

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

VI01 - VIADOTTO AL KM 339+394

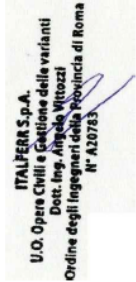
SCALA:

Analisi di risposta sismica locale

-

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

RS6K 00 R 09 RH VI0100 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 

File: RS6K00R09RHVI0100002A.dwg

n. Elab.: 10

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

	RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA LOTTO2: NISCEMI - GELA INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO STRUTTURALE PER CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI					
VI01 - Analisi di risposta sismica locale	COMMESSA RS6K	LOTTO 00	CODIFICA R 09 RH	DOCUMENTO VI 01 00 002	REV. A	FOGLIO 3 di 26

1 PREMESSA

Lungo la Linea ferroviaria Caltagirone – Gela alla pk 339+394 è previsto l'adeguamento sismico di un viadotto ad archi.

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

	RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA LOTTO2: NISCEMI - GELA INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO STRUTTURALE PER CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI					
VI01 - Analisi di risposta sismica locale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS6K	00	R 09 RH	VI 01 00 002	A	4 di 26

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 339+401 (Doc. rif. – RS3K02D69NZGE0001001A)
- [2] Indagini geognostiche eseguite per l'adeguamento sismico dei viadotti ai Km 339+401 e 340+688 (Doc. rif. – RS3K02D69SGGE0005001A)
- [3] Adeguamento sismico del viadotto al Km 339+401 – Prove di laboratorio eseguite sui campioni dei sondaggi S2 ed S3 (Doc. rif – RS3K02D69PRGE0005001A)
- [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. – RS3K02D69IGGE0005003A)
- [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.

	RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA LOTTO2: NISCEMI - GELA INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO STRUTTURALE PER CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI					
	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
VI01 - Analisi di risposta sismica locale	RS6K	00	R 09 RH	VI 01 00 002	A	5 di 26

3 DESCRIZIONE DELLE CAMPAGNA DI INDAGINE

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

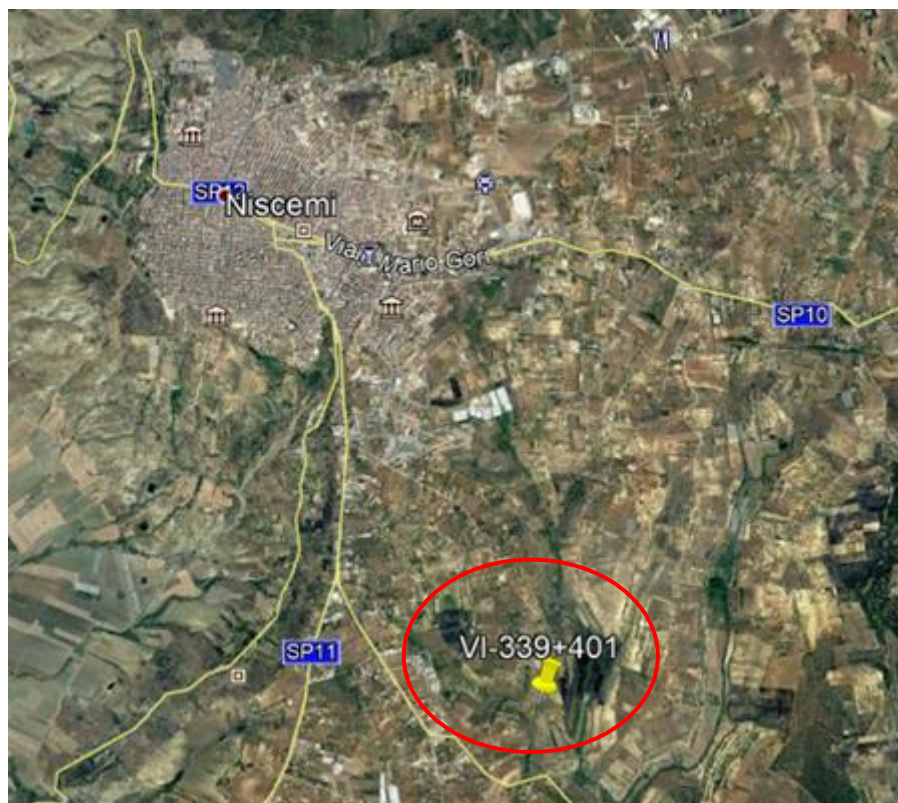


Figura 1 – Ubicazione sito di studio

La campagna di indagini è stata eseguita dalla ditta Vincenzetto s.r.l., per conto di Italferr, nel Settembre del 2019 ed include l'esecuzione di 4 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino alla profondità compresa tra 8m 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 S3 è stato installato un piezometro a tubo aperto per la rilevazione del livello di falda, mentre il sondaggio S2 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 S2 ed S3) e MASW (in prossimità del sondaggio S3).

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

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA LOTTO2: NISCEMI - GELA INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO STRUTTURALE PER CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI					
VI01 - Analisi di risposta sismica locale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS6K	00	R 09 RH	VI 01 00 002	A	6 di 26

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. 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti fino alla profondità massima di m 40,00 dal piano campagna, dei quali l'S1 eseguito sulla spalla lato Gela, l'S2 in prossimità della pila 4 ed attrezzato con tubazione per geofisica e l'S3 in prossimità della pila 7 ed attrezzato con piezometro Norton. Nel corso della perforazione sei sondaggi S2 ed S3 sono state eseguite prove SPT, prove di permeabilità tipo Lefranc, prove dilatometriche e sono stati prelevati campioni rimaneggiati e indisturbati;
- n. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo (S2bis) eseguito sul plinto della pila 4 del viadotto allo scopo di indagarne la struttura;
- n. 1 prova sismica *Down-Hole* eseguita nel foro di sondaggio S2;
- n. 2 prove sismiche *HVSR* eseguite in prossimità del foro di sondaggio S2 e S3;
- n. 1 prova sismica *MASW* eseguite in prossimità del foro di sondaggio S3;

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

Sigla	Coord. UTM (E)	Coord. UTM (N)	Perforazione	Strumentazione/ Prove in foro	Quota s.l.m.	Profondità (m)	SPT	Campioni disturbati	Campioni Indisturbati
S1	447440,881	4108630,421	Carotaggio continuo	-	245.051	30	-	-	-
S2	447460,871	4108745,370	Carotaggio continuo	Tubazione per geofisica Prove Lefranc e dilatometriche	230.001	40	11	9	8
S2 bis	447463,802	4108748,242	Carotaggio continuo	-	230,003	8	-	-	-
S3	447453,081	4108687,483	Carotaggio continuo	Piezometro t.a. Prove Lefranc e dilatometriche	230.301	40	11	11	8

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

	RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA LOTTO2: NISCEMI - GELA INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO STRUTTURALE PER CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI					
VI01 - Analisi di risposta sismica locale	COMMESSA RS6K	LOTTO 00	CODIFICA R 09 RH	DOCUMENTO VI 01 00 002	REV. A	FOGLIO 7 di 26

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].

	RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA LOTTO2: NISCEMI - GELA INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO STRUTTURALE PER CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI					
VI01 - Analisi di risposta sismica locale	COMMESSA RS6K	LOTTO 00	CODIFICA R 09 RH	DOCUMENTO VI 01 00 002	REV. A	FOGLIO 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-compattibili 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.

	RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA LOTTO2: NISCEMI - GELA INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO STRUTTURALE PER CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI					
VI01 - Analisi di risposta sismica locale	COMMESSA RS6K	LOTTO 00	CODIFICA R 09 RH	DOCUMENTO VI 01 00 002	REV. A	FOGLIO 9 di 26

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.

VI01 - Analisi di risposta sismica locale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 RH	VI 01 00 002	A	10 di 26

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 $T_R=475$, 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 ²]	PGA_Y [m/s ²]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]	ID_X	ID_Y	Np_X	Np_Y	EC8 Site class
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	1.1298	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	

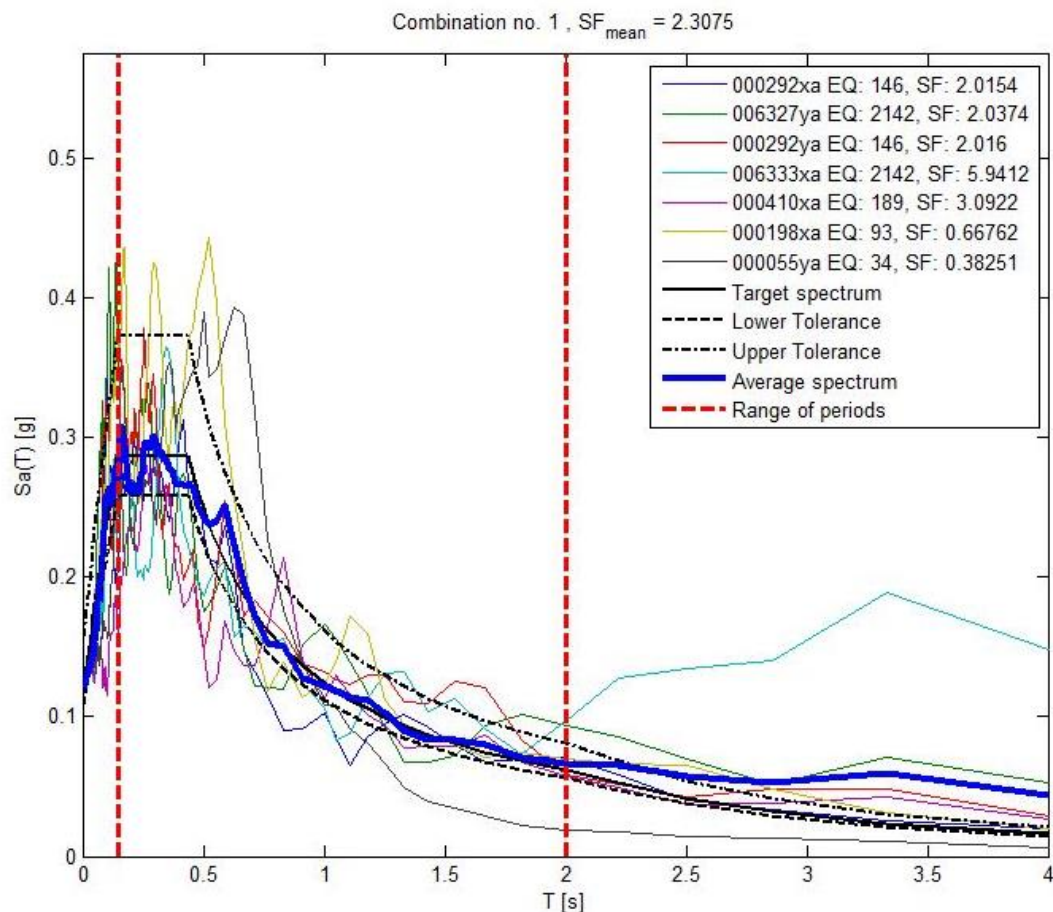


Figura 2: spettrocompatibilità

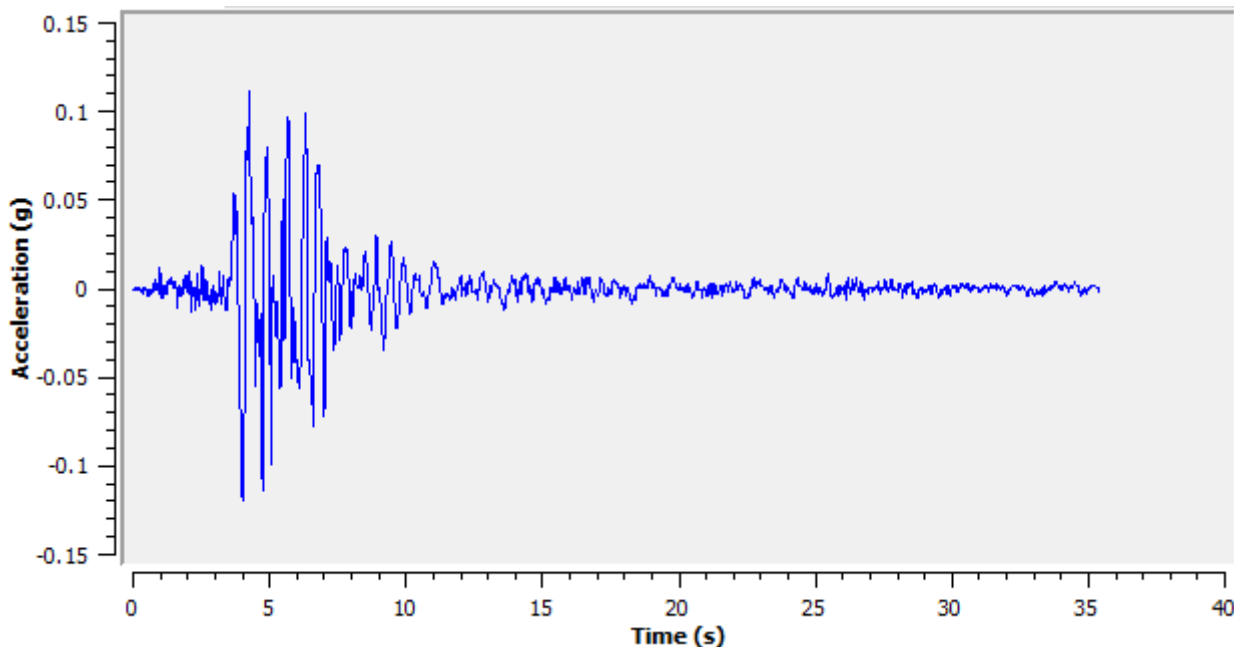


Figura 3: Accelerogramma 000055ya

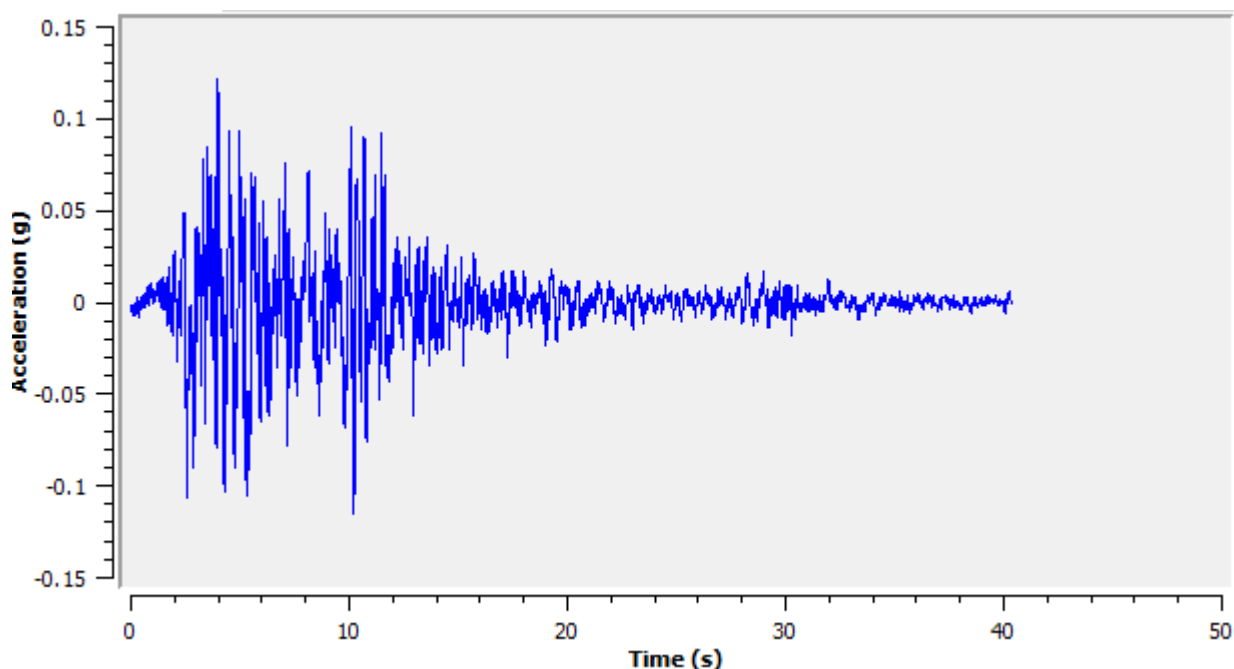


Figura 4: Accelerogramma 000198xa

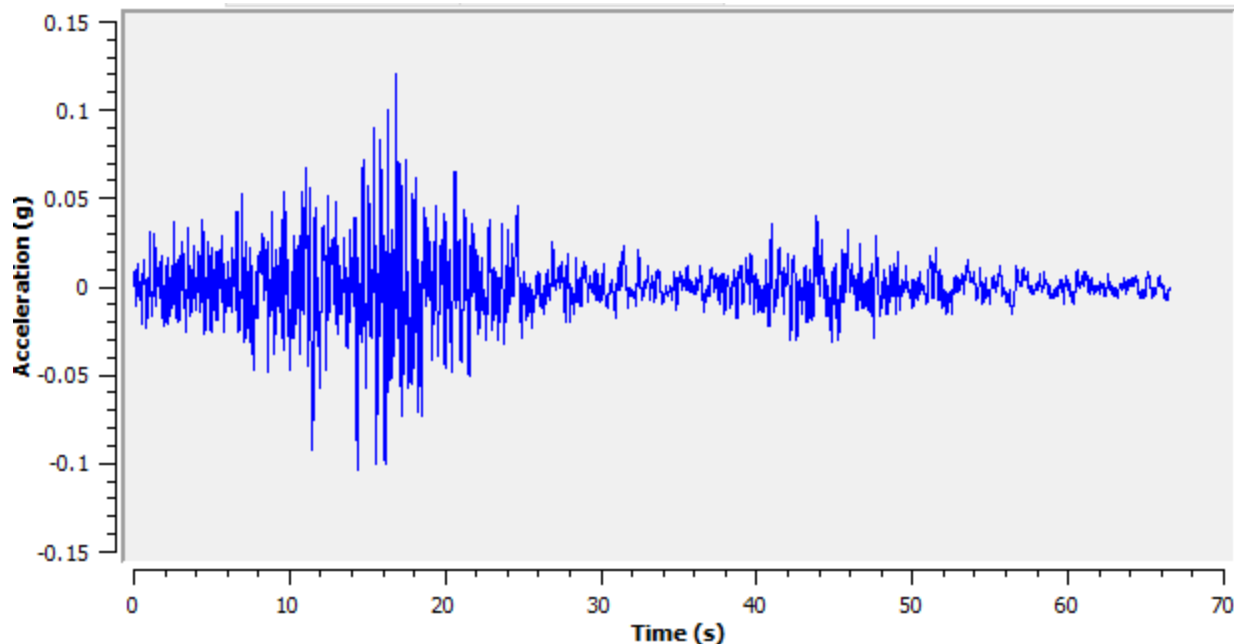


Figura 5: Accelerogramma 000292xa

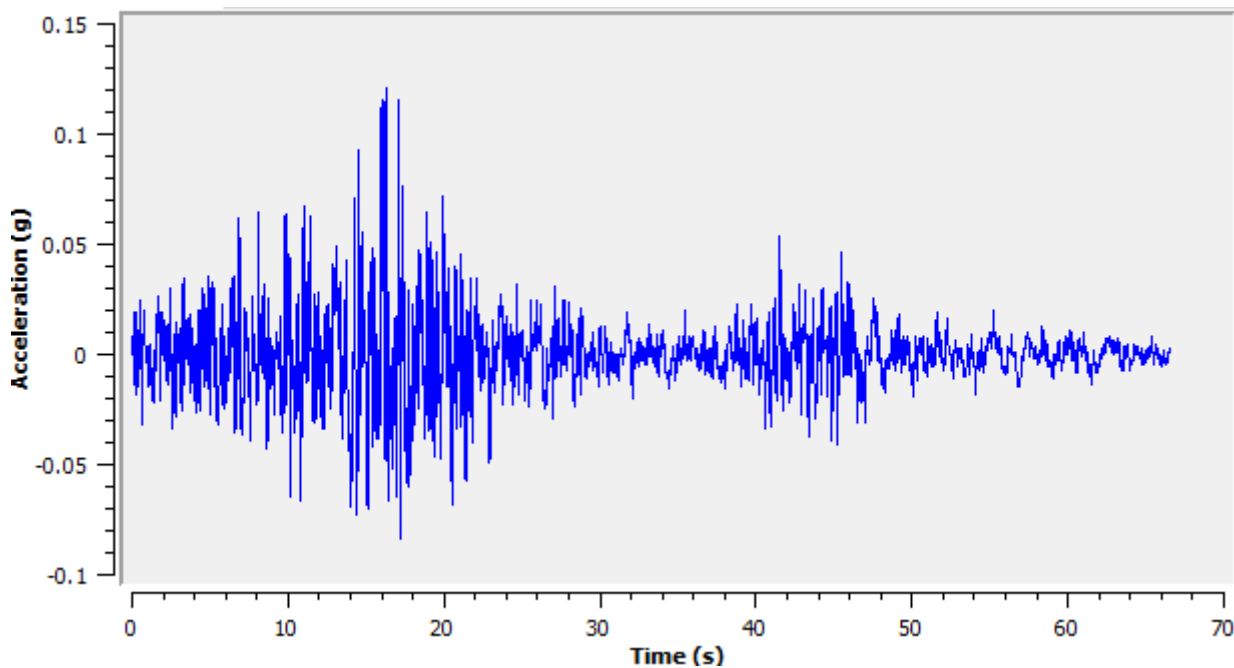


Figura 6: Accelerogramma 000292ya

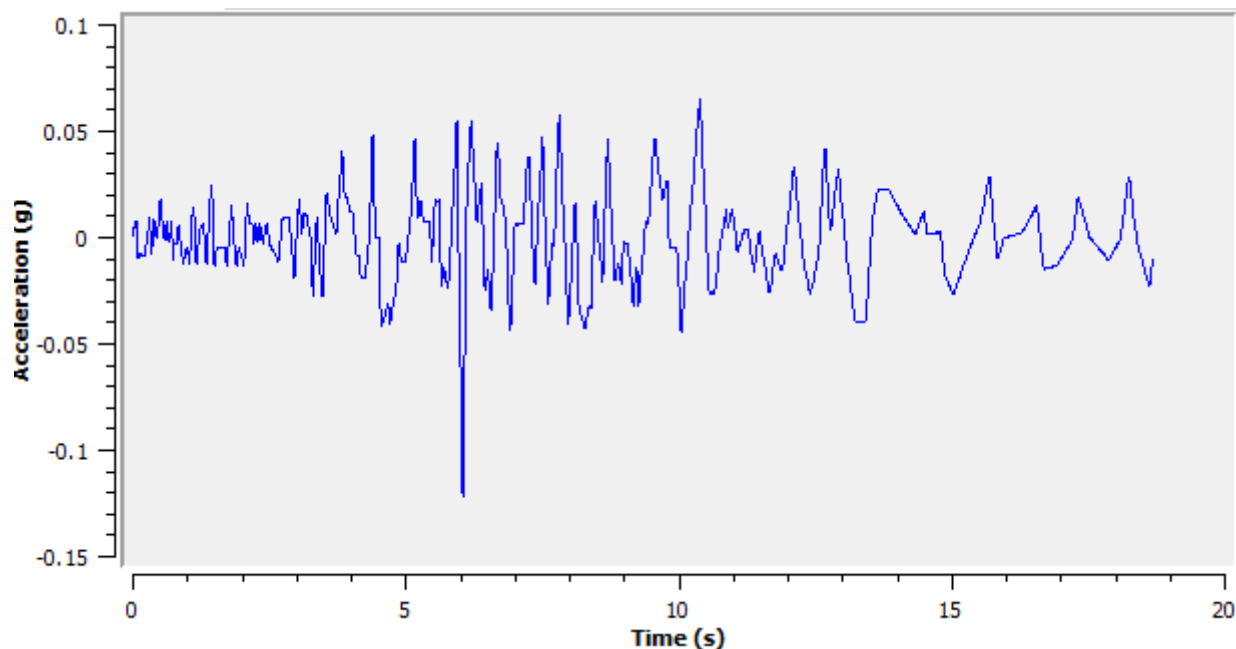


Figura 7: Accelerogramma 000410xa

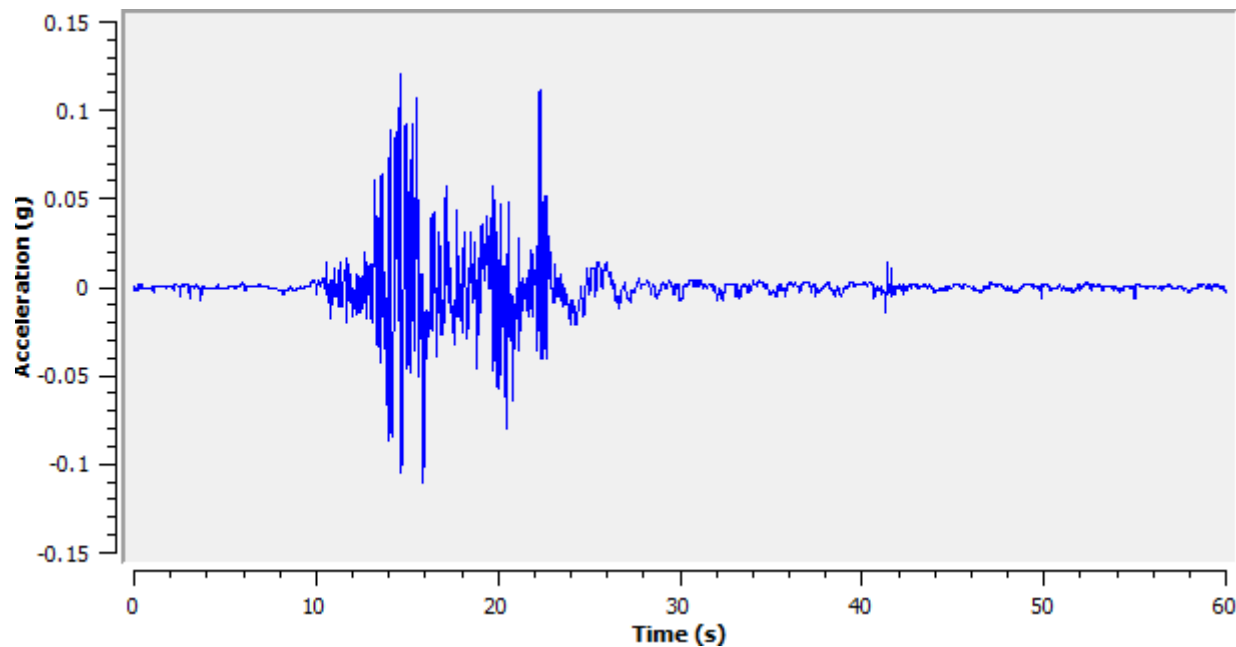
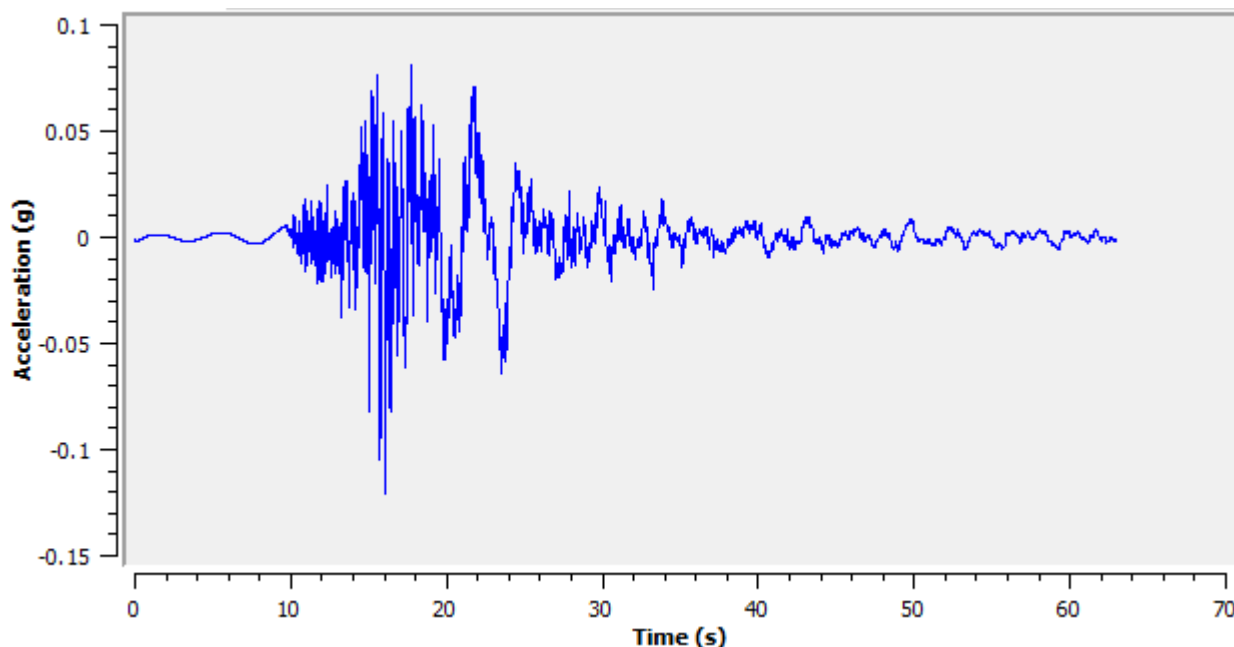


Figura 8: Accelerogramma 006327ya


Figura 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 $cu=1.0$ e $VR=50$ anni. Pertanto i diversi stati limite sono caratterizzati dalle seguenti probabilità di eccedenza e dai seguenti periodi di ritorno:

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

	Pecc	TR
SLO	81%	30
SLD	63%	50
SLV	10%	475
SLC	5%	975

Si riportano nel seguito i valori dei parametri ag , $F0$, 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

☐ Ricerca per comune

LONGITUDINE

LATITUDINE

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche

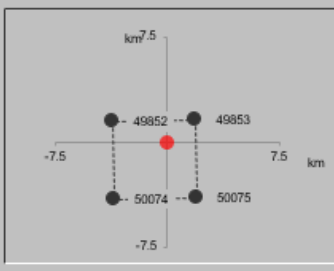
Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

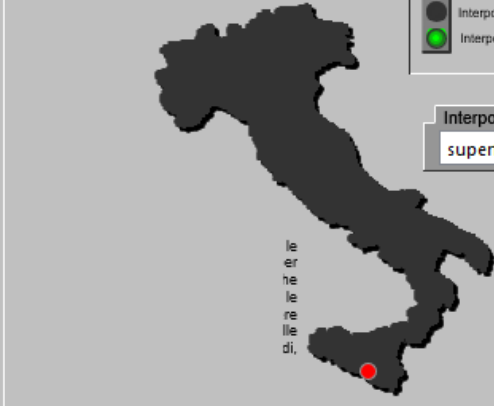
Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

☐ Sito esterno al reticolo

☐ Interpolazione su 3 nodi

☒ Interpolazione corretta

Interpolazione

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Figura 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:

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - C_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE {

Stati limite ultimi - SLU {

SLO - $P_{VR} = 81\%$

SLD - $P_{VR} = 63\%$

SLV - $P_{VR} = 10\%$

SLC - $P_{VR} = 5\%$

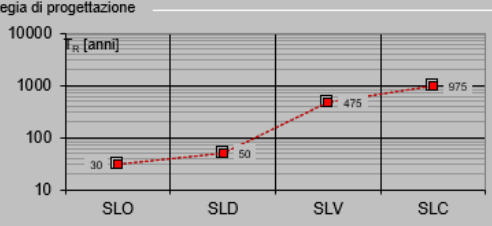
Elaborazioni

Grafici parametri azione ☐

Grafici spettri di risposta ☐

Tabella parametri azione ☐

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

---■--- Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Figura 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

	RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA LOTTO2: NISCEMI - GELA INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO STRUTTURALE PER CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI					
VI01 - Analisi di risposta sismica locale	COMMESSA RS6K	LOTTO 00	CODIFICA R 09 RH	DOCUMENTO VI 01 00 002	REV. A	FOGLIO 17 di 26

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

ξ = smorzamento percentuale rispetto allo smorzamento critico

F_0 = amplificazione spettrale, dipendente dal periodo di ritorno considerato

$T_C = CC \quad T_C^* =$ 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_g	0.122 g
$F_{0,s}$	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
η	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:

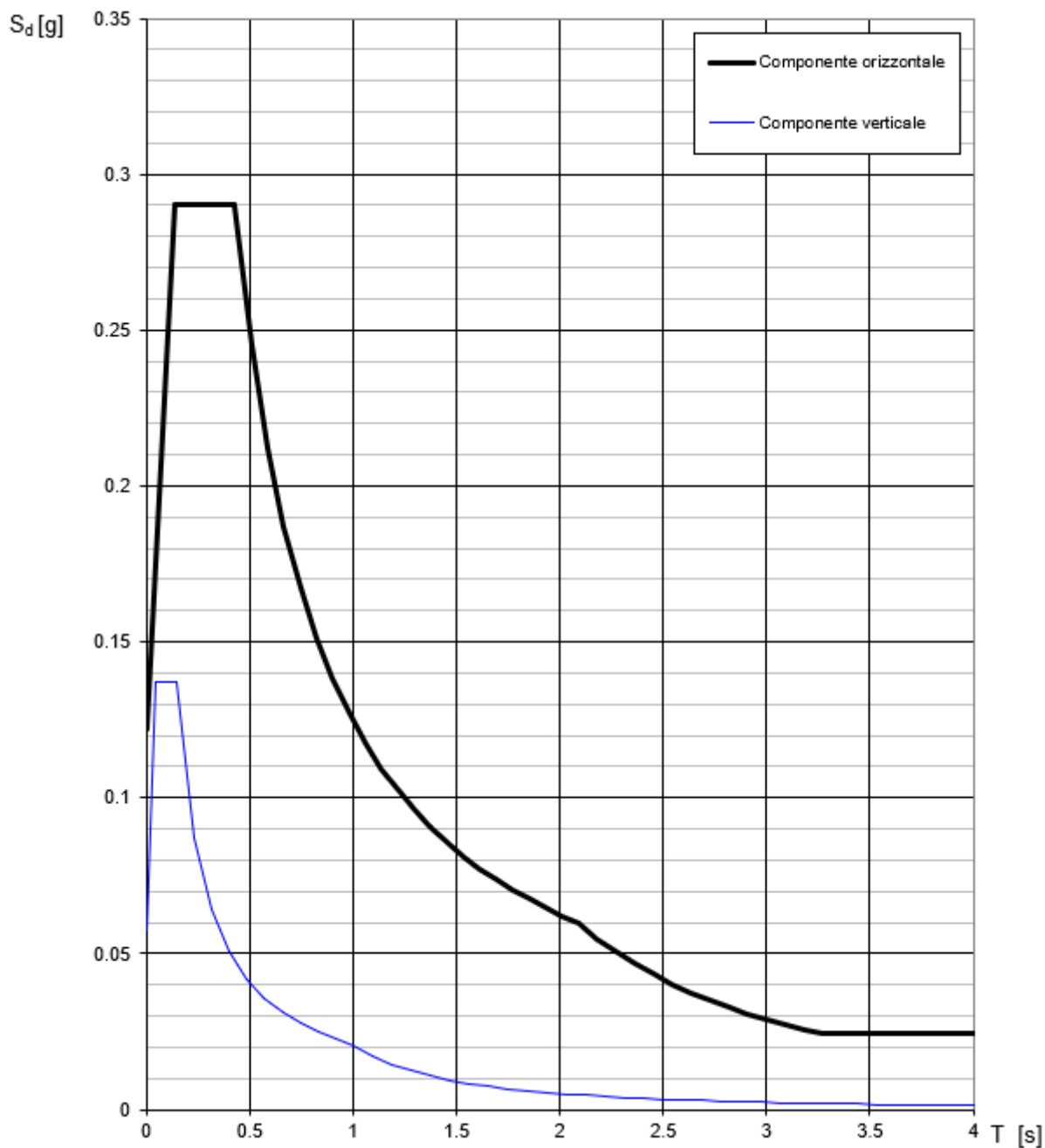


Figura12: Spettri elastici su suolo rigido e pianeggiante

	RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA LOTTO2: NISCEMI - GELA INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO STRUTTURALE PER CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI					
VI01 - Analisi di risposta sismica locale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS6K	00	R 09 RH	VI 01 00 002	A	20 di 26

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	11.20	SL-LS	300.00
2	11.20	58.80	LA-L con AS	330.00
3	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.

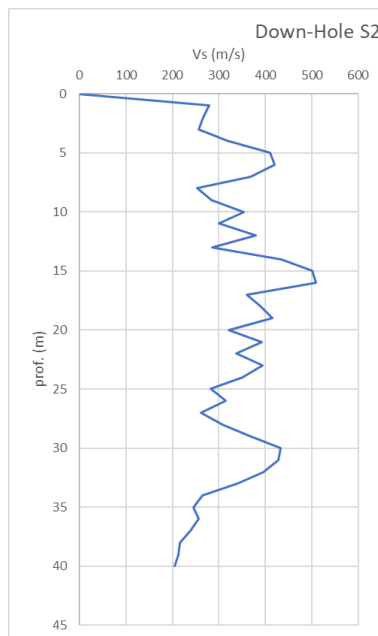


Figura 13: risultati prova Down-Hole

Come si può notare, il profilo di Vs ottenuto è circa costante 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.

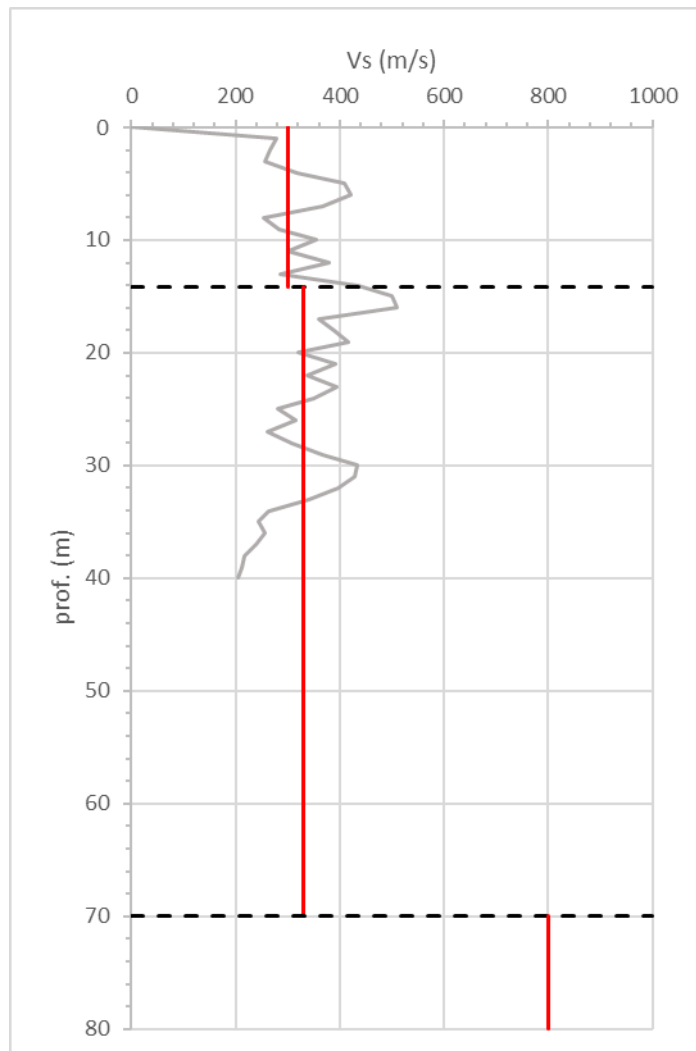


Figura 14: modello geologico-tecnico e geofisico

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 11.2 m, mentre la seconda si estende da 11.2 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 Vs (da prove DH) relativi a tutti i viadotti del lotto 2 e riportata nella figura seguente.

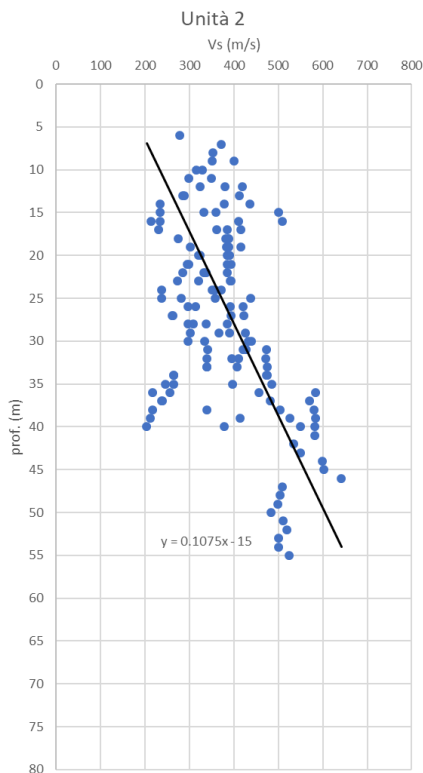


Figura 15: interpolazione valori di Vs relativi al lotto 2

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	11.20	SL-LS	300.00
2	11.20	58.80	LA-L con AS	330.00
3	70.00	Half-Space	Bedrock	800.00

Soil Types

	Name	Unit Weight (kN/m ³)	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 = 30	Vucetic & Dobry, PI = 30	

	RIPRISTINO LINEA CALTAGIRONE-GELA LOTTO2: NISCEMI - GELA INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO STRUTTURALE PER CONSEGUIRE L'ADEGUAMENTO SISMICO DEI VIADOTTI					
VI01 - Analisi di risposta sismica locale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS6K	00	R 09 RH	VI 01 00 002	A	24 di 26

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 sopradetto 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).

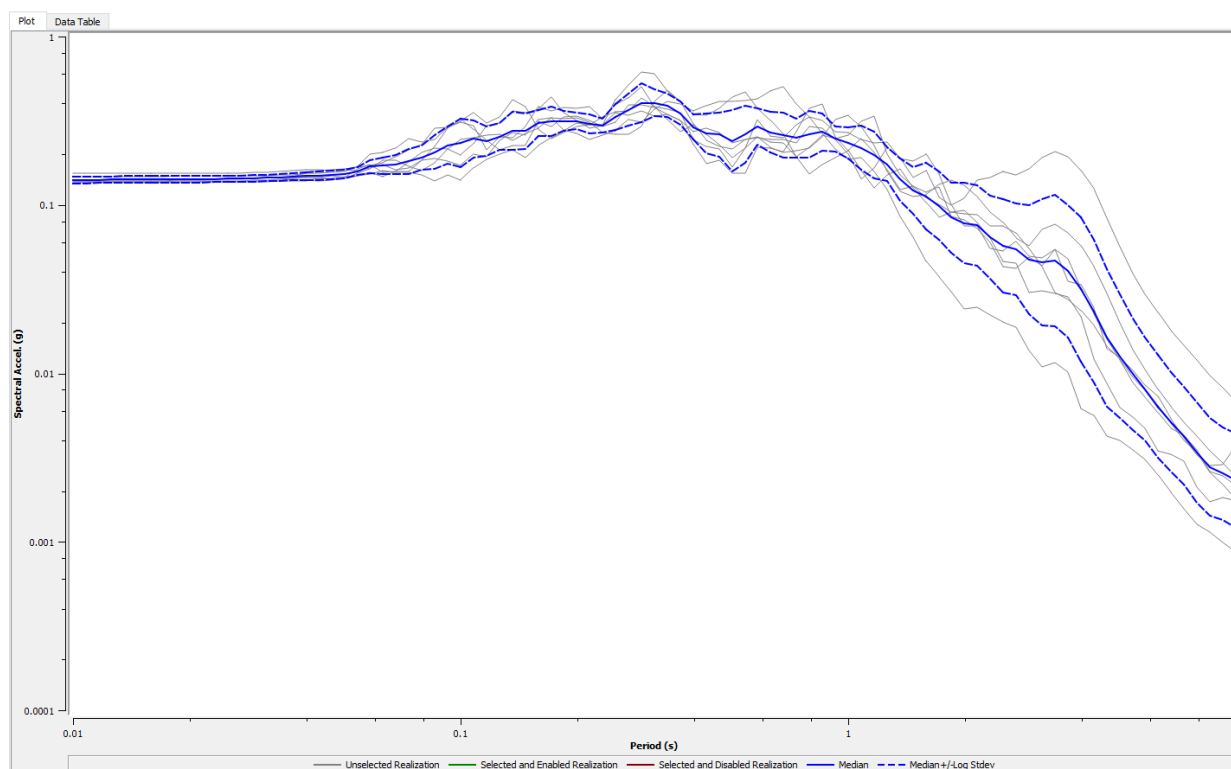


Figura 16: spettro in superficie (Output STRATA)

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, 1982³, Romeo, 2007⁴, Liberatore e Pagliaroli, 2014⁵. Tali spettri sono quindi stati confrontati con quello di Normativa, con riferimento ad un sottosuolo di categoria C.

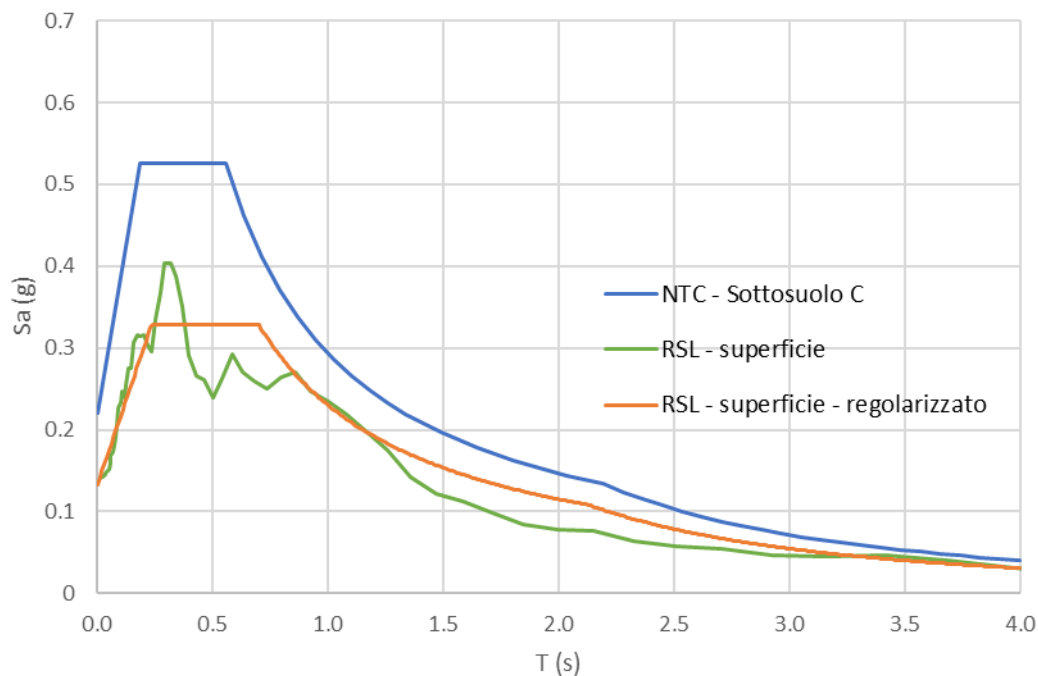


Figura 17: normalizzazione spettro superficie da RSL e confronto con spettro di Norma

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.