

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA

## TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE - GELA

### PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

#### S.O. OPERE CIVILI

#### RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA

#### LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA

VIADOTTI

VI05 - VIADOTTO AL KM 347+996




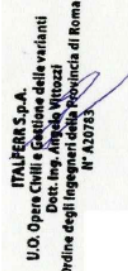
Analisi di risposta sismica locale

SCALA:

-

COMMESSA    LOTTO    FASE    ENTE    TIPO DOC.    OPERA/DISCIPLINA    PROGR.    REV.

RS6K    00    R    09    RH    VI0500    002    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	MP&A 	Mag. 2022	A.Ferri 	Mag. 2022	P. Mosca 	Mag. 2022	A. Vitozzi  Mag. 2022

## INDICE

1	PREMESSA .....	3
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	4
2.1	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO .....	4
3	DESCRIZIONE DELLE CAMPAGNA DI INDAGINE .....	5
3.1	CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE (VINCENZETTO S.R.L.) - 2019 .....	6
4	SELEZIONE DEGLI ACCELEROGRAMMI .....	8
5	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE DEL SITO ANALIZZATO .....	14
5.1	AZIONE SISMICA .....	17
5.2	AZIONE SISMICA ELASTICA PER SUOLO DI TIPO A .....	18
6	MODELLO GEOLOGICO E GEOFISICO DEL SOTTOSUOLO .....	20
6.1	ASSETTO STRATIGRAFICO LOCALE .....	20
6.2	LE INDAGINI GEOFISICHE: PROVA DOWN-HOLE .....	20
7	RISPOSTA SISMICA LOCALE SUL MODELLO GEOLOGICO ADOTTATO .....	21
8	ANALISI DEI RISULTATI E DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI VERIFICA .....	23
8.1	MODELLO SISMO STRATIGRAFICO PER L'ANALISI DI RSL .....	23
8.2	ANALISI NUMERICHE .....	24
8.3	ANALISI E VALUTAZIONE DEI RISULTATI: INDIVIDUAZIONE DELL'AZIONE DI VERIFICA .....	25
9	SINTESI DEI RISULTATI .....	26

## 1 PREMESSA

Lungo la Linea ferroviaria Caltagirone – Gela alla pk 347+996 è previsto l'adeguamento sismico di un viadotto ad archi.

Nella presente Relazione viene riportata l'analisi di risposta sismica locale.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA</b> <b>LOTTO2: NISCEMI - GELA</b> <b>INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO STRUTTURALE PER</b> <b>CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI</b>					
	<b>VI05 - Analisi di risposta sismica locale</b>	COMMESSA RS6K	LOTTO 00	CODIFICA R 09 RH	DOCUMENTO VI 05 00 002	REV. A

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Si riporta di seguito l'elenco dei documenti sulle indagini allegati al progetto definitivo cui si è fatto riferimento per l'elaborazione dei complessivi dati geotecnici.

- [1] Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico – Adeguamento sismico del viadotto al km 347+990 (Doc. rif. – RS3K02D69NZGE0001005A)
- [2] Indagini geognostiche eseguite per l'adeguamento sismico dei viadotti ai Km 347+990, 350+282 e 350+757 (Doc. rif. – RS3K02D69SGGE0005003A)
- [3] Adeguamento sismico del viadotto al Km 347+990 – Prove di laboratorio eseguite sui campioni dei sondaggi S11 ed S12 (Doc. rif – RS3K02D69PRGE0005005A)
- [4] Indagini geofisiche eseguite per l'adeguamento sismico dei viadotti ai Km 339+401, 340+688, 342+542, 346+911, 347+990, 350+282 e 350+757 (Doc. rif. – RS3K02D69IGGE0005001A)
- [5] Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica – Lotto 2, Niscemi-Gela, adeguamento sismico dei viadotti ai Km 339+401, 340+688, 342+542, 346+911, 347+990, 350+282 e 350+757 (Doc. rif – RS3K02D69RGGE0001001A)

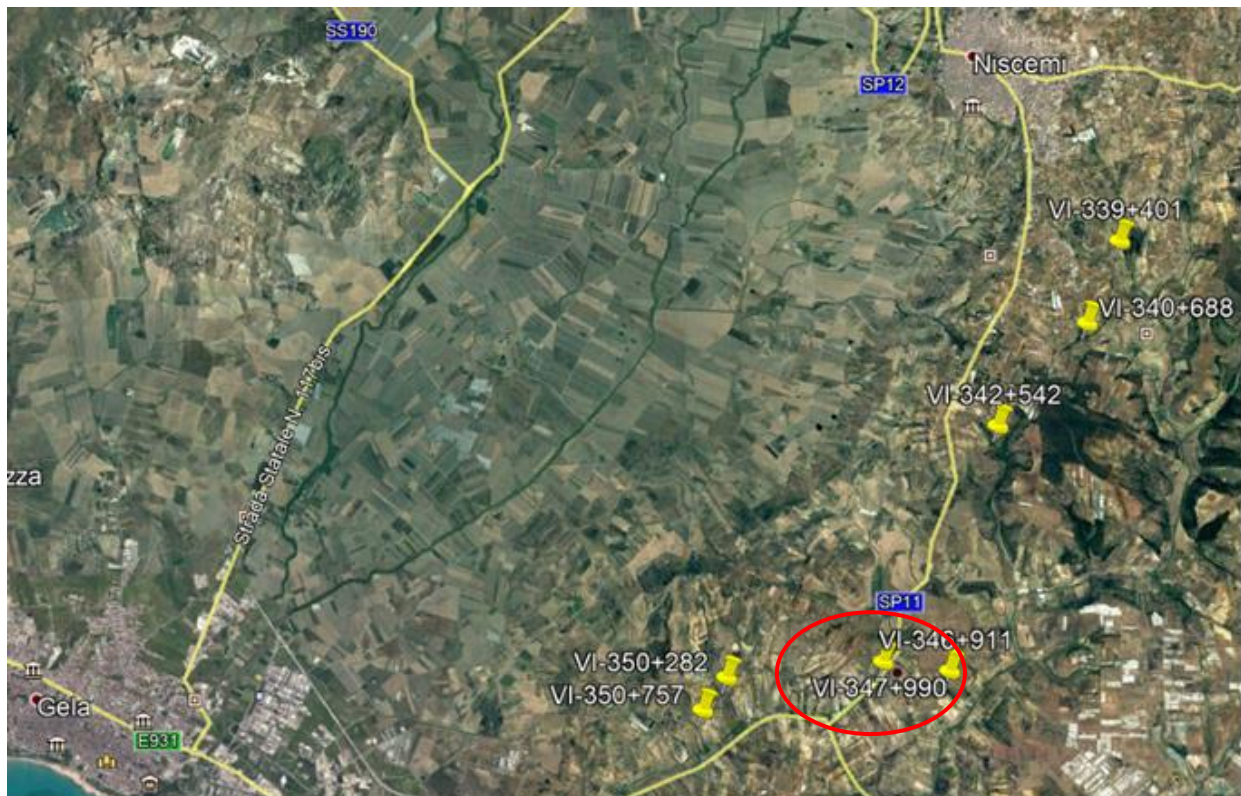
### 2.1 Normativa e standard di riferimento

Si riporta di seguito l'elenco delle normative a cui si è fatto riferimento per la stesura della presente relazione:

- [6] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»”, G.U. n.8 del 20 febbraio 2018.
- [7] Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 - Istruzioni per l'applicazione dell' «Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

### 3 DESCRIZIONE DELLE CAMPAGNA DI INDAGINE

Si riporta un'immagine satellitare dell'area oggetto di studio con indicazione del viadotto in esame.



**Fig. 1 – Ubicazione sito di studio**

La campagna di indagini è stata eseguita dalla ditta Vincenzetto s.r.l., per conto di Italferr, nell'Ottobre del 2019 ed include l'esecuzione di 7 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino alla profondità compresa tra 5m e 40m. Nel corso delle perforazioni sono state effettuate prove in foro di sondaggio (di tipo SPT, di permeabilità Lefranc, dilatometriche) e prelevati campioni di terreno indisturbati e rimaneggiati. Nel sondaggio S12 è stato installato un piezometro a tubo aperto per la rilevazione del livello di falda, mentre il sondaggio S11 è stato attrezzato con una tubazione per l'esecuzione di una prova geofisica di tipo Down-Hole. Inoltre sono state eseguite prove HVSR (in prossimità dei sondaggi S11 ed S12) e MASW (in prossimità del sondaggio S12).

I campioni prelevati durante le perforazioni sono stati successivamente sottoposti a prove geotecniche di laboratorio. Per i campioni rimaneggiati, l'attività di laboratorio è consistita essenzialmente nella descrizione delle caratteristiche dei campioni pervenuti e nell'esecuzione di prove di classificazione con analisi granulometriche. Sui

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA</b> <b>LOTTO2: NISCEMI - GELA</b> <b>INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO STRUTTURALE PER</b> <b>CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI</b>					
	<b>VI05 - Analisi di risposta sismica locale</b>	COMMESSA RS6K	LOTTO 00	CODIFICA R 09 RH	DOCUMENTO VI 05 00 002	REV. A

campioni indisturbati, di qualità idonea, sono state eseguite prove di classificazione (fisiche, limiti di Atterberg e granulometria), prove di taglio diretto, prove edometriche e prove triassiali UU e CU.

### 3.1 Campagna di indagini geognostiche (Vincenzetto s.r.l.) - 2019

#### Indagini in sito:

- n. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo (S10) eseguito sulla spalla lato Niscemi del viadotto allo scopo di indagarne la struttura;
- n. 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti fino alla profondità di m 40,0 dal piano campagna, dei quali il S11 eseguito in prossimità della Pila 4 ed attrezzato con tubazione per geofisica, il S12 in prossimità della pila 8 attrezzato con piezometro Norton.

Nel corso della perforazione del S11 e S12 sono state eseguite prove SPT, prove di permeabilità tipo Lefranc, prove dilatometriche e sono stati prelevati campioni rimaneggiati e indisturbati;

- n. 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S12bis, S12ter, S12quater, S12quinqes) eseguiti sul plinto della pila 8 allo scopo di verificare la presenza di pali al di sotto del plinto stesso;
- n. 2 prove sismiche *HVSR* eseguite in prossimità dei sondaggi S11 e S12;
- n. 1 prova Down-Hole eseguita nel foro di sondaggio S11;
- n. 1 prova sismica *MASW* eseguita in prossimità del sondaggio S12.

Di seguito si riporta l'elenco dei sondaggi eseguiti, indicando la profondità, la quota sondaggio e le coordinate cartesiane (UTM – WGS84):

**VI05 - Analisi di risposta sismica locale**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 RH	VI 05 00 002	A	7 di 26

Sigla	Coord. UTM (E)	Coord. UTM (N)	Perforazione	Strumentazione/ Prova	Quota s.l.m.	Profondità (m)	SPT	Campioni disturbati	Campioni Indisturbati
S10	444071.425	4103123.142	Carotaggio continuo	-	120.101	25	-	-	-
S11	443987.682	4103180.561	Carotaggio continuo	Tubazione per geofisica/Prova Down-Hole Prove Lefranc e dilatometriche	100.854	40	11	9	8
S12	443926.842	4103234.551	Carotaggio continuo	Piezometro t.a. Prove Lefranc e dilatometriche	200.305	40	11	11	8
S12bis	443925.530	4103239.651	Carotaggio continuo	-	103.761	5	-	-	-
S12 ter	443925.653	4103239.783	Carotaggio continuo	-	103.761	5	-	-	-
S12 quater	443925.901	4103239.532	Carotaggio continuo	-	103.761	5	-	-	-
S12 quinquies	443925.102	4103239.103	Carotaggio continuo	-	103.761	5	-	-	-

Per il dettaglio delle prove si rimanda al Doc. di Rif. [2] e [4].

**Prove di laboratorio:**

- apertura, descrizione e prove di classificazione sui campioni rimaneggiati prelevati.
- apertura, descrizione e prove di classificazione, prova di taglio diretto, prova di compressione triassiale consolidata isotropa drenata e non drenata (TXCD, TXCU) e non consolidata (TXUU) sui campioni indisturbati prelevati.

Per il dettaglio delle prove si rimanda al Doc. di Rif. [3].

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA</b></p> <p><b>LOTTO2: NISCEMI - GELA</b></p> <p><b>INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO STRUTTURALE PER CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI</b></p>					
	<p><b>VI05 - Analisi di risposta sismica locale</b></p>					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS6K	00	R 09 RH	VI 05 00 002	A	8 di 26

#### 4 SELEZIONE DEGLI ACCELEROGRAMMI

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

Le analisi di RSL sono state effettuate per azioni corrispondenti al tempo di ritorno di  $TR = 475$  anni corrispondente allo stato limite SLV. Per il suddetto tempo di ritorno è stato selezionato un set di 7 accelerogrammi naturali spettrocompatibili con la procedura di seguito descritta.

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

Il software REXEL v 3.5 permette la ricerca di combinazioni di accelerogrammi naturali compatibili con gli spettri delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC - CS.LL.PP, 2008), dell'Eurocodice 8 (EC8 – CEN, 2003), dell'ASCE/SEI 7-10 (ASCE, 2010) o completamente definiti dall'utente; le combinazioni trovate possono anche rispecchiare caratteristiche di sorgente di interesse. I database inclusi nel software sono lo European Strong-motion Database (ESD), (aggiornato a luglio 2007) scaricabile dal sito internet <http://www.isesd.cv.ic.ac.uk>, l'Italian Accelerometric Archive (ITACA) (aggiornato ad ottobre 2010) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), scaricabile dal sito internet <http://itaca.mi.ingv.it> e il database contenente Selected Input Motions for displacement-Based Assessment and Design (SIMBAD v 2.0) (aggiornato a novembre 2011) di Smerzini e Paolucci (2011) sviluppato nell'ambito della Linea 1.2 (Sviluppo di approcci agli spostamenti per la valutazione della vulnerabilità), Task 1.2.1 (Principi, Aspetti Generali, Azioni) del progetto ReLUIS 2010-2013. Nei primi due casi si fa riferimento a registrazioni di terremoti con magnitudo maggiore di 4 e in condizioni di free-field. Nel caso di ITACA la classificazione del suolo secondo l'Eurocodice 8 fa riferimento ai risultati del task 2 del Progetto S4 dell'INGV <http://esse4.mi.ingv.it/> e può essere aggiornata in futuro. Il database SIMBAD fa riferimento a registrazioni di terremoti mondiali con magnitudo non minore di 5 e distanza epicentrale non maggiore di 30 km. Il software consente la ricerca dei set di accelerogrammi attraverso una procedura di disaggregazione, procedura di tipo statistico che permette di conoscere il contributo alla sismicità (hazard) di un dato sito di qualsiasi variabile del problema: in questo caso si fa riferimento alla magnitudo (M), alla distanza (R) ed alla epsilon1. Tali contributi dipendono dall'ordinata spettrale e dal valore di hazard associato al sito studiato, oppure, equivalentemente, dal periodo di ritorno considerato.



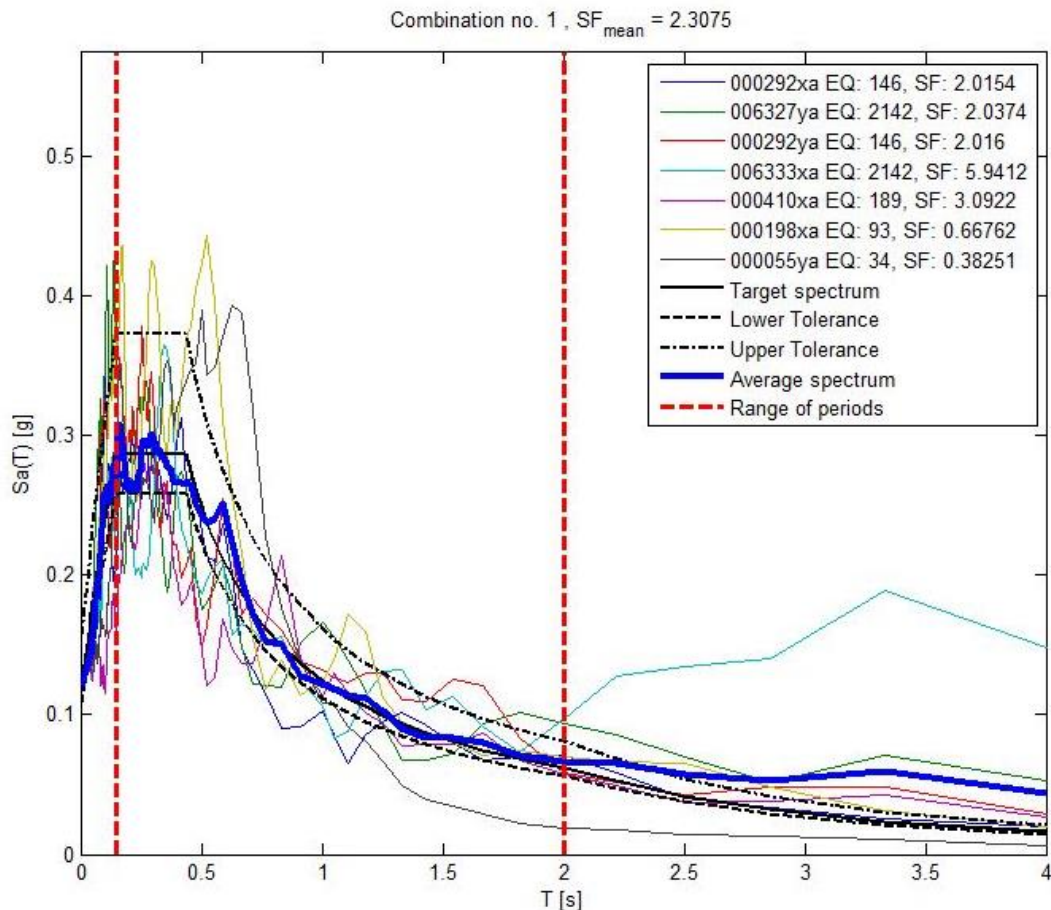
Una volta individuato il punto di riferimento (Lat: 37.06811° Long: 14.342405°), si procede all'impostazione dello spettro target.

Si procede alla ricerca di spettri di accelerazione della componente orizzontale, con un criterio di disaggregazione di  $S_a(T)=0$  sec per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV). Il prodotto della disaggregazione, indica i parametri da inserire per la ricerca nei database che variano tra magnitudo compresa tra 6 e 7 e raggio di ricerca compreso tra 0 e 30 km. Per quello che riguarda la scelta dei parametri di confronto con lo spettro di riferimento, si sono sempre scelti una tolleranza superiore del 30%, una tolleranza inferiore del 10% e si è individuato come porzione di confronto dello spettro quella compresa tra 0.15 e 2 secondi.

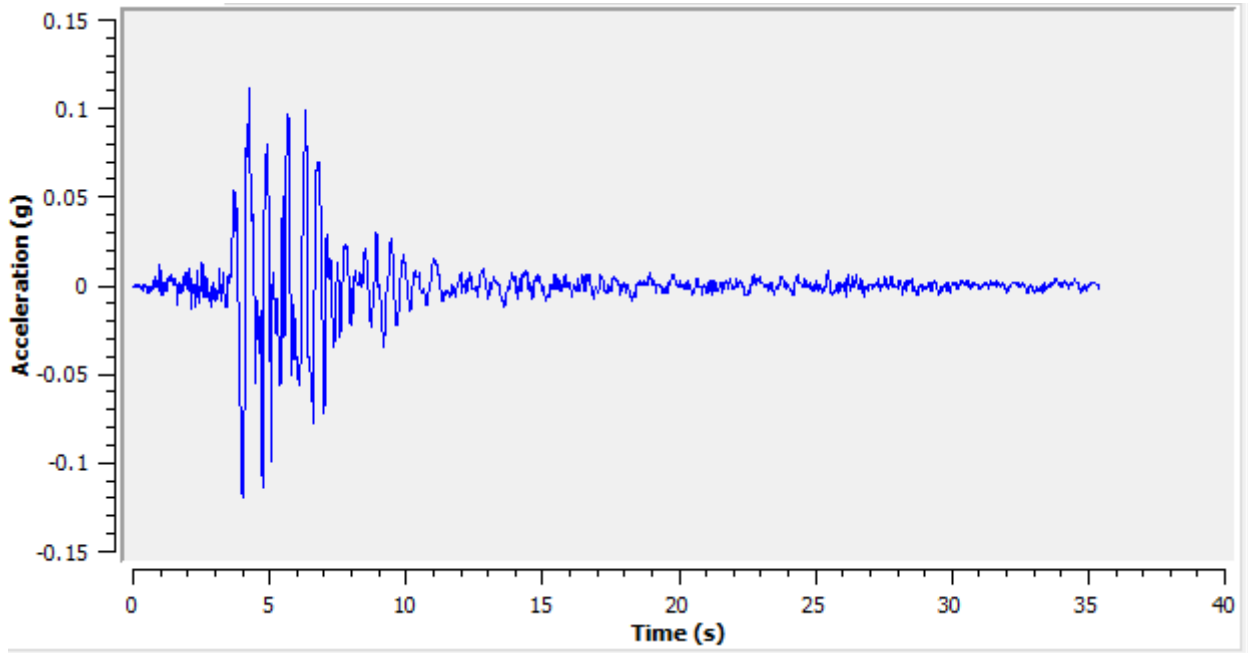
**ACCELEROGRAMMA PER SLV –  $T_R=475$  ANNI**

Il set prescelto presenta un valore di deviazione standard pari a 0.059 rispetto allo spettro di riferimento di norma. La sottostante tabella riassume gli elementi significativi del set di 7 accelerogrammi estratti per il  $TR=475$ , indicando anche gli eventi sismici cui si riferiscono gli accelerogrammi. Nelle sottostanti figure vengono riportati, rispettivamente, la combinazione grafica dei sette spettri e, a seguire, i sette accelerogrammi selezionati.

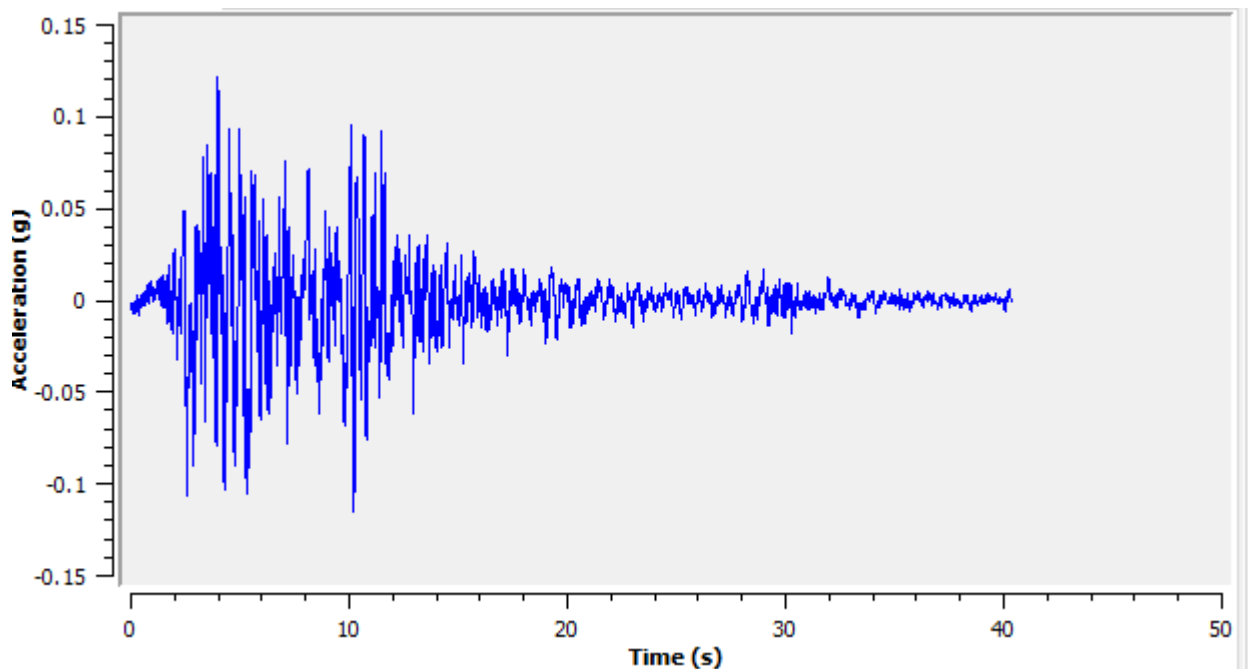
Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s <sup>2</sup> ]	PGA_Y [m/s <sup>2</sup> ]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]	ID_X	ID_Y	Np_X	Np_Y	EC8 Site class
292	146	ST98	Campano Lucano	23/11/1980	6.9	normal	25	0.5878	0.5876	0.0436	0.0585	16.351	13.7949	0.65537	1.162	A
6327	2142	ST2552	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	24	1.2466	0.5814	0.083	0.0713	4.2339	6.5454	1.0673	0.90209	A
292	146	ST98	Campano Lucano	23/11/1980	6.9	normal	25	0.5878	0.5876	0.0436	0.0585	16.351	13.7949	0.65537	1.162	A
6333	2142	ST2487	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	28	0.1994	0.2743	0.0428	0.0673	4.5627	4.465	0.87046	1.1398	A
410	189	ST161	Golbasi	05/05/1986	6	oblique	29	0.3831	0.538	0.0289	0.0749	6.3723	5.5948	0.99531	1.2311	A
198	93	ST64	Montenegro	15/04/1979	6.9	thrust	21	1.7743	2.1985	0.1705	0.2591	13.0429	8.1574	0.5081	0.93423	A
55	34	ST20	Friuli	06/05/1976	6.5	thrust	23	3.4985	3.0968	0.2061	0.3262	6.9175	7.2301	0.56953	0.68607	A
mean:					6.571		25	1.183	1.123	0.088	0.131	9.690	8.512	0.760	1.030	



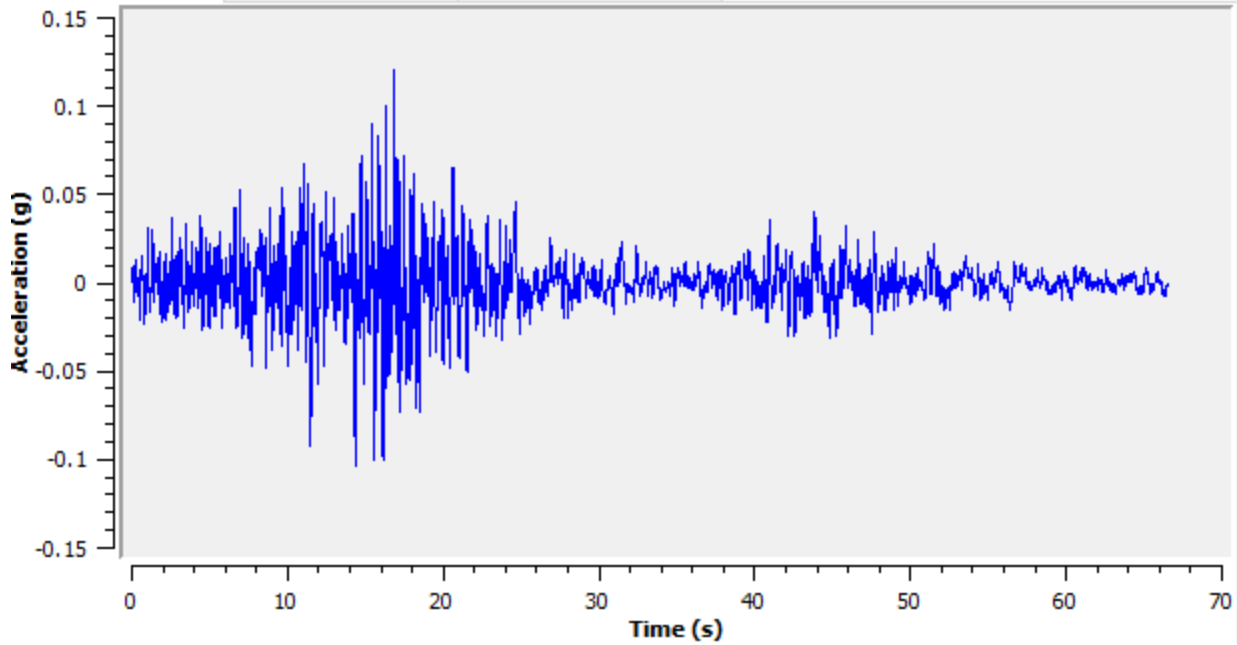
**Fig. 2: spettrocompatibilità**



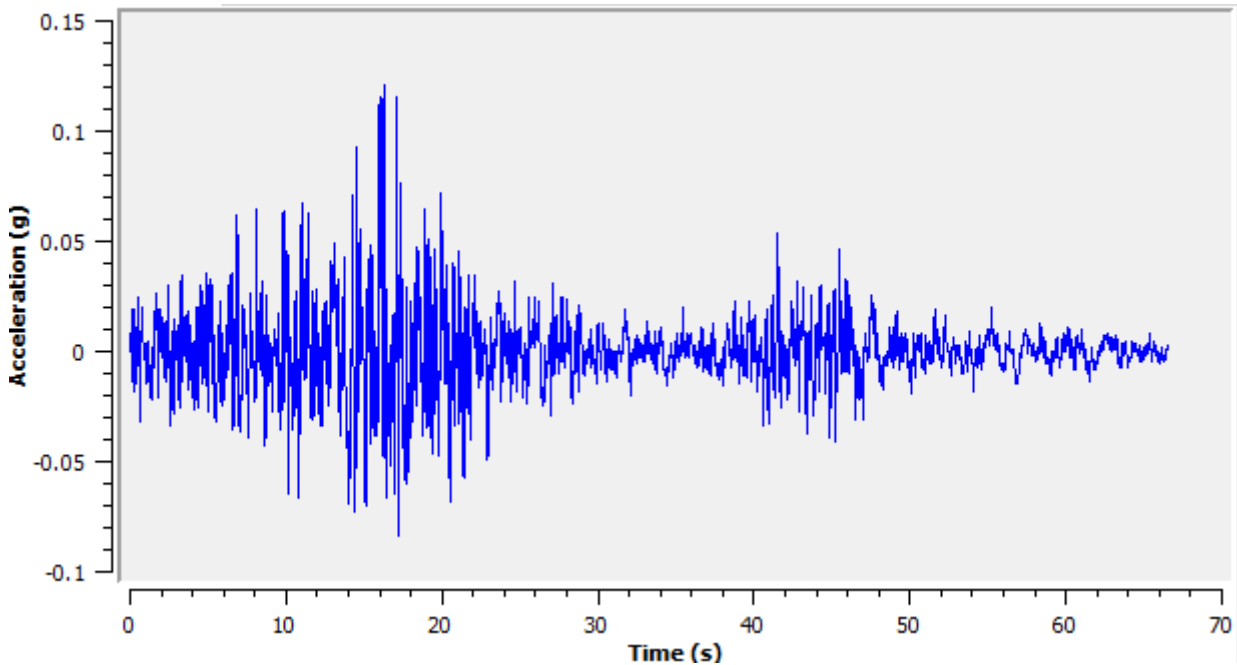
**Fig. 3: Accelerogramma 000055ya**



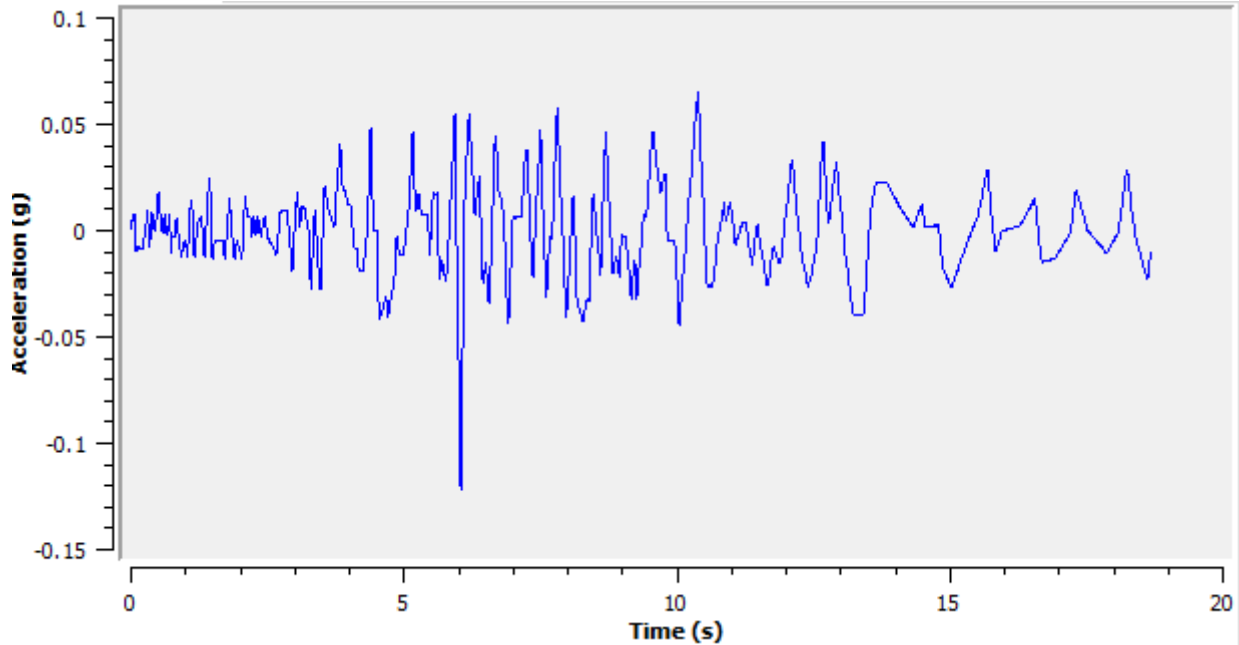
**Fig. 4: Accelerogramma 000198xa**



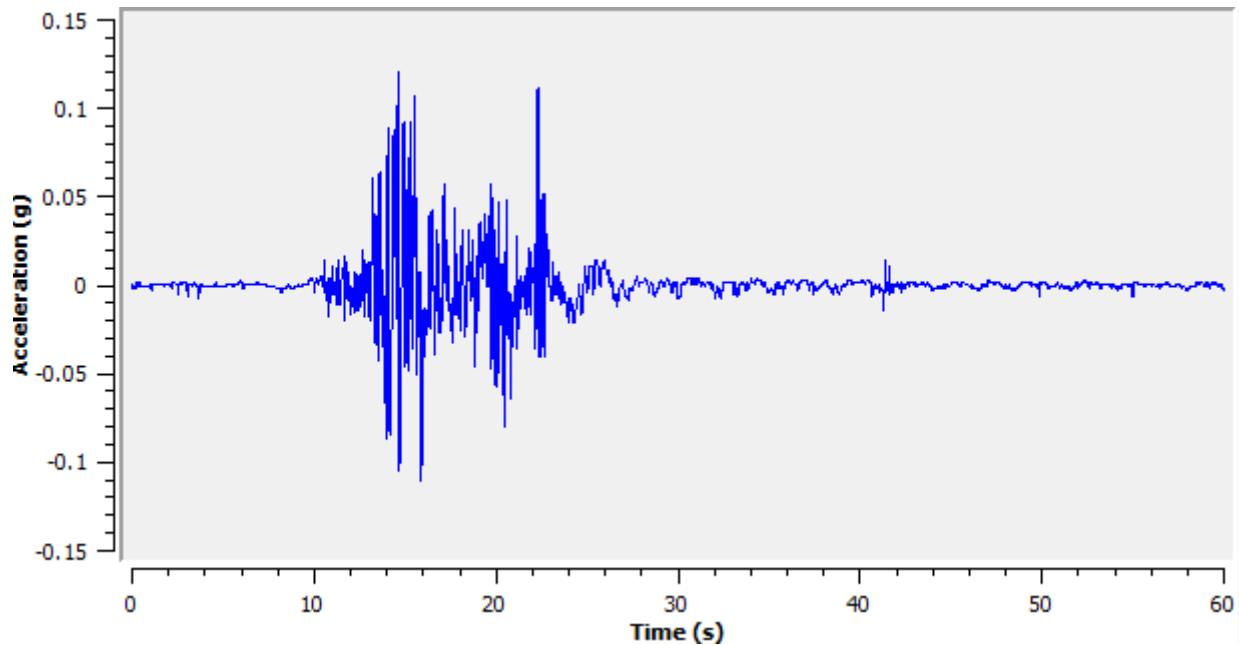
**Fig. 5: Accelerogramma 000292xa**



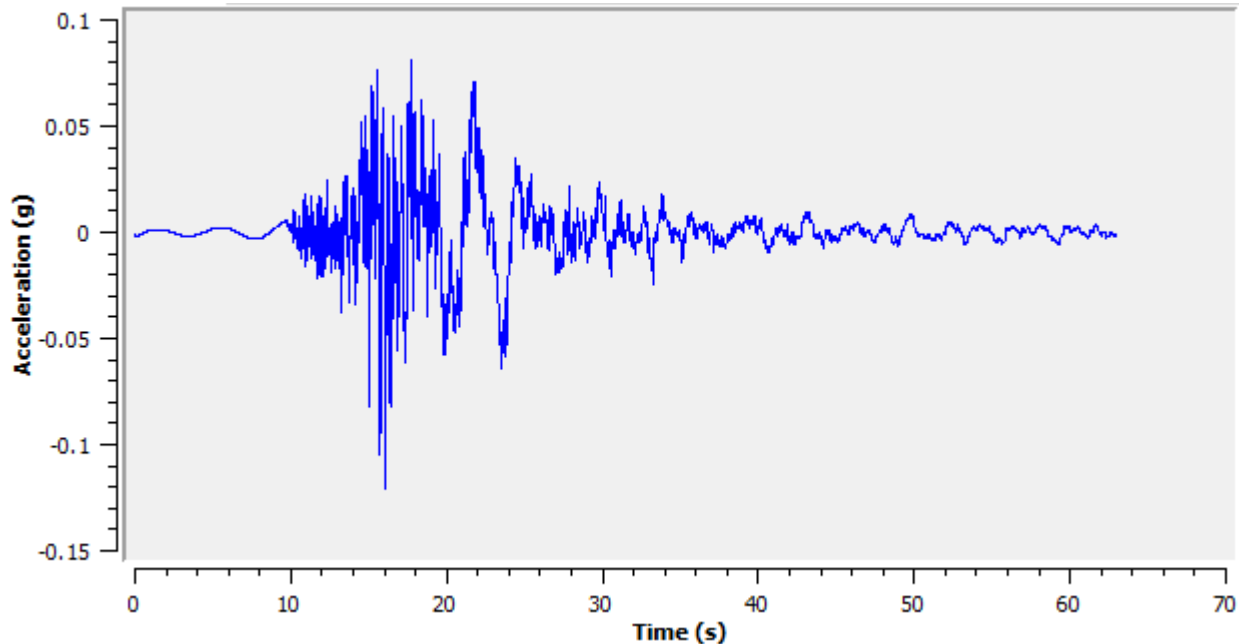
**Fig. 6: Accelerogramma 000292ya**



**Fig. 7: Accelerogramma 000410xa**



**Fig. 8: Accelerogramma 006327ya**



**Fig. 9: Accelerogramma 006333xa**

## 5 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE DEL SITO ANALIZZATO

Sulla base delle indicazioni del Committente, all'opera per la quale si effettua il presente studio di RSL va attribuita una vita nominale di  $VN=50$  anni ed una classe d'uso II, da cui  $c_u=1.0$  e  $V_R=50$  anni. Pertanto i diversi stati limite sono caratterizzati dalle seguenti probabilità di eccedenza e dai seguenti periodi di ritorno:

$$TR = -VR / [\ln(1 - Pecc)]$$

	<b>Pecc</b>	<b>TR</b>
SLO	81%	30
SLD	63%	50
SLV	10%	475
SLC	5%	975

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

Long. = 14.342405

Lat. = 37.06811

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATTUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

Interpolazione

Nodi del reticolo intorno al sito



INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

**Fig. 10: Individuazione del sito**

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
30	0.027	2.412	0.210
50	0.035	2.505	0.260
72	0.042	2.556	0.281
101	0.050	2.539	0.297
140	0.060	2.542	0.324
201	0.073	2.540	0.345
475	0.122	2.374	0.430
975	0.178	2.387	0.483
2475	0.270	2.502	0.532

In corrispondenza degli stati limite per una vita di riferimento di 50 anni, i precedenti parametri valgono:

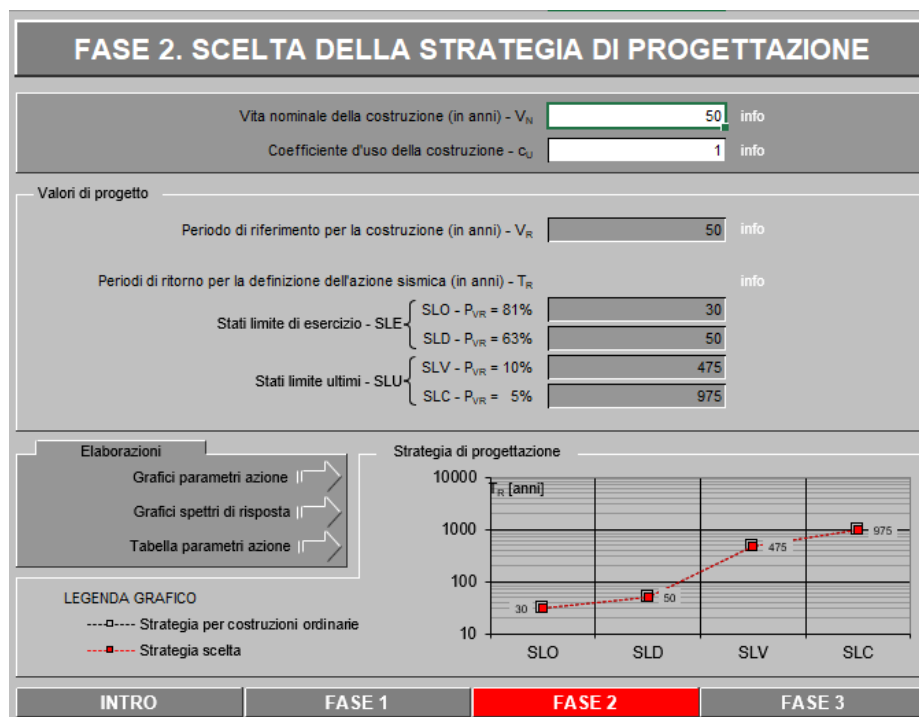


Fig. 11: Vita nominale e classe d'uso dell'opera

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	30	0.027	2.413	0.210
SLD	50	0.035	2.506	0.260
SLV	475	0.122	2.374	0.430
SLC	975	0.178	2.387	0.483



## 5.1 Azione sismica

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

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

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

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

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

con:

$a_g$  = accelerazione al suolo

$S$  = SS ST

$\xi$  = smorzamento percentuale rispetto allo smorzamento critico

$F_0$  = amplificazione spettrale, dipendente dal periodo di ritorno considerato

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

$T_B = T_C/3$

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

ST dipende dalle condizioni topografiche del sito

$a_g$ ,  $F_0$ , e  $CC$  dipendono dal sito considerato e dal periodo di ritorno dell'azione

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

$\xi = 5\%$

## 5.2 Azione sismica elastica per suolo di tipo A

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

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

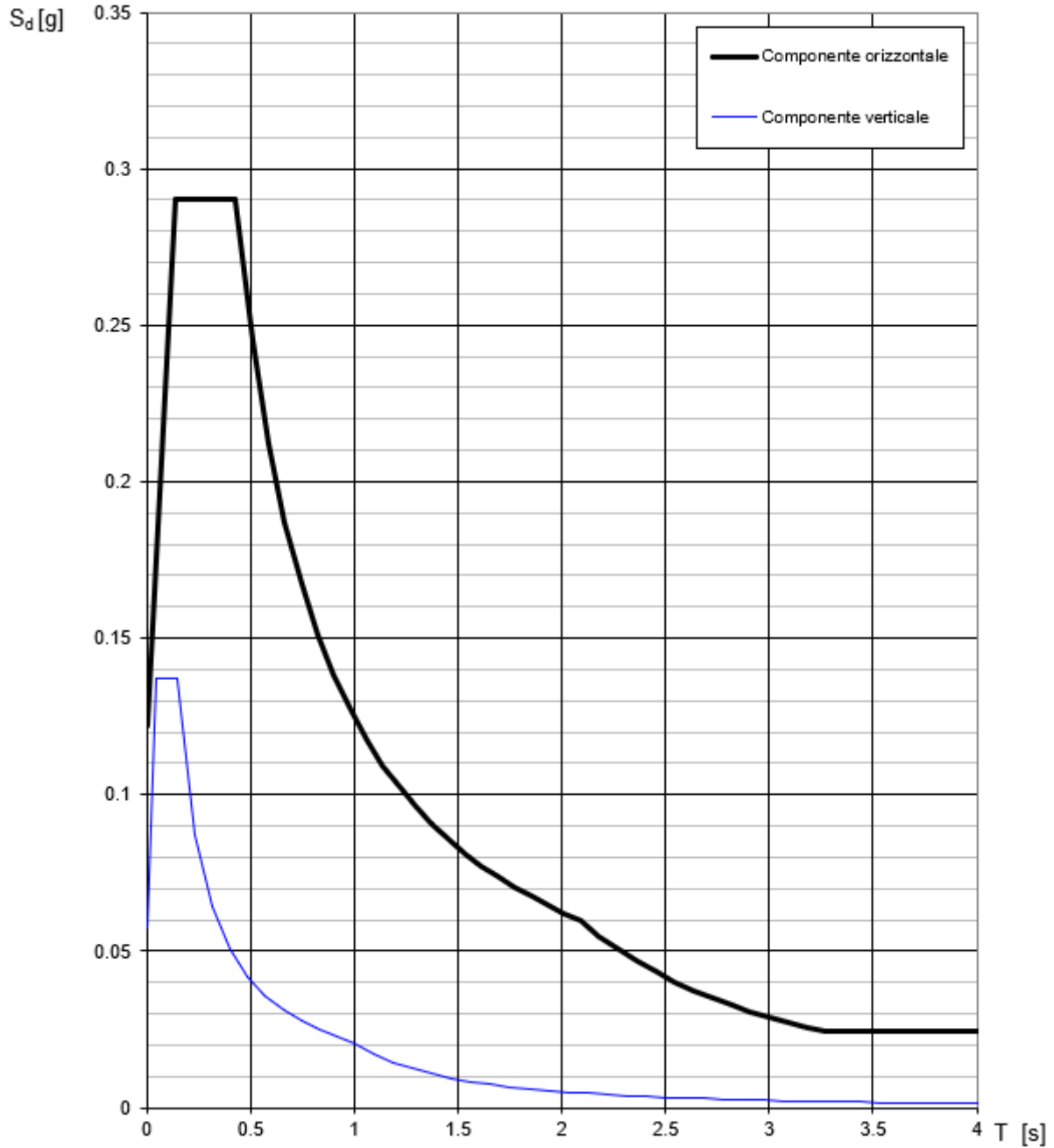
### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_0$	0.122 g
$F_{0,2}$	2.374
$T_C$	0.430 s
$S_S$	1.000
$C_C$	1.000
$S_T$	1.000
$q$	1.000

### Parametri dipendenti

$S$	1.000
$\eta$	1.000
$T_B$	0.143 s
$T_C$	0.430 s
$T_D$	2.089 s

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



**Fig.12: Spettri elastici su suolo rigido e pianeggiante**

## 6 MODELLO GEOLOGICO E GEOFISICO DEL SOTTOSUOLO

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

ricerca ed analisi dati da bibliografia scientifica di settore;

- rilievo geologico di superficie;
- analisi di sondaggi meccanici a rotazione e carotaggio continuo e analisi di laboratorio sui campioni prelevati;
- prove in sito SPT e Lefranc;
- 1 prove geosismiche down-hole in foro di sondaggio;

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

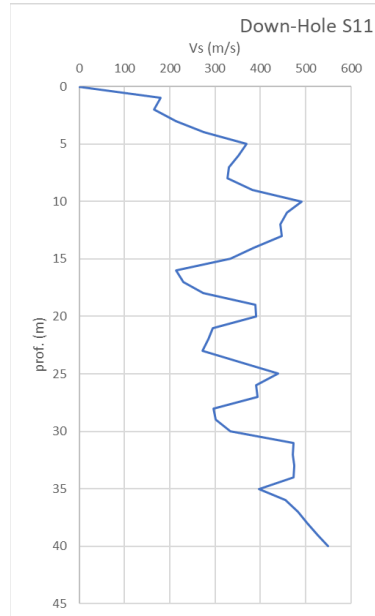
### 6.1 Assetto stratigrafico locale

La stratigrafia di sintesi, è la seguente:

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	14.20	SL-LS	300.00
2	14.20	10.80	LA-L con AS	322.00
3	25.00	10.00	LA-L con AS	420.00
4	35.00	10.00	LA-L con AS	515.00
5	45.00	10.00	LA-L con AS	610.00
6	55.00	10.00	LA-L con AS	705.00
7	65.00	5.00	LA-L con AS	776.00
8	70.00	Half-Space	Bedrock	800.00

### 6.2 Le indagini geofisiche: prova Down-hole

In considerazione della necessità di produrre uno studio di RSL e per ottenere dati di sicura affidabilità geofisica, è stata eseguita una prova Down-hole, della quale vengono riportati i risultati.



**Fig. 13: risultati prova Down-Hole**

Come si può notare, il profilo di Vs ottenuto subisce un'inversione con la profondità, ciò potrebbe mettere in discussione l'utilizzo dell'approccio semplificato descritto nelle NTC18.

A tal proposito si rende necessaria la presente analisi di risposta sismica locale.

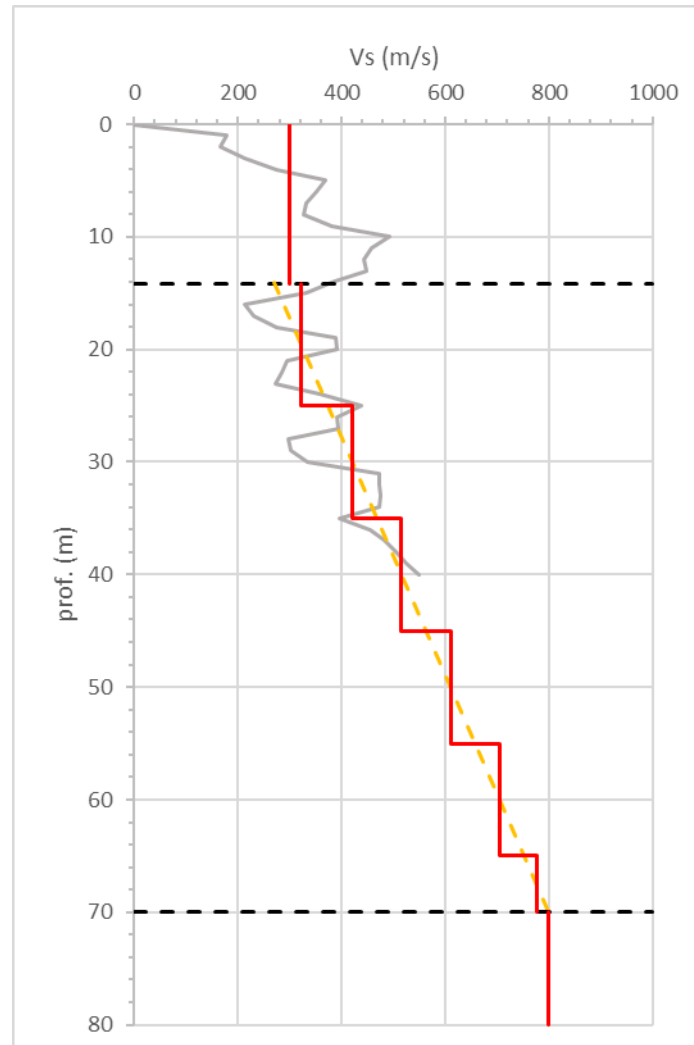
## **7 RISPOSTA SISMICA LOCALE SUL MODELLO GEOLOGICO ADOTTATO**

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

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

1. Selezione degli accelerogrammi;
2. Modello geologico-tecnico e geofisico;
3. Analisi numeriche.

Al fine di fornire un quadro completo, si riporta nella figura seguente l'approssimazione effettuata sull'andamento di Vs.



**Fig. 14: modello geologico-tecnico e geofisico**

Come anticipato nel paragrafo precedente, il modello proposto vede la presenza di due unità stratigrafiche distinte, la prima di queste si estende dal piano di campagna fino alla profondità di 14.2 m, mentre la seconda si estende da 14.2 m fino a 70 m di profondità.

La profondità ipotizzata per il bedrock, in assenza di indicazioni geologiche specifiche, è appunto di 70 m. Tale valore è stato ottenuto da un'interpolazione sui valori di  $V_s$  (da prove DH) relativi a tutti i viadotti del lotto 2 e riportata nella figura seguente.

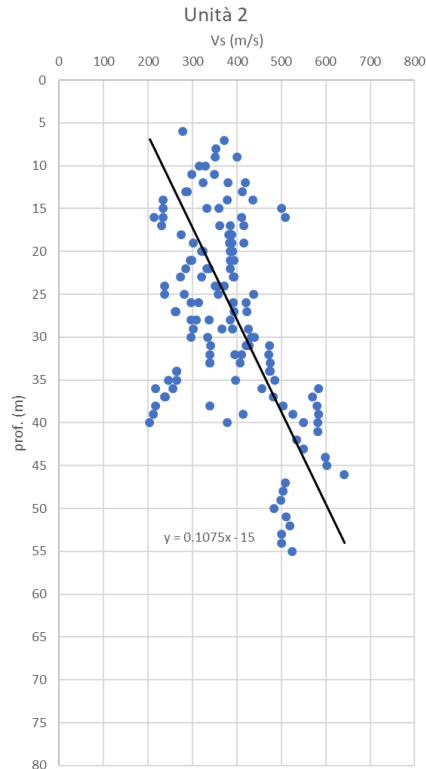


Fig. 15: interpolazione valori di Vs relativi al lotto 2

## 8 ANALISI DEI RISULTATI E DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI VERIFICA.

### 8.1 Modello sismo stratigrafico per l'analisi di RSL

I modelli sismo-stratigrafici adottati nell'analisi di RSL e in particolare per l'utilizzo del codice di calcolo Strata, sono riportati a seguire.

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	14.20	SL-LS	300.00
2	14.20	10.80	LA-L con AS	322.00
3	25.00	10.00	LA-L con AS	420.00
4	35.00	10.00	LA-L con AS	515.00
5	45.00	10.00	LA-L con AS	610.00
6	55.00	10.00	LA-L con AS	705.00
7	65.00	5.00	LA-L con AS	776.00
8	70.00	Half-Space	Bedrock	800.00

Soil Types

	Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G_max Model	Damping Model	Notes
1	SL-LS	20.00	Seed & Idriss, Sand Upper	Seed & Idriss, Sand Mean	
2	LA-L con AS	19.00	Vucetic & Dobry, PI = 15	Vucetic & Dobry, PI = 15	

## 8.2 Analisi numeriche

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

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

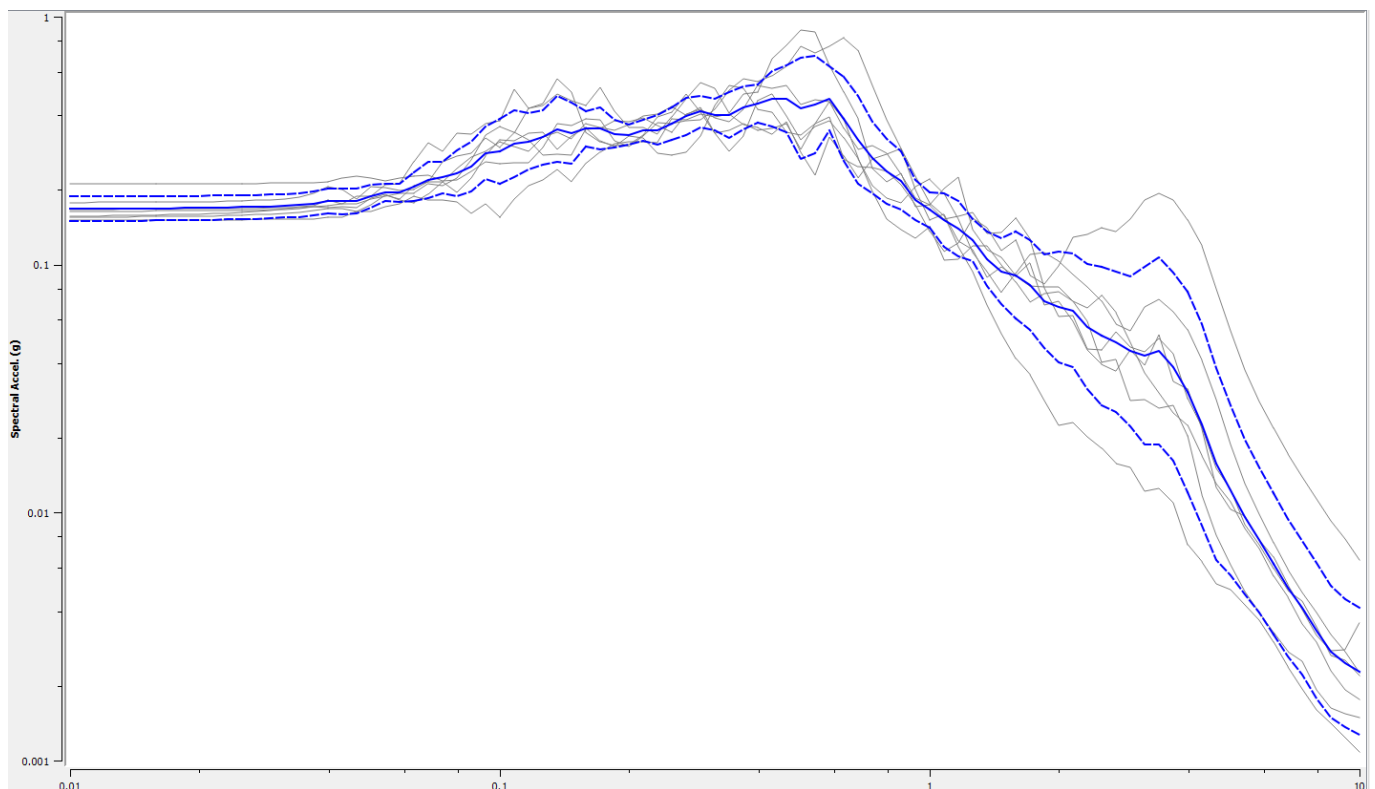
- numero degli strati;
- spessore;
- densità;
- modulo di taglio massimo iniziale (G0);
- rapporto di smorzamento iniziale (D0);
- legge di variazione normalizzata del modulo di taglio e del rapporto di smorzamento in funzione della deformazione di taglio, profondità del bedrock sismico e sue proprietà elastiche;
- accelerogrammi di riferimento.

L'output della suddetta analisi è lo spettro medio in superficie ottenuto dagli spettri dei 7 accelerogrammi.



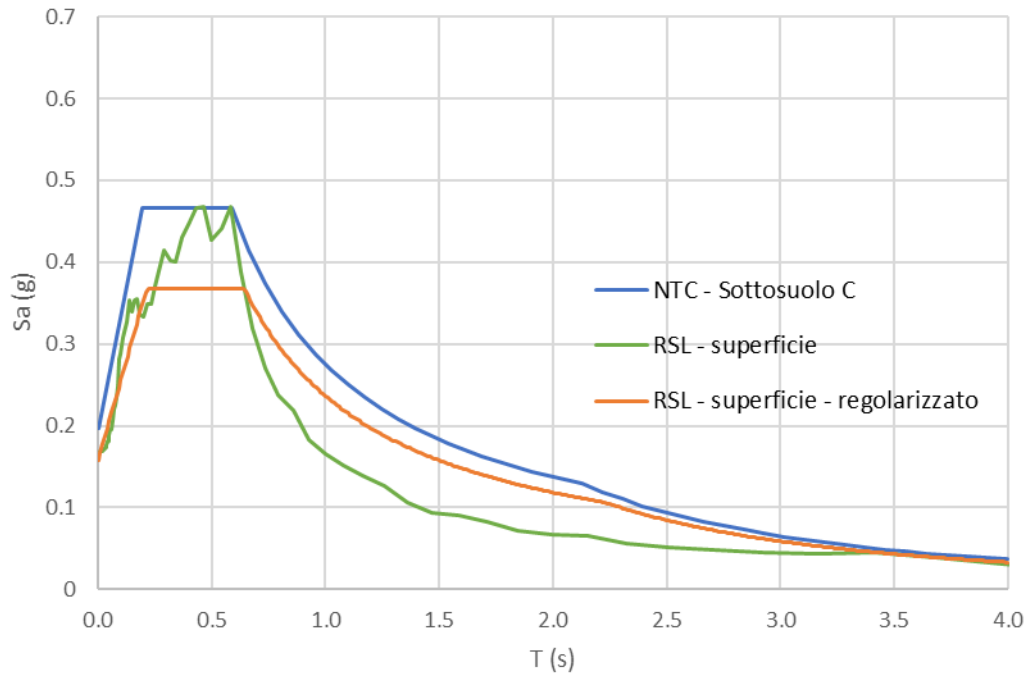
### 8.3 Analisi e valutazione dei risultati: individuazione dell'azione di verifica

I risultati delle analisi sono stati attentamente analizzati per verificarne la loro attendibilità. In questa sede si riporta il solo spettro di risposta in superficie, per i diversi periodi di ritorno e per il profilo di suolo analizzato. Nella figura successiva viene riportato l'output del programma di simulazione per il tempo di ritorno pari a 475 anni (SLV).



**Fig. 16: spettro in superficie (Output STRATA)**

Nella figura a seguire è invece riportato lo spettro ottenuto dall'analisi di RSL e il medesimo spettro normalizzato secondo la procedura di Newmark e Hall, 1982<sup>3</sup>, Romeo, 2007<sup>4</sup>, Liberatore e Pagliaroli, 2014<sup>5</sup>. Tali spettri sono quindi stati confrontati con quello di Normativa, con riferimento ad un sottosuolo di categoria C.



**Fig. 17: normalizzazione spettro superficie da RSL e confronto con spettro di Norma**

## 9 SINTESI DEI RISULTATI

Lo spettro di risposta generato dall'analisi di risposta sismica locale, risultando meno cautelativo dello spettro semplificato da NTC, non è stato considerato nelle analisi della struttura in elevazione.