

# COMUNE DI SARACENA

*Provincia di Cosenza*



*Lavori di “Miglioramento sismico edificio strategico - OCDPC 171 del 19/06/2014 -  
Municipio e sede C.O.C.” – Comune di Saracena*

## ***Progetto Esecutivo***



## **G02 – RELAZIONE SULLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE** **RSL**

***R.U.P.***

***Ing. Luigi Vacca***

***GEOLOGO***

***Dott. Gilda Grande***

***PROGETTISTI***

***Arch. Giulio Cesare Guccione***

***Arch. Mario Pio Longo***

***Ing. Marco Lanza***

***Ing. Antonio De Marco***



**COMUNE DI SARACENA**  
**PROVINCIA DI COSENZA**

**RELAZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE PER LAVORI DI**  
**MIGLIORAMENTO SISMICO EDIFICIO STRATEGICO – OCDP 171 DEL 19/06/2014 -**  
**MUNICIPIO SEDE C.O.C.**

**COMMITTENTE: COMUNE DI SARACENA (CS)**

**PROGETTISTA INCARICATO:**

**GEOLOGO**  
**DOTT.SSA GRANDE GILDA**

COMUNE DI SARACENA  
PROVINCIA DI COSENZA

OGGETTO: “RELAZIONE GEOLOGICA PER I LAVORI DI MIGLIORAMENTO  
SISMICO EDIFICIO STRATEGICO – OCDP 171 DEL 19/06/2014 – MUNICIPIO – SEDE  
C.O.C.”.

COMMITTENTE: COMUNE DI SARACENA (CS)

PROGETTISTA INCARICATO:

GEOLOGO:  
DOTT.SSA GRANDE GILDA

**INDICE**

<u>1. INTRODUZIONE</u>	pag 2
<u>2. SISMICITA' DELL'AREA</u>	pag 2
<u>3. CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA DI STUDIO</u>	pag 6
<u>4. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE</u>	pag 7
<u>5. ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE</u>	pag 20
<u>6. CALCOLO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE</u>	pag 26
<u>7. CONCLUSIONI</u>	pag 47

## **1. INTRODUZIONE**

Su incarico dell'Amministrazione comunale di Saracena con determina n. 160 del 26/07/2017, la sottoscritta dott.ssa geologo Gilda Grande nata a Castrovillari il 08.01.1980, residente nel Comune di San Lorenzo del Vallo ed abilitata alla professione di Geologo con iscrizione all'O.R.G. n. 897 ha effettuato uno studio sulla Pericolosità Sismica di base per il progetto di *“Lavori di miglioramento sismico edificio strategico – Municipio sede COC”*.

## **2. SISMICITA' DELL'AREA**

La sismicità storica del Comune di Saracena è stata desunta dal database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani (DBMI11) utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04 (Stucchi et alii. 2007). Il database è stato realizzato nell'ambito delle attività del TTC (Tema Trasversale Coordinato) “Banche dati e metodi macrosismici” dell'INGV, con il contributo parziale del Dipartimento della Protezione Civile.

La sismicità del territorio comunale è riassunta graficamente nel seguente diagramma.

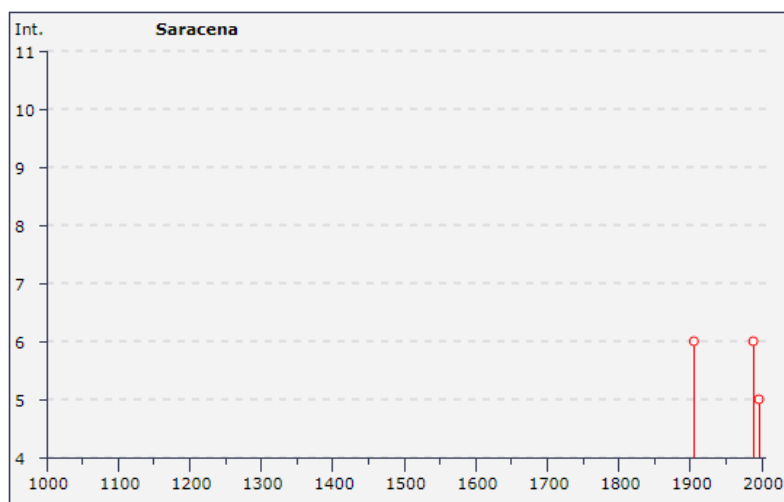


Diagramma della storia sismica del Comune di Saracena

Nella successiva Figura sono elencate le osservazioni, aventi la maggiore intensità al sito, disponibili per il territorio Comunale. Nella tabella sono indicate oltre alla stessa intensità al sito in scala MCS (Is), l'anno, il mese (Me), il giorno (Gi), l'ora (Or), il minuto (Mi) in cui si è verificato, l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Ix), la magnitudo momento (Mw) ed il numero di osservazioni macrosismiche del terremoto (Np).

**Storia sismica di Saracena**  
**[39.775, 16.157]**

Numero di eventi: 7

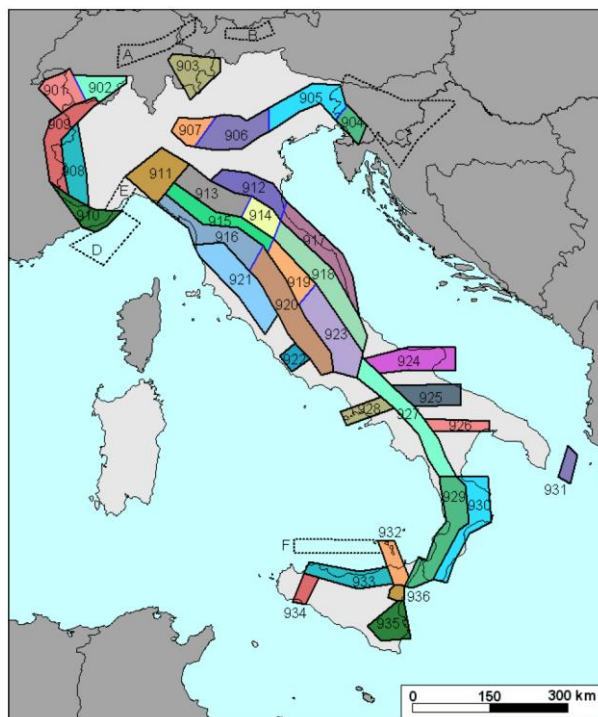
Effetti	In occasione del terremoto del:			
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
6	1905 09 08 01:43	Calabria meridionale	895	7.04 ±0.16
6	1988 01 08 13:05	Appennino lucano	112	4.73 ±0.09
NF	1988 04 13 21:28	Costa calabra	272	6-7 5.01 ±0.10
3	1990 05 05 07:21	Potentino	1374	5.80 ±0.09
5	1996 04 27 00:38	Cosentino	123	6-7 4.86 ±0.11
NF	1998 09 09 06:20	Appennino lucano	44	4.15 ±0.22
2	1998 09 23 18:44	Appennino lucano	49	4.17 ±0.22

Eventi sismici Comune di Saracena

**Zonazione sismica nazionale**

Negli ultimi anni il punto di riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica è stato il modello di zonazione sismogenetica ZS9 (Scandone et al. 1996 - 2000) che rappresenta la traduzione operativa del modello sismotettonico riassunto in Meletti et al. (2000).

In seguito all'emanazione dell'O.P.C.M. 20.3.2003, n. 3274 è stato redatto a cura di un gruppo di lavoro dell'INGV un documento denominato "Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall' O.P.C.M. 20-3-2003, n.3274. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici".



Zonizzazione sismogenetica ZS9

**DOTT.SSA GEOLOGO GRANDE GILDA**  
**O.R.G.C. n° 897**  
**STUDIO GEOTECNICO SAN LORENZO DEL VALLO(CS)**  
**VIA PIAVE, 46**  
**P.I.:03122700788**

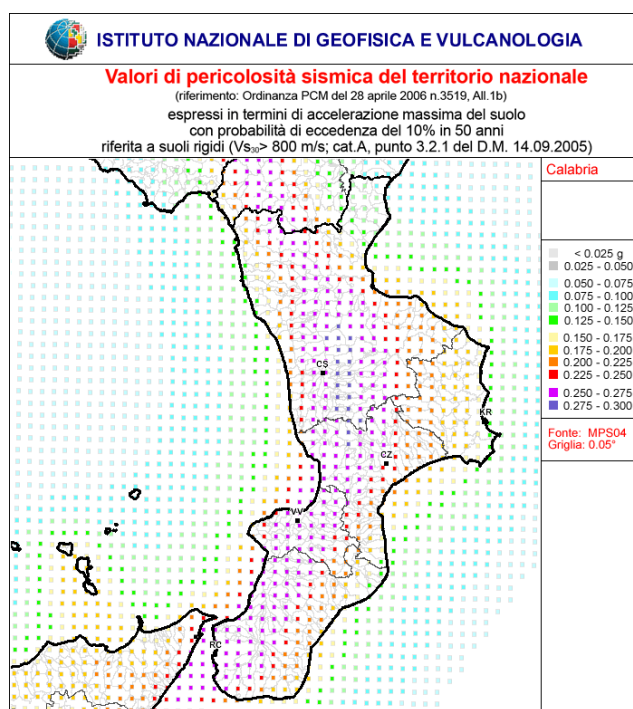
Tale modello riprende sostanzialmente il retroterra informativo della precedente zonazione, recependo i più recenti avanzamenti delle conoscenze sulla tettonica attiva della penisola anche considerando le indicazioni derivanti da episodi sismici più recenti (es. Bormio 2000, Monferrato 2001, ecc.). La zonazione è stata condotta tramite l'analisi cinematica degli elementi geologici, cenozoici e quaternari coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale. Il confronto tra le informazioni che hanno condotto alla costruzione del modello geodinamico e la sismicità osservata ha permesso di costruire la carta nazionale delle zone sismogenetiche. Per il reperimento dei dati relativi alla sismicità osservata è stato considerato il catalogo storico contenente 2.488 eventi degli ultimi 1.000 anni con intensità epicentrali maggiore o uguale al V – VI grado MCS la cui magnitudo è maggiore o uguale a 4.

**La zona che interessa l'area in esame è la 929**, che fa parte del complesso “Calabria” (zone 929 e 930). L'esistenza di queste due distinte zone, rispecchia livelli di sismicità ben differenti. I terremoti con più elevata magnitudo hanno infatti interessato i bacini del Crati, del Savuto e del Mesima fino allo stretto di Messina (zona 929). Tra questi eventi spiccano la sequenza del 1783 e i terremoti del 1905 e 1908. Viceversa sul lato ionico della Calabria, solo 4 eventi hanno superato un valore di magnitudo pari a 6, e tra questi il terremoto del 1638 appare come l'evento più forte verificatosi. Peraltro recenti studi paleosismici (Galli e Bosi, 2003) porrebbero l'evento del 9 giugno 1638 in relazione con la faglia dei Laghi posta sulla Sila.

Ogni zona sismogenetica è caratterizzata da un definito modello cinematico, il quale sfrutta una serie di relazioni di attenuazione stimate sulla base di misurazioni accelerometriche, effettuate sia sul territorio nazionale che europeo. Sulla base di tali zone, per tutto il territorio italiano, sono state sviluppate le carte della pericolosità sismica.

**Nella Zona Sismogenetica 929 sono previsti, sulla base dei meccanismi focali, valori di massima magnitudo pari a  $M_{wmax} = 7,29$ ; inoltre, il meccanismo di fagliazione responsabile dei terremoti che si sono verificati in tale zona è di tipo faglia normale, con una profondità ipocentrale media stimata di 10 km.**

Il risultato, per ogni Comune, è rappresentato da una stima del rischio sismico che tiene conto dell'intera storia sismica riportata nel catalogo sismico nazionale e che viene espresso in termini probabilistici. La pericolosità sismica di riferimento ipotizza un substrato omogeneo in roccia ed è espressa in PGA (Peak Ground Acceleration) con associato un periodo di ritorno di 475 anni, valore convenzionale in quanto rappresenta l'accelerazione associata alla probabilità del 90 % di non superamento considerando un periodo di ritorno di 50 anni.



Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale

Il territorio italiano è stato suddiviso in quattro zone (o categorie) contraddistinte da differenti valori di PGA:

- ✓ Zona 1  $a_g = 0.35g$ ;
- ✓ Zona 2  $a_g = 0.25g$ ;
- ✓ Zona 3  $a_g = 0.15g$ ;
- ✓ Zona 4  $a_g = 0.05g$ ;

L'accelerazione massima di riferimento per il comune di Saracena è pari a 0.255022 g.

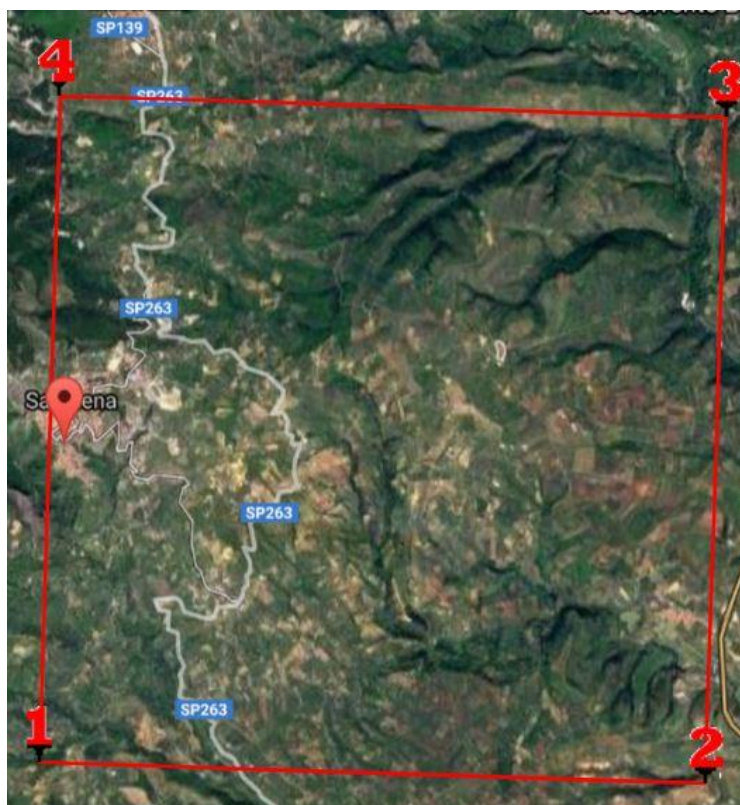


### **3. CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA DI STUDIO**

Nell'ambito del D.M. 14/01/2008, "Norme tecniche per le costruzioni", vengono individuate diverse categorie di sottosuolo di riferimento, in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità dal piano fondale.

Nel caso specifico il sito indagato, tramite le indagini geofisiche eseguite (vedi Relazione Tecnica sulle Indagini), sembra appartenere alla categoria di sottosuolo **A** definito *"Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con uno spessore massimo pari a 3m"*.

Sempre nell'ambito del suddetto Decreto vengono individuate quattro categorie topografiche, che rappresentano diverse condizioni della morfologia locale. Nel caso specifico il sito indagato appartiene alla categoria topografica **TI** data *"superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ "*.



Maglia sismica di appartenenza dell'area di studio



#### **4. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE**

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli stati limite, che possono verificarsi durante un determinato periodo di riferimento della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica, che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- ✓ in primo luogo la *vita nominale* dell'opera, che congiuntamente alla *classe d'uso*, permette di determinare quel *periodo di riferimento*;
- ✓ una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, una volta definite le relative *probabilità di superamento*, è possibile stabilire il *periodo di ritorno* associato a ciascun stato limite;
- ✓ a questo punto è possibile definire la **pericolosità sismica di base** per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

##### **4.1 VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO**

Nelle NTC08 il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \times C_U$$

dove:

$V_R$  = *periodo di riferimento*

$V_N$  = *vita nominale*

$C_U$  = *coefficiente d'uso*

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$ , secondo le NTC08, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità:

- ✓  $V_N \leq 10$  anni per le opere provvisorie, provvisionali e le strutture in fase costruttiva che però abbiano una durata di progetto  $\geq 2$  anni.
- ✓  $V_N \geq 50$  anni per le opere ordinarie, ponti, infrastrutture e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- ✓  $V_N \geq 100$  anni per grandi opere, ponti, infrastrutture e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica.

Nel caso specifico  $V_N = 50$  anni.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC08 prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

**Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.  $C_U = 0.7$ ;

**Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.  $C_U = 1.0$ ;

**Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.  $C_U = 1.5$ ;

**Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie, ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.  $C_U = 2.0$ ;

Nel caso in esame viene presa in considerazione la **classe d'uso IV** a cui è associato il coefficiente d'uso  $C_U = 2$ .

Una volta ottenuti  $V_N$  e  $C_U$ , è possibile calcolare il periodo di riferimento  $V_R$ , che qui vale:

**$V_R = 50 * 2 = 100$  anni.**

## **4.2 STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO**

Le NTC08 prendono in considerazione 4 possibili *stati limite* (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono *stati limite di esercizio* (SLE) e due sono *stati limite ultimi* (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività** (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno** (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita** (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso** (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per

azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le NTC08, in presenza di azioni sismiche, richiedono le verifiche allo SLO solo per gli elementi non strutturali e per gli impianti di strutture di classi d'uso III e IV (NTC08, punto 7.1). Lo SLO si utilizza anche come riferimento progettuale per quelle opere che devono restare operative durante e subito dopo il terremoto. Le verifiche allo SLC sono, invece, richieste solo per le costruzioni o ponti con isolamento e/o dissipazione (NTC08, punto 7.10).

Ad ogni stato limite è associata una *probabilità di superamento*  $P_{VR}$  (Tabella 3.1), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento  $V_R$ , si verifichi almeno un evento sismico ( $n \geq 1$ ) di  $a_g$  prefissata ( $a_g$  = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza  $\square = 1/T_R$  ( $T_R$  = periodo di ritorno).

Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento  $V_R$

Stati limite			<b><math>P_{VR}</math></b>
Stati limite di esercizio	Stato limite di operatività	SLO	81%
	Stato limite di danno	SLD	63%
Stati limite ultimi	Stato limite di salvaguardia della vita	SLV	10%
	Stato limite di prevenzione del collasso	SLC	5%

Fissati  $V_R$  e  $P_{VR}$  associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni, mediante l'espressione riportata nell'**Allegato A** delle NTC08:

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

Tale relazione tra  $P_{VR}$  (probabilità) e  $T_R$  (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è  $V_R = 100$  anni, il tempo di ritorno  $T_R$  sarà:

Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento  $V_R$

Stati limite			<b><math>T_R</math></b>
Stati limite di esercizio	Stato limite di operatività	SLO	<b>60</b>
	Stato limite di danno	SLD	<b>101</b>
Stati limite ultimi	Stato limite di salvaguardia della vita	SLV	<b>949</b>
	Stato limite di prevenzione del collasso	SLC	<b>1950</b>

**DOTT.SSA GEOLOGO GRANDE GILDA**

**O.R.G.C. n° 897**

**STUDIO GEOTECNICO SAN LORENZO DEL VALLO(CS)**

**VIA PIAVE, 46**

**P.I.:03122700788**

### **4.3 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE**

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC08, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC08 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione “Mappe interattive della pericolosità sismica”.

Secondo le NTC08 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno  $T_R$  (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'**Allegato A** alle NTC08:

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima;

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

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

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

$a_g$ , il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

$F_0$  e  $T_C^*$  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti in tabella (figura 4.2), contenuta nell'**Allegato B** delle NTC08, per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

ID	LON	LAT	$T_R = 30$			$T_R = 50$			$T_R = 72$			$T_R = 101$		
			$a_g$	$F_0$	$T_C^*$	$a_g$	$F_0$	$T_C^*$	$a_g$	$F_0$	$T_C^*$	$a_g$	$F_0$	$T_C^*$
13111	6.5448	45.1340	0.263	2.500	0.180	0.340	2.510	0.210	0.394	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13333	6.5506	45.0850	0.264	2.490	0.180	0.341	2.510	0.210	0.395	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13555	6.5564	45.0350	0.264	2.500	0.180	0.340	2.510	0.200	0.393	2.550	0.220	0.466	2.500	0.240
13777	6.5621	44.9850	0.263	2.500	0.180	0.338	2.520	0.200	0.391	2.550	0.220	0.462	2.510	0.240
12890	6.6096	45.1880	0.284	2.460	0.190	0.364	2.510	0.210	0.431	2.500	0.220	0.509	2.480	0.240
13112	6.6153	45.1390	0.286	2.460	0.190	0.366	2.510	0.210	0.433	2.500	0.220	0.511	2.480	0.240
13334	6.6210	45.0890	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.434	2.500	0.220	0.511	2.490	0.240
13556	6.6268	45.0390	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.433	2.510	0.220	0.510	2.490	0.240
13778	6.6325	44.9890	0.288	2.460	0.190	0.366	2.520	0.210	0.430	2.510	0.220	0.507	2.500	0.240
14000	6.6383	44.9390	0.286	2.470	0.190	0.363	2.520	0.210	0.426	2.520	0.220	0.502	2.500	0.240
14222	6.6439	44.8890	0.284	2.470	0.190	0.360	2.530	0.210	0.421	2.530	0.220	0.497	2.500	0.240
12891	6.6803	45.1920	0.306	2.430	0.200	0.389	2.500	0.210	0.467	2.470	0.230	0.544	2.490	0.230

**DOTT.SSA GEOLOGO GRANDE GILDA**

**O.R.G.C. n° 897**

**STUDIO GEOTECNICO SAN LORENZO DEL VALLO(CS)**

**VIA PIAVE, 46**

**P.I.:03122700788**

10228	6.6826	45.7940	0.283	2.420	0.200	0.364	2.460	0.220	0.430	2.460	0.240	0.505	2.440	0.250
13113	6.6860	45.1430	0.309	2.430	0.200	0.391	2.510	0.210	0.470	2.470	0.230	0.546	2.490	0.230
10450	6.6885	45.7450	0.278	2.440	0.200	0.356	2.480	0.220	0.415	2.500	0.230	0.485	2.470	0.250
13335	6.6915	45.0930	0.310	2.430	0.200	0.392	2.510	0.210	0.470	2.480	0.230	0.546	2.500	0.230
10672	6.6942	45.6950	0.275	2.450	0.200	0.351	2.490	0.210	0.406	2.520	0.230	0.475	2.490	0.250
13557	6.6973	45.0430	0.311	2.440	0.200	0.392	2.520	0.210	0.469	2.480	0.230	0.545	2.500	0.230
13779	6.7029	44.9930	0.310	2.440	0.200	0.391	2.520	0.210	0.467	2.480	0.230	0.543	2.500	0.230

*Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.*

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno  $T_R$  corrispondente alla  $V_R$  e  $P_{VR}$  fissate, il valore del generico parametro  $p$  ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione (figura 3), a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC08:

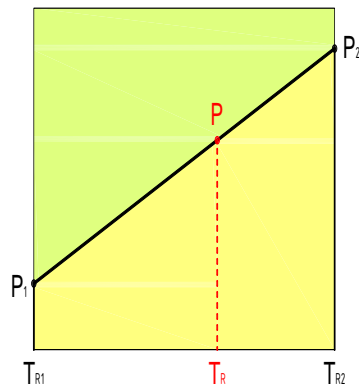
$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse ( $a_g$ ,  $F_O$ ,  $T_C^*$ ) corrispondente al periodo di ritorno  $T_R$  desiderato, mentre  $p_1$ ,  $p_2$  è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno  $T_{R1}$ ,  $T_{R2}$ .

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri  $p$  possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando l'espressione dell'Allegato A alle NTC08:

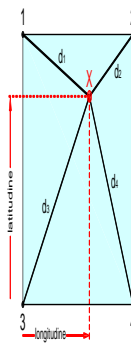
$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse ( $a_g$ ,  $F_O$ ,  $T_C^*$ ) corrispondente al punto considerato,  $p_i$  è il valore di tale parametro nell' $i$ -esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e  $d_i$  è la distanza del punto in esame dall' $i$ -esimo vertice della suddetta maglia.



*Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.*

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella seguente figura.



*Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.*

Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC08, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza  $d$  tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

$$d = R \cdot \arccos[\sin(lat\beta) \cdot \sin(lata) + \cos(lat\beta) \cdot \cos(lata) \cdot \cos(lon\alpha - lon\beta)]$$

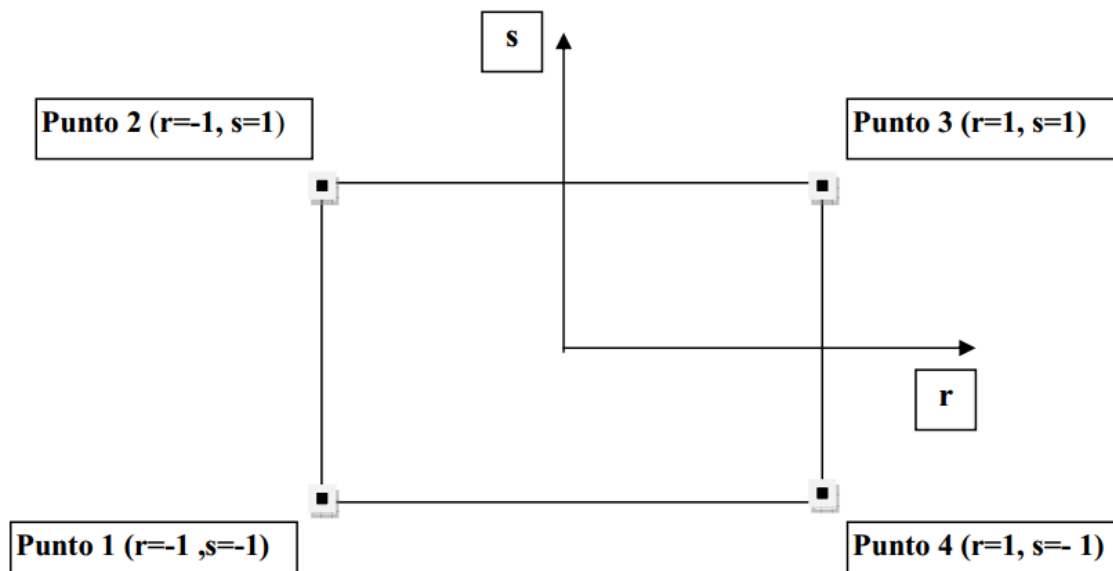
dove  $R = 6371$  è il raggio medio terrestre in km, mentre  $lata$ ,  $lon\alpha$ ,  $lat\beta$  e  $lon\beta$  sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di  $\pm 0,01g$  ossia



della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.



*Applicazione dell'interpolazione bilineare.*

Definiti i 4 vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1 - r)(1 - s)/4$$

$$h_2 = (1 - r)(1 + s)/4$$

$$h_3 = (1 + r)(1 + s)/4$$

$$h_4 = (1 + r)(1 - s)/4$$

Tra le coordinate x,y di un punto generico e le coordinate r, s dello stesso punto valgono le seguenti relazioni:

$$4x = \sum_{i=1}^4 h_i x_i = [(1 - r)(1 - s)x_1 + (1 - r)(1 + s)x_2 + (1 + r)(1 + s)x_3 + (1 + r)(1 - s)x_4]$$

$$4y = \sum_{i=1}^4 h_i y_i = [(1 - r)(1 - s)y_1 + (1 - r)(1 + s)y_2 + (1 + r)(1 + s)y_3 + (1 + r)(1 - s)y_4]$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di  $r$  ed  $s$ , si determinano i parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^4 h_i p_i = [(1-r)(1-s)p_1 + (1-r)(1+s)p_2 + (1+r)(1+s)p_3 + (1+r)(1-s)p_4]$$

Dove  $p$  rappresenta il parametro cercato.

#### **4.4 PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO**

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2).

#### **4.5 COEFFICIENTI SISMICI**

I coefficienti sismici orizzontale  $K_h$  e verticale  $K_v$  dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno ( $T_R$ ) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con  $V_R$  vita di riferimento della costruzione e  $PVR$  probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso  $V_R$  non può essere inferiore a 35 anni.

#### **4.6 FONDAZIONI**

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti  $K_h$  e  $K_v$  sono così determinati:

$$K_h = \beta_s \times (a_{\max}/g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \times K_h$$

Con

$\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{\max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  accelerazione di gravità.

I valori di  $\beta_s$  sono riportati nella seguente tabella

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

*Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.*

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S S_T a_g$$

$S_S$  (effetto di amplificazione stratigrafica) ( $0,90 \leq S_S \leq 1,80$ ) è funzione di  $F_0$  (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

$S_T$  (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

**T1:**  $S_T = 1,0$ ; **T2:**  $S_T = 1,20$ ; **T3:**  $S_T = 1,2$ ; **T4:**  $S_T = 1,40$ .

**4.7 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE DEL SITO IN ESAME**

Vita nominale (Vn): 50 [anni]  
Classe d'uso: IV  
Coefficiente d'uso (Cu): 2  
Periodo di riferimento (Vr): 100 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 60 [anni]  
Periodo di ritorno (Tr) SLD: 101 [anni]  
Periodo di ritorno (Tr) SLV: 949 [anni]  
Periodo di ritorno (Tr) SLC: 1950 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 39,7756400 [°]  
Longitudine (WGS84): 16,1564100 [°]  
Latitudine (ED50): 39,7766500 [°]  
Longitudine (ED50): 16,1572300 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	37892	39,753100	16,154840	2626,11
2	37893	39,751520	16,219770	6031,72
3	37671	39,801500	16,221810	6171,43
4	37670	39,803080	16,156820	2939,57

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC08, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

**Punto 1**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	60	0,093	2,291	0,302
SLD	101	0,122	2,330	0,322
SLV	949	0,343	2,425	0,397
SLC	1950	0,448	2,489	0,428

**Punto 2**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	60	0,093	2,292	0,303
SLD	101	0,121	2,332	0,322
SLV	949	0,339	2,437	0,397
SLC	1950	0,446	2,492	0,428

**Punto 3**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	60	0,089	2,316	0,302
SLD	101	0,117	2,327	0,324
SLV	949	0,336	2,390	0,396
SLC	1950	0,440	2,470	0,425

**Punto 4**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	60	0,091	2,318	0,301
SLD	101	0,119	2,326	0,322
SLV	949	0,347	2,376	0,396
SLC	1950	0,452	2,463	0,426

**Punto d'indagine**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	60	0,092	2,304	0,302
SLD	101	0,120	2,329	0,322
SLV	949	0,342	2,406	0,396
SLC	1950	0,448	2,478	0,427

**PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO**

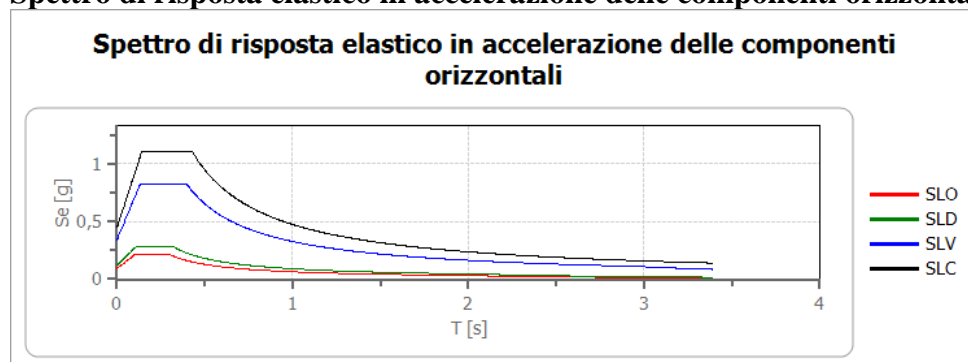
Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1,000

**Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,018	0,032	0,103	0,448
kv	0,009	0,016	0,051	0,224
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,901	1,178	3,358	4,391
Beta	0,200	0,270	0,300	1,000

**Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali**



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	2,0	0,092	2,304	0,302	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,101	0,302	1,968	0,092	0,212
SLD	2,0	0,120	2,329	0,322	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,107	0,322	2,081	0,120	0,280
SLV	2,0	0,342	2,406	0,396	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,132	0,396	2,970	0,342	0,824
SLC	2,0	0,448	2,478	0,427	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,142	0,427	3,391	0,448	1,110

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

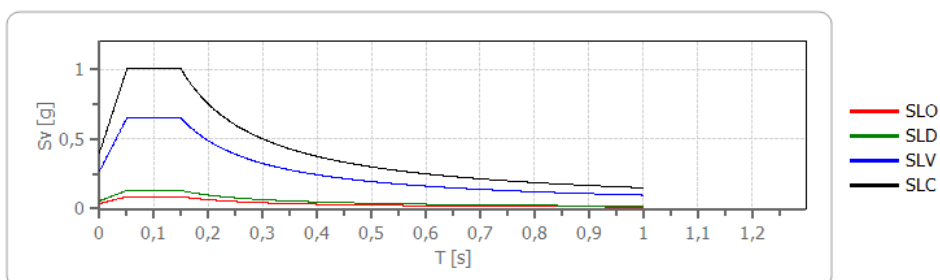
Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ :

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ :

1,000

#### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	2,0	0,092	2,304	0,302	1	1,000	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,038	0,087
SLD	2,0	0,120	2,329	0,322	1	1,000	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,056	0,131
SLV	2,0	0,342	2,406	0,396	1	1,000	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,271	0,651
SLC	2,0	0,448	2,478	0,427	1	1,000	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,404	1,002

### Spettro di progetto

Fattore di struttura spettro orizzontale  $q$ :

1,50

Fattore di struttura spettro verticale  $q$ :

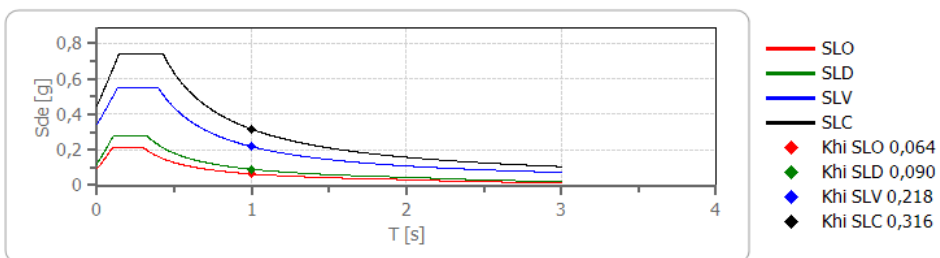
1,50

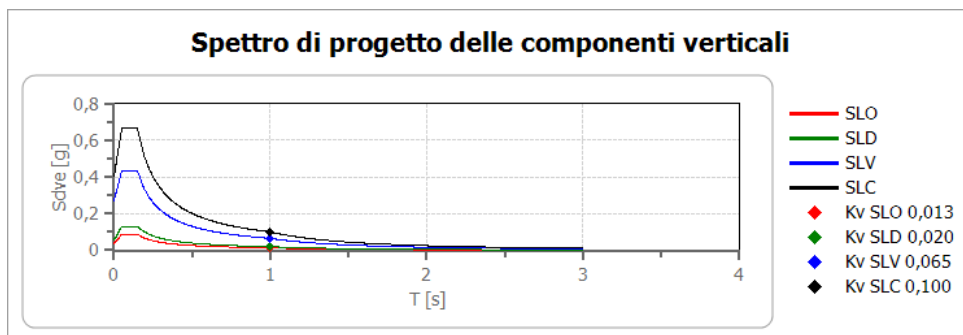
Periodo fondamentale  $T$ :

1,00 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0,064	0,090	0,218	0,316
kv = Sdve(T) Verticale [g]	0,013	0,020	0,065	0,100

#### Spettro di progetto delle componenti orizzontali





	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	2,0	0,092	2,304	0,302	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,101	0,302	1,968	0,092	0,212
SLO verticale	2,0	0,092	2,304	0,302	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,038	0,087
SLD orizzontale	2,0	0,120	2,329	0,322	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,107	0,322	2,081	0,120	0,280
SLD verticale	2,0	0,120	2,329	0,322	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,056	0,131
SLV orizzontale	2,0	0,342	2,406	0,396	1,000	1,000	1,000	1,000	1,500	0,132	0,396	2,970	0,342	0,549
SLV verticale	2,0	0,342	2,406	0,396	1,000	1,000	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,271	0,434
SLC orizzontale	2,0	0,448	2,478	0,427	1,000	1,000	1,000	1,000	1,500	0,142	0,427	3,391	0,448	0,740
SLC verticale	2,0	0,448	2,478	0,427	1,000	1,000	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,404	0,668

## 5. ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

Con la Risposta Sismica Locale (RSL) mediante analisi 1D si intende, in generale, valutare i cambiamenti che un'onda sismica subisce in termini di ampiezza e contenuto in frequenza, nel suo percorso dal basso verso l'alto nel passare da formazioni rocciose denominate bedrock (caratterizzate da velocità delle onde sismiche  $V_s > 800\text{m/s}$ ) e poste in generale in profondità, fino alla superficie libera passando per strati con caratteristiche fisico-meccaniche differenti. Tale fenomeno è sicuramente influenzato:

- ✓ dalle caratteristiche del moto sismico in corrispondenza del bedrock;

**DOTT.SSA GEOLOGO GRANDE GILDA**  
**O.R.G.C. n° 897**  
**STUDIO GEOTECNICO SAN LORENZO DEL VALLO(CS)**  
**VIA PIAVE, 46**  
**P.I.:03122700788**



- ✓ dalla geometria e profondità del bedrock;
- ✓ dalla presenza o meno di terreni con caratteristiche fisico-meccaniche diverse tra il bedrock e la superficie.

L'insieme dei fattori sopra menzionati, pertanto, condiziona in superficie il moto del suolo che può essere soggetto ad impulsi di ampiezza, ad esempio, maggiori di quelli che partono dal bedrock e/o caratterizzati da componenti in frequenza parzialmente diverse. In particolare, può succedere che alcune delle frequenze che costituiscono il moto sismico in superficie possano risultare moderatamente o consistentemente amplificate, mentre altre possono invece risultare attenuate.

A seguito di terremoti distruttivi, è infatti frequente osservare distribuzioni anomale del danneggiamento alle costruzioni, con forti differenziazioni fra zone contigue anche di piccole dimensioni.

Tali anomalie devono essere messe in relazione con una varietà di cause, anche concomitanti, tra cui la differente vulnerabilità intrinseca delle costruzioni e le diversità delle caratteristiche dinamiche medie delle tipologie edilizie prevalenti. Spesso accade che a causare le anomalie siano principalmente le modificazioni delle caratteristiche del moto al suolo, indotte, come già detto, da condizioni geologiche e geomorfologiche locali.

La Risposta Sismica Locale è, quindi, il risultato di interazioni molto complesse tra le onde sismiche e le condizioni locali, cioè l'insieme delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche di depositi di terreno ed ammassi rocciosi e delle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Essa rappresenta un elemento importante e, spesso, fondamentale nella caratterizzazione del moto sismico.

Negli anni sono state elaborate ed affinate numerose tecniche per l'analisi della Risposta Sismica Locale, diverse tra loro a seconda delle modalità di rappresentazione del problema e degli elementi di complessità introdotti al fine di rendere lo schema ideale e rappresentato col modello il più vicino possibile alla situazione reale. Ovviamente, non esiste un modello universalmente valido ed applicabile in tutte le situazioni, bensì una soluzione, ogni volta diversa, da adattare al caso in esame. Tali modelli si raggruppano in varie categorie e principalmente in funzione della dimensionalità con cui

rappresentano la situazione reale; potranno, quindi, essere delineati modelli monodimensionali, bidimensionali e tridimensionali.

Al fine di realizzare la suddetta analisi, è quindi necessario:

- acquisire un segnale sismico di input mediante accelerogrammi, possibilmente reali, dell'area in studio o comunque spettro-compatibili;
- definire una stratigrafia corredata di parametri fisico-meccanici almeno fino a quello che può essere considerato un bedrock;
- definire la funzione di trasferimento e di amplificazione del segnale dal bedrock alla superficie e calcolare il nuovo segnale che tenga conto delle “modificazioni” indotte dalla stratigrafia.

La prima fase di acquisizione è stata realizzata attraverso l'apposito software gratuito REXEL, mentre per le elaborazioni per la definizione delle funzioni di trasferimento ed amplificazione e degli output accelerometrici e di spettro, è stato utilizzato il software “RSL III” fornito dalla GeoStru.

I dati di input necessari per una valutazione quantitativa del verificarsi di amplificazioni nell'onda sismica incidente sul sito in oggetto, saranno i seguenti:

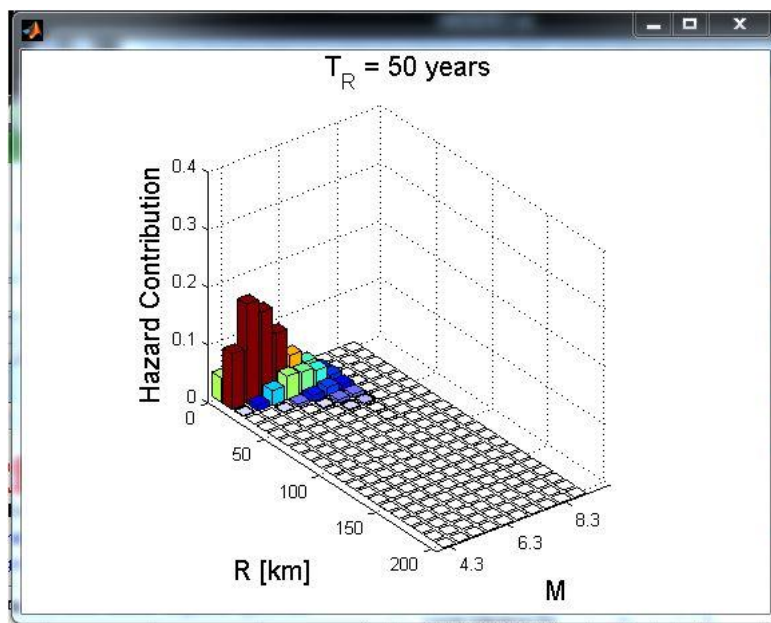
- n° 7 accelerogrammi spettro-compatibili.
- dati stratigrafico geotecnici dei terreni costituenti il sottosuolo.

Per la modellazione sismica sono stati utilizzati i parametri geo-meccanici e sismici ricavati durante la campagna di indagini geognostiche, eseguita per la caratterizzazione geotecnica e geofisica del terreno di fondazione.

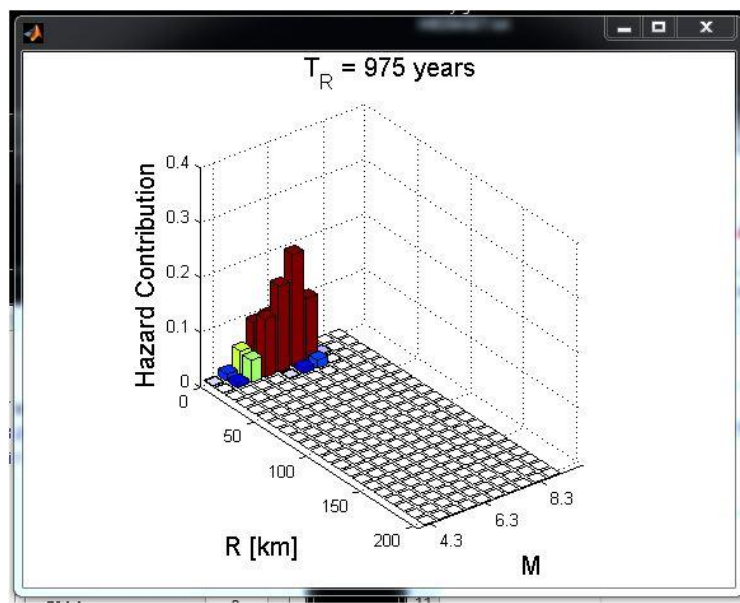
Gli accelerogrammi si riferiscono ad eventi sismici reali e spettro-compatibili con momento sismico  $M$  compreso tra 4.0 e 7.5 e distanze epicentrali comprese tra 0 e 50 Km. La selezione è, inoltre, avvenuta, ai sensi del D.M. 14/01/2008, impostando come stati limite di riferimento l'SLO, SLD e SLV, come classe d'uso la IV, ed una vita nominale dell'opera di 50 anni.

Come target della ricerca è stato utilizzato lo spettro di normativa al substrato sismico, considerando, quindi, una categoria di sottosuolo di tipo A. E' stata poi operata la disaggregazione degli eventi sismici che hanno contribuito alla definizione della pericolosità sismica del sito di progetto in termini di magnitudo e distanza epicentrale.

**SLO e SLD (a)**



**SLV (b)**

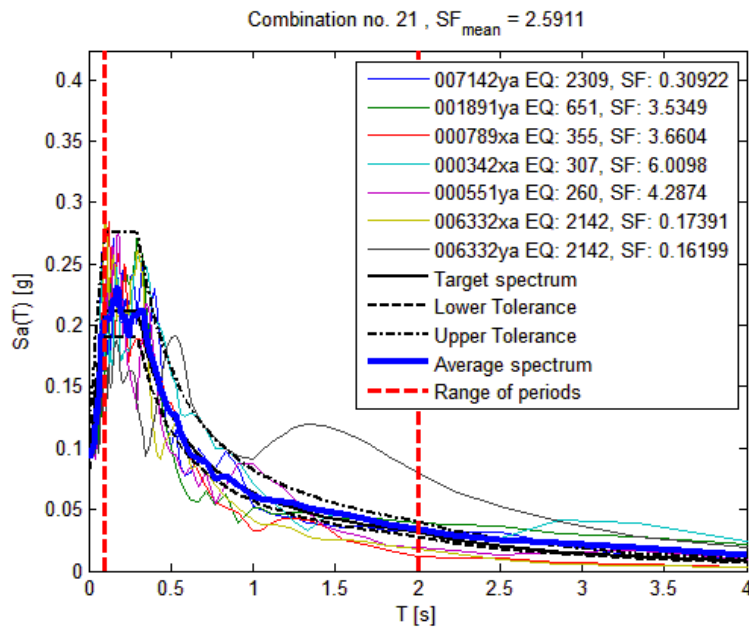


*Disaggregazione degli eventi sismici, in base agli SLO e SLD (a), allo SLV(b) che contribuiscono alla definizione della pericolosità sismica del sito di progetto in termini di magnitudo e distanza epicentrale*

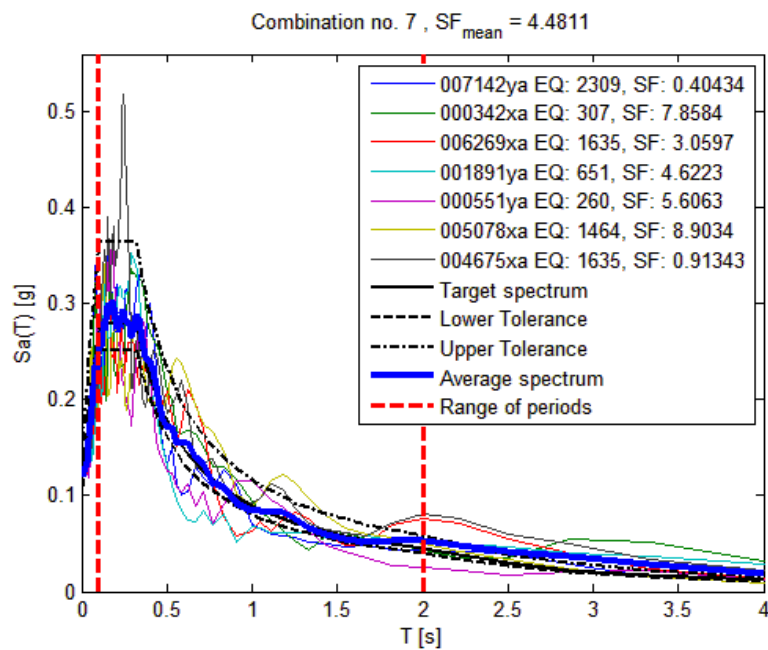
La ricerca è stata eseguita, quindi, utilizzando tali parametri con una tolleranza sul target spectrum del 30% verso l'alto e del 10% verso il basso. Nella ricerca si è, inoltre, optato di scalare l'intensità, favorendo la similarità della forma spettrale. Sono stati così estratti 7 accelerogrammi rientrati nei margini di tolleranza prefissati, i cui spettri sono messi a confronto con il target spectrum nei grafici di seguito allegati.

**DOTT.SSA GEOLOGO GRANDE GILDA**  
**O.R.G.C. n° 897**  
**STUDIO GEOTECNICO SAN LORENZO DEL VALLO(CS)**  
**VIA PIAVE, 46**  
**P.I.:03122700788**

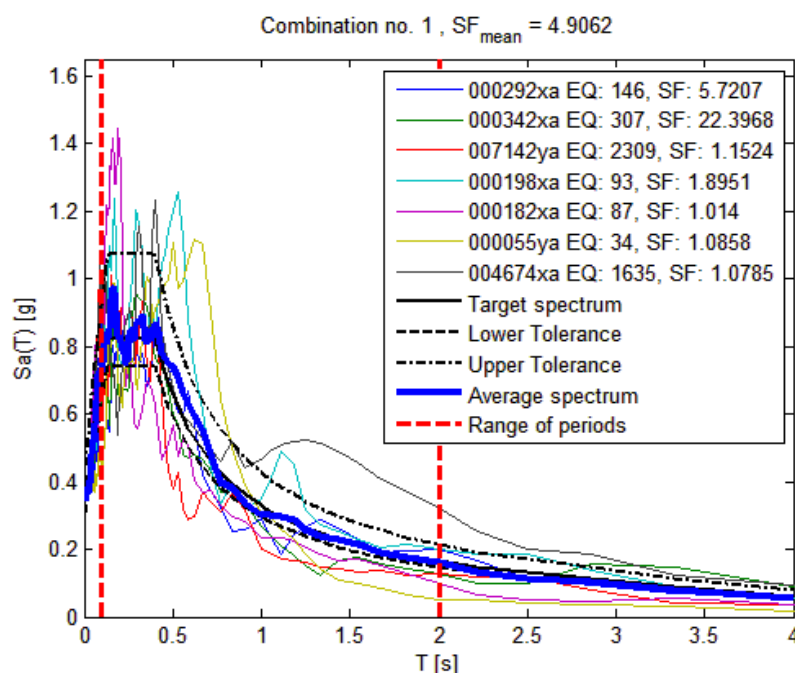
**SLO (a)**



**SLD (b)**



SLV (c)



*Set dei 7 accelerogrammi reali determinati tramite Rexel, a confronto con i vari target spectrum degli stati limite di esercizio (a e b) ed ultimo SLV (c) considerati.*

Gli accelerogrammi di questi eventi sono stati successivamente “scalati” in termini di accelerazione di base per gli stati limite SLO, SLD e SLV ed applicati al substrato sismico locale, per come risultato nelle indagini eseguite nel sito di progetto, soprattutto in relazione alla stratigrafia sismica desunta mediante l’indagine MASW.

Per quanto concerne i parametri meccanici dinamici, in particolare il variare del damping e del modulo di taglio con la deformazione, non disponendo di misure dinamiche di laboratorio, si è effettuata una ricerca in letteratura a partire dalle litologie presenti e tramite le varie opzioni messe a disposizione dal software GeoStru RSL III. Nei calcoli della risposta sismica di sito, quindi, sono stati applicati gli accelerogrammi individuati con Rexel al tetto del substrato, posto a partire da circa 8 metri di profondità, e si è calcolato come l’azione sismica sia stata modificata nel percorso compreso tra esso e la superficie del suolo.

## **6. CALCOLO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE**

### **PROCEDURA DI CALCOLO**

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- ✓ peso per unità di volume;
- ✓ velocità di propagazione delle onde di taglio;
- ✓ coefficiente di spinta laterale;
- ✓ modulo di taglio iniziale (opzionale);
- ✓ spessore;
- ✓ indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

- ✓ Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
- ✓ Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
  - Stima della funzione di trasferimento;
  - Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
  - Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;

Le operazioni sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;

- ✓ Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile “trasferire” l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M - 1}{10}$$

dove  $M$  rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da  $N$  strati orizzontali di cui l' $N$ -esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt  $\left[ \tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial z \partial t} \right]$ , la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

dove:  $u$  rappresenta lo spostamento;  $t$  il tempo;  $\rho$  la densità;  $G$  il modulo di deformazione al taglio;  $\eta$  la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z,t) = U(z)e^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (3)$$

dove  $\omega$  rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (4)$$

avendo posto  $G^* = G + i\omega\eta$ , ovvero il modulo di deformazione al taglio *complesso*. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

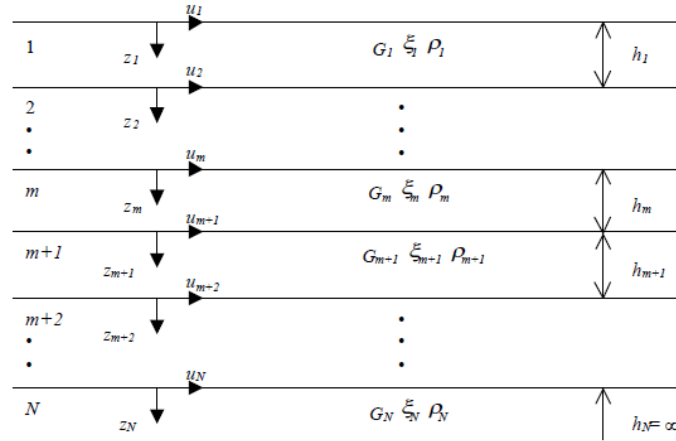
avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (6)$$

dove  $\xi$  rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice \* indica la natura complessa della variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z,t) = Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)} \quad (7)$$





*Esempio di stratigrafia per riferimento.*

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre  $k^*$  rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z, t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* \left[ E e^{i(\omega t + k^* z)} + F e^{i(\omega t - k^* z)} \right] e^{i\omega t} \quad (9)$$

Per il generico strato  $m$  di spessore  $h_m$  gli spostamenti, rispettivamente in sommità ( $z = 0$ ) ed al fondo ( $z = h_m$ ), sono:

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (10)$$

$$u_m(h_m, t) = (E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (11)$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \quad (12)$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell' $m$ -esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m] e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$\tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* [E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}] e^{i\omega t} \quad (15)$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \quad (16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (17)$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (19)$$

dove  $\alpha_m^*$  rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati  $m$  ed  $m+1$ , ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \quad (20)$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F_1] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che  $E_1 = F_1$ .

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad  $m$ .

La funzione di trasferimento  $A_{mn}$  che lega gli spostamenti in sommità degli strati  $m$  ed  $n$  è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (21)$$

$A_{mn}$  rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti  $m$  e  $n$ .

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \quad \ddot{u}(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t) \quad (22)$$

La funzione di trasferimento  $A_{mn}$  può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati  $n$  ed  $m$ :

$$A_{mm}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (23)$$

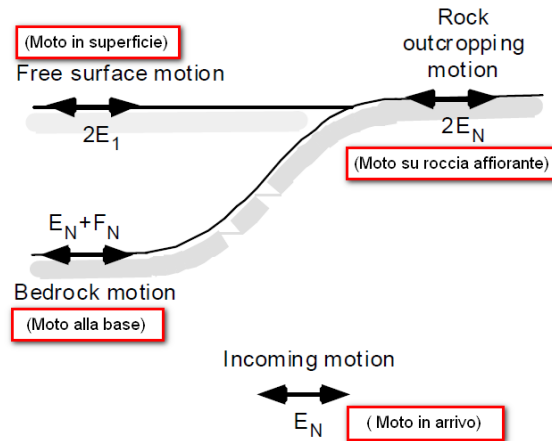
La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità  $z$  e al tempo  $t$  dalla relazione:

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* (Ee^{ik^+z} - Fe^{-ik^+z}) e^{i\omega t} \quad (24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (25)$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica nella seguente figura in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.



*Schema di riferimento e terminologia utilizzata.*

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad  $E_N$ ; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a  $E_N + F_N$ . Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ( $E_N = F_N$ ), il moto avrà ampiezza pari a  $2E_N$ . La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (26)$$

A è non lineare poiché  $G$  è funzione di  $\gamma$ . Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di  $\gamma$ . Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo  $G$  così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per  $G(\gamma)$  adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI) (\sigma'_m)^{m(\gamma, PI) - m_0} \quad (24)$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5 \left\{ 1 + \tanh \left[ \ln \left( \frac{0.000102 + n(PI)}{\gamma} \right)^{0.492} \right] \right\} \quad (25)$$

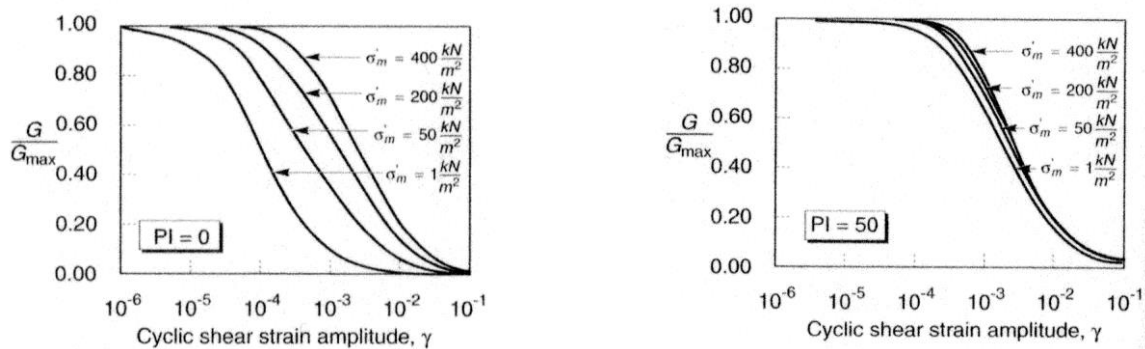
$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[ \ln \left( \frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145 PI^{1.3}) \quad (26)$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & \text{per } PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & \text{per } 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & \text{per } 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & \text{per } PI > 70 \end{cases} \quad (27)$$

dove  $G_{max}$  è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (28)$$

dove  $\rho$  è la densità del terreno e  $V_s$  la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La precedente formula fornisce il valore iniziale di  $G$  per la prima iterazione.

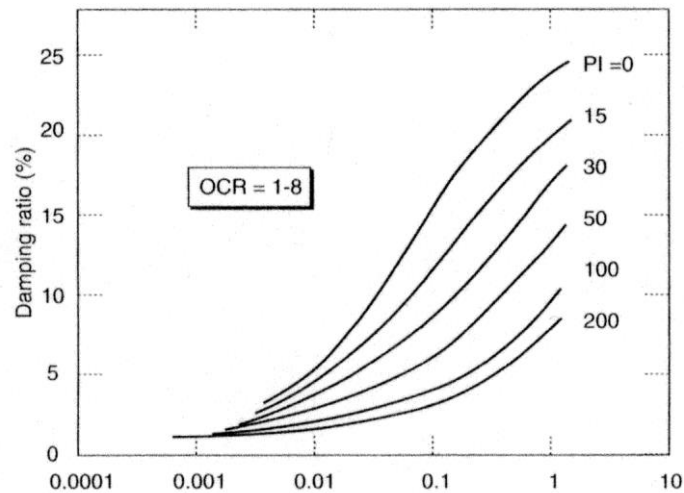


*Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.*

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ , in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{1.5})}{2} \left[ 0.586 \left( \frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

da cui si deduce che anche  $\xi$  deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.



*Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.*

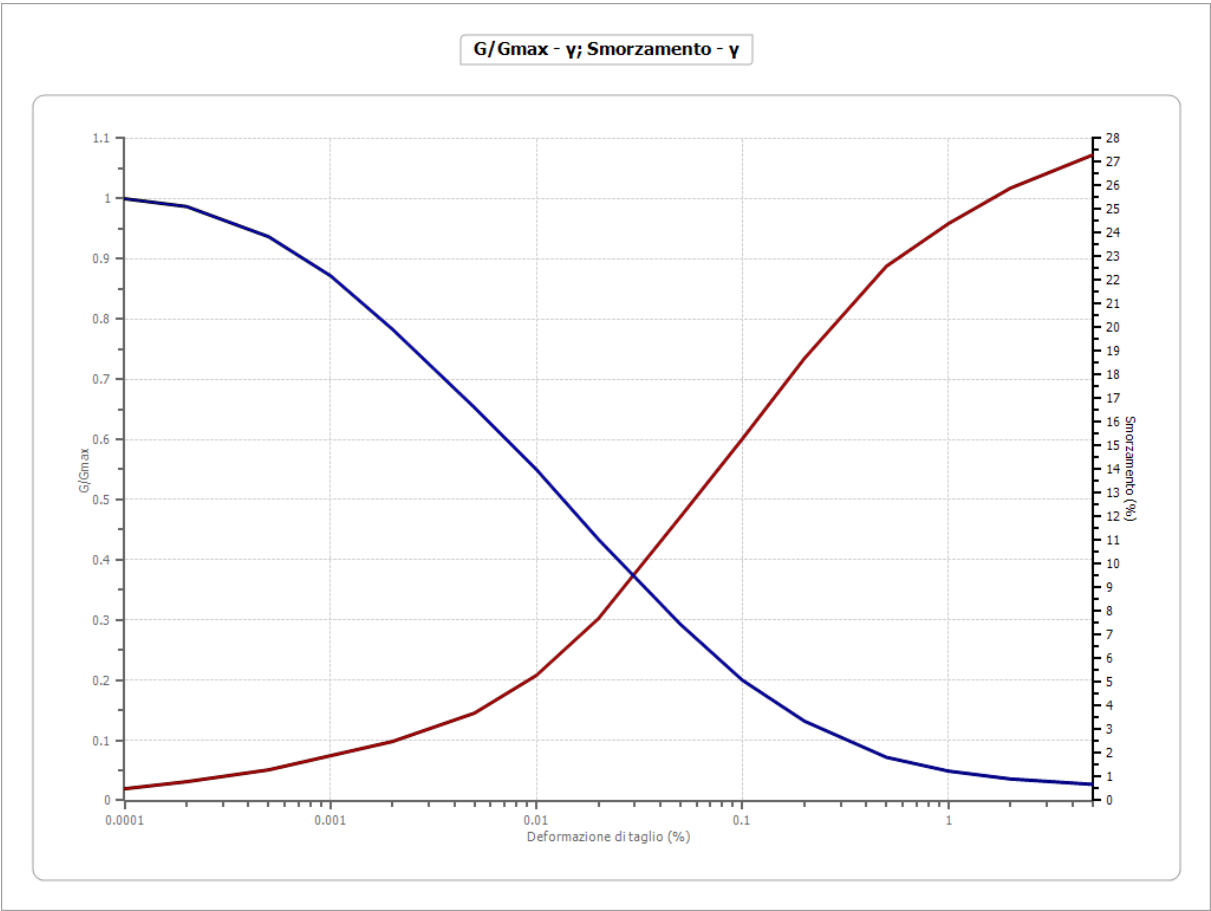
### **Dati generali**

Latitudine 39.775639[°]  
Longitudine 16.156413[°]

### **Terreni**

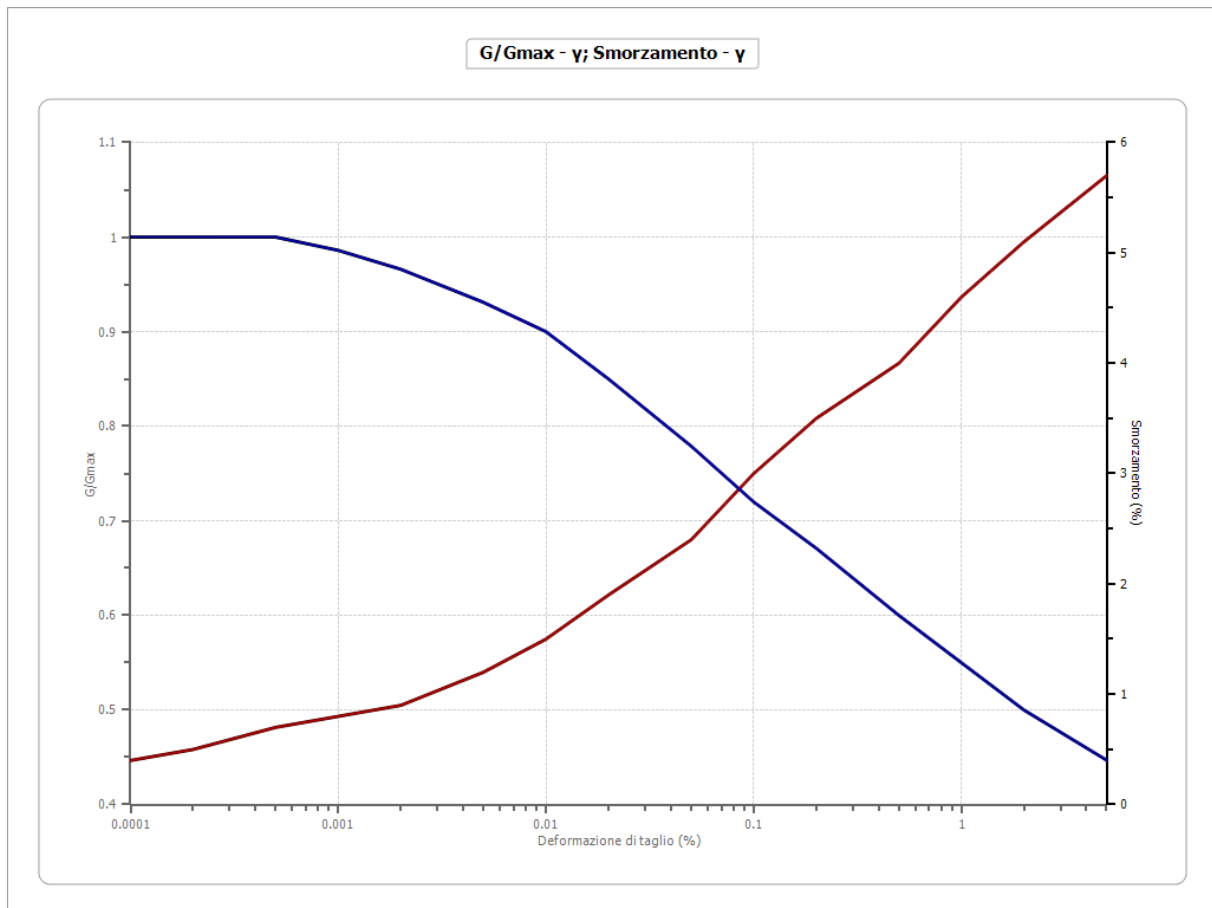
Seed et al. (1986) Gravel

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.500
0.0002	0.987	0.0002	0.800
0.0005	0.937	0.0005	1.300
0.001	0.872	0.001	1.900
0.002	0.783	0.002	2.500
0.005	0.653	0.005	3.700
0.010	0.550	0.010	5.300
0.020	0.434	0.020	7.700
0.050	0.293	0.050	12.000
0.100	0.200	0.100	15.300
0.200	0.132	0.200	18.700
0.500	0.072	0.500	22.600
1.000	0.049	1.000	24.400
2.000	0.036	2.000	25.900
5.000	0.027	5.000	27.300



Idriss (1990) Rock

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.400
0.0002	1.000	0.0002	0.500
0.0005	1.000	0.0005	0.700
0.001	0.986	0.001	0.800
0.002	0.966	0.002	0.900
0.005	0.931	0.005	1.200
0.010	0.900	0.010	1.500
0.020	0.850	0.020	1.900
0.050	0.779	0.050	2.400
0.100	0.720	0.100	3.000
0.200	0.671	0.200	3.500
0.500	0.600	0.500	4.000
1.000	0.550	1.000	4.600
2.000	0.500	2.000	5.100
5.000	0.447	5.000	5.700



### Stratigrafia

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	G <sub>max</sub> [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m³]	V <sub>s</sub> [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	--	3.3	Seed et al. (1986) Gravel	0	281.44	--	17.0	403.0	28.1
2	3.3	4.5	Idriss (1990) Rock	0	1120.02	--	22.0	706.7	105.6
3	oo	--	Smorzamento costante	0	2705.89	10	23.0	1074.3	155.1

Strato rilevamento accelerogramma: 3 Affiorante

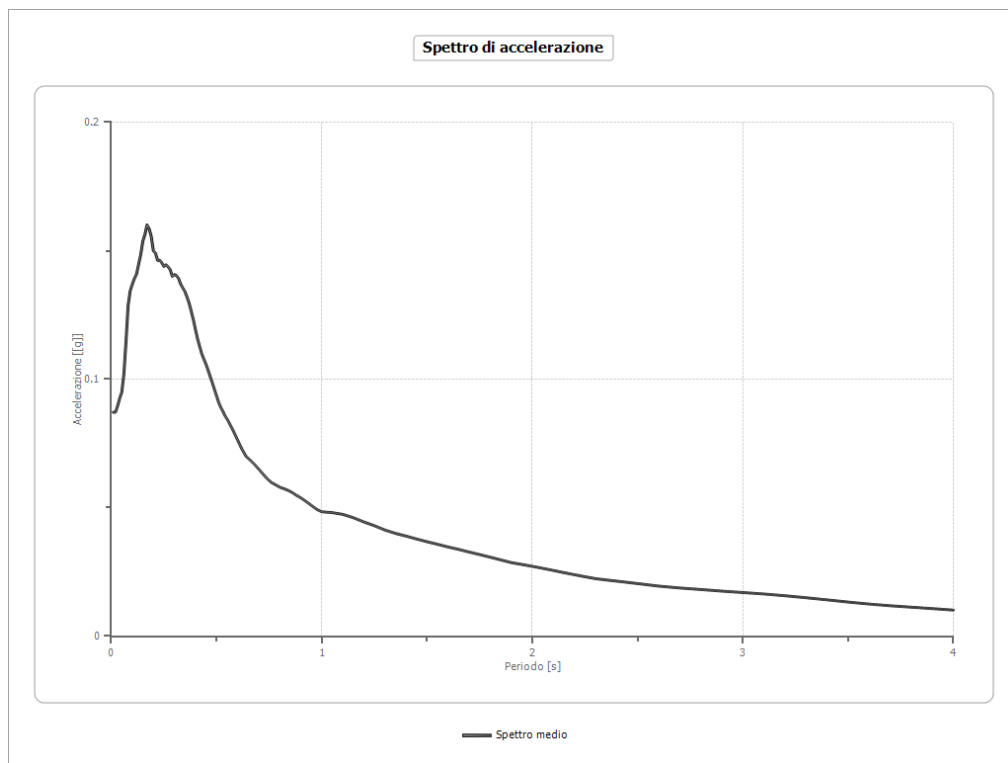


[illegible]

---

**Spettro medio**

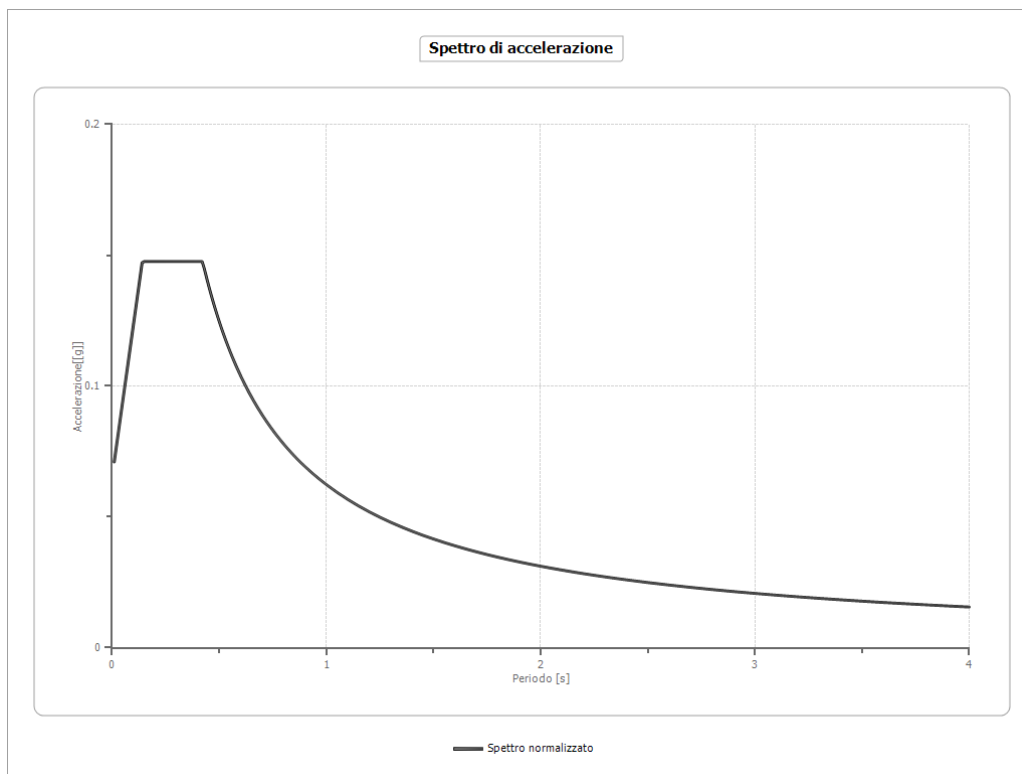
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.01	0.0871	0.27	0.1438	0.53	0.0876	1.00	0.0484	2.30	0.0224
0.02	0.0872	0.28	0.1426	0.54	0.0858	1.05	0.0481	2.35	0.0219
0.03	0.0895	0.29	0.1400	0.55	0.0845	1.10	0.0474	2.40	0.0214
0.04	0.0926	0.30	0.1407	0.56	0.0830	1.15	0.0461	2.50	0.0205
0.05	0.0950	0.31	0.1403	0.57	0.0814	1.20	0.0444	2.60	0.0195
0.06	0.1021	0.32	0.1392	0.58	0.0798	1.25	0.0430	2.70	0.0188
0.07	0.1147	0.33	0.1369	0.60	0.0763	1.30	0.0413	2.80	0.0182
0.08	0.1287	0.34	0.1355	0.62	0.0729	1.35	0.0400	2.90	0.0176
0.09	0.1344	0.35	0.1341	0.64	0.0700	1.40	0.0390	3.00	0.0170
0.10	0.1369	0.36	0.1320	0.66	0.0685	1.45	0.0378	3.10	0.0164
0.11	0.1392	0.37	0.1295	0.68	0.0669	1.50	0.0368	3.20	0.0158
0.12	0.1409	0.38	0.1264	0.70	0.0651	1.55	0.0357	3.30	0.0150
0.13	0.1447	0.39	0.1232	0.72	0.0632	1.60	0.0347	3.40	0.0141
0.14	0.1485	0.40	0.1193	0.74	0.0613	1.65	0.0338	3.50	0.0133
0.15	0.1537	0.41	0.1157	0.76	0.0599	1.70	0.0328	3.60	0.0125
0.16	0.1564	0.42	0.1127	0.78	0.0589	1.75	0.0318	3.70	0.0118
0.17	0.1601	0.43	0.1099	0.80	0.0580	1.80	0.0308	3.80	0.0113
0.18	0.1586	0.44	0.1078	0.82	0.0574	1.85	0.0297	3.90	0.0107
0.19	0.1555	0.45	0.1058	0.84	0.0567	1.90	0.0286	4.00	0.0102
0.20	0.1500	0.46	0.1035	0.86	0.0559	1.95	0.0279		
0.21	0.1491	0.47	0.1010	0.88	0.0548	2.00	0.0272		
0.22	0.1463	0.48	0.0986	0.90	0.0538	2.05	0.0264		
0.23	0.1463	0.49	0.0961	0.92	0.0527	2.10	0.0256		
0.24	0.1453	0.50	0.0936	0.94	0.0515	2.15	0.0247		
0.25	0.1439	0.51	0.0910	0.96	0.0503	2.20	0.0239		
0.26	0.1446	0.52	0.0891	0.98	0.0492	2.25	0.0232		



**DOTT.SSA GEOLOGO GRANDE GILDA**  
**O.R.G.C. n° 897**  
**STUDIO GEOTECNICO SAN LORENZO DEL VALLO(CS)**  
**VIA PIAVE, 46**  
**P.I.:03122700788**

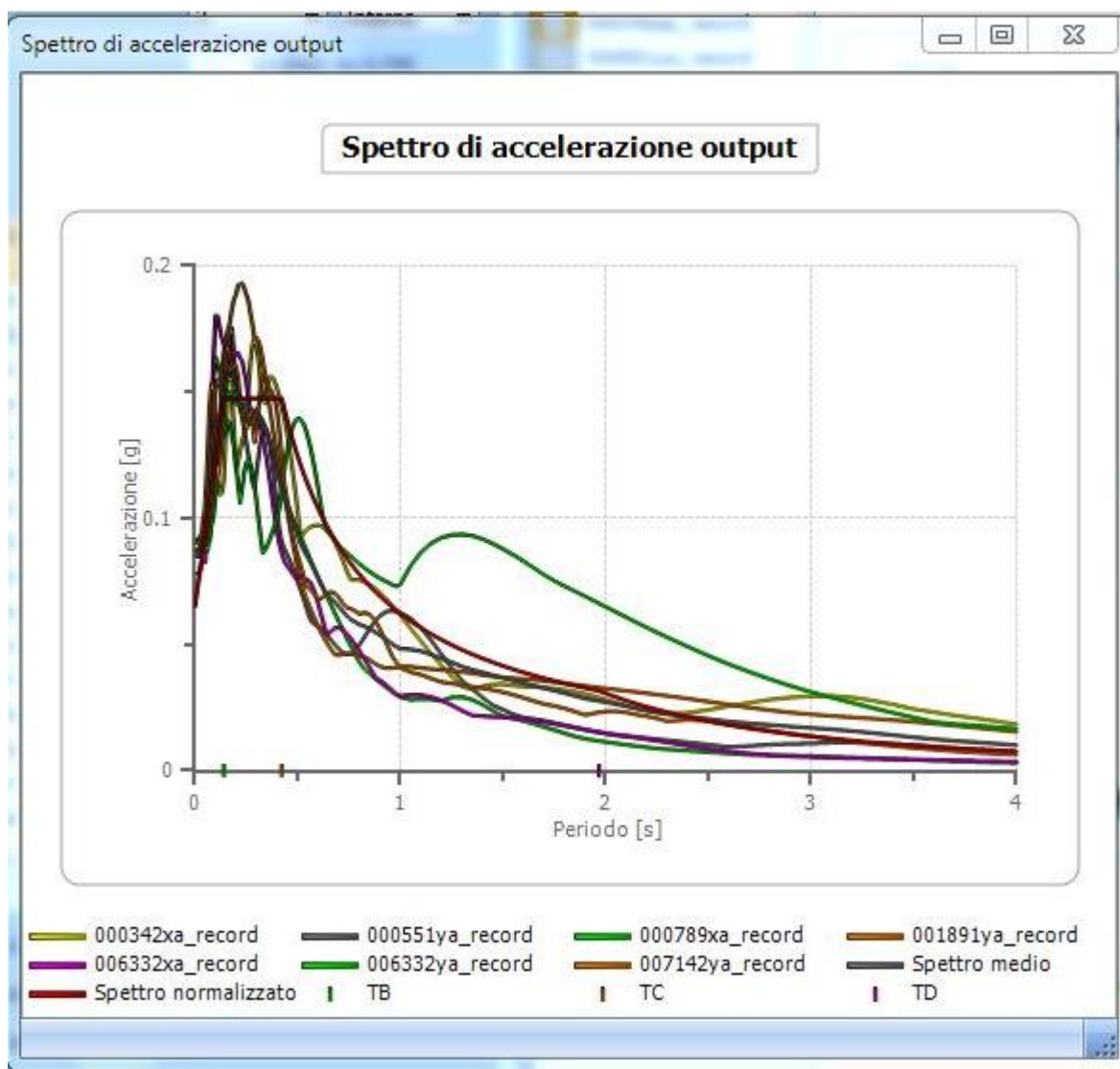
**Spettro normalizzato**

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.01	0.0710	0.27	0.1476	0.53	0.1176	1.00	0.0623	2.30	0.0271
0.02	0.0769	0.28	0.1476	0.54	0.1154	1.05	0.0594	2.35	0.0265
0.03	0.0827	0.29	0.1476	0.55	0.1133	1.10	0.0567	2.40	0.0260
0.04	0.0886	0.30	0.1476	0.56	0.1113	1.15	0.0542	2.50	0.0249
0.05	0.0944	0.31	0.1476	0.57	0.1094	1.20	0.0519	2.60	0.0240
0.06	0.1003	0.32	0.1476	0.58	0.1075	1.25	0.0499	2.70	0.0231
0.07	0.1061	0.33	0.1476	0.60	0.1039	1.30	0.0480	2.80	0.0223
0.08	0.1120	0.34	0.1476	0.62	0.1005	1.35	0.0462	2.90	0.0215
0.09	0.1179	0.35	0.1476	0.64	0.0974	1.40	0.0445	3.00	0.0208
0.10	0.1237	0.36	0.1476	0.66	0.0944	1.45	0.0430	3.10	0.0201
0.11	0.1296	0.37	0.1476	0.68	0.0917	1.50	0.0416	3.20	0.0195
0.12	0.1354	0.38	0.1476	0.70	0.0891	1.55	0.0402	3.30	0.0189
0.13	0.1413	0.39	0.1476	0.72	0.0866	1.60	0.0390	3.40	0.0183
0.14	0.1472	0.40	0.1476	0.74	0.0842	1.65	0.0378	3.50	0.0178
0.15	0.1476	0.41	0.1476	0.76	0.0820	1.70	0.0367	3.60	0.0173
0.16	0.1476	0.42	0.1476	0.78	0.0799	1.75	0.0356	3.70	0.0168
0.17	0.1476	0.43	0.1450	0.80	0.0779	1.80	0.0346	3.80	0.0164
0.18	0.1476	0.44	0.1417	0.82	0.0760	1.85	0.0337	3.90	0.0160
0.19	0.1476	0.45	0.1385	0.84	0.0742	1.90	0.0328	4.00	0.0156
0.20	0.1476	0.46	0.1355	0.86	0.0725	1.95	0.0320		
0.21	0.1476	0.47	0.1326	0.88	0.0708	2.00	0.0312		
0.22	0.1476	0.48	0.1299	0.90	0.0693	2.05	0.0304		
0.23	0.1476	0.49	0.1272	0.92	0.0678	2.10	0.0297		
0.24	0.1476	0.50	0.1247	0.94	0.0663	2.15	0.0290		
0.25	0.1476	0.51	0.1222	0.96	0.0649	2.20	0.0283		
0.26	0.1476	0.52	0.1199	0.98	0.0636	2.25	0.0277		



**DOTT.SSA GEOLOGO GRANDE GILDA**  
**O.R.G.C. n° 897**  
**STUDIO GEOTECNICO SAN LORENZO DEL VALLO(CS)**  
**VIA PIAVE, 46**  
**P.I.:03122700788**

### Confronto tra gli spettri



### Confronto spettro normativa

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	60	101	949	1950
ag [g]	0.092	0.121	0.344	0.450
Fo	2.304	2.328	2.402	2.477
Tc* [s]	0.302	0.322	0.396	0.427
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.101	0.107	0.132	0.142
TC [s]	0.302	0.322	0.396	0.427
TD [s]	1.968	2.084	2.976	3.400
Se(0) [g]	0.092	0.121	0.344	0.450
Se(TB) [g]	0.212	0.282	0.826	1.115

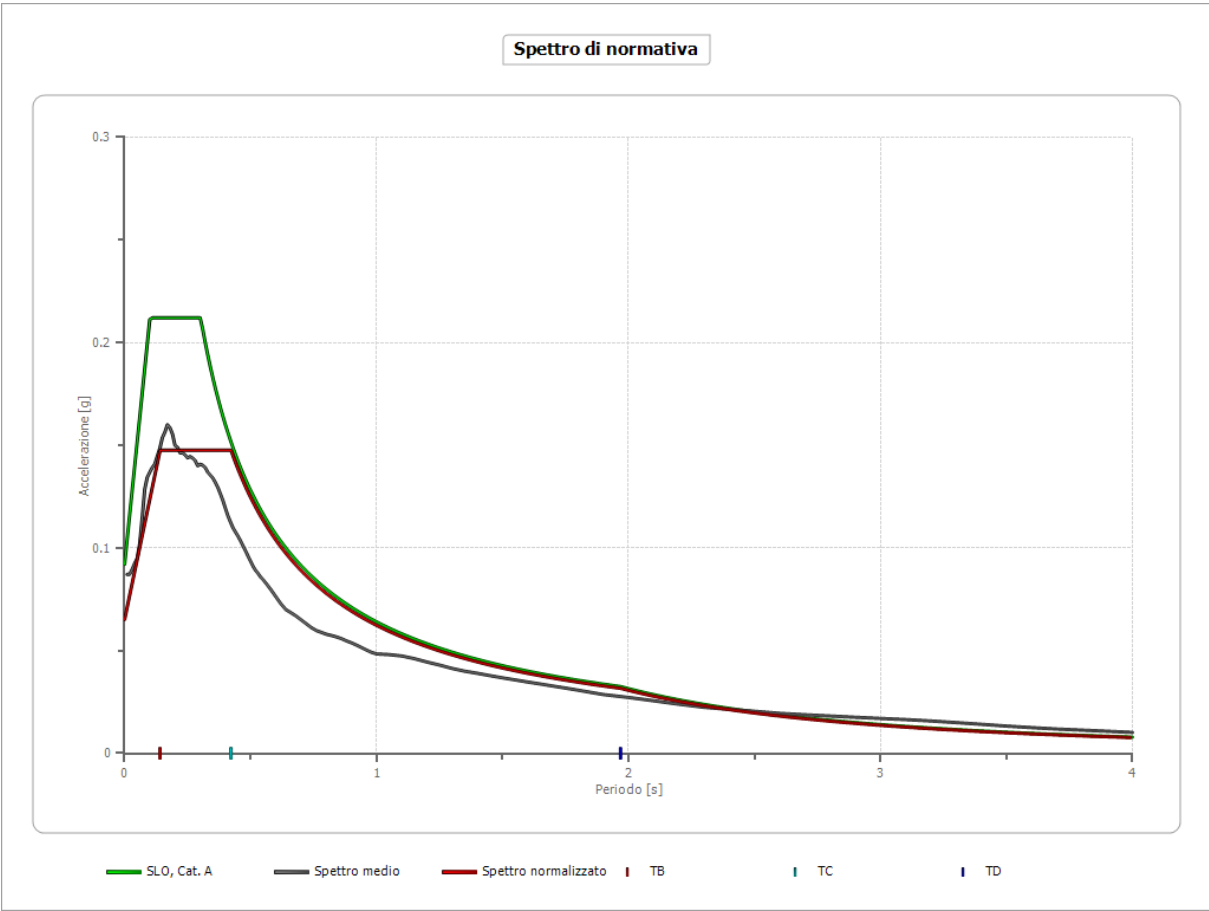
**DOTT.SSA GEOLOGO GRANDE GILDA**

**O.R.G.C. n° 897**

**STUDIO GEOTECNICO SAN LORENZO DEL VALLO(CS)**

**VIA PIAVE, 46**

**P.I.:03122700788**



**Elaborazione Analisi per lo stato limite SLD**

Numero di iterazioni                      50  
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima                      0.5  
Tipo di modulo elastico                      Shake  
Massimo errore percentuale di convergenza                      1.16 E-05

**Fattori di amplificazione**

Tai	0.180 [s]
Tvi	3.200 [s]
Tao	0.180 [s]
Tvo	3.600 [s]
Sami	2.745 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmi	0.180 [m/s]
Samo	1.863 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmo	0.138 [m/s]
<b>Fa</b>	<b>0.679 [-]</b>
<b>Fv</b>	<b>0.770 [-]</b>
TB	0.155 [s]
TC	0.466 [s]
TD	2.084 [s]
SA(0)	0.082 [g]
SA(TB)	0.190 [g]

**DOTT.SSA GEOLOGO GRANDE GILDA**

**O.R.G.C. n° 897**

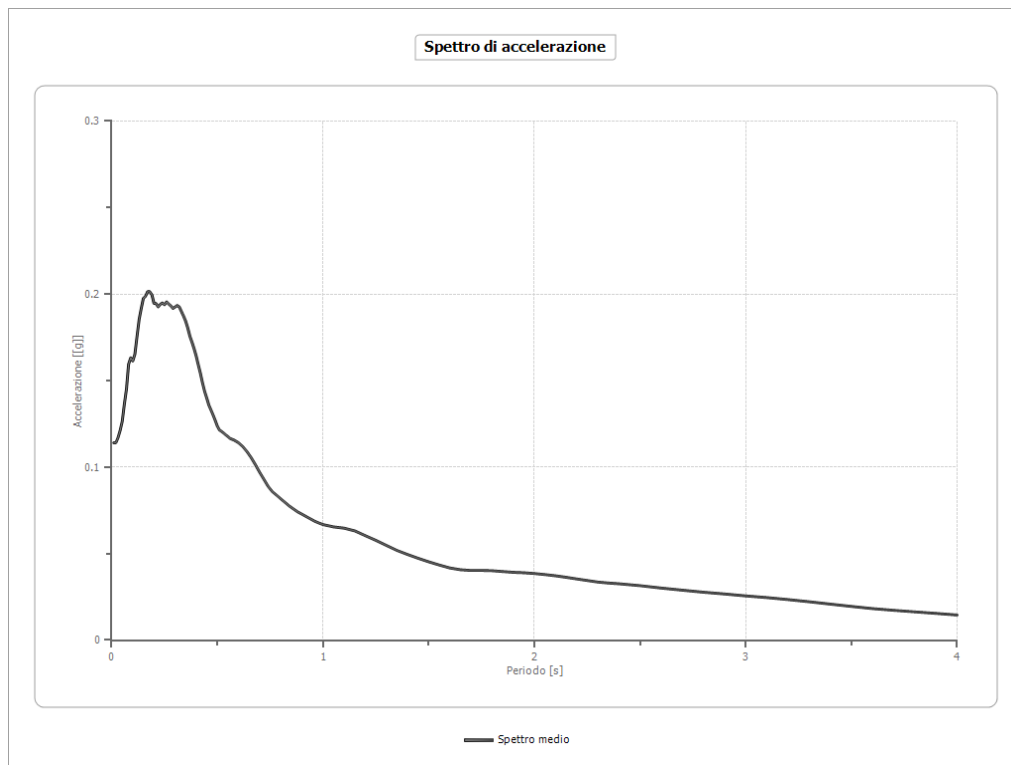
**STUDIO GEOTECNICO SAN LORENZO DEL VALLO(CS)**

**VIA PIAVE, 46**

**P.I.:03122700788**

**Spettro medio**

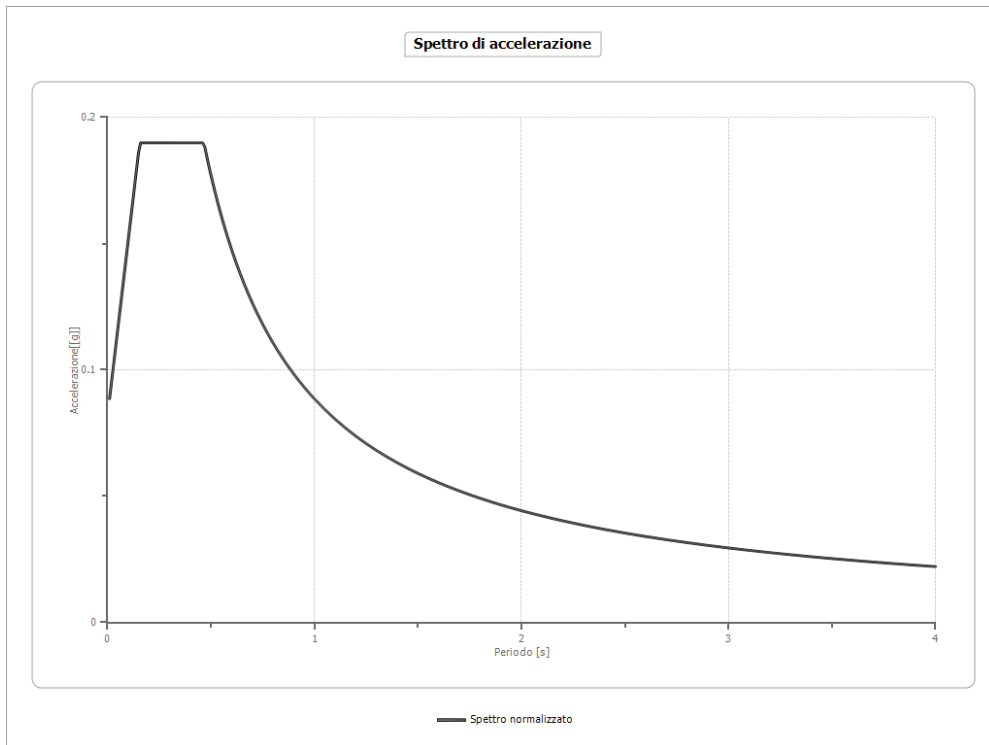
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.01	0.1141	0.27	0.1943	0.53	0.1197	1.00	0.0668	2.30	0.0336
0.02	0.1141	0.28	0.1932	0.54	0.1186	1.05	0.0655	2.35	0.0330
0.03	0.1171	0.29	0.1918	0.55	0.1177	1.10	0.0647	2.40	0.0326
0.04	0.1212	0.30	0.1926	0.56	0.1166	1.15	0.0632	2.50	0.0315
0.05	0.1264	0.31	0.1935	0.57	0.1161	1.20	0.0604	2.60	0.0301
0.06	0.1365	0.32	0.1927	0.58	0.1156	1.25	0.0577	2.70	0.0289
0.07	0.1451	0.33	0.1900	0.60	0.1141	1.30	0.0547	2.80	0.0277
0.08	0.1595	0.34	0.1873	0.62	0.1119	1.35	0.0519	2.90	0.0267
0.09	0.1633	0.35	0.1844	0.64	0.1090	1.40	0.0495	3.00	0.0256
0.10	0.1613	0.36	0.1805	0.66	0.1055	1.45	0.0473	3.10	0.0246
0.11	0.1654	0.37	0.1757	0.68	0.1014	1.50	0.0453	3.20	0.0235
0.12	0.1757	0.38	0.1723	0.70	0.0971	1.55	0.0434	3.30	0.0222
0.13	0.1855	0.39	0.1685	0.72	0.0930	1.60	0.0417	3.40	0.0208
0.14	0.1918	0.40	0.1642	0.74	0.0889	1.65	0.0407	3.50	0.0195
0.15	0.1977	0.41	0.1591	0.76	0.0858	1.70	0.0403	3.60	0.0183
0.16	0.1988	0.42	0.1541	0.78	0.0838	1.75	0.0403	3.70	0.0173
0.17	0.2015	0.43	0.1485	0.80	0.0817	1.80	0.0401	3.80	0.0164
0.18	0.2015	0.44	0.1437	0.82	0.0797	1.85	0.0397	3.90	0.0155
0.19	0.1997	0.45	0.1398	0.84	0.0776	1.90	0.0392	4.00	0.0145
0.20	0.1947	0.46	0.1358	0.86	0.0758	1.95	0.0390		
0.21	0.1946	0.47	0.1330	0.88	0.0742	2.00	0.0385		
0.22	0.1927	0.48	0.1301	0.90	0.0728	2.05	0.0379		
0.23	0.1942	0.49	0.1270	0.92	0.0715	2.10	0.0372		
0.24	0.1949	0.50	0.1237	0.94	0.0701	2.15	0.0363		
0.25	0.1939	0.51	0.1215	0.96	0.0688	2.20	0.0354		
0.26	0.1956	0.52	0.1207	0.98	0.0678	2.25	0.0345		



**DOTT.SSA GEOLOGO GRANDE GILDA**  
**O.R.G.C. n° 897**  
**STUDIO GEOTECNICO SAN LORENZO DEL VALLO(CS)**  
**VIA PIAVE, 46**  
**P.I.:03122700788**

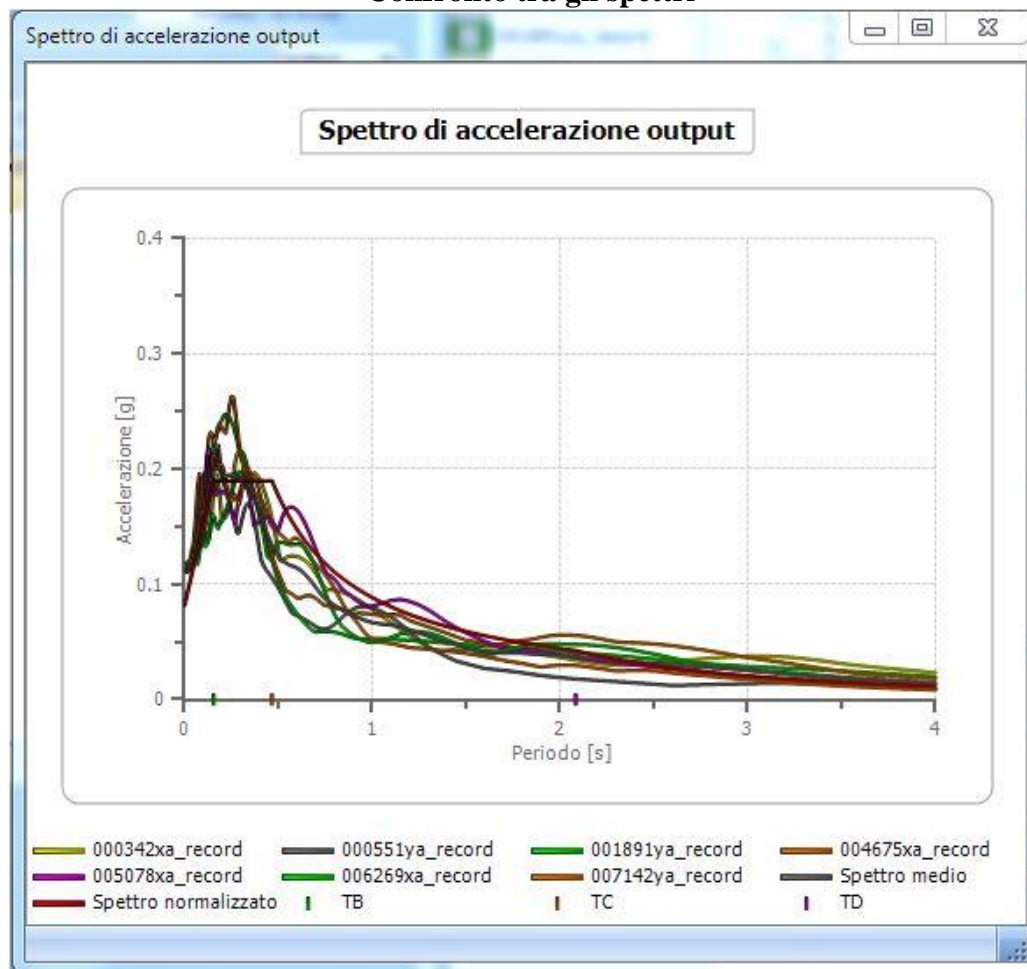
**Spettro normalizzato**

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.01	0.0886	0.27	0.1899	0.53	0.1670	1.00	0.0885	2.30	0.0385
0.02	0.0956	0.28	0.1899	0.54	0.1639	1.05	0.0843	2.35	0.0377
0.03	0.1025	0.29	0.1899	0.55	0.1609	1.10	0.0805	2.40	0.0369
0.04	0.1095	0.30	0.1899	0.56	0.1580	1.15	0.0770	2.50	0.0354
0.05	0.1165	0.31	0.1899	0.57	0.1553	1.20	0.0738	2.60	0.0340
0.06	0.1234	0.32	0.1899	0.58	0.1526	1.25	0.0708	2.70	0.0328
0.07	0.1304	0.33	0.1899	0.60	0.1475	1.30	0.0681	2.80	0.0316
0.08	0.1374	0.34	0.1899	0.62	0.1427	1.35	0.0656	2.90	0.0305
0.09	0.1443	0.35	0.1899	0.64	0.1383	1.40	0.0632	3.00	0.0295
0.10	0.1513	0.36	0.1899	0.66	0.1341	1.45	0.0610	3.10	0.0285
0.11	0.1583	0.37	0.1899	0.68	0.1301	1.50	0.0590	3.20	0.0277
0.12	0.1652	0.38	0.1899	0.70	0.1264	1.55	0.0571	3.30	0.0268
0.13	0.1722	0.39	0.1899	0.72	0.1229	1.60	0.0553	3.40	0.0260
0.14	0.1792	0.40	0.1899	0.74	0.1196	1.65	0.0536	3.50	0.0253
0.15	0.1862	0.41	0.1899	0.76	0.1164	1.70	0.0521	3.60	0.0246
0.16	0.1899	0.42	0.1899	0.78	0.1135	1.75	0.0506	3.70	0.0239
0.17	0.1899	0.43	0.1899	0.80	0.1106	1.80	0.0492	3.80	0.0233
0.18	0.1899	0.44	0.1899	0.82	0.1079	1.85	0.0478	3.90	0.0227
0.19	0.1899	0.45	0.1899	0.84	0.1054	1.90	0.0466	4.00	0.0221
0.20	0.1899	0.46	0.1899	0.86	0.1029	1.95	0.0454		
0.21	0.1899	0.47	0.1883	0.88	0.1006	2.00	0.0443		
0.22	0.1899	0.48	0.1844	0.90	0.0983	2.05	0.0432		
0.23	0.1899	0.49	0.1806	0.92	0.0962	2.10	0.0421		
0.24	0.1899	0.50	0.1770	0.94	0.0942	2.15	0.0412		
0.25	0.1899	0.51	0.1735	0.96	0.0922	2.20	0.0402		
0.26	0.1899	0.52	0.1702	0.98	0.0903	2.25	0.0393		



**DOTT.SSA GEOLOGO GRANDE GILDA**  
**O.R.G.C. n° 897**  
**STUDIO GEOTECNICO SAN LORENZO DEL VALLO(CS)**  
**VIA PIAVE, 46**  
**P.I.:03122700788**

### Confronto tra gli spettri

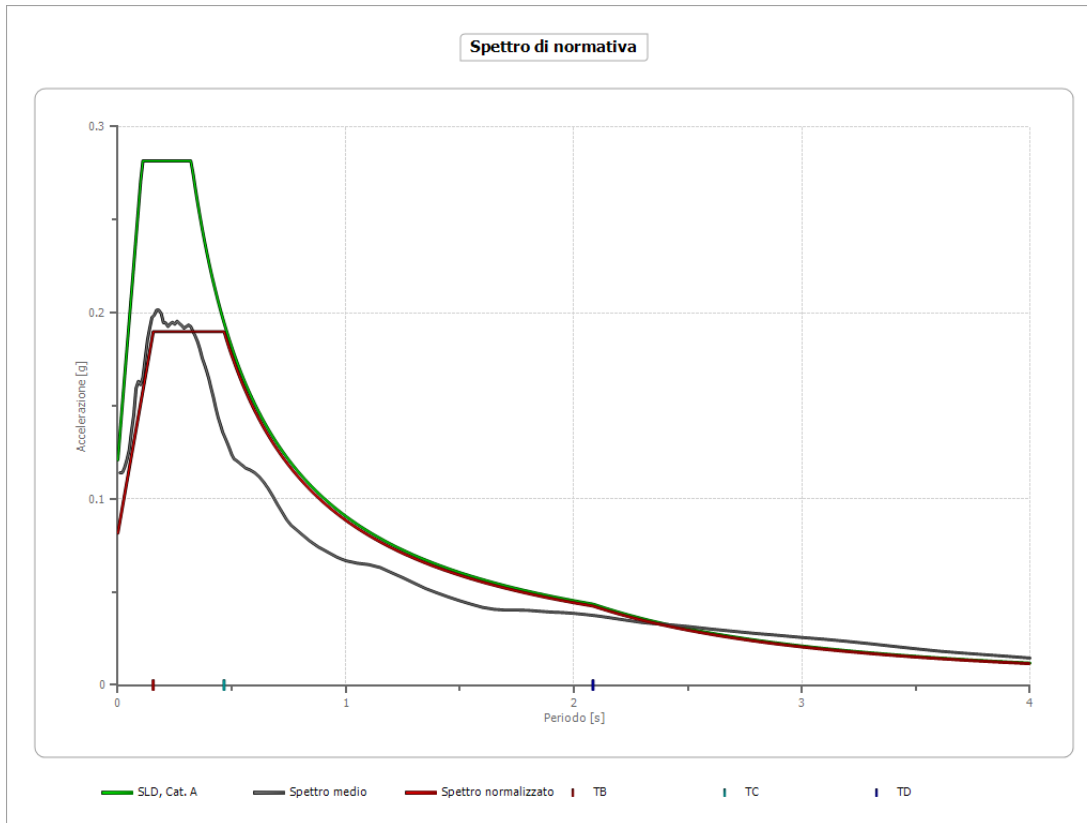


### Confronto spettro normativa

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	60	101	949	1950
ag [g]	0.092	0.121	0.344	0.450
Fo	2.304	2.328	2.402	2.477
Tc* [s]	0.302	0.322	0.396	0.427
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.101	0.107	0.132	0.142
TC [s]	0.302	0.322	0.396	0.427
TD [s]	1.968	2.084	2.976	3.400
Se(0) [g]	0.092	0.121	0.344	0.450
Se(TB) [g]	0.212	0.282	0.826	1.115

**DOTT.SSA GEOLOGO GRANDE GILDA**  
**O.R.G.C. n° 897**  
**STUDIO GEOTECNICO SAN LORENZO DEL VALLO(CS)**  
**VIA PIAVE, 46**  
**P.I.:03122700788**





**Elaborazione Analisi per lo stato limite SLV**

Numero di iterazioni                      50  
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima                      0.5  
Tipo di modulo elastico                      Shake  
Massimo errore percentuale di convergenza                      --

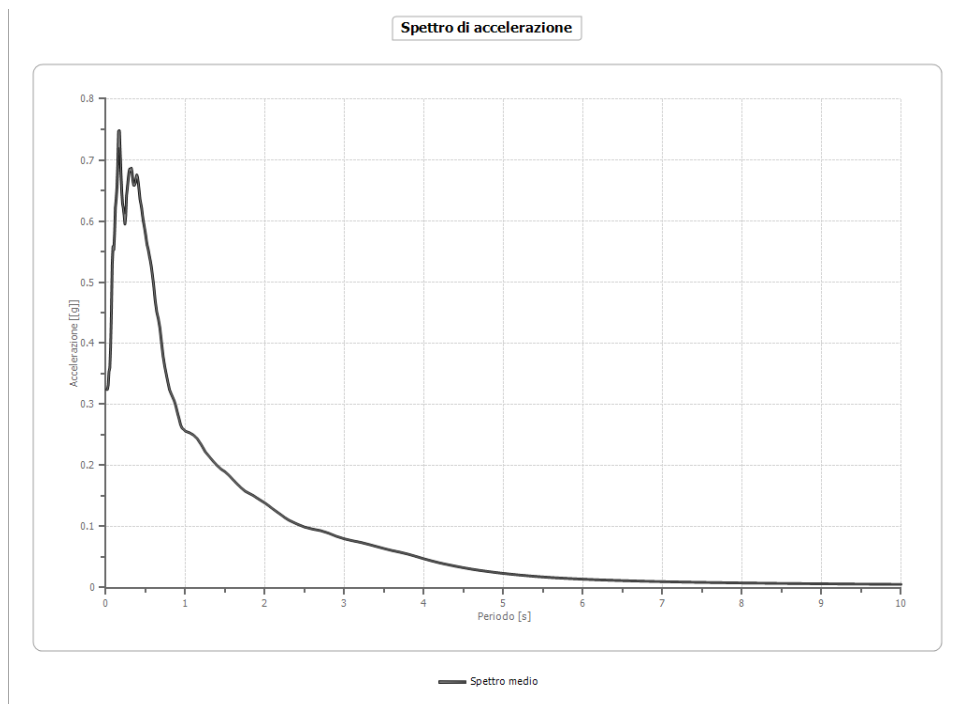
**Fattori di amplificazione**

Tai	0.170 [s]
Tvi	0.680 [s]
Tao	0.170 [s]
Tvo	1.950 [s]
Sami	8.087 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmi	0.559 [m/s]
Samo	6.285 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmo	0.503 [m/s]
<b>Fa</b>	<b>0.777 [-]</b>
<b>Fv</b>	<b>0.900 [-]</b>
TB	0.168 [s]
TC	0.503 [s]
TD	2.976 [s]
SA(0)	0.266 [g]
SA(TB)	0.641 [g]

**DOTT.SSA GEOLOGO GRANDE GILDA**  
**O.R.G.C. n° 897**  
**STUDIO GEOTECNICO SAN LORENZO DEL VALLO(CS)**  
**VIA PIAVE, 46**  
**P.I.:03122700788**

**Spettro medio**

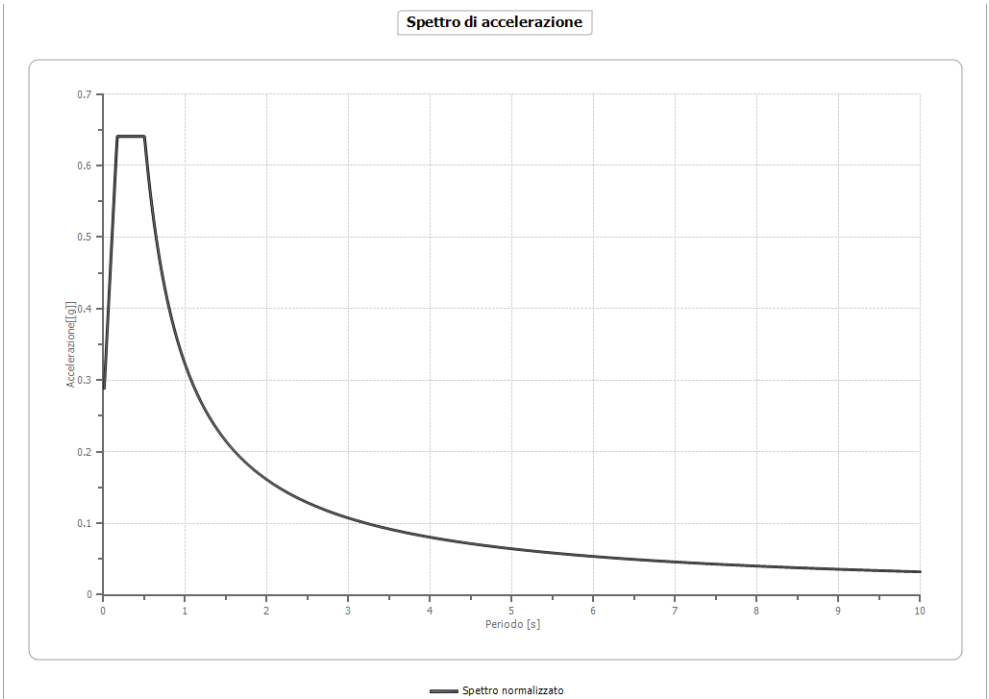
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.01	0.3244	0.33	0.6792	0.72	0.3789	1.90	0.1468	4.60	0.0303
0.02	0.3244	0.34	0.6663	0.74	0.3624	1.95	0.1426	4.70	0.0283
0.03	0.3313	0.35	0.6589	0.76	0.3491	2.00	0.1386	4.80	0.0265
0.04	0.3535	0.36	0.6587	0.78	0.3365	2.05	0.1339	4.90	0.0248
0.05	0.3600	0.37	0.6621	0.80	0.3242	2.10	0.1289	5.00	0.0233
0.06	0.3947	0.38	0.6702	0.82	0.3178	2.15	0.1241	5.10	0.0219
0.07	0.4510	0.39	0.6757	0.84	0.3118	2.20	0.1195	5.20	0.0206
0.08	0.5285	0.40	0.6709	0.86	0.3058	2.25	0.1147	5.40	0.0184
0.09	0.5585	0.41	0.6608	0.88	0.2973	2.30	0.1106	5.60	0.0166
0.10	0.5530	0.42	0.6483	0.90	0.2866	2.35	0.1075	5.80	0.0151
0.11	0.5795	0.43	0.6352	0.92	0.2767	2.40	0.1044	6.00	0.0138
0.12	0.6219	0.44	0.6285	0.94	0.2664	2.50	0.0991	6.20	0.0128
0.13	0.6364	0.45	0.6211	0.96	0.2608	2.60	0.0958	6.40	0.0119
0.14	0.6546	0.46	0.6105	0.98	0.2589	2.70	0.0933	6.60	0.0111
0.15	0.6916	0.47	0.6009	1.00	0.2561	2.80	0.0892	6.80	0.0104
0.16	0.7474	0.48	0.5938	1.05	0.2537	2.90	0.0840	7.00	0.0098
0.17	0.7480	0.49	0.5860	1.10	0.2499	3.00	0.0799	7.20	0.0093
0.18	0.7117	0.50	0.5777	1.15	0.2438	3.10	0.0767	7.40	0.0089
0.19	0.6782	0.51	0.5685	1.20	0.2340	3.20	0.0742	7.60	0.0084
0.20	0.6480	0.52	0.5603	1.25	0.2225	3.30	0.0709	7.80	0.0081
0.21	0.6283	0.53	0.5553	1.30	0.2146	3.40	0.0674	8.00	0.0077
0.22	0.6211	0.54	0.5485	1.35	0.2069	3.50	0.0639	8.50	0.0070
0.23	0.6091	0.55	0.5410	1.40	0.1998	3.60	0.0607	9.00	0.0063
0.24	0.5950	0.56	0.5346	1.45	0.1938	3.70	0.0580	9.50	0.0058
0.25	0.6091	0.57	0.5272	1.50	0.1896	3.80	0.0548	10.00	0.0054
0.26	0.6417	0.58	0.5175	1.55	0.1837	3.90	0.0511		
0.27	0.6534	0.60	0.4967	1.60	0.1766	4.00	0.0472		
0.28	0.6673	0.62	0.4704	1.65	0.1700	4.10	0.0437		
0.29	0.6794	0.64	0.4511	1.70	0.1636	4.20	0.0404		
0.30	0.6853	0.66	0.4402	1.75	0.1580	4.30	0.0376		
0.31	0.6823	0.68	0.4249	1.80	0.1545	4.40	0.0350		
0.32	0.6866	0.70	0.4012	1.85	0.1511	4.50	0.0325		



**DOTT.SSA GEOLOGO GRANDE GILDA**  
**O.R.G.C. n° 897**  
**STUDIO GEOTECNICO SAN LORENZO DEL VALLO(CS)**  
**VIA PIAVE, 46**  
**P.I.:03122700788**

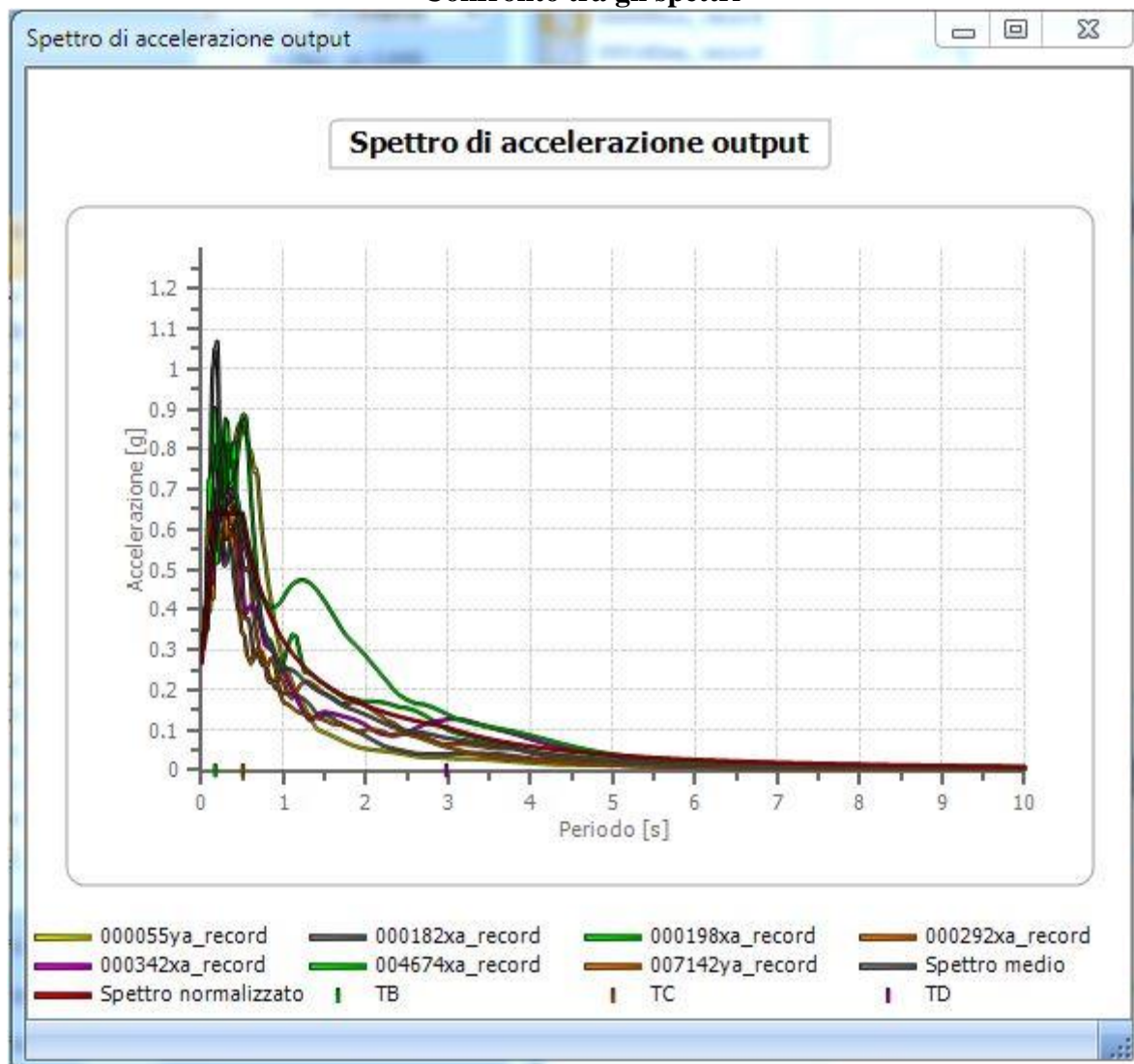
**Spettro normalizzato**

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.01	0.2887	0.33	0.6407	0.72	0.4472	1.90	0.1695	4.60	0.0700
0.02	0.3111	0.34	0.6407	0.74	0.4351	1.95	0.1651	4.70	0.0685
0.03	0.3334	0.35	0.6407	0.76	0.4236	2.00	0.1610	4.80	0.0671
0.04	0.3558	0.36	0.6407	0.78	0.4128	2.05	0.1571	4.90	0.0657
0.05	0.3781	0.37	0.6407	0.80	0.4025	2.10	0.1533	5.00	0.0644
0.06	0.4004	0.38	0.6407	0.82	0.3926	2.15	0.1498	5.10	0.0631
0.07	0.4228	0.39	0.6407	0.84	0.3833	2.20	0.1464	5.20	0.0619
0.08	0.4451	0.40	0.6407	0.86	0.3744	2.25	0.1431	5.40	0.0596
0.09	0.4675	0.41	0.6407	0.88	0.3659	2.30	0.1400	5.60	0.0575
0.10	0.4898	0.42	0.6407	0.90	0.3577	2.35	0.1370	5.80	0.0555
0.11	0.5122	0.43	0.6407	0.92	0.3500	2.40	0.1342	6.00	0.0537
0.12	0.5345	0.44	0.6407	0.94	0.3425	2.50	0.1288	6.20	0.0519
0.13	0.5569	0.45	0.6407	0.96	0.3354	2.60	0.1238	6.40	0.0503
0.14	0.5792	0.46	0.6407	0.98	0.3285	2.70	0.1192	6.60	0.0488
0.15	0.6016	0.47	0.6407	1.00	0.3220	2.80	0.1150	6.80	0.0473
0.16	0.6239	0.48	0.6407	1.05	0.3066	2.90	0.1110	7.00	0.0460
0.17	0.6407	0.49	0.6407	1.10	0.2927	3.00	0.1073	7.20	0.0447
0.18	0.6407	0.50	0.6407	1.15	0.2800	3.10	0.1039	7.40	0.0435
0.19	0.6407	0.51	0.6313	1.20	0.2683	3.20	0.1006	7.60	0.0424
0.20	0.6407	0.52	0.6192	1.25	0.2576	3.30	0.0976	7.80	0.0413
0.21	0.6407	0.53	0.6075	1.30	0.2477	3.40	0.0947	8.00	0.0402
0.22	0.6407	0.54	0.5962	1.35	0.2385	3.50	0.0920	8.50	0.0379
0.23	0.6407	0.55	0.5854	1.40	0.2300	3.60	0.0894	9.00	0.0358
0.24	0.6407	0.56	0.5749	1.45	0.2220	3.70	0.0870	9.50	0.0339
0.25	0.6407	0.57	0.5649	1.50	0.2146	3.80	0.0847	10.00	0.0322
0.26	0.6407	0.58	0.5551	1.55	0.2077	3.90	0.0826		
0.27	0.6407	0.60	0.5366	1.60	0.2012	4.00	0.0805		
0.28	0.6407	0.62	0.5193	1.65	0.1951	4.10	0.0785		
0.29	0.6407	0.64	0.5031	1.70	0.1894	4.20	0.0767		
0.30	0.6407	0.66	0.4878	1.75	0.1840	4.30	0.0749		
0.31	0.6407	0.68	0.4735	1.80	0.1789	4.40	0.0732		
0.32	0.6407	0.70	0.4600	1.85	0.1740	4.50	0.0715		



**DOTT.SSA GEOLOGO GRANDE GILDA**  
**O.R.G.C. n° 897**  
**STUDIO GEOTECNICO SAN LORENZO DEL VALLO(CS)**  
**VIA PIAVE, 46**  
**P.I.:03122700788**

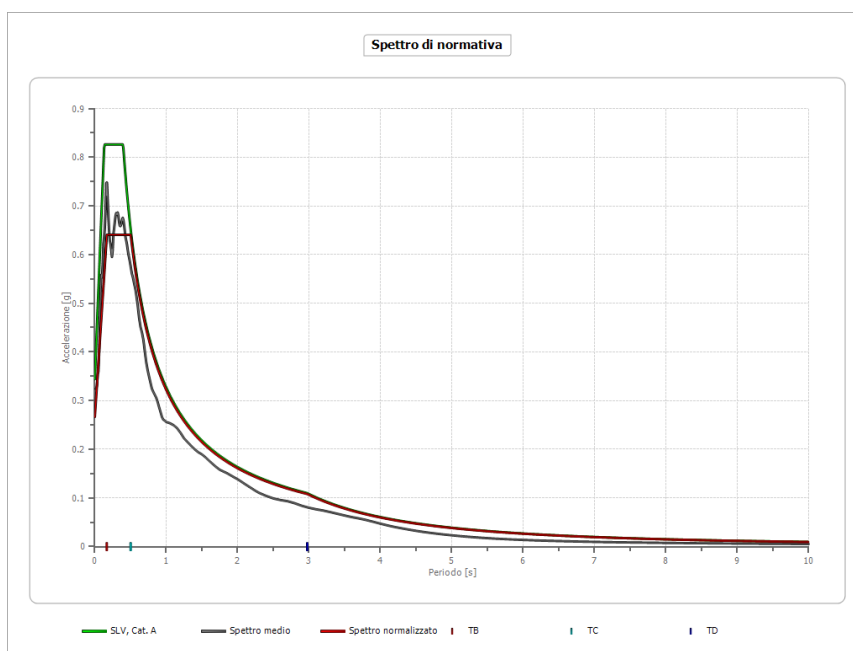
### Confronto tra gli spettri



### Confronto spettro normativa

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	60	101	949	1950
ag [g]	0.092	0.121	0.344	0.450
Fo	2.304	2.328	2.402	2.477
Tc* [s]	0.302	0.322	0.396	0.427
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.101	0.107	0.132	0.142
TC [s]	0.302	0.322	0.396	0.427
TD [s]	1.968	2.084	2.976	3.400
Se(0) [g]	0.092	0.121	0.344	0.450
Se(TB) [g]	0.212	0.282	0.826	1.115

**DOTT.SSA GEOLOGO GRANDE GILDA**  
**O.R.G.C. n° 897**  
**STUDIO GEOTECNICO SAN LORENZO DEL VALLO(CS)**  
**VIA PIAVE, 46**  
**P.I.:03122700788**



## **7. CONCLUSIONI**

La relazione sulla pericolosità sismica di base, ha permesso di acquisire un grado sufficientemente chiaro delle caratteristiche sismiche dei terreni presenti nell'area in esame, sita nel Comune di Saracena (Cs) per il progetto di "Lavori di miglioramento sismico edificio strategico – Municipio sede COC".

Riassumendo, nell'area interessata dall'intervento, i risultati dell'indagine eseguita pongono in evidenza quanto segue:

- La classe di sottosuolo identificata, tramite le indagini geofisiche eseguite in situ per il calcolo della  $V_{s,30}$ , è la categoria "A";
- La superficie topografica è risultata la "T<sub>1</sub>";
- Ai fini del calcolo strutturale, **si consiglia l'utilizzo degli spettri di normativa** in quanto più restrittivi rispetto a quelli normalizzati, come si evince dal confronto degli stessi, nell'analisi sismica locale;
- Si conclude quindi che dal punto di vista della pericolosità sismica non si rilevano condizioni a priori ostative al progetto e, di conseguenza, si esprime parere favorevole per gli interventi strutturali da realizzare e programmati.

Agosto, 2017

**Il Geologo**

Dott.ssa Gilda Grande

---

**DOTT.SSA GEOLOGO GRANDE GILDA**  
**O.R.G.C. n° 897**  
**STUDIO GEOTECNICO SAN LORENZO DEL VALLO(CS)**  
**VIA PIAVE, 46**  
**P.I.:03122700788**