dal programma "Spettri.xls", reso disponibile dal Ministero delle Infrastrutture, in corrispondenza delle coordinate geografiche del sito stesso:

Long. = 12.60690

Lat. = 41.94120

Figura 3: Individuazione del sito

Tabella 2: Valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* per i periodi di ritorno di riferimento

T_R (anni)	a_g (g)	F_o (-)	T_c^* (s)
30	0.048	2.509	0.260
50	0.060	2.503	0.273
72	0.070	2.477	0.280
101	0.080	2.501	0.283
140	0.091	2.526	0.284
201	0.103	2.546	0.287
475	0.138	2.566	0.293
975	0.175	2.546	0.300
2475	0.228	2.536	0.315

In corrispondenza degli stati limite per una vita di riferimento di 150 anni, i precedenti parametri valgono:

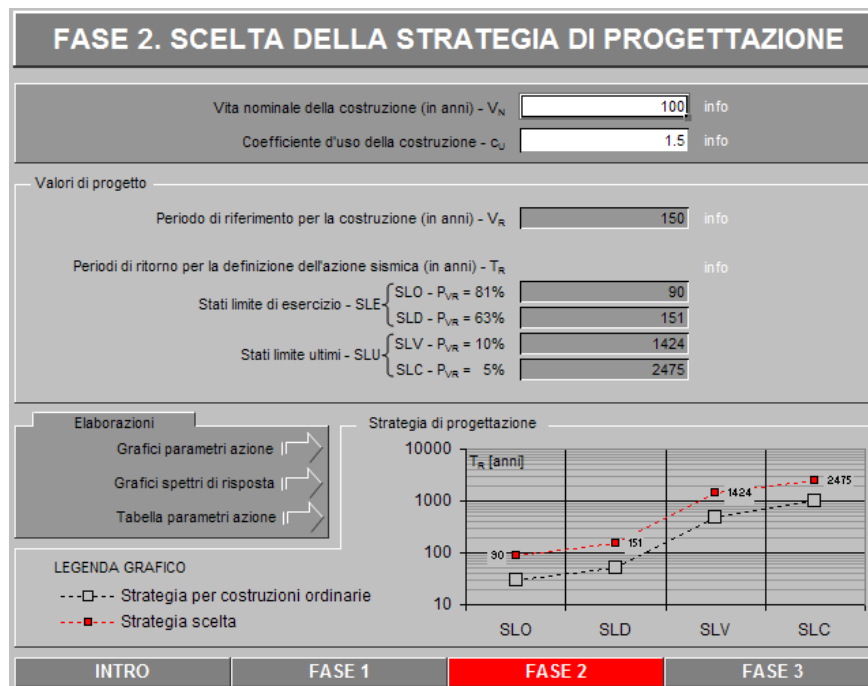


Figura 4: Vita nominale e classe d'uso dell'opera

Tabella 3: Valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* per i periodi di ritorno corrispondenti agli stati limite di verifica

STATO LIMITE	T_R (anni)	a_g (g)	F_o (-)	T_c^* (s)
SLO	90	0.077	2.493	0.282
SLD	151	0.093	2.530	0.285
SLV	1424	0.195	2.542	0.306
SLC	2475	0.228	2.536	0.315

2.1 Azione sismica

Nel caso di analisi dinamica lineare, l'azione sismica è descritta da uno spettro di progetto, ottenuto riducendo opportunamente uno spettro elastico. Lo spettro elastico è dato dalle seguenti espressioni:

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta F_o} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right)$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

con:

a_g = accelerazione al suolo

$S = S_s S_T$

ξ = smorzamento percentuale rispetto allo smorzamento critico

F_o = amplificazione spettrale, dipendente dal periodo di ritorno considerato

$T_C = C_C T_C^*$ = periodo di separazione del tratto ad accelerazione da quello a velocità costante

$T_B = T_C/3$

$T_D = 4.0 (a_g/g) + 1.60$

S_T dipende dalle condizioni topografiche del sito

a_g , F_o , e C_C dipendono dal sito considerato e dal periodo di ritorno dell'azione

S_s e T_C^* dipendono dal tipo di suolo considerato e da a_g

$\xi = 5\%$

2.2 Azione sismica elastica per suolo di tipo A

Lo spettro elastico in superficie sarà determinato a partire da una analisi di Risposta Sismica Locale (RSL). Pertanto lo spettro elastico su suolo A rappresenta l'azione di riferimento per la scelta degli accelerogrammi per l'analisi di RSL.

Nel caso di suolo A si ottengono i seguenti parametri dipendenti ed indipendenti relativi ai diversi stati limite di verifica:

Tabella 4: Parametri degli spettri elastici per i diversi stati limite di verifica

	SLO	SLD	SLV	SLC
a_g	0.077	0.093	0.195	0.228
F_0	2.493	2.530	2.542	2.536
T_C^*	0.282	0.285	0.306	0.315
S_S	1.000	1.000	1.000	1.000
C_C	1.000	1.000	1.000	1.000
S_T	1.000	1.000	1.000	1.000
q	1.000	1.000	1.000	1.000
S	1.000	1.000	1.000	1.000
η	1.000	1.000	1.000	1.000
T_B	0.094	0.095	0.102	0.105
T_C	0.282	0.285	0.306	0.315
T_D	1.907	1.972	2.379	2.510

Sulla base dei parametri precedentemente calcolati, si hanno i seguenti spettri orizzontali elastici, su suolo rigido e pianeggiante, per i diversi stati limite:

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

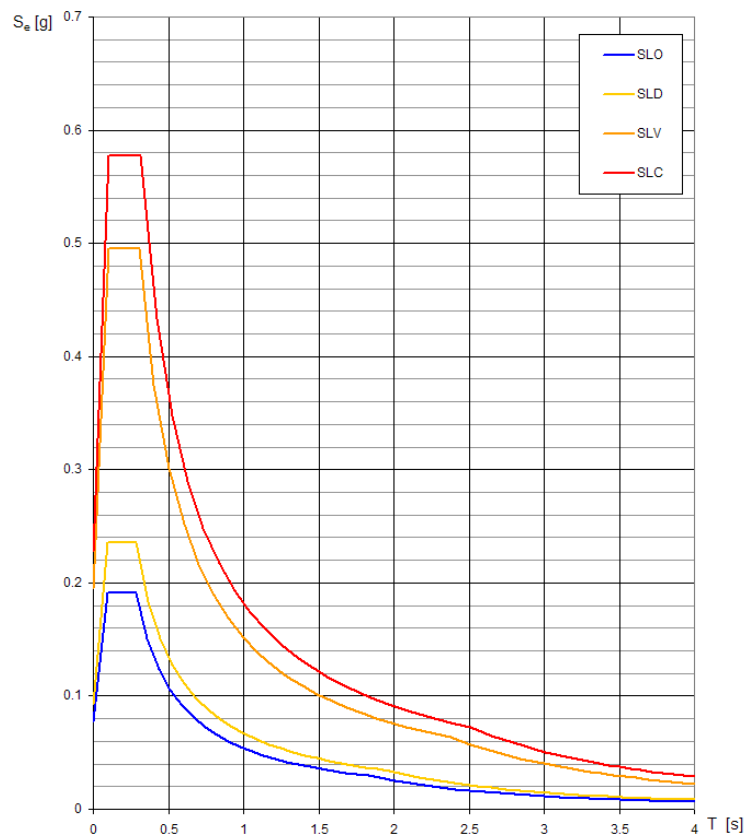


Figura 5: Spettri elastici su suolo rigido e pianeggiante

3 MODELLO GEOLOGICO E GEOFISICO DEL SOTTOSUOLO

Come meglio descritto nella relazione geologica, sono state eseguite le seguenti fasi di indagini:

- ricerca ed analisi dati da bibliografia scientifica di settore;
- rilievo geologico di superficie;
- analisi di sondaggi meccanici a rotazione e carotaggio continuo e analisi di laboratorio sui campioni prelevati;
- prove in sito SPT e Lefranc;
- analisi dello studio di MS livello 1 validato dai competenti Uffici Regionali;
- 1 prova geosismico down-hole in foro di sondaggio;
- 7 prove dilatometriche Marchetti delle quali 3 con dilatometro sismico per la misura della velocità delle onde di taglio e con 14 prove di dissipazione.

Gli elaborati ed i grafici delle suddette indagini sono riportati nella specifica relazione allegata al presente progetto esecutivo, a cui si rimanda per una più accurata visione degli stessi.

Nella figura che segue viene riportata l'ubicazione delle indagini effettuate.











-  Sondaggio geognostico a carotaggio continuo
-  Sondaggio geognostico a carotaggio continuo con piezometro a cella Casagrande
-  Sondaggio geognostico a carotaggio continuo con piezometro a tubo aperto
-  Sondaggio geognostico a carotaggio continuo con prova down-hole
-  Prova con dilatometro piatto
-  Prova con dilatometro piatto sismico
-  Pozzetto geognostico
-  Prospezione geoelettrica

Figura 6: Planimetria con ubicazione delle indagini

3.1 *Assetto stratigrafico locale*

La stratigrafia di sintesi, ricostruita attraverso la perforazione del sondaggio S3, situato in corrispondenza del manufatto di restituzione e all'interno del quale è stata effettuata la prova down-hole, è la seguente:

- ✓ 0÷2 metri dal p.c.: materiale di riporto, di origine tufacea, di colore bruno, con granulometria limosa, con inclusioni di origine piroclastica;
- ✓ 2÷7.5 metri dal p.c.: limo debolmente argilloso, di colore dall'ocra chiaro al bruno, con inclusioni di piccoli elementi piroclastici arrotondati, maggiormente consistente tra 5 e 6 m;
- ✓ 7.5÷10 metri dal p.c.: limo argilloso di colore bruno-ocra, con rare inclusioni di conchigliette bianche di origine marina. Consistenza molto elevata;
- ✓ 10÷23 metri dal p.c.: limo argilloso con sabbia, di colore dal bruno al grigio;
- ✓ 23÷40 metri dal p.c.: limo sabbioso-argilloso e argille limose, di colore grigio, di origine marina, con presenza di piccole conchiglie (formazione pleistocenica di Monte Mario). Consistenza elevata.

3.2 *Le indagini geofisiche: prova Down-hole*

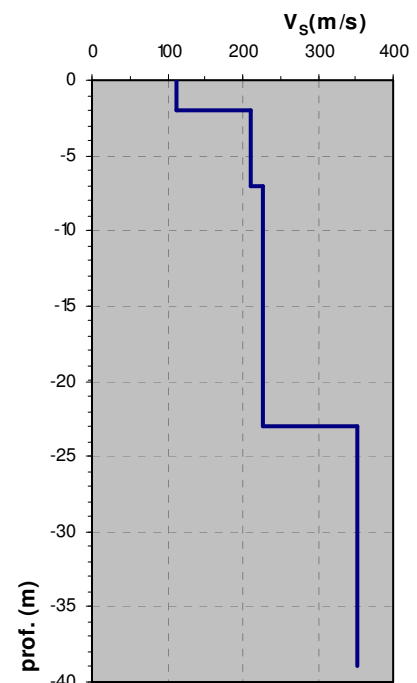
In considerazione della necessità di produrre uno studio di RSL e per ottenere dati di sicura affidabilità geofisica ed informazioni certe e maggiormente dettagliate, dal punto di vista geologico-stratigrafico e geotecnico, è stata realizzata, all'interno del sondaggio descritto al paragrafo precedente una prova Down-hole.

Il profilo delle onde Vs ricavato dalla prova DH mette in evidenza la presenza di uno strato superficiale, spesso circa 2 metri, costituito da materiale di riporto e/o rimaneggiato, caratterizzato da una bassa velocità delle onde S pari a 111 m/s. Al di sotto di questo sono presenti limi argillosi, di spessore pari a circa 5.5m, con velocità media pari a 211 m/s; in corrispondenza del passaggio stratigrafico posto a 7.5m il profilo delle velocità della onde S aumenta leggermente e rimanendo pressoché costante fino alla profondità di 23 m dal p.c. con un valore di 226 m/s. Infine, al di sotto dei 23 m dal p.c., si evidenzia un netto aumento con Vs=352 m/s in corrispondenza dello strato di limo sabbioso di consistenza elevata; in ogni caso quest'ultimo valore risulta comunque piuttosto contenuto.

L'interpretazione sismostratigrafica risulta evidente dall'analisi delle dromocrone delle onde S, mostrate nella figura che segue. In

relazione alle onde P, si segnala un andamento con la profondità coerente con il profilo Vs, e con valori massimo che raggiungono i 1740 m/s.

La V_{s30} (velocità media pesata nei primi 30 m di profondità) è pari a 227 m/s.



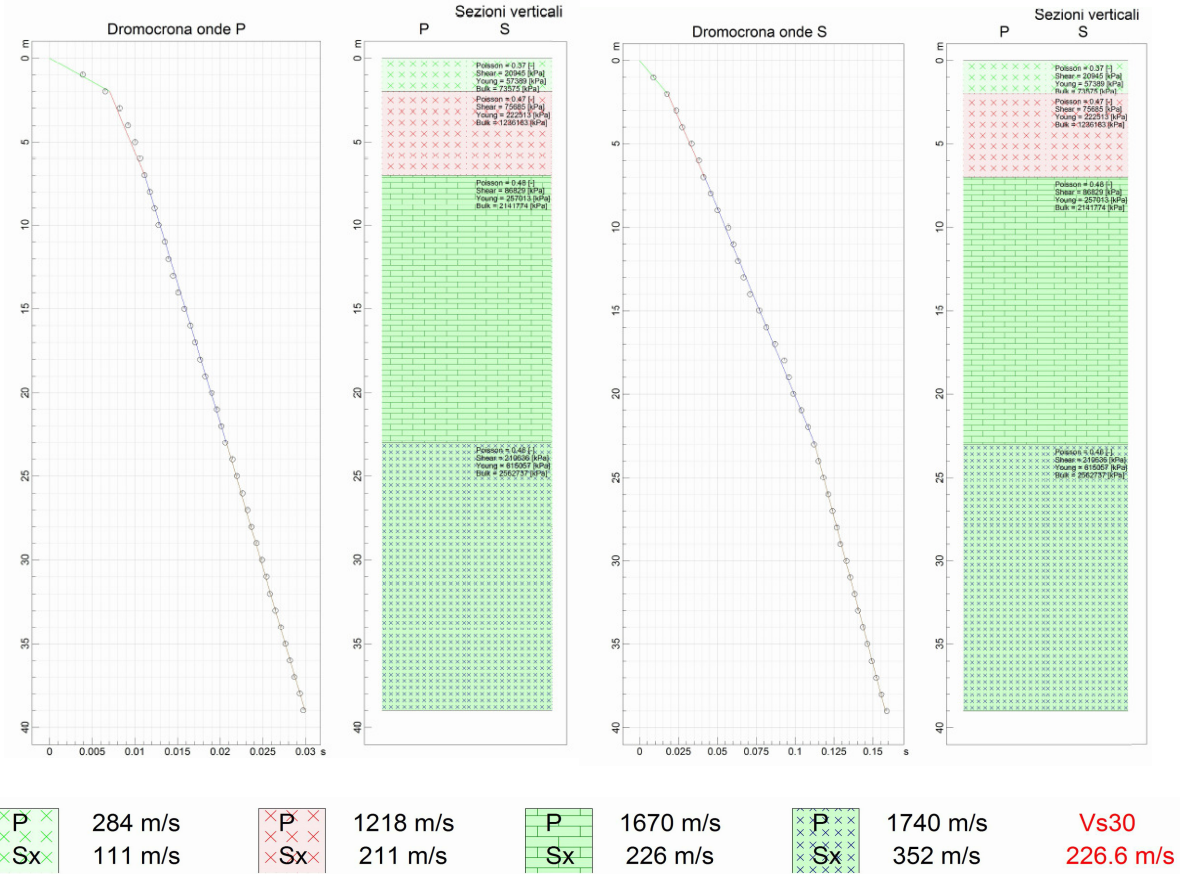


Figura 7: Dromocrona onde P e S ottenute dalla prova DH

Nella tabella che segue si riportano i valori ottenuti dalla prova.

PARAMETRI ONDE S						
Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]	Poisson σ	Taglio - μ [kPa]	Young - E [kPa]	Bulk - $1/\beta$ [kPa]
1	2	111	0.37	20945.0	57389.0	73575.0
2	7	211	0.47	75685.0	222513.0	1236183.0
3	23	226	0.48	86829.0	257013.0	2141773.0
4	39	352	0.46	210636.0	615057.0	2562738.0

VELOCITA' MEDIE VS30	
Geofono	VS30 [m/s]
orizzontale S	226.6

3.3 Le indagini geofisiche: prove con dilatometro sismico (SDMT)

La quota assoluta del terreno nelle varie ubicazioni di prova con dilatometro sismico è riportata nella seguente tabella.

Prova	Quota s.l.m.
SDMT 3	22.80
SDMT 3b	23.30
SDMT 4	23.40

Dalle tre prove dilatometriche sismiche si sono ottenuti profili di velocità delle onde di taglio del tutto analoghi e quello della prova downhole (il diverso andamento del grafico dipende solo dal tipo di elaborazione dei dati). Anche nelle tre prove dilatometriche sismiche si individua un primo strato, fino a circa 20m di profondità, caratterizzato da velocità intorno a 200 m/s, e uno strato profondo con velocità 300-350 m/s. Anche in queste prove la V_{S30} è circa 230 m/s.

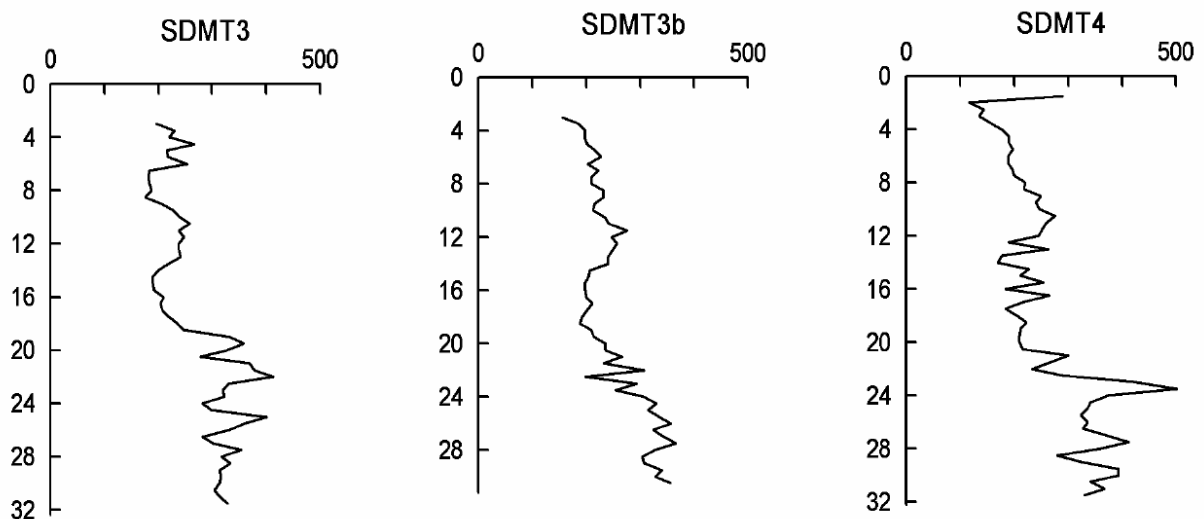


Figura 8: Profilo delle velocità delle onde di taglio V_s (m/s)

3.4 Analisi sismologica d'insieme

Per quello che riguarda l'analisi sismologica d'insieme, l'interpretazione congiunta delle prove SDMT, dei profili geoelettrici e della prova DH non permette di posizionare con precisione del sottosuolo dell'area in esame il bedrock sismico; nessuna delle tre tipologie di prova infatti ha intercettato una formazione caratterizzata da valori di V_s superiori a 800 m/s.

Utilizzando le informazioni a disposizione e quelle contenute nello studio di MS di Livello 1 (vedi capitolo 1), dal punto di vista geologico il substrato sismico può essere collocato a profondità molto elevate, dell'ordine di 80÷100m dal p.c., ipotizzando una continuità, sino a tale profondità, dello strato pleistocenico intercettato a partire dai 23m dal p.c..

3.5 Classificazione dei terreni in termini di $V_{s,30}$

Utilizzando i dati della prova DH viene confermato quanto indicato dalle prove eseguite con dilatometro sismico (SDMT): il valore delle $V_{s,30}$ può essere assunto pari a 227 m/s, che consente di attribuire al sito la categoria di **suolo C**, ai sensi delle NTC08, come evidenziato nella sottostante tabella.

Classificazione del tipo di suolo secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni - NTC 14/01/2008		
Suolo	Descrizione geotecnica	$V_{s,30}$ (m/s)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m	>800
B	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	360÷800
C	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	180÷360
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<180
E	Terreni dei sottosuoli tipo C e D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_{s>800}$ m/s)	
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche	<100
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti	

3.6 Modello sismo stratigrafico per l'analisi di RSL

Il modello sismo-stratigrafico adottato nell'analisi di RSL e in particolare per l'utilizzo del codice di calcolo *Strata*, è quello riportato al paragrafo 3.2.

Per tenere conto della profondità di fondazione del corpo della diga e del manufatto di resistuzione, pari a circa 2.0 metri dal p.c., nella implementazione del modello geologico all'interno del codice di calcolo per la simulazione monodimensionale "*Strata*", è stato eliminato lo strato superficiale di riporto riscontrato nel sondaggio meccanico, pertanto lo schema sismostratigrafico inserito nel codice di calcolo è il seguente.

Tabella 5: Sintesi della sismo stratigrafia adottata

Unità	Profondità	Descrizione	Peso di volume	Vs
Primo livello	0 ÷ 5 m dal p.c.	Limo argilloso	18 kN/m ³	211 m/s
Secondo livello	5 ÷ 21 m dal p.c.	Limo argilloso	18 kN/m ³	226 m/s
Terzo livello	21 ÷ 100 m dal p.c.	Argille limose e limo sabbioso-argilloso	19.5 kN/m ³	352 m/s
BEDROCK SISMICO	> 100 metri dal p.c.	-	21.5 kN/m ³	900 m/s

4 RISPOSTA SISMICA LOCALE SUL MODELLO GEOLOGICO ADOTTATO

La valutazione della Risposta Sismica Locale (RSL) è stata effettuata a partire dal modello geologico sopra sintetizzato (per maggiori dettagli si rimanda alla Relazione Geologica).

Seguendo uno schema logico consolidato, la procedura per la valutazione della RSL è stata articolata nei seguenti passi:

1. Selezione degli accelerogrammi;
2. Modello geologico-tecnico e geofisico (paragrafo precedente);
3. Analisi numeriche;
4. Analisi dei risultati e determinazione dell'azione di verifica.

4.1 Selezione degli accelerogrammi

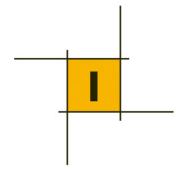
Gli accelerogrammi per il calcolo della RSL sono stati selezionati confrontando la media del loro spettro di risposta con lo spettro a probabilità uniforme determinato in precedenza.

Le analisi di RSL sono state effettuate per azioni corrispondenti ai periodi di ritorno di $T_R = 90, 151, 1424, 2475$ anni corrispondenti agli stati limite SLO, SLD, SLV, SLC. Per ogni periodo di ritorno sono stati selezionati 5 set di 7 accelerogrammi naturali spettrocompatibili ciascuno, con la procedura di seguito descritta.

Non è stato possibile utilizzare gli accelerogrammi resi disponibili dalla Regione Lazio sul sito istituzionale (http://www.regione.lazio.it/rl_ambiente/?vw=contenutiDettaglio&id=24) in quanto gli stessi sono riferiti unicamente al periodo di ritorno $T_R=475$ anni, troppo distante per eccesso o per difetto, quindi, dai T_R ricavati per il sito in oggetto, per la strategia dell'opera e per gli stati limite sopra indicati.

La selezione degli accelerogrammi naturali e spettro-compatibili è stata, pertanto, eseguita attraverso l'utilizzo del codice di calcolo **REXEL (v. 3.5)** redatto da **Iunio Iervolino, Carmine Galasso & Eugenio Chioccarelli (2008-2013), Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II di Napoli** [Iervolino I., Galasso C., Cosenza E. (2010). *REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis. Bulletin of Earthquake Engineering*, 8:339-362].

Il software REXEL v 3.5 permette la ricerca di combinazioni di accelerogrammi naturali compatibili con gli spettri delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC - CS.LL.PP, 2008), dell'Eurocodice 8 (EC8 – CEN, 2003), dell'ASCE/SEI 7-10 (ASCE, 2010) o completamente definiti dall'utente; le combinazioni trovate possono anche rispecchiare caratteristiche di sorgente di interesse. I database inclusi nel software sono lo **European Strong-motion Database (ESD)**, (aggiornato a luglio 2007) scaricabile dal sito internet <http://www.isesd.cv.ic.ac.uk>, **l'Italian Accelerometric Archive (ITACA)** (aggiornato ad ottobre 2010) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), scaricabile dal sito internet <http://itaca.mi.ingv.it> e il database contenente *Selected Input Motions for displacement-Based Assessment and Design (SIMBAD v 2.0)* (aggiornato a novembre 2011) di



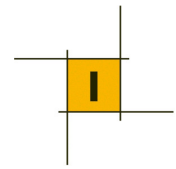
Smerzini e Paolucci (2011) sviluppato nell'ambito della Linea 1.2 (Sviluppo di approcci agli spostamenti per la valutazione della vulnerabilità), Task 1.2.1 (Principi, Aspetti Generali, Azioni) del progetto ReLUIS 2010-2013. Nei primi due casi si fa riferimento a registrazioni di terremoti con magnitudo maggiore di 4 e in condizioni di free-field. Nel caso di ITACA la classificazione del suolo secondo l'Eurocodice 8 fa riferimento ai risultati del task 2 del Progetto S4 dell'INGV <http://esse4.mi.ingv.it/> e può essere aggiornata in futuro. Il database SIMBAD fa riferimento a registrazioni di terremoti mondiali con magnitudo non minore di 5 e distanza epicentrale non maggiore di 30 km. Il software consente la ricerca dei set di accelerogrammi attraverso una procedura di disaggregazione, procedura di tipo statistico che permette di conoscere il contributo alla sismicità (hazard) di un dato sito di qualsiasi variabile del problema: in questo caso si fa riferimento alla magnitudo (M), alla distanza (R) ed alla epsilon1. Tali contributi dipendono dall'ordinata spettrale e dal valore di hazard associato al sito studiato, oppure, equivalentemente, dal periodo di ritorno considerato.

Una volta individuato il sito in esame (*coordinate Long. = 12.6069 Lat. = 41,9412*), si procede alla scelta dello spettro di riferimento, in questo caso, sulla base delle indicazioni fornite dal Committente, relativo ad una vita nominale di 100 anni e classe d'uso III. Si procede alla ricerca di spettri di accelerazione della componente orizzontale, con un criterio di disaggregazione di $S_a(T)=0$ sec per tutti gli stati limite considerati. Il prodotto della disaggregazione, indica i parametri da inserire per la ricerca nei database che variano, a secondo dello stato limite considerato, tra magnitudo compresa tra 4,5 e 7.5 e raggio di ricerca compreso tra 0 e 100 km. In considerazione della localizzazione del sito e dell'aggiornamento dei database, la ricerca è stata condotta dapprima su ITACA e, in caso di ricerca negativa, su ESD per tutti e tre i T_R ($T_R=90, 151, 1424, 2475$ anni): i risultati ottenuti hanno consentito di estrarre i set di accelerogrammi secondo la tabella sotto riportata.

SLO (Tr 90 anni)	SLD (Tr 151 anni)	SLV (Tr 1424 anni)	SLC (Tr 2475 anni)
ESD	ESD	ESD	ESD

Per quello che riguarda la scelta dei parametri di confronto con lo spettro di riferimento, si sono sempre scelti una tolleranza superiore del 30%, una tolleranza inferiore del 10% e si è individuato come porzione di confronto dello spettro quella compresa tra 0.10 e 1 secondo per tutti gli stati limite.

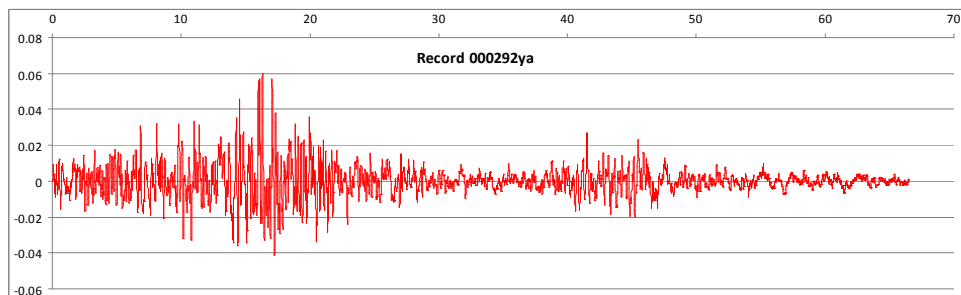
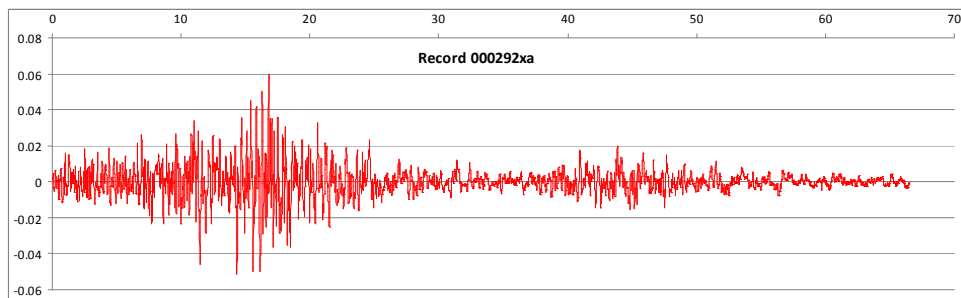
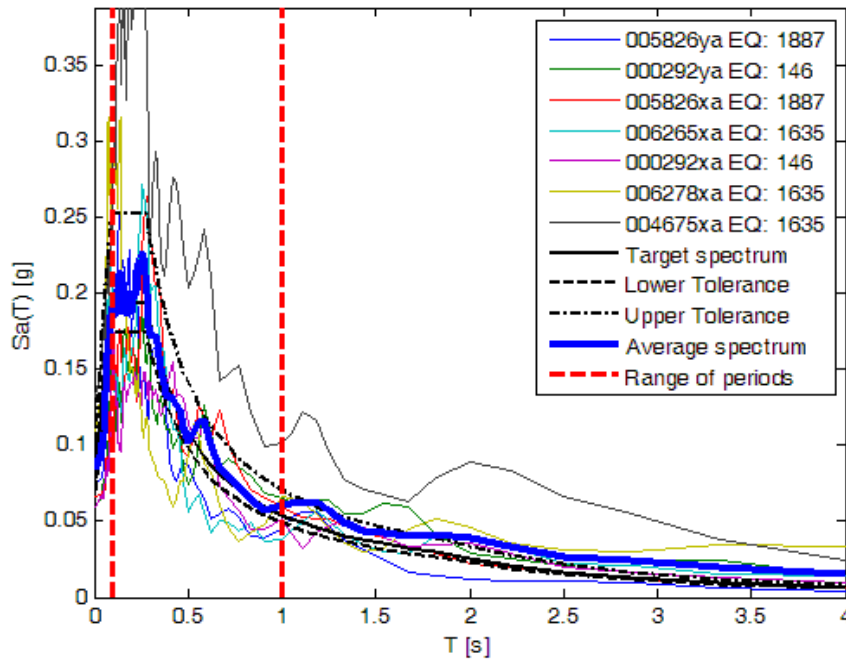
Per la scelta del set di accelerogrammi da usare (gruppo di sette da scegliere tra cinque possibilità) è stato utilizzato un criterio statistico di confrontabilità con lo spettro di norma di riferimento, unitamente a considerazioni sismologiche sulla natura del meccanismo focale confrontato con l'area in esame; in sostanza si è scelto il gruppo di accelerogrammi il cui spettro medio presentava il valore più basso di standard deviation rispetto allo spettro di riferimento, o, in altri termini, il gruppo maggiormente "spettrocompatibile" e con i meccanismi focali più simili a quello atteso per una potenziale sorgente sismo genetica nel contesto geologico analizzato.

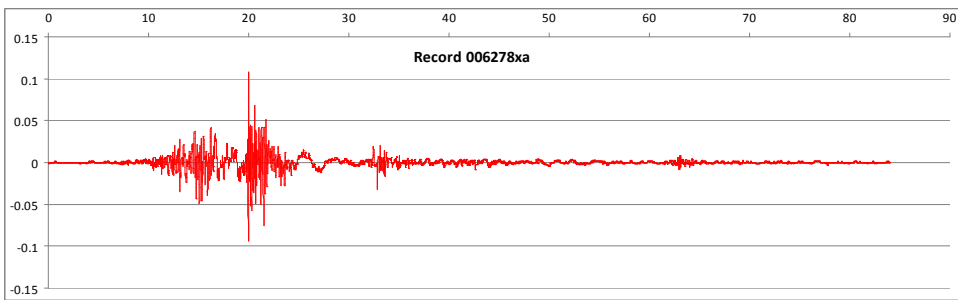
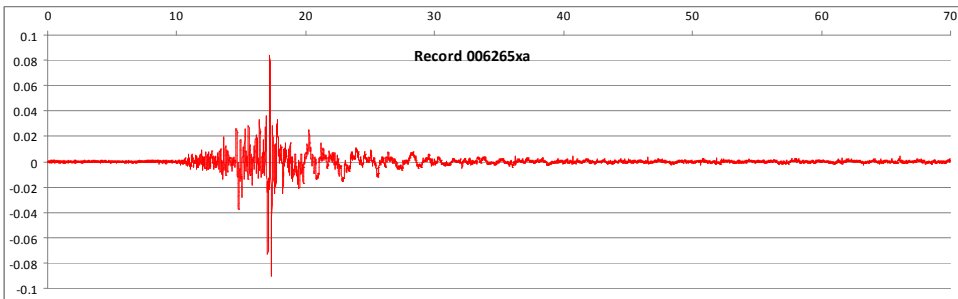
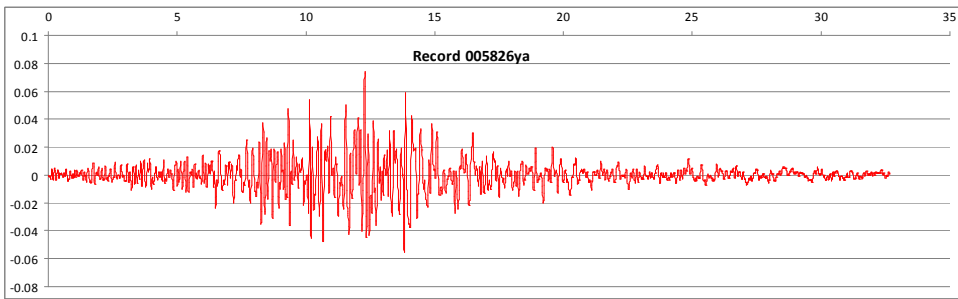
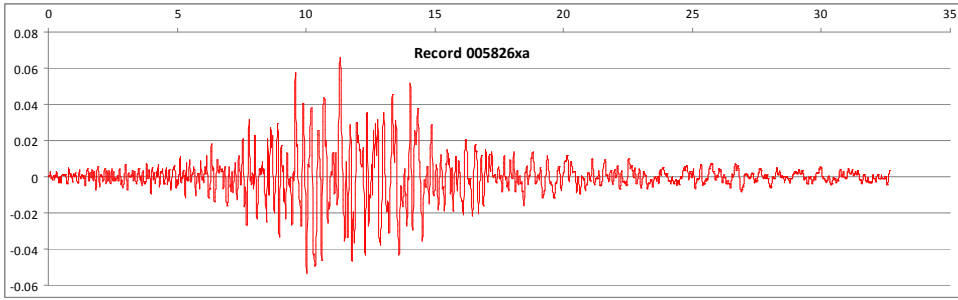
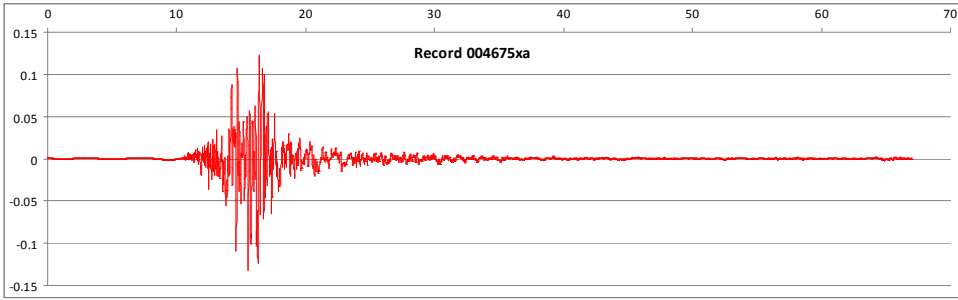
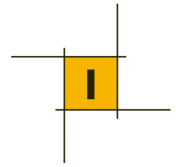


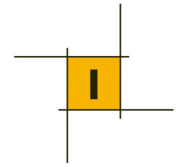
ACCELEROGRAMMA PER SLO – $T_R=90$ ANNI

Il set prescelto presenta un valore di standard deviation pari a 0.071 rispetto allo spettro di riferimento di norma. La sottostante tabella riassume gli elementi significativi del set di 7 accelerogrammi estratti per il $T_R=90$ anni da ESD, indicando anche gli eventi sismici cui si riferiscono gli accelerogrammi. Nelle sottostanti figure vengono riportati, rispettivamente, la combinazione grafica dei sette spettri e, a seguire, i sette accelerogrammi selezionati.

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s ²]	PGA_Y [m/s ²]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]	ID_X	ID_Y	Np_X	Np_Y	EC8 Site class
5826	1887	ST1323	Strofades	18/11/1997	6.60	oblique	90	0.6466	0.7234	0.0503	0.0409	12.6222	12.7445	1.0027	0.65426	A
5826	1887	ST1323	Strofades	18/11/1997	6.60	oblique	90	0.6466	0.7234	0.0503	0.0409	12.6222	12.7445	1.0027	0.65426	A
6265	1635	ST2494	South Iceland	17/06/2000	6.50	strike slip	29	0.8851	0.5617	0.0443	0.0271	5.1613	11.2584	0.87822	0.63334	A
6262	1635	ST2496	South Iceland	17/06/2000	6.50	strike slip	31	0.54	0.6615	0.0394	0.0779	8.0812	7.0761	0.6971	0.71893	A
6270	1635	ST2556	South Iceland	17/06/2000	6.50	strike slip	35	0.6535	0.5228	0.0572	0.0405	4.321	7.3743	0.64794	0.58598	A
4679	1635	ST2563	South Iceland	17/06/2000	6.50	strike slip	41	0.9304	1.0744	0.07	0.0375	8.4538	7.0069	0.70218	0.63897	A
4675	1635	ST2487	South Iceland	17/06/2000	6.50	strike slip	13	1.2916	1.5325	0.1611	0.101	4.8619	7.669	0.79499	0.70631	A
mean:					6.53		47	0.79911	0.82853	0.06751	0.05226	8.01766	9.41053	0.81797	0.65601	



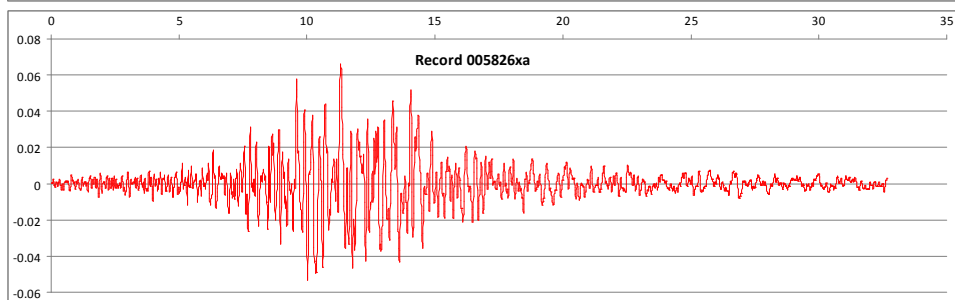
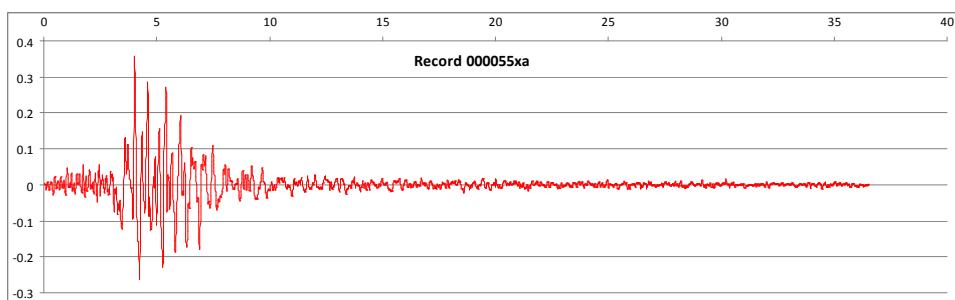
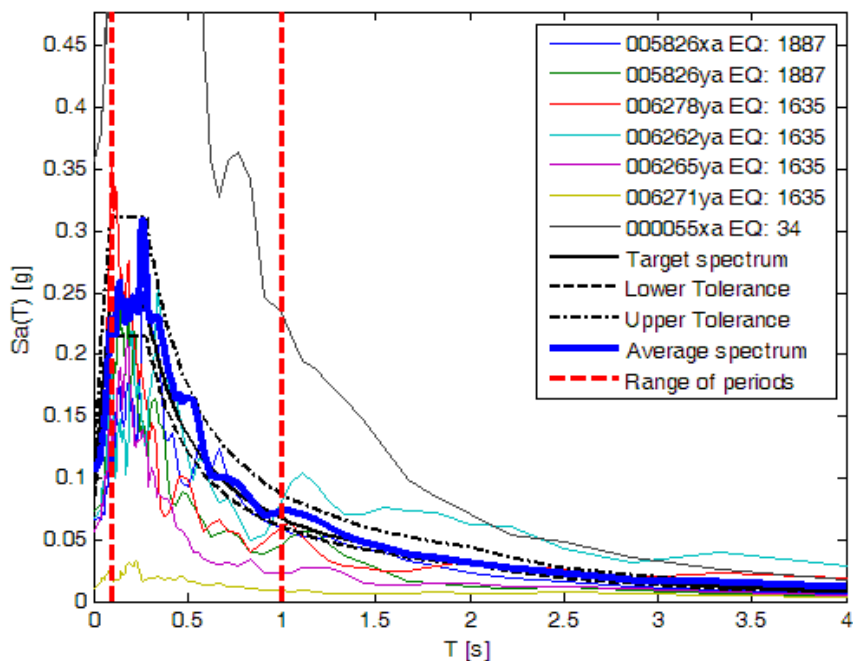


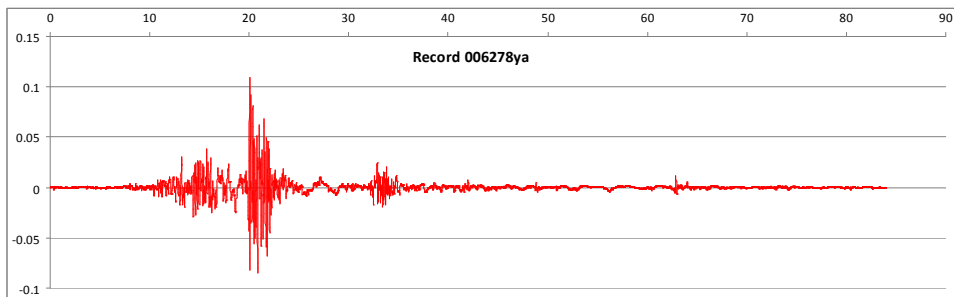
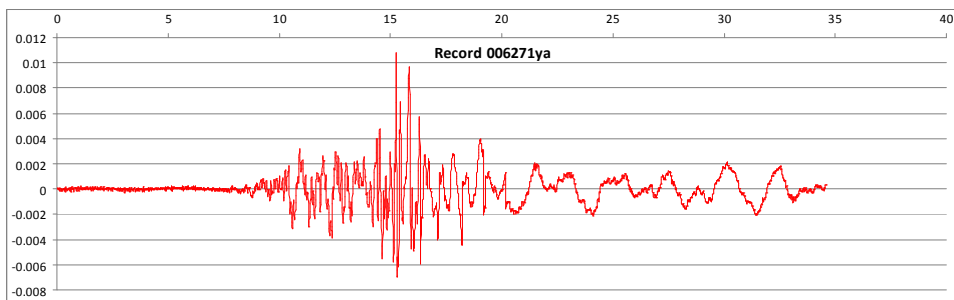
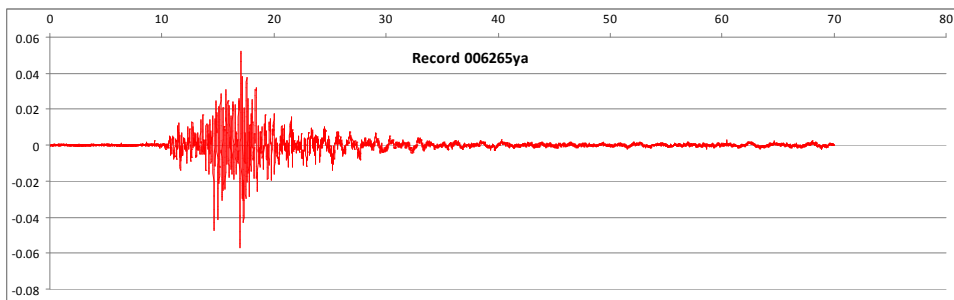
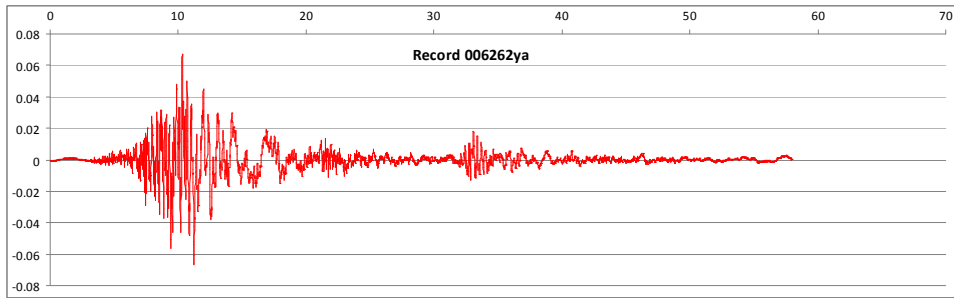
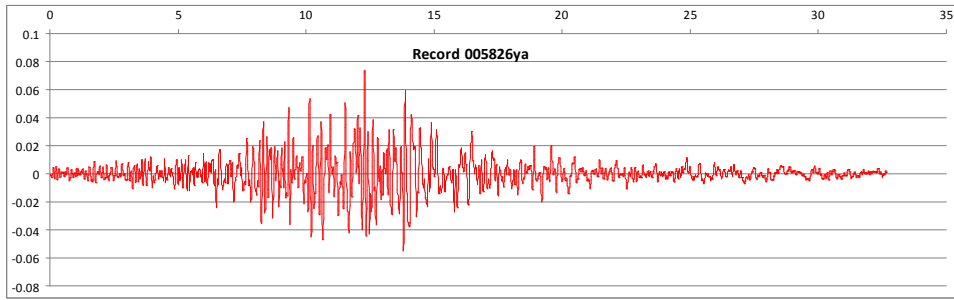
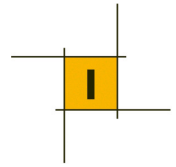


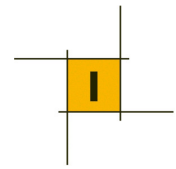
ACCELEROGRAMMA PER SLD – $T_R=151$ ANNI

Il set prescelto presenta un valore di standard deviation pari a 0.107 rispetto allo spettro di riferimento di norma. La sottostante tabella riassume gli elementi significativi del set di 7 accelerogrammi estratti per il $T_R=151$ anni da ESD, indicando anche gli eventi sismici cui si riferiscono gli accelerogrammi. Nelle sottostanti figure vengono riportati, rispettivamente, la combinazione grafica dei sette spettri e, a seguire, i sette accelerogrammi selezionati.

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s ²]	PGA_Y [m/s ²]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]	ID_X	ID_Y	Np_X	Np_Y	EC8 Site class
5826	1887	ST1323	Strofades	18/11/1997	6.6	oblique	90	0.6466	0.7234	0.0503	0.0409	12.6222	12.7445	1.0027	0.65426	A
5826	1887	ST1323	Strofades	18/11/1997	6.6	oblique	90	0.6466	0.7234	0.0503	0.0409	12.6222	12.7445	1.0027	0.65426	A
6278	1635	ST2552	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	41	1.0626	1.0704	0.0597	0.0381	6.1876	10.433	0.70278	0.62373	A
6262	1635	ST2496	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	31	0.54	0.6615	0.0394	0.0779	8.0812	7.0761	0.6971	0.71893	A
6265	1635	ST2494	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	29	0.8851	0.5617	0.0443	0.0271	5.1613	11.2594	0.87822	0.63334	A
6271	1635	ST2567	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	65	0.1111	0.1058	0.0139	0.0083	5.2216	6.6554	0.89872	0.78475	A
55	34	ST20	Friuli	06/05/1976	6.5	thrust	23	3.4985	3.0968	0.2061	0.3262	6.9175	7.2301	0.56953	0.68607	A
mean:					6.52857		52.71429	1.05579	0.99186	0.06629	0.07991	8.11623	9.73457	0.82168	0.67933	



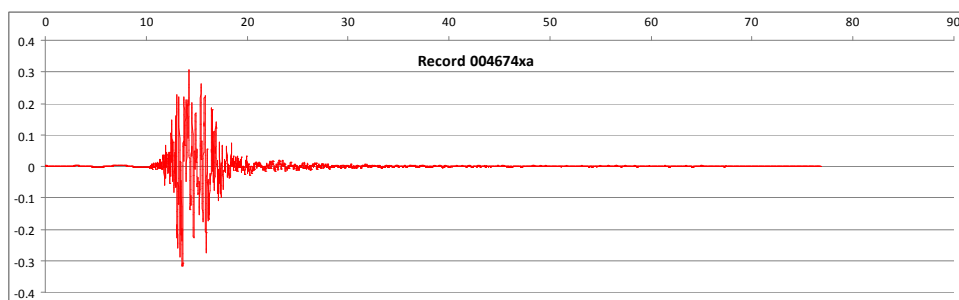
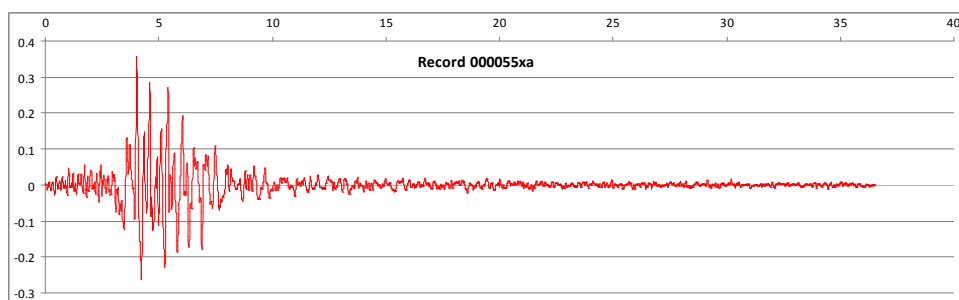
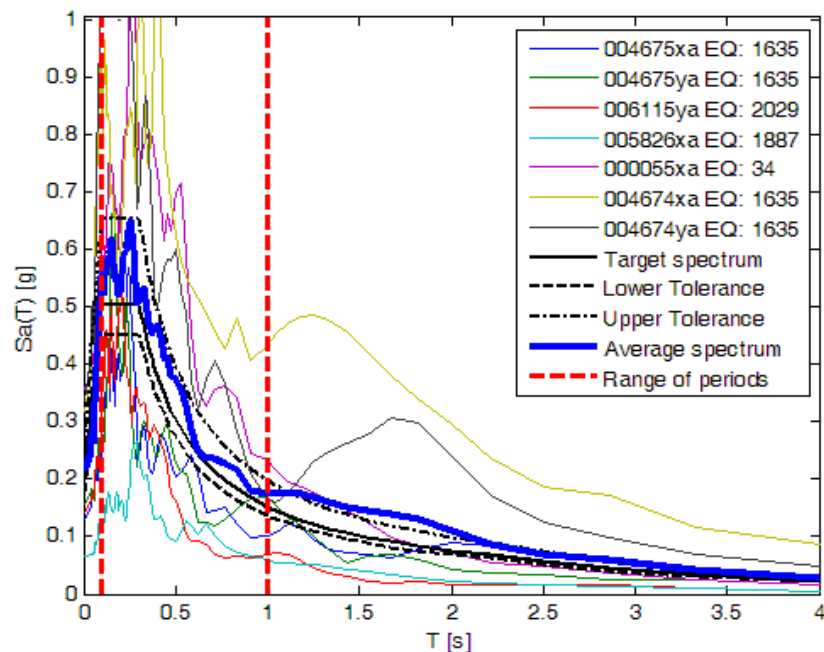


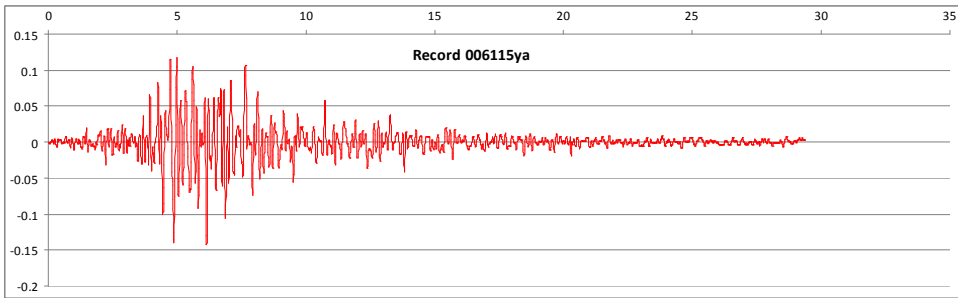
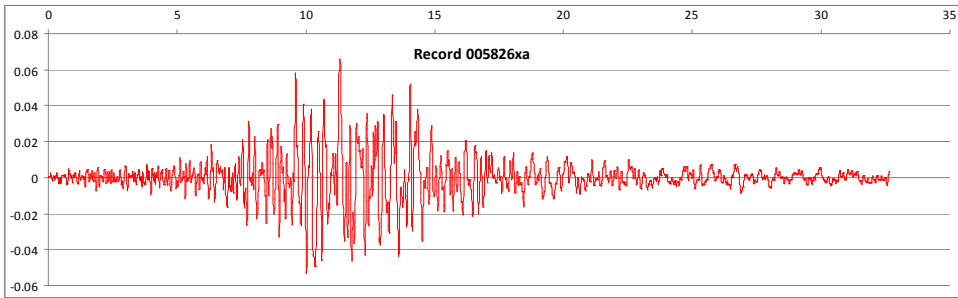
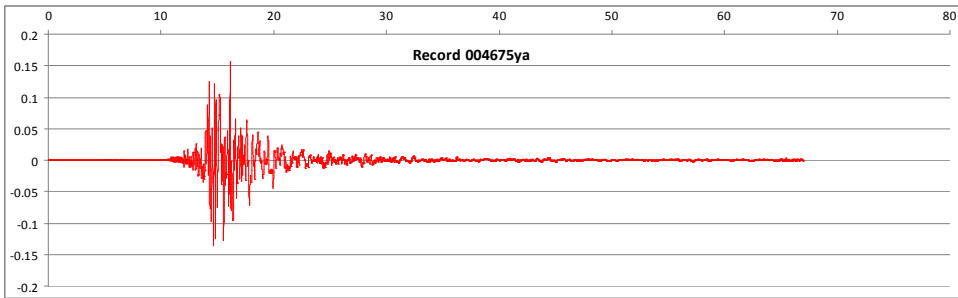
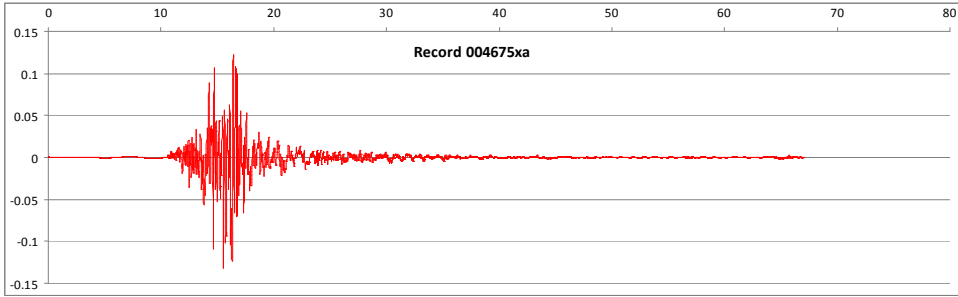
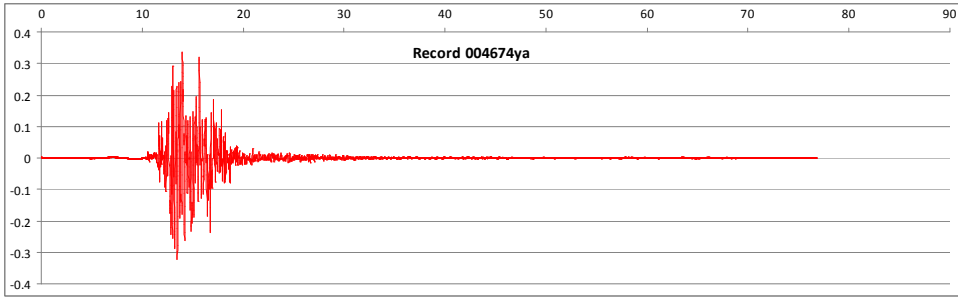
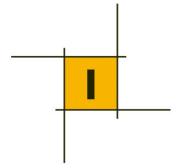


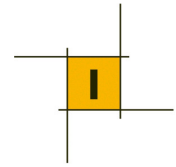
ACCELEROGRAMMA PER SLV – $T_R=1424$ ANNI

Il set prescelto presenta un valore di standard deviation pari a 0.156 rispetto allo spettro di riferimento di norma. La sottostante tabella riassume gli elementi significativi del set di 7 accelerogrammi estratti per il $T_R=1424$ anni da ESD, indicando anche gli eventi sismici cui si riferiscono gli accelerogrammi. Nelle sottostanti figure vengono riportati, rispettivamente, la combinazione grafica dei sette spettri e, a seguire, i sette accelerogrammi selezionati.

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s ²]	PGA_Y [m/s ²]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]	ID_X	ID_Y	Np_X	Np_Y	EC8 Site class
4675	1635	ST2487	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	13	1.2916	1.5325	0.1611	0.101	4.8619	7.669	0.79499	0.70631	A
4675	1635	ST2487	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	13	1.2916	1.5325	0.1611	0.101	4.8619	7.669	0.79499	0.70631	A
6115	2029	ST1320	Kozani	13/05/1995	6.5	normal	17	2.0388	1.3962	0.0854	0.0656	9.846	13.7558	0.97696	0.5284	A
6278	1635	ST2552	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	41	1.0626	1.0704	0.0597	0.0381	6.1876	10.433	0.70278	0.62373	A
55	34	ST20	Friuli	06/05/1976	6.5	thrust	23	3.4985	3.0968	0.2061	0.3262	6.9175	7.2301	0.56953	0.68607	A
4674	1635	ST2486	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	5	3.1176	3.3109	0.6122	0.2377	4.0709	9.8457	0.79545	0.58565	A
4674	1635	ST2486	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	5	3.1176	3.3109	0.6122	0.2377	4.0709	9.8457	0.79545	0.58565	A
mean:					6.50000		16.71429	2.20261	2.17860	0.27111	0.15819	5.83096	9.49261	0.77573	0.63173	



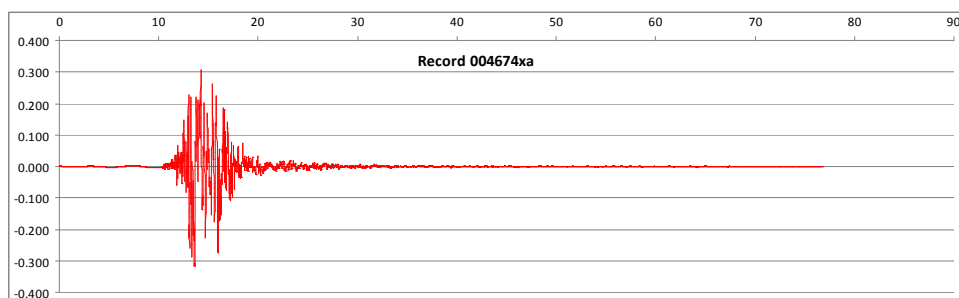
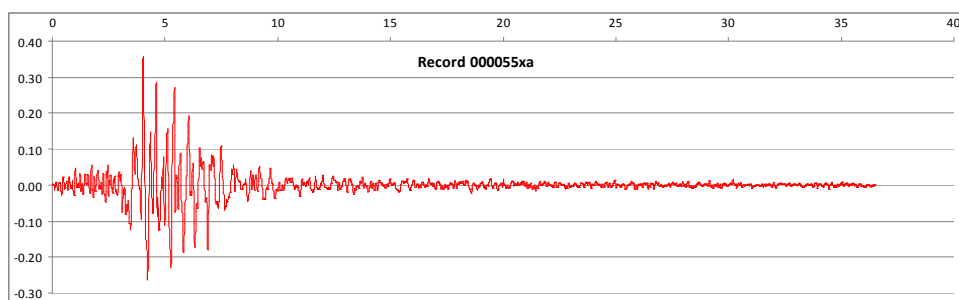
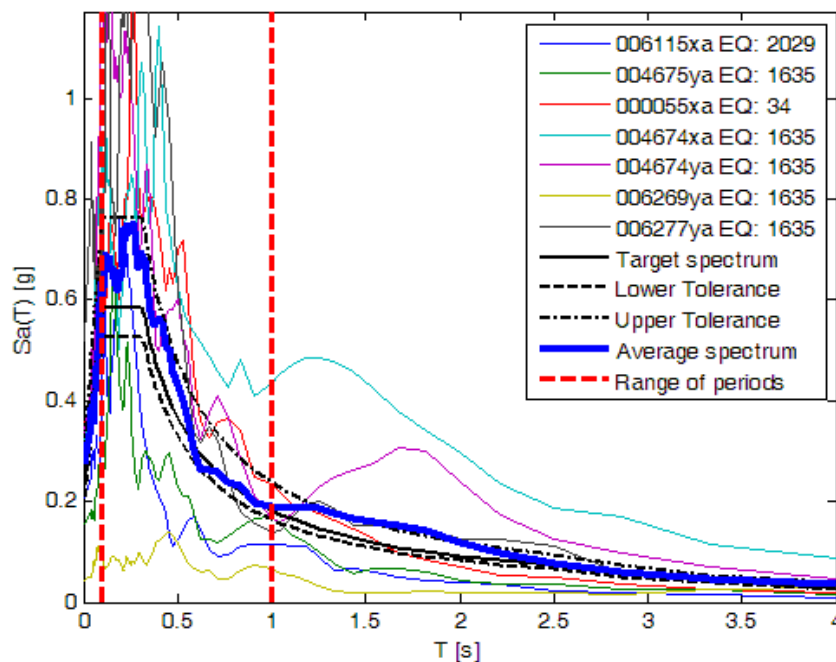


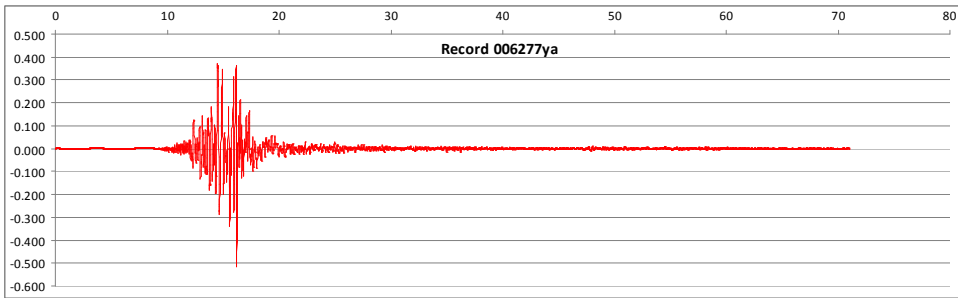
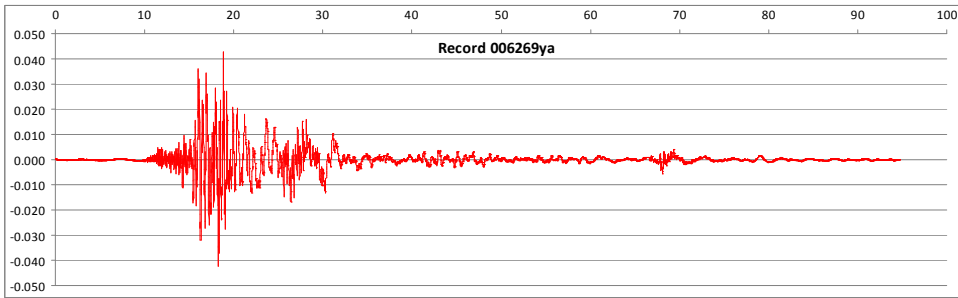
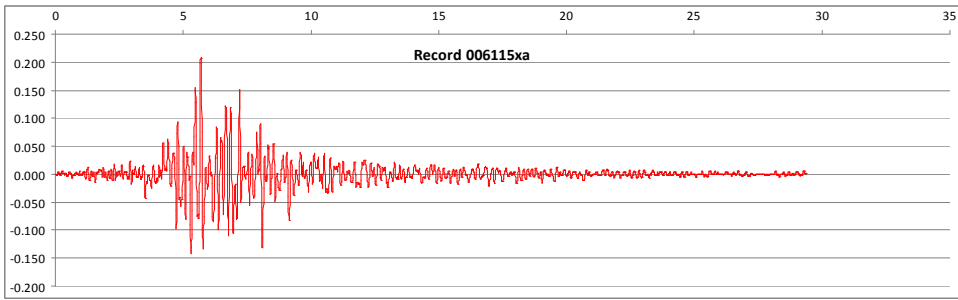
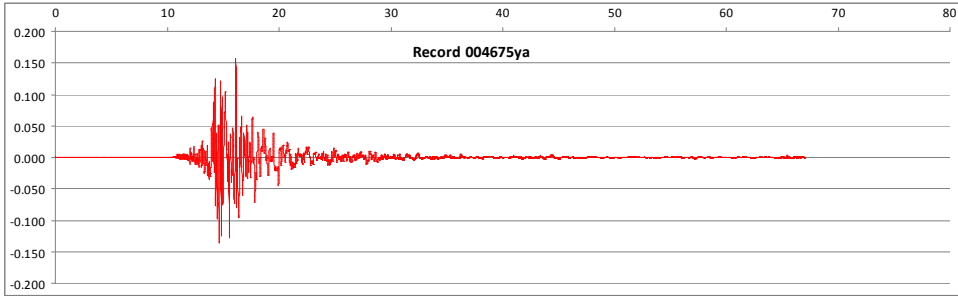
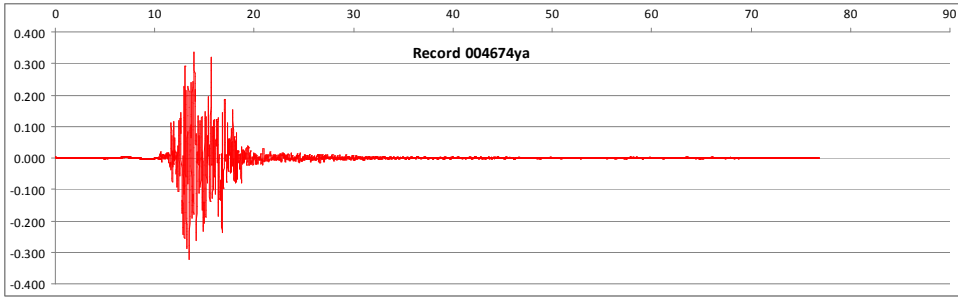
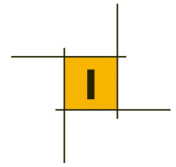


ACCELEROGRAMMA PER SLC – $T_R=2475$ ANNI

Il set prescelto presenta un valore di standard deviation pari a 0.161 rispetto allo spettro di riferimento di norma. La sottostante tabella riassume gli elementi significativi del set di 7 accelerogrammi estratti per il $T_R=2475$ anni da ESD, indicando anche gli eventi sismici cui si riferiscono gli accelerogrammi. Nelle sottostanti figure vengono riportati, rispettivamente, la combinazione grafica dei sette spettri e, a seguire, i sette accelerogrammi selezionati.

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s ²]	PGA_Y [m/s ²]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]	ID_X	ID_Y	Np_X	Np_Y	EC8 Site class
6115	2029	ST1320	Kozani	13/05/1995	6.5	normal	17	2.0388	1.3962	0.0854	0.0656	9.846	13.7558	0.97696	0.5284	A
4675	1635	ST2487	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	13	1.2916	1.5325	0.1611	0.101	4.8619	7.669	0.79499	0.70631	A
55	34	ST20	Friuli	06/05/1976	6.5	thrust	23	3.4985	3.0968	0.2061	0.3262	6.9175	7.3301	0.56953	0.68607	A
4674	1635	ST2486	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	5	3.1176	3.3109	0.6122	0.2377	4.0709	9.8457	0.79545	0.58565	A
6262	1635	ST2496	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	31	0.54	0.6615	0.0394	0.0779	8.0812	7.0761	0.6971	0.71893	A
4674	1635	ST2486	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	5	3.1176	3.3109	0.6122	0.2377	4.0709	9.8457	0.79545	0.58565	A
6277	1635	ST2558	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	15	3.5251	5.0826	0.1961	0.2381	11.8078	6.9686	0.50008	0.47771	A
mean:					6.5		15.57143	2.44703	2.62734	0.27321	0.18346	7.09374	8.91300	0.73279	0.61267	





4.2 *Analisi numeriche*

Le analisi numeriche sono state condotte con il codice di calcolo monodimensionale **STRATA** realizzato da **Albert R. Kottke e Ellen M. Rathje dell'Università del Texas e distribuito con licenza pubblica General Public License (GNU)**.

Il programma simula la propagazione in direzione verticale delle onde sismiche di taglio SH, che si irradiano da un substrato sismico, orizzontale, ed attraversano livelli litologici stratificati orizzontalmente ed a spessore costante, sino al raggiungimento della superficie. I dati di ingresso richiesti dal sopraddetto codice di calcolo sono:

- ✓ numero degli strati;
- ✓ spessore;
- ✓ densità;
- ✓ modulo di taglio massimo iniziale (G_0);
- ✓ rapporto di smorzamento iniziale (D_0);
- ✓ legge di variazione normalizzata del modulo di taglio e del rapporto di smorzamento in funzione della deformazione di taglio, profondità del bedrock sismico e sue proprietà elastiche;
- ✓ accelerogrammi di riferimento.

Per ogni accelerogramma e per ogni profilo di V_s sono stati ottenuti, come dati di uscita:

- ✓ il profilo di V_s finale;
- ✓ lo smorzamento nei vari strati del terreno;
- ✓ spostamenti ed accelerazioni nei diversi strati;
- ✓ spettri di risposta in superficie.

Per ciascuno stato limite, i set di accelerogrammi naturali sono stati scalati alla a_g corrispondente definite di seguito, conformemente a quanto previsto dal DM2008 per il sito in esame.

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	90	0.077	2.493	0.282
SLD	151	0.093	2.530	0.285
SLV	1424	0.195	2.542	0.306
SLC	2475	0.228	2.536	0.315

4.3 Analisi e valutazioni dei risultati: individuazione dell'azione di verifica

I risultati delle analisi sono stati attentamente analizzati per verificarne la loro attendibilità. In questa sede si riportano i soli spettri di risposta in superficie, per i diversi periodi di ritorno e per il profilo di suolo analizzato. Nelle successive figure vengono riportati gli spettri derivanti dall'analisi di tutti i gruppi da sette gli accelerogrammi selezionati, unitamente allo spettro medio (linea in blu continua), come da output del programma di simulazione per il tempo di ritorno pari a 90 anni (SLO), 151 anni (SLD), 1424 anni (SLV) e 2475 (SLC). A seguire, nello stesso ordine per i diversi stati limite, vengono riportati anche i grafici relativi alla funzione di trasferimento della accelerazione.

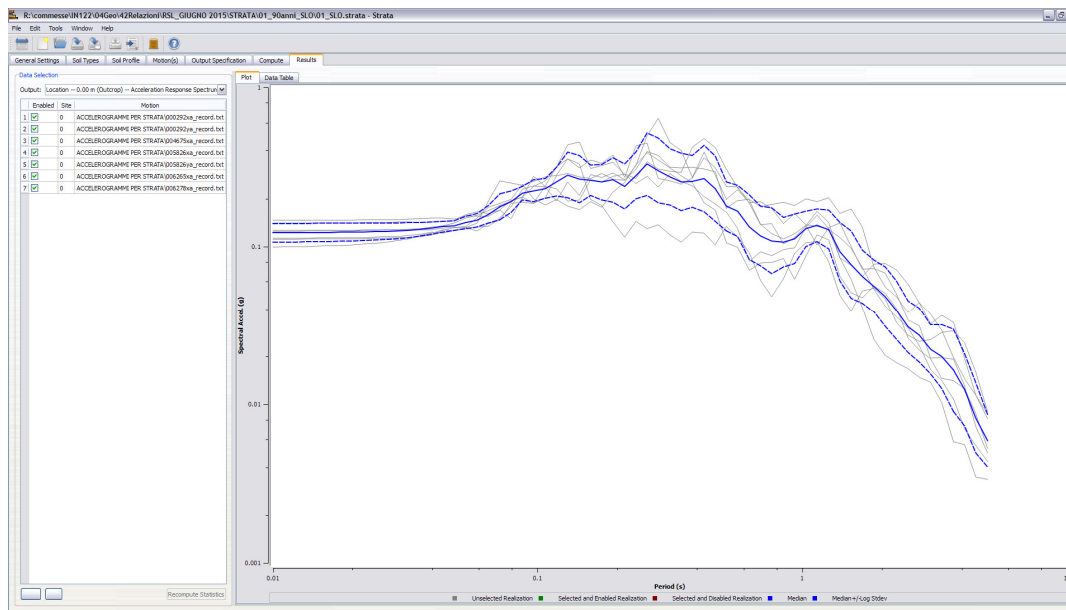


Figura 9: Acceleration response spectrum da Strata per SLO

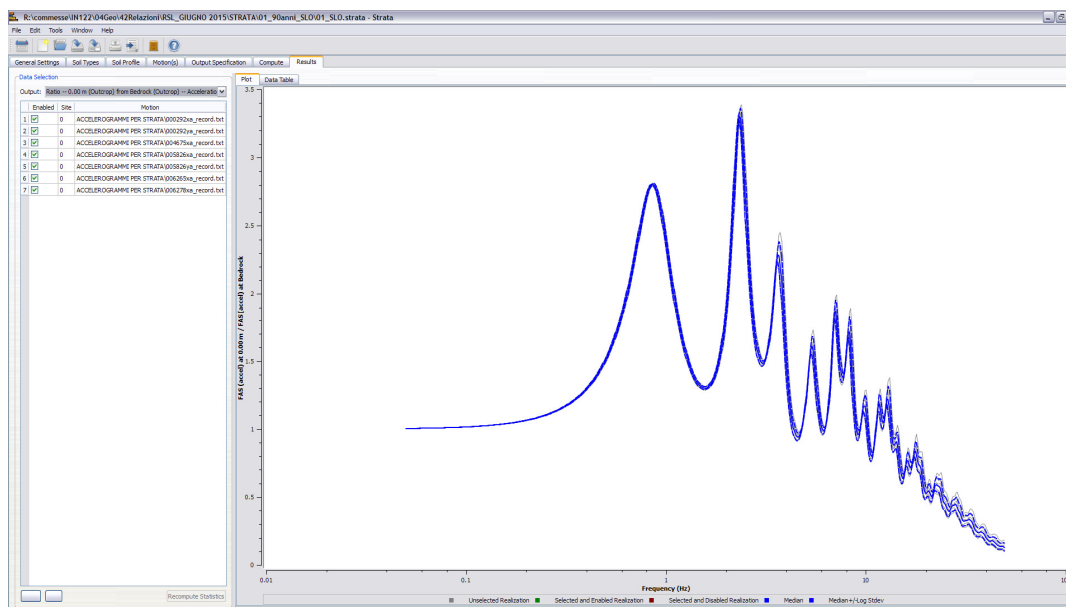


Figura 10: Acceleration transfer function da Strata per SLO

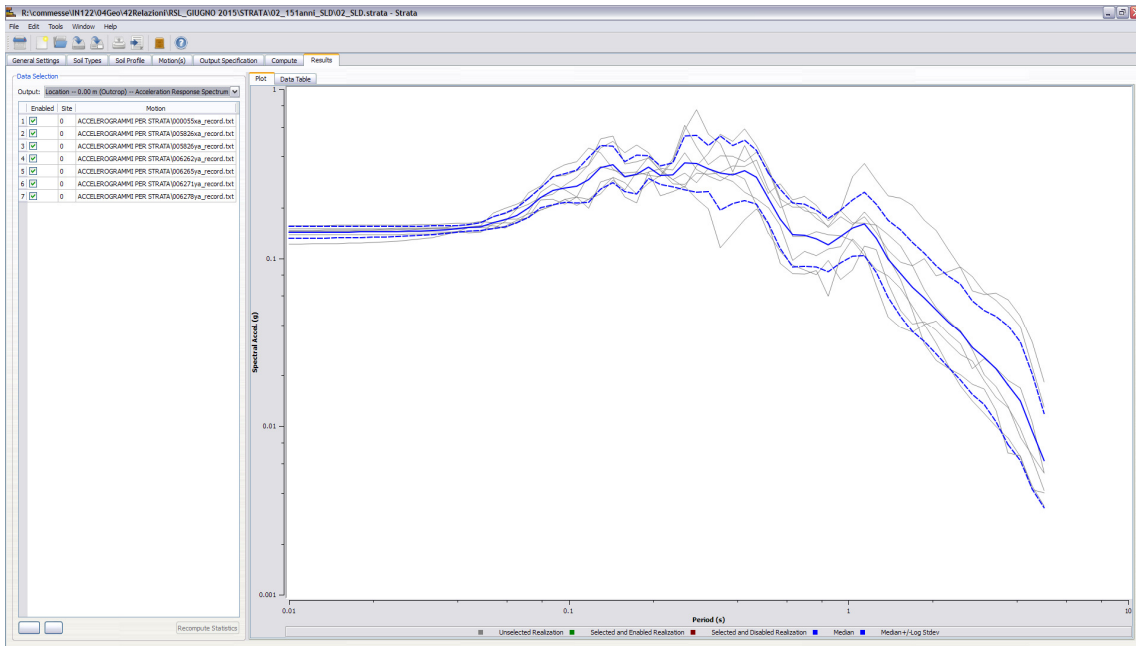
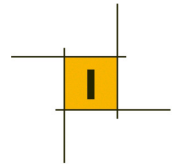


Figura 11: Acceleration response spectrum da Strata per SLD

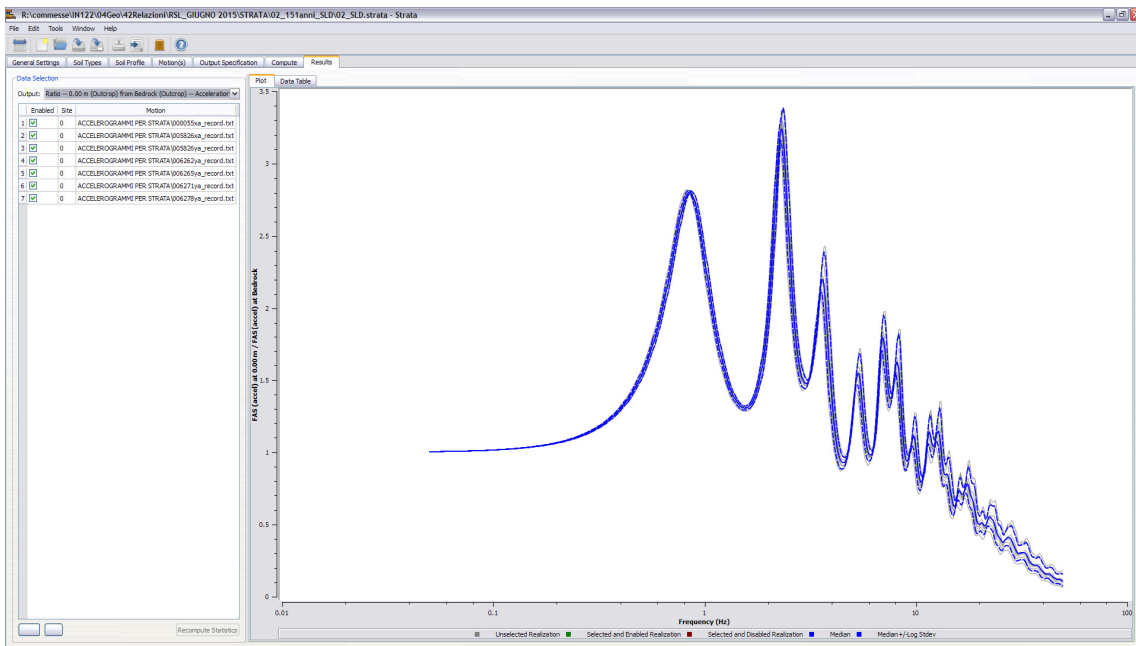


Figura 12: Acceleration transfer function da Strata per SLD

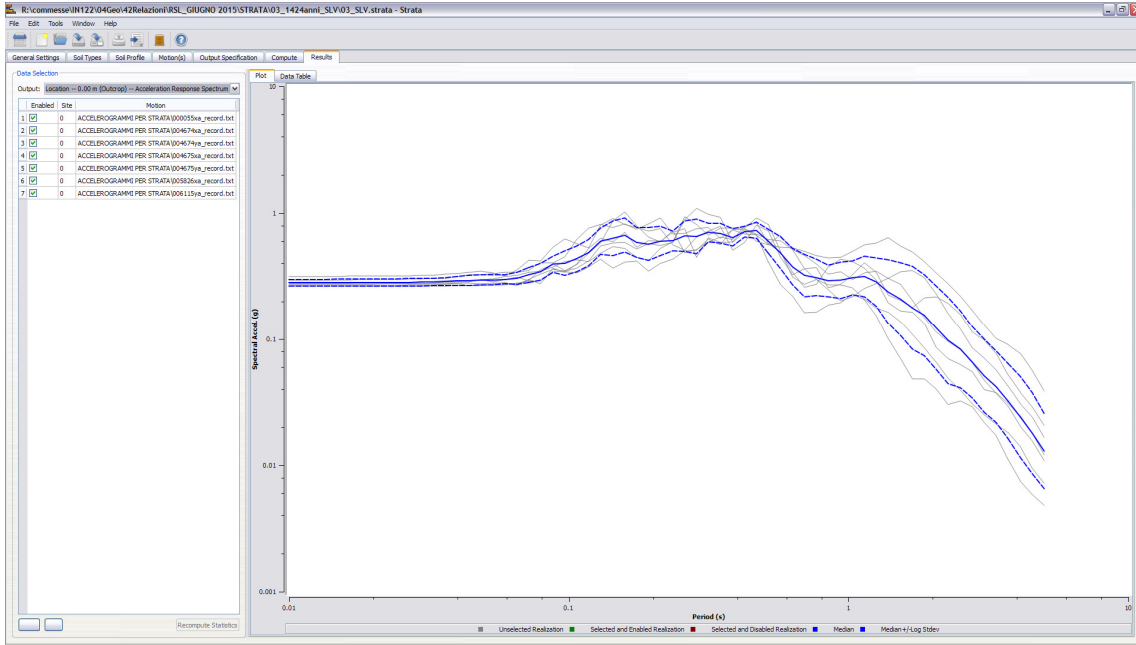
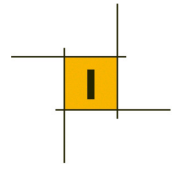


Figura 13: Acceleration response spectrum da Strata per SLV

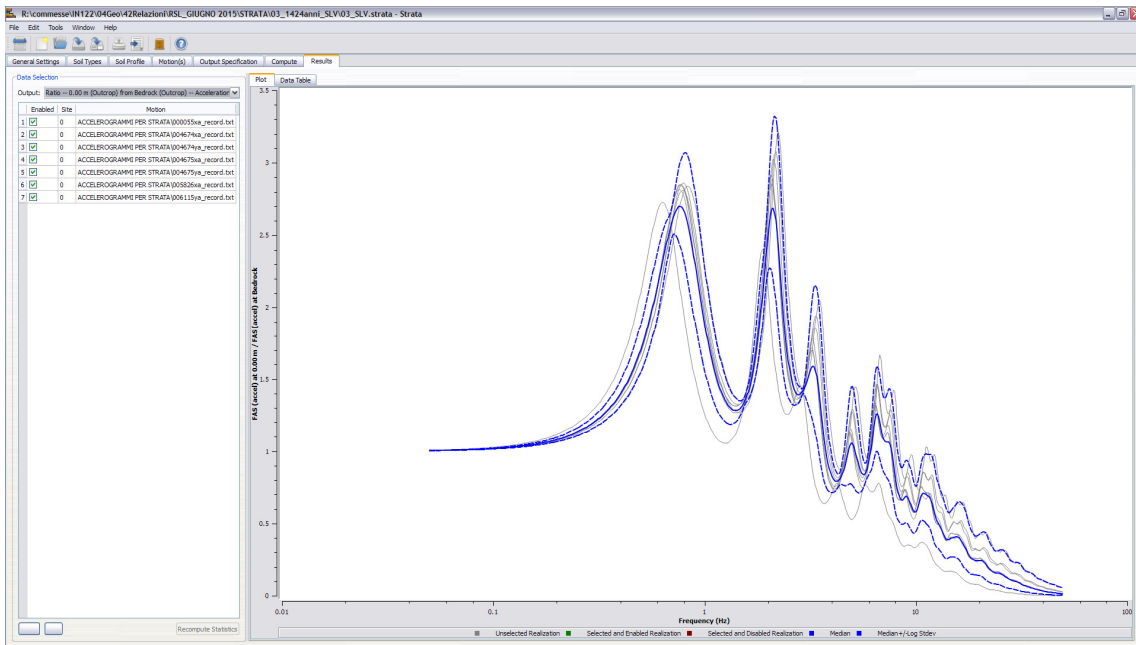


Figura 14: Acceleration transfer function da Strata per SLV

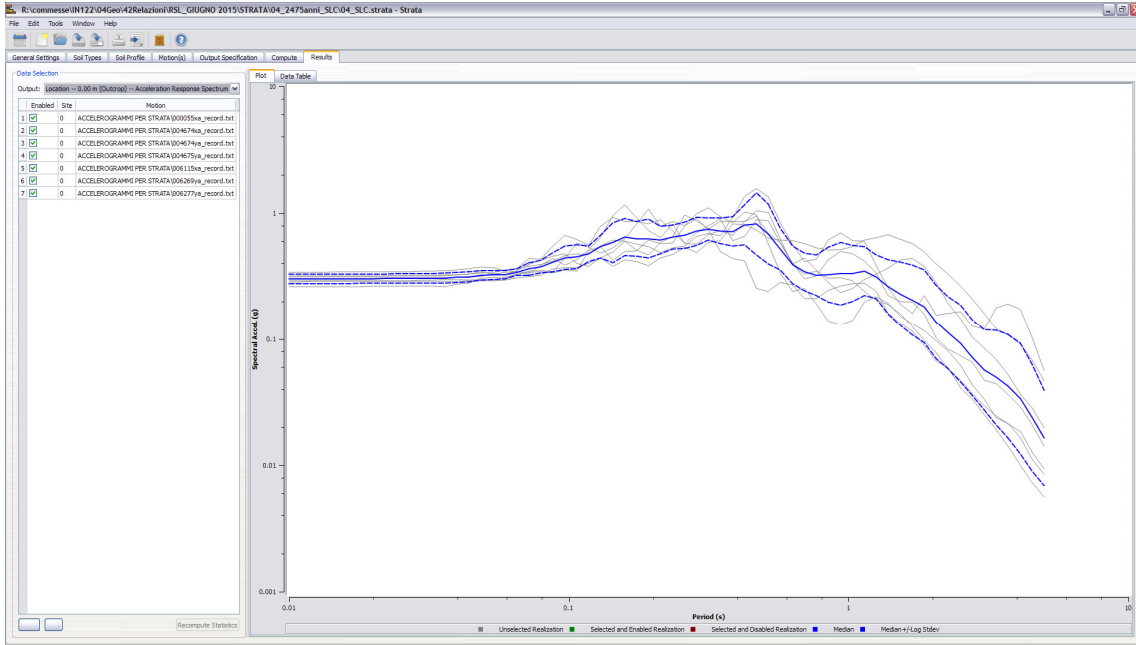
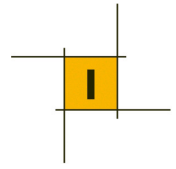


Figura 15: Acceleration response spectrum da Strata per SLC

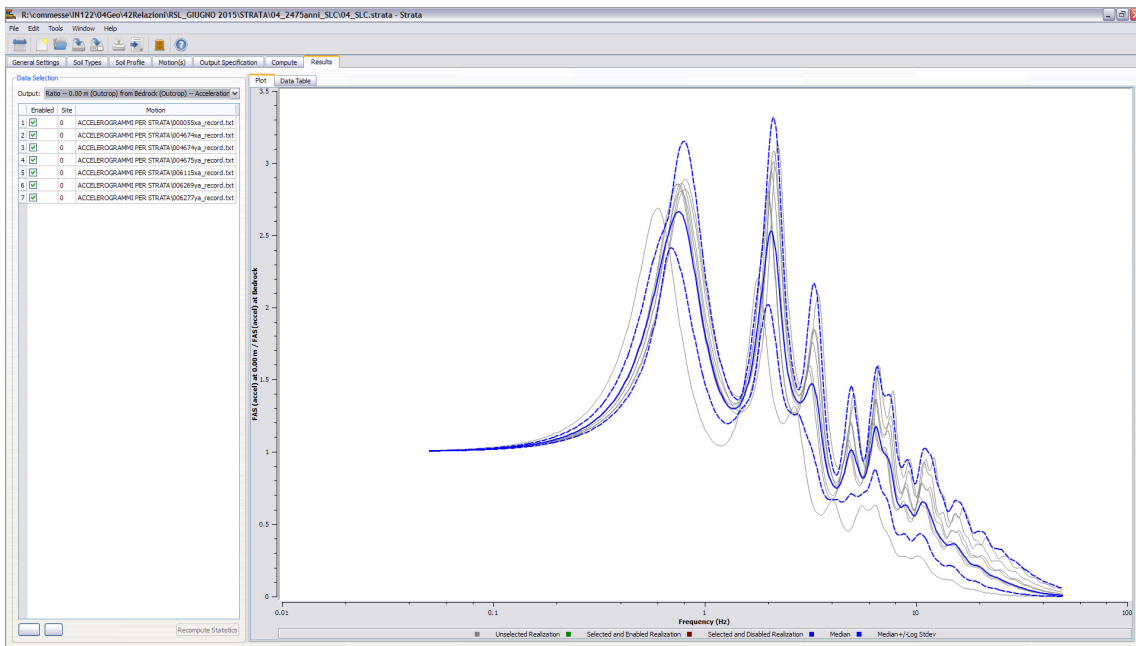


Figura 16: Acceleration transfer function da Strata per SLC

Nelle successive figure è riportato lo spettro in superficie ottenuto dall'analisi di RSL, per i quattro tempi di ritorno analizzati, confrontato con gli spettri di norma per suolo B, C e D, per i corrispondenti tempi di ritorno.

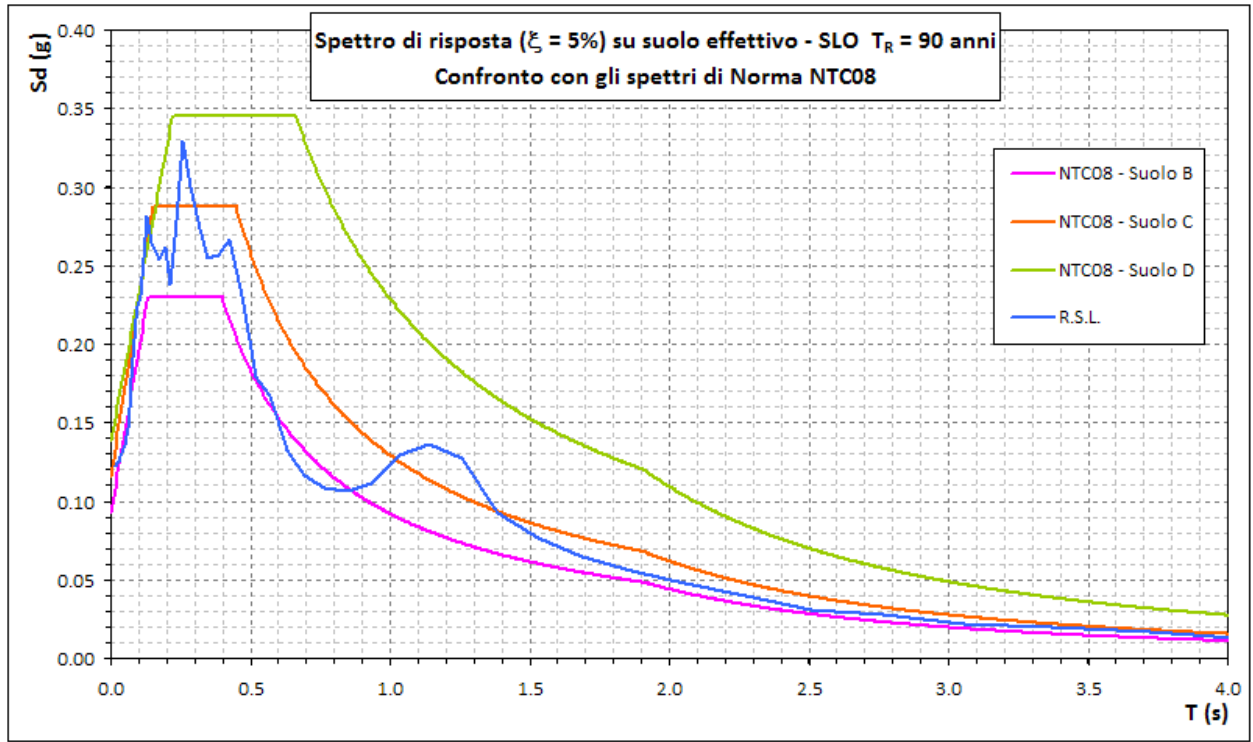


Figura 17: Confronto spettro RSL con spettri secondo NTC2008 per SLO

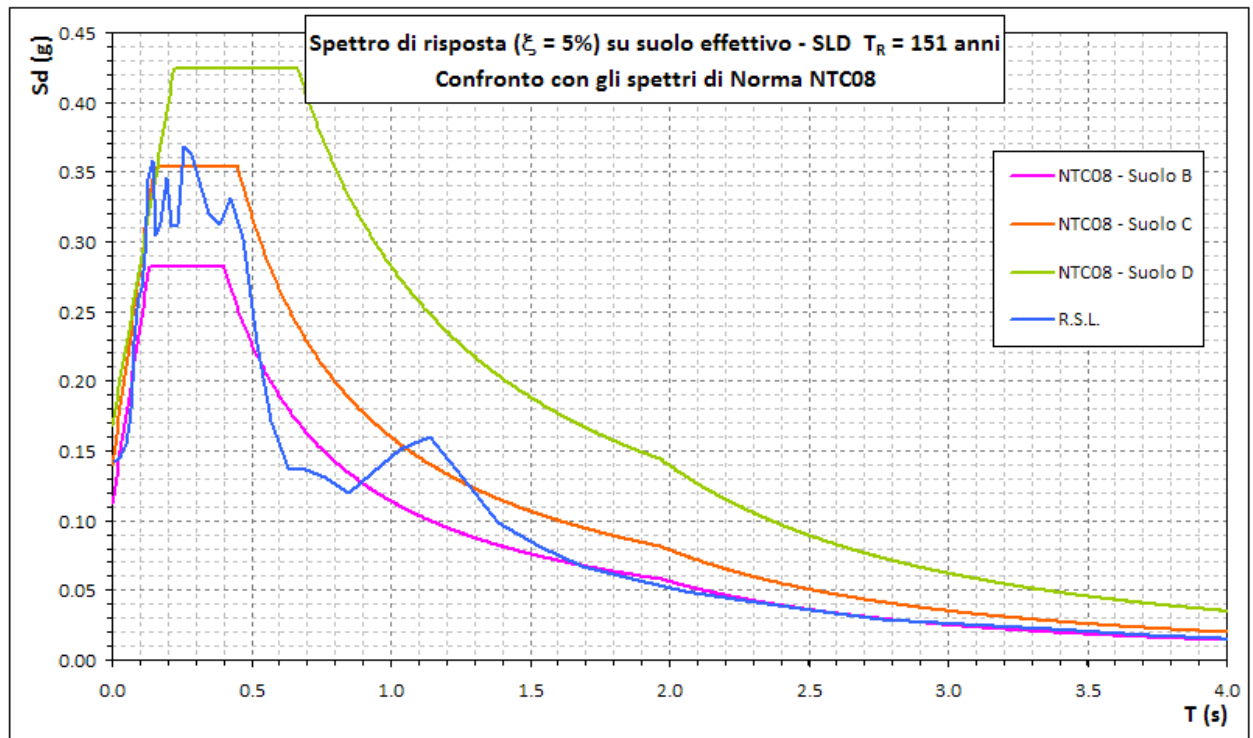


Figura 18: Confronto spettro RSL con spettri secondo NTC2008 per SLD

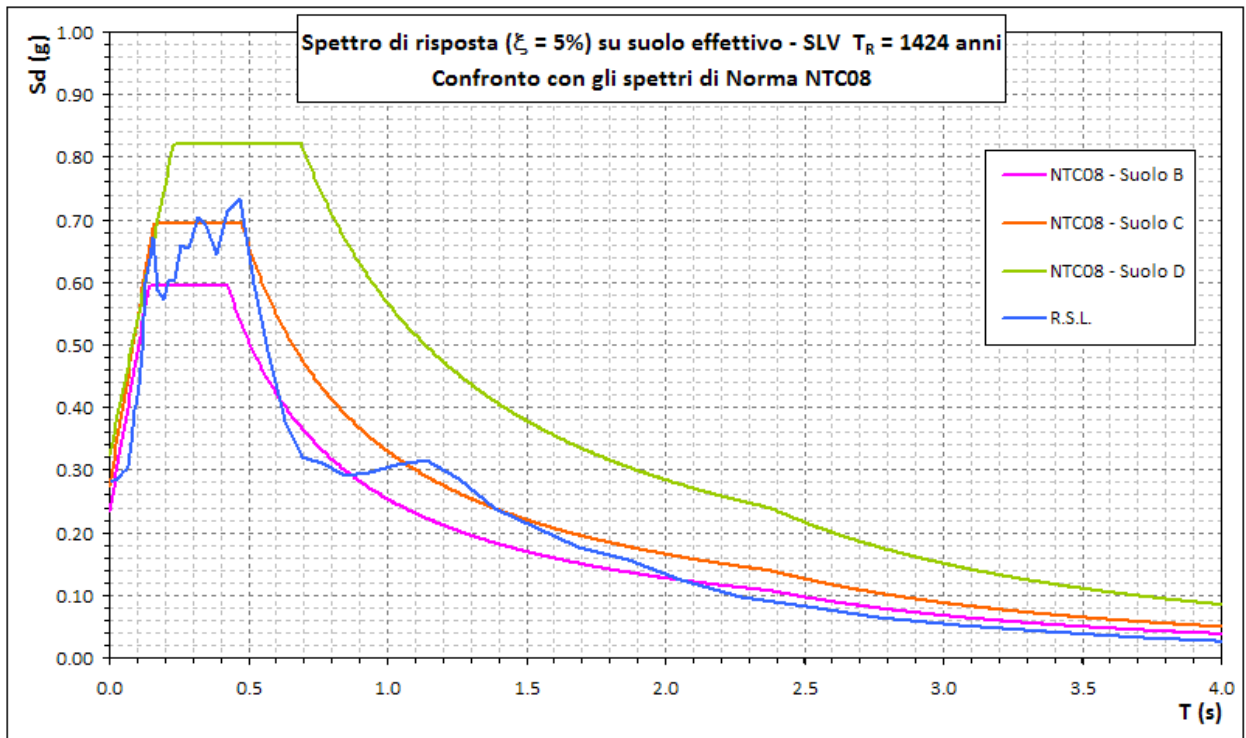
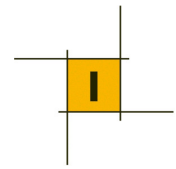


Figura 19: Confronto spettro RSL con spettri secondo NTC2008 per SLV

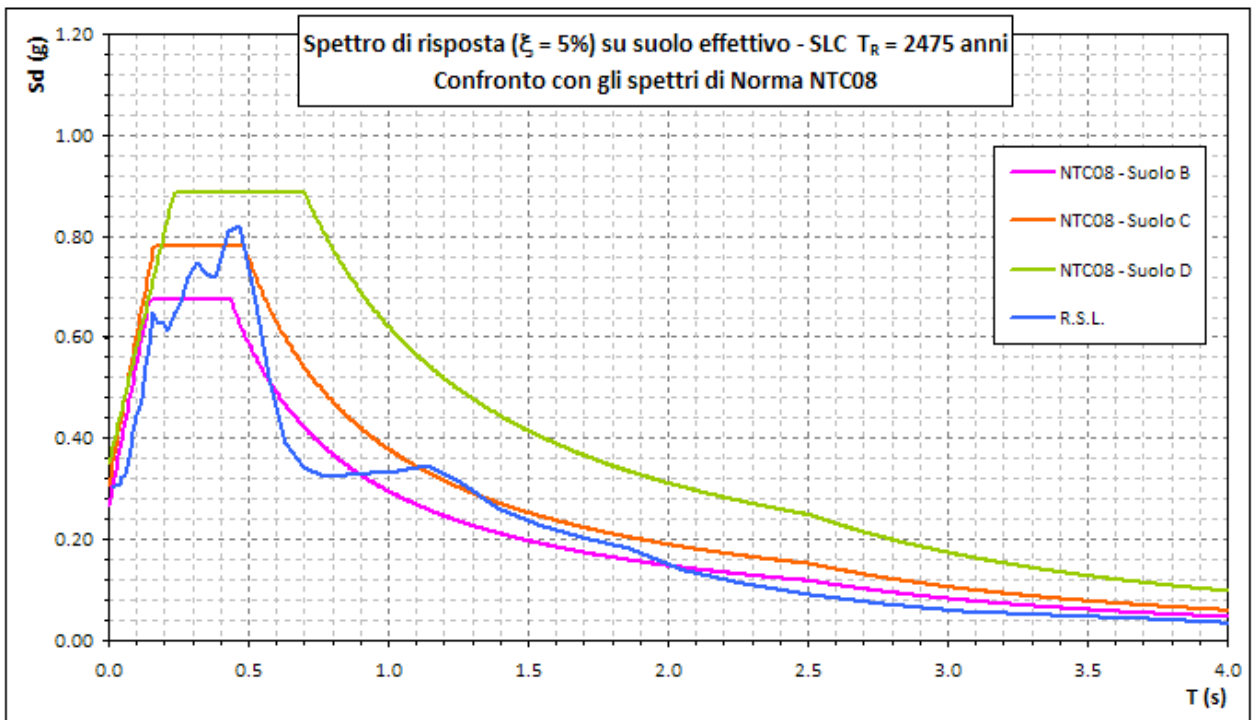


Figura 20: Confronto spettro RSL con spettri secondo NTC2008 per SLC

5 SINTESI DEI RISULTATI

E' stata determinata la pericolosità di base del sito di intervento sulla base del programma "Spettri" del Ministero delle Infrastrutture. Per i diversi stati limite analizzati, i parametri indipendenti sono riportati nella tabella successiva.

	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^* (s)
SLO	90	0.077	2.493	0.282
SLD	151	0.093	2.530	0.285
SLV	1424	0.195	2.542	0.306
SLC	2475	0.228	2.536	0.315

Le informazioni derivanti dalle indagini appositamente eseguite hanno consentito di ricostruire un modello geologico-tecnico e geofisico del sottosuolo, coerente ed attendibile. Le indagini dirette eseguite non hanno consentito di individuare e posizionare il bedrock sismico; si è quindi ipotizzato, sulla base delle informazioni geologiche e geomorfologiche del sito in esame, ad una profondità di circa 100 metri dal piano campagna. Dal punto di vista della classificazione ai sensi NTC08, il sito presenta una $V_{s,30} = 227 \text{ m/s}$, che consente di classificare il sito come **Categoria C**.

Per ognuno dei tempi di ritorno analizzati sono stati estratti 5 set da 7 accelerogrammi ciascuno, naturali e spettrocompatibili, dai database disponibili e validati (ITACA e ESD) utilizzando l'approccio della disaggregazione ed il software specialistico (Rexel).

Sono state successivamente svolte analisi di Risposta Sismica Locale con il codice di calcolo Strata, impiegando, per il profilo sismostratigrafico individuato e per ogni periodo di ritorno considerato (90, 151, 1424, 2475 anni), il set da 7 accelerogrammi naturali maggiormente spettrocompatibile; ogni singolo accelerogramma è stato infine scalato ad a_g . Per ognuno dei precedenti casi è stato considerato uno spettro di risposta in superficie come media degli spettri ottenuti dai singoli accelerogrammi.

Le analisi condotte hanno dimostrato che lo spettro di risposta ricavato con lo studio di RSL è di fatto molto simile a quello di normativa per un suolo di categoria C. Per lo stato limite di collasso, SLC, che maggiormente interessa l'opera, si evince che lo spettro del suolo C (adottato in progetto) involuppa quasi sempre quello di RSL (a parte un picco che ricade su periodi di non interesse per l'opera in esame).

Per quanto riguarda le accelerazioni a periodo nullo ($T=0$), che sono quelle che interessano per il dimensionamento delle opere, risultano (per SLC) $S_{e(T=0)} = 0.303 \text{ g}$ (invece di 0.308 g calcolato con lo spettro di normativa con suolo tipo C), quindi solo leggermente inferiore (con una differenza inferiore al 2%).

Si può quindi concludere che l'approccio di normativa, con spettro di risposta relativo al suolo tipo C, può ancora ritenersi valido.