

Studio Geologico-Prospezione
Geognostica-Mineraria
Dott. Geol. Zappa Michelangelo

Via della Collina N°3
87030-Falconara Albanese (CS)
Tel.0982/82162 Mob. 347/2487748

***"Messa in sicurezza della sponda destra idrografica, rischio PAI R4,
torrente Cordari in località Frailliti."***

Loc.tà Frailliti

Comune di Longobardi (CS)

Committente: Amministrazione Comunale

***Relazione sulla pericolosità
sismica di base***

Elaborato N°:

**Il Geologo
Dott. Zappa Michelangelo**



VISTI

Falconara Albanese li 03/12/2020

Indice

Introduzione.....	2
CAPITOLO:	
1.Sismicità.....	4
2.Pericolosità sismica di base.....	7
3. Indagini Geofisiche eseguite.....	15
4. Risposta sismica locale III.....	49

Introduzione:

Lo studio sulla pericolosità sismica di base cui si riferisce la presente relazione, eseguito per conto del Comune di Longobardi (CS), con determina del Responsabile del Servizio N°287 del:10/09/2020, N.Reg.Gen:384, rientra nell'ambito del Progetto di: ***“Messa in sicurezza della sponda destra idrografica, rischio PAI R4, torrente Cordari in località Frailliti.”*** nel Comune di Longobardi (CS).

I riferimenti topografici dell' area di studio sono i seguenti:

- Longobardi (Foglio 236 IV SO sez. B) I.G.M. scala 1:10000.
- Fiumefreddo Bruzio (Foglio 236 IV SO) Carta Geologica D'Italia scala 1:25000.
- Longobardi (Elemento numero 559132) Carta Tecnica Regionale scala 1:5000.

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 successivi e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006 e successivi.

Lo studio è stato eseguito in ottemperanza alla Legge¹ n. 64 del 2/2/74, all'Ord. P.C.M.² n. 3274 del 20/03/2003, nel rispetto delle Norme Tecniche contenute nel D.M.³ 16/1/96 (ex D.M. 24/1/86), nel D.M.⁴ 11/3/88 (ex D.M. 21/1/81) e nella Circolare⁵ LL.PP. 24/9/88 n. 30483, della Legge Regionale⁶ del 27/04/98 n. 7 (ex L.R. n. 17 del 11.7.94) e nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) della Calabria (ai sensi dell'art. 1-bis della Legge 365/2000, dell'art. 17 Legge 18 maggio 1989 n. 183, dell'art. 1 Legge 3 agosto 1998 n. 267), considerando, in ultimo, il D.M. 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni", la Legge Regionale n. 35/2009 (legge antisismica) che comprende anche le indicazioni per la gestione del regime transitorio ai sensi della recente Legge Regionale n. 25/2012, approvata dal Consiglio regionale l'11 giugno 2012, il D.M. 17 Gennaio 2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" e la Circolare Ministeriale N°7 del 21 Gennaio 2019.

¹ Legge 2 Febbraio 1974, n. 64 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".

² Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

³ Decreto Ministero LL.PP. 16 Gennaio 1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica".

⁴ Decreto Ministero LL.PP. 11 Marzo 1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".

⁵ Circolare Ministero LL.PP. 24 Settembre 1988, n. 30483 "Istruzioni per l'applicazione del D.M. 11/3/88".

⁶ Legge Regionale 27 Aprile 1998 n. 7 "Disciplina per le costruzioni ricadenti in zone sismiche. Snellimento delle procedure in attuazione dell'art. 20 della Legge 10/12/81 n. 741.

1.SISMICITÀ

1.1.Sismicità storica

La sismicità storica del Comune di Longobardi è stata desunta dal database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani (DBMI15) 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 diagramma di Figura 1.1.1

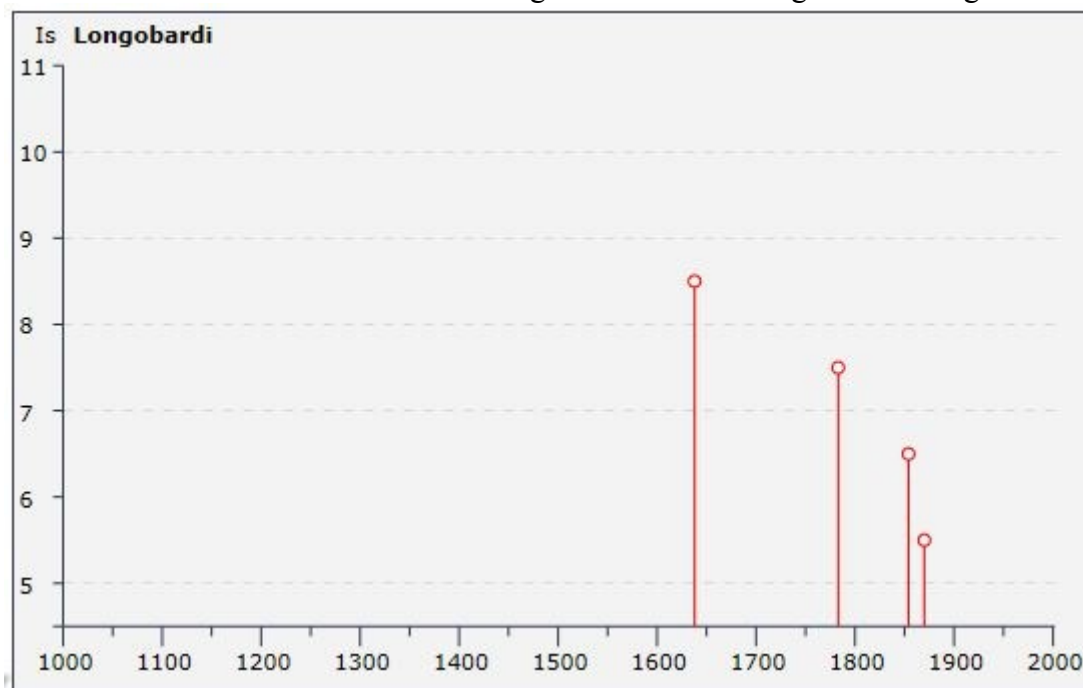


Fig. 1.1.1 - Diagramma della storia sismica del Comune di Longobardi (CS).

Nella successiva Figura 1.1.2. 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 Longobardi [39.206, 16.076]

Numero di eventi: 6

Effetti	In occasione del terremoto del:								
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Area epicentrale	Np	Ix	Mw
8-9	1638	03	27	15	05	Calabria	206	11	7.00
7-8	1783	03	28	18	55	Calabria	323	11	6.94
6-7	1854	02	12	17	50	Cosentino	89	10	6.15
5-6	1870	10	04	16	55	Cosentino	56	10	6.16
3	1887	12	03	03	45	Calabria settent.	142	9	5.52
NF	1996	04	27	00	38	COSENTINO	123	7	4.81

Fig.1.1.Eventi sismici Comune di Longobardi (CS)

1.2 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.

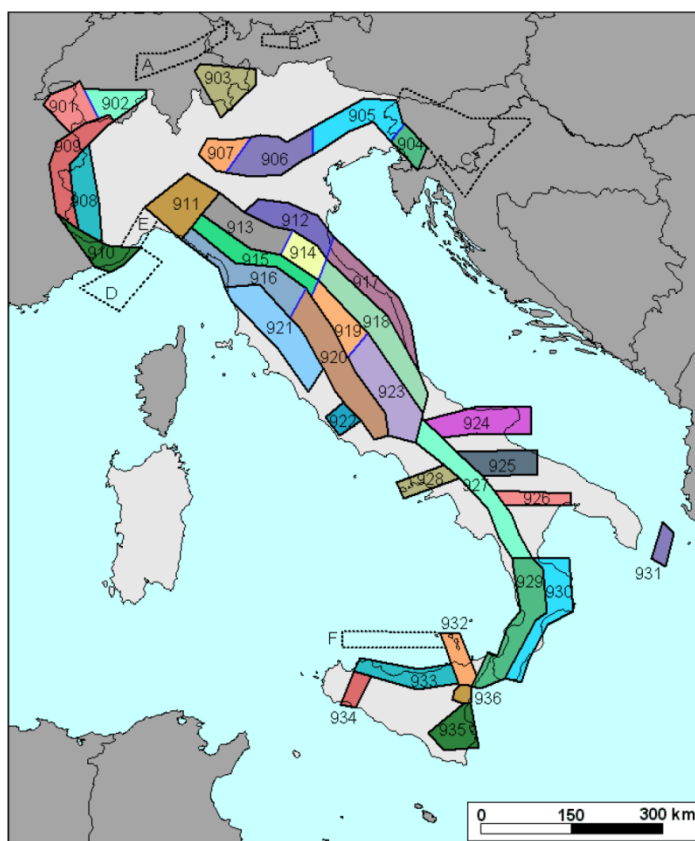


Fig. 1.2.1 - Zonizzazione sismogenetica ZS9

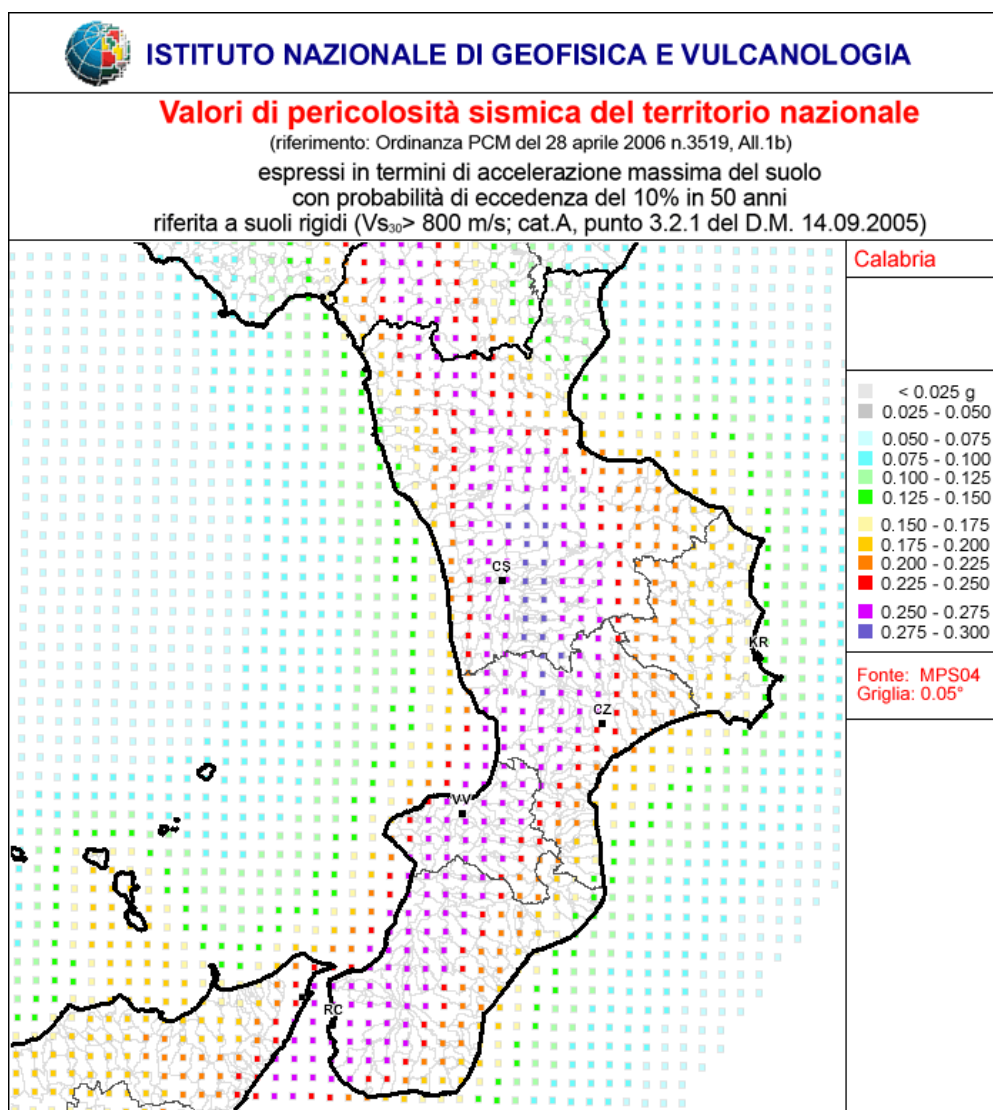
Tale modello riprende sostanzialmente il retroterra informativo della precedente zonazione, recependo i più recenti avanzamenti delle conoscenze sulla tettonica attiva della penisola anche considerando le indicazioni derivanti da episodi sismici più recenti (es. Bormio 2000, Monferrato 2001, ecc.). La 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.

Fig. 1.2.2 - 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 Longobardi, ricadendo in zona 1, è pari a 0,214928 g.

2.PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Le Norme Tecniche per le costruzioni del D.M. 14-01-2008 e D.M. 17-01-2018 e la Circolare Ministeriale N°7 del 21.01.2019 hanno modificato le modalità di valutazione delle azioni di progetto. In particolare nel documento sulla pericolosità sismica (Allegato A), l'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base, che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali.

Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni a_g e dai parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g : accelerazione orizzontale massima del terreno;
- 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.

Questi tre parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento, i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno (variabili tra 30 e 975 anni).

Quindi, in funzione delle coordinate geografiche del sito interessato, si determinano i valori di riferimento, come media pesata dei valori nei vertici della maglia interessata, in base alle tabelle dei parametri spettrali fornite dal ministero, moltiplicati per le distanze dal punto.

La maglia di riferimento è costituita dai seguenti nodi:

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	40332	39,206390	16,003840	5429,95
2	40333	39,204900	16,068240	359,80
3	40555	39,154910	16,066330	5228,00
4	40554	39,156410	16,001960	7526,85

I valori dei principali parametri sismici (a_g , F_0 , T_C^*) riferiti all'area in oggetto sono esplicitati nella seguente tabella:

Stato limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	90	0,093	2,390	0,342

SLD	151	0,117	2,407	0,358
SLV	1424	0,288	2,526	0,443
SLC	2475	0,352	2,577	0,453

L'azione sismica così individuata, viene successivamente variata, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni stratigrafiche locali del sottosuolo, effettivamente presenti nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie; tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale (**RSL**).

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi; in assenza di tali analisi, si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento, attraverso la misura delle V_{s30} o di altri parametri geotecnici. In particolare si valuta:

Effetti Stratigrafici

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si individuano le seguenti categorie di sottosuolo:

Categorie	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} , compresi fra 360 m/s e 800 m/s ($N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa o $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi fra 180 e 360 m/s ($15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa, $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati oppure di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ($N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa, $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, giacenti su un substrato di riferimento ($V_{s30} > 800$ m/s).

Nelle definizioni precedenti la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,

$V_{s,eq}$ (in m/s) è definita dall'espressione:

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

con

h_i = spessore dello stato i-esimo;

$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N = numero di strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/sec.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Dalle prospezione geofisica effettuata è scaturito un valore di V_{S30} pari a 472,88 m/s. In base a tale valore, il terreno interessato può essere classificato come di Categoria B:

Effetti Topografici

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

a cui corrispondono i seguenti valori del coefficiente topografico:

Categoria	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,00
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,20
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,20
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,40

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Il sito in esame rientra nella categoria T2

2.1 Riepilogo Parametri Sismici

=====

Azione sismica NTC 2018 e Circolare Ministeriale N°7 del 21.01.2019

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 39,2009048 [°]

Longitudine (WGS84): 16,0657825 [°]

Latitudine (ED50): 39,2019272 [°]

Longitudine (ED50): 16,0665951 [°]

=====

SISMA

=====

Accelerazione massima (ag/g) 0.214

Effetto sismico secondo NTC 2018 e Circolare Ministeriale N°7 del 21.01.2019

=====

Coefficienti sismici [N.T.C.]

=====

Dati generali

Vita nominale (Vn): 75 [anni]

Classe d'uso: IV

Coefficiente d'uso (Cu): 2

Periodo di riferimento (Vr): 150 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 90 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLD: 151 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLV: 1424 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLC: 2475 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T2

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

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	40332	39,206390	16,003840	5429,95

2	40333	39,204900	16,068240	359,80
3	40555	39,154910	16,066330	5228,00
4	40554	39,156410	16,001960	7526,85

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

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0,049	2,352	0,294
	50	0,063	2,408	0,324
	72	0,074	2,415	0,342
SLO	90	0,082	2,430	0,351
	101	0,086	2,438	0,355
	140	0,098	2,461	0,367
SLD	151	0,101	2,463	0,370
	201	0,114	2,472	0,380
	475	0,160	2,500	0,433
	975	0,209	2,535	0,455
SLV	1424	0,236	2,573	0,462
SLC	2475	0,283	2,631	0,472

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0,055	2,352	0,287
	50	0,071	2,357	0,320
	72	0,085	2,377	0,334
SLO	90	0,094	2,385	0,341
	101	0,099	2,389	0,346
	140	0,116	2,395	0,354
SLD	151	0,120	2,400	0,356
	201	0,136	2,419	0,364
	475	0,195	2,428	0,415
	975	0,257	2,486	0,433
SLV	1424	0,295	2,520	0,440
SLC	2475	0,360	2,570	0,451

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0,054	2,355	0,287
	50	0,070	2,362	0,320
	72	0,083	2,386	0,334
SLO	90	0,092	2,393	0,342
	101	0,097	2,397	0,346
	140	0,112	2,407	0,356
SLD	151	0,116	2,412	0,358
	201	0,132	2,431	0,366
	475	0,189	2,436	0,419

	975	0,248	2,496	0,437
SLV	1424	0,284	2,532	0,444
SLC	2475	0,345	2,585	0,455

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0,049	2,350	0,294
	50	0,062	2,416	0,324
	72	0,073	2,417	0,342
SLO	90	0,080	2,436	0,351
	101	0,084	2,446	0,355
	140	0,097	2,465	0,368
SLD	151	0,100	2,468	0,370
	201	0,112	2,481	0,381
	475	0,156	2,509	0,436
	975	0,203	2,543	0,458
SLV	1424	0,230	2,582	0,465
SLC	2475	0,275	2,640	0,476

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	90	0,093	2,390	0,342
SLD	151	0,117	2,407	0,358
SLV	1424	0,288	2,526	0,443
SLC	2475	0,352	2,577	0,453

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITOCoefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1,000

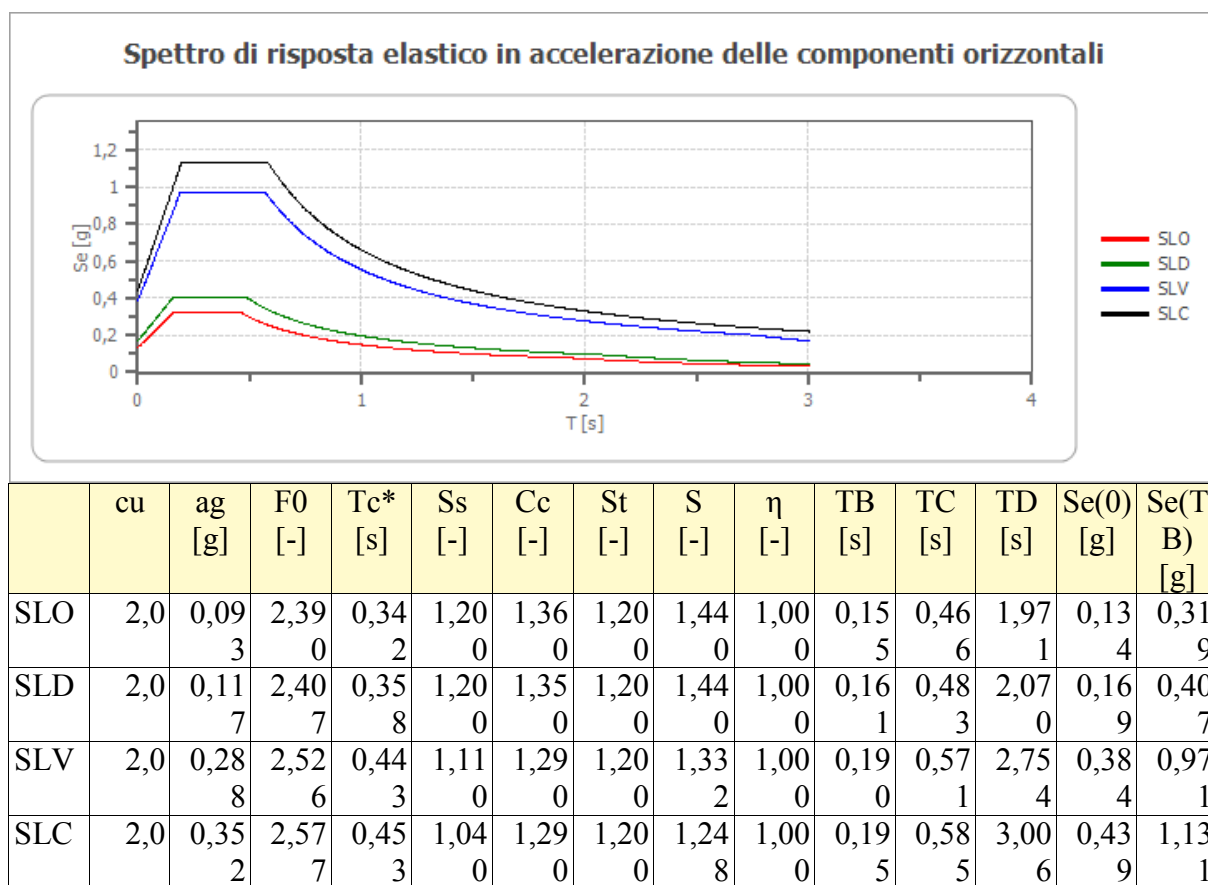
Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica:

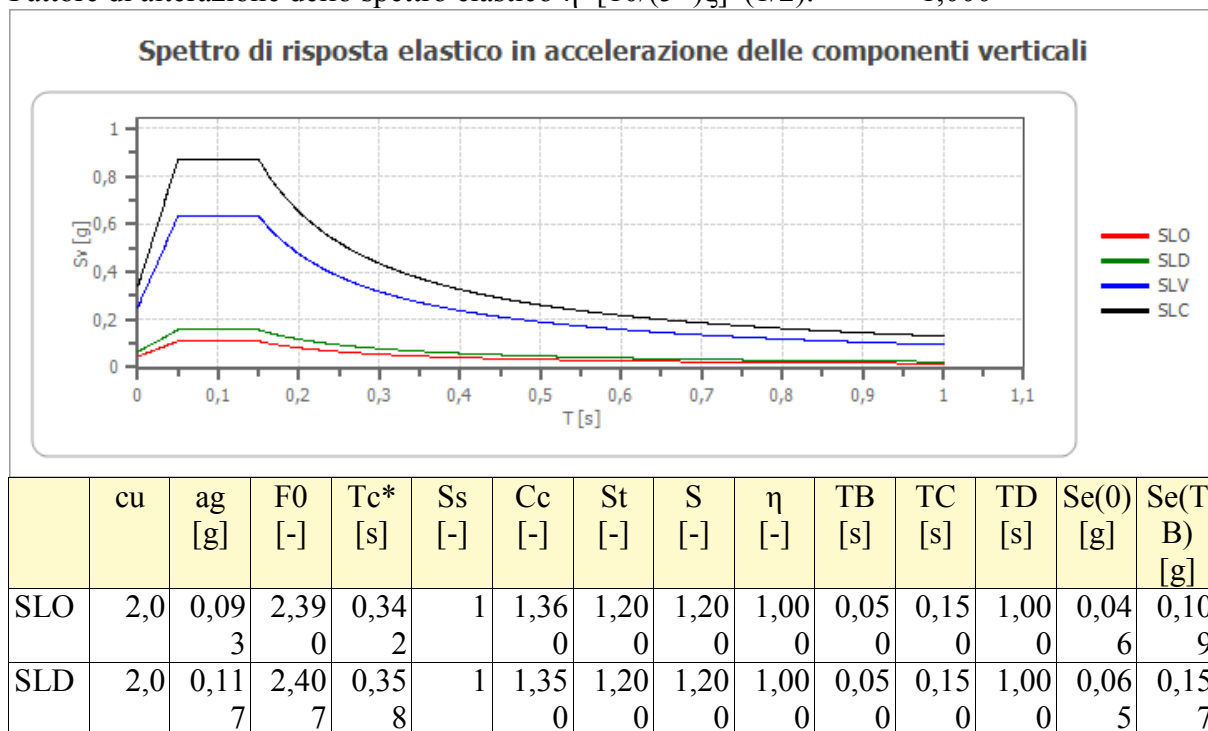
T2: Pendii con inclinazione media maggiore di 15°

Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,027	0,041	0,108	0,123
kv	0,013	0,020	0,054	0,061
amax [m/s ²]	1,310	1,659	3,768	4,302
Beta	0,200	0,240	0,280	0,280

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

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



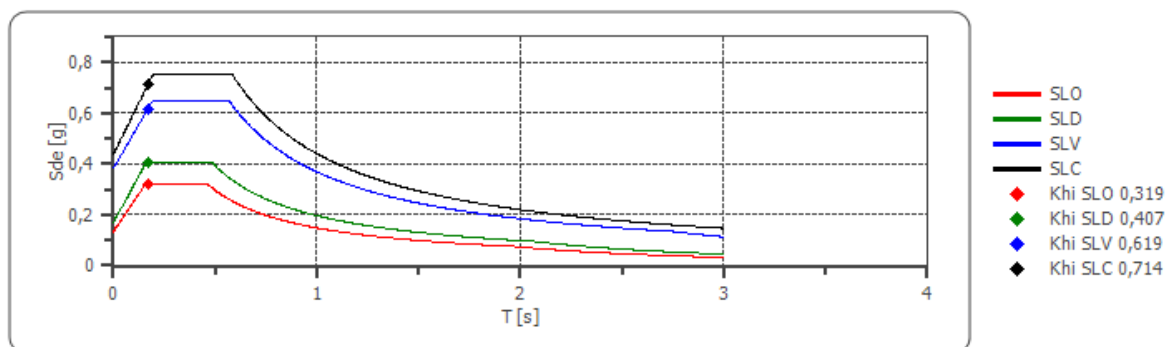
SLV	2,0	0,28 8	2,52 6	0,44 3	1	1,29 0	1,20 0	1,20 0	1,00 0	0,05 0	0,15 0	1,00 0	0,25 1	0,63 4
SLC	2,0	0,35 2	2,57 7	0,45 3	1	1,29 0	1,20 0	1,20 0	1,00 0	0,05 0	0,15 0	1,00 0	0,33 8	0,87 0

Spettro di progetto

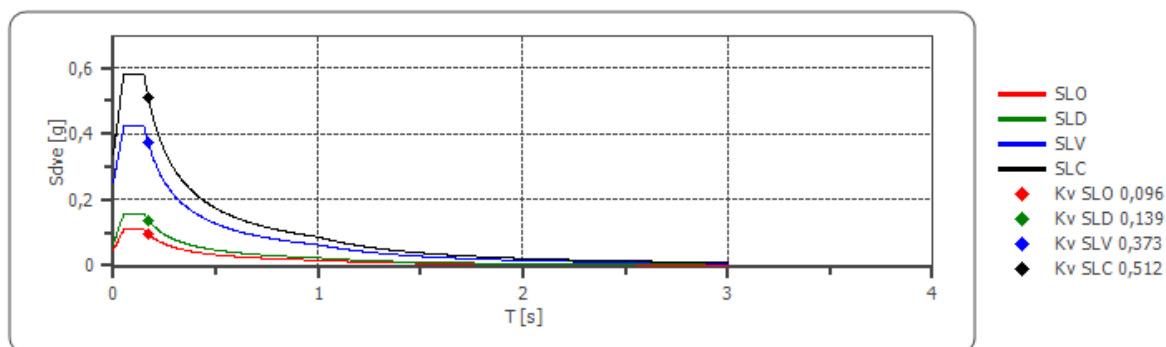
Fattore di struttura spettro orizzontale q: 1,50
 Fattore di struttura spettro verticale q: 1,50
 Periodo fondamentale T: 0,17 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0,319	0,407	0,619	0,714
kv = Sdve(T) Verticale [g]	0,096	0,139	0,373	0,512

Spettro di progetto delle componenti orizzontali



Spettro di progetto delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(T B) [g]
SLO orizz ontal e	2,0	0,09 3	2,39 0	0,34 2	1,20 0	1,36 0	1,20 0	1,44 0	1,00 0	0,15 5	0,46 6	1,97 1	0,13 4	0,31 9
SLO	2,0	0,09	2,39	0,34	1,20	1,36	1,20	1,20	1,00	0,05	0,15	1,00	0,04	0,10

verticale		3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	6	9
SLD orizzontale	2,0	0,117	2,407	0,358	1,200	1,350	1,200	1,440	1,000	0,161	0,483	2,070	0,169	0,407
SLD verticale	2,0	0,117	2,407	0,358	1,200	1,350	1,200	1,200	1,000	0,050	0,150	1,000	0,065	0,157
SLV orizzontale	2,0	0,288	2,526	0,443	1,110	1,290	1,200	1,332	1,500	0,190	0,571	2,754	0,384	0,647
SLV verticale	2,0	0,288	2,526	0,443	1,110	1,290	1,200	1,200	1,500	0,050	0,150	1,000	0,251	0,423
SLC orizzontale	2,0	0,352	2,577	0,453	1,040	1,290	1,200	1,248	1,500	0,195	0,585	3,006	0,439	0,754
SLC verticale	2,0	0,352	2,577	0,453	1,040	1,290	1,200	1,200	1,500	0,050	0,150	1,000	0,338	0,580

3. Indagini geofisiche tipo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Generalità sulle indagini

M.A.S.W.

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado rispetto alla direzione di propagazione delle onde che vengono generate. Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a $0,92VS$. In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e $0,92 VS$. La teoria della propagazione delle onde superficiali è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957). La determinazione della velocità delle onde di taglio VS tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%). Inoltre l'ampiezza delle onde superficiali dipende da \sqrt{r} e non da r come per le onde di volume. I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla VP e dalla densità, è funzione innanzitutto della VS, parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dalle recenti normative antisismiche (O.P.C.M. 3274/03; O.P.C.M. 3431/05; D.M. 14 Gennaio 2008, D.M. 17 Gennaio 2018 e Circ. Min. n°7 del 21.01.2019). Infatti, mentre la velocità delle onde P misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal

fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde S è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde P, risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno. La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle VS, è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati.

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite processo di inversione.

La velocità delle onde di Rayleigh (VR) è pari a circa il 90% delle onde di taglio (VS). Le tecniche di analisi delle onde di Rayleigh hanno un grado di incertezza nella determinazione delle VS <15%.

Le indagini geofisiche, appartengono alla categoria delle indagini indirette, caratterizzate pertanto da una componente soggettiva, dell'operatore, in fase di programmazione e acquisizione dei dati di campagna, e del analista in fase di elaborazione dei dati, si raccomanda pertanto di tarare sempre la risposta ottenuta dalle indagini geofisiche e dalle indagini indirette in genere, mediante l'esecuzione di indagini dirette che avvalorino le risultanze ottenute.

CARATTERISTICHE DELL'APPARECCHIATURA

Per l'esecuzione dell'indagine di sismica di tipo MASW, eseguita dallo scrivente è stato impiegato il seguente sistema di acquisizione:

- ✓ *Sismografo multicanale Doremi-Sara a 16 bit, rete differenziale RS485 half-duplex multipoint;*
- ✓ *Cavo modulare con 24 canali, 24 geofoni verticali da 4,5Hz, geofono start geospace da 10 Hz;*
- ✓ *Energizzatore costituito da massa battente di 8 Kg e da piastra in duralluminio;*
- ✓ *Prolunghe e materiale d'uso;*
- ✓ *Le misure sono state eseguite da un Geologo "Prospettore Geofisico", coadiuvato da un "Aiuto Prospettore";*
- ✓ *Durante i rilievi si è provveduto a controllare costantemente la qualità dei dati per verificare l'operatività del sistema;*

RILEVAMENTO ED INTERPRETAZIONE

Profilo sismico di tipo MASW da 36.00 ml	
N° canali di registrazione	12
Distanza intergeofonica	3 m
Numero di Shoot	2(500e 1000Hz)
Durata	2 s
Campionamento	1 ms
Sistema di energizzazione	Massa battente

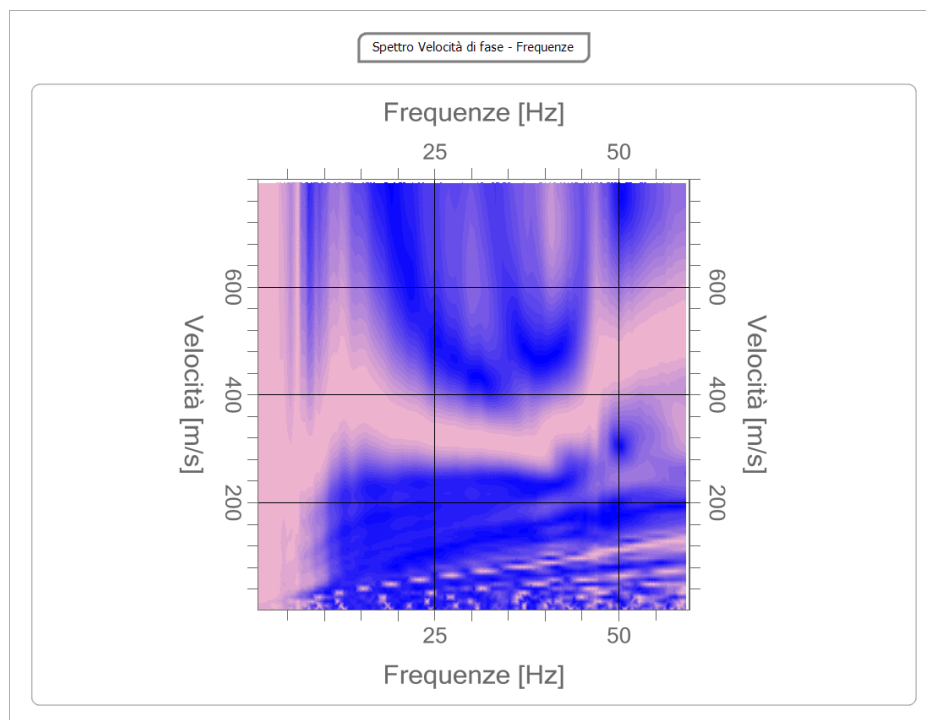
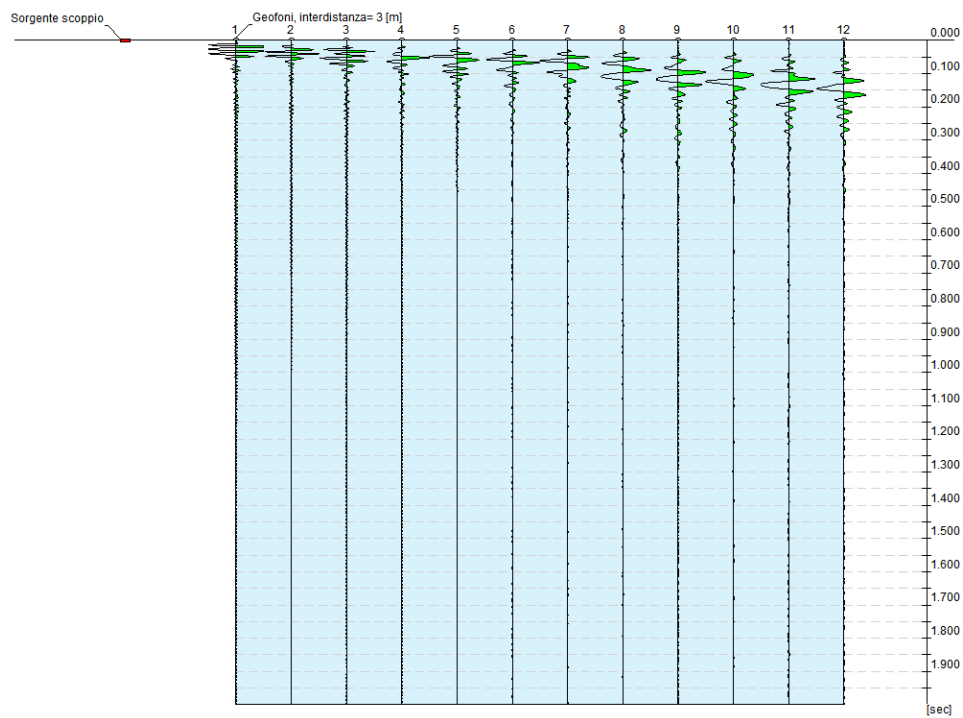
L'interpretazione dei dati è stata effettuata analiticamente e con calcolo automatico mediante software Heasy MASW della Geostru Software, attraverso una procedura così descritta:

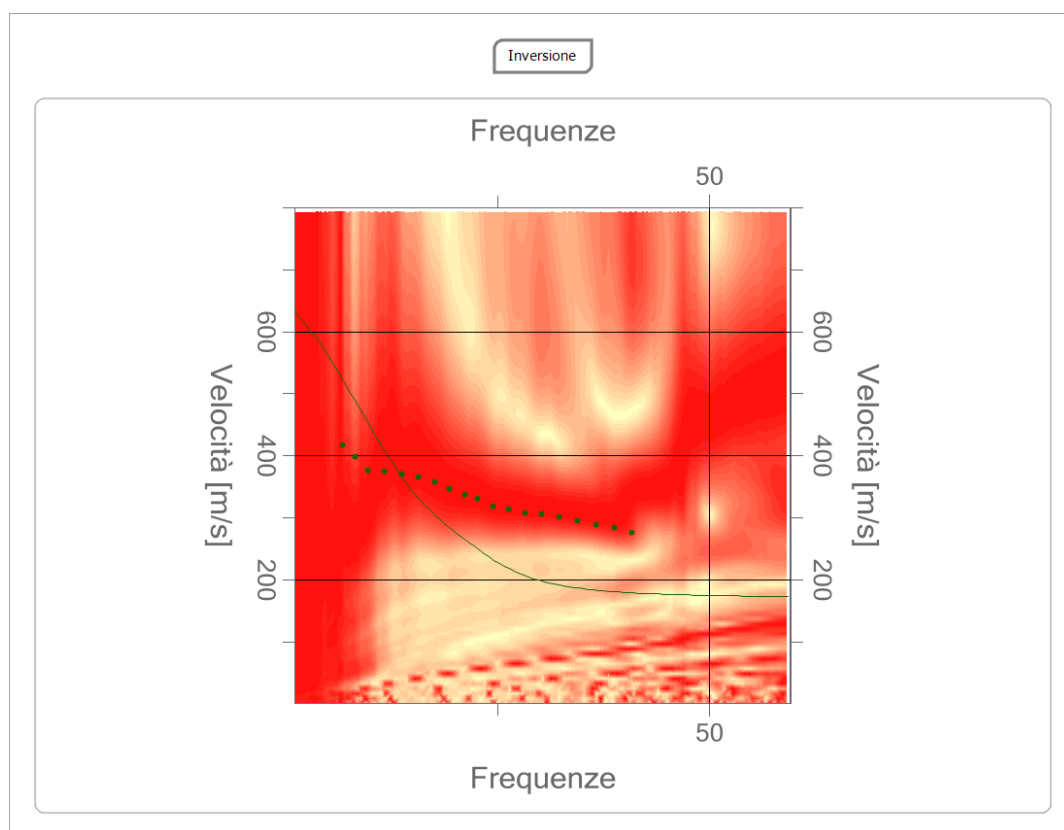
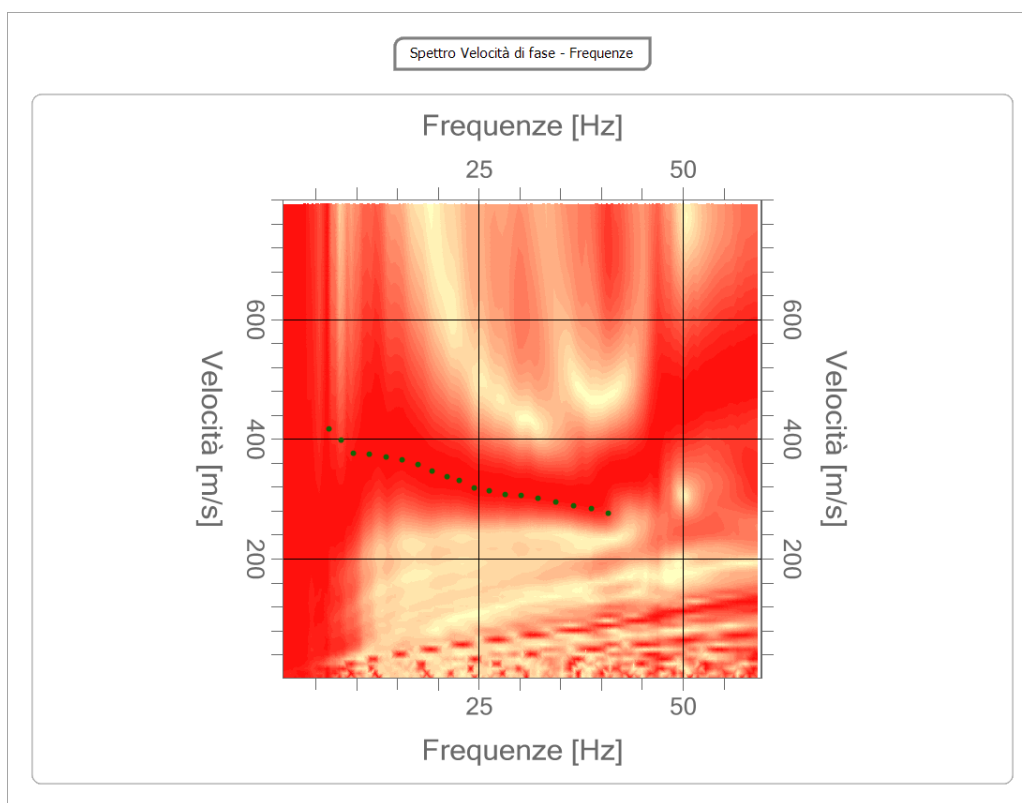
- Importazione delle tracce
- Analisi spettrale
- Inversione e sviluppo del profilo stratigrafico

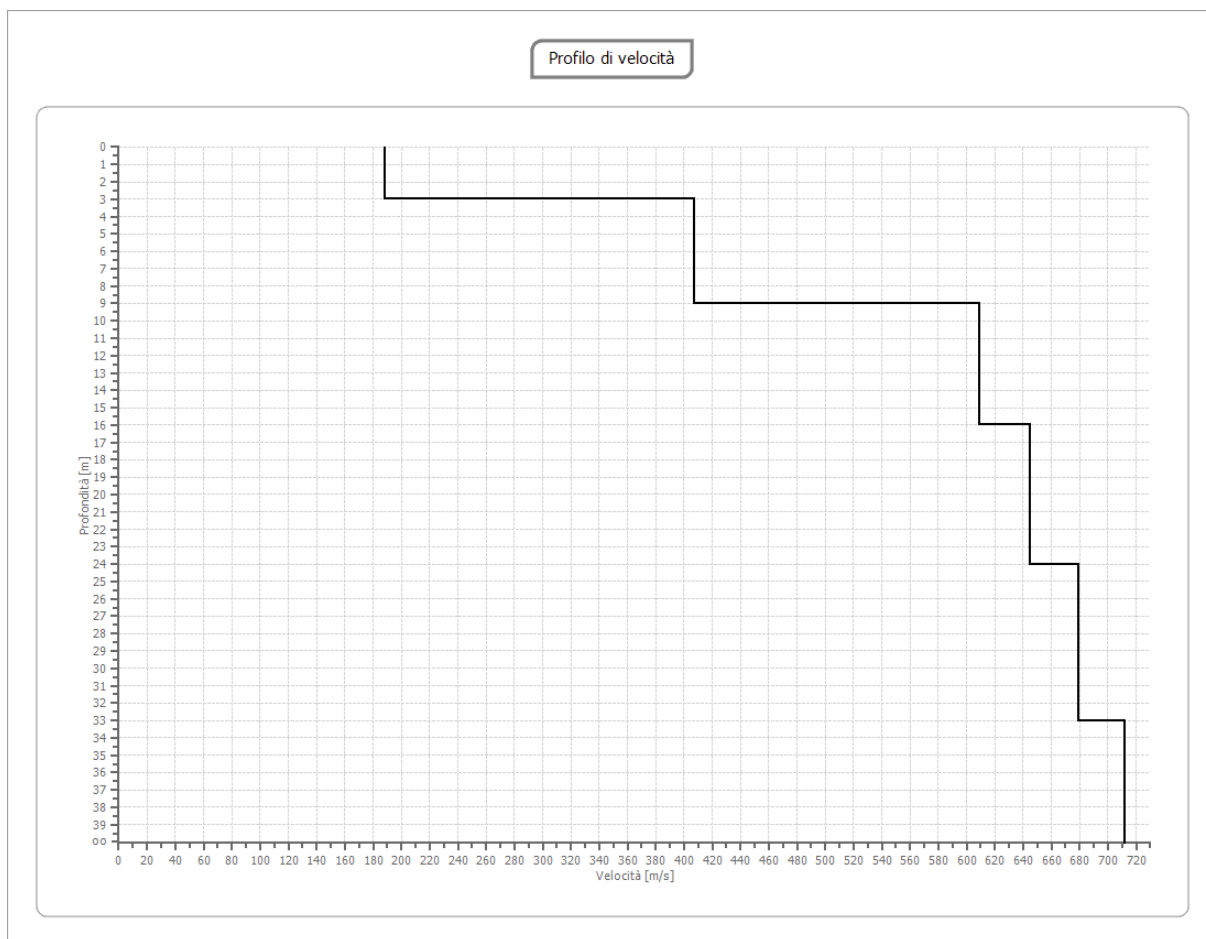
- Calcolo Vs30 e categoria del sottosuolo

ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DATI

Tracce







STRATO N°	PROFONDITA' (m)	SPESSORE (m)	Vs (m/s)
1	3.00	3.00	188.24
2	9.00	6.00	406.71
3	16.00	7.00	608.86
4	24.00	8.00	644.40
5	33.00	9.00	678.78
6	45.00	12.00	711.96

Dalle prospezione geofisica effettuata è scaturito un valore di V_{s30} pari a 472.88 m/s.
In base a tale valore, il terreno interessato può essere classificato come di Categoria B:

4. Analisi della risposta sismica locale RSL III

Con la Risposta Sismica Locale (RSL) 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:

1. dalle caratteristiche del moto sismico in corrispondenza del bedrock;
2. dalla geometria e profondità del bedrock;
3. 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 versione 3.5, 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" versione 2014.10.3.81 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.

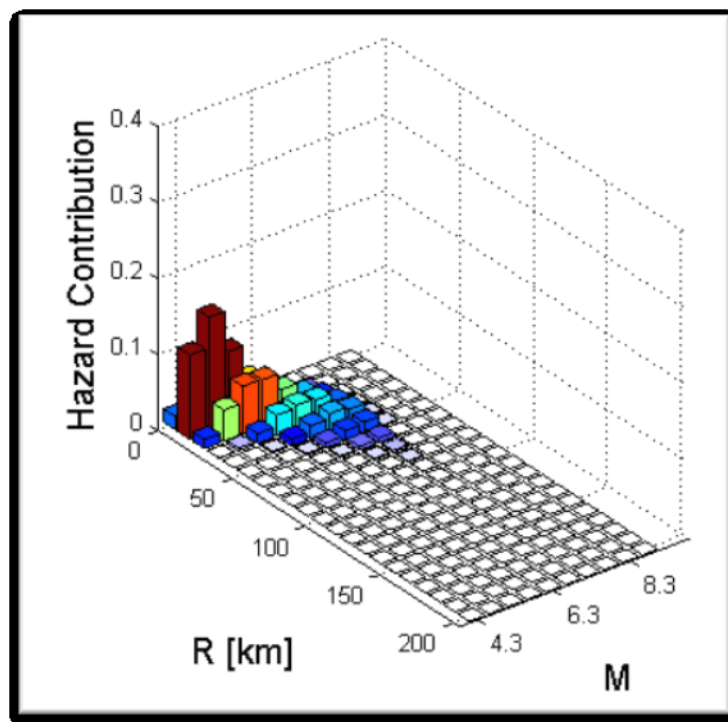
dati stratigrafico geotecnici dei terreni costituenti il sottosuolo.

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.

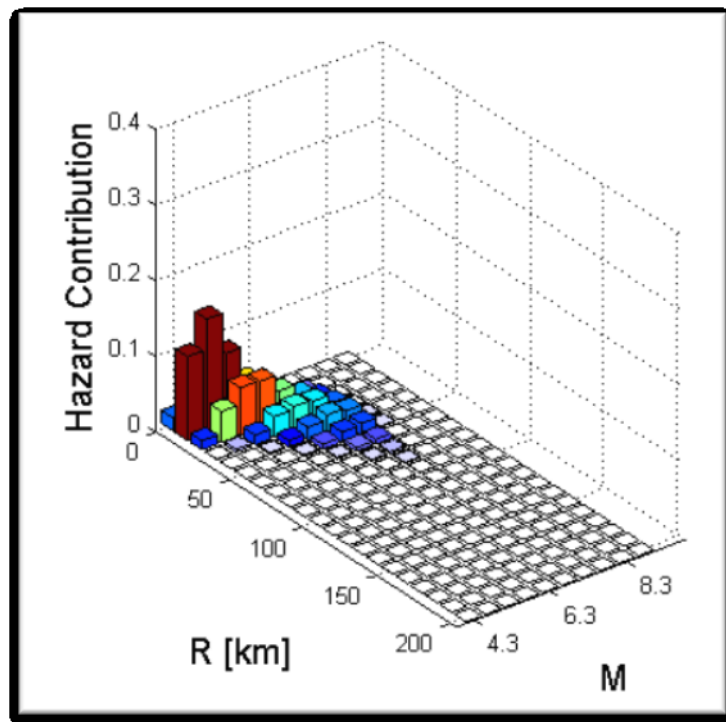
Gli accelerogrammi si riferiscono ad eventi sismici reali e spettro-compatibili con momento sismico M compreso tra 4.0 e 7.5 e distanze epicentrali comprese tra 0 e 70 Km. La selezione è, inoltre, avvenuta, ai sensi del D.M. 17/01/2018 e Circolare Ministeriale N°7 del 21.01.2019, impostando come stati limite di riferimento l'SLO, SLD e SLV, come classe d'uso la IV, ed una vita nominale dell'opera di 75 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.

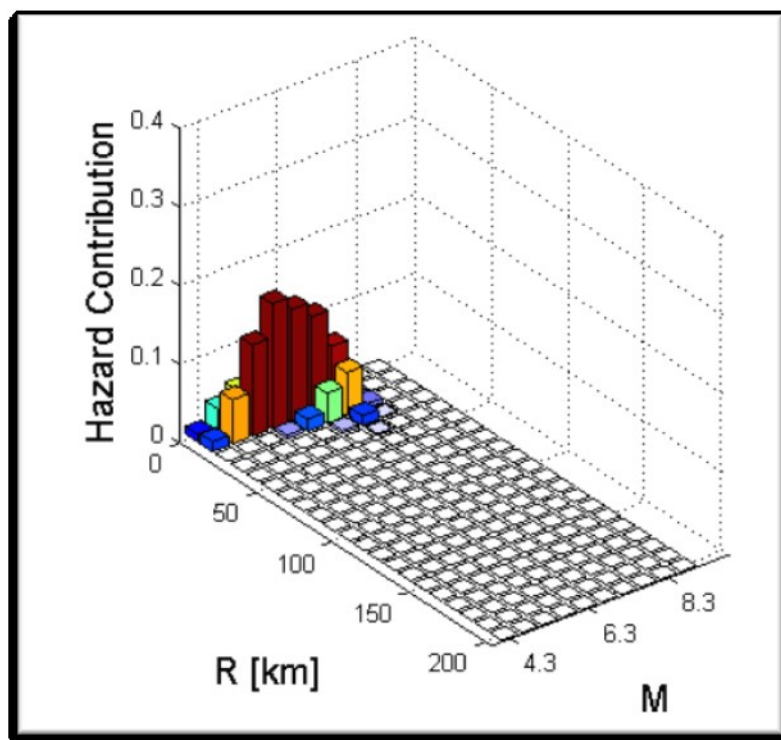
SLO (a)



SLD (a)



SLV (b)

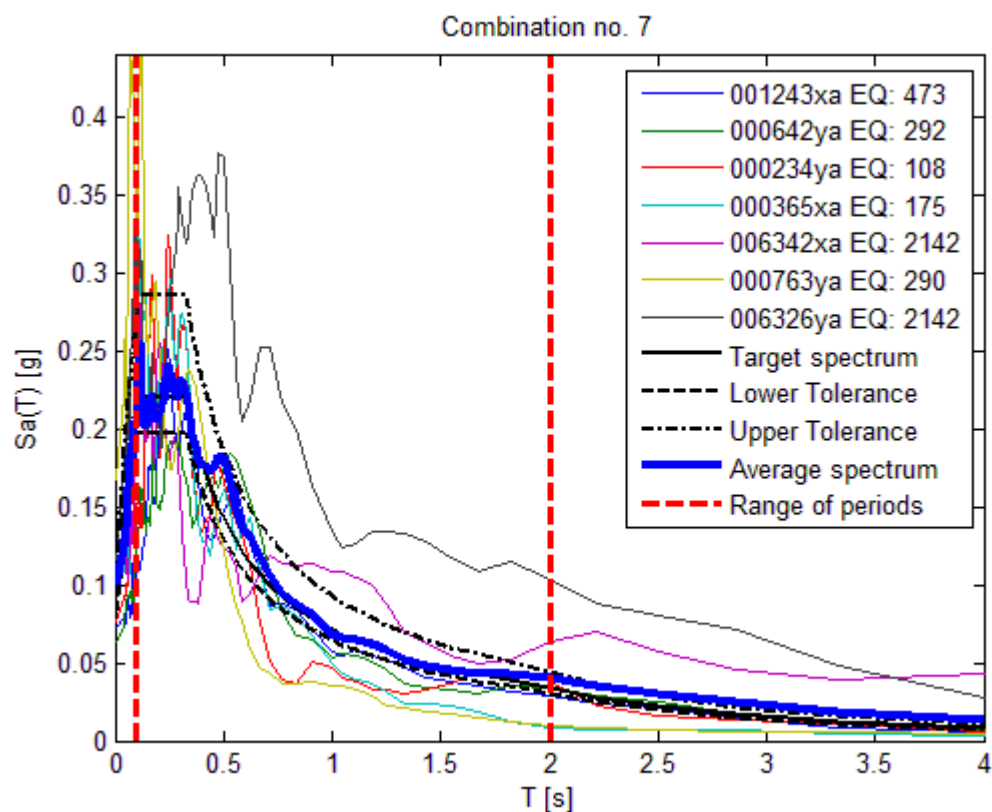


Disaggregazione degli eventi sismici, in base agli SLO e SLD (a), allo SLV(b) che contribuiscono alla definizione della pericolosità sismica del sito di progetto in termini di magnitudo e distanza epicentrale

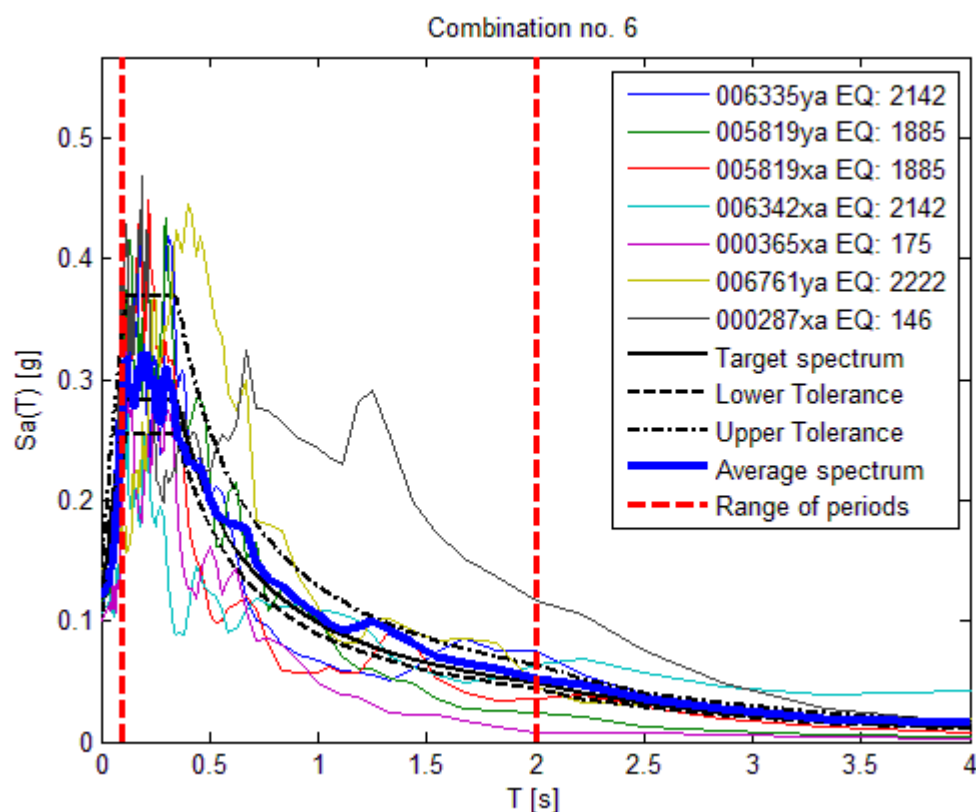
La ricerca è stata eseguita, quindi, utilizzando tali parametri con una tolleranza sul target spectrum del 30% verso l'alto e del 10% verso il basso. Nella ricerca si è, inoltre, optato di scalare l'intensità, favorendo la similarità della forma spettrale. Sono stati così

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.

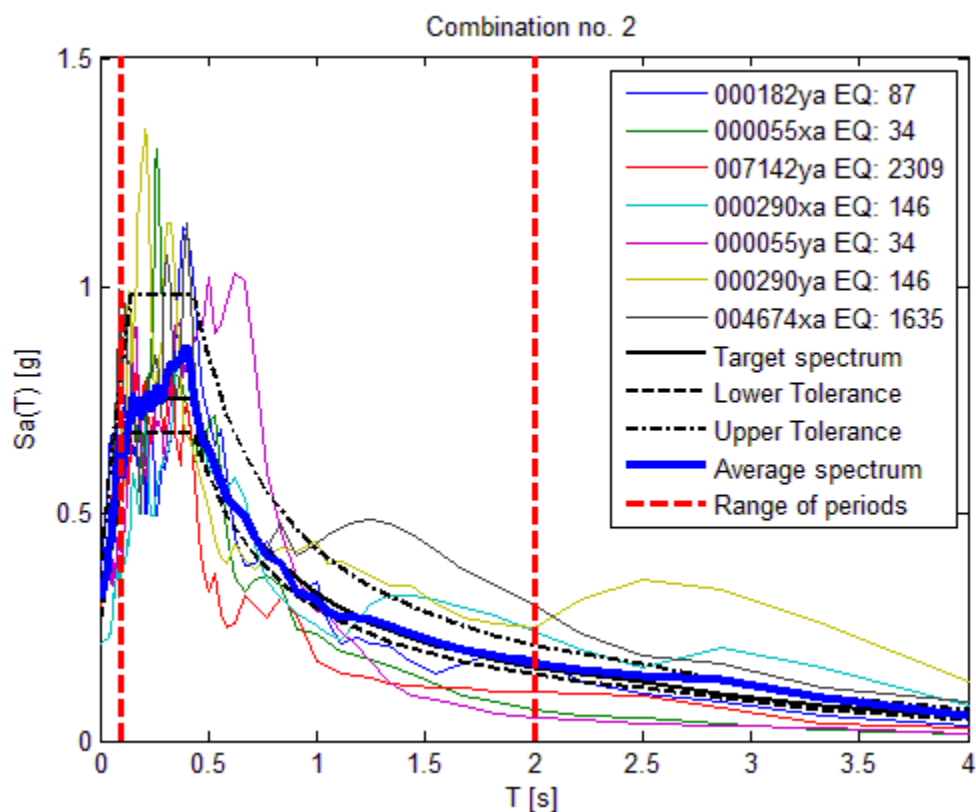
SLO (a)



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 M.A.S.W..

Si vuole ad ogni modo mettere in evidenza il fatto che l’indagine sismica eseguita non ha indicato chiaramente la presenza di un bedrock sismico per come indicato dalle NTC 2018 ($V_s > 800$ m/sec), fino alla profondità dei 35-40 metri investigati. Tuttavia, esaminando attentamente l’andamento della prova MASW verso maggiori profondità, è possibile ipotizzare cautelativamente la presenza di terreni con velocità trasversali di 800 m/s a partire da circa 55 metri di profondità e di ipotizzare di conseguenza la presenza del bedrock sismico, per come effettuato in sede di calcolo tramite il software RSL III.

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 ma solo dei risultati della prove geotecniche tra cui anche quella di taglio diretto, si è effettuata una ricerca in letteratura a partire delle litologie presenti e dei risultati delle prove stesse, 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 55 metri dal p.c., e si è calcolato come l’azione sismica sia stata modificata nel percorso compreso tra esso e la superficie del suolo.

CALCOLO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

INTRODUZIONE

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 2.1, 2.2 e 2.3 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; ρ la densità; G il modulo di deformazione al taglio; η 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 ω 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 ξ 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:

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

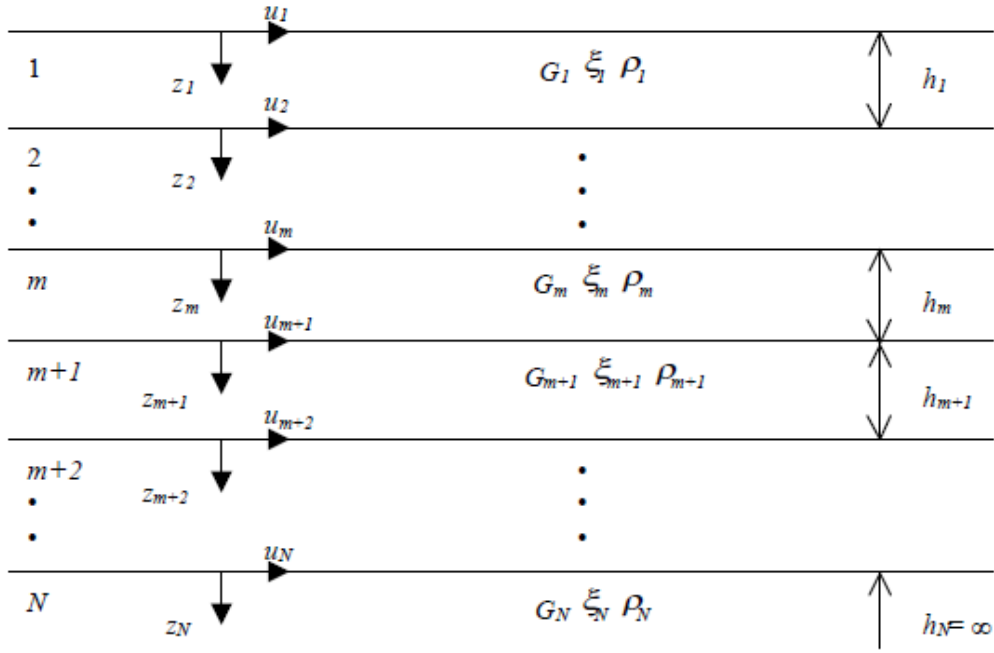


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

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

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

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:

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

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

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

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 di Figura 2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

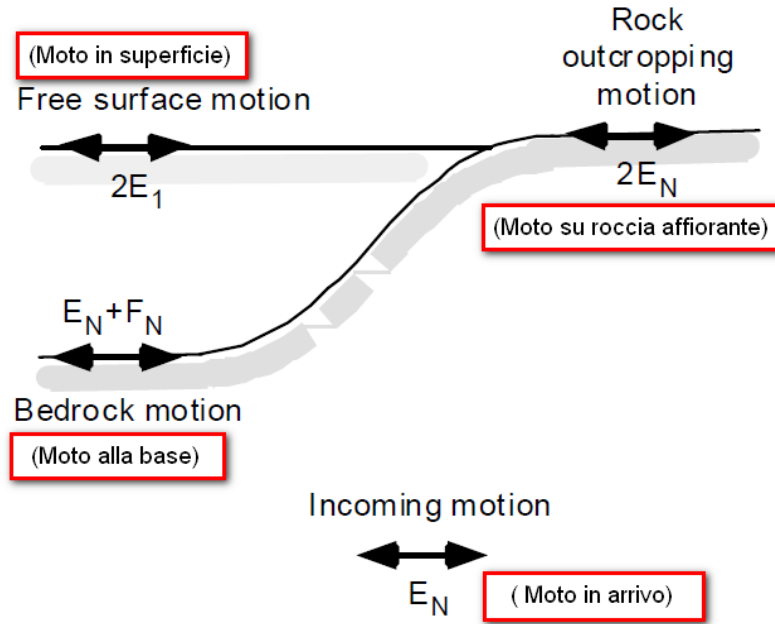


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

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 γ . 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 γ . 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 ρ è la densità del terreno e V_s la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di G per la prima iterazione.

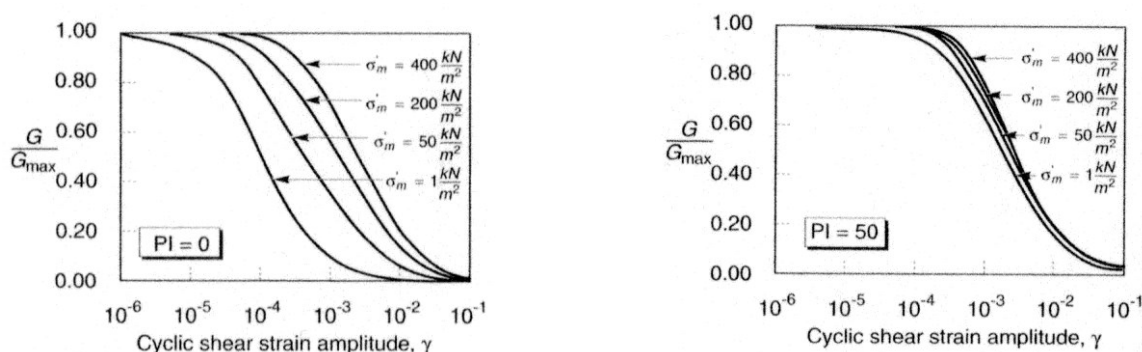


Figura 2: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso ξ , 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 ξ deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.

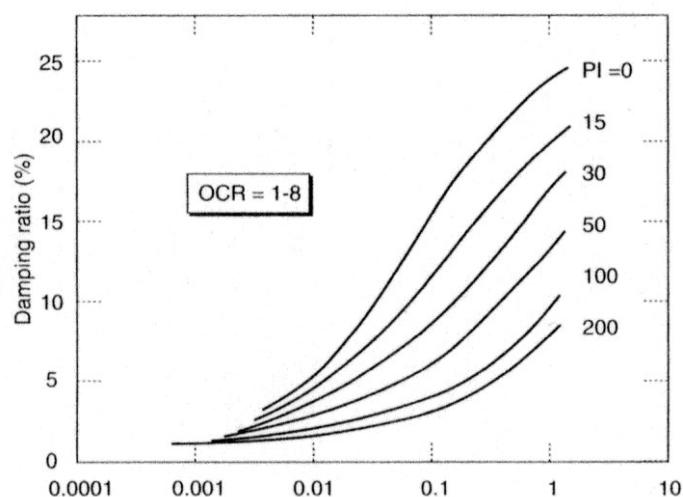


Figura 3: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

Dati generali

Coordinate WGS84

Latitudine 39.200935[°]

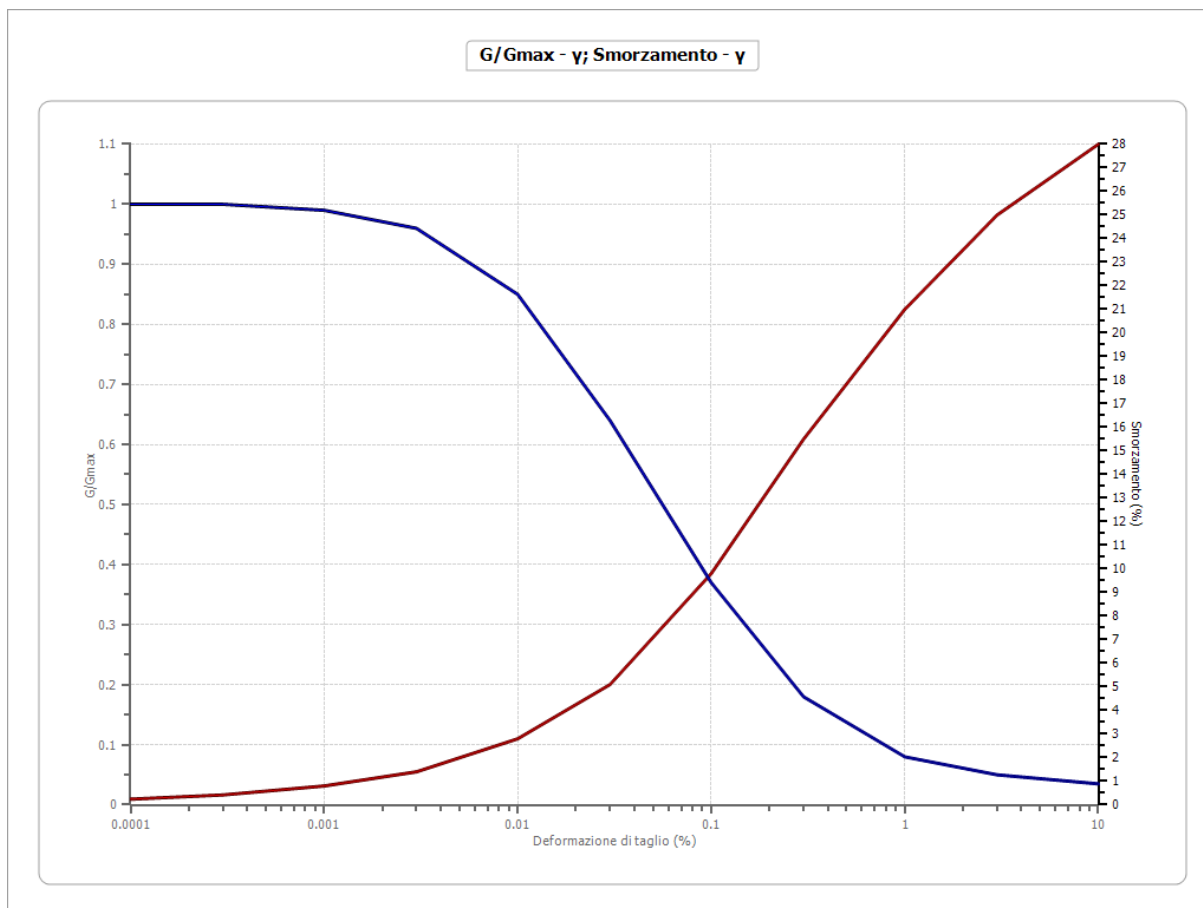
Longitudine 16.065891[°]

Terreni

Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	0.990	0.001	0.800
0.003	0.960	0.003	1.400
0.010	0.850	0.010	2.800

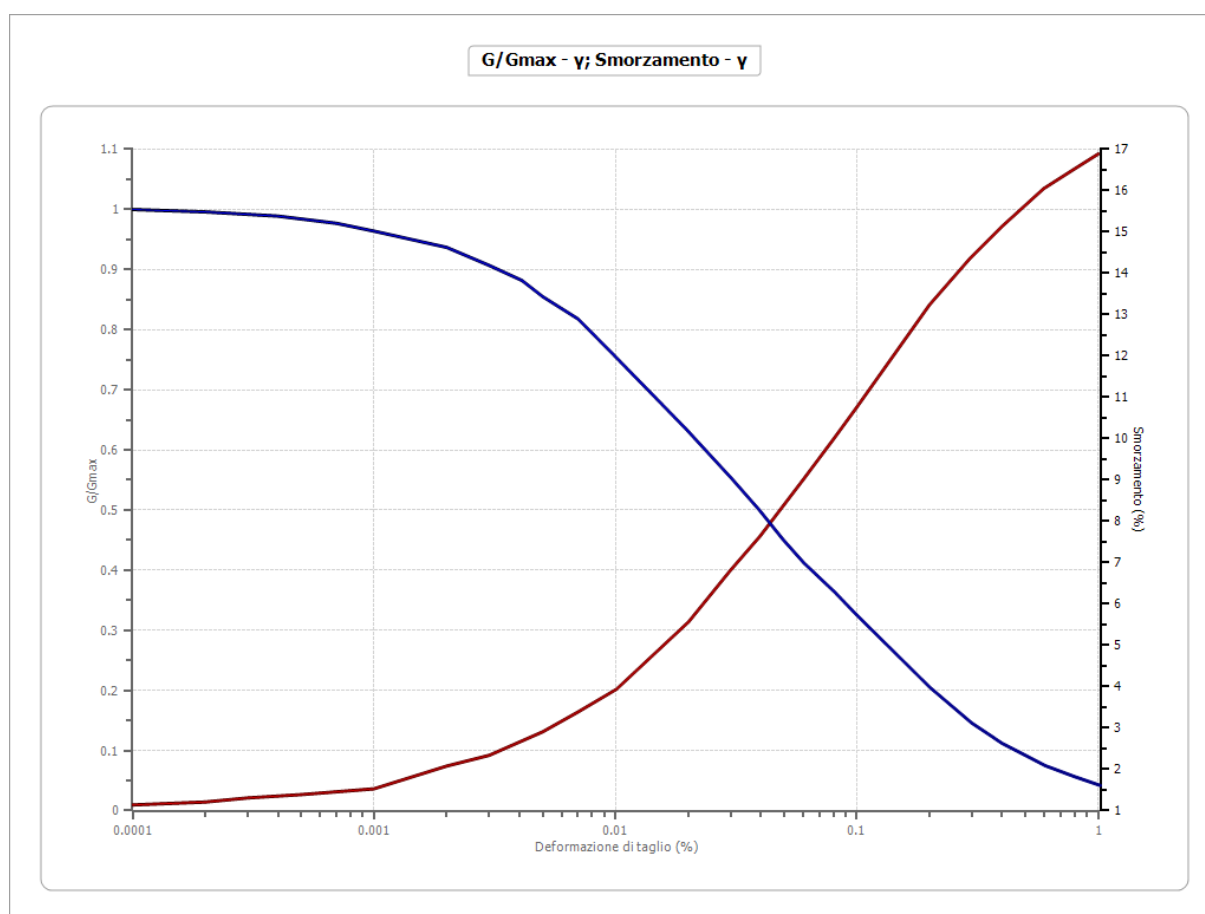
0.030	0.640	0.030	5.100
0.100	0.370	0.100	9.800
0.300	0.180	0.300	15.500
1.000	0.080	1.000	21.000
3.000	0.050	3.000	25.000
10.000	0.035	10.000	28.000



Rollins Ghiaie

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	1.140
0.0002	0.996	0.0002	1.210
0.0004	0.989	0.0003	1.310
0.0007	0.977	0.0005	1.390
0.001	0.964	0.001	1.530
0.002	0.937	0.002	2.080
0.003	0.907	0.003	2.340
0.0041	0.882	0.005	2.910
0.005	0.855	0.007	3.390
0.007	0.818	0.0101	3.940
0.0099	0.757	0.0201	5.570
0.0196	0.635	0.0299	6.810

0.0304	0.552	0.0397	7.640
0.0395	0.500	0.0596	8.990
0.0495	0.451	0.0805	10.010
0.0604	0.412	0.099	10.730
0.0808	0.364	0.200	13.240
0.0997	0.326	0.295	14.370
0.201	0.205	0.400	15.140
0.299	0.146	0.594	16.050
0.400	0.112	0.809	16.550
0.500	0.092	1.000	16.890
0.603	0.075		
0.795	0.057		
1.020	0.042		



Stratigrafia

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	G _{max} [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m ³]	V _s [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	--	3.0	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	0	72.21	--	20.0	188.2	30.0
2	3.0	6.0	Rollins	0	354.08	--	21.0	406.7	123.0

			Ghiaie						
3	9.0	7.0	Rollins Ghiaie	0	793.67	--	21.0	608.9	259.5
4	16.0	8.0	Rollins Ghiaie	0	888.92	--	21.0	644.4	417.0
5	24.0	9.0	Rollins Ghiaie	0	986.36	--	21.0	678.8	595.5
6	33.0	22.0	Rollins Ghiaie	0	1085.20	--	21.0	712.0	921.0
7	oo	--	Smorzamen to costante	0	1435.27	1	22.0	800.0	1152.0

Strato rilevamento accelerogramma: 7 Affiorante

Profilo			Velocità onde di taglio		Tensione verticale	
	3.00 [m]	3.00 [m]		188.2 [m/s]		80.0 [kPa]
	6.00 [m]	9.00 [m]		408.7 [m/s]		123.0 [kPa]
	7.00 [m]	16.00 [m]		508.9 [m/s]		259.5 [kPa]
	8.00 [m]	24.00 [m]		544.4 [m/s]		417.0 [kPa]
	9.00 [m]	33.00 [m]		578.8 [m/s]		595.5 [kPa]
	22.00 [m]	55.00 [m]		712.0 [m/s]		921.0 [kPa]
	oo			800.0 [m/s]		1152.0 [kPa]

Elaborazione Analisi per lo stato limite SLO

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 1.63 E-05

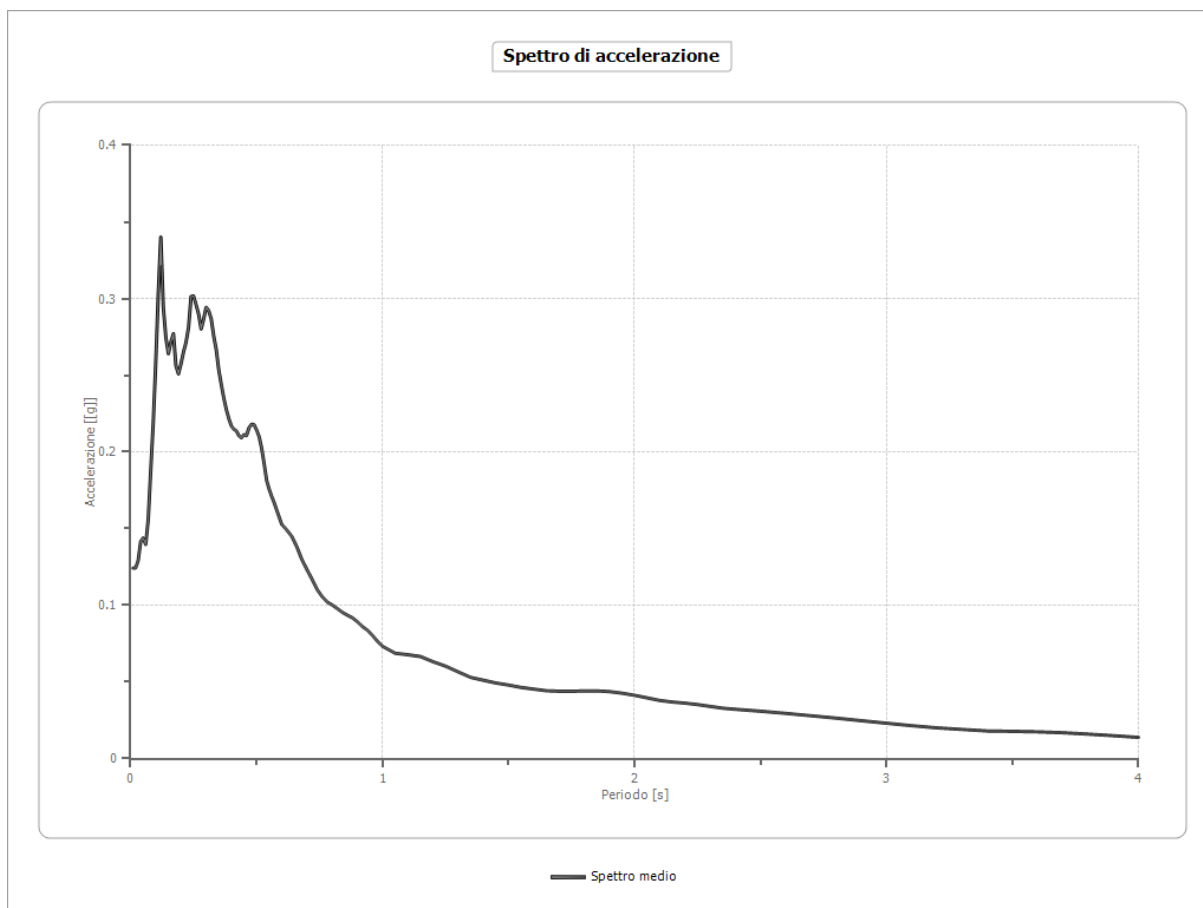
Fattori di amplificazione

Tai	0.120 [s]
Tvi	2.250 [s]
Tao	0.120 [s]
Tvo	0.500 [s]
Sami	2.048 [m/s ²]

Sv _{mi}	0.141 [m/s]
S _{amo}	2.489 [m/s ²]
Sv _{mo}	0.156 [m/s]
F_a	1.215 [-]
F_v	1.110 [-]
T _B	0.131 [s]
T _C	0.394 [s]
T _D	1.972 [s]
S _A (0)	0.122 [g]
S _A (T _B)	0.254 [g]

Spettro medio

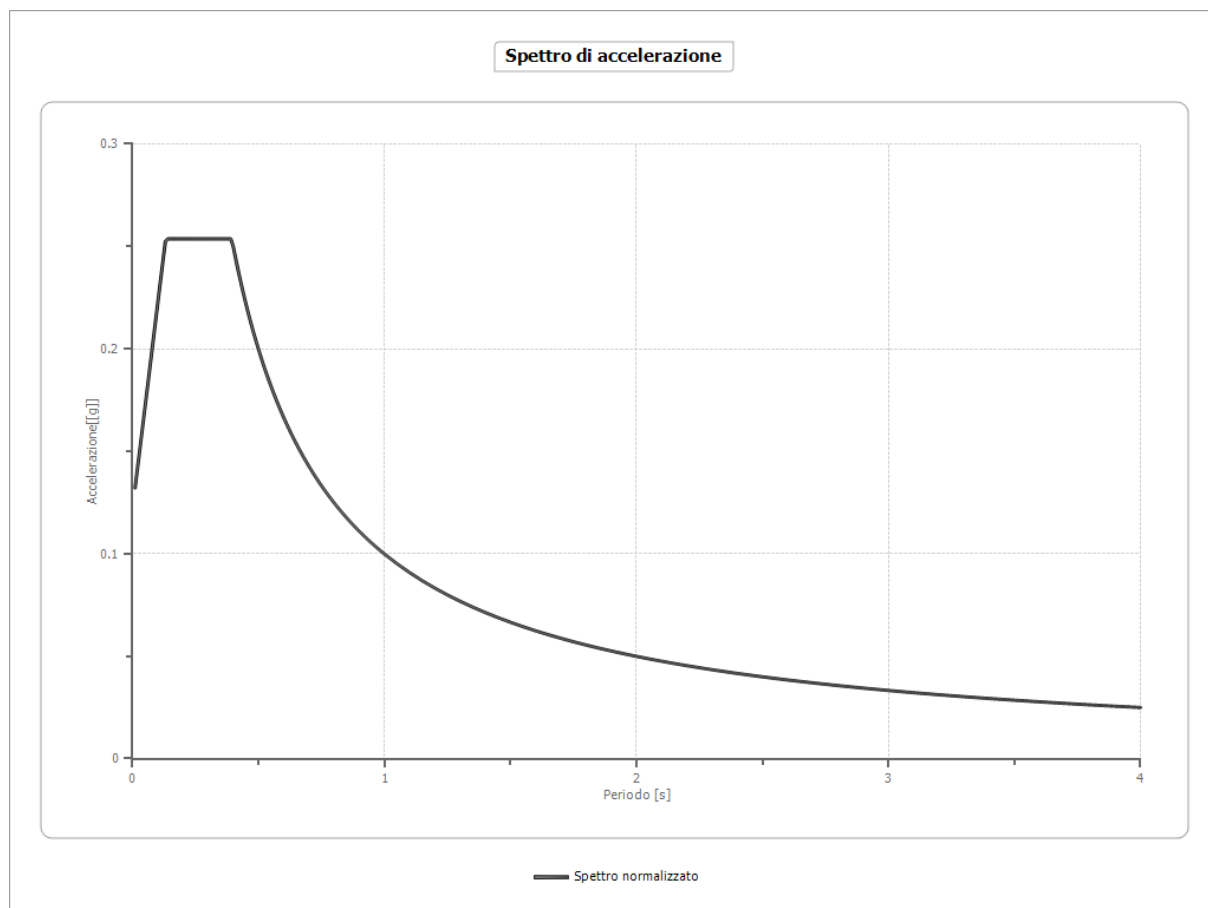
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.01	0.1243	0.27	0.2898	0.53	0.1924	1.00	0.0733	2.30	0.0341
0.02	0.1243	0.28	0.2802	0.54	0.1814	1.05	0.0687	2.35	0.0329
0.03	0.1291	0.29	0.2868	0.55	0.1757	1.10	0.0678	2.40	0.0322
0.04	0.1416	0.30	0.2944	0.56	0.1709	1.15	0.0666	2.50	0.0310
0.05	0.1439	0.31	0.2922	0.57	0.1668	1.20	0.0632	2.60	0.0295
0.06	0.1397	0.32	0.2868	0.58	0.1620	1.25	0.0603	2.70	0.0280
0.07	0.1561	0.33	0.2755	0.60	0.1528	1.30	0.0566	2.80	0.0264
0.08	0.1880	0.34	0.2667	0.62	0.1491	1.35	0.0530	2.90	0.0248
0.09	0.2190	0.35	0.2535	0.64	0.1449	1.40	0.0512	3.00	0.0231
0.10	0.2585	0.36	0.2439	0.66	0.1381	1.45	0.0493	3.10	0.0215
0.11	0.3031	0.37	0.2351	0.68	0.1298	1.50	0.0480	3.20	0.0201
0.12	0.3401	0.38	0.2277	0.70	0.1233	1.55	0.0464	3.30	0.0191
0.13	0.2942	0.39	0.2217	0.72	0.1170	1.60	0.0454	3.40	0.0181
0.14	0.2746	0.40	0.2169	0.74	0.1104	1.65	0.0443	3.50	0.0178
0.15	0.2640	0.41	0.2149	0.76	0.1057	1.70	0.0440	3.60	0.0175
0.16	0.2717	0.42	0.2137	0.78	0.1022	1.75	0.0440	3.70	0.0169
0.17	0.2771	0.43	0.2106	0.80	0.1002	1.80	0.0442	3.80	0.0160
0.18	0.2562	0.44	0.2092	0.82	0.0979	1.85	0.0442	3.90	0.0150
0.19	0.2508	0.45	0.2113	0.84	0.0955	1.90	0.0437	4.00	0.0139
0.20	0.2575	0.46	0.2107	0.86	0.0936	1.95	0.0427		
0.21	0.2651	0.47	0.2158	0.88	0.0919	2.00	0.0413		
0.22	0.2714	0.48	0.2181	0.90	0.0893	2.05	0.0397		
0.23	0.2810	0.49	0.2178	0.92	0.0862	2.10	0.0380		
0.24	0.3014	0.50	0.2144	0.94	0.0837	2.15	0.0370		
0.25	0.3018	0.51	0.2100	0.96	0.0804	2.20	0.0362		
0.26	0.2960	0.52	0.2024	0.98	0.0765	2.25	0.0353		



Spettro normalizzato

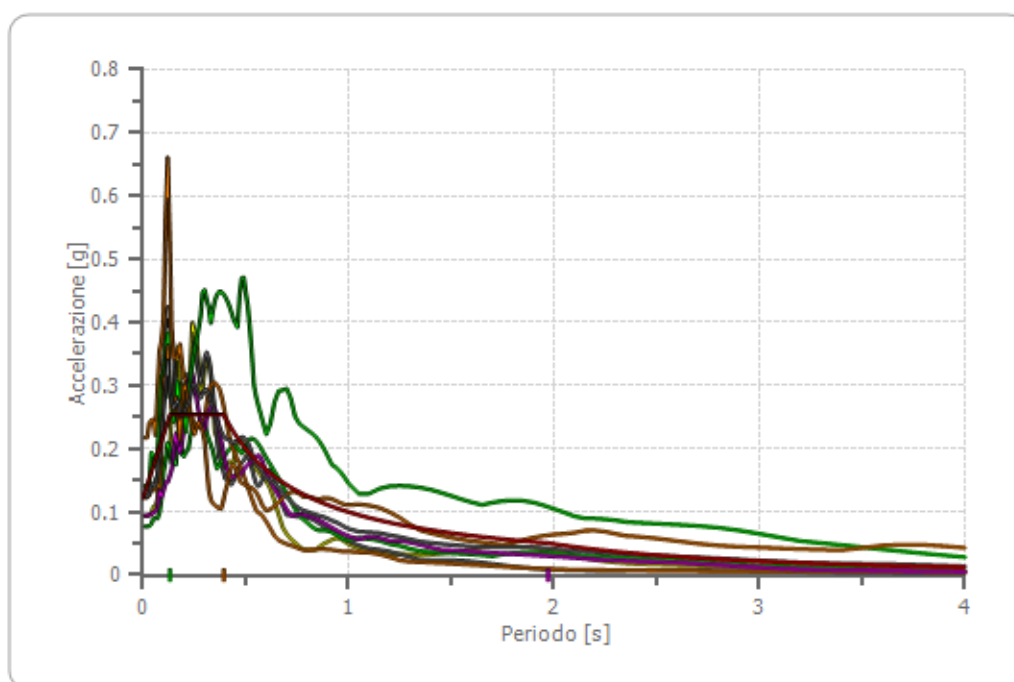
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.01	0.1321	0.27	0.2537	0.53	0.1884	1.00	0.0999	2.30	0.0434
0.02	0.1422	0.28	0.2537	0.54	0.1849	1.05	0.0951	2.35	0.0425
0.03	0.1522	0.29	0.2537	0.55	0.1816	1.10	0.0908	2.40	0.0416
0.04	0.1622	0.30	0.2537	0.56	0.1783	1.15	0.0868	2.50	0.0399
0.05	0.1723	0.31	0.2537	0.57	0.1752	1.20	0.0832	2.60	0.0384
0.06	0.1823	0.32	0.2537	0.58	0.1722	1.25	0.0799	2.70	0.0370
0.07	0.1923	0.33	0.2537	0.60	0.1664	1.30	0.0768	2.80	0.0357
0.08	0.2023	0.34	0.2537	0.62	0.1611	1.35	0.0740	2.90	0.0344
0.09	0.2124	0.35	0.2537	0.64	0.1560	1.40	0.0713	3.00	0.0333
0.10	0.2224	0.36	0.2537	0.66	0.1513	1.45	0.0689	3.10	0.0322
0.11	0.2324	0.37	0.2537	0.68	0.1469	1.50	0.0666	3.20	0.0312
0.12	0.2425	0.38	0.2537	0.70	0.1427	1.55	0.0644	3.30	0.0303
0.13	0.2525	0.39	0.2537	0.72	0.1387	1.60	0.0624	3.40	0.0294
0.14	0.2537	0.40	0.2496	0.74	0.1349	1.65	0.0605	3.50	0.0285
0.15	0.2537	0.41	0.2436	0.76	0.1314	1.70	0.0587	3.60	0.0277
0.16	0.2537	0.42	0.2378	0.78	0.1280	1.75	0.0571	3.70	0.0270
0.17	0.2537	0.43	0.2322	0.80	0.1248	1.80	0.0555	3.80	0.0263
0.18	0.2537	0.44	0.2270	0.82	0.1218	1.85	0.0540	3.90	0.0256
0.19	0.2537	0.45	0.2219	0.84	0.1189	1.90	0.0526	4.00	0.0250
0.20	0.2537	0.46	0.2171	0.86	0.1161	1.95	0.0512		
0.21	0.2537	0.47	0.2125	0.88	0.1135	2.00	0.0499		

0.22	0.2537	0.48	0.2080	0.90	0.1110	2.05	0.0487		
0.23	0.2537	0.49	0.2038	0.92	0.1085	2.10	0.0476		
0.24	0.2537	0.50	0.1997	0.94	0.1062	2.15	0.0464		
0.25	0.2537	0.51	0.1958	0.96	0.1040	2.20	0.0454		
0.26	0.2537	0.52	0.1920	0.98	0.1019	2.25	0.0444		



Confronto tra gli spettri

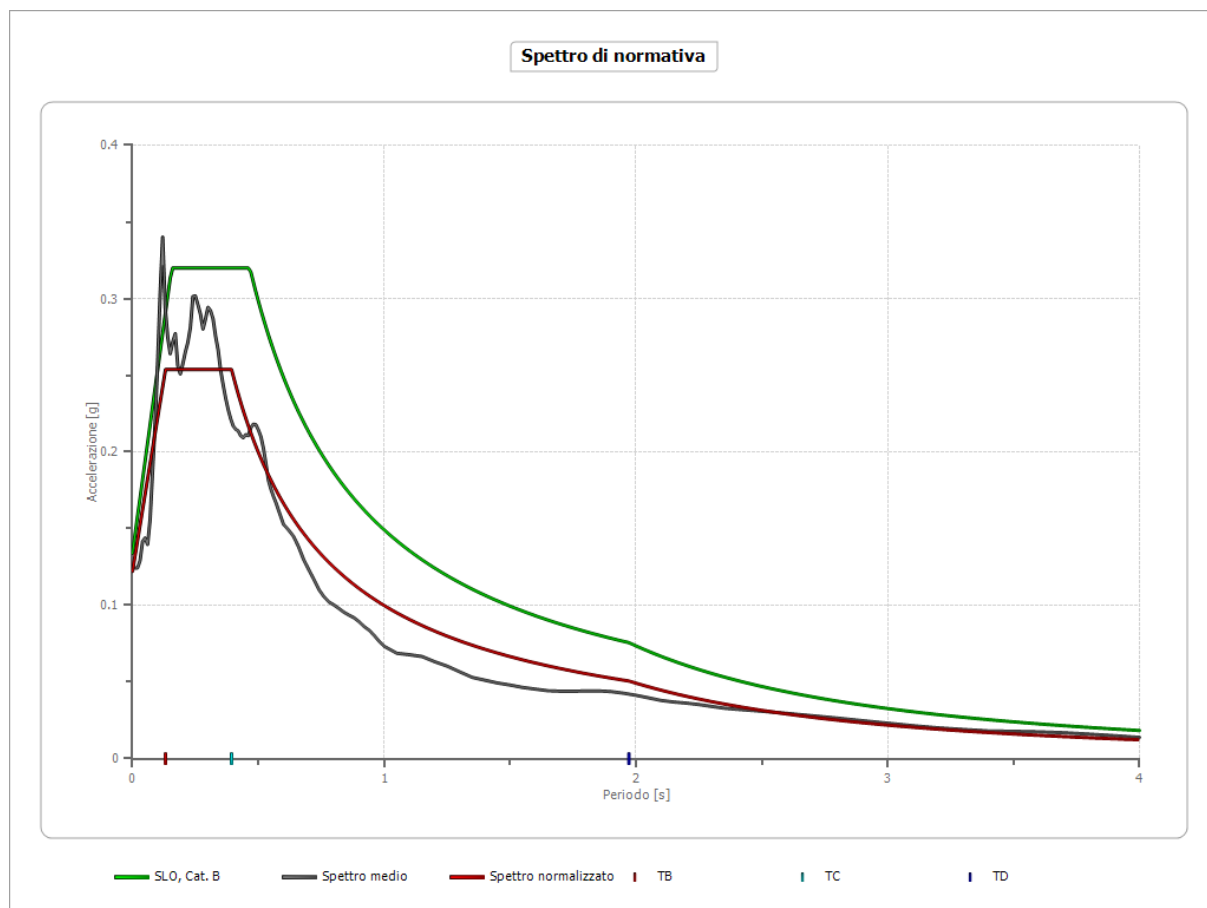
Spettro di accelerazione output



000234ya_record 000365xa_record 000642ya_record 000763ya_record
 001243xa_record 006326ya_record 006342xa_record Spettro medio
 Spettro normalizzato TB TC TD

Confronto spettro normativa

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	90	151	1424	2475
ag [g]	0.093	0.118	0.289	0.352
Fo	2.39	2.407	2.526	2.577
Tc* [s]	0.342	0.358	0.443	0.453
Ss	1.20	1.20	1.11	1.04
St	1.20	1.20	1.20	1.20
Cc	1.36	1.35	1.29	1.29
TB [s]	0.155	0.161	0.191	0.195
TC [s]	0.466	0.484	0.573	0.584
TD [s]	1.972	2.072	2.756	3.008
Se(0) [g]	0.134	0.170	0.384	0.438
Se(TB) [g]	0.320	0.409	0.971	1.129



Elaborazione Analisi per lo stato limite SLD

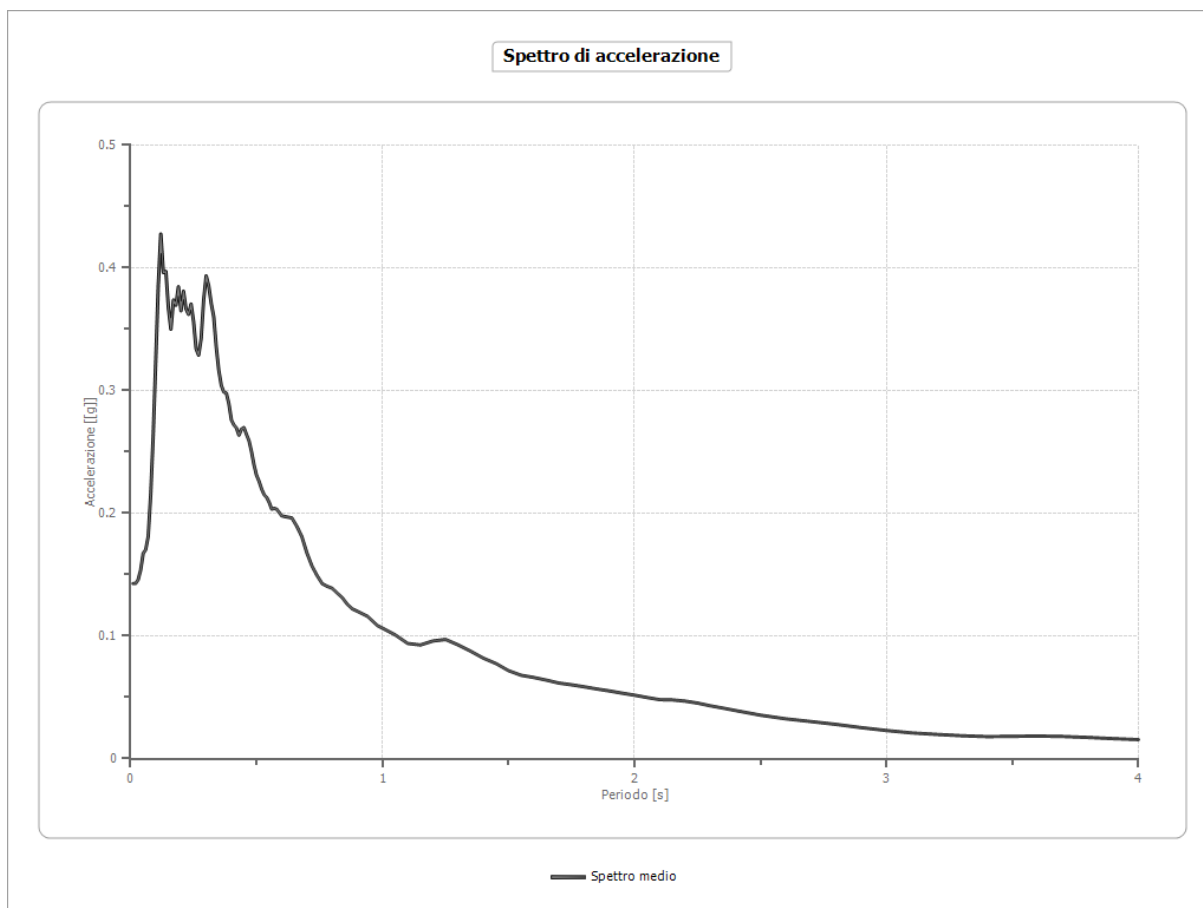
Numero di iterazioni 50
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
 Tipo di modulo elastico Shake
 Massimo errore percentuale di convergenza 1.35 E-04

Fattori di amplificazione

Tai	0.120 [s]
Tvi	1.350 [s]
Tao	0.120 [s]
Tvo	1.350 [s]
Sami	2.588 [m/s ²]
Svmi	0.181 [m/s]
Samo	3.233 [m/s ²]
Svmo	0.194 [m/s]
Fa	1.249 [-]
Fv	1.074 [-]
TB	0.126 [s]
TC	0.378 [s]
TD	2.072 [s]
SA(0)	0.147 [g]
SA(TB)	0.330 [g]

Spettro medio

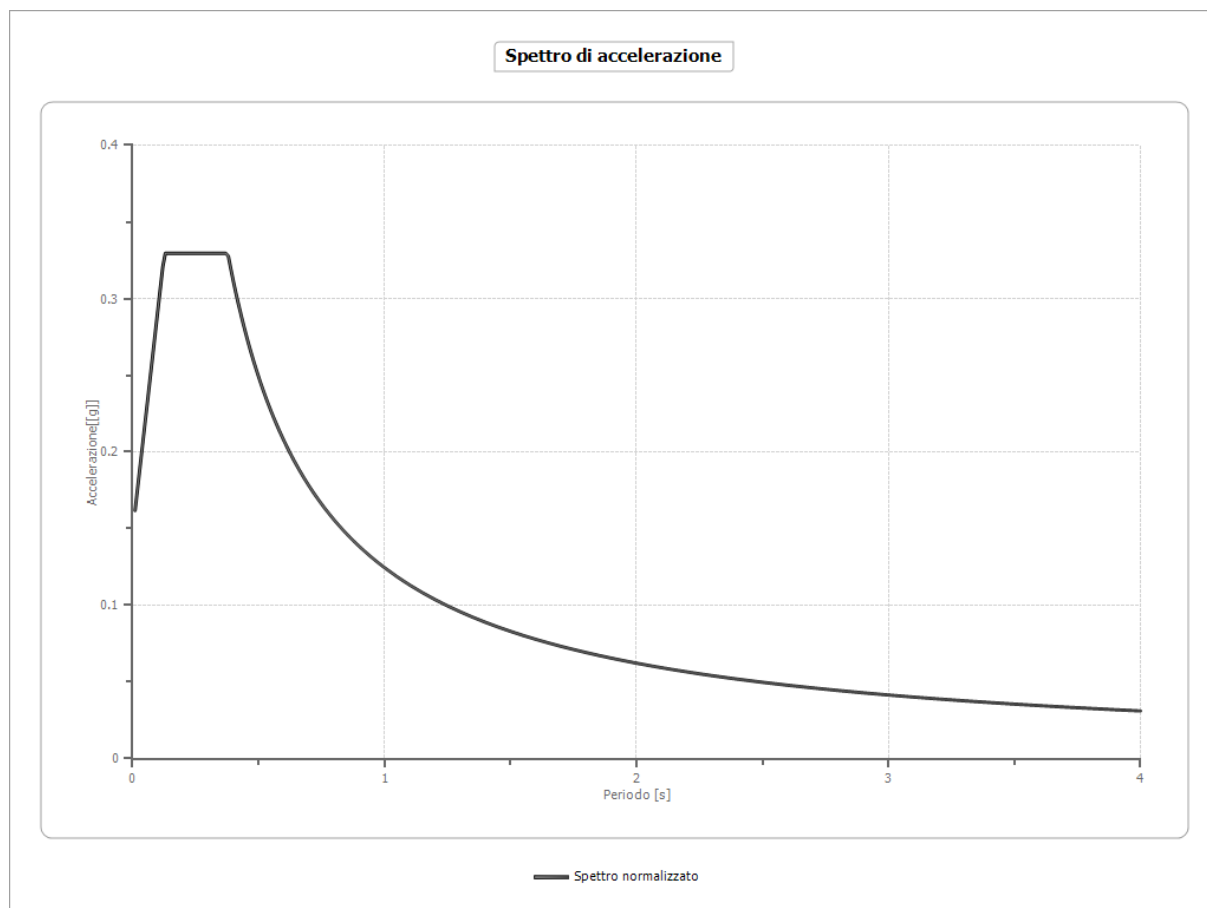
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.01	0.1428	0.27	0.3288	0.53	0.2152	1.00	0.1063	2.30	0.0431
0.02	0.1428	0.28	0.3422	0.54	0.2130	1.05	0.1009	2.35	0.0412
0.03	0.1459	0.29	0.3741	0.55	0.2090	1.10	0.0939	2.40	0.0393
0.04	0.1538	0.30	0.3936	0.56	0.2034	1.15	0.0927	2.50	0.0355
0.05	0.1673	0.31	0.3855	0.57	0.2040	1.20	0.0959	2.60	0.0325
0.06	0.1704	0.32	0.3711	0.58	0.2034	1.25	0.0972	2.70	0.0303
0.07	0.1811	0.33	0.3602	0.60	0.1979	1.30	0.0927	2.80	0.0280
0.08	0.2160	0.34	0.3355	0.62	0.1970	1.35	0.0875	2.90	0.0253
0.09	0.2643	0.35	0.3166	0.64	0.1962	1.40	0.0819	3.00	0.0229
0.10	0.3246	0.36	0.3043	0.66	0.1893	1.45	0.0775	3.10	0.0210
0.11	0.3859	0.37	0.2989	0.68	0.1808	1.50	0.0717	3.20	0.0198
0.12	0.4277	0.38	0.2980	0.70	0.1675	1.55	0.0680	3.30	0.0187
0.13	0.3961	0.39	0.2894	0.72	0.1570	1.60	0.0662	3.40	0.0180
0.14	0.3972	0.40	0.2761	0.74	0.1493	1.65	0.0640	3.50	0.0182
0.15	0.3674	0.41	0.2720	0.76	0.1427	1.70	0.0617	3.60	0.0184
0.16	0.3500	0.42	0.2696	0.78	0.1405	1.75	0.0602	3.70	0.0181
0.17	0.3740	0.43	0.2636	0.80	0.1389	1.80	0.0586	3.80	0.0173
0.18	0.3696	0.44	0.2686	0.82	0.1349	1.85	0.0568	3.90	0.0164
0.19	0.3848	0.45	0.2699	0.84	0.1312	1.90	0.0552	4.00	0.0155
0.20	0.3650	0.46	0.2643	0.86	0.1259	1.95	0.0534		
0.21	0.3811	0.47	0.2591	0.88	0.1221	2.00	0.0517		
0.22	0.3665	0.48	0.2503	0.90	0.1201	2.05	0.0499		
0.23	0.3621	0.49	0.2393	0.92	0.1181	2.10	0.0481		
0.24	0.3705	0.50	0.2309	0.94	0.1161	2.15	0.0479		
0.25	0.3563	0.51	0.2260	0.96	0.1122	2.20	0.0469		
0.26	0.3341	0.52	0.2199	0.98	0.1084	2.25	0.0453		



Spettro normalizzato

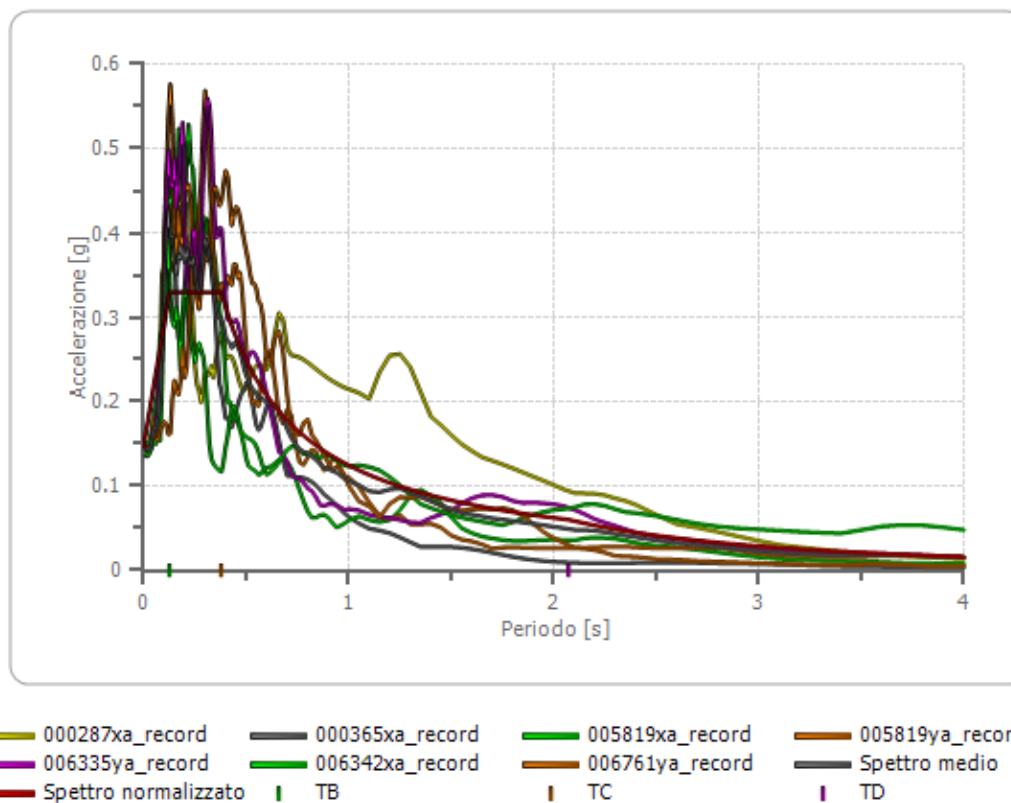
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.01	0.1618	0.27	0.3295	0.53	0.2350	1.00	0.1245	2.30	0.0541
0.02	0.1763	0.28	0.3295	0.54	0.2306	1.05	0.1186	2.35	0.0530
0.03	0.1908	0.29	0.3295	0.55	0.2264	1.10	0.1132	2.40	0.0519
0.04	0.2052	0.30	0.3295	0.56	0.2224	1.15	0.1083	2.50	0.0498
0.05	0.2197	0.31	0.3295	0.57	0.2185	1.20	0.1038	2.60	0.0479
0.06	0.2341	0.32	0.3295	0.58	0.2147	1.25	0.0996	2.70	0.0461
0.07	0.2486	0.33	0.3295	0.60	0.2075	1.30	0.0958	2.80	0.0445
0.08	0.2630	0.34	0.3295	0.62	0.2009	1.35	0.0922	2.90	0.0429
0.09	0.2775	0.35	0.3295	0.64	0.1946	1.40	0.0889	3.00	0.0415
0.10	0.2920	0.36	0.3295	0.66	0.1887	1.45	0.0859	3.10	0.0402
0.11	0.3064	0.37	0.3295	0.68	0.1831	1.50	0.0830	3.20	0.0389
0.12	0.3209	0.38	0.3277	0.70	0.1779	1.55	0.0803	3.30	0.0377
0.13	0.3295	0.39	0.3193	0.72	0.1730	1.60	0.0778	3.40	0.0366
0.14	0.3295	0.40	0.3113	0.74	0.1683	1.65	0.0755	3.50	0.0356
0.15	0.3295	0.41	0.3037	0.76	0.1639	1.70	0.0733	3.60	0.0346
0.16	0.3295	0.42	0.2965	0.78	0.1597	1.75	0.0712	3.70	0.0337
0.17	0.3295	0.43	0.2896	0.80	0.1557	1.80	0.0692	3.80	0.0328
0.18	0.3295	0.44	0.2830	0.82	0.1519	1.85	0.0673	3.90	0.0319
0.19	0.3295	0.45	0.2767	0.84	0.1482	1.90	0.0655	4.00	0.0311
0.20	0.3295	0.46	0.2707	0.86	0.1448	1.95	0.0639		
0.21	0.3295	0.47	0.2650	0.88	0.1415	2.00	0.0623		

0.22	0.3295	0.48	0.2594	0.90	0.1384	2.05	0.0607		
0.23	0.3295	0.49	0.2541	0.92	0.1354	2.10	0.0593		
0.24	0.3295	0.50	0.2491	0.94	0.1325	2.15	0.0579		
0.25	0.3295	0.51	0.2442	0.96	0.1297	2.20	0.0566		
0.26	0.3295	0.52	0.2395	0.98	0.1271	2.25	0.0553		



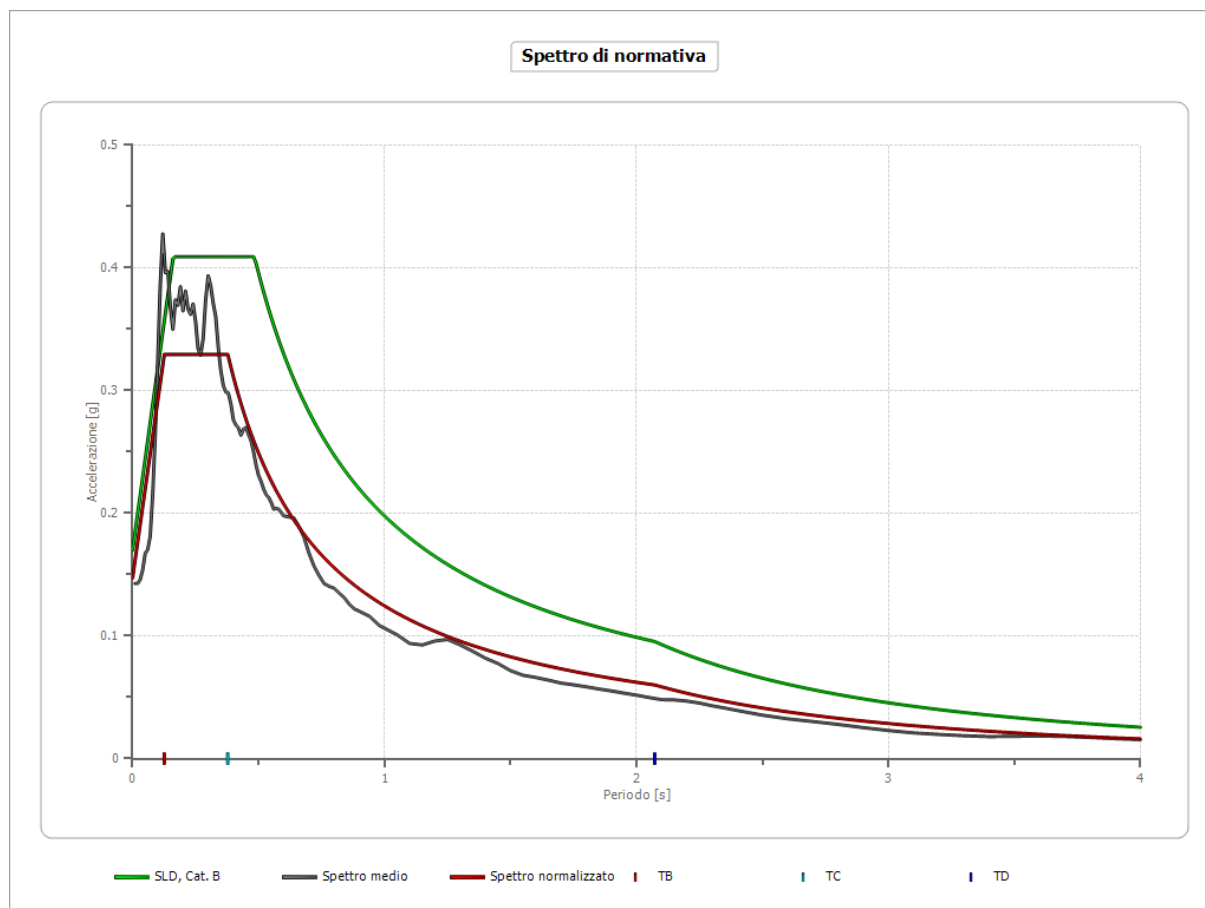
Confronto tra gli spettri

Spettro di accelerazione output



Confronto spettro normativa

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	90	151	1424	2475
ag [g]	0.093	0.118	0.289	0.352
Fo	2.39	2.407	2.526	2.577
Tc* [s]	0.342	0.358	0.443	0.453
Ss	1.20	1.20	1.11	1.04
St	1.20	1.20	1.20	1.20
Cc	1.36	1.35	1.29	1.29
TB [s]	0.155	0.161	0.191	0.195
TC [s]	0.466	0.484	0.573	0.584
TD [s]	1.972	2.072	2.756	3.008
Se(0) [g]	0.134	0.170	0.384	0.438
Se(TB) [g]	0.320	0.409	0.971	1.129



Elaborazione Analisi per lo stato limite SLV

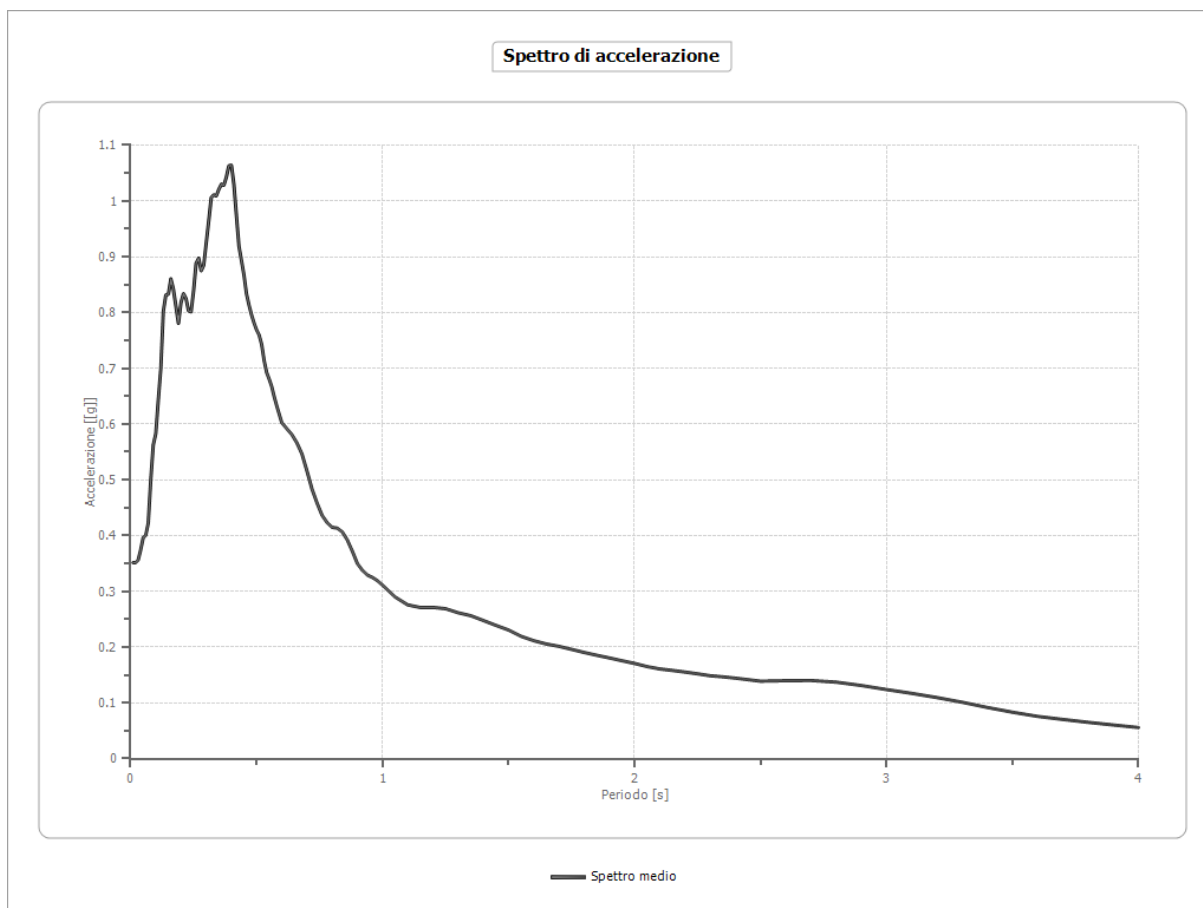
Numero di iterazioni 50
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
 Tipo di modulo elastico Shake
 Massimo errore percentuale di convergenza 1.55 E-04

Fattori di amplificazione

Tai	0.390 [s]
Tvi	2.800 [s]
Tao	0.400 [s]
Tvo	2.800 [s]
Sami	6.675 [m/s ²]
Svmi	0.642 [m/s]
Samo	8.425 [m/s ²]
Svmo	0.675 [m/s]
Fa	1.262 [-]
Fv	1.053 [-]
TB	0.168 [s]
TC	0.504 [s]
TD	2.756 [s]
SA(0)	0.365 [g]
SA(TB)	0.859 [g]

Spettro medio

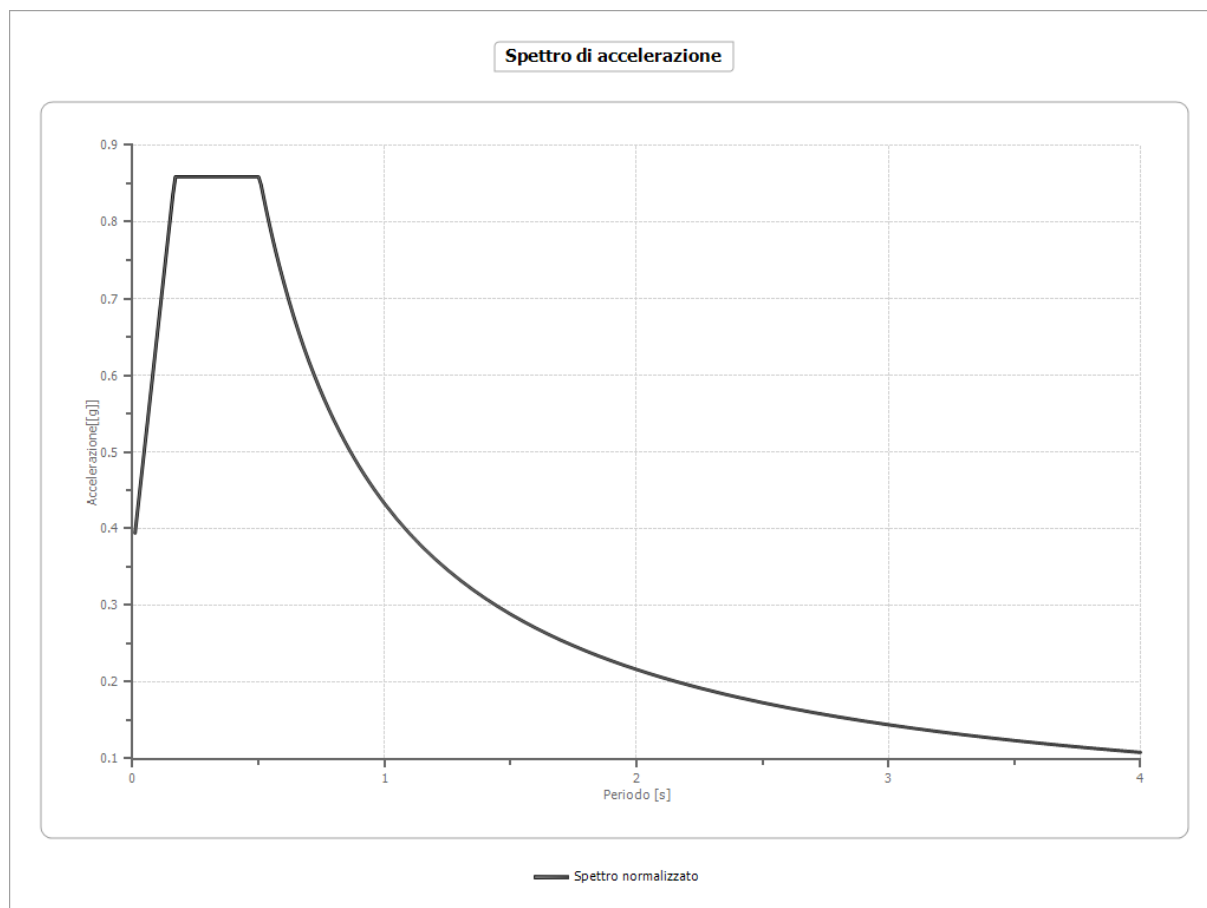
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.01	0.3515	0.27	0.8977	0.53	0.7139	1.00	0.3111	2.30	0.1487
0.02	0.3515	0.28	0.8746	0.54	0.6926	1.05	0.2899	2.35	0.1468
0.03	0.3561	0.29	0.8843	0.55	0.6805	1.10	0.2758	2.40	0.1444
0.04	0.3744	0.30	0.9237	0.56	0.6673	1.15	0.2711	2.50	0.1389
0.05	0.3963	0.31	0.9641	0.57	0.6492	1.20	0.2713	2.60	0.1398
0.06	0.4003	0.32	1.0061	0.58	0.6327	1.25	0.2689	2.70	0.1402
0.07	0.4220	0.33	1.0111	0.60	0.6025	1.30	0.2616	2.80	0.1372
0.08	0.4993	0.34	1.0089	0.62	0.5917	1.35	0.2564	2.90	0.1312
0.09	0.5623	0.35	1.0205	0.64	0.5813	1.40	0.2478	3.00	0.1240
0.10	0.5830	0.36	1.0302	0.66	0.5663	1.45	0.2391	3.10	0.1172
0.11	0.6428	0.37	1.0280	0.68	0.5465	1.50	0.2307	3.20	0.1096
0.12	0.7001	0.38	1.0427	0.70	0.5158	1.55	0.2194	3.30	0.1012
0.13	0.8023	0.39	1.0633	0.72	0.4834	1.60	0.2115	3.40	0.0918
0.14	0.8318	0.40	1.0642	0.74	0.4583	1.65	0.2057	3.50	0.0833
0.15	0.8326	0.41	1.0300	0.76	0.4364	1.70	0.2014	3.60	0.0758
0.16	0.8606	0.42	0.9740	0.78	0.4233	1.75	0.1961	3.70	0.0704
0.17	0.8414	0.43	0.9194	0.80	0.4148	1.80	0.1904	3.80	0.0652
0.18	0.8112	0.44	0.8931	0.82	0.4135	1.85	0.1854	3.90	0.0604
0.19	0.7805	0.45	0.8671	0.84	0.4067	1.90	0.1807	4.00	0.0559
0.20	0.8179	0.46	0.8336	0.86	0.3922	1.95	0.1757		
0.21	0.8340	0.47	0.8133	0.88	0.3722	2.00	0.1708		
0.22	0.8253	0.48	0.7960	0.90	0.3499	2.05	0.1651		
0.23	0.8030	0.49	0.7813	0.92	0.3378	2.10	0.1609		
0.24	0.8012	0.50	0.7688	0.94	0.3293	2.15	0.1583		
0.25	0.8386	0.51	0.7600	0.96	0.3249	2.20	0.1554		
0.26	0.8884	0.52	0.7431	0.98	0.3190	2.25	0.1521		



Spettro normalizzato

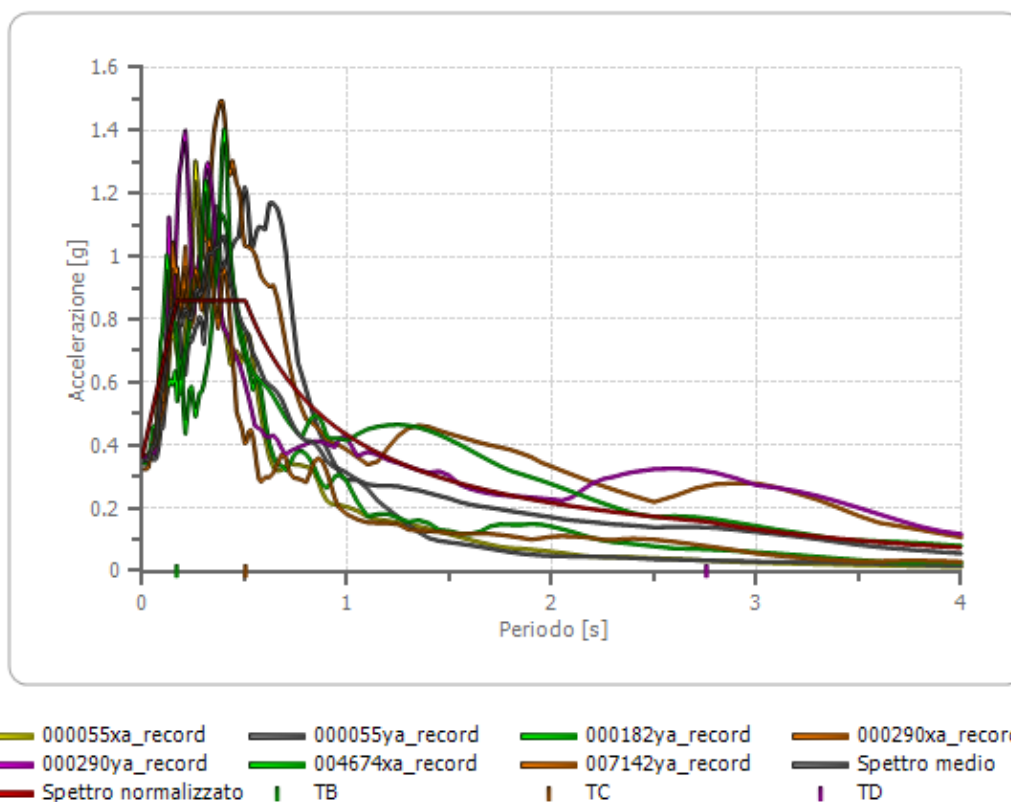
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.01	0.3942	0.27	0.8588	0.53	0.8163	1.00	0.4326	2.30	0.1881
0.02	0.4236	0.28	0.8588	0.54	0.8012	1.05	0.4120	2.35	0.1841
0.03	0.4530	0.29	0.8588	0.55	0.7866	1.10	0.3933	2.40	0.1803
0.04	0.4825	0.30	0.8588	0.56	0.7726	1.15	0.3762	2.50	0.1731
0.05	0.5119	0.31	0.8588	0.57	0.7590	1.20	0.3605	2.60	0.1664
0.06	0.5413	0.32	0.8588	0.58	0.7459	1.25	0.3461	2.70	0.1602
0.07	0.5707	0.33	0.8588	0.60	0.7211	1.30	0.3328	2.80	0.1545
0.08	0.6001	0.34	0.8588	0.62	0.6978	1.35	0.3205	2.90	0.1492
0.09	0.6296	0.35	0.8588	0.64	0.6760	1.40	0.3090	3.00	0.1442
0.10	0.6590	0.36	0.8588	0.66	0.6555	1.45	0.2984	3.10	0.1396
0.11	0.6884	0.37	0.8588	0.68	0.6362	1.50	0.2884	3.20	0.1352
0.12	0.7178	0.38	0.8588	0.70	0.6181	1.55	0.2791	3.30	0.1311
0.13	0.7473	0.39	0.8588	0.72	0.6009	1.60	0.2704	3.40	0.1272
0.14	0.7767	0.40	0.8588	0.74	0.5847	1.65	0.2622	3.50	0.1236
0.15	0.8061	0.41	0.8588	0.76	0.5693	1.70	0.2545	3.60	0.1202
0.16	0.8355	0.42	0.8588	0.78	0.5547	1.75	0.2472	3.70	0.1169
0.17	0.8588	0.43	0.8588	0.80	0.5408	1.80	0.2404	3.80	0.1139
0.18	0.8588	0.44	0.8588	0.82	0.5276	1.85	0.2339	3.90	0.1109
0.19	0.8588	0.45	0.8588	0.84	0.5150	1.90	0.2277	4.00	0.1082
0.20	0.8588	0.46	0.8588	0.86	0.5031	1.95	0.2219		
0.21	0.8588	0.47	0.8588	0.88	0.4916	2.00	0.2163		

0.22	0.8588	0.48	0.8588	0.90	0.4807	2.05	0.2110		
0.23	0.8588	0.49	0.8588	0.92	0.4703	2.10	0.2060		
0.24	0.8588	0.50	0.8588	0.94	0.4603	2.15	0.2012		
0.25	0.8588	0.51	0.8483	0.96	0.4507	2.20	0.1967		
0.26	0.8588	0.52	0.8320	0.98	0.4415	2.25	0.1923		



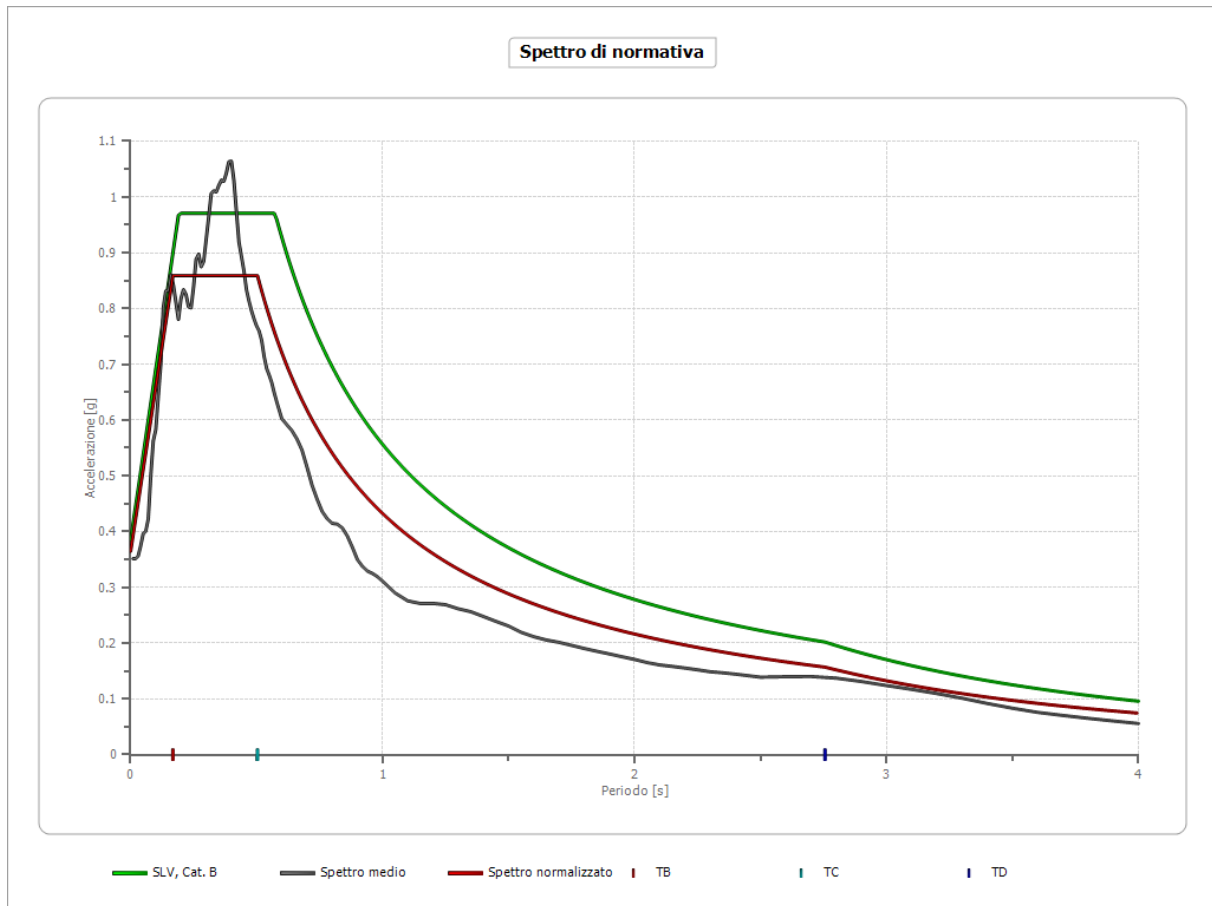
Confronto tra gli spettri

Spettro di accelerazione output



Confronto spettro normativa

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	90	151	1424	2475
ag [g]	0.093	0.118	0.289	0.352
Fo	2.39	2.407	2.526	2.577
Tc* [s]	0.342	0.358	0.443	0.453
Ss	1.20	1.20	1.11	1.04
St	1.20	1.20	1.20	1.20
Cc	1.36	1.35	1.29	1.29
TB [s]	0.155	0.161	0.191	0.195
TC [s]	0.466	0.484	0.573	0.584
TD [s]	1.972	2.072	2.756	3.008
Se(0) [g]	0.134	0.170	0.384	0.438
Se(TB) [g]	0.320	0.409	0.971	1.129



CONCLUSIONI

- 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;

Il Geologo
Dott. Michelangelo ZAPPA