

Commissario:



Contraente:



Progettista:



Project & Construction Management &  
Quality Assurance: Rina Consulting SpA



## VIADOTTO POLCEVERA

### PROGETTO ESECUTIVO di 1° LIVELLO

### CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE SISMICA E RISPOSTA SISMICA LOCALE

Contraente	Project & Construction Management & Quality Assurance	Direttore Lavori
Data: _____	Data: _____	Data: _____

COMMESSA

LOTTO

FASE

ENTE

TIPO DOC

OPERA/DISCIPLINA

PROGR

REV

N G 1 2

0 0

E

0 9

R P



V I 0 0 0 0

C 0 1

A

PROGETTAZIONE								IL PROGETTISTA
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	A. Vittozzi   Data 12/03/2019
A	Emissione esecutiva 1° livello	M.E. D'Effremo	12/03/2019	M.E. D'Effremo	12/03/2019	A. Perego	12/03/2019	
B								
C								

File: NG1200E09RPVI0000C01A.docx

Contraente		Progettista				
						
Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A		Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 RP VI0000 C01	Rev. A	Foglio 2 di 74

INDICE

1.

PREMESSA.....

4

2.

RIFERIMENTI.....

4

2.1.

DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....

4

2.1.

NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO .....

4

2.1.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....

4

2.2.

SOFTWARE.....

4

3.

CONTESTO NORMATIVO .....

5

4.

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....

6

5.

APPROCCIO SEMPLIFICATO PER LA VALUTAZIONE DELL’AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO.....

10

5.1.

CATEGORIA DI SUOLO .....

10

5.1.1.

*Prove di riferimento.....*

*11*

5.1.2.

*Velocità di propagazione delle onde di taglio .....*

*12*

5.1.2.1.

*Prove MASW.....*

*12*

5.1.2.2.

*Prove Down-Hole .....*

*13*

5.1.3.

*Classificazione sulla base della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,30}$ .....*

*14*

5.2.

CATEGORIA TOPOGRAFICA.....

15

5.3.

AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO .....

16

6.

LIQUEFAZIONE .....

17

6.1.

METODOLOGIA DI ANALISI E CRITERI DI ESCLUSIONE .....

17

6.1.1.

*Criteri di esclusione ai sensi del DM 17/01/2018.....*

*17*

6.1.2.

*Criteri di esclusione in accordo con quanto proposto da NCEER per terreni con elevato contenuto di fine .....*

*18*

6.2.

VERIFICA DEI CRITERI DI ESCLUSIONE ALLA SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE DEI TERRENI .....

19

6.3.

ANALISI DI LIQUEFAZIONE .....

21

6.3.1.

*Verifica a liquefazione sulla base delle prove SPT.....*

*21*

6.3.2.

*Valutazione del rapporto di tensione ciclica CSR .....*

*22*

6.3.3.



*Valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR .....*

*23*

6.3.4.



*Considerazioni in merito alla stima dei cedimenti per effetto del sisma .....*

*26*

Contraente  	Progettista  
---	---

Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A	Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 RP VI0000 C01	Rev. A	Foglio 3 di 74
-------------------------------	------------------	-------------	--	-----------	-------------------

6.3.5.	Verticali di indagine analizzate e stratigrafie di calcolo.....	27
6.3.6.	Sintesi dei risultati .....	30
7.	INDIVIDUAZIONE DEGLI ACCELEROGRAMMI SPETTROCOMPATIBILI.....	31
7.1.	COMPONENTE ORIZZONTALE DEL MOTO (H) - SLV .....	31
7.2.	COMPONENTE VERTICALE DEL MOTO (V) - SLV.....	34
7.3.	RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEI SEGNALI ACCELEROMETRICI AGLI SLV .....	36
7.4.	ACCELEROGRAMMI SPETTROCOMPATIBILI AGLI SLC.....	39
7.5.	ACCELEROGRAMMI SPETTROCOMPATIBILI AGLI SLD.....	40
7.6.	DECONVOLUZIONE.....	41
8.	ANALISI DI RSL 2D .....	42
8.1.	CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA SISMICA.....	42
8.2.	GEOMETRIA DEL MODELLO E CONDIZIONI AL CONTORNO.....	52
8.3.	RISULTATI DELL'ANALISI – STATI LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV) .....	54
8.4.	RISULTATI DELL'ANALISI – STATI LIMITE DI COLLASSO (SLC).....	55
8.5.	RISULTATI DELL'ANALISI – STATI LIMITE DI DANNO (SLD).....	56
9.	SINTESI E CONCLUSIONI DELL'ANALISI.....	57

Contraente  	Progettista  				
Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A	Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 RP VI0000 C01	Rev. A	Foglio 4 di 74

## 1. PREMESSA

La presente relazione descrive le modalità, preliminarmente semplificate e successivamente avanzate, con cui si determinerà l'azione sismica di progetto per le opere in oggetto.

## 2. RIFERIMENTI

### 2.1. Documentazione di riferimento

Rif. [1] NG12 00 E 09 GE VI 0000 C 01 A – Relazione Geotecnica Generale

Rif. [2] NG12 00 E 09 F6 VI0000 C01 A - “Profilo Geotecnico”

### 2.1. Normativa e Standard di Riferimento

Rif. [3] Decreto Ministeriale del 17/01/2018: “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” (GU n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8)

### 2.1. Riferimenti bibliografici

Rif. [4] Spallarossa D., Barani S., 2007. Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R-ε. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D14, <http://esse1.mi.ingv.it/d14.html>



Rif. [5] PEER 2013/03 – PEER NGA-West2 Database Timothy D. Ancheta, Robert B. Darragh, Jonathan P. Stewart, Emel Seyhan, Walter J. Silva, Brian S.J. Chiou, Katie E. Wooddell, Robert W. Graves, Albert R. Kottke, David M. Boore, Tadahiro Kishida, and Jennifer L. Donahue - Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER)

### 2.2. Software

Rif. [6] Seismosoft [2016] "SeismoMatch 2016 – A computer program for spectrum matching of earthquake records," available from <http://www.seismosoft.com>

Rif. [7] FLAC 800 - Fast Lagrangian Analysis of Continua v8.0.454, User Manual

Rif. [8] Kottke, Albert R., and Ellen M. Rathje. (2008). "Technical manual for Strata." Report No.: 2008/10. Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley

Contraente  	Progettista  				
Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A	Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 RP VI0000 C01	Rev. A	Foglio 5 di 74

### 3. CONTESTO NORMATIVO

Come anche descritto nelle NTC 2018, “il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche del sottosuolo e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei terreni e degli ammassi rocciosi di cui è costituito” (§7.11.3.1 delle NTC2018).



Per questo infatti, vengono sviluppate apposite analisi di Risposta Sismica Locale volte alla quantificazione degli effetti locali di sito e delle possibili criticità emergenti in termini di fenomeni di risonanza delle strutture con i terreni di fondazione, di possibili effetti di liquefazione dei terreni incoerenti scarsamente addensati e di instabilità dei pendii.

In particolare, nella definizione dell’azione sismica di riferimento, al paragrafo §3.2.2 della suddetta norma, si riporta: *“Ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto, l’effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel §7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ .”*

L’approccio semplificato da normativa, secondo determinate categorie di sottosuolo, porta all’applicazione di Fattori di Amplificazione codificati e riportati nella norma. In merito ai fattori di amplificazione stratigrafici tuttavia, al §7.11.3.2 si riporta: *“In condizioni stratigrafiche e morfologiche schematizzabili con un modello mono-dimensionale e per profili stratigrafici riconducibili alle categorie di cui alla Tab. 3.2.II, [...]”*.

Sulla base di quanto sopra è quindi necessario predisporre un’analisi di risposta sismica locale che colga gli aspetti di variabilità della conformazione topografica e stratigrafica dell’area. Per questo sarà quindi predisposta un’apposita analisi di risposta sismica locale bidimensionale lungo la sezione tracciabile in corrispondenza dell’asse del ponte. Tuttavia, si procederà anche a determinazioni preliminari basate sull’approccio normativo semplificato, utili per analisi preliminari e per un confronto coi risultati finali.

Si presenteranno poi i dati di input per le analisi avanzate ed i risultati dell’analisi, i quali verranno confrontati con le analisi semplificate da normativa.

Contraente 	Progettista 				
Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A	Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 RP VI0000 C01	Rev. A	Foglio 6 di 74

#### 4. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Per la determinazione della pericolosità sismica di base è necessario partire dall'ubicazione dell'opera e dalle caratteristiche tipiche di vita nominale ( $V_N$ ) e di Classe d'Uso. In Tabella 4.1 si riporta la posizione dell'opera nelle sue coordinate e in Tabella 4.2 sono elencate le principali caratteristiche sismiche dell'opera in termini di vita nominale e classe d'uso.

Ponte Morandi	WGS84	ED50
Latitudine	44.425901	44.426864
Longitudine	8.888637	8.889684

Tabella 4.1 – Coordinate dell'Opera

	Vita Nominale	Classe d'Uso	Coeff. D'Uso
Ponte Morandi	100	IV	2

Tabella 4.2 – Caratteristiche dell'Opera

Inserendo la posizione è quindi possibile determinare i valori dei principali parametri di riferimento per le forme spettrali su suolo rigido affiorante, riassunti in Tabella 4.3 e Figura 4.1.

	Tempo di Ritorno – $T_R$ [anni]	Accelerazione Orizzontale Massima al sito – $a_g$ [g]	Fattore di Amplificazione Massima – $F_0$ [-]	Periodo si Inizio tratto a vel. costante - $TC^*$ [s]
Stato Limite di Operatività (SLO)	120	0.041	2.537	0.250
Stato Limite di Danno (SLD)	201	0.050	2.528	0.270
Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)	1898	0.109	2.526	0.303
Stato Limite di Collasso (SLC)	2475	0.120	2.523	0.305

Tabella 4.3 – Parametri delle forme spettrali per ogni Stato Limite

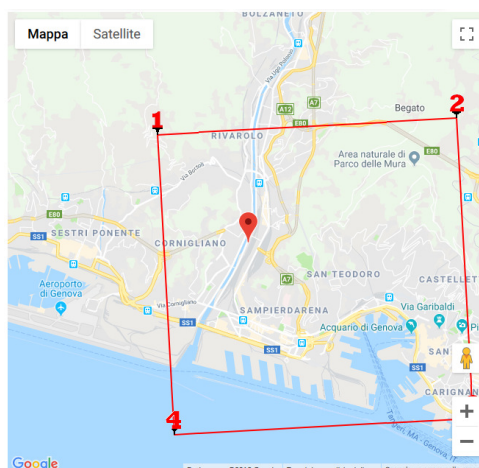


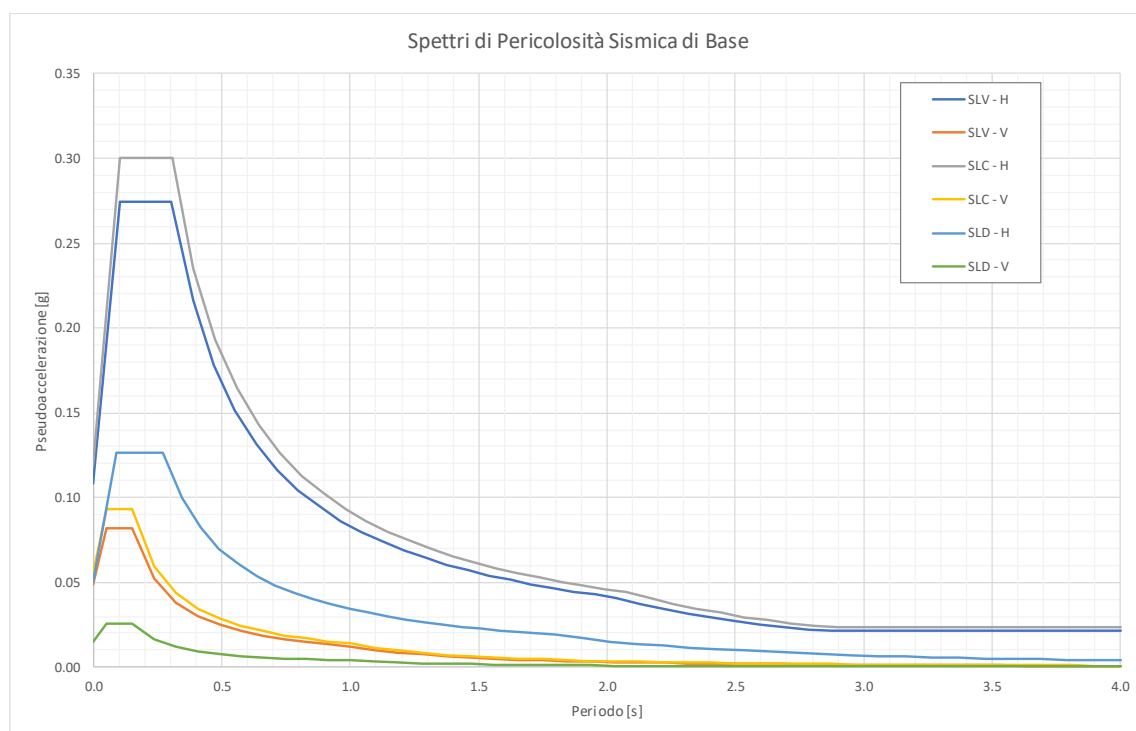


Figura 4.1 – Individuazione dell'opera all'interno della griglia INGV

Contraente		Progettista				
						
Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A		Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 RP VI0000 C01	Rev. A	Foglio 7 di 74

Risulta quindi possibile tracciare lo spettro di Pericolosità Sismica di Base riportato in Figura 4.2 (relativo allo SLV) in cui sono indicati anche i confini dettati dalle NTC 2018 per la compatibilità della media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi associati alle storie temporali selezionate (vedasi il §7).



**Figura 4.2 – Spettro di pericolosità sismica di base Componente orizzontale.**

Oltre allo spettro sopra presentato, per la ricerca degli accelerogrammi spettrocompatibili è necessario comprendere statisticamente quali scenari in termini di parametri magnitudo-distanza contribuiscano maggiormente alla pericolosità sismica del sito. In particolare, appoggiandosi al portale dell'INGV Rif. [4] è possibile visionare gli scenari suddetti sulla base della probabilità di eccedenza ( $P_{VR}$ ) in un periodo di riferimento ( $V_R$ ) pari a 50anni.

Essendo i dati INGV riferiti esclusivamente ad un periodo di riferimento ( $V_R$ ) pari a 50 anni, differente da quello dell'opera in oggetto, si rende necessario effettuare un'equivalenza in termini di probabilità di eccedenza ( $P_{VR}$ ). Per fare ciò si parte dalla determinazione per Tempo di Ritorno ( $T_R$ ) del terremoto di progetto, così come indicata nelle NTC 2018 al §3.2.1:

$$T_R = \frac{-V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Considerando invariato il tempo di ritorno, parametro sintetico fondamentale della trattazione analitica dei fenomeni aleatori indipendenti, è possibile calcolare una probabilità di eccedenza equivalente per un periodo di riferimento di 50 anni ( $V_{R,standard}$ ), invertendo la formula sopracitata come segue.

$$P_{VR} = 1 - e^{-\frac{V_{R,standard}}{T_R}} = 1 - e^{-\frac{50anni}{T_R}} = 2.6\%$$

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP V10000 C01

Rev.  
A

Foglio  
8 di 74

La fonte dell'INGV fornisce la possibilità di consultare i grafici di disaggregazione per una probabilità di eccedenza pari al 2%, molto simile al valore di 2.6% sopra calcolato.

In particolare, in Figura 4.3 si riporta la griglia di riferimento ed in Figura 4.4 i grafici di disaggregazione per ciascun punto della griglia.

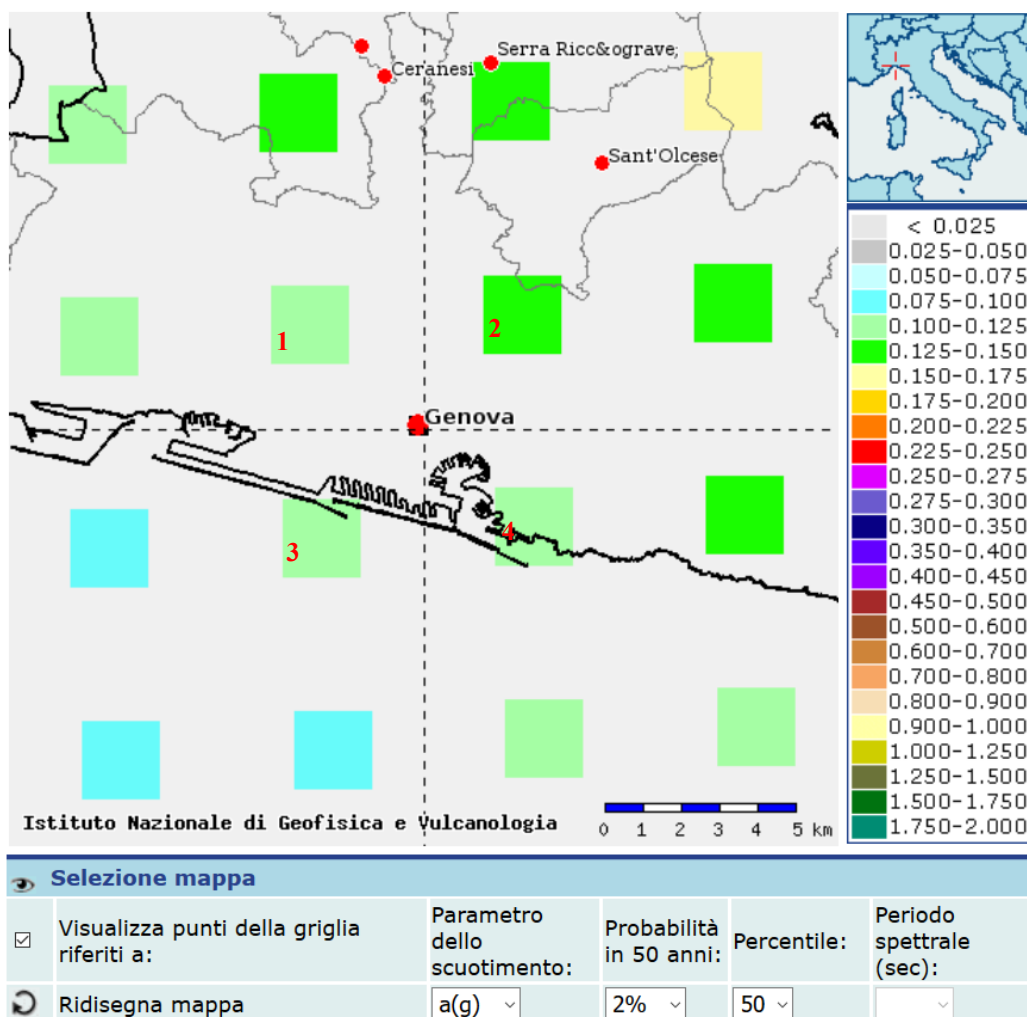


Figura 4.3 – Griglia Normativa di Pericolosità Sismica di Base.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

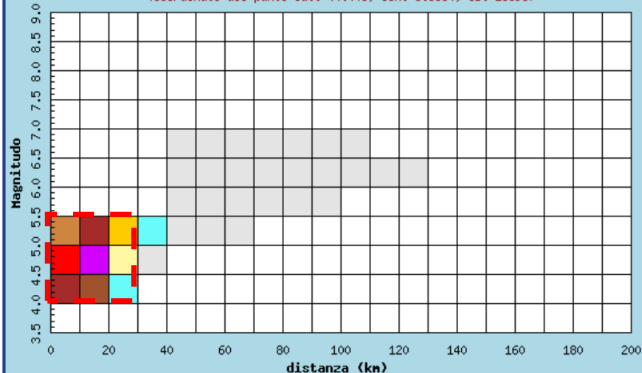
Rev.  
A

Foglio  
9 di 74

### Punto 1

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
Disaggregazione del valore di  $a(g)$  con probabilit  di eccedenza  
del 2% in 50 anni

(Coordinate del punto lat: 44.445, lon: 8.8684, ID: 16695)

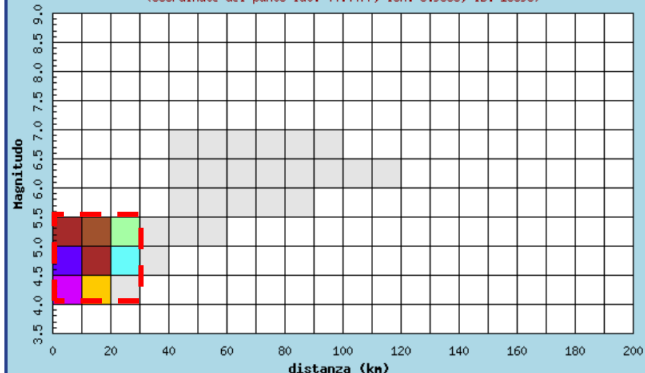


Contributo percentuale alla pericolosit 

### Punto 2

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
Disaggregazione del valore di  $a(g)$  con probabilit  di eccedenza  
del 2% in 50 anni

(Coordinate del punto lat: 44.4477, lon: 8.9383, ID: 16696)

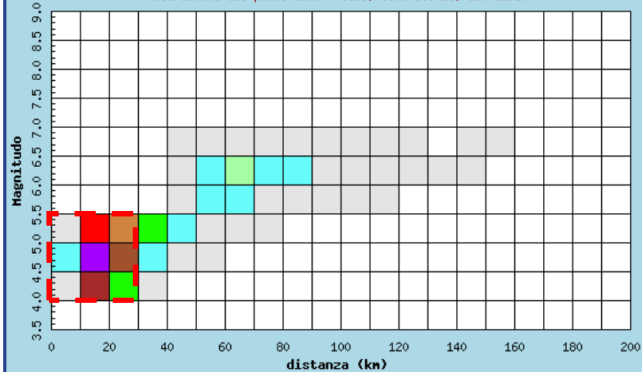


Contributo percentuale alla pericolosit 

### Punto 3

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
Disaggregazione del valore di  $a(g)$  con probabilit  di eccedenza  
del 2% in 50 anni

(Coordinate del punto lat: 44.395, lon: 8.8723, ID: 16917)

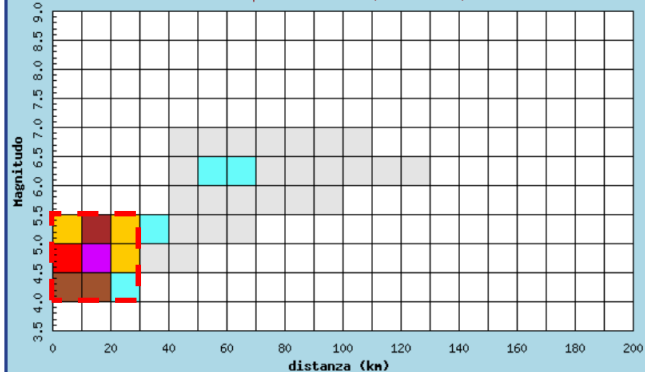


Contributo percentuale alla pericolosit 

### Punto 4

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
Disaggregazione del valore di  $a(g)$  con probabilit  di eccedenza  
del 2% in 50 anni

(Coordinate del punto lat: 44.3977, lon: 8.9421, ID: 16918)



Contributo percentuale alla pericolosit 

Figura 4.4 – Grafici di disaggregazione nei punti significativi della griglia, in rosso gli scenari considerati significativi.

Escludendo gli scenari magnitudo-distanza che contribuiscono per meno del 4% alla pericolosit  sismica del sito si pu  effettuare la ricerca degli accelerogrammi spettrocompatibili per gli scenari riportati di seguito in Tabella 4.4.

	Min	Max
<b>Magnitudo</b>	4.0	5.5
<b>Distanza [km]</b>	0	30

Tabella 4.4 – Scenari Magnitudo-Distanza di Riferimento

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
10 di 74

## 5. APPROCCIO SEMPLIFICATO PER LA VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è necessario tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche, perché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale.

Nel seguito verranno descritte ed approfondite le seguenti tematiche:

- categoria di sottosuolo;
- categoria topografica;
- definizione dei parametri dell'azione sismica di riferimento.

### 5.1. Categoria di suolo

Per la valutazione degli effetti stratigrafici si può fare riferimento (DM 17/01/2018 - Rif. [3]) ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ . In tale approccio la classificazione del suolo si effettua in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  secondo la formula di seguito.



$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

Con:

- $h_i$  spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- $N$  numero di strati;
- $H$  profondità del substrato.

Nel caso in esame la velocità di propagazione delle onde di taglio può essere determinata:

- in maniera diretta a partire dai risultati delle prove sismiche in foro Down-Hole (DH);
- in maniera indiretta a partire dai risultati degli stendimenti sismici (MASW-ReMi).

Contraente 		Progettista 			
Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A		Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 RP VI0000 C01	Rev. A         Foglio 11 di 74

### 5.1.1. Prove di riferimento

Nelle seguenti tabelle si elencano le prove disponibili.

**Tabella 5.1 - Prove simiche in foro tipo Down-Hole**

ID	Coordinate Gauss-Boaga		Sondaggio di riferimento	Pila di riferimento
	E	N		
<b>DH1</b>	1490725.68	4919419.40	IFPM1	Pila2
<b>DH2</b>	1490767.00	4919450.71	IFPM3	Pila6
<b>DH3</b>	1490808.34	4919423.21	IFPM5	Pila8
<b>DH4</b>	1490852.59	4919393.67	IFPM7	Pila10
<b>DH5</b>	1490892.52	4919367.23	IFPM9	Pila12
<b>DH6</b>	1490933.84	4919339.52	IFPM10	Pila13
<b>DH7</b>	1490983.19	4919294.44	IFPM12	Pila17

**Tabella 5.2 - Prove simiche in foro tipo MASW-ReMi**

ID	Coordinate Gauss-Boaga		Pila di riferimento
	E	N	
<b>R2</b>	1490725.68	4919419.40	Pila2
<b>R3</b>	1490767.00	4919450.71	Pila3
<b>R4</b>	1490808.34	4919423.21	Pila4
<b>R5</b>	1490852.59	4919393.67	Pila5
<b>R6</b>	1490892.52	4919367.23	Pila6
<b>R7</b>	1490933.84	4919339.52	Pila7
<b>R8</b>	1490983.19	4919294.44	Pila8
<b>R9</b>	1491067.30	4919255.24	Pila9
<b>R10</b>	1491172.94	4919179.83	Pila10
<b>R11</b>	1491226.37	4919159.29	Pila11
<b>R12</b>	1491289.54	4919122.68	Pila12
<b>R13</b>	1491322.46	4919091.80	Pila13
<b>R14</b>	1491364.96	4919072.55	Pila14
<b>R15</b>	1491405.15	4919055.97	Pila15
<b>R16</b>	1491448.40	4919030.93	Pila16
<b>R17</b>	1491482.48	4919010.81	Pila17
<b>R18</b>	1491520.38	4918973.22	Pila18

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
12 di 74

## 5.1.2. Velocità di propagazione delle onde di taglio

### 5.1.2.1. Prove MASW

In Figura 5.1 si riporta il profilo della velocità delle onde di taglio stimato a seguito dell'esecuzione delle prove MASW.

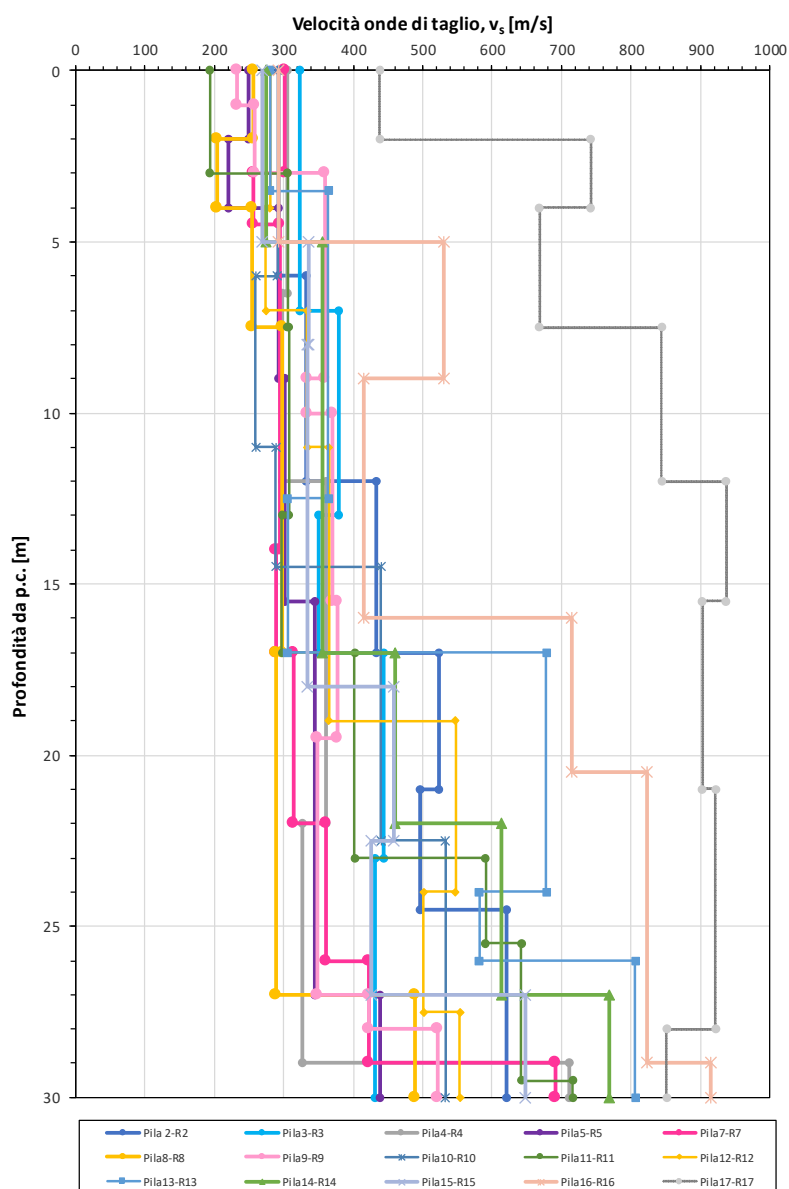


Figura 5.1 - Andamento lungo la tratta della velocità equivalente delle onde di taglio e della relativa categoria di sottosuolo da prove Down-Hole e Masw.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

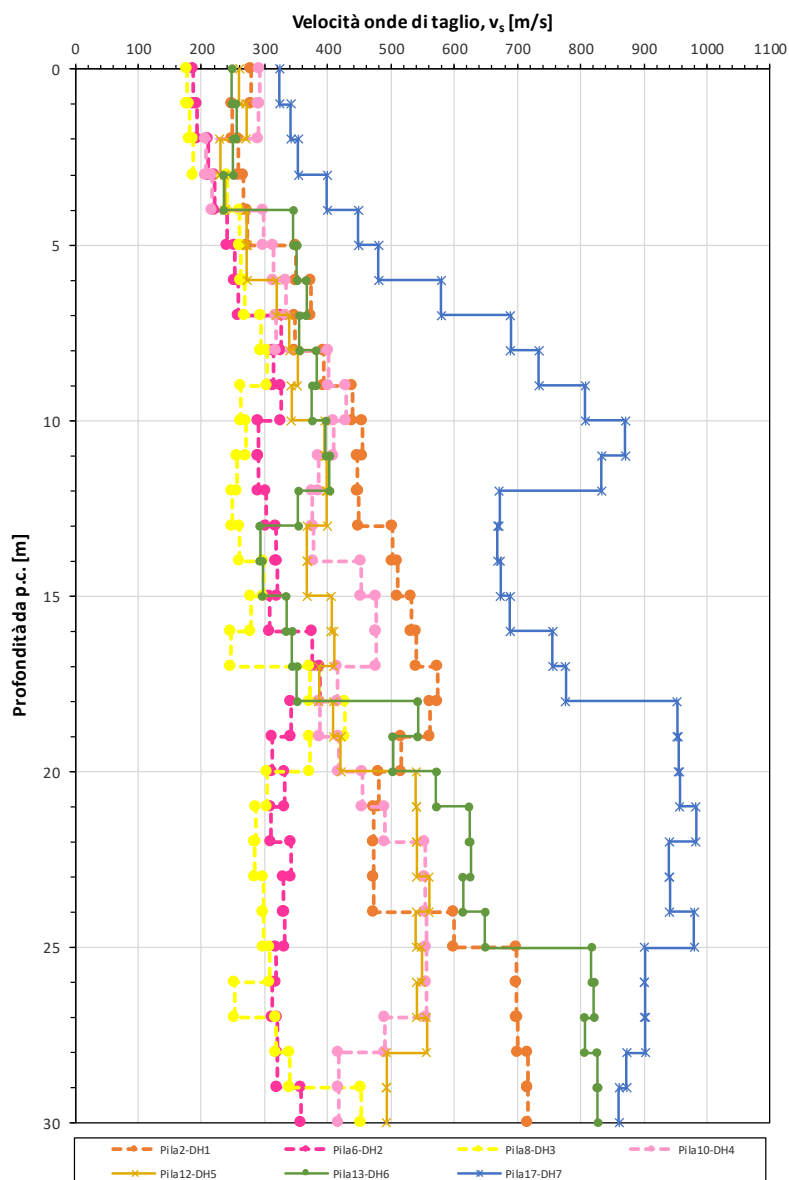
Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A



Foglio  
13 di 74

### 5.1.2.2. Prove Down-Hole

In Figura 5.2 si riporta il profilo della velocità delle onde di taglio stimato a seguito dell'esecuzione delle prove Down-Hole.



**Figura 5.2 - Andamento lungo la tratta della velocità equivalente delle onde di taglio e della relativa categoria di sottosuolo da prove Down-Hole e Masw.**

Contraente		Progettista				
						
Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A		Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 RP VI0000 C01	Rev. A	Foglio 14 di 74

### 5.1.3. Classificazione sulla base della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,30}$

In Tabella 5.3 ed in Figura 5.3 si riportano i valori di velocità equivalente  $V_{s,h}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità, o a profondità  $h < 30$  m qualora la profondità del substrato ( $V_s \geq 800$  m/s) è inferiore a 30m, e la corrispondente categoria di suolo, determinati dalle prove Masw e Down-Hole. Risulta che nella parte centrale del viadotto la categoria di suolo è C e nei tratti terminali in corrispondenza dei versanti è B.

**Tabella 5.3 - Velocità equivalente delle onde di taglio e relativa categoria di sottosuolo da prove down-hole, masw, SPT e sismica a rifrazione**

Prova MASW			
Prova	$V_{s,h}$	h	Categoria
Pila 2-R2	407	30.0	Categoria B
Pila3-R3	382	30.0	Categoria B
Pila4-R4	333	30.0	Categoria C
Pila5-R5	313	30.0	Categoria C
Pila 6-R6	315	30.0	Categoria C
Pila7-R7	320	30.0	Categoria C
Pila8-R8	289	30.0	Categoria C
Pila9-R9	353	30.0	Categoria C
Pila10-R10	356	30.0	Categoria C
Pila11-R11	343	30.0	Categoria C
Pila12-R12	376	30.0	Categoria B
Pila13-R13	396	26.0	Categoria B
Pila14-R14	400	30.0	Categoria B
Pila15-R15	364	30.0	Categoria B
Pila16-R16	430	20.5	Categoria B
Pila17-R17	600	7.5	Categoria B
Pila18-R18	546	12.5	Categoria B
Prova Down-Hole			
Prova	$V_{s,h}$	h	Categoria
Pila2-DH1	434	30	Categoria B
Pila6-DH2	292	30	Categoria C
Pila8-DH3	275	30	Categoria C
Pila10-DH4	384	30	Categoria B
Pila12-DH5	378	30	Categoria B
Pila13-DH6	375	26	Categoria B
Pila17-DH7	556	18	Categoria B

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A

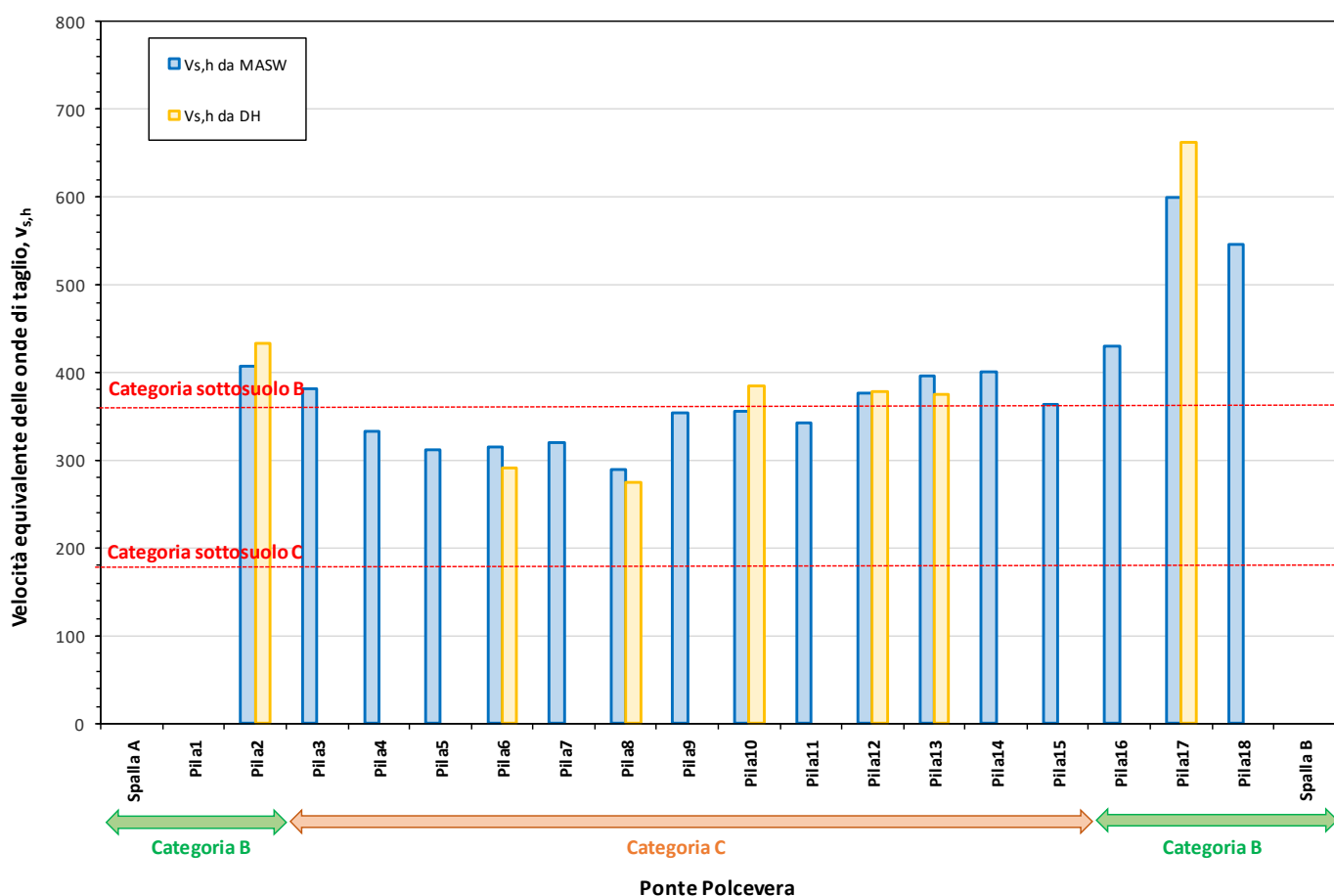
Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP V10000 C01

Rev.  
A

Foglio  
15 di 74





**Figura 5.3: Andamento lungo la tratta della velocità equivalente delle onde di taglio e della relativa categoria di sottosuolo da prove Down-Hole e Masw.**

## 5.2. Categoria topografica

Risulta evidente che, nella parte centrale del viadotto, la categoria topografica è T1.

Nei tratti terminali invece, ove sono ubicate le Spalle SpA e SpB e le pile P01, P17 e P18, in corrispondenza dei versanti è T2. Le strutture sono collocate in corrispondenza di versanti fino ad una quota massima di poco inferiore alla metà del pendio, per questo motivo viene considerato un fattore di amplificazione pari ad 1.1 corrispondente ad un rapporto  $h/H=0.5$ .

Contraente 				Progettista 		
Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A				Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 RP V10000 C01 Rev. A Foglio 16 di 74

### 5.3. Azione sismica di riferimento



In Tabella 5.4, si riporta una sintesi di determinazione dei fattori d'amplificazione e delle ordinate spettrali d'attacco per ogni unità fondale. Per il Ramo di svincolo, in Tabella 5.5 si riporta una corrispondenza tra le unità fondali di quest'ultimo e quelle del viadotto cui fare riferimento.

**Tabella 5.4: Sintesi tabellare per la determinazione delle ordinate spettrali d'attacco**

	Categoria di suolo	Coefficiente di amplificazione stratigrafica	Categoria topografica	Coefficiente di amplificazione topografica	Vita nominale	Classe d'uso	Coefficiente	Accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido (SLV)	Accelerazione massima attesa al sito (SLV)	Accelerazione massima attesa al sito (SLV)	Accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido (SLC)	Accelerazione massima attesa al sito (SLC)	Accelerazione massima attesa al sito (SLC)	Accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido (SLD)	Accelerazione massima attesa al sito (SLD)	Accelerazione massima attesa al sito (SLD)
	$S_S$		$S_T$		$V_N$ [anni]	$C_U$		$a_{g,H}/g$	$a_{max,H}/g$	$a_{max,V}/g$	$a_{g,H}/g$	$a_{max,H}/g$	$a_{max,V}/g$	$a_{g,H}/g$	$a_{max,H}/g$	$a_{max,V}/g$
SpA	B	1.2	T2	1.1	100	IV	2.0	0.109	0.144	0.053	0.119	0.157	0.061	0.050	0.066	0.017
P1	B	1.2	T2	1.1	100	IV	2.0	0.109	0.144	0.053	0.119	0.157	0.061	0.050	0.066	0.017
P2	B	1.2	T1	1.0	100	IV	2.0	0.109	0.131	0.048	0.119	0.143	0.055	0.050	0.060	0.015
P3	C	1.5	T1	1.0	100	IV	2.0	0.109	0.164	0.048	0.119	0.179	0.055	0.050	0.075	0.015
P4	C	1.5	T1	1.0	100	IV	2.0	0.109	0.164	0.048	0.119	0.179	0.055	0.050	0.075	0.015
P5	C	1.5	T1	1.0	100	IV	2.0	0.109	0.164	0.048	0.119	0.179	0.055	0.050	0.075	0.015
P6	C	1.5	T1	1.0	100	IV	2.0	0.109	0.164	0.048	0.119	0.179	0.055	0.050	0.075	0.015
P7	C	1.5	T1	1.0	100	IV	2.0	0.109	0.164	0.048	0.119	0.179	0.055	0.050	0.075	0.015
P8	C	1.5	T1	1.0	100	IV	2.0	0.109	0.164	0.048	0.119	0.179	0.055	0.050	0.075	0.015
P9	C	1.5	T1	1.0	100	IV	2.0	0.109	0.164	0.048	0.119	0.179	0.055	0.050	0.075	0.015
P10	C	1.5	T1	1.0	100	IV	2.0	0.109	0.164	0.048	0.119	0.179	0.055	0.050	0.075	0.015
P11	C	1.5	T1	1.0	100	IV	2.0	0.109	0.164	0.048	0.119	0.179	0.055	0.050	0.075	0.015
P12	C	1.5	T1	1.0	100	IV	2.0	0.109	0.164	0.048	0.119	0.179	0.055	0.050	0.075	0.015
P13	C	1.5	T1	1.0	100	IV	2.0	0.109	0.164	0.048	0.119	0.179	0.055	0.050	0.075	0.015
P14	C	1.5	T1	1.0	100	IV	2.0	0.109	0.164	0.048	0.119	0.179	0.055	0.050	0.075	0.015
P15	C	1.5	T1	1.0	100	IV	2.0	0.109	0.164	0.048	0.119	0.179	0.055	0.050	0.075	0.015
P16	B	1.2	T1	1.0	100	IV	2.0	0.109	0.131	0.048	0.119	0.143	0.055	0.050	0.060	0.015
P17	B	1.2	T2	1.1	100	IV	2.0	0.109	0.144	0.053	0.119	0.157	0.061	0.050	0.066	0.017
P18	B	1.2	T2	1.1	100	IV	2.0	0.109	0.144	0.053	0.119	0.157	0.061	0.050	0.066	0.017
SpB	B	1.2	T2	1.1	100	IV	2.0	0.109	0.144	0.053	0.119	0.157	0.061	0.050	0.066	0.017

**Tabella 5.5: Sintesi tabellare per la determinazione delle ordinate spettrali d'attacco per il Ramo di svincolo ed equivalenza formale con le unità fondali del viadotto principale.**

Ramo di svilcolo	Categorie di suolo																																							
	P1		P2		P3		SA		Categoria di amplificazione stratigrafica		Categoria topografica		Coefficiente di amplificazione topografica		Vita nominale		Classe d'uso		Coefficiente		Accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido (SLV)		Accelerazione massima attesa al sito (SLV)		Accelerazione massima attesa al sito (SLV)		Accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido (SLC)		Accelerazione massima attesa al sito (SLC)		Accelerazione massima attesa al sito (SLC)		Accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido (SLD)		Accelerazione massima attesa al sito (SLD)		Accelerazione massima attesa al sito (SLD)		Equivalenza	
	B		B		B		B		S <sub>S</sub>		S <sub>T</sub>		V <sub>N</sub> [anni]		C <sub>U</sub>		C <sub>U</sub>		C <sub>U</sub>		C <sub>U</sub>		C <sub>U</sub>		C <sub>U</sub>		C <sub>U</sub>		C <sub>U</sub>		C <sub>U</sub>		C <sub>U</sub>		C <sub>U</sub>		C <sub>U</sub>		C <sub>U</sub>	
	1.2		1.2		1.2		1.2		1.0		1.1		100		IV		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0	
	T1		T2		T2		T2		1.0		1.1		100		IV		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0	
1.0		1.1		1.1		1.1		100		100		100		100		100		100		100		100		100		100		100		100		100		100		100		100		
100		100		100		100		100		100		100		100		100		100		100		100		100		100		100		100		100		100		100		100		
IV		IV		IV		IV		IV		IV		IV		IV		IV		IV		IV		IV		IV		IV		IV		IV		IV		IV		IV		IV		
2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		
0.109		0.109		0.109		0.109		0.109		0.109		0.109		0.109		0.109		0.109		0.109		0.109		0.109		0.109		0.109		0.109		0.109		0.109		0.109		0.109		
0.144		0.144		0.144		0.144		0.144		0.144		0.144		0.144		0.144		0.144		0.144		0.144		0.144		0.144		0.144		0.144		0.144		0.144		0.144		0.144		
0.053		0.053		0.053		0.053		0.053		0.053		0.053		0.053		0.053		0.053		0.053		0.053		0.053		0.053		0.053		0.053		0.053		0.053		0.053		0.053		
0.119		0.119		0.119		0.119		0.119		0.119		0.119		0.119		0.119		0.119		0.119		0.119		0.119		0.119		0.119		0.119		0.119		0.119		0.119		0.119		
0.157		0.157		0.157		0.157		0.157		0.157		0.157		0.157		0.157		0.157		0.157		0.157		0.157		0.157		0.157		0.157		0.157		0.157		0.157		0.157		
0.061		0.061		0.061		0.061		0.061		0.061		0.061		0.061		0.061		0.061		0.061		0.061		0.061		0.061		0.061		0.061		0.061		0.061		0.061		0.061		
0.050		0.050		0.050		0.050		0.050		0.050		0.050		0.050		0.050		0.050		0.050		0.050		0.050		0.050		0.050		0.050		0.050		0.050		0.050		0.050		
0.066		0.066		0.066		0.066		0.066		0.066		0.066		0.066		0.066		0.066		0.066		0.066		0.066		0.066		0.066		0.066		0.066		0.066		0.066		0.066		
0.017		0.017		0.017		0.017		0.017		0.017		0.017		0.017		0.017		0.017		0.017		0.017		0.017		0.017		0.017		0.017		0.017		0.017		0.017		0.017		
P16		P17		P18		SA		P16		P17		P18		SA		P16		P17		P18		SA		P16		P17		P18		SA		P16		P17		P18		SA		

Contraente 	Progettista 
Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A	Progetto NG12 Lotto 00 Codifica Documento E 09 RP V10000 C01 Rev. A Foglio 17 di 74

## 6. LIQUEFAZIONE

### 6.1. Metodologia di analisi e criteri di esclusione

Ai sensi del D.M. 17/01/2018 paragrafo 7.11.3.4.2 sono stati analizzati i criteri di esclusione della verifica a liquefazione. L'analisi è stata sviluppata per ogni sondaggio con riferimento ai valori di NSPT disponibili ed alle prove di laboratorio sui campioni prelevati. In presenza di terreni con elevato contenuto di fine (FC) si è utilizzato un ulteriore criterio di analisi proposto da NCEER nell'articolo "Recent Advances In Soil Liquefaction Engineering: A Unified And Consistent Framework" (Seed et al., 2003).

#### 6.1.1. Criteri di esclusione ai sensi del DM 17/01/2018

La vigente normativa riporta quanto segue.

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna di assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $N1(60) > 30$  oppure  $qc1N > 180$  dove  $N1(60)$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc1N$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig.7.11.1(a) [Figura 11 1 (a)] nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  e in Fig.7.11.1(b) [Figura 11 1 (b)] nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .

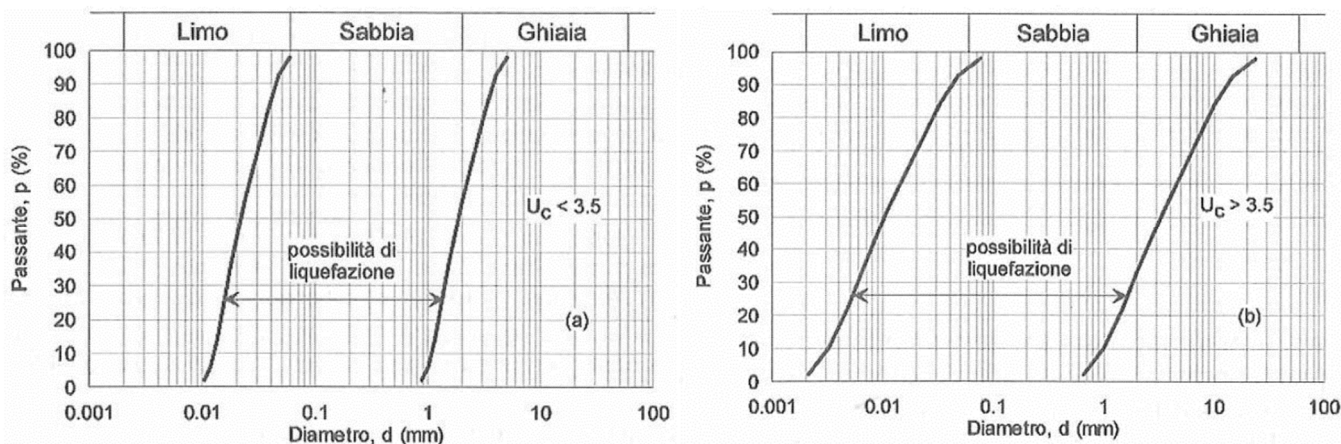




Figura 6-1: Fusi Granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione (Fig.7.11.1 NTC2008)

Il primo criterio, per via dell'accelerazione massima individuata in Tabella 9.1, non è rispettato; lo stesso risultato si ottiene per il criterio successivo (criterio numero 2), per cui i livelli di falda di progetto riportati nel Profilo geotecnico (Rif. [2]) risultano superiori a 15m.

Contraente  	Progettista  				
Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A	Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 RP VI0000 C01	Rev. A	Foglio 18 di 74

Il terzo criterio fa riferimento al valore normalizzato di NSPT, calcolato come segue:

$$(N_1)_{60} = C_N \times N_{60}$$

Assumendo:

$$N \approx NSPT$$

$$C_N = (p_a / \sigma'_{v0})^{0.5} \quad 0.4 \leq C_N \leq 2$$

$$p_a = 100kPa$$

L'ultimo criterio viene considerato soddisfatto se almeno il 50% della curva granulometrica cade al di fuori del fuso indicato in normativa. La percentuale di soglia del 50% è in linea con quanto indicato nella Deliberazione della Giunta Regionale dell'Emilia-Romagna, 21-12-2015, N.2193 in materia di "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" nell'Allegato A3. Tuttavia, per curve granulometriche al di fuori del fuso da normativa per percentuali comprese tra il 50% ed il 70%, viene fornito un avvertimento ed ulteriori valutazioni verranno effettuate su elementi aggiuntivi quali la plasticità del fine, la posizione della falda, etc...

#### **6.1.2. Criteri di esclusione in accordo con quanto proposto da NCEER per terreni con elevato contenuto di fine**

In accordo con il metodo proposto da NCEER (vedasi: "Recent Advances In Soil Liquefaction Engineering: A Unified And Consistent Framework" di Seed et al., 2003), in Figura 6-2 si riporta il criterio di esclusione del rischio di liquefazione per terreni di transizione, ovvero per terreni che presentano caratteristiche intermedie tra quelli a comportamento incoerente (sabbie) e quelli a comportamento coesivo (argille), così caratterizzati:

$$FC \geq 20\% \text{ e } IP > 12\%$$

$$FC \geq 35\% \text{ e } IP < 12\%$$

Il criterio, basato sul valore del limite liquido ( $w_L$ ) e dell'indice plastico (IP), individua tre zone principali:

- Zona A: i terreni che ricadono all'interno di questa zona sono considerati terreni potenzialmente liquefacibili se il contenuto d'acqua ( $w$ ) risulta superiore all'80% del limite liquido ( $0.8w_L$ );
- Zona B: i terreni in zona B sono suscettibili a liquefazione se il contenuto d'acqua ( $w$ ) risulta superiore all'85% del limite liquido ( $0.85w_L$ );
- Zona C: i terreni che ricadono in tale zona sono generalmente non suscettibili a liquefazione.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
19 di 74

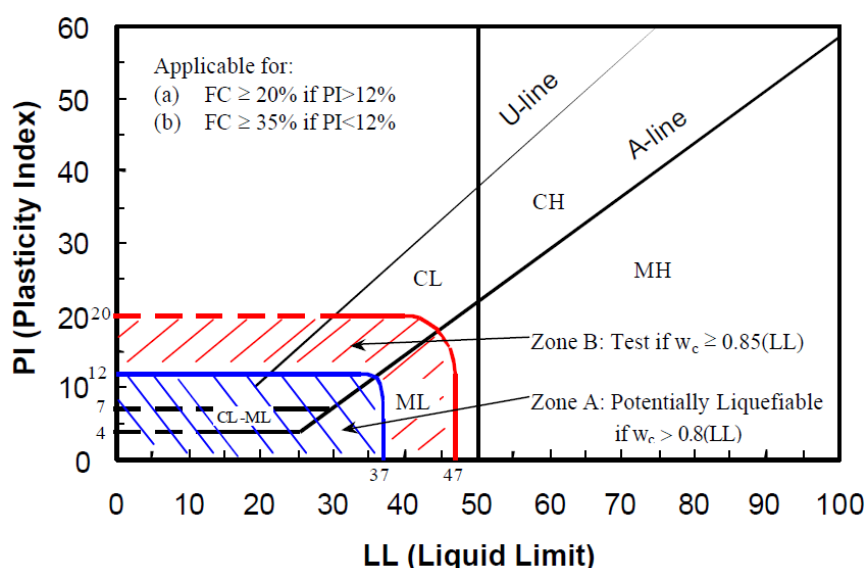


Figura 6-2: Criterio di esclusione dei terreni coesivi (NCEER, Seed et al., 2003)

## 6.2. Verifica dei criteri di esclusione alla suscettibilità a liquefazione dei terreni

In Tabella 6-1 si riportano i risultati delle verifiche condotte in accordo ai criteri descritti al paragrafo 6.1 per i terreni presenti nella zona di fondovalle del torrente Polcevera, in corrispondenza dei sondaggi da IFPM1 a IFPM13.

Nella tabella è indicato l'ID del sondaggio con la relativa profondità ed il livello di falda registrato; per la verifica del criterio 3) legato al numero di colpi  $N_{SPT}$ , è indicata la profondità di prova, l' $N_{SPT}$  e il valore normalizzato  $N_1(60)$ .

In corrispondenza dei campioni di laboratorio con prova granulometrica è indicata la % fuori fuso, al fine di verificare la compatibilità con il 4) criterio.

In particolare, se almeno uno dei tre criteri 2), 3), 4) riportati al paragrafo 6.1.1 consente di escludere le verifiche a liquefazione, nella colonna "Esito" viene indicata la dicitura "Verifica non necessaria" in colore verde.

Nel caso in cui nessuno dei tre criteri consenta di escludere le verifiche, per mancato soddisfacimento dei limiti o per mancanza di dati, nella colonna "Esito" viene indicata la dicitura "da verificare".



In questo caso, se la descrizione stratigrafica presente nel sondaggio indica terreni di natura incoerente la dicitura sarà rossa, se invece la descrizione indicherebbe terreni coesivi la dicitura sarà gialla con un asterisco.

Nelle note si riportano alcuni commenti di aiuto alla comprensione di eventuali discrepanze o volti ad indicare la mancanza di alcuni dati.

In tale ambito si riporta anche il caso in cui il campione si trovi sopra falda, eventualità per la quale la normativa vigente non dichiara espressamente l'esclusione ma che scongiurerebbe la possibilità che si verifichino fenomeni di liquefazione.

Si riporta inoltre eventualmente, per terreni che presentano caratteristiche intermedie tra quelli a comportamento incoerente (sabbie) e quelli a comportamento coesivo (argille), la zona di riferimento.



Contraente 	Progettista 
Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A	Progetto NG12 Lotto 00 Codifica Documento E 09 RP VI0000 C01 Rev. A Foglio 21 di 74

### 6.3. Analisi di liquefazione

Dall'analisi dei criteri esclusivi delle verifiche a liquefazione secondo NTC2018 è emersa la necessità di approfondire le analisi del rischio liquefazione su alcune verticali di indagine. Di seguito si riportano le computazioni ed i risultati in termini di fattori di sicurezza alla liquefazione, potenziale di liquefazione e cedimenti post-sismici.

#### 6.3.1. Verifica a liquefazione sulla base delle prove SPT

Il coefficiente di sicurezza alla liquefazione ( $F_L$ ) è determinato adottando metodi di analisi semplificata in termini di tensioni totali.

Tali metodi sono basati su prove geotecniche di tipo corrente e sulla valutazione, ad ogni profondità  $z$  del deposito compreso nei primi 20 m, del coefficiente di sicurezza:

$$F_L = \frac{CRR}{CSR}, \text{ dove:}$$

- $CRR = \frac{\tau_{ult}}{\sigma_v}$ , è la resistenza normalizzata alla pressione verticale efficace iniziale;
- $CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma_v} = \frac{0.65 \cdot \tau_{max}}{\sigma_v}$ , è la tensione normalizzata indotta dal terremoto.

I risultati delle analisi saranno presentati riportando l'andamento con la profondità del fattore di sicurezza ( $F_L$ ) alla liquefazione per ciascuna delle verticali indagate, oltre che determinando l'indice del potenziale di liquefazione  $I_L$  definito dalla seguente relazione:

$$I_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz \text{ in cui } w(z) = \frac{200}{z_{crit}} \cdot \left(1 - \frac{z}{z_{crit}}\right),$$

$z_{crit}$  è la profondità critica, ovvero la profondità massima entro la quale può verificarsi la liquefazione, che di norma si assume pari a 20.0 m.

La variabile  $F(z)$  è stata valutata tramite due distinte formulazioni, la prima proposta da Somnez (2003) e la seconda da Iwasaki (1978).

Secondo Somnez si ha:

$$F(z) = 0 \quad \text{per} \quad F_L \geq 1.2$$



$$F(z) = 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_L) \quad \text{per} \quad 1.2 > F_L \geq 0.95$$

$$F(z) = 1 - F_L \quad \text{per} \quad F_L \leq 0.95$$

A partire dal valore dell'indice del potenziale di liquefazione  $I_L$  sono definite le seguenti classi di pericolosità alla liquefazione (Somnez, 2003):

$$I_L = 0 \quad \text{Non liquefacibile (} F_L \geq 1.2 \text{);}$$

$$0 < I_L \leq 2 \quad \text{Potenziale basso;}$$

Contraente  	Progettista  				
Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A	Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 RP VI0000 C01	Rev. A	Foglio 22 di 74

$2 < I_L \leq 5$	Potenziale moderato;
$5 < I_L \leq 15$	Potenziale alto;
$I_L > 15$	Potenziale molto alto.

Secondo Iwasaki (1978) invece:

$F(z) = 0$	per	$F_L \geq 1.0$
$F(z) = 1 - F_L$	per	$F_L < 1$

A partire dal valore dell'indice del potenziale di liquefazione  $I_L$  sono definite diverse classi che indicano un diverso grado di pericolosità da liquefazione (Iwasaki, 1978):

$I_L = 0$	Molto basso
$0 < I_L \leq 5$	Basso;
$5 < I_L \leq 15$	Alto;
$15 < I_L$	Molto alto

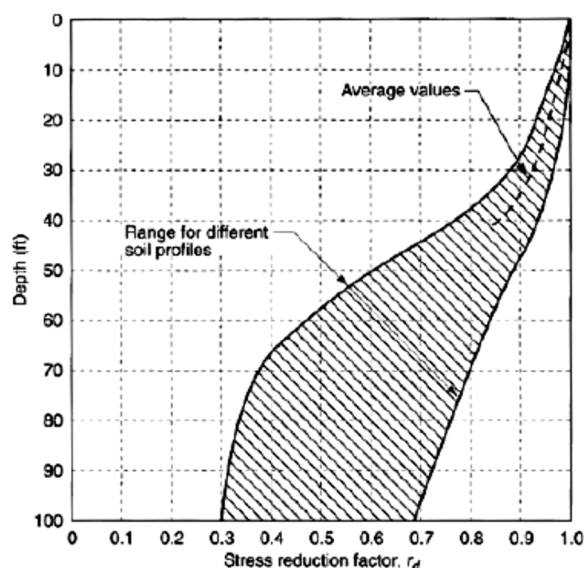
### 6.3.2. Valutazione del rapporto di tensione ciclica CSR

Il rapporto di tensione ciclica, ad una determinata profondità, può essere valutato attraverso la seguente espressione (Seed e Idriss, 1971):

$$CSR = 0.65 \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot r_d$$

dove:

- $a_{max}$  è l'accelerazione massima del terremoto di progetto;
- $\sigma_v$  e  $\sigma'_v$  sono rispettivamente la tensione totale verticale e la tensione efficace verticale;
- $r_d$  è un coefficiente correttivo che tiene conto della deformabilità del sottosuolo che può essere assunto pari a:



$$r_d = 1.0 - 0.00765 \cdot z \quad \text{for } z \leq 9.15 \text{ m}$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267 \cdot z \quad \text{for } 9.15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m}$$

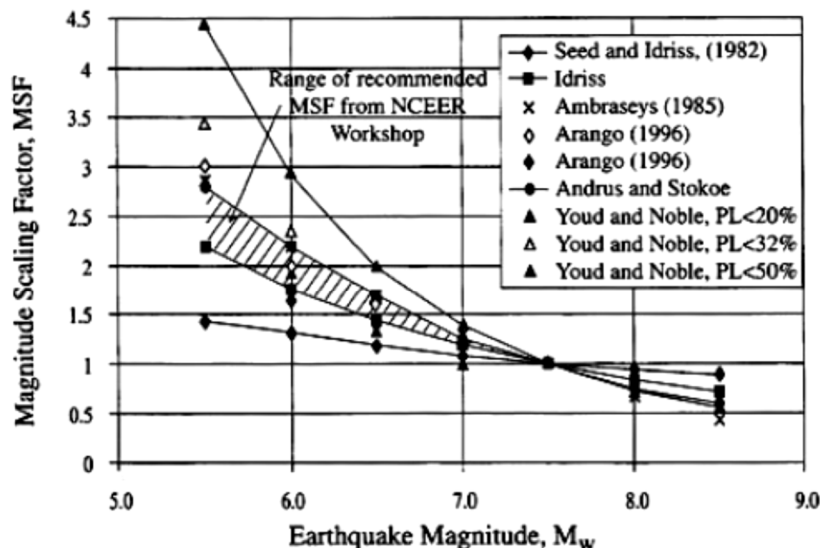
$$r_d = 0.744 - 0.008 \cdot z \quad \text{for } 23 \text{ m} < z \leq 30 \text{ m}$$

$$r_d = 0.5 \quad \text{for } z > 30 \text{ m}$$

Figura 6-3: Fattore di riduzione  $r_d$  (Seed & Idriss, 1971)

### 6.3.3. Valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR

Il rapporto di resistenza ciclica può essere stimato sulla base di prove SPT, CPT e da misura della velocità delle onde di taglio. Poiché le procedure semplificate sono state elaborate sulla base di osservazioni sul comportamento dei depositi durante eventi sismici con magnitudo  $M=7.5$ , per eventi di magnitudo diversa si introduce un coefficiente correttivo MSF così definito:





$$CRR_M = CRR_{7.5} \cdot MSF,$$

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}}$$

Figura 6-4: MSF in funzione della Magnitudo (NCEER, 1997)

Il calcolo del valore del rapporto di resistenza ciclica CRR a partire da prove SPT si basa su 3 step principali.

Contraente 	Progettista 
Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A	Progetto NG12         Lotto 00         Codifica Documento E 09 RP VI0000 C01         Rev. A         Foglio 24 di 74

## Step 1: Correzione del valore di colpi SPT

Il numero di colpi NSPT viene normalizzato mediante la seguente espressione:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N C_E C_B C_R C_S,$$

dove:

$$C_N = \sqrt{\frac{100}{\sigma_v}} \quad \text{fattore correttivo della profondità;}$$

$C_E =$  fattore correttivo per considerare il rendimento energetico;

$C_B =$  fattore correttivo per le dimensioni del foro di sondaggio;

$C_R =$  fattore correttivo per la lunghezza delle aste;

$C_S =$  fattore correttivo per il tipo di attrezzo campionario.

Nella tabella seguente sono riportati i valori di riferimento.

**Tabella 6-2: Fattori di correzione prove SPT (Youd and Idriss, 1997)**

Factor	Equipment Variable	Term	Correction
Overburden Pressure		$C_n$	See Figure 4.3
Energy Ratio	Safety Hammer Donut Hammer Automatic Trip Hammer	$C_e$	0.60 to 1.17 0.45 to 1.00 0.9 to 1.6 See Table 4.2 for details
Borehole Diameter	65 mm to 115 mm 150 mm 200 mm	$C_b$	1.0 1.05 1.15
Rod Length**	3 m to 4 m 4 m to 6 m 6 m to 10 m 10 m to 30 m >30 m	$C_r$	0.75 0.85 0.95 1.0 <1.0
Sampling Method	Standard sampler Sampler without liners	$C_s$	1.0 1.2

\* The Implementation Committee recommends using a minimum of 0.4.

\*\* Actual total rod length, not depth below ground surface

## Step 2: Correzione del numero di colpi SPT in base al contenuto di fine

In accordo a Stark & Olsen (1995) la resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60}$  è riportata al valore equivalente per sabbie pulite con la relazione:

$$(N_1)_{60f} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60},$$

dove  $\Delta(N_1)_{60}$  è determinato in accordo al grafico seguente:

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
25 di 74

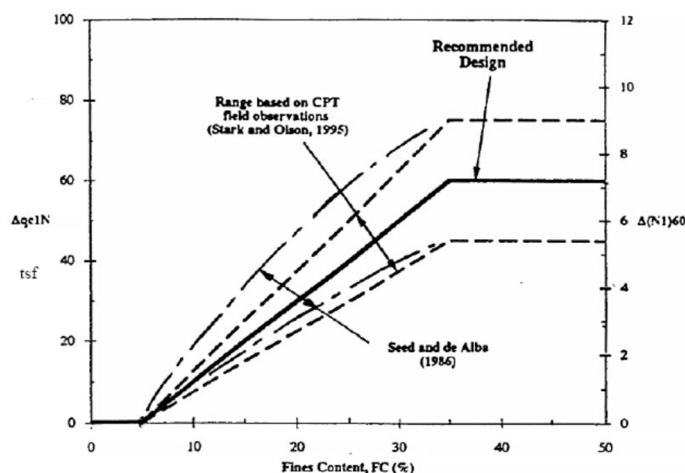
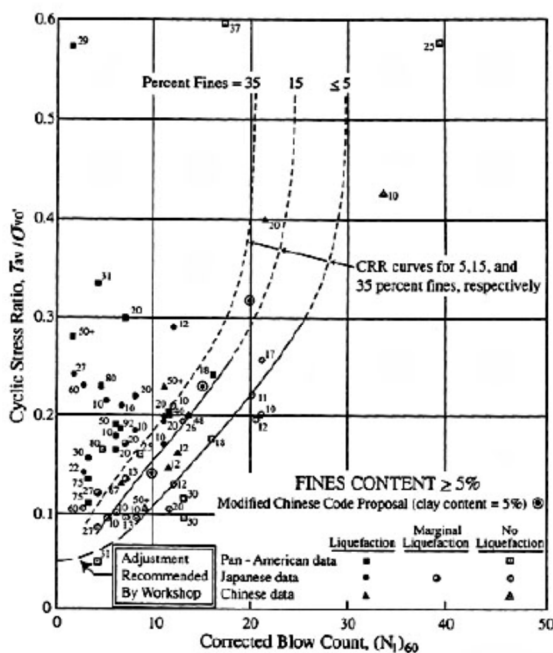


Figura 6-5:Fattore di correzione per SPT e CPT in funzione del contenuto di fine (Seed,1996)

### Step 3: Calcolo di CRR7.5

In accordo a Blake (1997) la resistenza ciclica viene determinata con la relazione seguente:



$$CRR_{7.5} = \frac{a + c \cdot x + e \cdot x^2 + g \cdot x^3}{1 + b \cdot x + d \cdot x^2 + f \cdot x^3 + h \cdot x^4}$$

where,

$$x = (N_1)_{60f}$$

$$a = 0.048$$

$$b = -0.1248$$

$$c = -0.004721$$

$$d = 0.009578$$

$$e = 0.0006136$$

$$f = -0.0003285$$

$$g = -1.673 \cdot 10^{-5}$$

$$h = 3.714 \cdot 10^{-6}$$

Figura 6-6:Curva semplificata raccomandata per il calcolo di CRR a partire da prove SPT (Modificata da Seed et al. 1985) (NCEER,1997)

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
26 di 74

#### 6.3.4. Considerazioni in merito alla stima dei cedimenti per effetto del sisma

In letteratura tecnica esistono diversi metodi per la stima dei cedimenti dovuti al sisma; fra questi si ricorda quello di Ishihara e Yosemine (1990). Tale metodo considera i fattori di sicurezza alla liquefazione alle varie profondità per stimare, sulla base del grafico di Figura 6-7, la deformazione volumetrica di ogni strato. Dalla deformazione volumetrica è possibile passare ai cedimenti  $S_{sat}$ .

$$S_{sat} = \frac{\varepsilon_v}{100} \cdot dz$$

Anche per gli strati sabbiosi sopra falda può essere stimato il cedimento, ad esempio con la metodologia proposta da Tokimatsu e Seed (1987). Il programma di calcolo utilizzato per le analisi di liquefazione stima i cedimenti con i metodi sopra elencati.

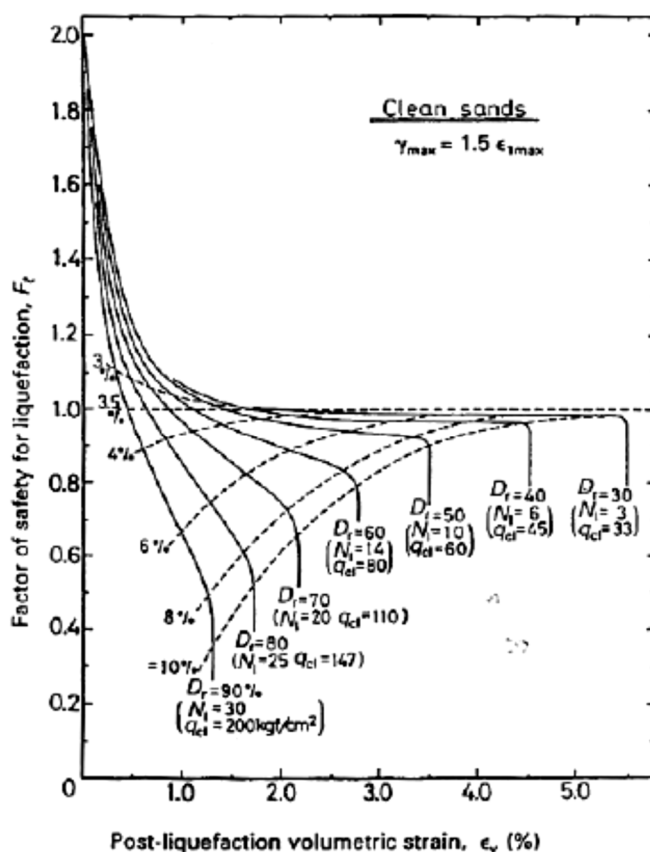


Figura 6-7: Grafico relativo alla stima dei cedimenti in funzione delle caratteristiche del terreno

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
27 di 74

### 6.3.5. Verticali di indagine analizzate e stratigrafie di calcolo

Applicando i criteri di esclusione al paragrafo 6.1, sono state individuate le verticali di indagine che necessitano indagini più approfondite, in particolare i sondaggi IFPM1, IFPM2, IFPM3, IFPM4, IFPM5, IFPM6, IFPM7 e IFPM8.

Per ognuna di queste indagini sono state predisposte le stratigrafie di calcolo, riportate nei grafici successivi con evidenziati i livelli che non soddisfano i requisiti di esclusione della verifica a liquefazione. In tali rappresentazioni sono indicati:

- i valori di  $N_{SPT}$  assunti per il calcolo (tali valori sono stati interpolati linearmente tra di loro);
- i valori di contenuto in fine (FC) determinati sulla base delle analisi granulometriche condotte sui campioni prelevati;
- la quota della falda di progetto;
- i livelli che non soddisfano i requisiti di esclusione della verifica a liquefazione.

A favore di sicurezza è stata considerata come accelerazione massima attesa al sito ( $a_{max}$ ), la massima determinata dall'analisi di risposta sismica locale nella zona di fondovalle, pari a 0.180g (si veda Tabella 9.1).

La magnitudo è stata considerata pari a 6.14, in accordo con la zona sismogenetica di riferimento.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

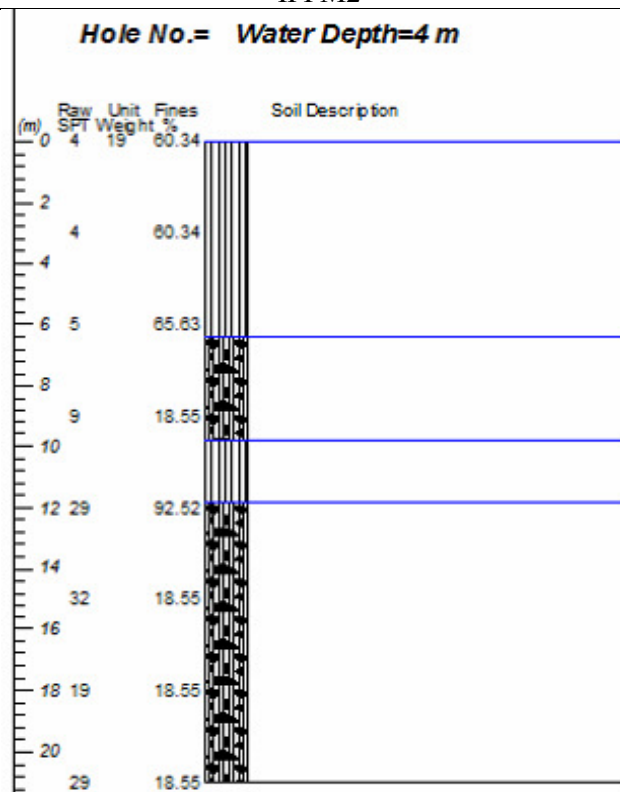
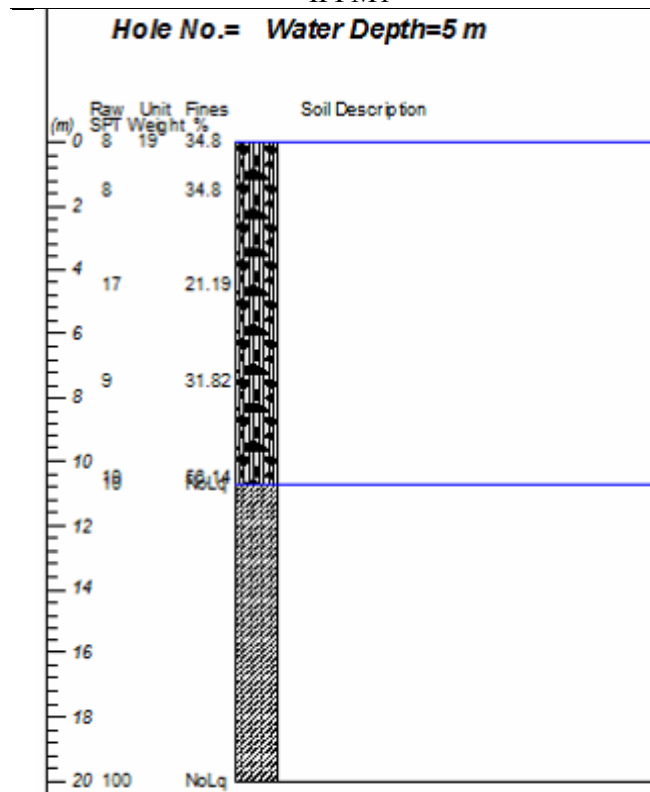
Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
28 di 74

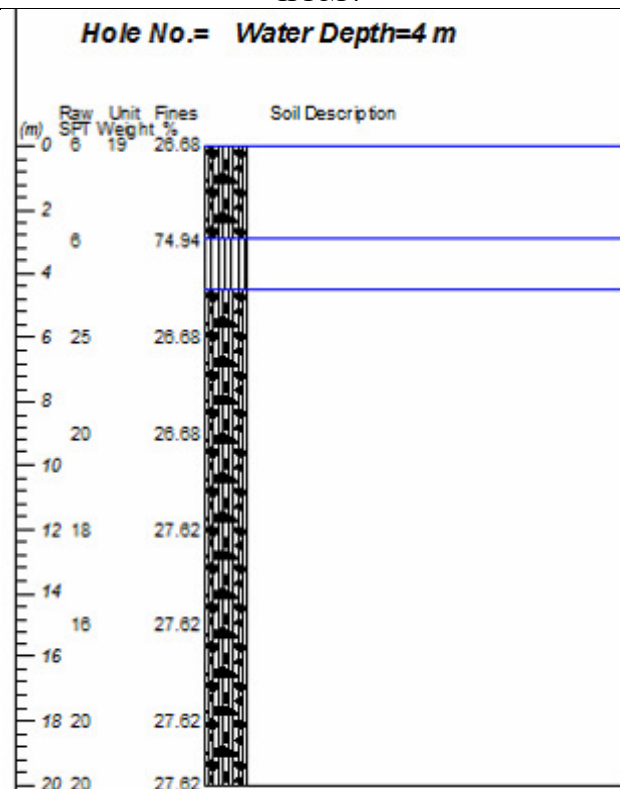
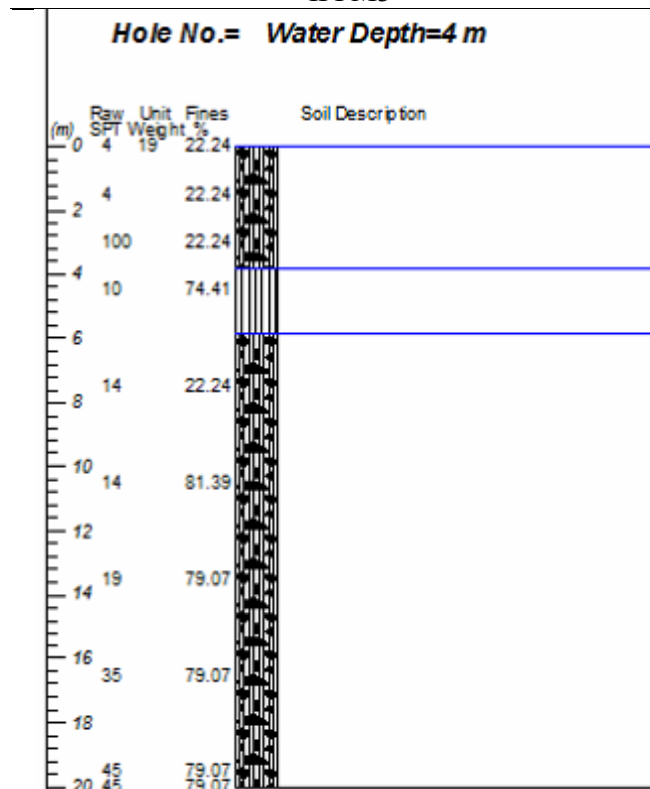
### IFPM1

### IFPM2



### IFPM3

### IFPM4



Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

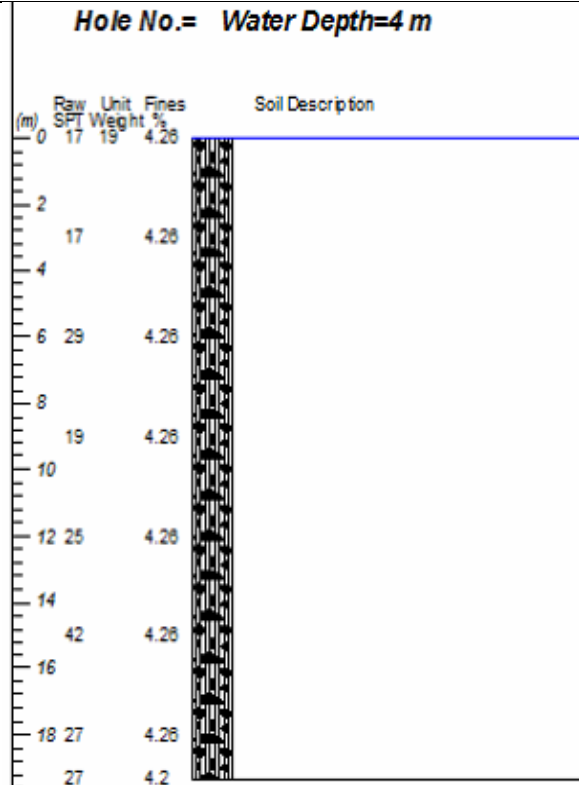
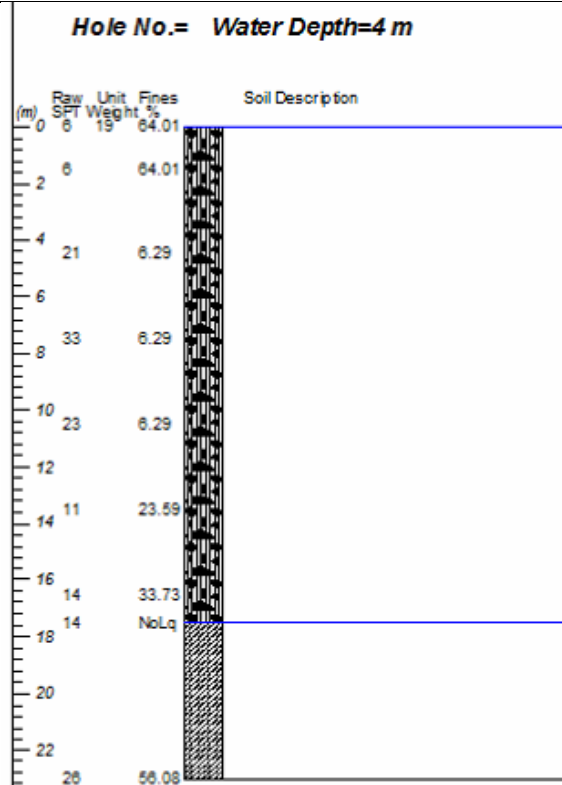
Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
29 di 74

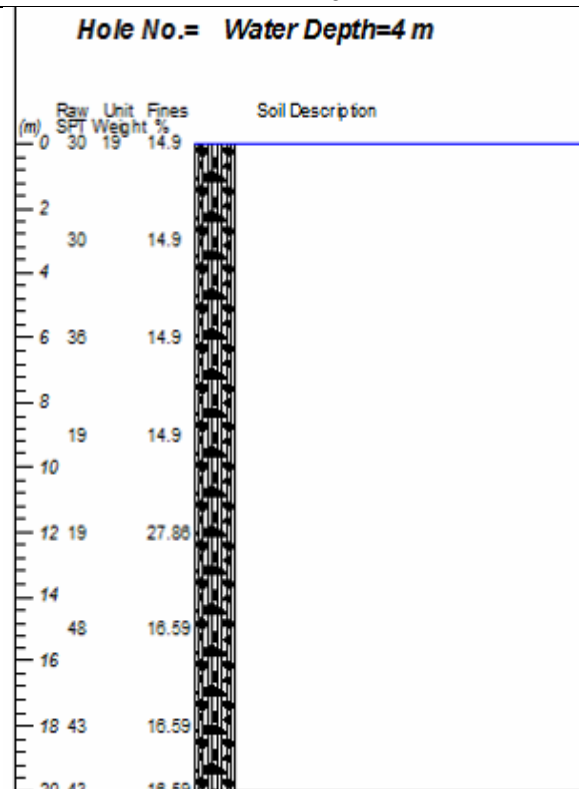
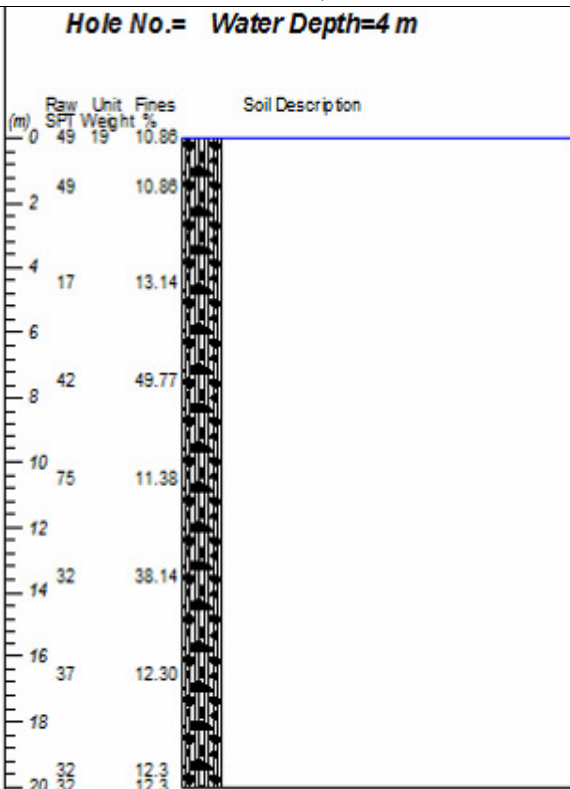
IFPM5

IFPM6



IFPM7

IFPM8



Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
30 di 74



### 6.3.6. Sintesi dei risultati

Di seguito, in, si riporta una sintesi dei risultati ottenuti per le verticali di prova selezionate nel paragrafo precedente.

**Tabella 6-3: Sintesi dei risultati delle verifiche a liquefazione**

Sondaggio	Potenziale di liquefazione Sonmez (2003)	Potenziale di liquefazione (Iwasaki, 1978)
IFPM1	PL=0 Non liquefacibile	PL=0 Molto basso
IFPM2	PL=0 Non liquefacibile	PL=0 Molto basso
IFPM3	PL=0 Non liquefacibile	PL=0 Molto basso
IFPM4	PL=0 Non liquefacibile	PL=0 Molto basso
IFPM5	PL=0 Non liquefacibile	PL=0 Molto basso
IFPM6	PL=0 Non liquefacibile	PL=0 Molto basso
IFPM7	PL=0 Non liquefacibile	PL=0 Molto basso
IFPM8	PL=0 Non liquefacibile	PL=0 Molto basso

Dalle verifiche svolte risulta quindi non liquefacibile.

Contraente  	Progettista  				
Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A	Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 RP VI0000 C01	Rev. A	Foglio 31 di 74

## 7. INDIVIDUAZIONE DEGLI ACCELEROGRAMMI SPETTROCOMPATIBILI

### 7.1. Componente Orizzontale del Moto (H) - SLV

Per la realizzazione di Analisi di Risposta Sismica locale si rende necessaria la selezione di un set di accelerogrammi di input che rappresentino correttamente la pericolosità sismica di base del sito, di per sé sintetizzata mediante lo spettro da normativa su suolo rigido affiorante orizzontale (Categoria di Sottosuolo A e topografica T1).

Le NTC 2018 al paragrafo §3.2.3.6 prescrivono infatti che “L’uso di storie temporali del moto del terreno naturali o registrate è ammesso a condizione che la loro scelta sia rappresentativa della sismicità del sito e sia adeguatamente giustificata in base alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente, alle condizioni del sito di registrazione, alla magnitudo, alla distanza dalla sorgente e alla massima accelerazione orizzontale attesa al sito.” Inoltre “L’uso di storie temporali del moto del terreno artificiali non è ammesso nelle analisi dinamiche di opere o sistemi geotecnici.”

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

Verrà quindi selezionato un set di 7 accelerogrammi naturali, registrati su siti rigidi per eventi sismici di magnitudo e distanza dalla sorgente simili allo scenario di pericolosità sismica di base medio da disaggregazione, opportunamente scalati al fine di approssimare entro i limiti prescritti lo spettro da normativa su suolo rigido orizzontale.

Sulla base dello spettro di pericolosità sismica di base e degli scenari definiti al capitolo 4 è possibile procedere alla selezione di 7 accelerogrammi che siano mediamente spettrocompatibili. La spettrocompatibilità in direzione orizzontale sarà garantita per i periodi di interesse che sono valutati compresi tra 0.15s e 4s.

Tale ricerca verrà effettuata utilizzando il database ed il relativo motore di ricerca fornito dal PEER Rif. [5].

Le variabili inputate per la ricerca degli accelerogrammi sono riportate di seguito in Figura 7.1, nella scheda di inserimento propria del portale. I valori dei principali parametri (Magnitudo e Distanza) corrispondono di fatto a quanto determinato nel capitolo 4 sulla base dell’analisi di disaggregazione della pericolosità sismica di base.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP V10000 C01

Rev.  
A

Foglio  
32 di 74

Load Sample Input Values

Clear Input Values

Search

These characteristics are defined in the NGA-West2 Flatfile. You need to re-run Search when any of these parameters are updated.

**Record Characteristics:**

RSN(s) :  RSN1,...RSNn

Event Name :

Station Name :

**Search Parameters:**

Fault Type :  All Types

Magnitude :  4,5,5 min,max

R\_JB(km) :  0,30 min,max

R\_rup(km) :  0,30 min,max

Vs30(m/s) :  400,5000 min,max

D5-95(sec) :  10,90 min,max

Pulse :  NO Pulse-like Records

**Additional Characteristics:**

Max No. Records :  30 (<=100)

Initial ScaleFactor :  0,1,10 min,max

Suite

Spectral Ordinate :  H1

Damping Ratio :  5%

Suite Average :  Arithmetic

Scaling

Scaling Method :  Minimize MSE

MSE = Computed Weighted Mean Squared Error of record, and suite average, wrt target spectrum.

Weight Function

Used in both search and scaling when computing MSE. Values can be updated for rescaling. Intermediate points are interpolated with  $W = f_{\text{xn}}(\log(T))$

Period Points :  0,1,1,10 (T1,T2, ... Tn)

Weights :  1,1,1 (W1,W2, ... Wn)

Figura 7.1 – Portale di inserimento dati per la ricerca dei segnali (PEER)

Il portale non consente tuttavia di inserire un range di accettabilità dello spettro medio ricavato. Sono quindi stati scelti i 7 segnali, completi nelle tre direzioni, che fornissero lo scarto medio inferiore rispetto allo spettro di progetto.

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa dei segnali scelti ed un grafico riportante gli spettri dei sette accelerogrammi, lo spettro medio degli stessi e quello da normativa con i relativi margini di tolleranza.

Record Sequence N.	Mean Squared Error	Scale Factor	5-75% Duration [s]	5-95% Duration [s]	Earthquake Name	Year	Station Name	Magnitude	Mechanism	R <sub>Joyner-Boore</sub> [km]	R <sub>PianoRottura</sub> [km]	Vs30 [m/sec]
501	0.19	2.01	4.5	12.6	Hollister	1986	SAGO South - Surface	5.5	strike slip	11.2	12.3	609
4320	0.12	2.67	5.0	12.3	Lazio Abruzzo	1984	Cassino-Sant' Elia	5.5	Normal	21.6	22.2	437
4363	0.23	1.89	10.5	19.3	Umbria Marche	1997	Bevagna	5.5	Normal	16.6	17.1	401
4410	0.14	2.17	6.8	15.6	Umbria Marche	1998	Gubbio-Piana	5.1	Normal	18.3	19.3	492
4554	0.22	2.65	7.8	15.4	L'Aquila	2009	L'Aquila - Parking	5.4	Normal	14.0	20.0	717
8742	0.23	2.06	4.0	11.3	40204628	2007	Santa Clara CA US	5.5	strike slip	16.6	17.1	464
8833	0.22	0.95	2.2	11.0	14383980	2008	Puddingstone Reservoir	5.4	Reverse Oblique	14.6	20.4	463

Tabella 7.1 – Segnali Accelerometrici Selezionati

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

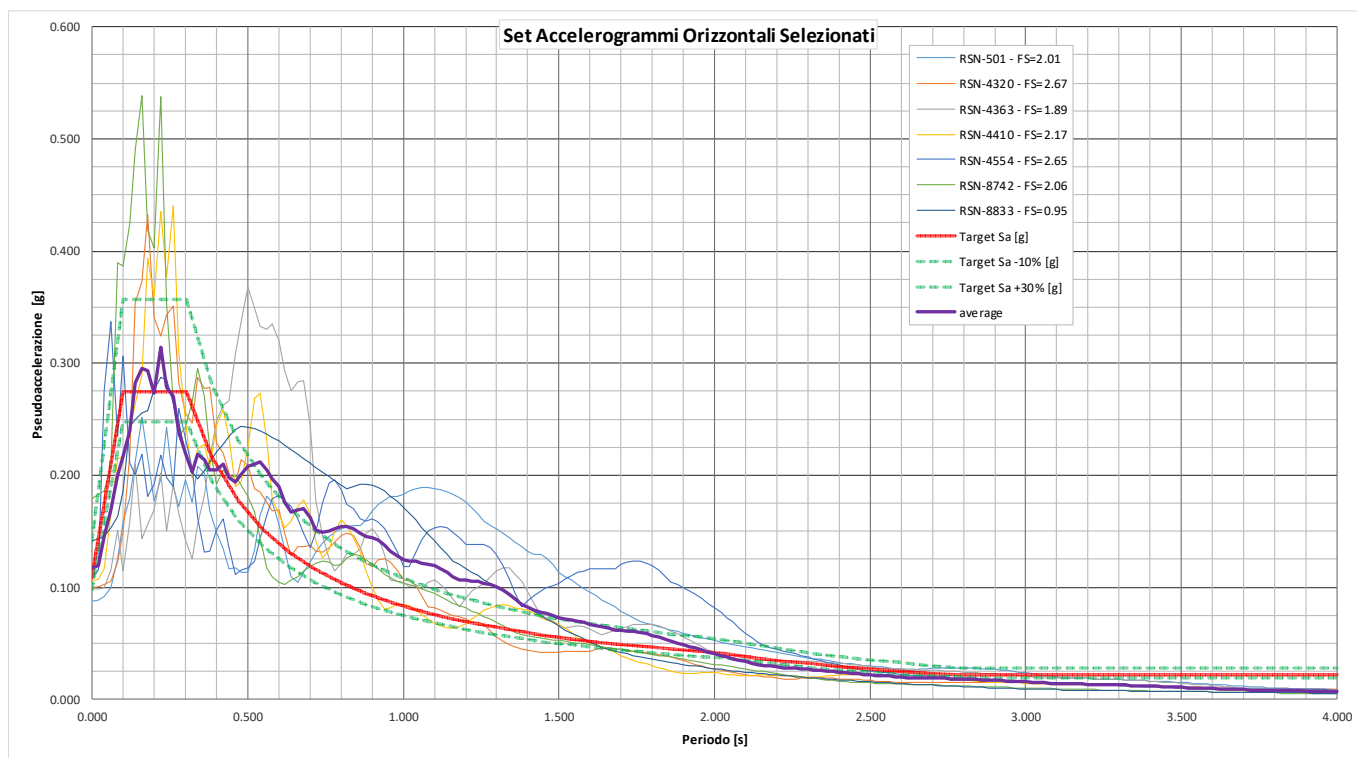
Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
33 di 74

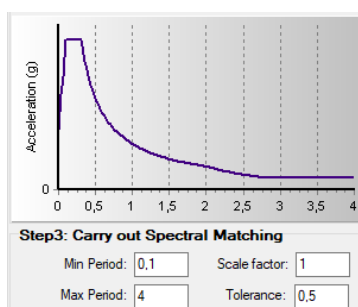


**Figura 7.2 – Grafico riassuntivo degli spettri degli accelerogrammi selezionati, Componente orizzontale - SLV**

Come è possibile notare, la congruenza dello spettro medio con lo spettro normativo non può ancora essere considerata soddisfacente. Per questo motivo si procede ad effettuare una operazione di “Spectral matching” utilizzando il software SeismoMatch Rif. [6].

SeismoMatch è un applicativo in grado di modificare leggermente gli accelerogrammi registrati al fine di ottenere una buona corrispondenza ad un determinato spettro target. Tale procedura sfrutta l’algoritmo proposto da Abrahamson [1992] ed Hancock et al. [2006].

Di seguito quindi, in Figura 7.3, si riportano i parametri di input e lo spettro inseriti nel software per la procedura di spectral matching.



**Figura 7.3 – Input per la procedura di spectral matching, componente orizzontale.**

Di seguito infine, in Figura 7.4, gli spettri dei sette accelerogrammi a seguito dello spectral matching, lo spettro medio degli stessi e quello da normativa con i relativi margini di tolleranza.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

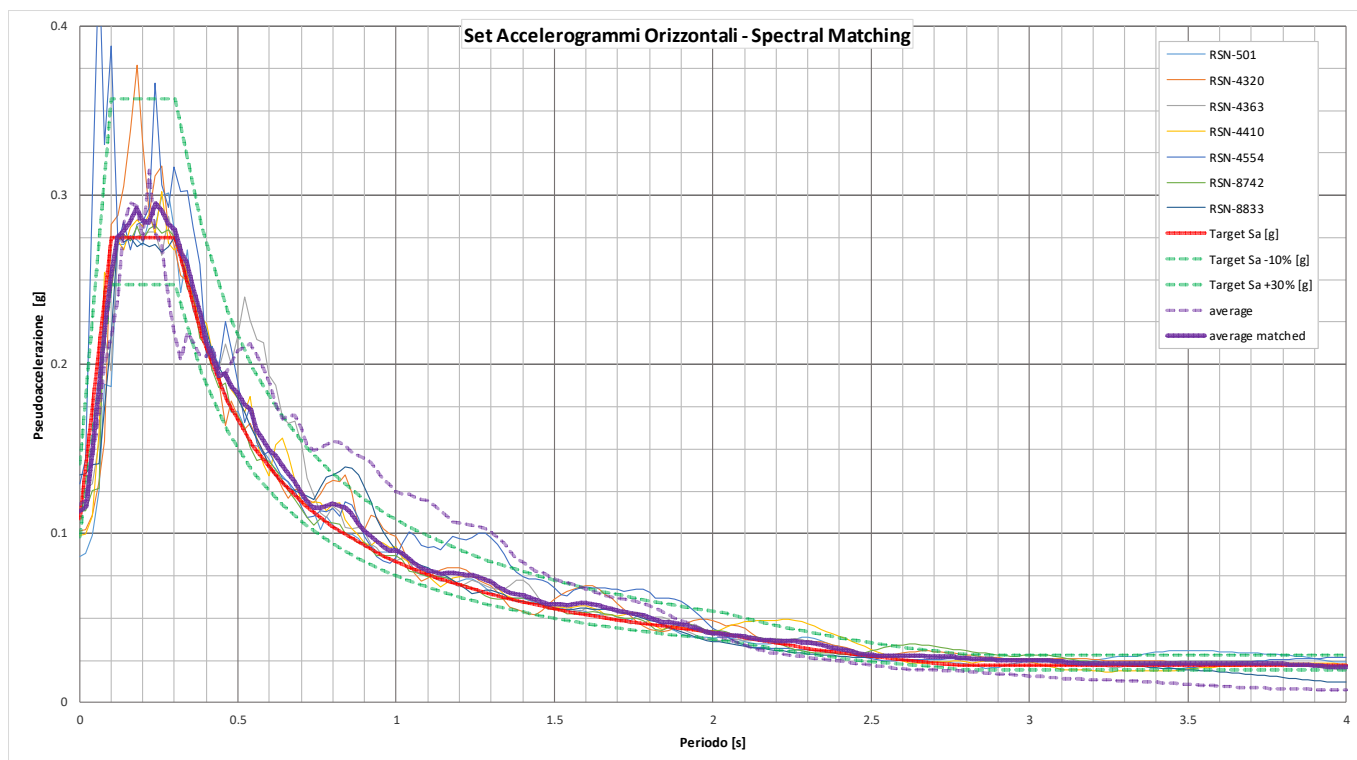
Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
34 di 74



**Figura 7.4 – Grafico riassuntivo degli spettri degli accelerogrammi selezionati a seguito dello spectral matching, Componente orizzontale - SLV**

## 7.2. Componente Verticale del Moto (V) - SLV

I segnali accelerometrici selezionati sono corredati dalla registrazione della loro componente verticale. Nel grafico di seguito, Figura 7.5, si riportano gli spettri delle componenti verticali senza scalatura confrontati con lo spettro di pericolosità sismica di base per la componente verticale.

Come si può vedere gli spettri non scalati, seppur fuori dai limiti richiesti, rappresentano già abbastanza bene la pericolosità sismica da normativa. Si è quindi deciso di procedere allo spectral matching senza effettuare una scalatura dei segnali.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

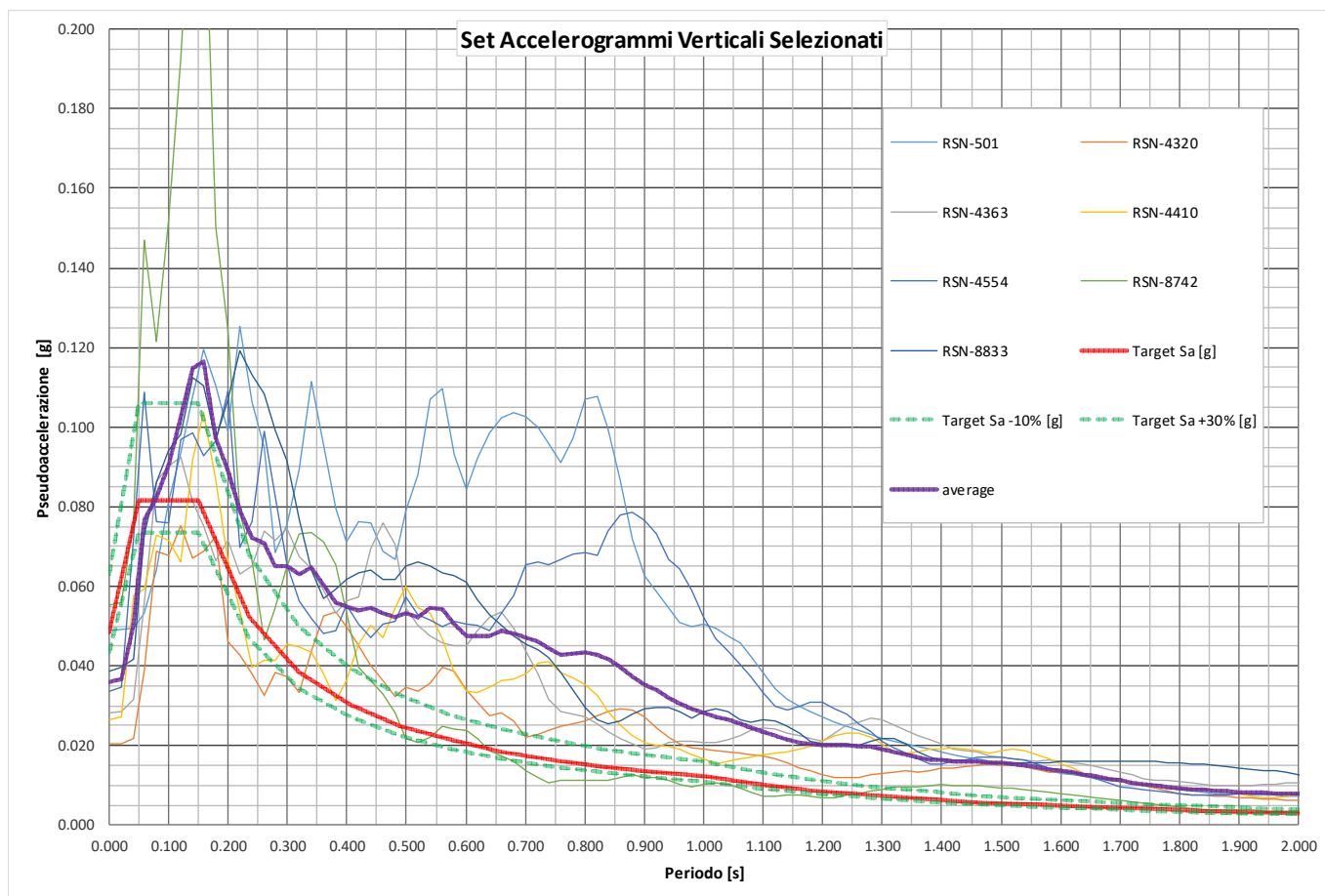
Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

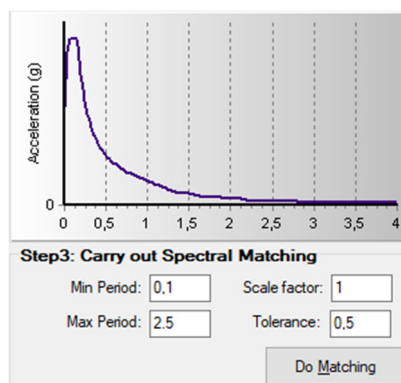
Rev.  
A

Foglio  
35 di 74



**Figura 7.5 – Grafico riassuntivo degli spettri degli accelerogrammi verticali selezionati - SLV**

In Figura 7.6 si riportano i parametri di input e lo spettro inseriti nel software per la procedura di spectral matching. La spettrocompatibilità in direzione verticale sarà garantita per i periodi di interesse che sono valutati compresi tra 0.1s e 2.5s.



**Figura 7.6 – Input per la procedura di spectral matching in direzione verticale**

Di seguito infine, in Figura 7.7, gli spettri dei sette accelerogrammi verticali a seguito dello spectral matching, lo spettro medio degli stessi e quello da normativa con i relativi margini di tolleranza.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
36 di 74

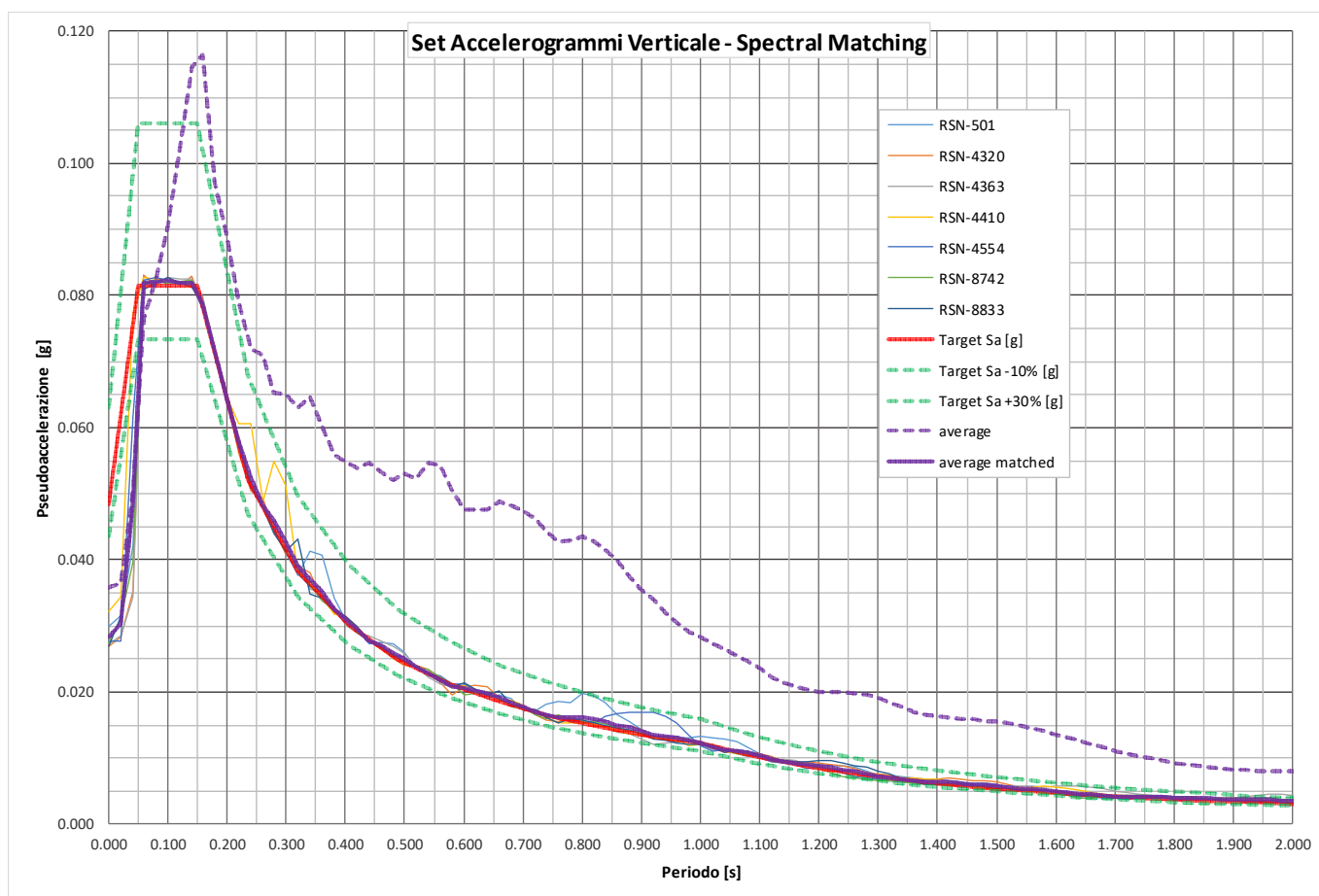


Figura 7.7 – Grafico riassuntivo degli spettri degli accelerogrammi verticali a seguito dello spectral matching - SLV

### 7.3. Rappresentazione grafica dei segnali accelerometrici agli SLV

Nelle figure di seguito si presentano graficamente gli accelerogrammi rappresentativi della pericolosità sismica di base, nelle due componenti orizzontale e verticale.

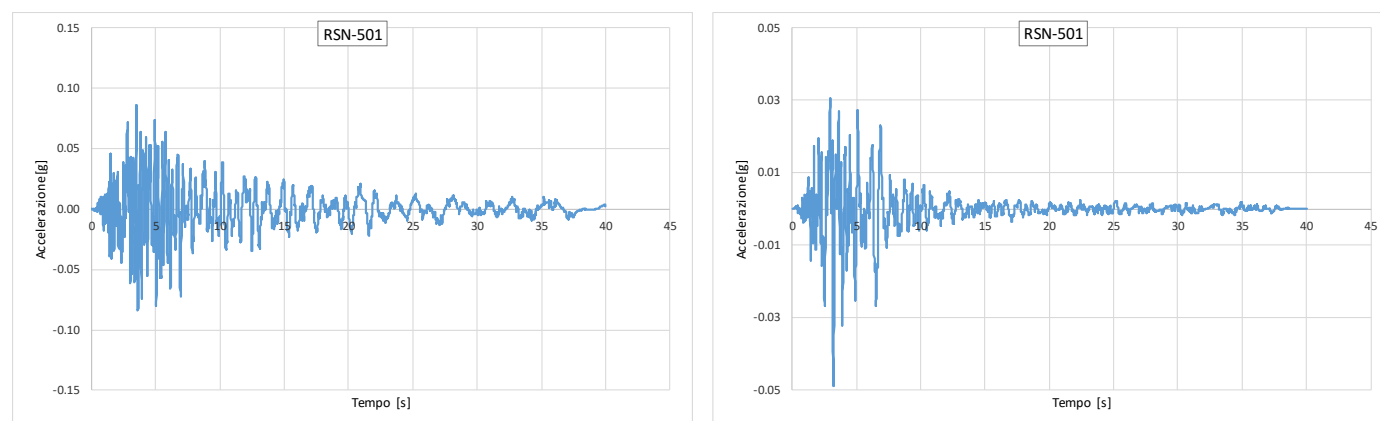


Figura 7.8 – Segnale RSN-501

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

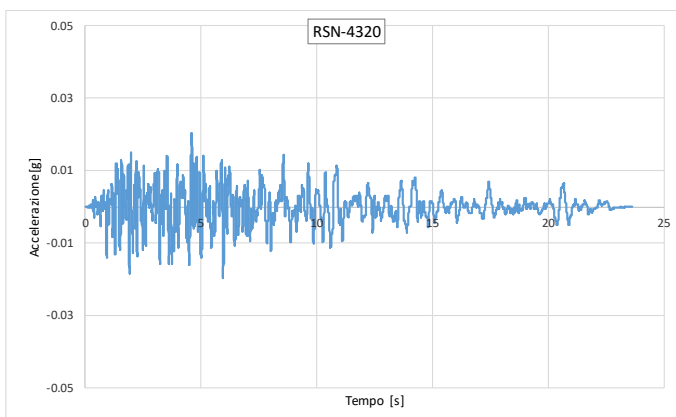
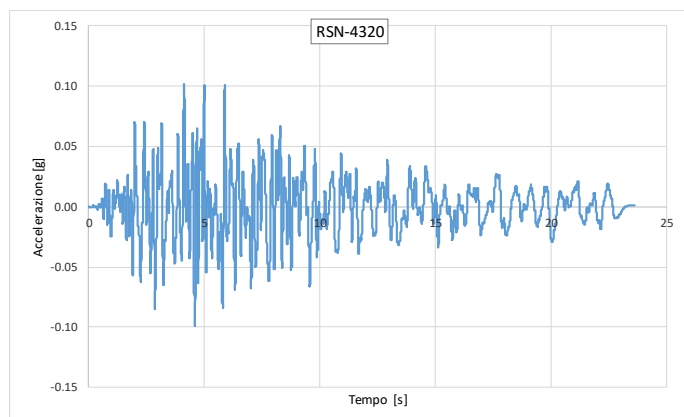
Progetto  
NG12

Lotto  
00

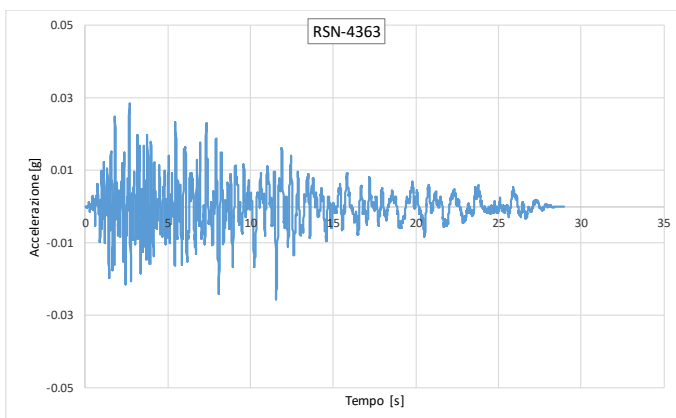
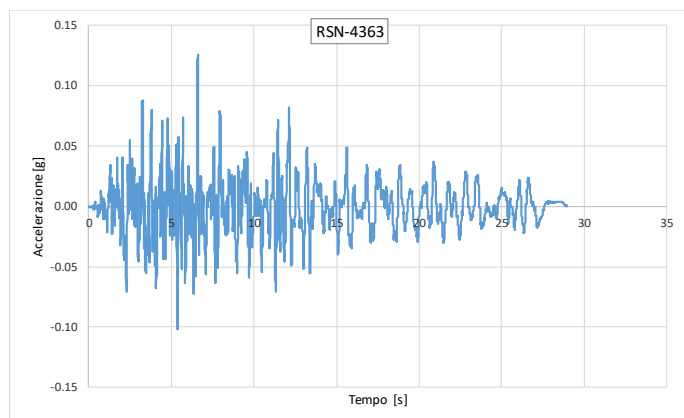
Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

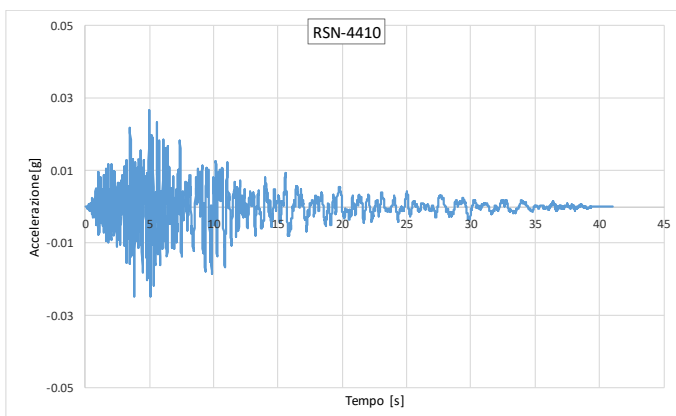
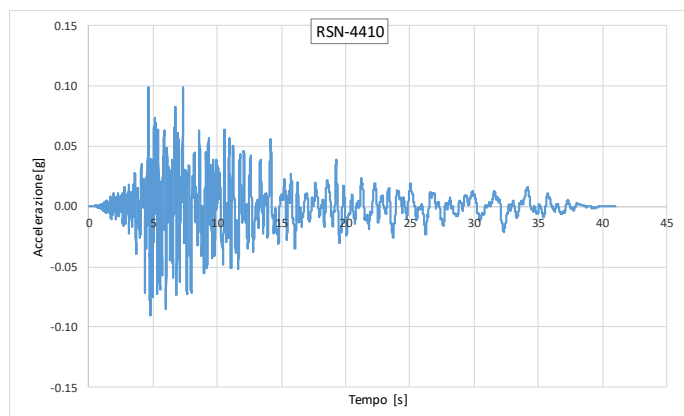
Foglio  
37 di 74



**Figura 7.9 – Segnale RSN-4320**



**Figura 7.10 – Segnale RSN-4363**



**Figura 7.11 – Segnale RSN-4410**

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
38 di 74

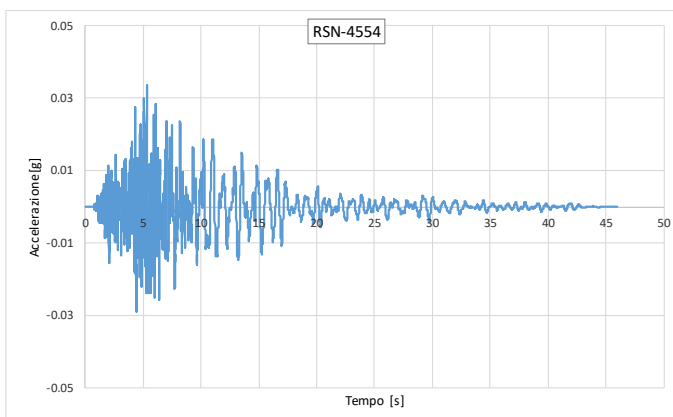
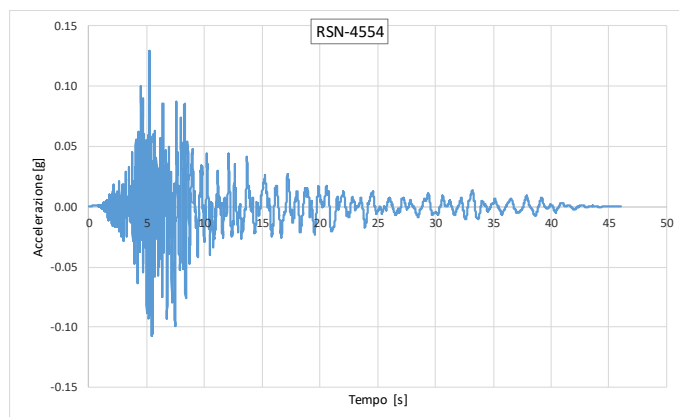


Figura 7.12 – Segnale RSN-4554

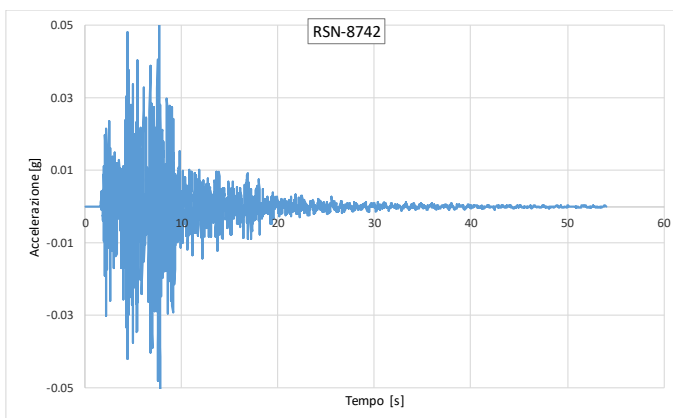
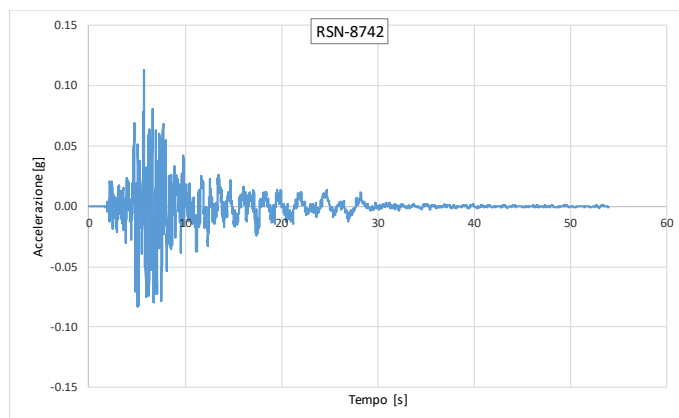


Figura 7.13 – Segnale RSN-8742

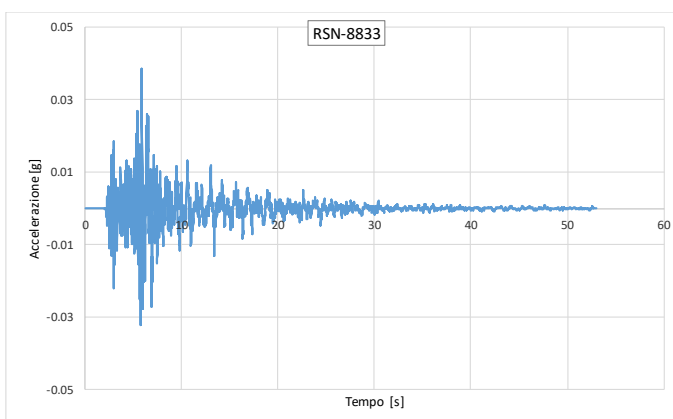
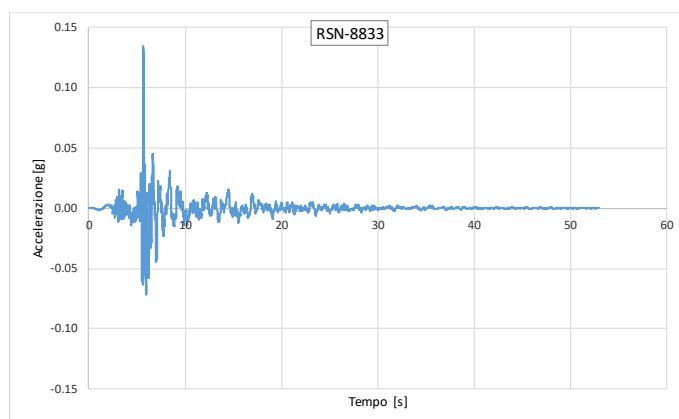


Figura 7.14 – Segnale RSN-8833

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
39 di 74

#### 7.4. Accelerogrammi Spettrocompatibili agli SLC

Il set di accelerogrammi spettrocompatibile adottato per le analisi agli Stati Limite di Collasso è stato derivato a partire dai medesimi accelerogrammi selezionati nei paragrafi precedenti per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, applicando la procedura di “spectral matching” con i medesimi parametri.

Di seguito, in Figura 7.7 e Figura 7.15, si riportano i grafici riassuntivi delle componenti Orizzontale e Verticale.

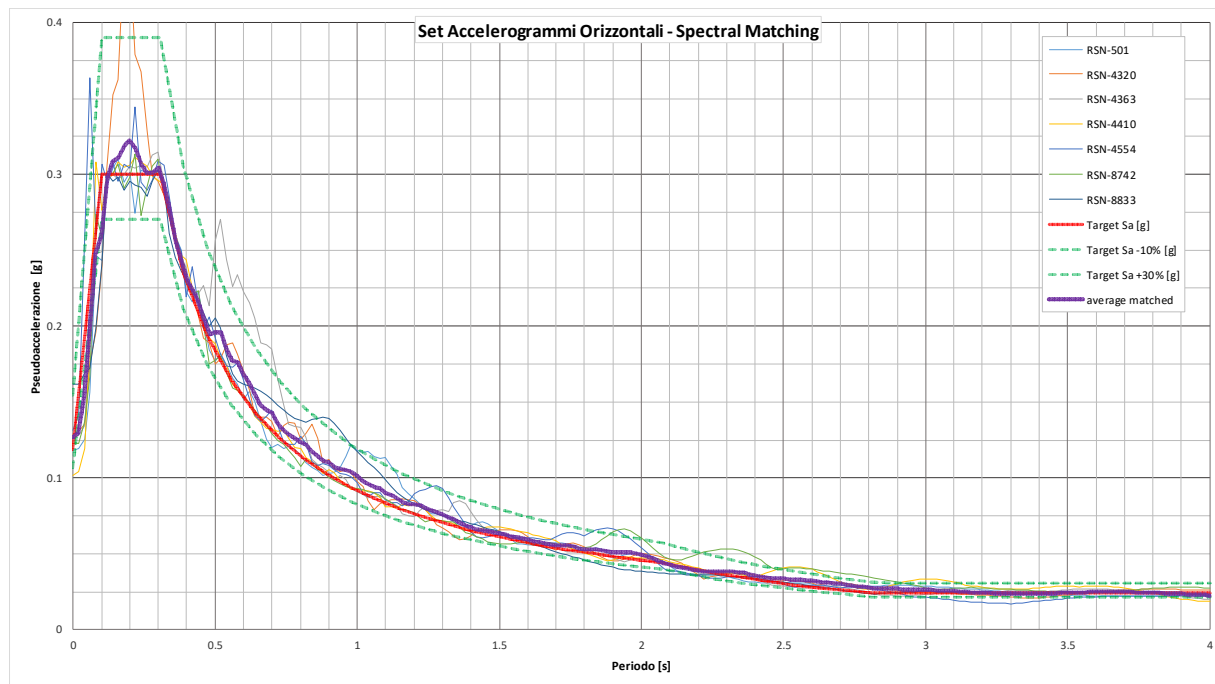


Figura 7.15 – Grafico riassuntivo degli spettri degli accelerogrammi orizzontali a seguito dello spectral matching - SLC

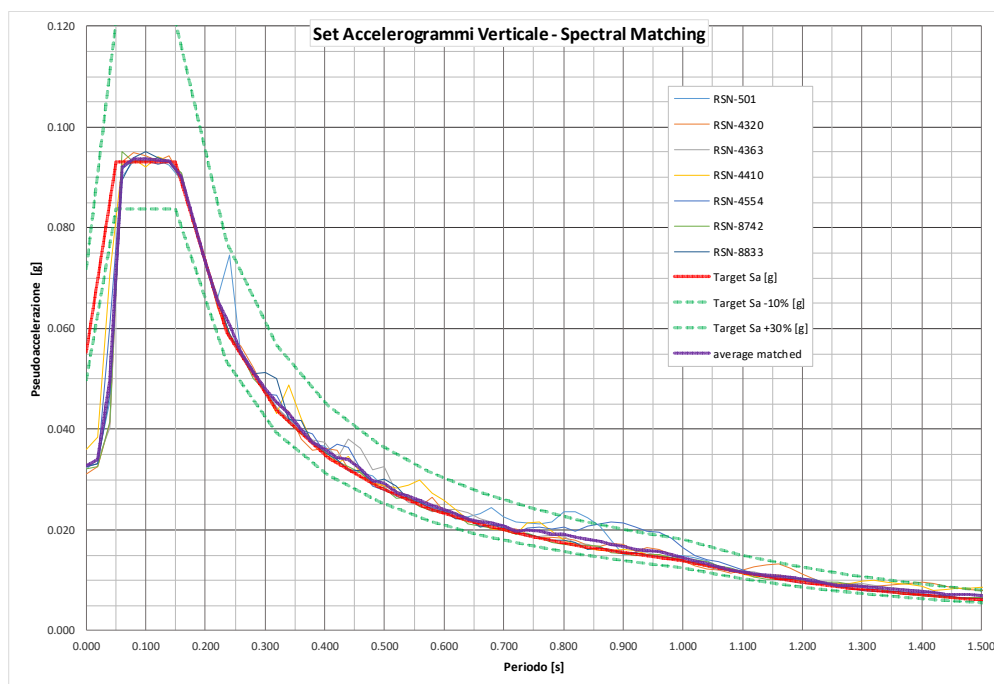


Figura 7.16 – Grafico riassuntivo degli spettri degli accelerogrammi verticali a seguito dello spectral matching - SLC

## 7.5. Accelerogrammi Spetrocompatibili agli SLD

Il set di accelerogrammi spettrocompatibile adottato per le analisi agli Stati Limite di Danno è stato derivato a partire dai medesimi accelerogrammi selezionati nei paragrafi precedenti per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, applicando la procedura di “spectral matching” con i medesimi parametri.

Di seguito, in Figura 7.17 e Figura 7.18, si riportano i grafici riassuntivi delle componenti Orizzontale e Verticale.

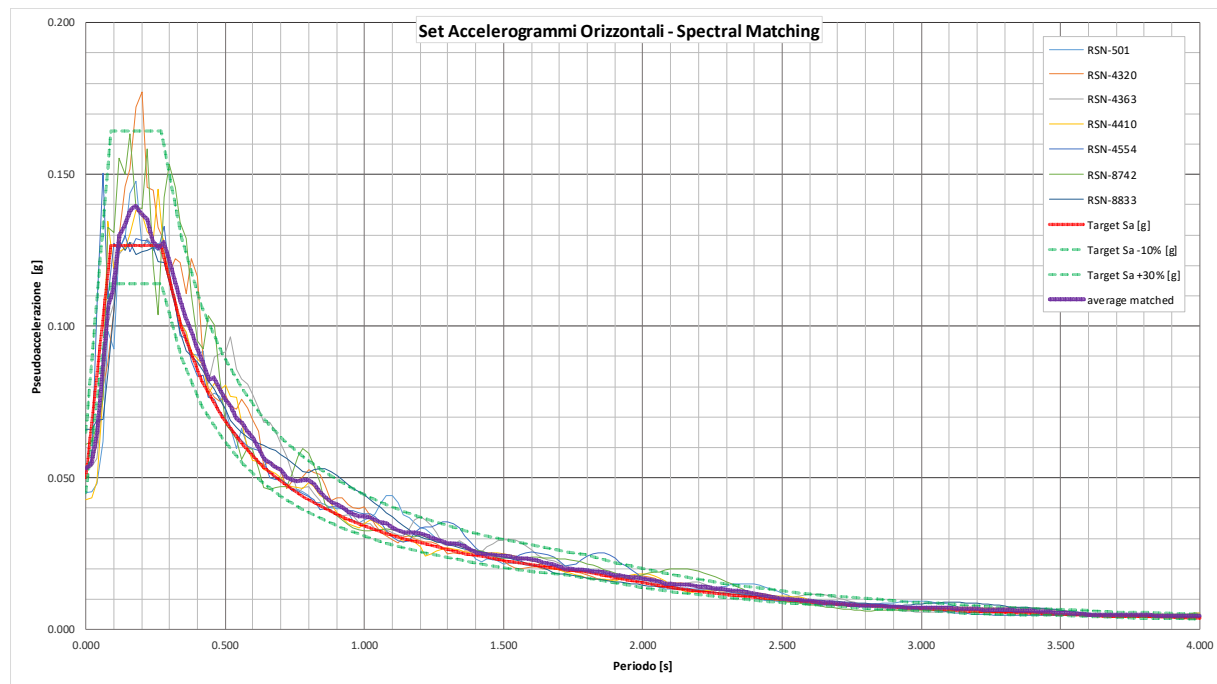


Figura 7.17 – Grafico riassuntivo degli spettri degli accelerogrammi orizzontali a seguito dello spectral matching - SLD

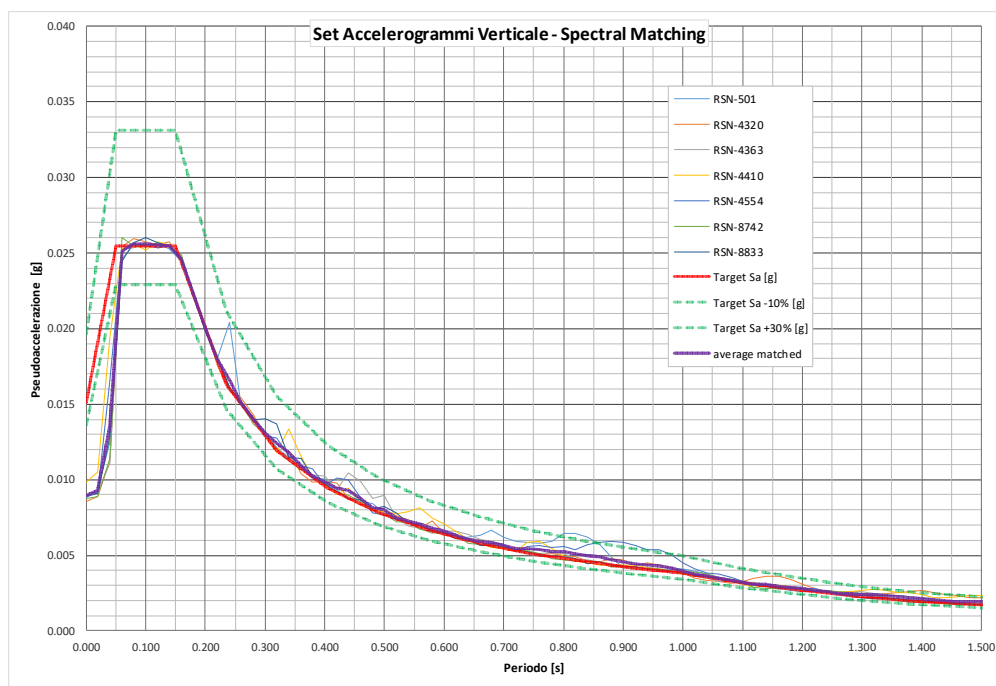




Figura 7.18 – Grafico riassuntivo degli spettri degli accelerogrammi verticali a seguito dello spectral matching - SLD

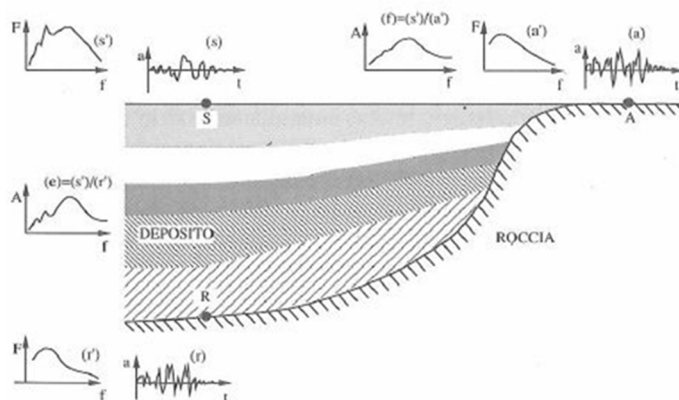
Contraente  	Progettista  				
Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A	Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 RP VI0000 C01	Rev. A	Foglio 41 di 74

## 7.6. Deconvoluzione

Il modello che verrà illustrato necessita in input del segnale tipicamente denominato “Bedrock Motion”. Facendo riferimento allo schema riportato in Figura 7.19 infatti, lo studio di pericolosità sismica di base INGV ci fornisce il moto sismico su suolo rigido topograficamente piano e affiorante (punto A).

Le analisi di Risposta Sismica Locale sono volte alla determinazione del “Surface Motion” (moto nel Punto S) tenendo in debito conto gli effetti di amplificazione Stratigrafia e Topografica.



Per fare questo, il modello che verrà illustrato nel seguito, necessita in input del moto sismico al Bedrock sommerso (Punto R).



**Figura 7.19 – Schema di riferimento per l’analisi della risposta sismica locale**

Il moto sismico nel Punto R può essere determinato, a partire dagli accelerogrammi determinati nel punto A ed illustrati nei paragrafi precedenti, mediante procedure di Deconvoluzione. In particolare, nel presente caso è stato utilizzato il software STRATA (Rif. [8]).

Gli accelerogrammi così deconvoluti sono poi stati trasposti in velocigrammi al fine di consentirne l’implementazione in FLAC attraverso i “quiet boundary” alla base.

Contraente 	Progettista 				
Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A	Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 RP V10000 C01	Rev. A	Foglio 42 di 74

## 8. ANALISI DI RSL 2D

Per risposta sismica locale si intende il complesso di modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (Bedrock Motion BM), subisce attraversando gli strati di terreno soprastanti sino alla superficie (Surface Motion SM). Tali modifiche sono solitamente attribuibili ad effetti stratigrafici, correlati alle differenze di impedenza tra le unità lito-stratigrafiche ed alla geometria di tali unità, ed effetti topografici correlabili alla conformazione topografica superficiale.

Nel presente capitolo si presenta l'analisi di risposta locale realizzata lungo l'asse del viadotto Polcevera al fine di cogliere gli effetti di amplificazione del moto sismico correlabili alla conformazione stratigrafica (monodimensionale e bidimensionale) e topografica.

Per la realizzazione della suddetta analisi è stato utilizzato il software FLAC 800 di Itasca Consulting Group Inc. (Rif. [7]). Il software consente di fare modellazioni bidimensionali in condizioni sismiche, considerando anche non linearità e comportamento isteretico del terreno sotto cicli di carico.

Al modello realizzato sono stati applicati gli accelerogrammi di input individuati in precedenza al fine di cogliere la risposta globale del terreno ed ottenere la sollecitazione sismica di input per l'analisi strutturale ed i dimensionamenti geotecnici in corrispondenza di ogni unità fondale del futuro viadotto.

### 8.1. Caratterizzazione stratigrafica sismica

Per l'analisi di risposta sismica locale bidimensionale si è deciso di adottare un modello elastico lineare per tutti i materiali a cui viene associato un modello di comportamento isteretico sotto carichi ciclici, in termini di degrado del modulo di taglio ( $G/G_0$  vs  $\gamma$ ) e smorzamento ( $D$  vs  $\gamma$ ) corrispondenti al livello deformativo a taglio.

Di seguito, Tabella 8.1, si riportano i parametri adottati per il comportamento elastico dei terreni e, nell'ultima riga della tabella il modello di degrado adottato. La nomenclatura degli strati e le loro proprietà sono coerenti con la caratterizzazione geotecnica di dettaglio presentata nel documento (Rif. [1]).



Con i simboli  $K$ ,  $G$  ed  $E$  ci si riferisce rispettivamente al modulo di comprimibilità, al modulo di deformabilità a taglio e al modulo di Young; tutti intesi a piccole deformazioni. Tali valori sono dedotti a partire dai parametri  $g$ ,  $v$  e  $V_s$  mediante le formule tipiche della teoria dell'elasticità.

Si aggiunge esclusivamente un modello denominato "MatBase" che costituisce un materiale non smorzato assegnato ad una piccola porzione alla base al fine di avere proprietà meccaniche omogenee in interfaccia con i contorni di applicazione del sisma, le sue proprietà sono vicine a quelle dei Bedrock in sito che vi si interfacciano.

**Tabella 8.1 – Parametri di elastici e curve di degrado cicliche**

	DAL	DG	DL	COL (Ponente)	COP	COL (Levante)	ARG	ARG_alt	AGS	AGS_alt	ROC	ROC_alt	Mat Base
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.8	19.5	20	19	19	19	27	27	25	21.5	25	21.5	26
$\nu$ []	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
$V_s$ [m/s]	280	380	350	220	200	220	820	550	820	550	850	650	820
$K$ [Pa]	3.19E+08	6.10E+08	5.31E+08	1.99E+08	1.65E+08	1.99E+08	3.03E+09	1.36E+09	2.80E+09	1.08E+09	3.01E+09	1.51E+09	2.91E+09
$G$ [Pa]	1.47E+08	2.82E+08	2.45E+08	9.20E+07	7.60E+07	9.20E+07	1.82E+09	8.17E+08	1.68E+09	6.50E+08	1.81E+09	9.08E+08	1.75E+09
$E$ [Pa]	3.83E+08	7.32E+08	6.37E+08	2.39E+08	1.98E+08	2.39E+08	4.54E+09	2.04E+09	4.20E+09	1.63E+09	4.52E+09	2.27E+09	4.37E+09
Degrado	Vucetic & Dobry - IP=0	Rollins	Vucetic & Dobry - IP=0	Seed & Idriss	Seed & Idriss	Seed & Idriss	Bardet	Bardet	Bardet	Bardet	Bardet	Bardet	Bardet

Va precisato che il modello di degrado adottato è stato derivato in prima battuta da letteratura, a seguire i risultati delle prove dinamiche cicliche sono stati utilizzati a conferma del modello adottato.

Contraente  	Progettista  				
Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A	Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 RP VI0000 C01	Rev. A	Foglio 43 di 74

Per l'implementazione del modello di degrado si è deciso di utilizzare il modello sigmoideale a 3 parametri implementato nel software. Tale modello può essere tarato mediante appunto 3 parametri,  $a$ ,  $b$ ,  $x_0$  che sono stati modificati al fine di accostarsi opportunamente alle relative curve di letteratura. Di seguito in Tabella 8.2 si riportano i valori dei parametri adottati per ogni modello di degrado.

In Figura 8.1, Figura 8.3, Figura 8.5 e Figura 8.7 viene presentato il confronto tra le curve di degrado ( $G/G_0$  vs  $\gamma$ ) da letteratura tecnica e quelle interpolate in FLAC.

In Figura 8.2, Figura 8.4, Figura 8.6 e Figura 8.8 viene presentato il confronto tra le curve di degrado in termini di smorzamento ( $D$  vs  $\gamma$ ) da letteratura tecnica e quelle interpolate in FLAC. Al modello è anche stato aggiunto un 1% di smorzamento generale per compensare alla sottovalutazione dello smorzamento a piccolissime deformazioni.

**Tabella 8.2 – Parametri del modello costitutivo Sig3 per i diversi tipi di materiale presenti**

sig3		a	b	$x_0$
Vucetic & Dobry, 1991 - IP=0	Argille	1.0248	-0.5090	-1.5813
Seed e Idriss, 1970 - Mean Sand	Sabbie	1.0128	-0.5351	-1.4791
Rollins et al, 1998	Ghiaia	1.0117	-0.5325	-1.4894
Bardet et al, 2000	Roccia	1.0199	-0.9724	-0.0463

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
44 di 74

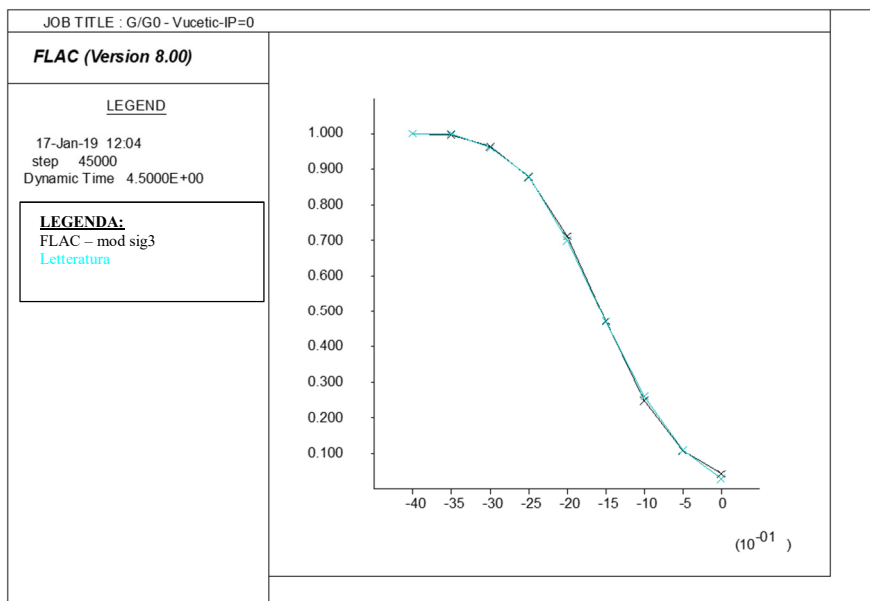


Figura 8.1 – Curva G/G0 vs  $\gamma$  - Taratura del Modello Sig3 su Vucetic & Dobry (1991) per IP=0

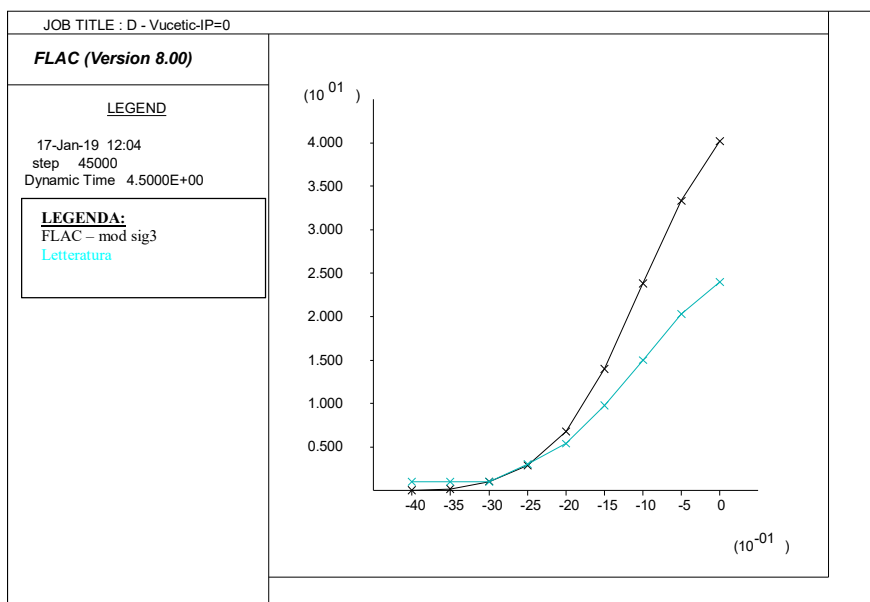


Figura 8.2 – Curva D vs  $\gamma$  - Taratura del Modello Sig3 su Vucetic & Dobry (1991) per IP=0

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
45 di 74

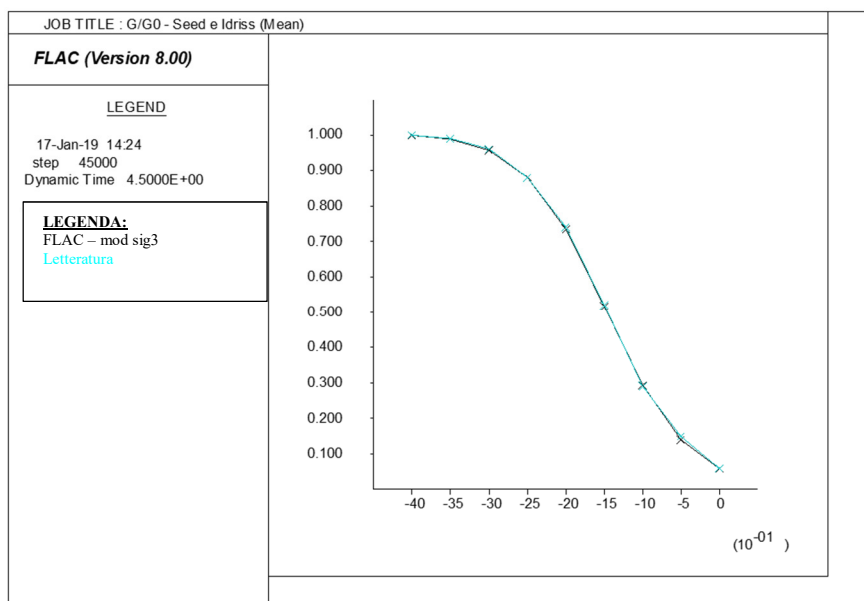


Figura 8.3 – Curva  $G/G_0$  vs  $\gamma$  - Taratura del Modello Sig3 su Seed e Idriss (1970) - Mean Sand

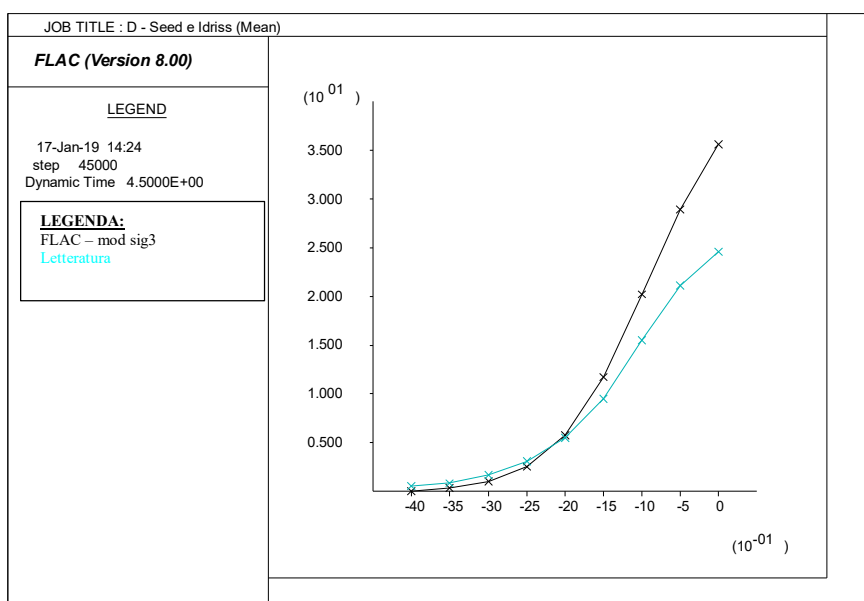


Figura 8.4 – Curva  $D$  vs  $\gamma$  - Taratura del Modello Sig3 su Seed e Idriss (1970) - Mean Sand

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
46 di 74

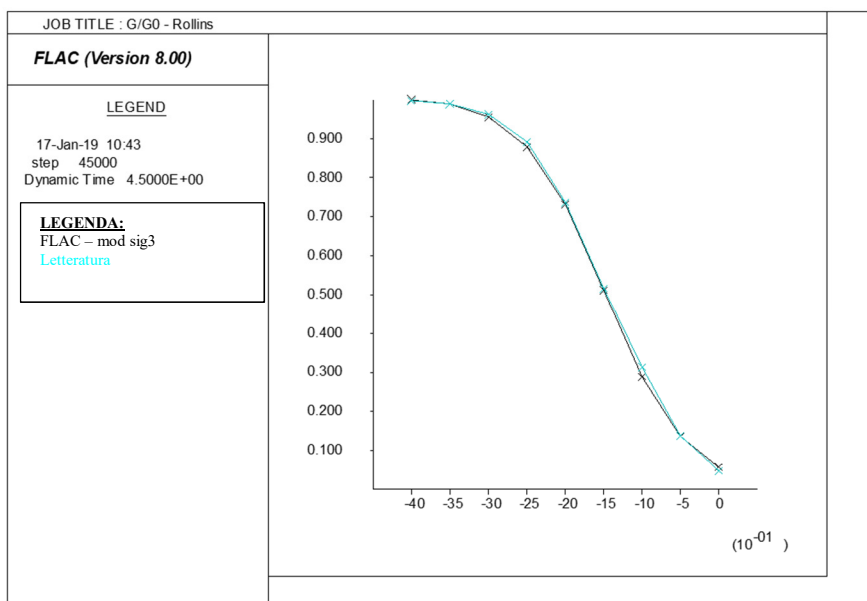


Figura 8.5 – Curva G/G0 vs  $\gamma$  - Taratura del Modello Sig3 su Rollins et al (1998)

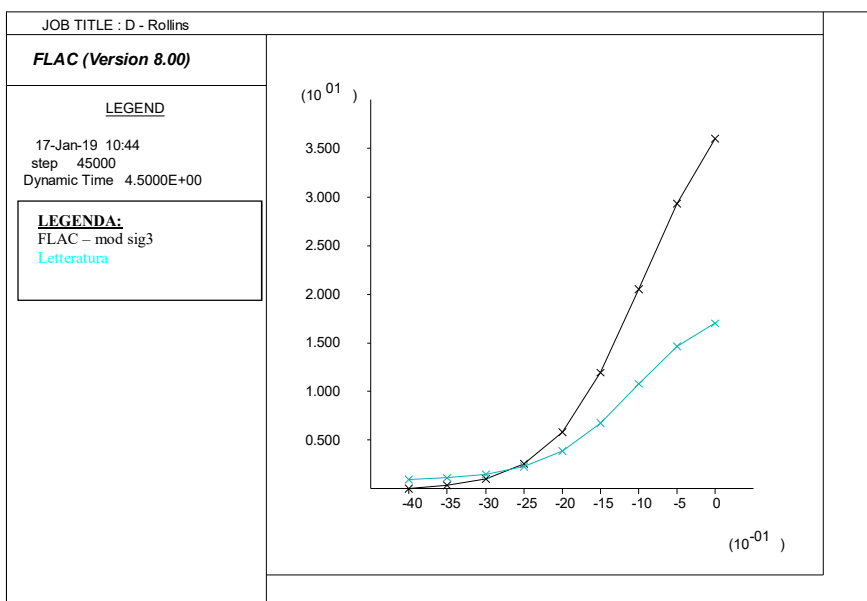


Figura 8.6 – Curva D vs  $\gamma$  - Taratura del Modello Sig3 su Rollins et al (1998)

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
47 di 74

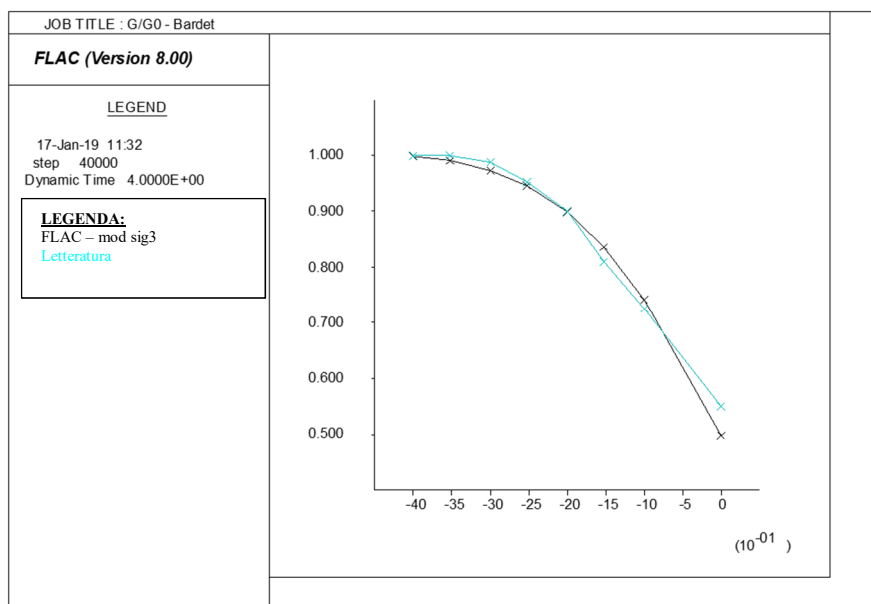


Figura 8.7 – Curva G/G0 vs  $\gamma$  - Taratura del Modello Sig3 su Bardet et al (2000)

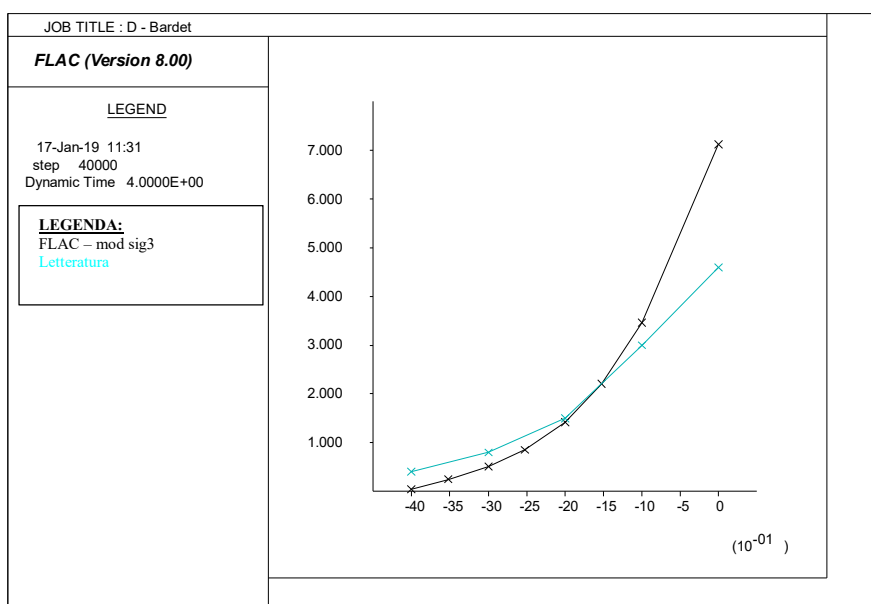




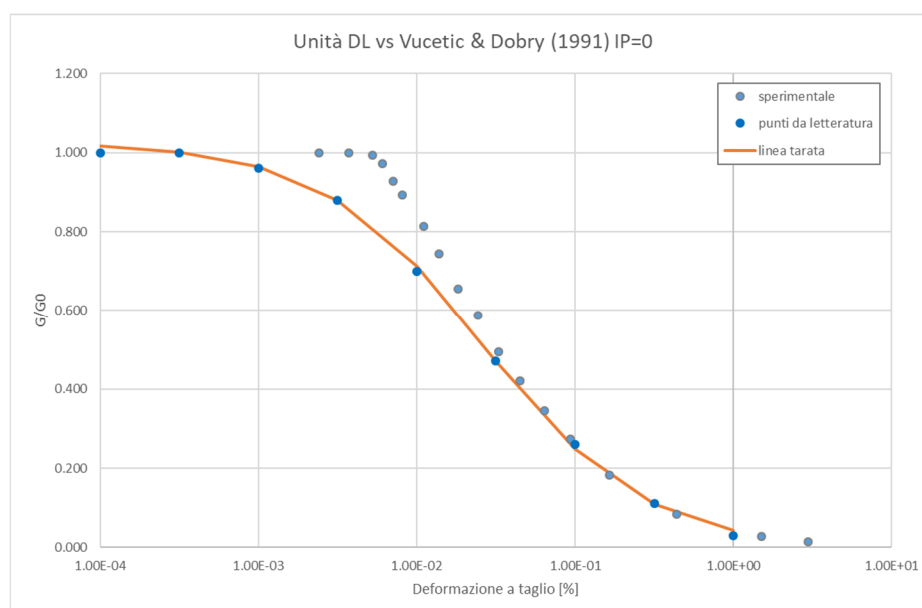
Figura 8.8 – Curva D vs  $\gamma$  - Taratura del Modello Sig3 su Bardet et al (2000)

Contraente 	Progettista 
Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A	Progetto NG12 Lotto 00 Codifica Documento E 09 RP VI0000 C01 Rev. A Foglio 48 di 74

Le curve adottate, provenienti da letteratura tecnica, sono quindi state confrontate con i dati sperimentali ottenuti da prove triassiali cicliche e prove di colonna risonante, effettuate su alcune unità. Per i dettagli sulle prove si rimanda alla Relazione Geotecnica (Rif. [1]); di seguito si riportano: una tabella riassuntiva dei campioni testati con le relative profondità, tipologia di prova ed unità di competenza (Tabella 8.3) ed i grafici di confronto che forniscono in generale una corrispondenza soddisfacente, considerando anche il numero ristretto di prove disponibili.

**Tabella 8.3 – Elenco delle indagini di laboratorio di tipo ciclico realizzate nella campagna Italferr 2019**

ID	Campione	Profondità (m)	Unità	TXCiclica	COL. risonante
IFPM1	CR1	11.45	DAL		x
IFPM2	CR1	3.70	COL		x
IFPM2	CR2	6.40	COL	x	
IFPM2	CR5	30.35	DAL		x
IFPM3	CR1	4.15	DG	x	
IFPM3	CR3	12.25	DG		x
IFPM4	CI1	21.25	DG		x
IFPM4	CR3	12.50	DG	x	
IFPM5	CI2	26.30	DAL		x
IFPM6	CR1	9.60	DG		x
IFPM6	CR3	41.80	DG		x
IFPM8	CR6	29.83	DG		x
IFPM9	CR7bis	20.25	DAL		x
IFPM10	CI1	13.30	DAL		x
IFPM11	CI1	21.30	DL	x	
IFPM12	CR3	7.75	DG	x	
IFPM13	CR4bis	13.45	DG	x	
IFPM13	CR5bis	16.20	DG		x



**Figura 8.9 – Confronto dati da TXciclica e Taratura del Modello Sig3 su Vucetic & Dobry (1991) per IP=0**

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
49 di 74

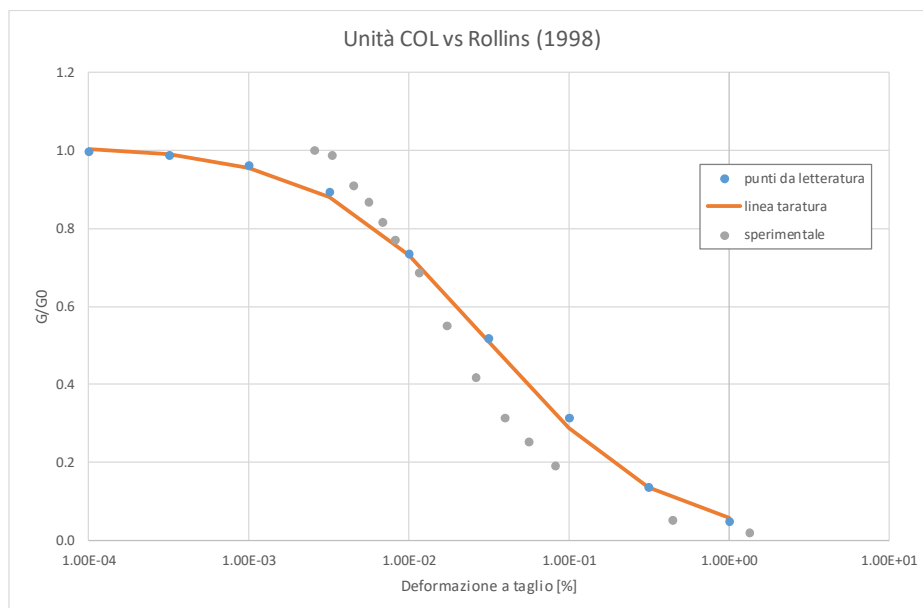


Figura 8.10 – Confronto dati da TXciclica e Taratura del Modello Sig3 su Rollins (1998)

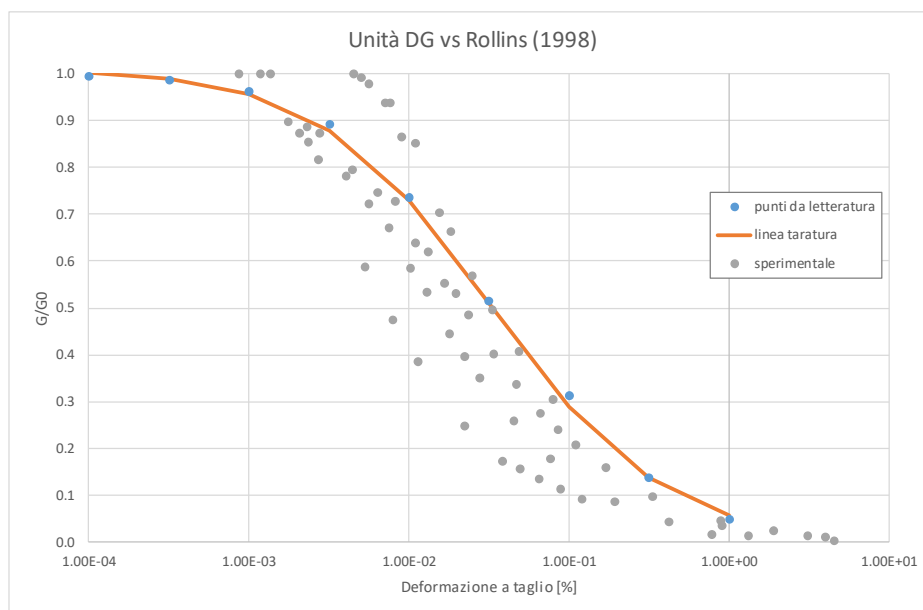


Figura 8.11 – Confronto dati da TXciclica e Taratura del Modello Sig3 su Rollins (1998)

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
50 di 74

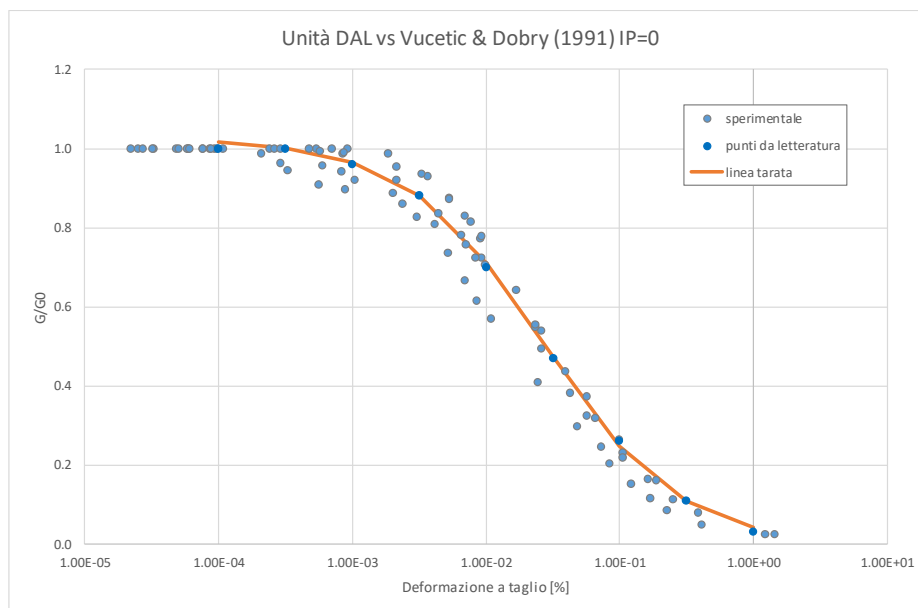


Figura 8.12 – Confronto dati da Colonna Risonante e Taratura del Modello Sig3 su Vucetic & Dobry (1991) per IP=0

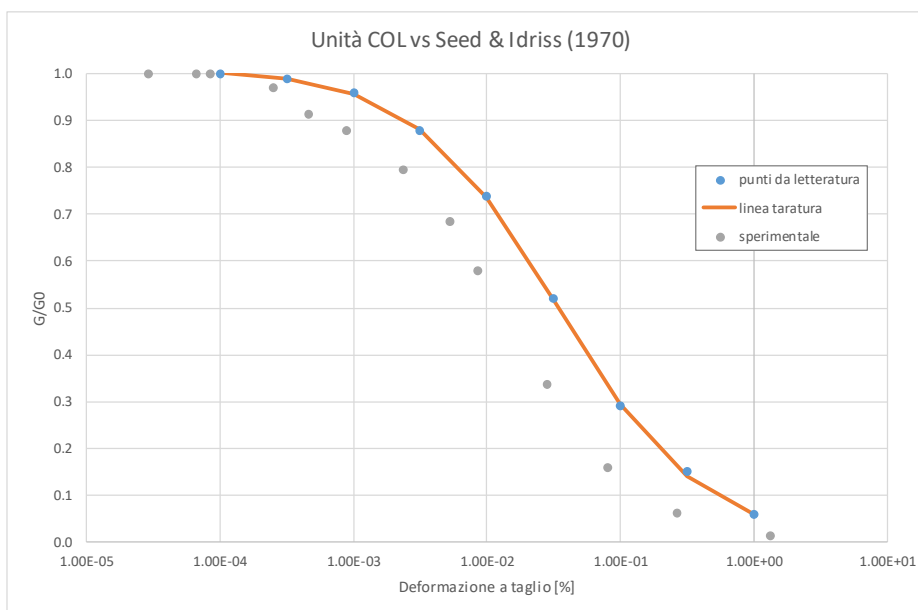


Figura 8.13 – Confronto dati da Colonna Risonante e Taratura del Modello Sig3 su Seed & Idriss (1970)

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

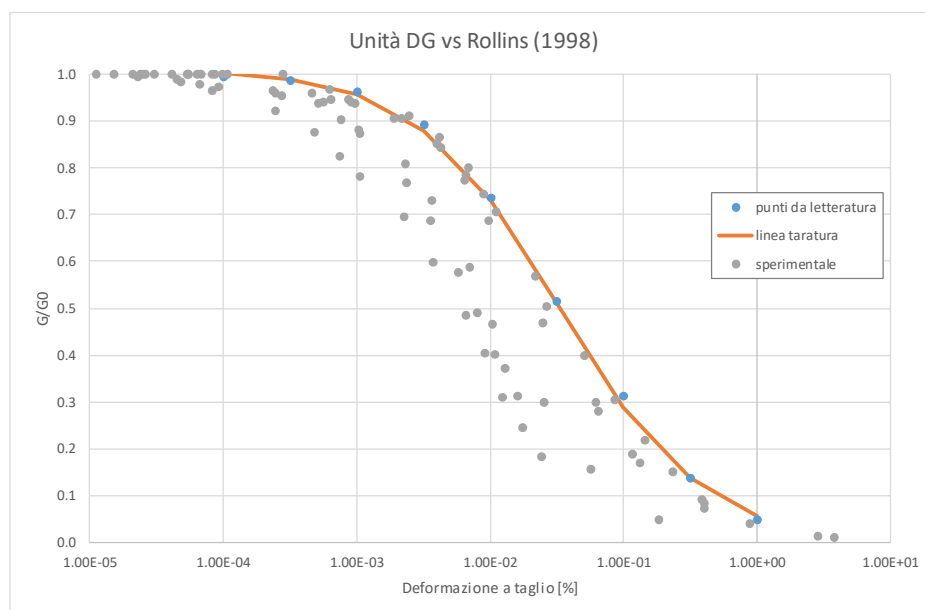
Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
51 di 74



**Figura 8.14 – Confronto dati da Colonna Risonante e Taratura del Modello Sig3 su Rollins (1998)**

Il confronto tra i dati di letteratura e i risultati sperimentali di Figura 8.14 pare indicare che la curva da letteratura possa corrispondere ad un involucro superiore dei dati. Si è deciso tuttavia di mantenere nel calcolo la curva da letteratura tecnica al fine dell'elaborazione, nonostante un contenuto discostamento dei dati sperimentali. Tuttavia il minore degrado, in termini di  $G/G_0$  a parità di deformazione tagliante, porta a minori effetti di smorzamento isteretico; in questo senso quindi il mantenimento della curva da letteratura è sicuramente a favore di sicurezza. Infine, mantenendo maggiore il rapporto  $G/G_0$ , si può avere un leggero spostamento del periodo proprio del terreno verso valori inferiori; effetto tuttavia limitato relativamente ai periodi bassi quali quelli tipici dei picchi spettrali di nostro interesse.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP V10000 C01

Rev.  
A

Foglio  
52 di 74

## 8.2. Geometria del modello e Condizioni al contorno

Tra gli obiettivi del modello vi è quello di cogliere anche gli aspetti bidimensionali della risposta sismica locale della valle del Torrente Polcevera. Per questo motivo si rende necessaria la realizzazione di un modello di dimensioni considerevoli. In Figura 8.15 si riporta una vista generale del modello con riportate le dimensioni significative. In Figura 8.16 e Figura 8.17 si riportano invece due immagini di maggior dettaglio.

Nelle immagini del modello sottostanti si possono vedere le tracce degli assi delle pile e dell'impalcato del Viadotto, va sottolineato però che il modello non comprende gli elementi strutturali, essi sono riportati esclusivamente come immagini al fine di fornire un punto di riferimento nel modello.

Infine, in Figura 8.18, si riportano le condizioni al contorno adottate per l'analisi sismica. Dettagli precisi sul funzionamento dei suddetti vincoli possono essere derivate dal Manuale del Software (Rif. [7]). In sintesi, si tratta di contorni assorbenti che evitano la riflessione indesiderata delle onde sismiche sul contorno del modello, simulando quindi la prosecuzione del modello.

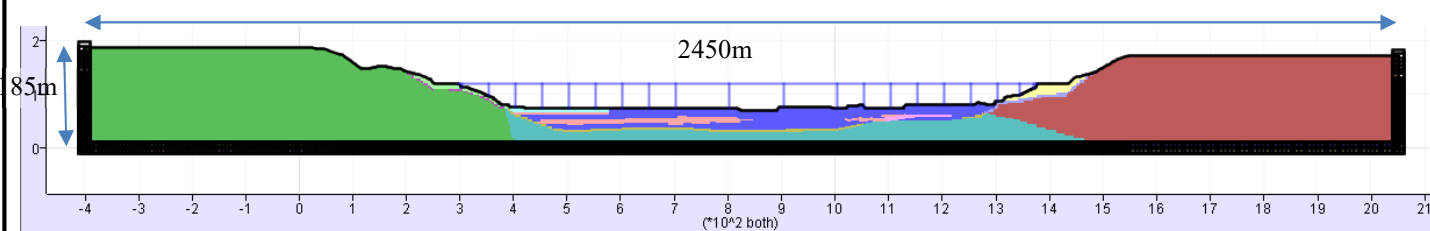


Figura 8.15 – Vista generale del modello

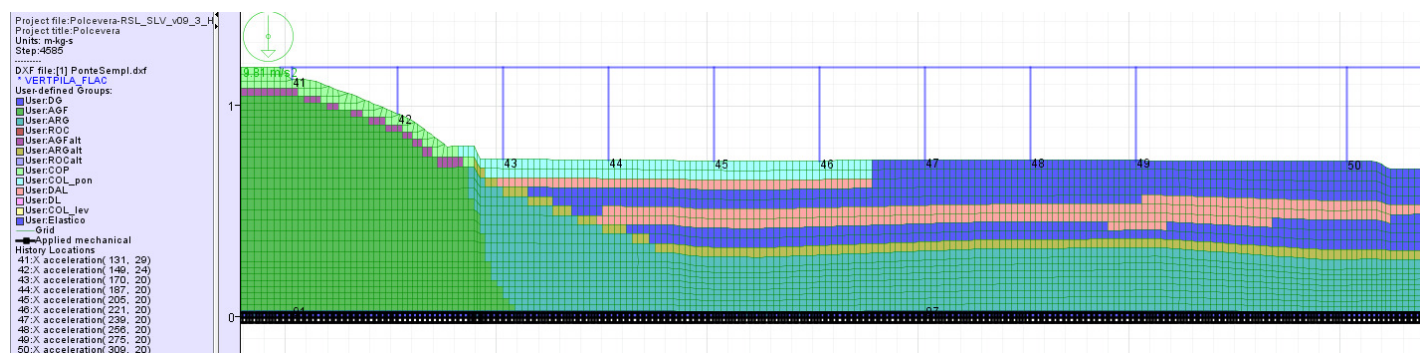


Figura 8.16 – Vista di dettaglio – Metà di Ponente del Viadotto

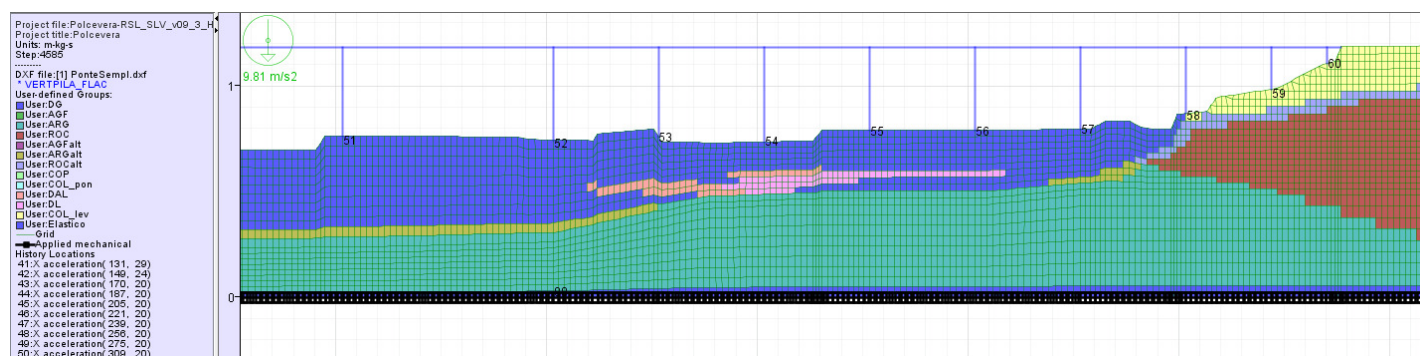


Figura 8.17 – Vista di dettaglio – Metà di Levante del Viadotto

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP V10000 C01

Rev.  
A

Foglio  
53 di 74

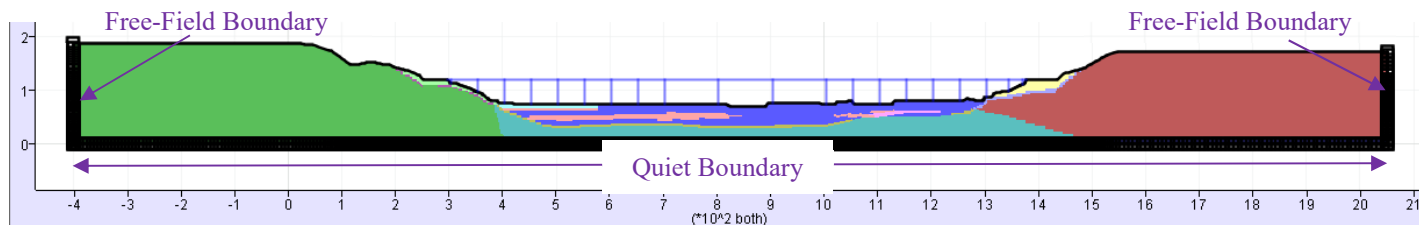


Figura 8.18 – Condizioni al contorno

La quota di falda è stata considerata coincidente con il letto del torrente Polcevera, ed in risalita nelle zone di bordo della valle. Un rappresentazione del piano di falda assunto è riportata in FIG mentre la FIG riporta una mappatura a colori delle pressioni neutre all'interno del modello.

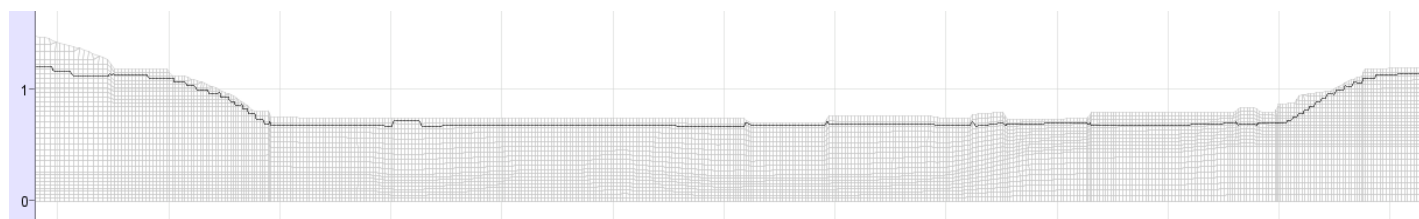


Figura 8.19 – Geometria della superficie di falda

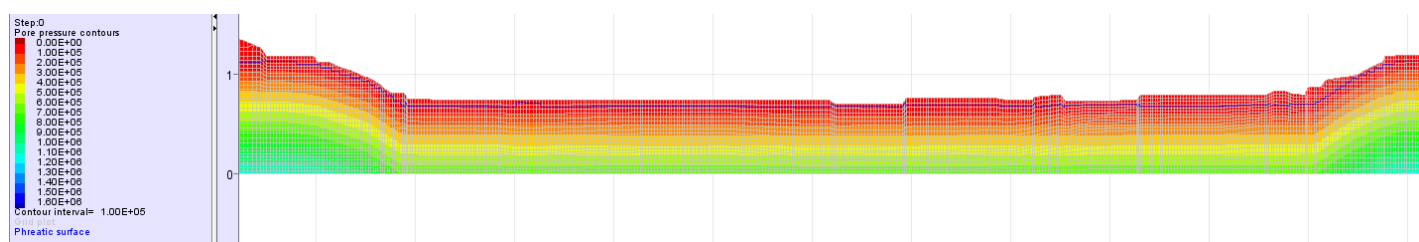


Figura 8.20 – Andamento delle pressioni neutre nel modello

La mesh del modello è stata tarata al fine di avere un frequenza massima ( $f_{max}$ ) di affidabilità pari ad 8Hz. Per questo, sulla base delle Vs di ciascuna unità lito-stratigrafica la dimensione massima degli elementi ( $d_{max}$ ) è stata calcolata con la formula di seguito e riassunta in tabella.

$$d_{max} = \frac{v_s}{6 \cdot f_{max}}$$

Tabella 8.4 – Calcolo della dimensione massima della mesh

	DAL	DG	DL	COL (Ponente)	COP	COL (Levante)	ARG	ARG_alt	AGS	AGS_alt	ROC	ROC_alt	Mat Base
$v_s$ [m/s]	280	380	350	220	200	220	820	550	820	550	850	650	820
$f_{max}$ [Hz]	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
$d_{max}$ [m]	5.83	7.92	7.29	4.58	4.17	4.58	17.08	11.46	17.08	11.46	17.71	13.54	17.08

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP V10000 C01

Rev.  
A

Foglio  
54 di 74

### 8.3. Risultati dell'analisi – Stati Limite di salvaguardia della Vita (SLV)

Il modello è sottoposto all'input sismico deconvoluto applicato alla base così come descritto nei precedenti capitoli per ognuno dei 7 segnali accelerometrici. Di seguito si riportano alcuni plot delle grandezze significative dell'analisi per l'accelerogramma 6. Questo accelerogramma è stato scelto essendo tra i più gravosi anche se tale dichiarazione è legata a valutazioni puntuali. In particolare, Figura 8.21 riporta una mappa a colori della Peak Ground Acceleration Orizzontale, Figura 8.22 della Peak Ground Acceleration Verticale e Figura 8.23 una mappa a colori della deformazione a taglio massima.

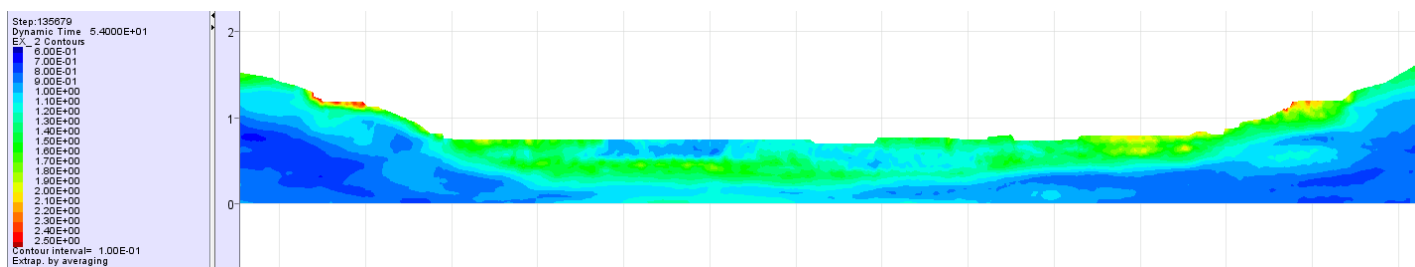


Figura 8.21 – Peak Ground Acceleration (PGA) orizzontale [m/s²] – Accelerogramma 6 - SLV

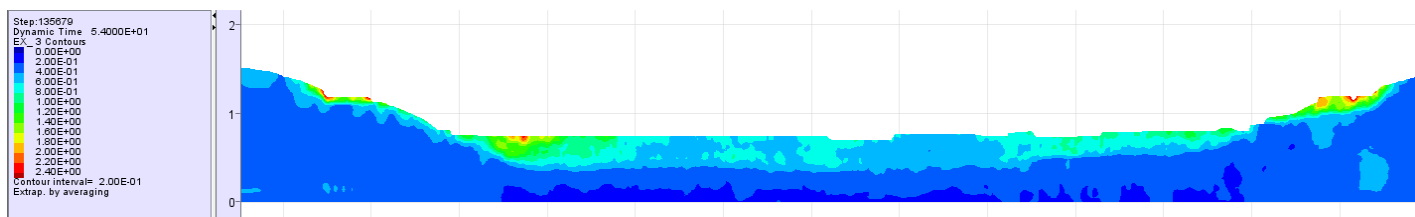


Figura 8.22 – Peak Ground Acceleration (PGA) verticale [m/s²] – Accelerogramma 6 - SLV

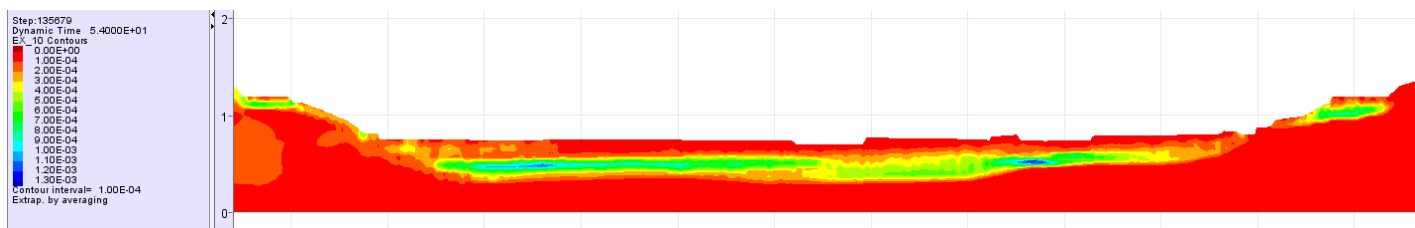


Figura 8.23 – Massima deformazione tagliente - SLV

Dalle mappe, ed in particolare da Figura 8.22, si può notare come il modello evidenzi gli effetti tipici della conformazione 2D della valle. Tale conformazione infatti tende a creare un effetto “bacino” e, in corrispondenza dei bordi, amplificare maggiormente le accelerazioni verticali.

Per ogni posizione dei sistemi di fondazione sono infine stati estratti gli accelerogrammi orizzontali e verticali, tali segnali sono stati processati in termini di spettri. Si rimanda quindi al capitolo seguente un confronto con gli spettri normativi.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP V10000 C01

Rev.  
A

Foglio  
55 di 74

#### 8.4. Risultati dell'analisi – Stati Limite di Collasso (SLC)

Il modello è sottoposto all'input sismico deconvoluto applicato alla base così come descritto nei precedenti capitoli per ognuno dei 7 segnali accelerometrici. Di seguito si riportano alcuni plot delle grandezze significative dell'analisi per l'accelerogramma 6. Questo accelerogramma è stato scelto per la presentazione dei risultati agli SLV nel paragrafo precedente, viene mantenuto lo stesso accelerogramma al fine di consentire un più semplice confronto. In particolare, Figura 8.24 riporta una mappa a colori della Peak Ground Acceleration Orizzontale, Figura 8.25 della Peak Ground Acceleration Verticale e Figura 8.26 una mappa a colori della deformazione a taglio massima.

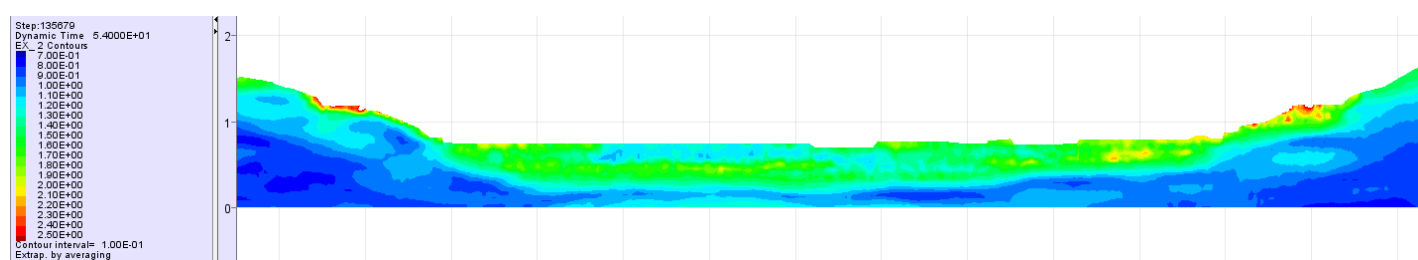


Figura 8.24 – Peak Ground Acceleration (PGA) orizzontale [m/s²] – Accelerogramma 6 - SLC

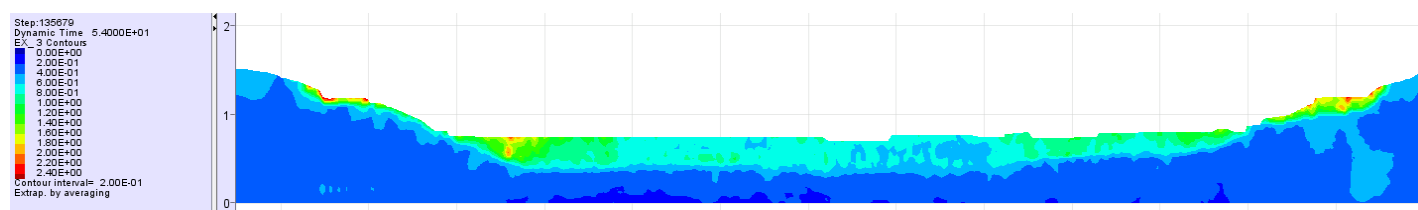


Figura 8.25 – Peak Ground Acceleration (PGA) verticale [m/s²] – Accelerogramma 6 - SLC

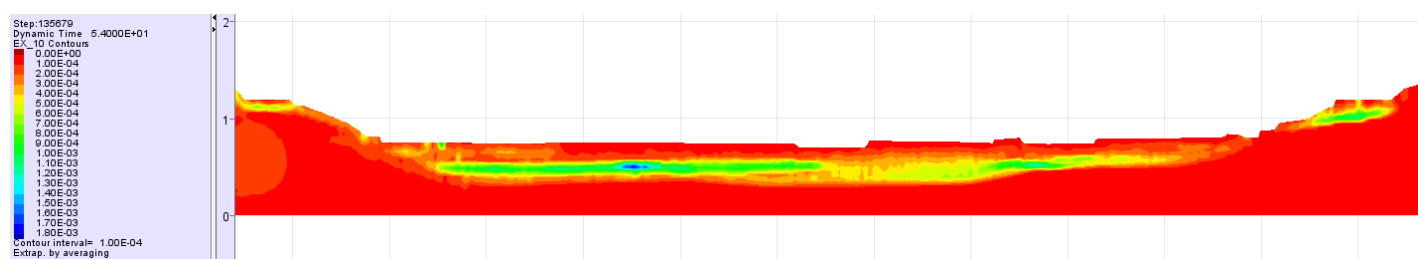


Figura 8.26 – Massima deformazione tagliante - SLC

I risultati confermano quanto evidenziato dalle analisi agli SLV del paragrafo precedente.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP V10000 C01

Rev.  
A

Foglio  
56 di 74

## 8.5. Risultati dell'analisi – Stati Limite di Danno (SLD)

Il modello è sottoposto all'input sismico deconvoluto applicato alla base così come descritto nei precedenti capitoli per ognuno dei 7 segnali accelerometrici. Di seguito si riportano alcuni plot delle grandezze significative dell'analisi per l'accelerogramma 6. Questo accelerogramma è stato scelto per la presentazione dei risultati agli SLV nel paragrafo precedente, viene mantenuto lo stesso accelerogramma al fine di consentire un più semplice confronto. In particolare, Figura 8.27 riporta una mappa a colori della Peak Ground Acceleration Orizzontale, Figura 8.28 della Peak Ground Acceleration Verticale e Figura 8.29 una mappa a colori della deformazione a taglio massima.

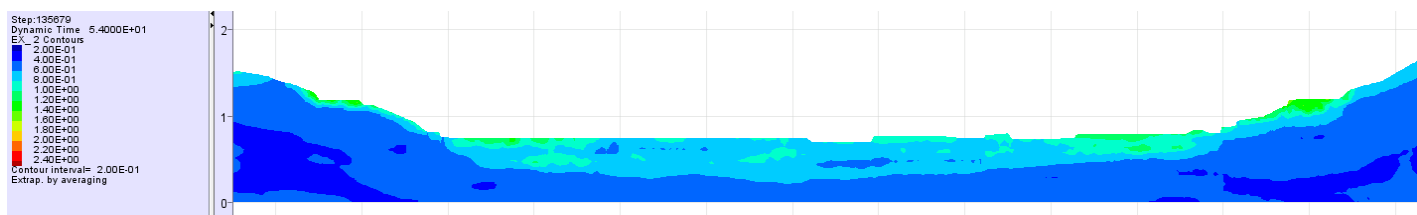


Figura 8.27 – Peak Ground Acceleration (PGA) orizzontale [m/s<sup>2</sup>] – Accelerogramma 6 - SLD

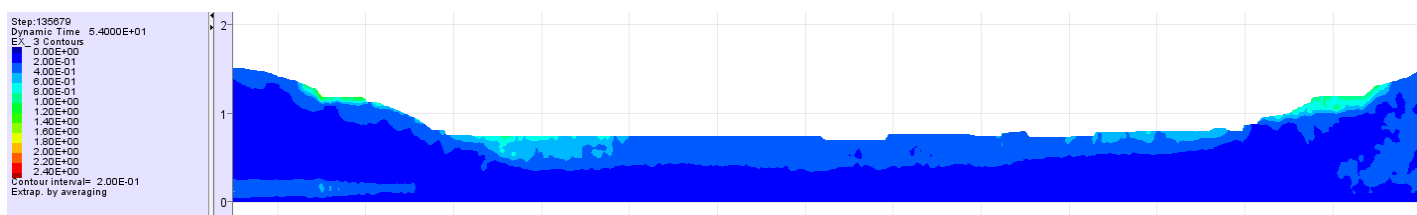


Figura 8.28 – Peak Ground Acceleration (PGA) verticale [m/s<sup>2</sup>] – Accelerogramma 6 - SLD

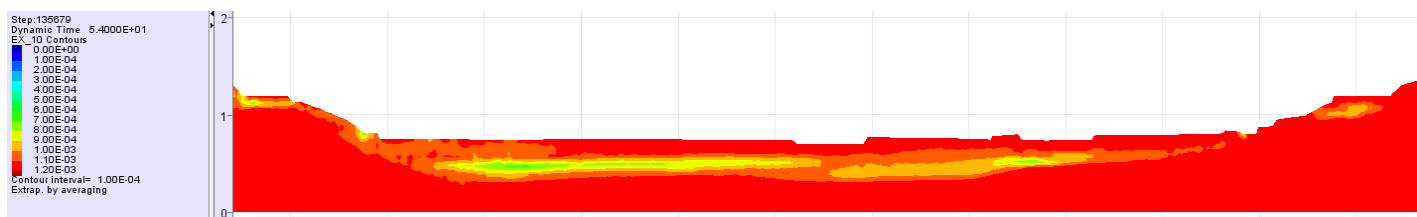




Figura 8.29 – Massima deformazione tagliante - SLD

I risultati confermano quanto evidenziato dalle analisi agli SLV dei paragrafi precedenti.

Contraente 	Progettista 				
Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A	Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 RP V10000 C01	Rev. A	Foglio 57 di 74

## 9. SINTESI E CONCLUSIONI DELL'ANALISI

In corrispondenza di ogni opera fondale sono stati estratti gli accelerogrammi e ne sono stati analizzati gli spettri medi e le accelerazioni d'attacco (orizzontale e verticale). Di seguito, in Tabella 9.1 si riporta un confronto con l'approccio semplificato da normativa. Nelle colonne FAH e FAV della tabella si riportano i fattori d'amplificazione dell'ordinata d'attacco dello spettro medio da RSL in confronto a quanto ipotizzabile da normativa. Come riportato al paragrafo §5.3, per le opere facenti parte del ramo di svincolo ci si riverisca alle opere "equivalenti" dell'asse principale.

Come si può notare dall'analisi della tabella le accelerazioni orizzontali sono mediamente in linea con quanto deducibile dall'approccio semplificato riportato in Normativa.

Le accelerazioni verticali mostrano invece un aumento non trascurabile legato, con grande probabilità, alla conformazione bidimensionale a "catino" del bedrock. Si può infatti individuare come questa tendenza sia ben più marcata nelle zone di bordo del "catino" dove lo spessore delle alluvioni si riduce velocemente e si interfaccia con le rocce in affioramento.

Al fine di agevolare il confronto in Figura 9.1, Figura 9.2 e Figura 9.3 sono anche stati aggiunti grafici riassuntivi per ogni Stato Limite considerato ove si riportano le accelerazioni d'attacco allo spettro da RSL a confronto con i valori da NTC.

**Tabella 9.1 – Confronto con l'approccio Normativo Semplificato**

Categoria di suolo		Categoria topografica	Vita nominale	Classe d'uso	Accelerazione massima attesa al sito								da RSL Bidimensionale				da RSL Bidimensionale				da RSL Bidimensionale			
					(SLV)		(SLV)		(SLC)		(SLC)		(SLD)		(SLV)		(SLC)		(SLD)					
		$V_N$ [anni]	$a_{max,H}/g$	$a_{max,V}/g$	$a_{max,H}/g$	$a_{max,V}/g$	$a_{max,H}/g$	$a_{max,V}/g$	$a_{max,H}/g$	$a_{max,V}/g$	$a_{max,H}/g$	$a_{max,V}/g$	$F_{A_H}$	$F_{A_V}$	$a_{max,H}/g$	$a_{max,V}/g$	$F_{A_H}$	$F_{A_V}$	$a_{max,H}/g$	$a_{max,V}/g$	$F_{A_H}$	$F_{A_V}$		
SpA	B	T2	100	IV	0.144	0.053	0.157	0.061	0.066	0.017	0.145	0.061	1.01	1.15	0.149	0.070	0.95	1.15	0.067	0.028	1.02	1.64		
P1	B	T2	100	IV	0.144	0.053	0.157	0.061	0.066	0.017	0.134	0.058	0.93	1.10	0.143	0.065	0.91	1.06	0.065	0.027	0.99	1.61		
P2	B	T1	100	IV	0.131	0.048	0.143	0.055	0.060	0.015	0.144	0.098	1.10	2.03	0.145	0.107	1.02	1.94	0.068	0.044	1.13	2.95		
P3	C	T1	100	IV	0.164	0.048	0.179	0.055	0.075	0.015	0.180	0.143	1.10	2.99	0.184	0.152	1.03	2.76	0.093	0.066	1.25	4.39		
P4	C	T1	100	IV	0.164	0.048	0.179	0.055	0.075	0.015	0.158	0.117	0.97	2.44	0.166	0.111	0.93	2.02	0.090	0.055	1.19	3.63		
P5	C	T1	100	IV	0.164	0.048	0.179	0.055	0.075	0.015	0.152	0.087	0.93	1.82	0.160	0.095	0.90	1.73	0.094	0.044	1.25	2.94		
P6	C	T1	100	IV	0.164	0.048	0.179	0.055	0.075	0.015	0.102	0.059	0.62	1.22	0.109	0.062	0.61	1.13	0.062	0.027	0.83	1.77		
P7	C	T1	100	IV	0.164	0.048	0.179	0.055	0.075	0.015	0.102	0.053	0.63	1.10	0.120	0.063	0.67	1.14	0.068	0.024	0.90	1.63		
P8	C	T1	100	IV	0.164	0.048	0.179	0.055	0.075	0.015	0.102	0.057	0.63	1.18	0.121	0.062	0.68	1.13	0.066	0.025	0.87	1.69		
P9	C	T1	100	IV	0.164	0.048	0.179	0.055	0.075	0.015	0.108	0.061	0.66	1.28	0.129	0.065	0.72	1.18	0.068	0.029	0.90	1.93		
P10	C	T1	100	IV	0.164	0.048	0.179	0.055	0.075	0.015	0.126	0.054	0.77	1.13	0.148	0.063	0.83	1.15	0.075	0.021	1.00	1.41		
P11	C	T1	100	IV	0.164	0.048	0.179	0.055	0.075	0.015	0.121	0.064	0.74	1.32	0.144	0.069	0.81	1.25	0.068	0.027	0.91	1.82		
P12	C	T1	100	IV	0.164	0.048	0.179	0.055	0.075	0.015	0.133	0.067	0.81	1.40	0.159	0.086	0.89	1.56	0.071	0.031	0.95	2.05		
P13	C	T1	100	IV	0.164	0.048	0.179	0.055	0.075	0.015	0.130	0.088	0.79	1.83	0.160	0.101	0.90	1.83	0.074	0.034	0.98	2.23		
P14	C	T1	100	IV	0.164	0.048	0.179	0.055	0.075	0.015	0.154	0.076	0.94	1.58	0.181	0.081	1.01	1.47	0.094	0.036	1.25	2.37		
P15	C	T1	100	IV	0.164	0.048	0.179	0.055	0.075	0.015	0.163	0.082	0.99	1.71	0.182	0.094	1.02	1.71	0.094	0.033	1.25	2.21		
P16	B	T1	100	IV	0.131	0.048	0.143	0.055	0.060	0.015	0.165	0.089	1.26	1.85	0.183	0.097	1.28	1.76	0.085	0.047	1.41	3.11		
P17	B	T2	100	IV	0.144	0.053	0.157	0.061	0.066	0.017	0.131	0.057	0.91	1.08	0.142	0.062	0.90	1.01	0.068	0.032	1.03	1.90		
P18	B	T2	100	IV	0.144	0.053	0.157	0.061	0.066	0.017	0.174	0.101	1.21	1.91	0.207	0.119	1.32	1.95	0.091	0.054	1.37	3.17		
SpB	B	T2	100	IV	0.144	0.053	0.157	0.061	0.066	0.017	0.201	0.138	1.39	2.61	0.149	0.070	0.95	1.15	0.067	0.028	1.02	1.64		

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP V10000 C01

Rev.  
A

Foglio  
58 di 74

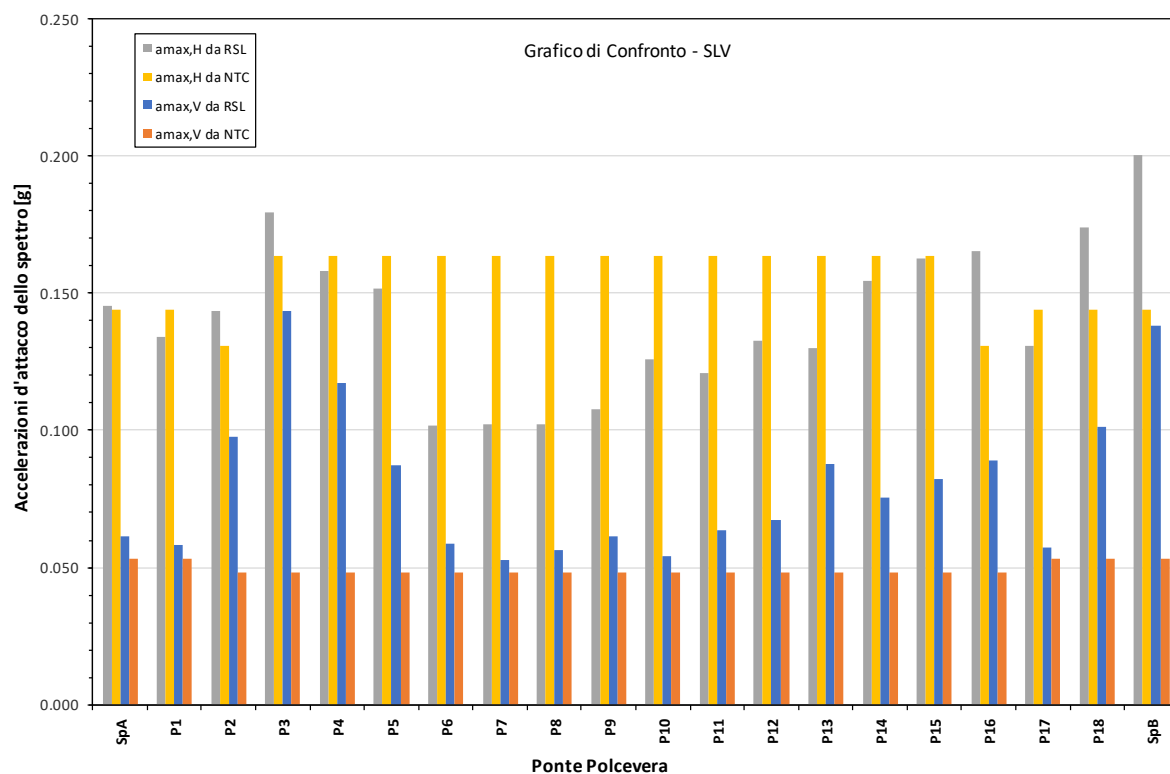


Figura 9.1 – Confronto delle accelerazioni d'attacco allo spettro - SLV

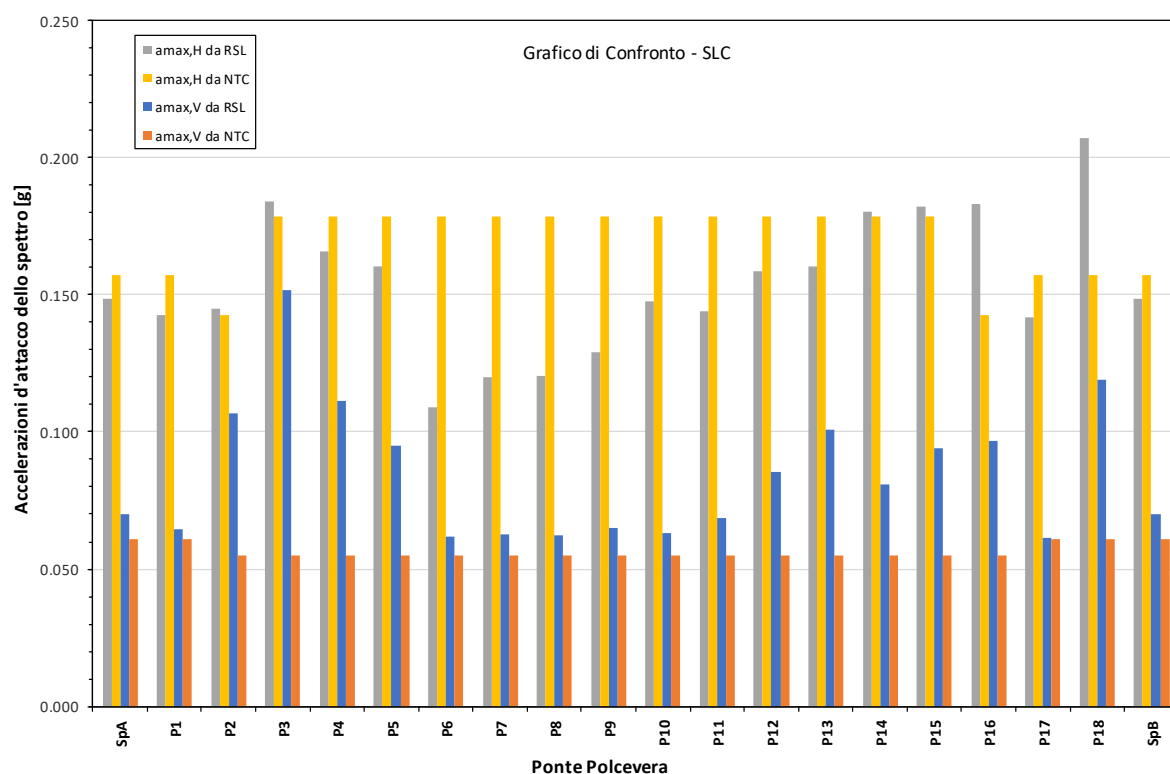


Figura 9.2 – Confronto delle accelerazioni d'attacco allo spettro - SLC

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

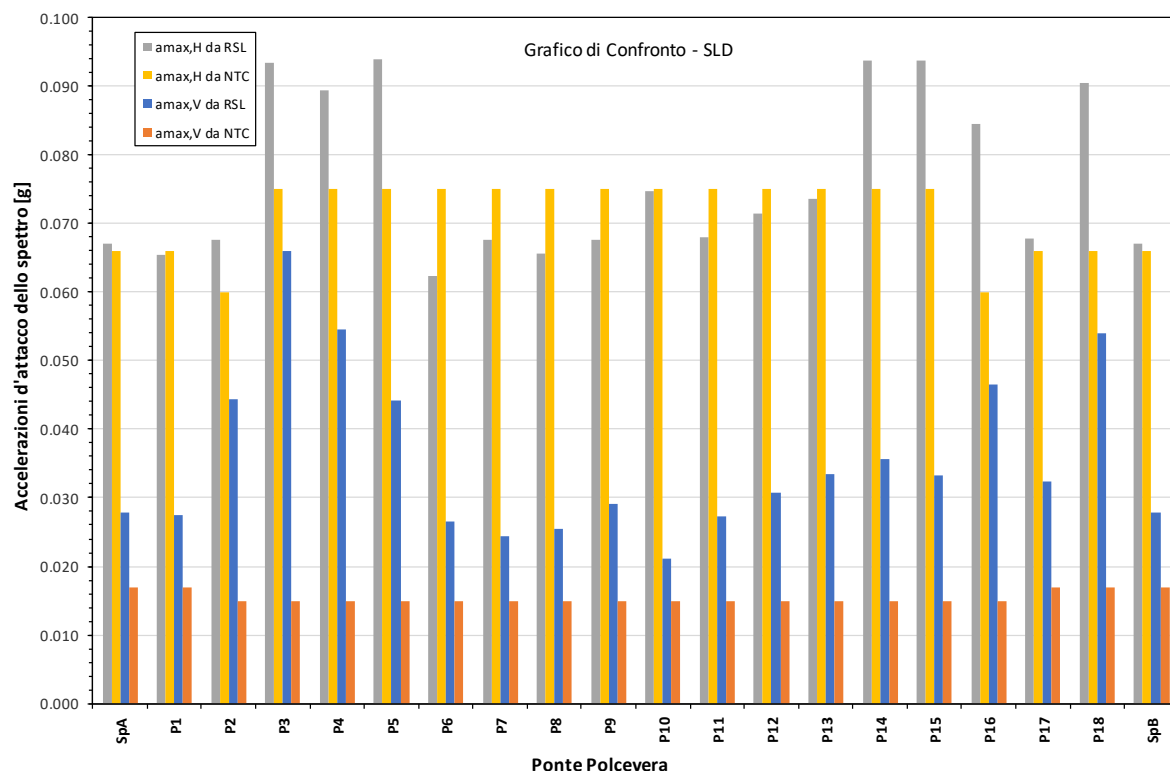
Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
59 di 74



**Figura 9.3 – Confronto delle accelerazioni d'attacco allo spettro - SLD**

Nelle appendici al presente documento si riportano lo spettro medio da RSL a confronto con gli spettri da Normativa rilevanti per ogni sistema fondale e per ogni Stato Limite considerato. Dall'analisi di tali grafici è possibile trovare conferma delle deduzioni sopra riportate.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

Progetto  
NG12

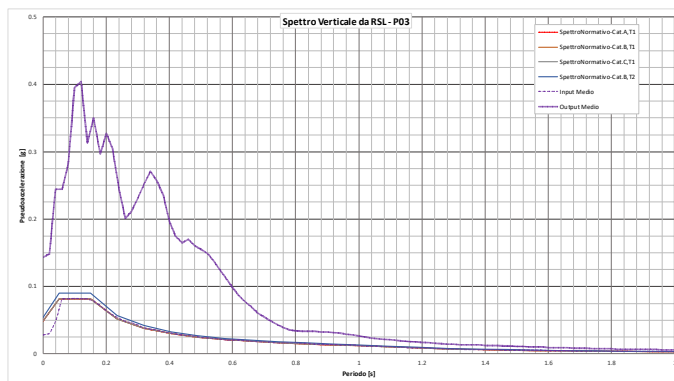
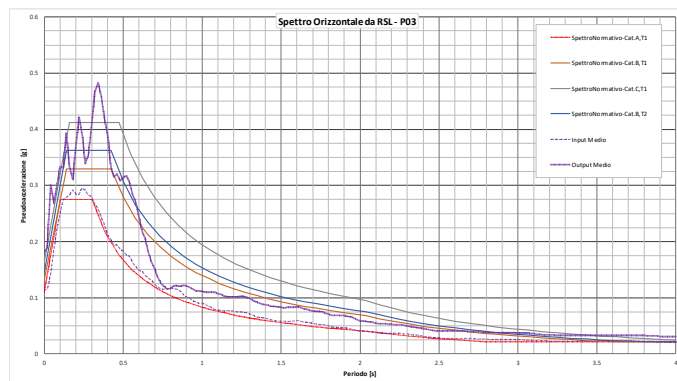
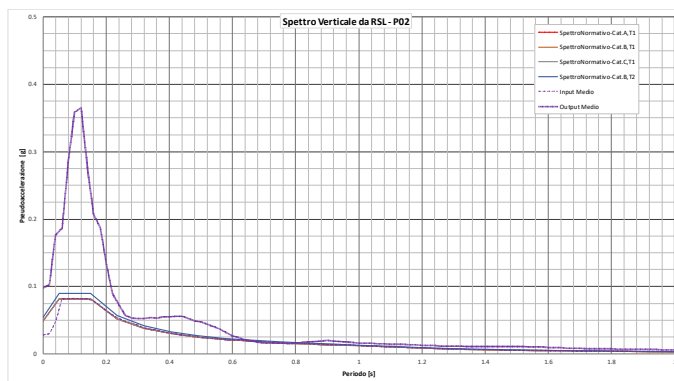
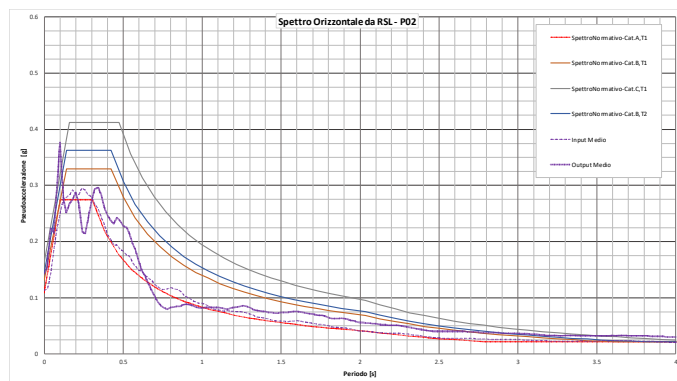
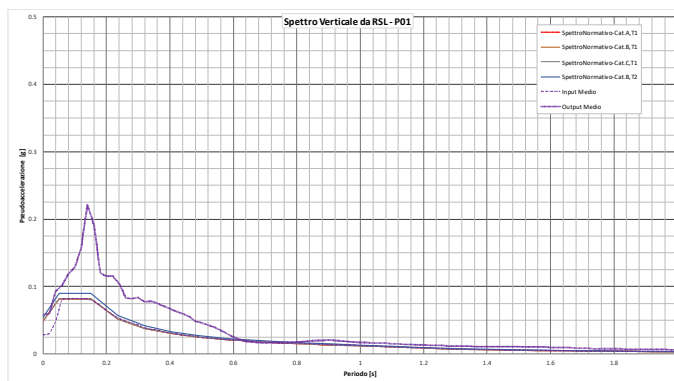
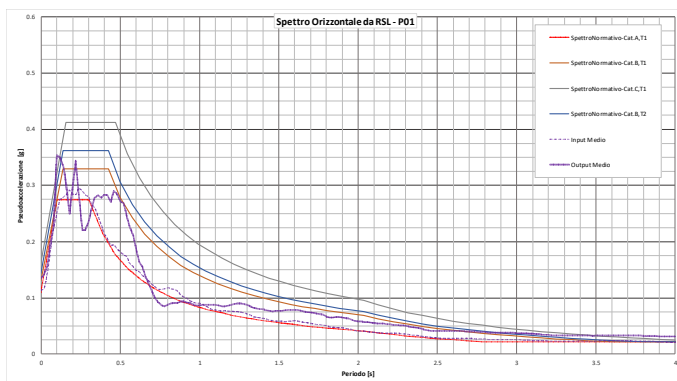
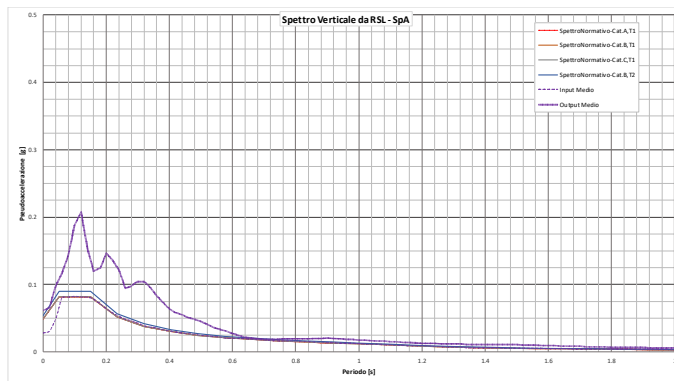
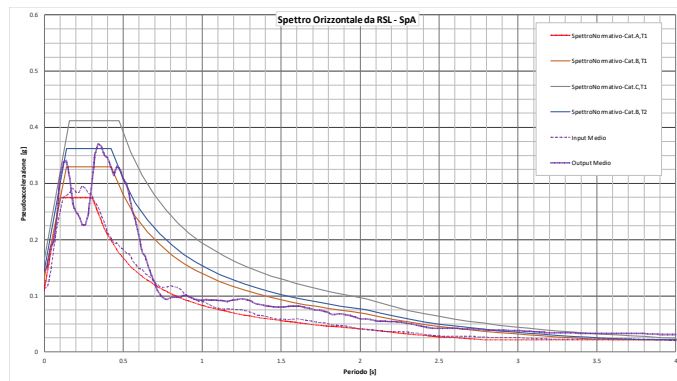
Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
60 di 74

## APPENDICE A – Spettri di Risposta Orizzontali e Verticali in corrispondenza dei sistemi fondali – SLV



Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A

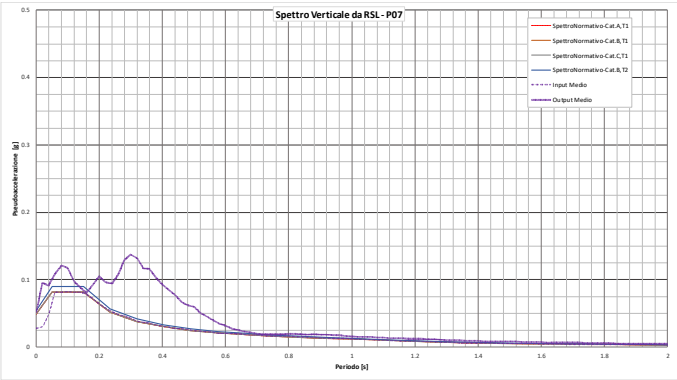
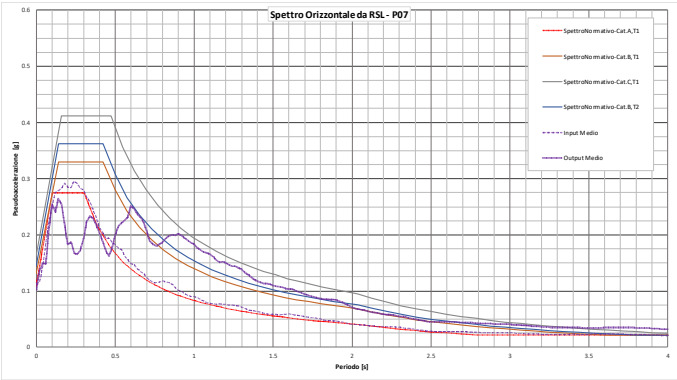
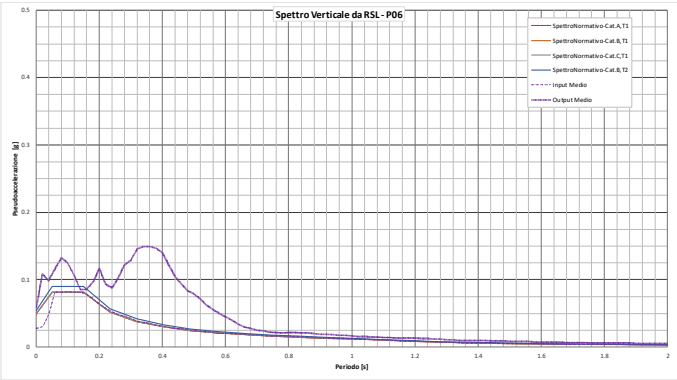
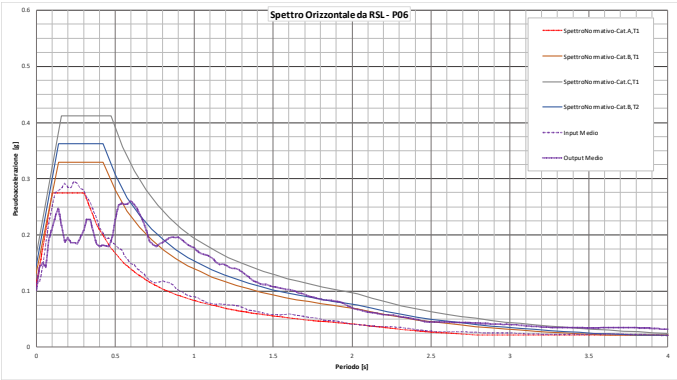
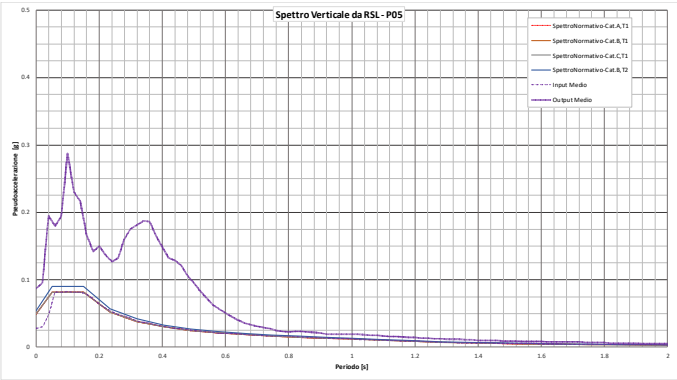
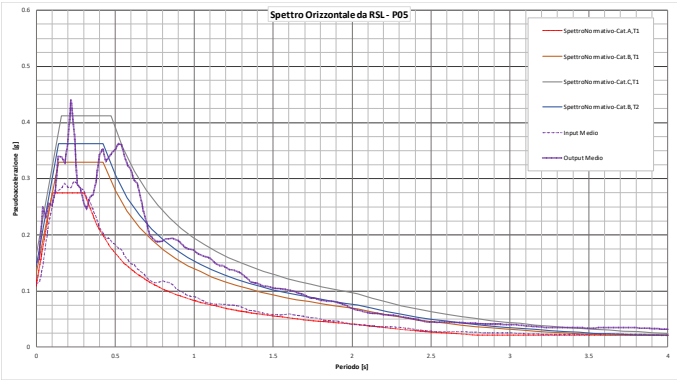
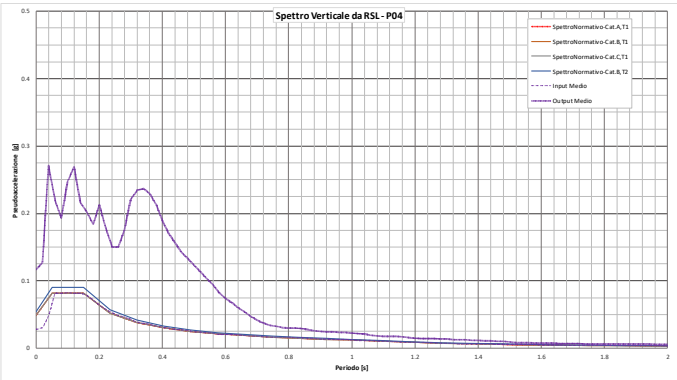
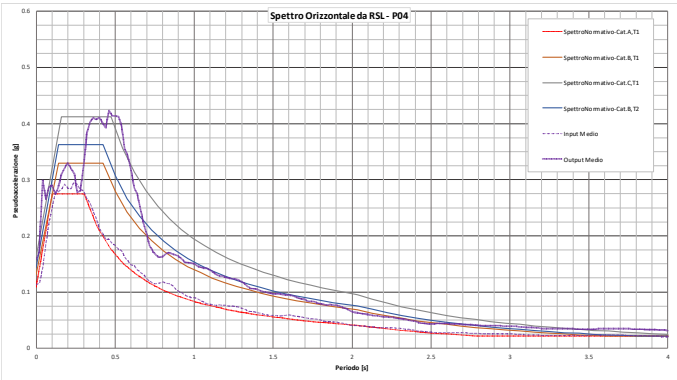
Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP V10000 C01

Rev.  
A

Foglio  
61 di 74



Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A

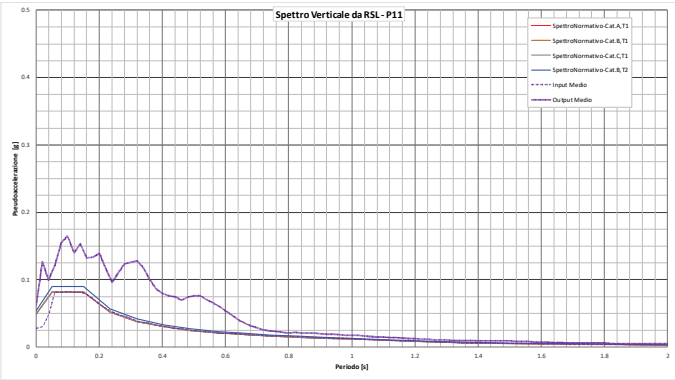
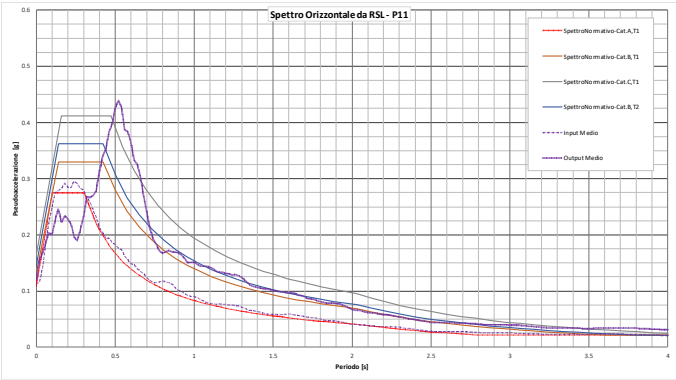
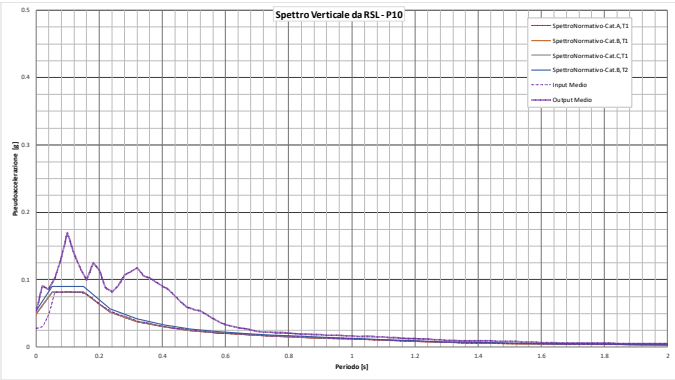
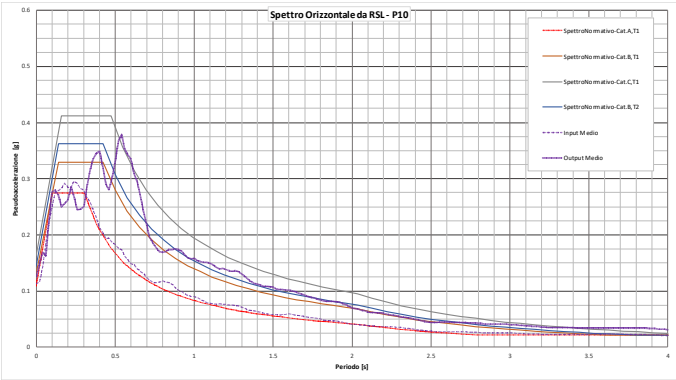
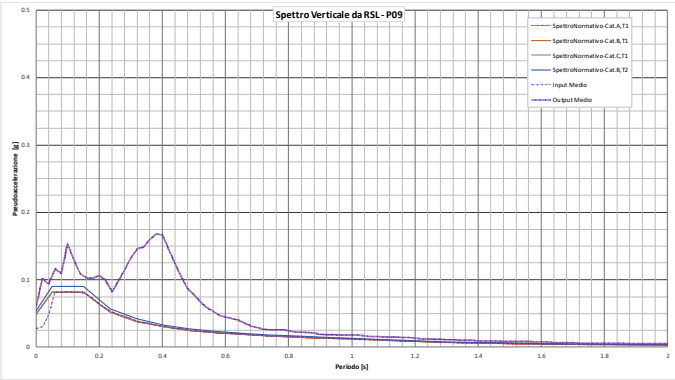
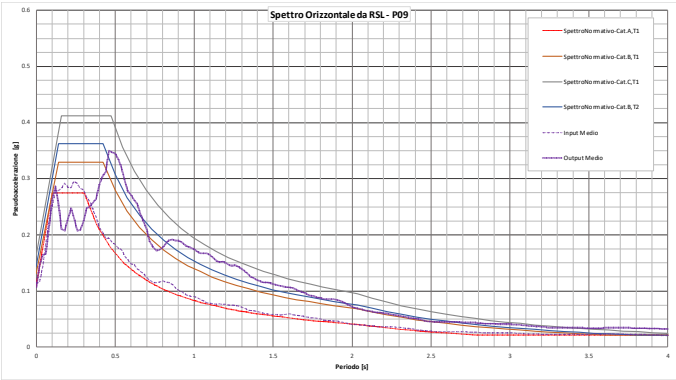
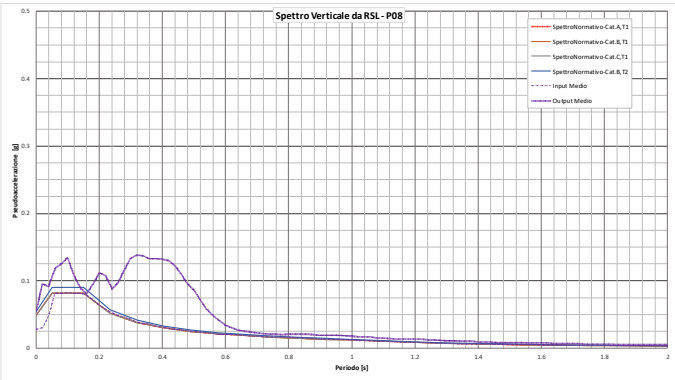
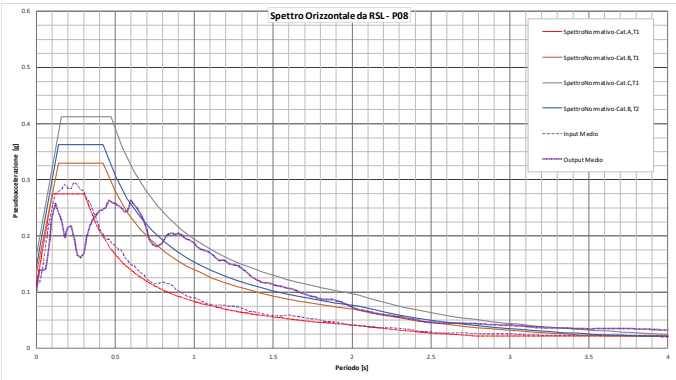
Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP V10000 C01

Rev.  
A

Foglio  
62 di 74



Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A

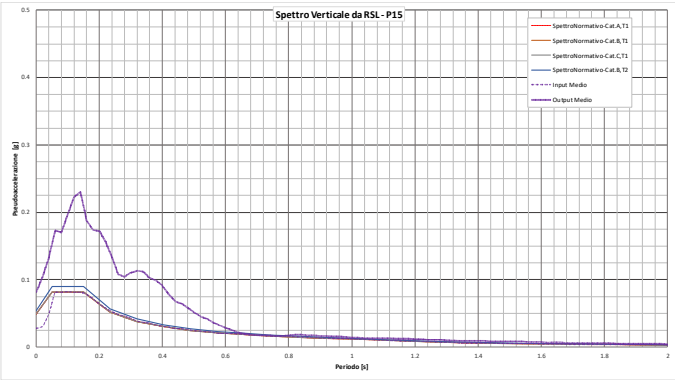
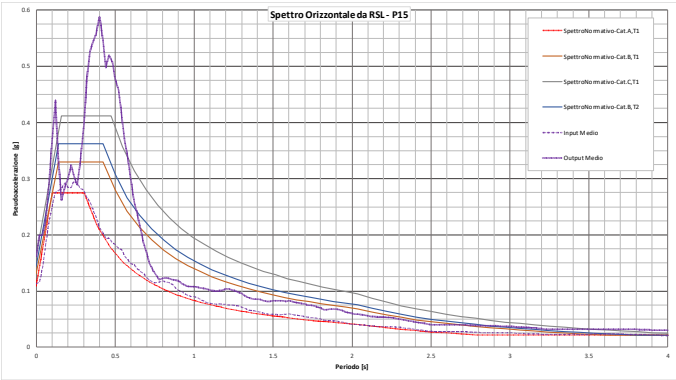
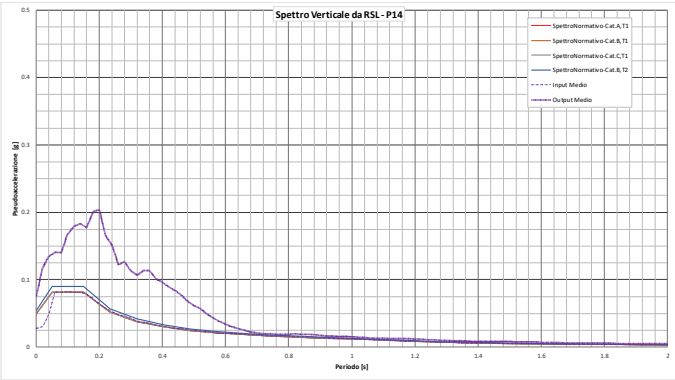
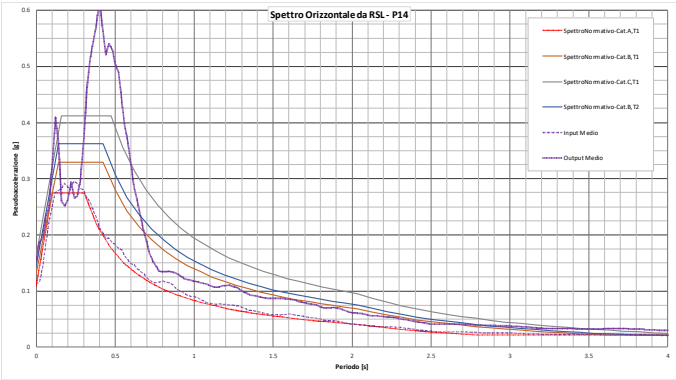
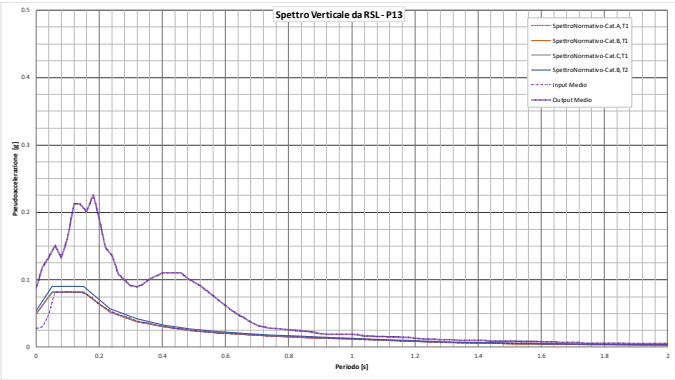
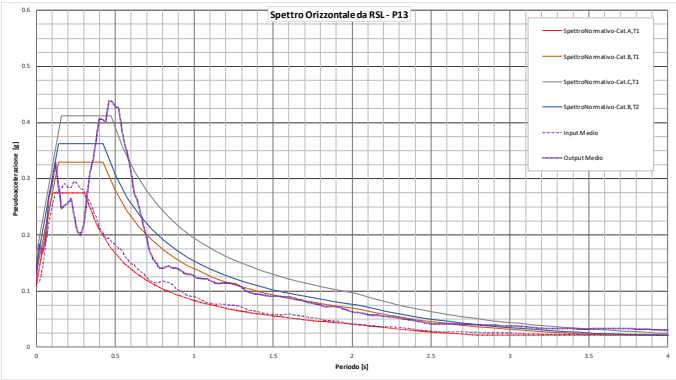
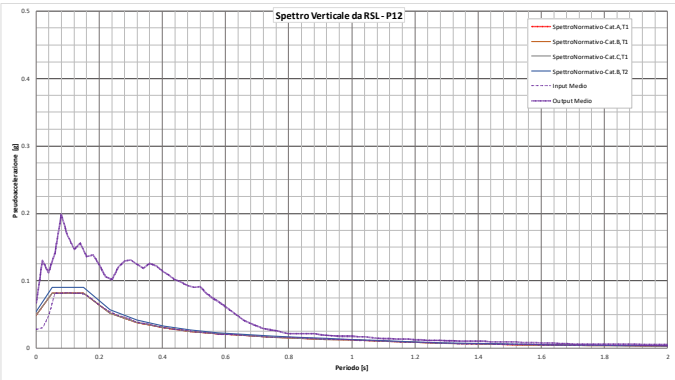
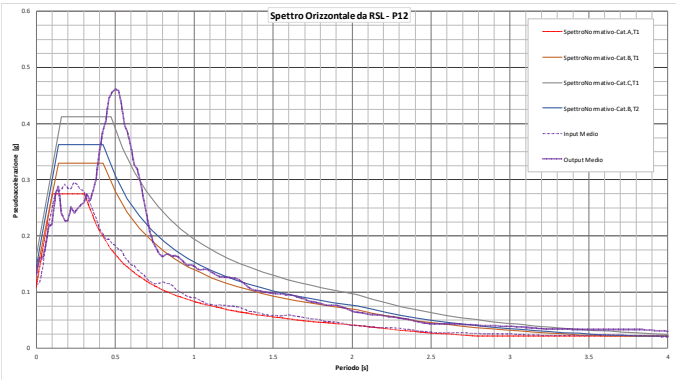
Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP V10000 C01

Rev.  
A

Foglio  
63 di 74



Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A

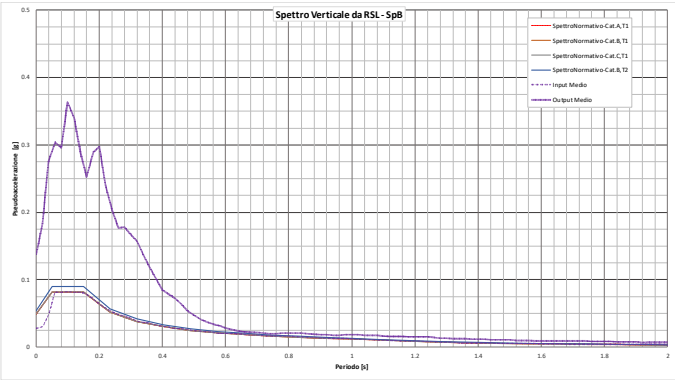
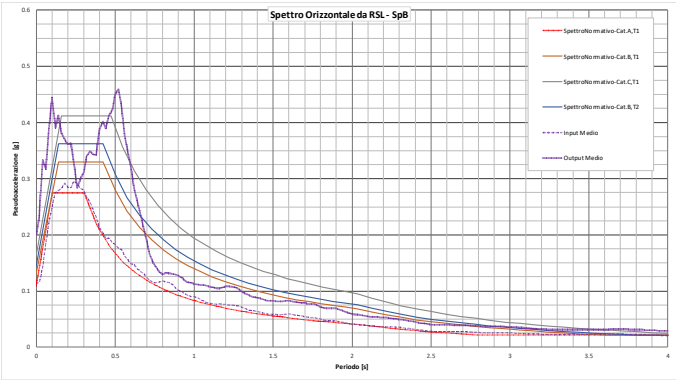
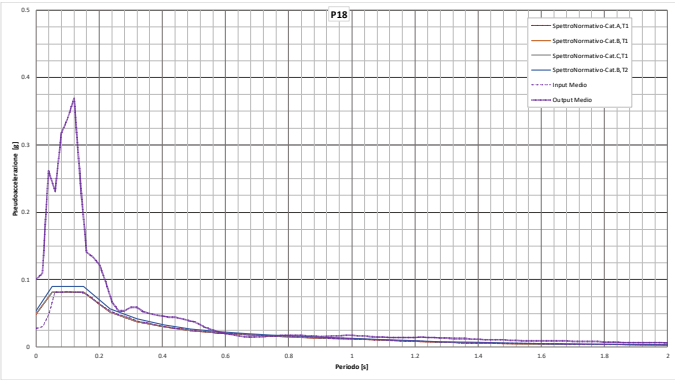
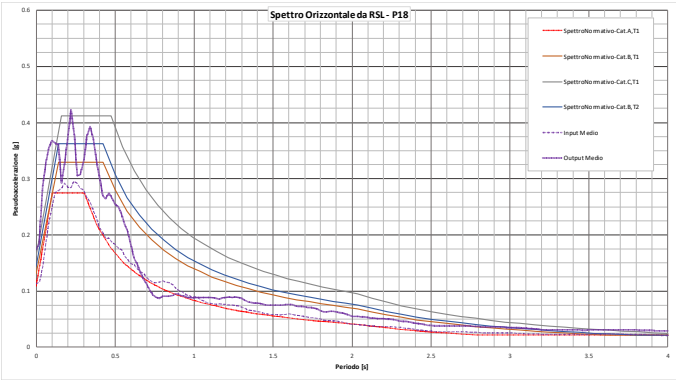
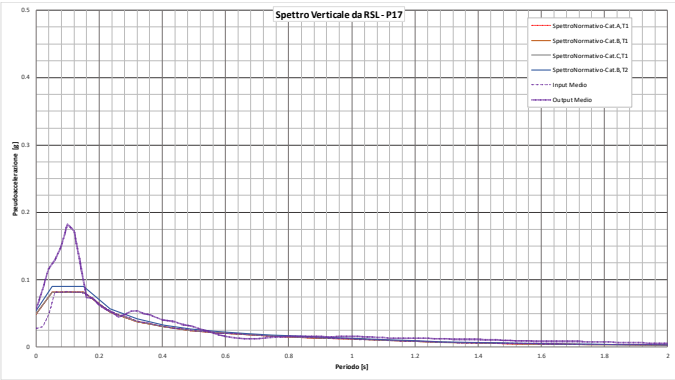
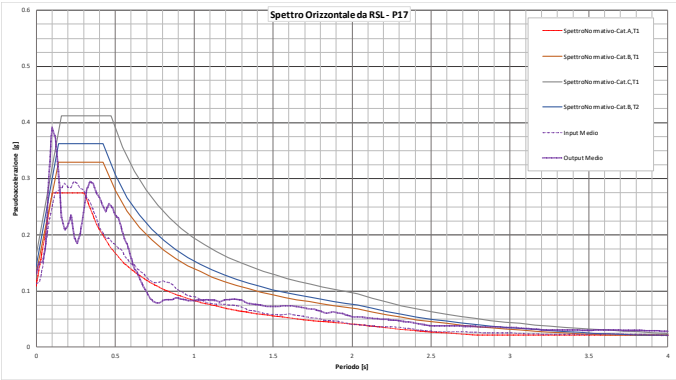
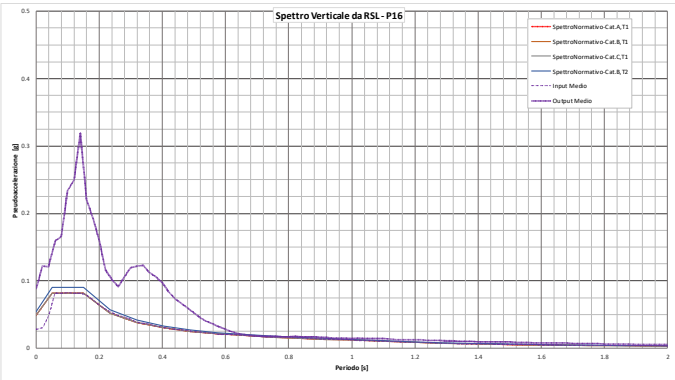
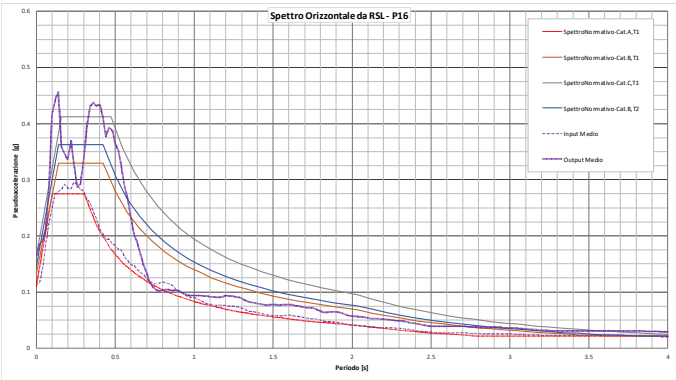
Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP V10000 C01

Rev.  
A

Foglio  
64 di 74



Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPVI0000C01A

Progetto  
NG12

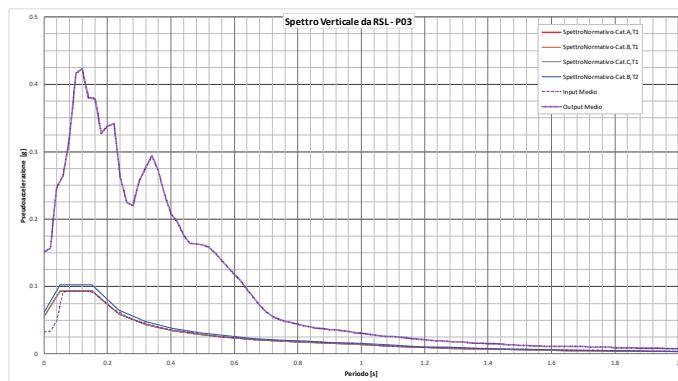
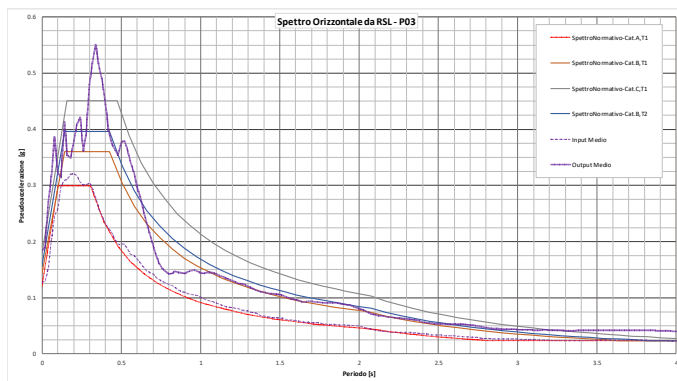
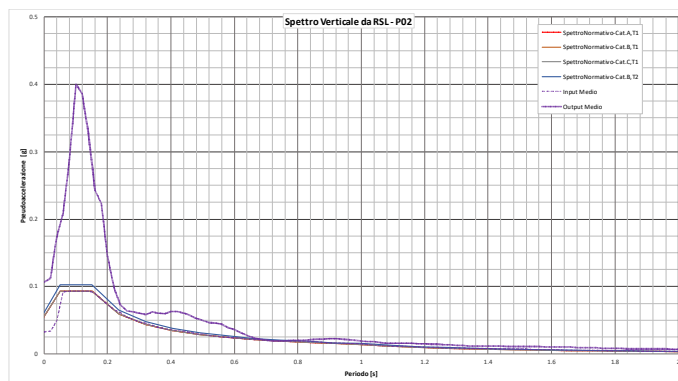
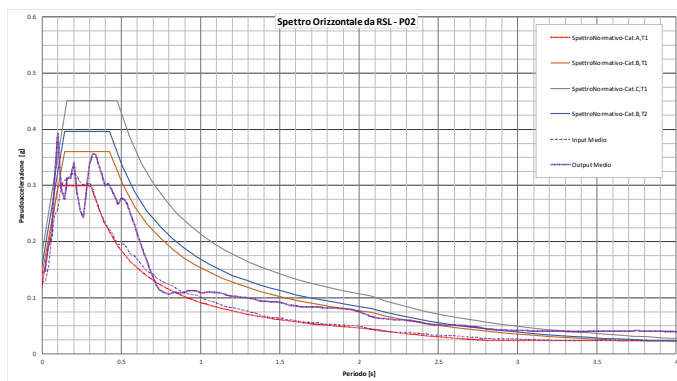
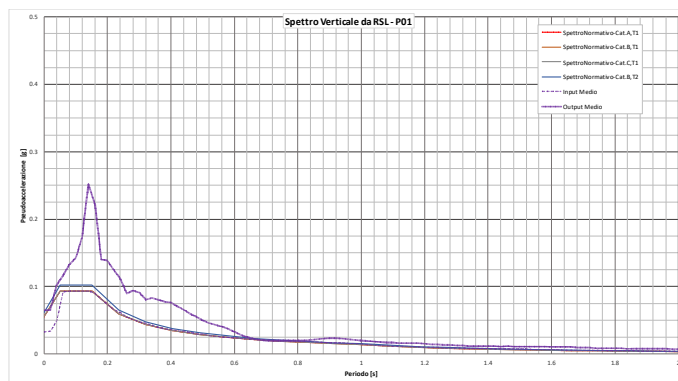
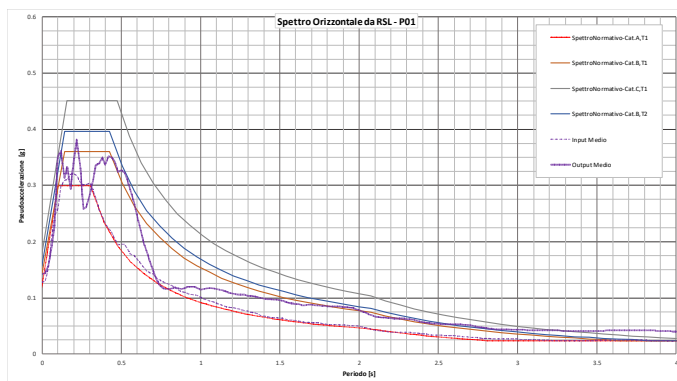
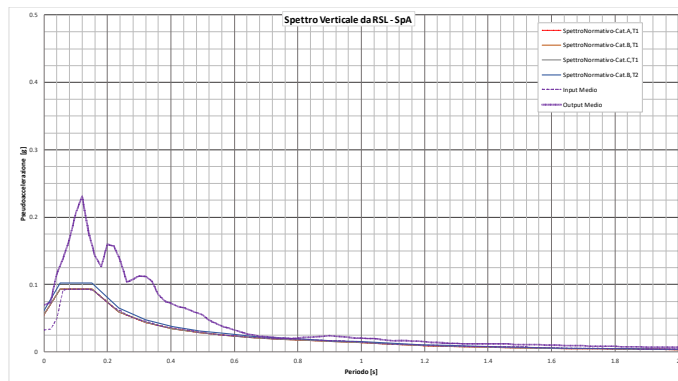
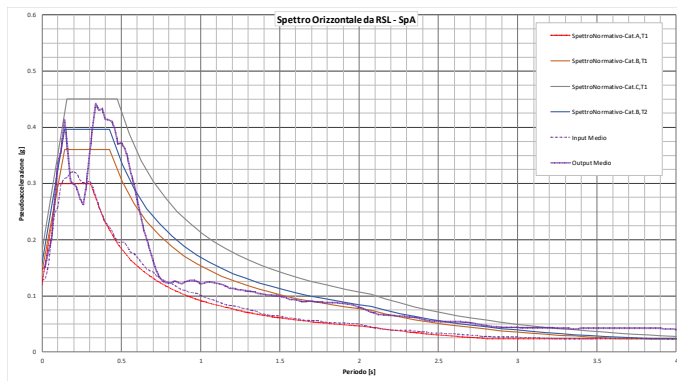
Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP VI0000 C01

Rev.  
A

Foglio  
65 di 74

## APPENDICE B – Spettri di Risposta Orizzontali e Verticali in corrispondenza dei sistemi fondali - SLC



Contraente



Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A

Progettista



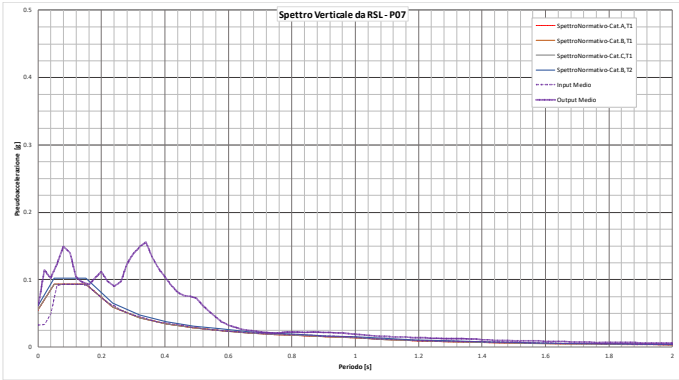
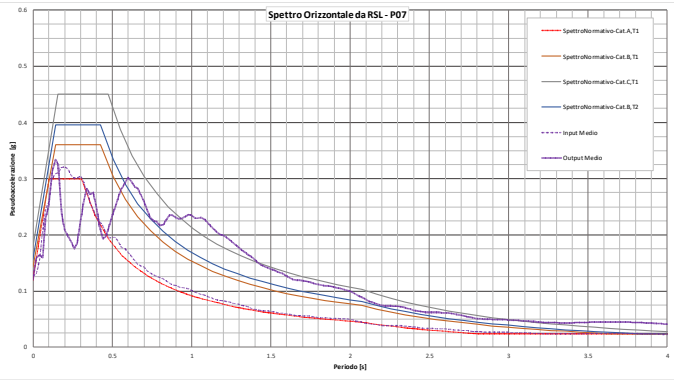
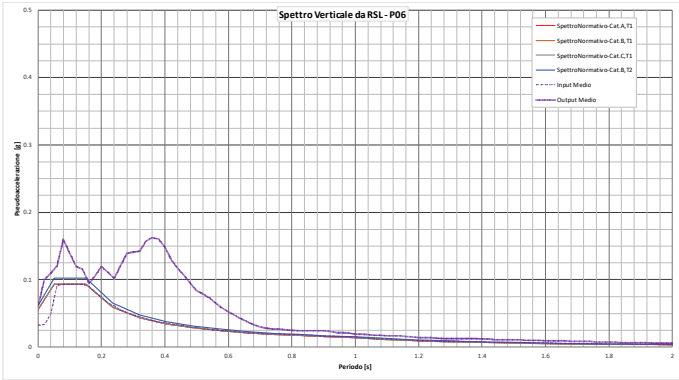
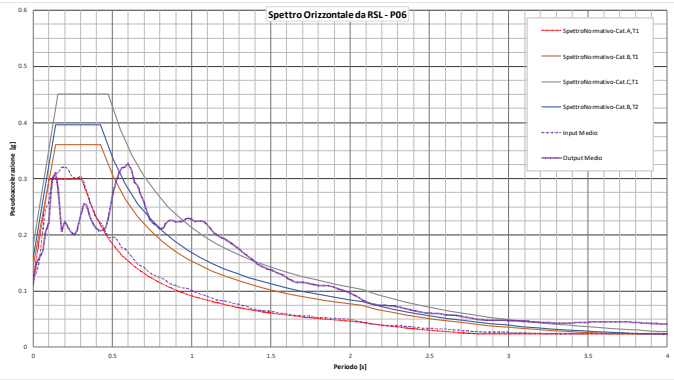
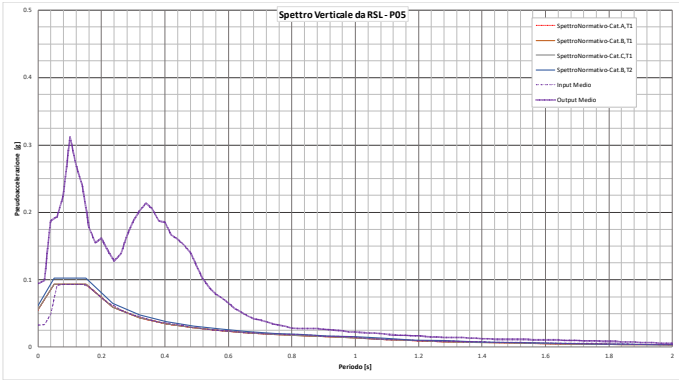
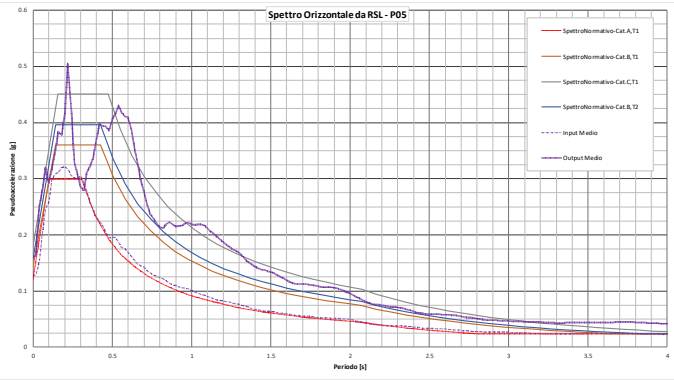
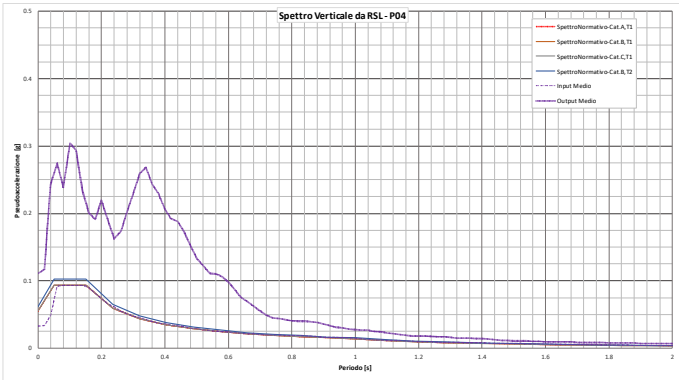
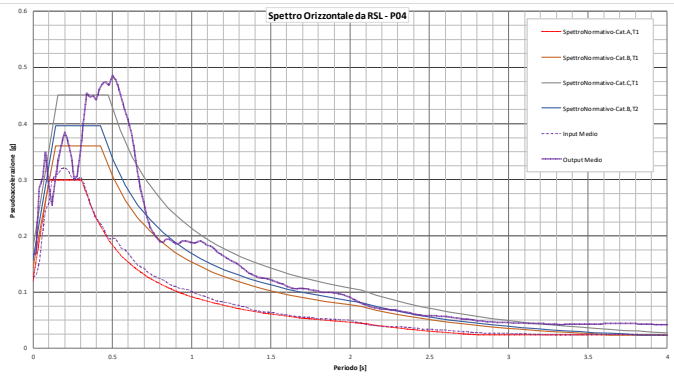
Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP V10000 C01

Rev.  
A

Foglio  
66 di 74



Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A

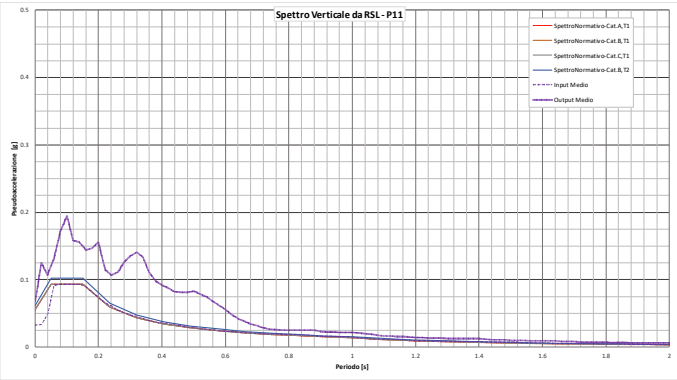
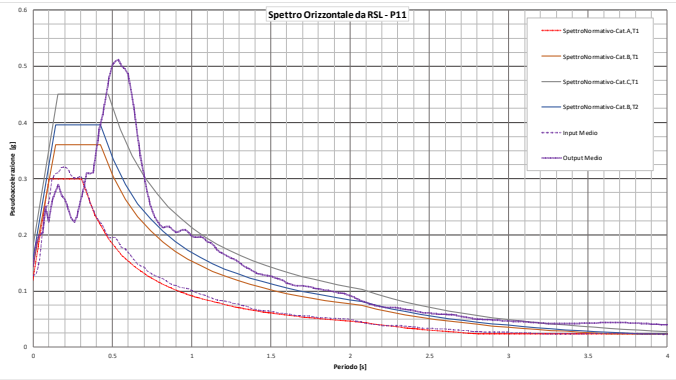
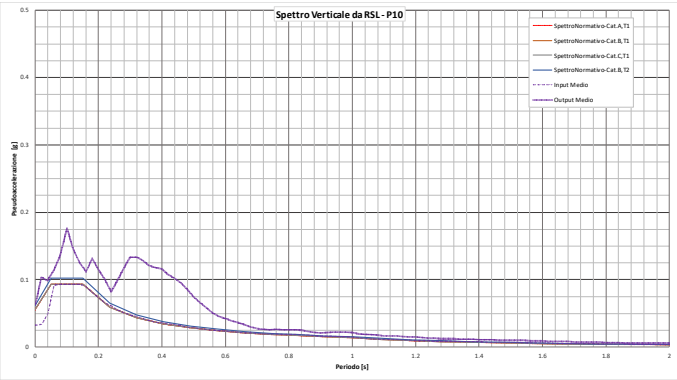
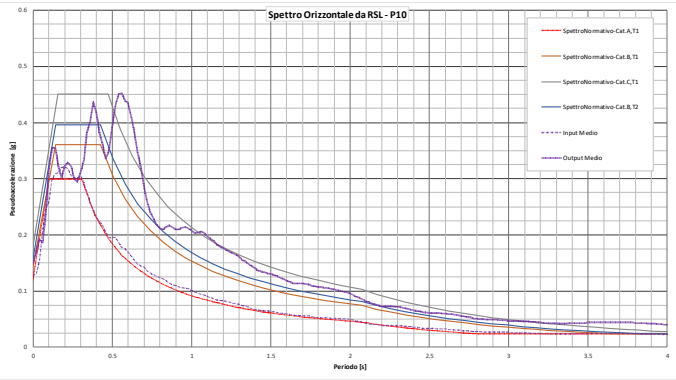
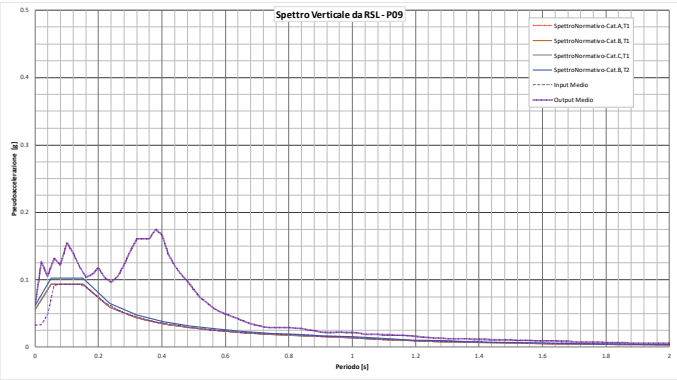
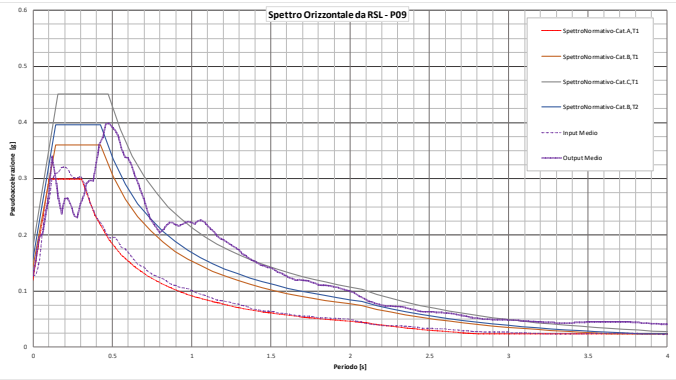
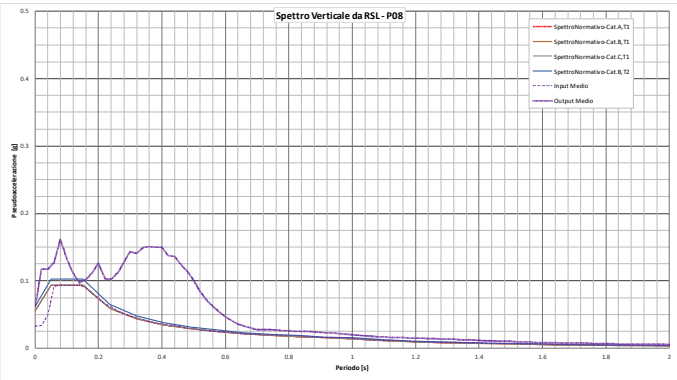
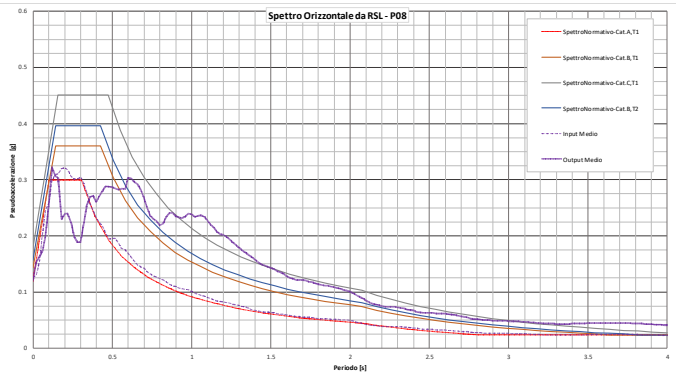
Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP V10000 C01

Rev.  
A

Foglio  
67 di 74



Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A

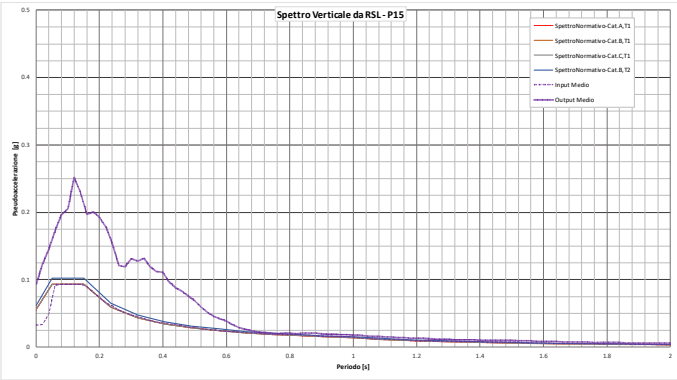
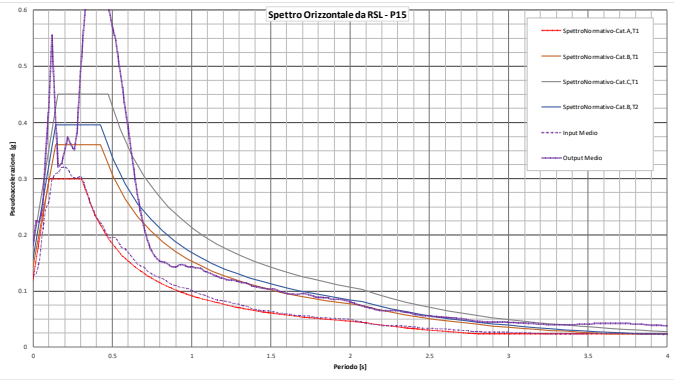
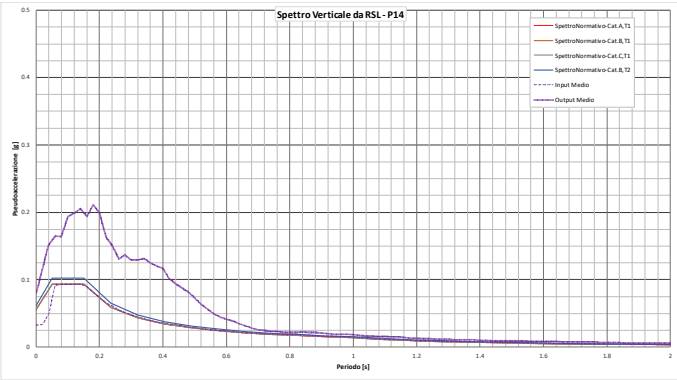
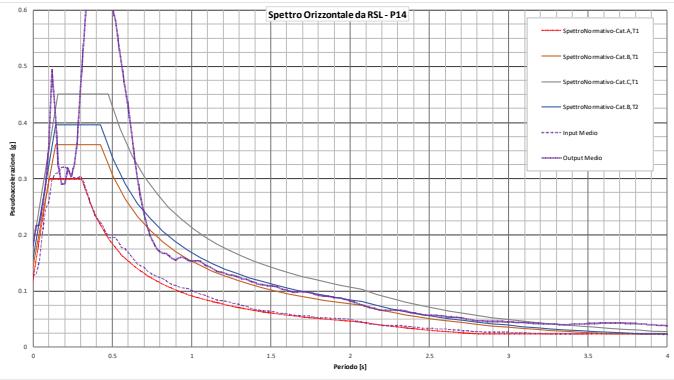
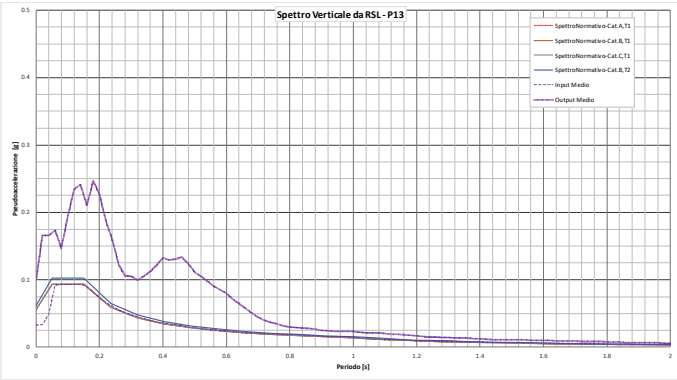
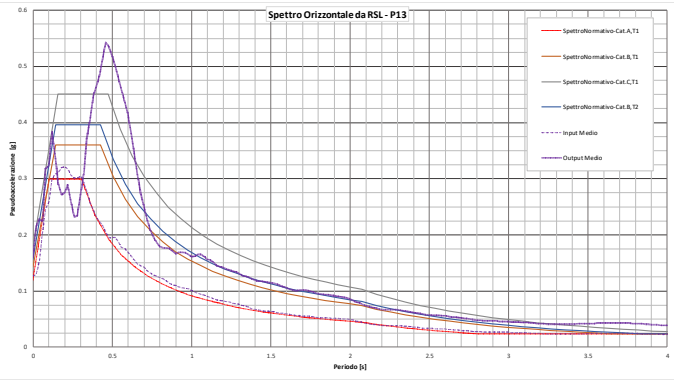
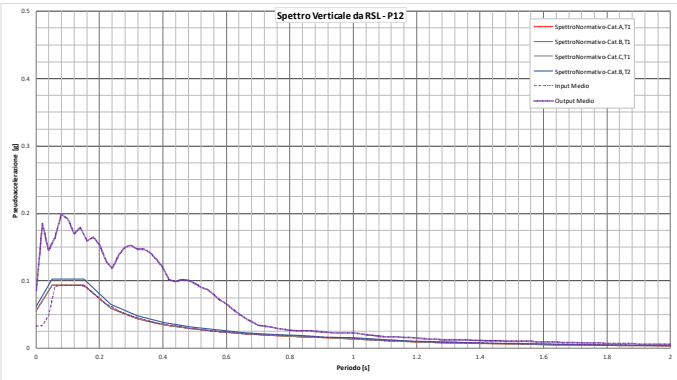
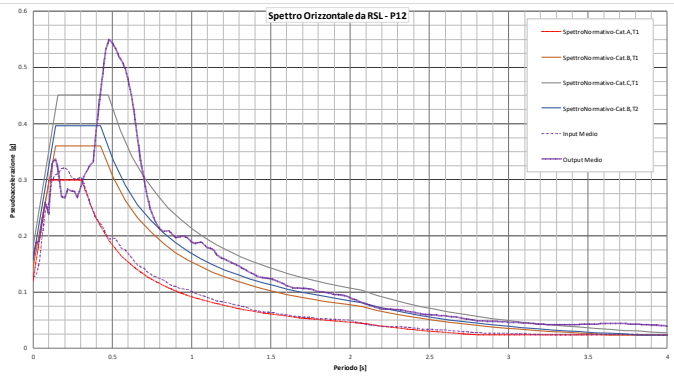
Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP V10000 C01

Rev.  
A

Foglio  
68 di 74



Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A

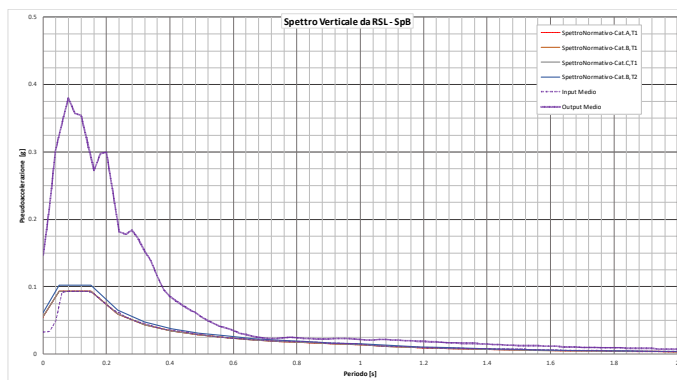
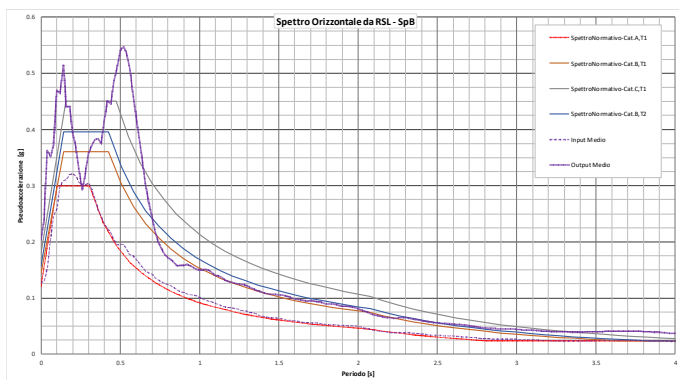
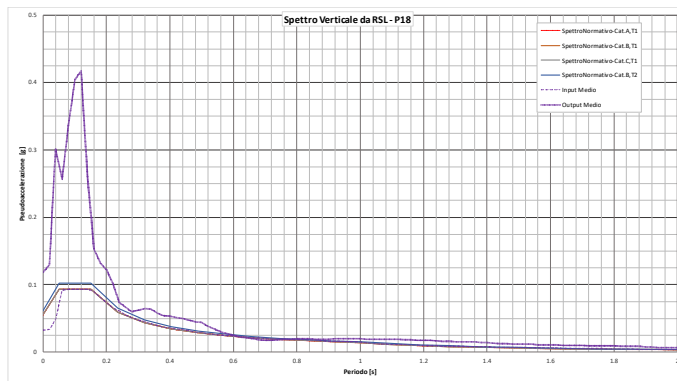
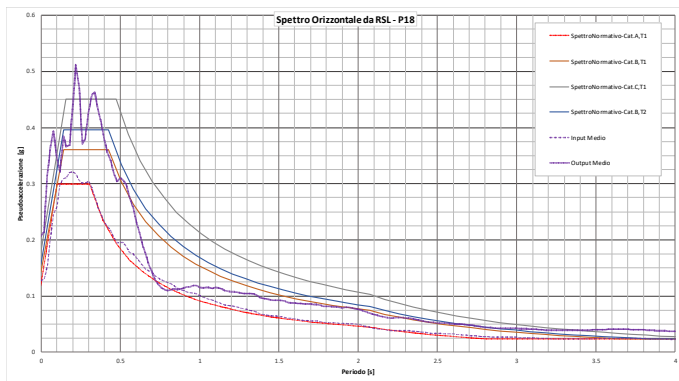
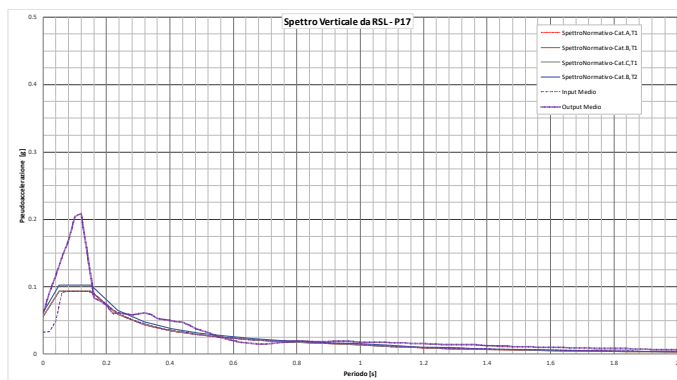
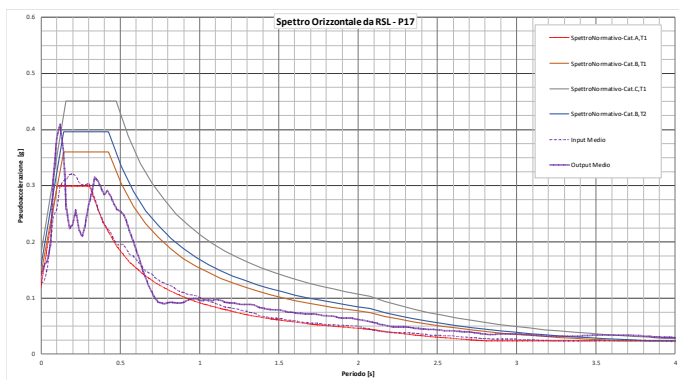
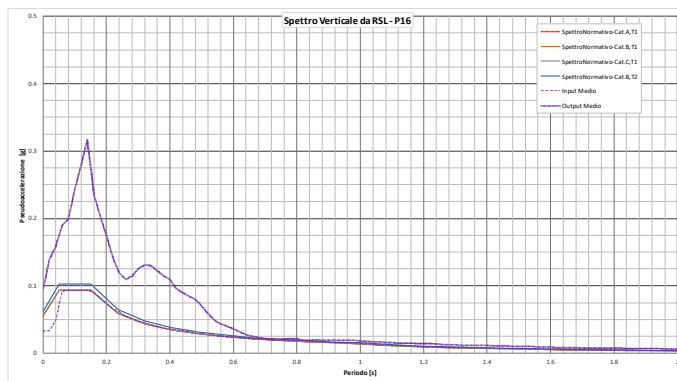
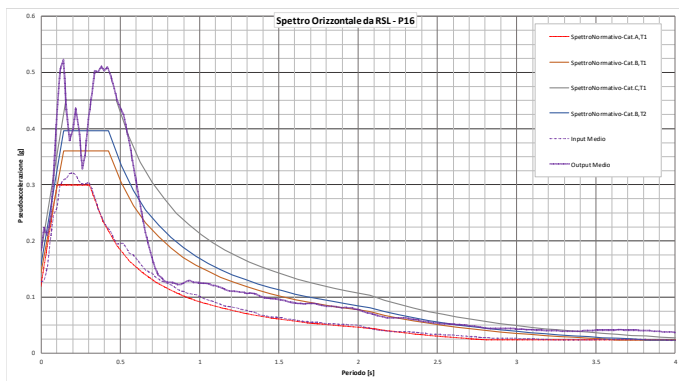
Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP V10000 C01

Rev.  
A

Foglio  
69 di 74



Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A

Progetto  
NG12

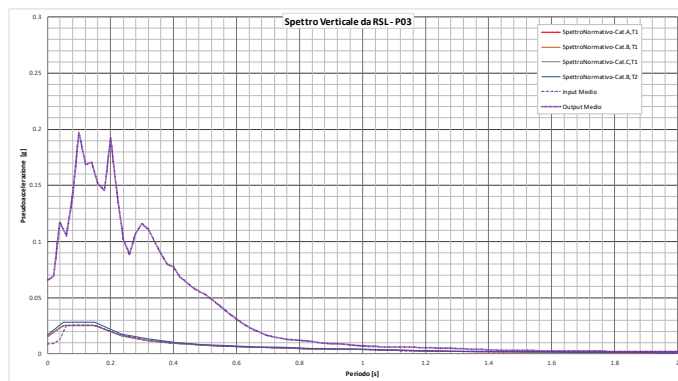
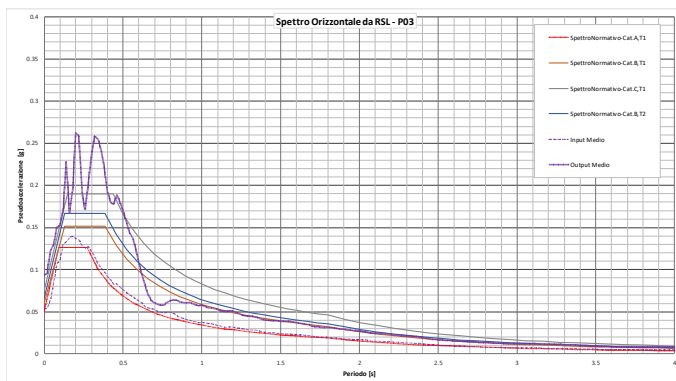
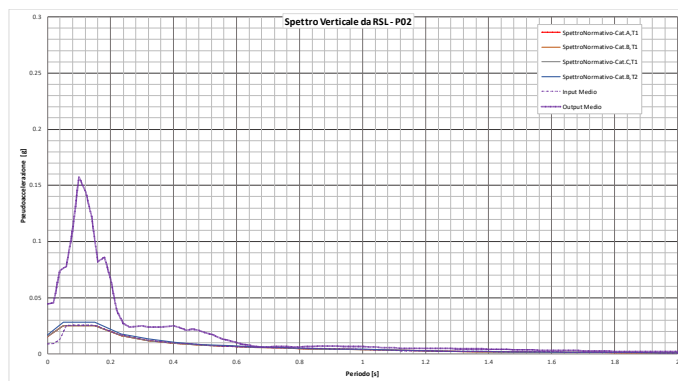
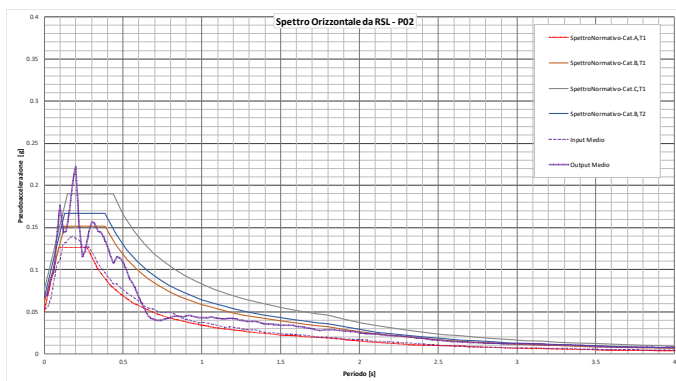
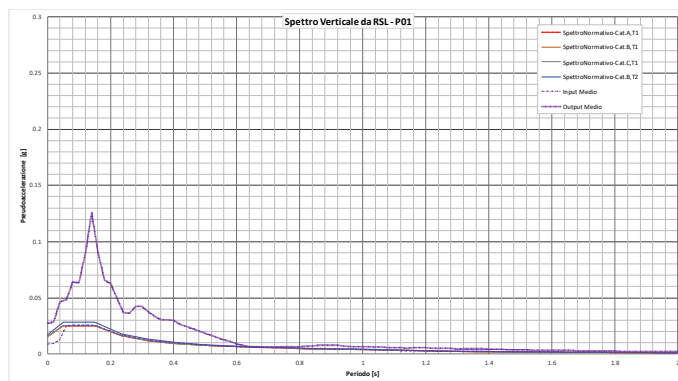
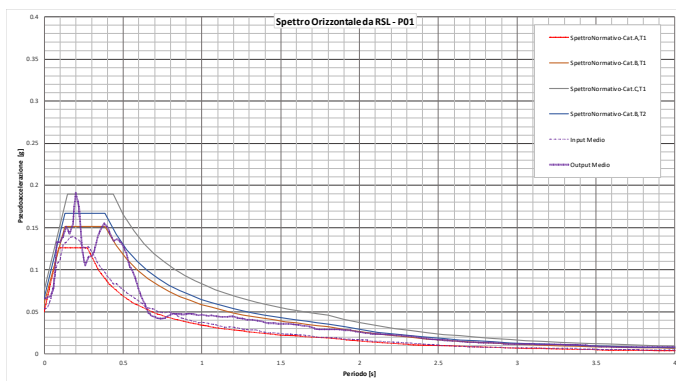
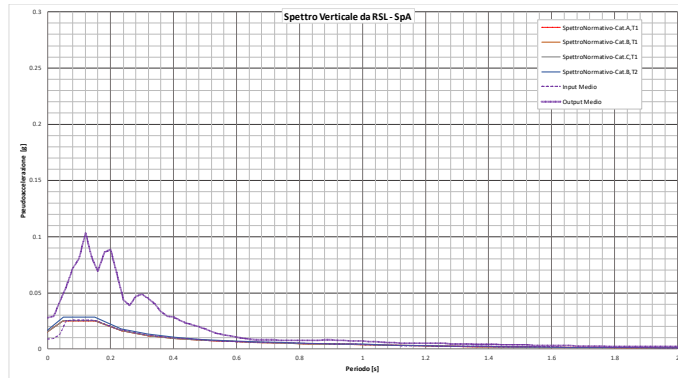
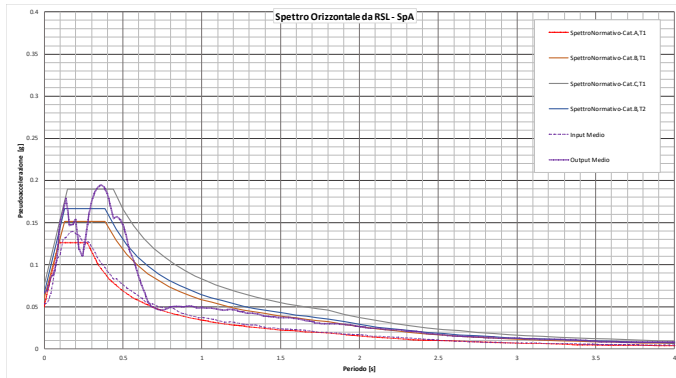
Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP V10000 C01

Rev.  
A

Foglio  
70 di 74

## APPENDICE C – Spettri di Risposta Orizzontali e Verticali in corrispondenza dei sistemi fondali - SLD



Contraente



Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A

Progettista



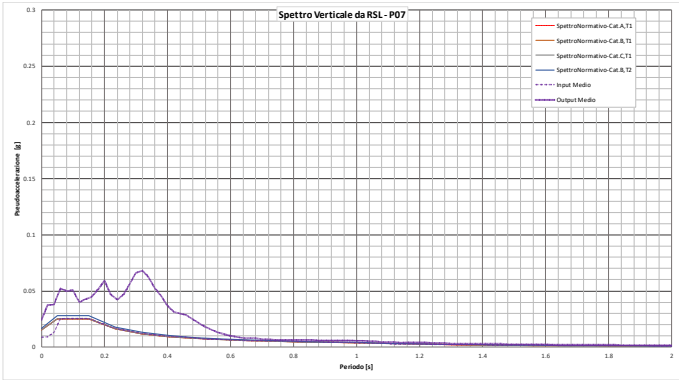
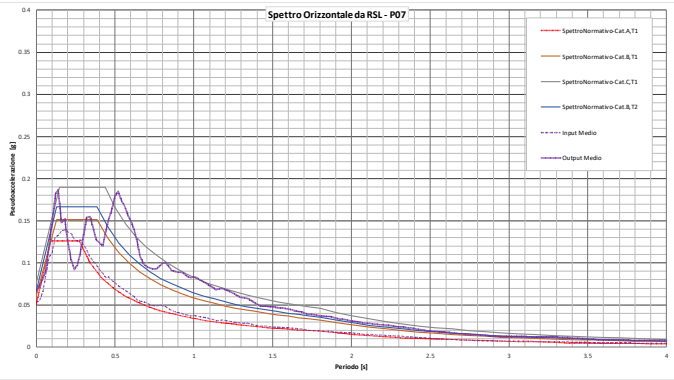
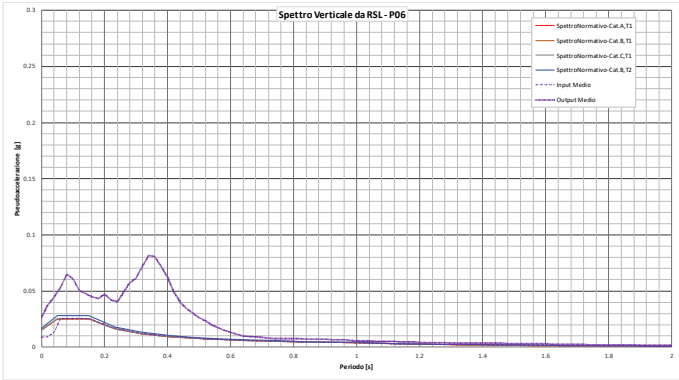
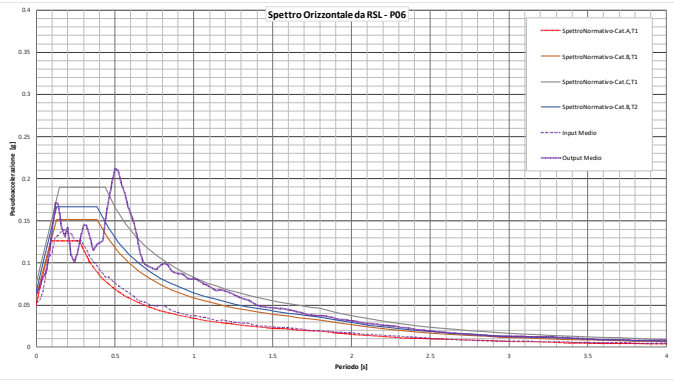
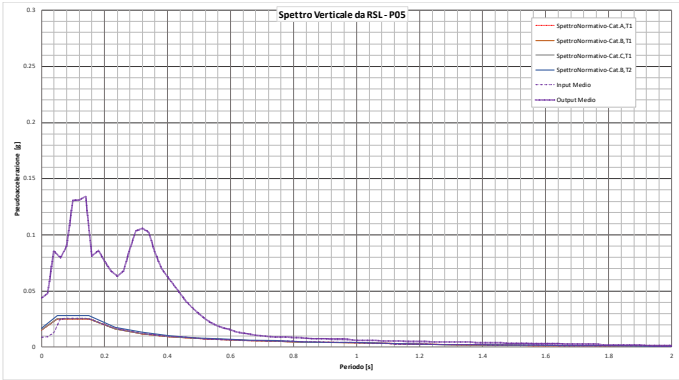
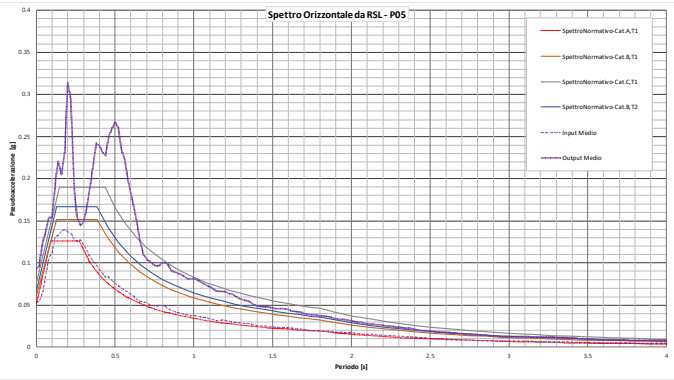
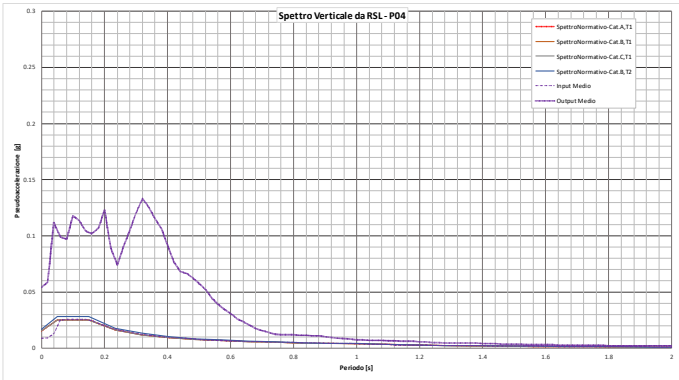
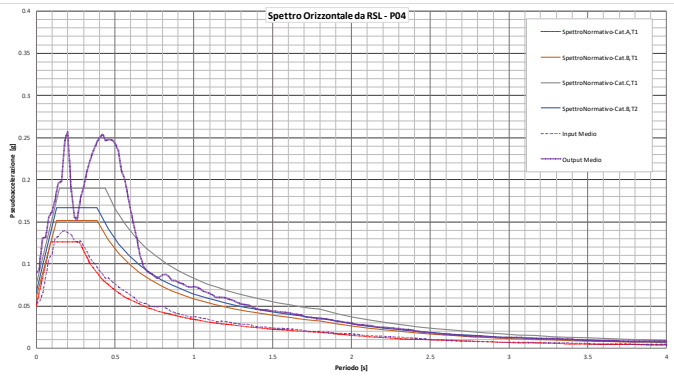
Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP V10000 C01

Rev.  
A

Foglio  
71 di 74



Contraente



Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A

Progettista



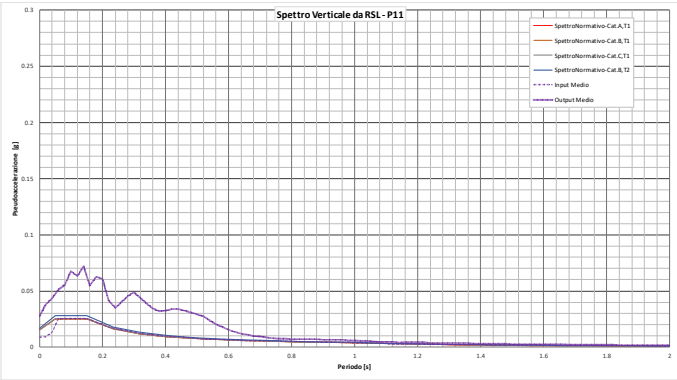
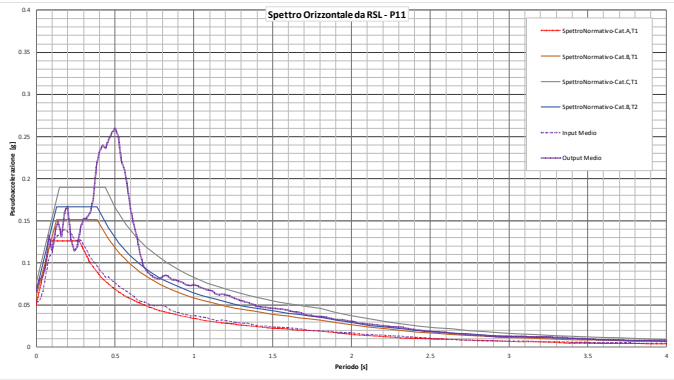
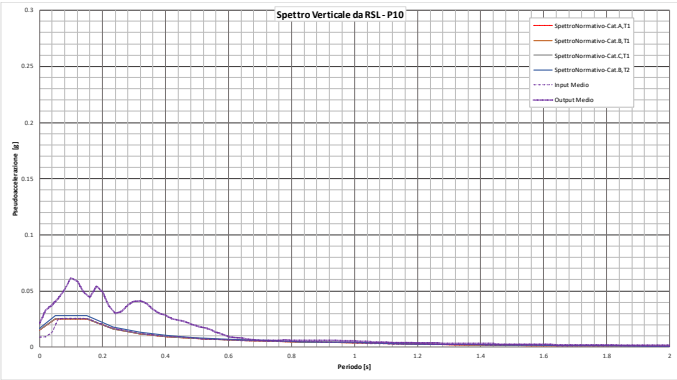
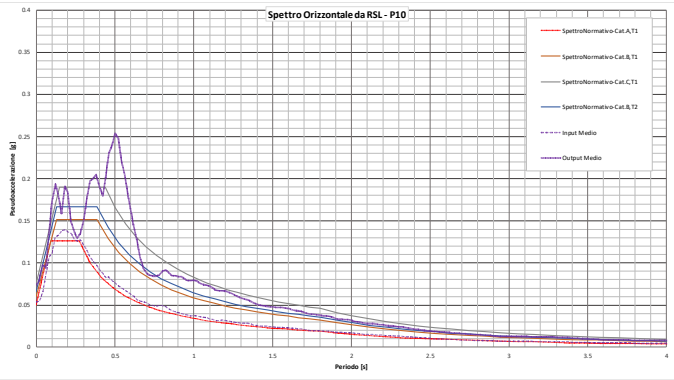
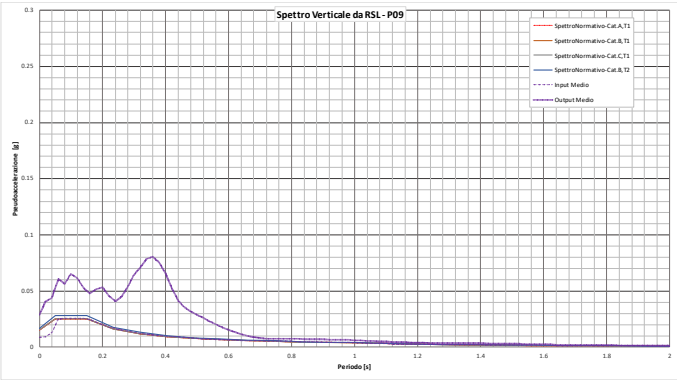
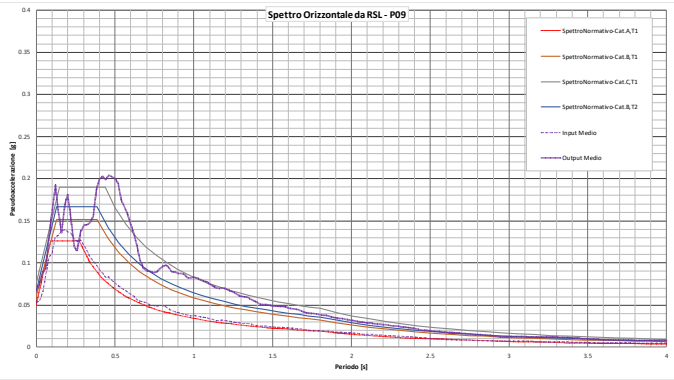
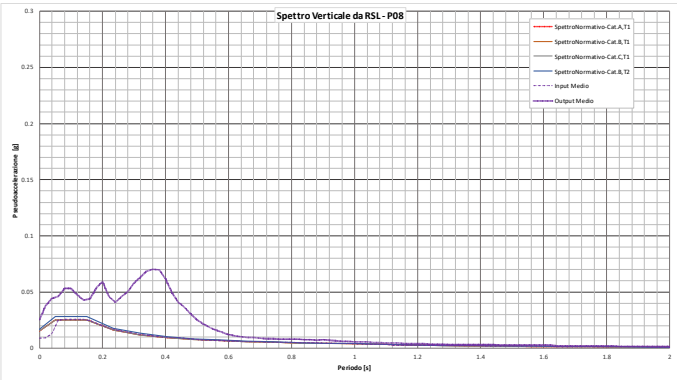
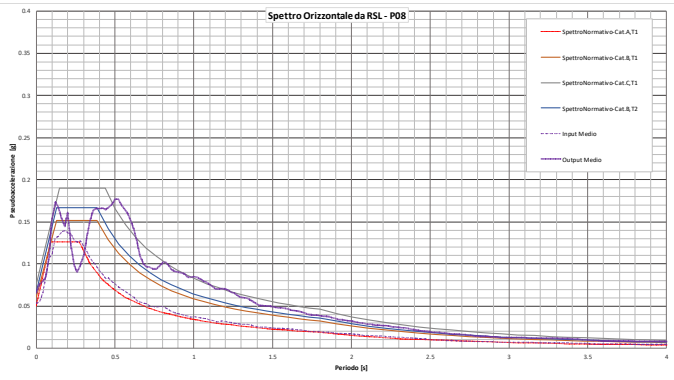
Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP V10000 C01

Rev.  
A

Foglio  
72 di 74



Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A

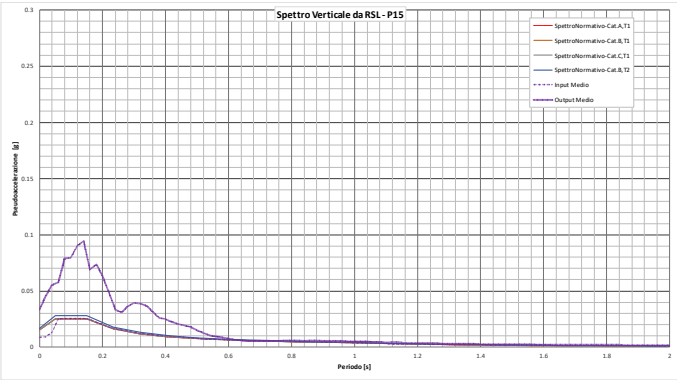
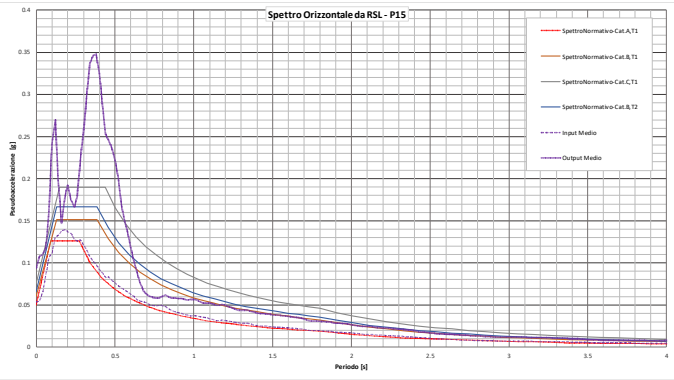
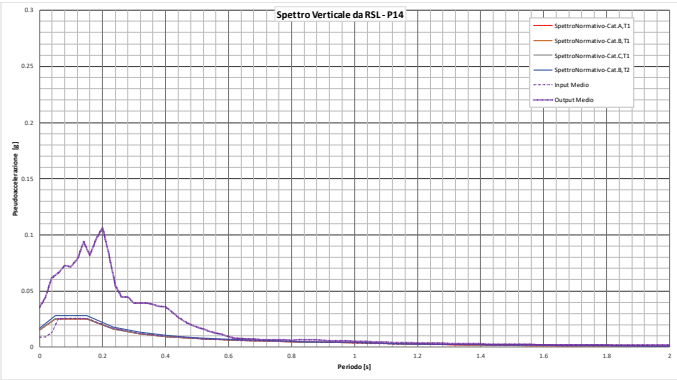
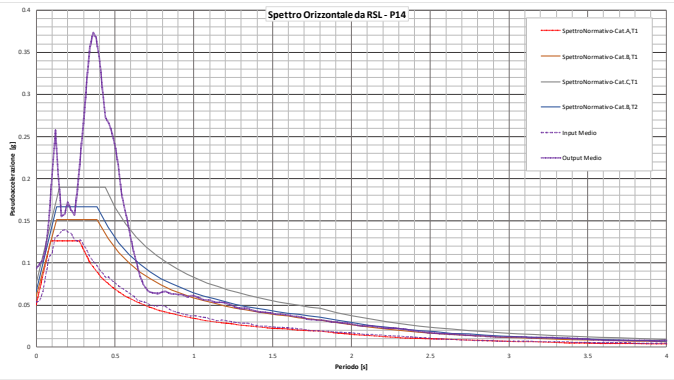
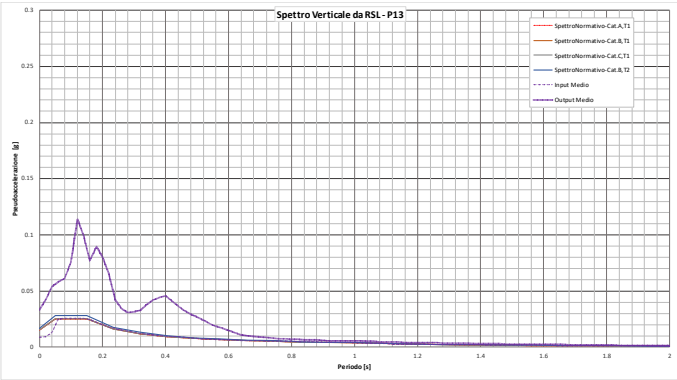
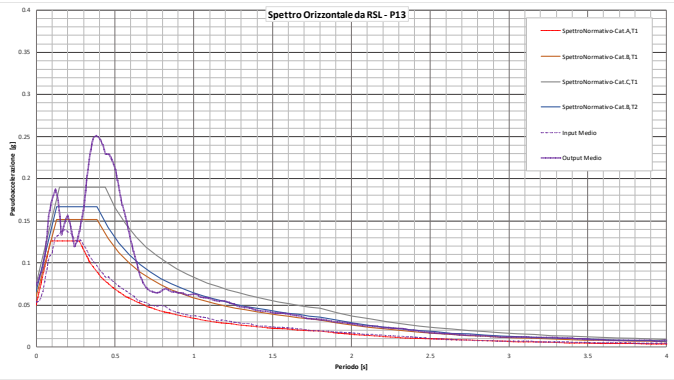
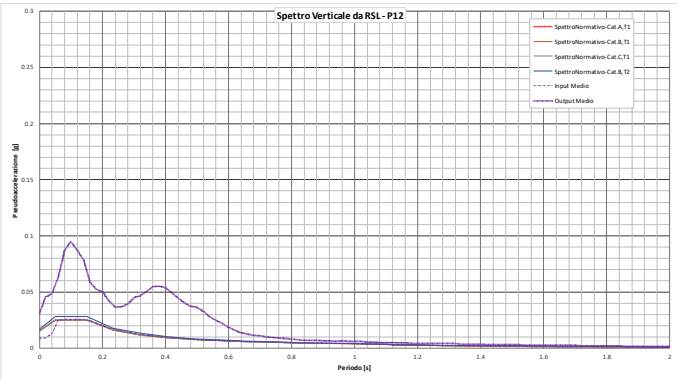
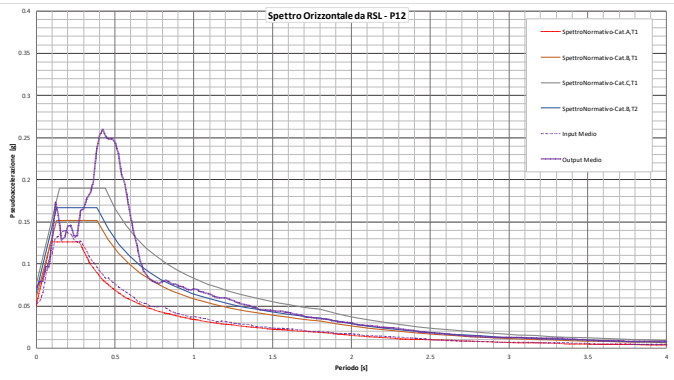
Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP V10000 C01

Rev.  
A

Foglio  
73 di 74



Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09RPV10000C01A

Progetto  
NG12

Lotto  
00

Codifica Documento  
E 09 RP V10000 C01

Rev.  
A

Foglio  
74 di 74

