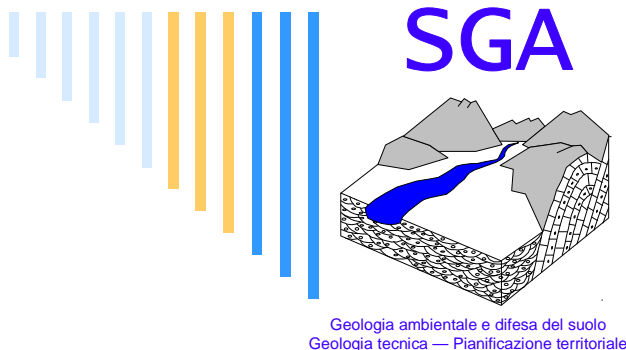


**COMUNE DI
CAMERINO**
PROVINCIA DI MACERATA



**RIPARAZIONE DEI DANNI E MIGLIORAMENTO SISMICO DEL
PALAZZO DUCALE (DA VARANO) DANNEGGIATO DAGLI EVENTI
SISMICI DEL 24 AGOSTO 2016 E SUCCESSIVI.**

Committente: **Università degli Studi di Camerino**

RUP: ing. **Marucci Gianluca**

Località: **Camerino**

Identificato catastale: **Foglio 61, particelle 146, 261 e 181**

**RELAZIONE DI RISPOSTA
SISMICA LOCALE**

San Severino Marche 7 marzo 2022

Iscrizione Elenco
Speciale Professionisti
EP_009537_2017

Prestazione Specialistica
Geol. **Marcello Maccari**



SGA STUDIO GEOLOGICO ASSOCIATO

Geol. ALESSANDRO ONORATI, Geol. MARCELLO MACCARI
V.le G. Mazzini, 23 - 62027 SAN SEVERINO MARCHE - ITALY

Tel. +39-733-645150 e-mail: info@sgageo.com Web: www.sgageo.com - C.F. P.I. 01080970435

INDICE

1.	PREMESSA.....	1
2.	CARATTERISTICHE GENERALI	1
3.	PARAMETRI SISMICI.....	3
4.	DISAGGREGAZIONE SISMICA PER SLV.....	4
5.	DEFINIZIONE DEGLI ACCELEROGRAMMI DI INPUT	5
6.	RISPOSTA SISMICA LOCALE	9
7.	SINTESI DEI RISULTATI SLV	11
	ANALISI DI CALCOLO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE	13

1. PREMESSA

La presente *Relazione di Risposta Sismica Locale* integra ed approfondisce, sulla base di quanto espressamente richiesto dal gruppo di progettazione, i risultati della caratterizzazione sismica ottenuta attraverso la procedura semplificata riportata nell'apposita *Relazione geologica, sismica e di caratterizzazione geotecnica*.

Il motivo di tale indagine è generato dalla necessità di avere un'informazione più dettagliata con una completa definizione del profilo sismostratigrafico fino al raggiungimento del bedrock sismico ed una valutazione dell'amplificazione locale più rigorosa rispetto all'approccio semplificato. Oltre all'espressa richiesta, detta indagine di RSL si conferma ancor più appropriata e necessaria viste anche le caratteristiche litostratigrafiche e sismiche locali che, emerse dalle prove geofisiche prese in considerazione, hanno evidenziato delle inversioni di velocità presenti fino all'intorno dei 40 metri di profondità, dopo di che il substrato può essere considerato sismico ($V_s > 800$ m/s).

2. CARATTERISTICHE GENERALI

Il moto del terreno che, durante un terremoto, si produce in ogni punto della superficie interessata dall'onda sismica è dato dalla sommatoria degli effetti generati da più fattori che interagiscono fra loro dal momento in cui inizia a propagarsi la perturbazione e cioè: meccanismo di sorgente, percorso di propagazione delle onde sismiche, condizioni locali (caratteristiche litostratigrafiche, geomorfologiche e geotecniche).

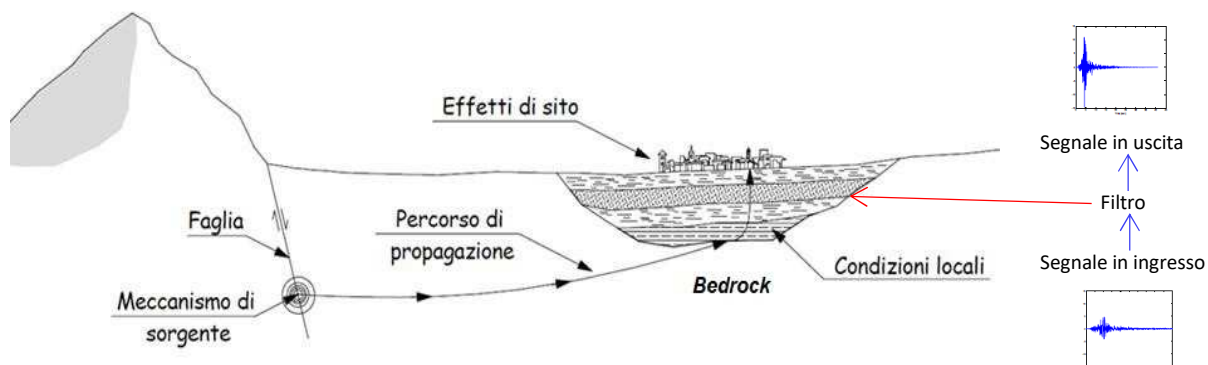


Figura 1: schema di propagazione delle onde sismiche

Ciò detto, si osserva tuttavia che gran parte delle trasformazioni del moto sismico avvengono proprio nell'ultima fase, cioè vengono originate nell'attraversamento delle ultime decine di metri di terreno e, sebbene questo corrisponda ad una piccolissima percentuale del percorso complessivo delle onde, ciò può essere tale da produrre in superficie, indipendentemente dal tipo di input sismico, sempre lo stesso tipo di moto, anche se non nell'ampiezza almeno nel contenuto in frequenza.

Per capire ciò che succede in superficie e quale tipo di sollecitazione viene trasmessa dal terreno alle strutture che vi insistono, si utilizzano procedure di calcolo in cui viene simulata la propagazione di onde sismiche all'interno degli ultimi strati di terreno compresi tra il sottostante bedrock sismico, contraddistinto da velocità delle onde di taglio V_s superiore a 800 m/s, ed il piano di fondazione dell'edificio.

I parametri di input per lo studio di **RSL** sono essenzialmente di due tipi:

- **Geotecnici e geomorfologici** (morfologia sepolta, topografia superficiale, stratigrafia, caratteristiche fisico-meccaniche degli strati di terreno sia in campo statico sia dinamico)
- **Sismici** (accelerogramma di progetto riferito al bedrock sismico, presente alla base del deposito o affiorante)

I primi servono a determinare la “forma” della funzione di amplificazione caratteristica degli ultimi stati di terreno attraversati, mentre i secondi a definire l'intera funzione di amplificazione degli stessi, con le frequenze e i rispettivi valori di amplificazione. In altre parole il moto sismico in superficie può essere definito solo se alle proprietà amplificative del deposito vengono accoppiati uno o più moti di riferimento caratteristici del substrato roccioso di base. Per la definizione di questi ultimi si può procedere utilizzando gli accelerogrammi reali, effettivamente registrati in sito o nelle zone vicine, che più si approssimano in termini di picco massimo e di contenuto in frequenza ai valori attesi.

3. PARAMETRI SISMICI

Tutti i principali dati di input vengono dedotti dell'indagine geologica redatta dal sottoscritto, dalla quale si evidenzia che i terreni non sono soggetti a liquefazione e che in base alla tabella 3.2. II NTC2018 la categoria di suolo da assegnare al sito è **B**, mentre la categoria topografica è la **T1**.

Per quanto riguarda i parametri sismici compatibili con il sito in esame si richiama l'elaborato **Parametri sismici** di cui alla Relazione Geologica dove si definiscono:

- *Vita nominale* V_n = 50 anni;
- *Coefficiente d'uso* C_u = 1,5 pari alla Classe d'uso III ai sensi del §2.4.2 NTC;
- *Vita riferimento* $V_r = V_n \cdot C_u = 50 \cdot 1,5 = 75$ anni

da cui discendono, per lo stato di salvaguardia della vita (**SLV**) con probabilità di superamento pari al 10 % ed un tempo di ritorno di **712 anni**, i seguenti parametri:

$$\begin{aligned} A_g &= 0,221 \text{ g} \\ F_0 &= 2,544 \\ T_c^* &= 0,332 \text{ [s]} \end{aligned}$$

A questo punto è necessario determinare i sette accelerogrammi di input sismo compatibili e spettro compatibili che vengono individuati con le modalità illustrate nei prossimi capitoli.

4. DISAGGREGAZIONE SISMICA PER SLV

La scelta di un set di accelerogrammi di riferimento per un sito è un'operazione complessa, che richiede approfondite conoscenze sulla pericolosità sismica regionale e la disponibilità di molte registrazioni. A tal scopo una banca-dati efficiente, facilmente consultabile e aggiornata, è fornita dal database dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia di Milano, che può essere consultato al link <http://esse1-gis.mi.ingv.it>, da cui è possibile eseguire una scelta opportuna e un confronto tra i vari accelerogrammi disponibili tramite un'operazione, definita di *disaggregazione della pericolosità sismica*, che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito.

La forma più comune di *disaggregazione sismica* è quella bidimensionale in magnitudo e distanza, che definisce il contributo delle sorgenti sismogenetiche poste a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M. In sostanza la disaggregazione dei valori di PGA fornisce statisticamente il terremoto che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito.

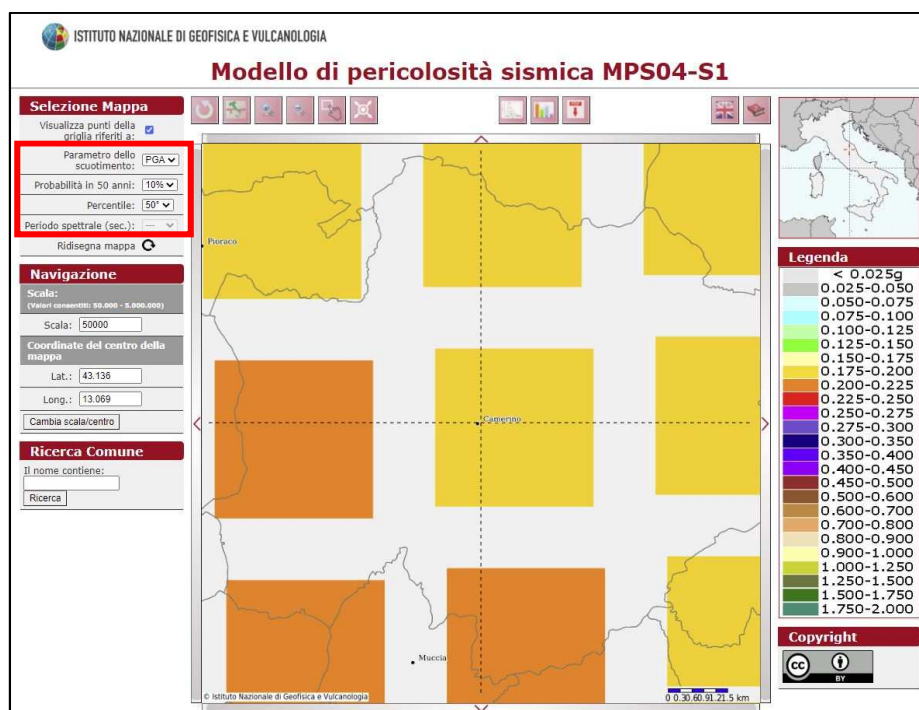


Figura 2: griglia PGA per il sito in esame per lo SLV

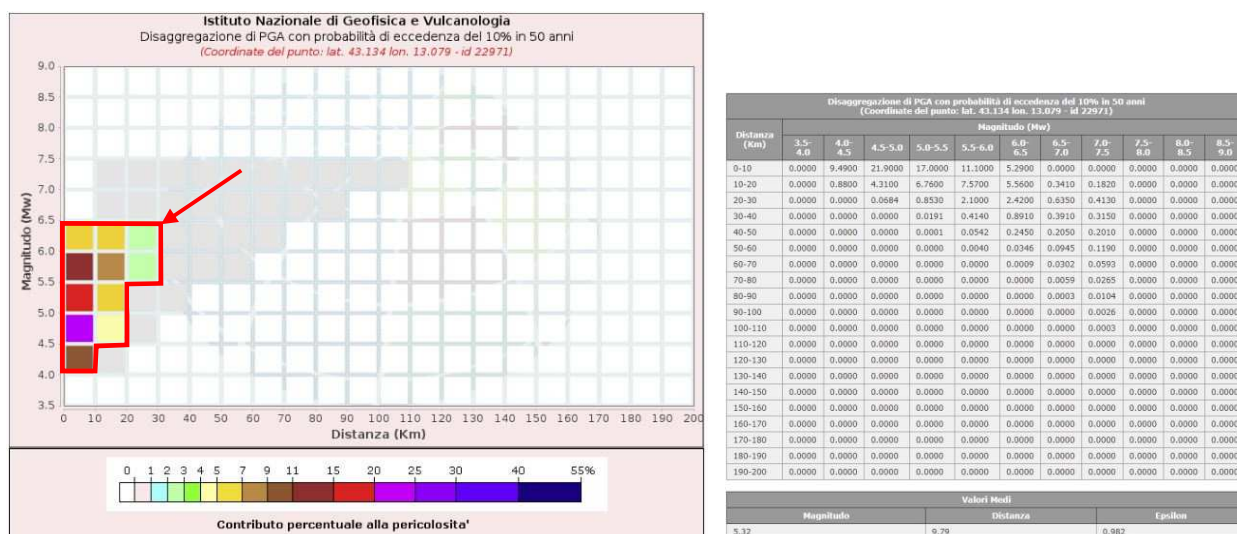


Figura 3: grafici di disaggregazione M – R

Dalle informazioni ottenute attraverso lo studio di disaggregazione si ottengono i campi di valori di M e R da inserire nella maschera di ricerca dei records spettro compatibili per lo stato SLV.

In particolare per la zona in studio sono stati considerati, come possibile valutare dalla figura 3 (**SLV**), i seguenti intervalli:

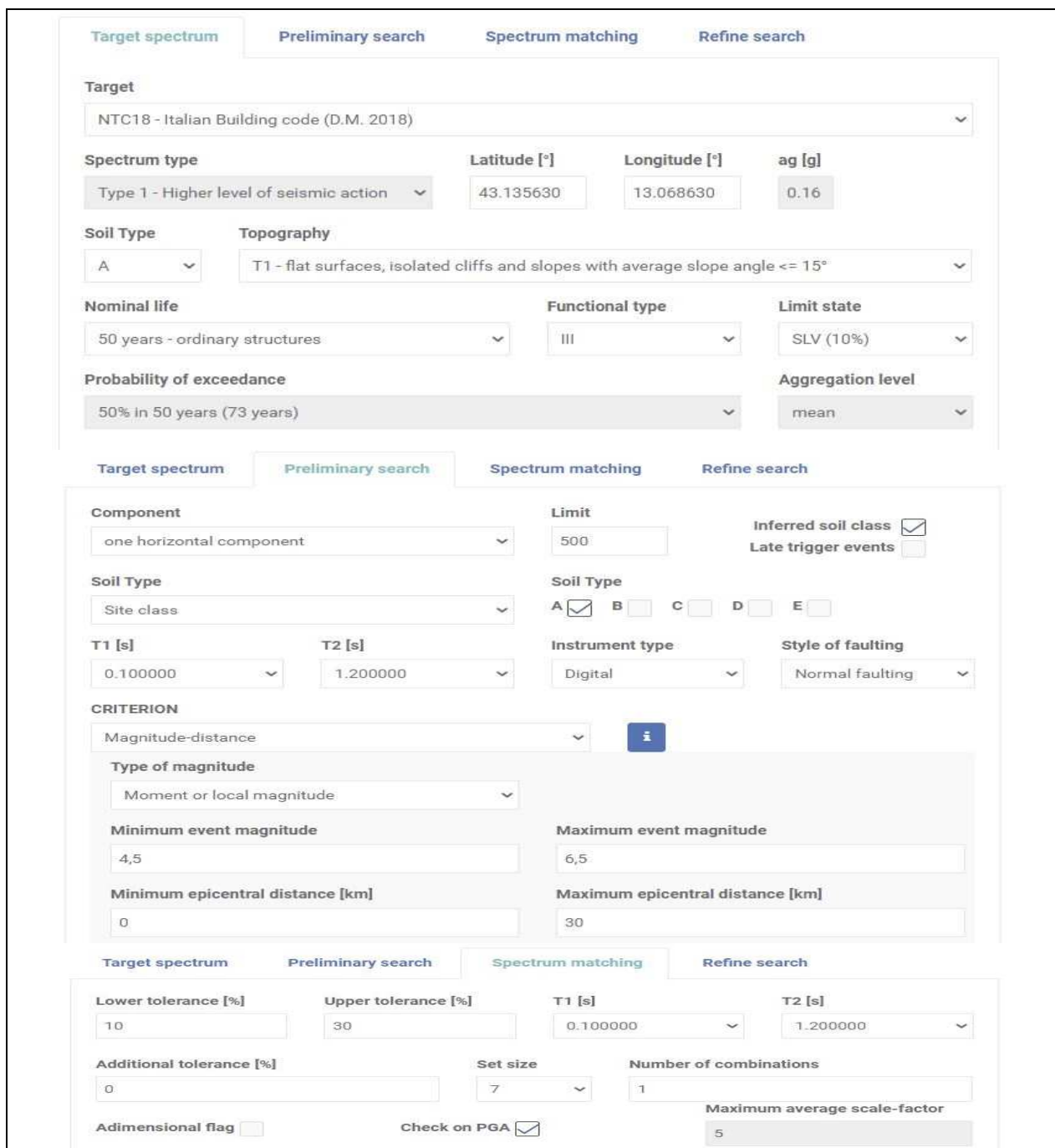
- M (magnitudo) compresa fra $M_{\min} = 4,0$ e $M_{\max} = 6,5$
- R (distanza in km) compresa fra $R_{\min} = 0$ e $R_{\max} = 30$

A questo punto si dispone di tutti i dati necessari per avviare l'estrazione degli accelerogrammi di input.

5. DEFINIZIONE DEGLI ACCELEROGRAMMI DI INPUT

Dalla definizione dei dati di disaggregazione si può procedere all'estrazione degli accelerogrammi di input per il sito in esame utilizzando il software REXELweb fornito dalla piattaforma ESMDATABASE e sviluppato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. A causa della difficoltà di estrazione degli spettri si è reso necessario restringere il campo della ricerca limitando l'intervallo di magnitudo tra 4,5 e 6,5.

Pertanto la ricerca degli accelerogrammi, per lo stato limite di vita dell'edificio (SLV), viene effettuata utilizzando i parametri così come riportati nella seguente maschera di input:



The form is divided into three main sections: Target spectrum, Preliminary search, and Spectrum matching.

Target spectrum

- Target: NTC18 - Italian Building code (D.M. 2018)
- Spectrum type: Type 1 - Higher level of seismic action
- Latitude [°]: 43.135630
- Longitude [°]: 13.068630
- ag [g]: 0.16
- Soil Type: A
- Topography: T1 - flat surfaces, isolated cliffs and slopes with average slope angle <= 15°
- Nominal life: 50 years - ordinary structures
- Functional type: III
- Limit state: SLV (10%)
- Probability of exceedance: 50% in 50 years (73 years)
- Aggregation level: mean

Preliminary search

- Component: one horizontal component
- Limit: 500
- Inferred soil class: ☒
- Late trigger events: ☐
- Soil Type: Site class
- Soil Type: A ☒ B ☐ C ☐ D ☐ E ☐
- T1 [s]: 0.100000
- T2 [s]: 1.200000
- Instrument type: Digital
- Style of faulting: Normal faulting

Spectrum matching

CRITERION

- Magnitude-distance
- Type of magnitude: Moment or local magnitude
- Minimum event magnitude: 4,5
- Maximum event magnitude: 6,5
- Minimum epicentral distance [km]: 0
- Maximum epicentral distance [km]: 30

Target spectrum

- Lower tolerance [%]: 10
- Upper tolerance [%]: 30
- T1 [s]: 0.100000
- T2 [s]: 1.200000
- Additional tolerance [%]: 0
- Set size: 7
- Number of combinations: 1
- Adimensional flag: ☐
- Check on PGA: ☒
- Maximum average scale-factor: 5

Figura 4: schermata dei parametri di input per l'estrazione degli accelerogrammi

Selected waveforms: 7
Current combination: 1 (Score: 0.140)

Download-ascii Download-hdf5

Combination	Waveform ID	ESM ID	Network	Station code	Sensor ID	Instrument code	Orientation	ML	MW	Style of faulting	Epicentral distance [km]	EC8 code	Va30 [m/s]	Score	Scale Factor
1	IT.MNF.00.HG.EMSC-20161030_0000029	EMSC-20161030_0000029	IT	MNF	00	HG	E	6.1	6.5	Normal faulting	26.0	A	1062	E: 0.612	E: 1.000
1	IV.T1212..HN.EMSC-20161026_0000077	EMSC-20161026_0000077	IV	T1212		HN	E	5.4	5.4	Normal faulting	15.2	A		E: 0.353	E: 1.000
1	IV.T1256..HN.EMSC-20161030_0000029	EMSC-20161030_0000029	IV	T1256		HN	E	6.1	6.5	Normal faulting	21.5	A		E: 0.421	E: 1.000
1	IT.ACC.00.HG.EMSC-20161030_0000029	EMSC-20161030_0000029	IT	ACC	00	HG	E	6.1	6.5	Normal faulting	18.6	A		E: 1.061	E: 1.000
1	IV.T1212..HN.EMSC-20161030_0000029	EMSC-20161030_0000029	IV	T1212		HN	N	6.1	6.5	Normal faulting	10.5	A		N: 0.388	N: 1.000
1	IV.FEMA..HN.EMSC-20161026_0000077	EMSC-20161026_0000077	IV	FEMA		HN	E	5.4	5.4	Normal faulting	11.5	A		E: 0.367	E: 1.000
1	IV.T1245..HN.EMSC-20161026_0000095	EMSC-20161026_0000095	IV	T1245		HN	E	5.9	5.9	Normal faulting	7.5	A		E: 1.411	E: 1.000

Figura 5: schermata riassuntiva dei parametri degli accelerogrammi estratti

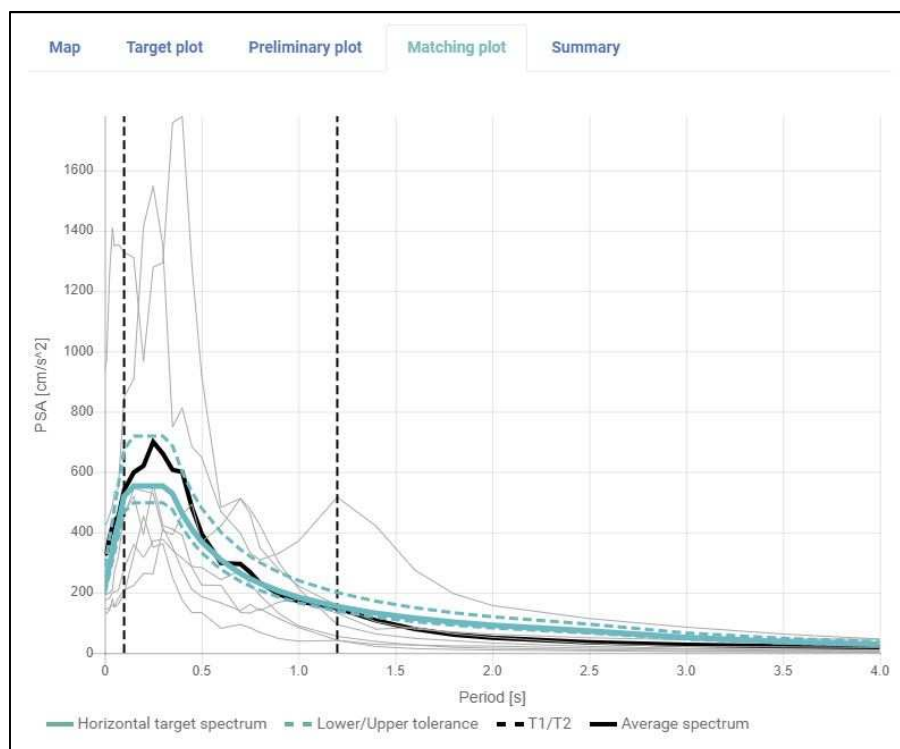


Figura 6: spettri degli accelerogrammi

Nella tabella e nelle figure seguenti vengono riportati gli accelerogrammi estratti da utilizzare per la modellazione riferita allo **SLV** specificatamente per l'area in studio:

IT.ACC.00.HGE.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP
IT.MNF.00.HGE.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP
IV.FEMA..HNE.D.EMSC-20161026_0000077.ACC.MP
IV.T1212..HNE.D.EMSC-20161026_0000077.ACC.MP
IV.T1212..HNN.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP
IV.T1245..HNE.D.EMSC-20161026_0000095.ACC.MP
IV.T1256..HNE.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP

Tabella1: accelerogrammi spettro compatibili

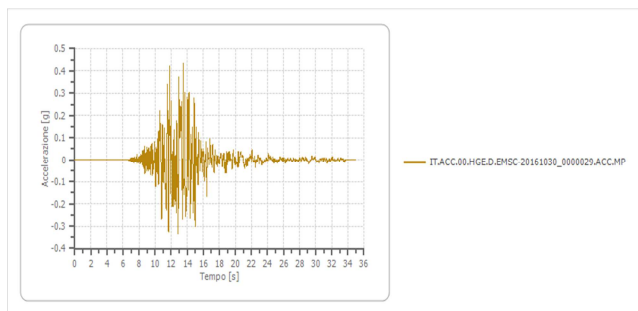


Figura 7: IT.ACC.00.HGE.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP

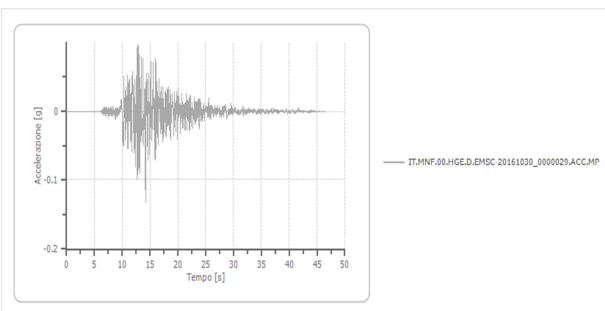


Figura 8: IT.MNF.00.HGE.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP

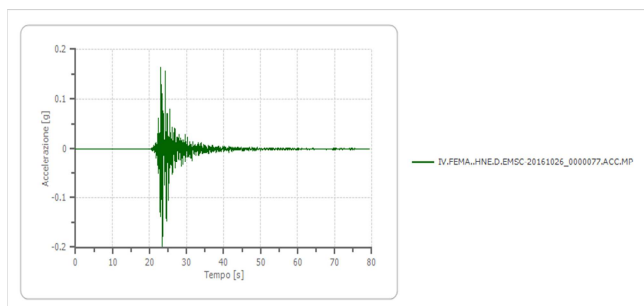


Figura 9: IV.FEMA..HNE.D.EMSC-20161026_0000077.ACC.MP

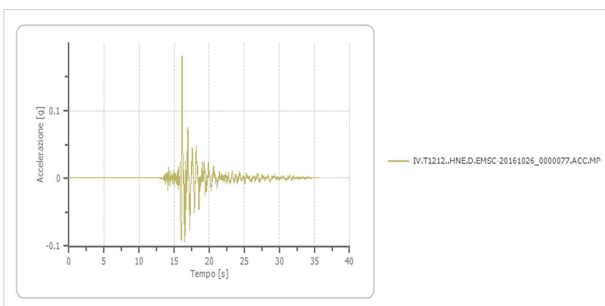


Figura 10: IV.T1212..HNE.D.EMSC-20161026_0000077.ACC.MP

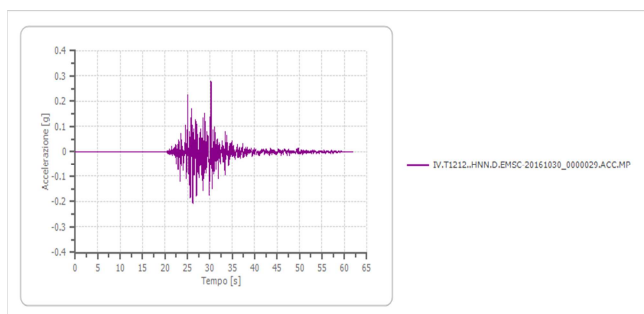


Figura 11: IV.T1212..HNN.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP

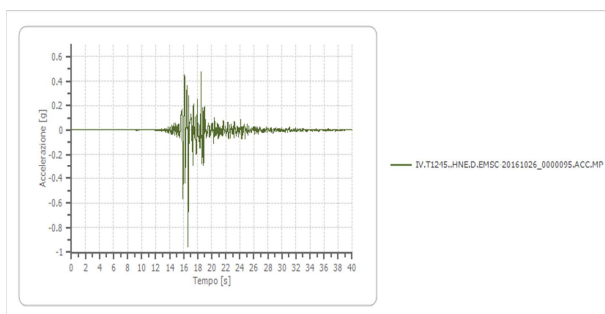


Figura 12: IV.T1245..HNE.D.EMSC-20161026_0000095.ACC.MP

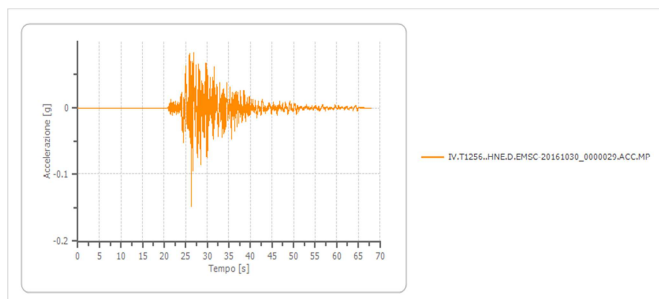


Figura 13: IV.T1256..HNE.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP

6. RISPOSTA SISMICA LOCALE

Per l'analisi di risposta sismica locale 1D (in considerazione di: stratificazione piano-parallela, altezza scarpata inferiore a 30 metri, pendenza generale del versante inferiore a 15°) è stato utilizzato il software **RSL III** della softwarehouse **GeoStru**, di cui si allega l'elaborato contenente la relazione di calcolo dettagliata.

Sulla base del cosiddetto volume significativo di terreno interessato, viene definita la sismostratigrafia che rappresenta l'andamento dei singoli livelli di terreno in una determinata sezione verticale. La modellazione è stata "tarata" eseguendo il confronto tra la funzione di trasferimento dell'accelerazione (utile per definire il campo delle frequenze entro il quale il sottosuolo suolo amplifica il segnale sismico e valutare possibili fenomeni di doppia risonanza) con il picco H/V maggiormente significativo, ottenuto con la misura dei microtremori in sito.

Riguardo il bedrock sismico, questo è stato posto, sulla base di considerazioni geologico stratigrafiche e delle indagini sismiche appositamente eseguite, nonché da quanto emerso dagli studi di Microzonazione sismica, al di sotto di 40 m dal p.c., nella parte più competente della *Formazione delle Arenarie di Camerino* dove la V_s è costantemente superiore a 800 m/s.

Nel caso specifico, poiché il complesso edilizio del Palazzo Da Varano è stato realizzato in parte in aderenza alla scarpata strutturale che borda il centro storico di Camerino ed in parte in elevazione al di sopra della spianata del detto centro storico, è stato ritenuto opportuno eseguire l'analisi di RSL sia a livello dell'Orto Botanico, dove si trovano le fondazioni della porzione di valle del complesso edilizio, sia a livello di Piazza Cavour dove poggia il resto delle fondazioni.

Si riportano quindi i profili sismo-stratigrafici caratteristici elaborati sulla verticale sia dell'Orto Botanico sia di Piazza Cavour riportando i limiti stratigrafici ed i parametri geomeccanici e sismici, poi utilizzati per l'analisi di calcolo per la modellazione sismica a partire dal piano fondale considerato a profondità comprese tra 2 e 3 dal p.c..

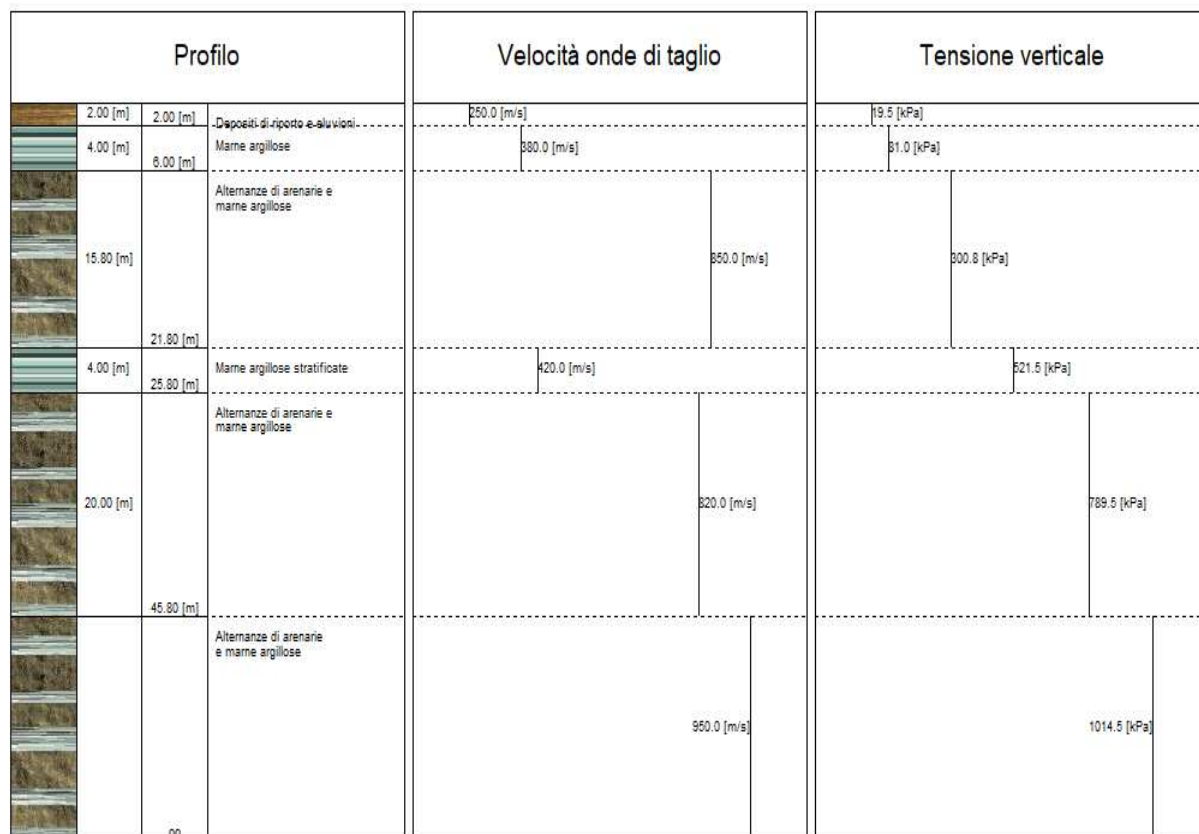


Figura 14: profilo sismostratigrafico sulla verticale dell'Orto Botanico

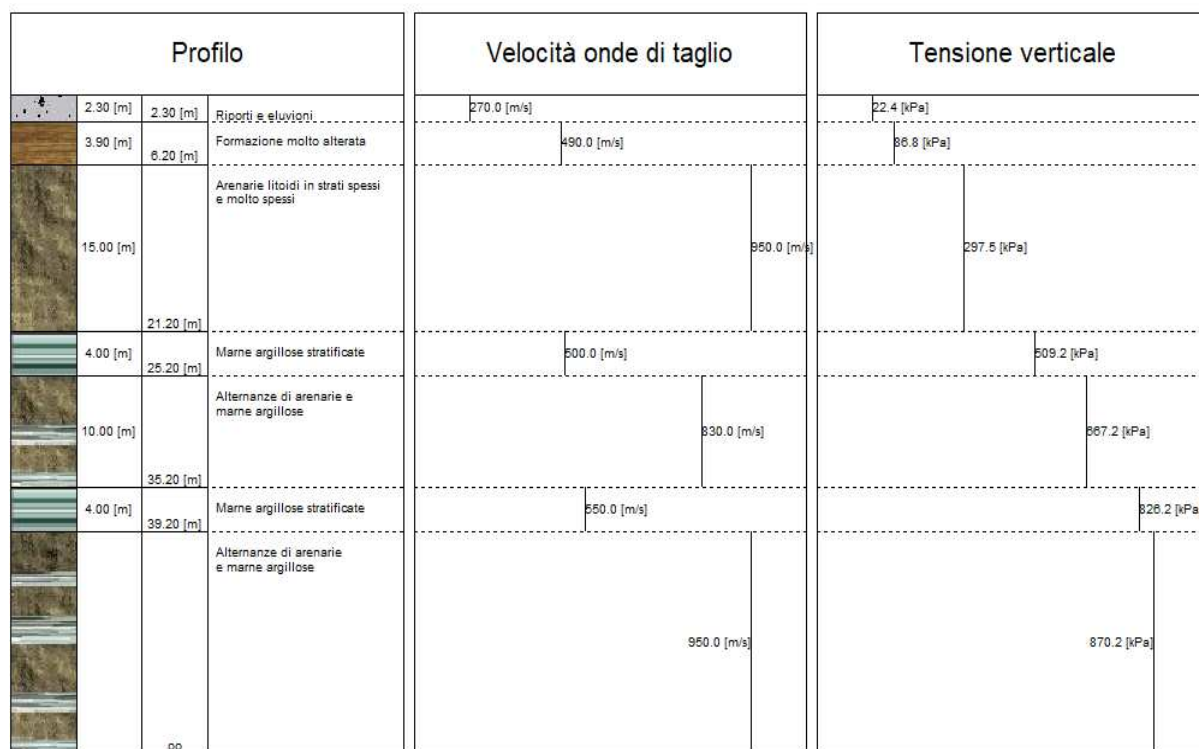


Figura 15: profilo sismostratigrafico sulla verticale di Piazza Cavour

7. SINTESI DEI RISULTATI SLV

Dalle elaborazioni si ricavano i grafici degli spettri elastici medi, corrispondenti alla profondità di imposta delle fondazioni, a cui vengono sovrapposti lo spettro normalizzato, quelli relativi alla categoria di suolo A, B e di RSL.

SLV Orto Botanico

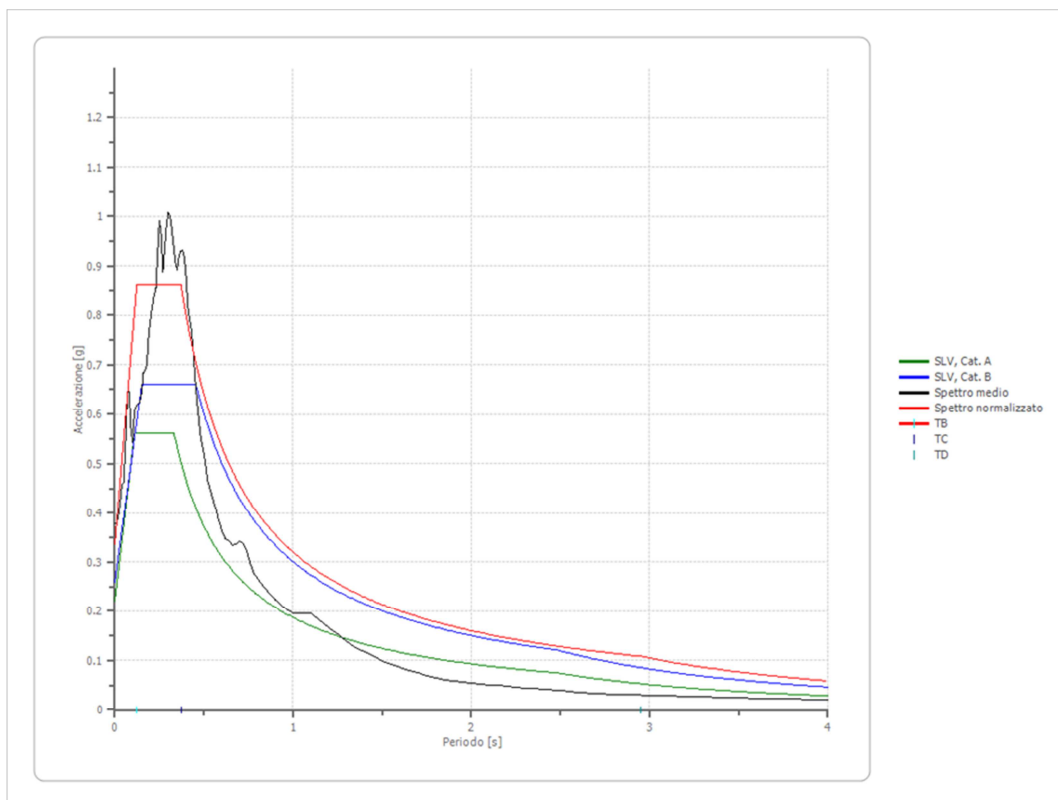


Figura 16: sovrapposizione degli spettri, medio, A, B e di RSL

Come si può osservare dal grafico della figura precedente, lo spettro medio relativo allo SLV presenta due picchi di valore intorno ad 1 g in corrispondenza dei periodi 0,25 e 0,30 s.

I valori ottenuti dalla normalizzazione riferiti allo SLV sono i seguenti:

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.337	2.558476	--	0.124	0.371	2.949	0.337	0.863	1.526

SLV Piazza Cavour

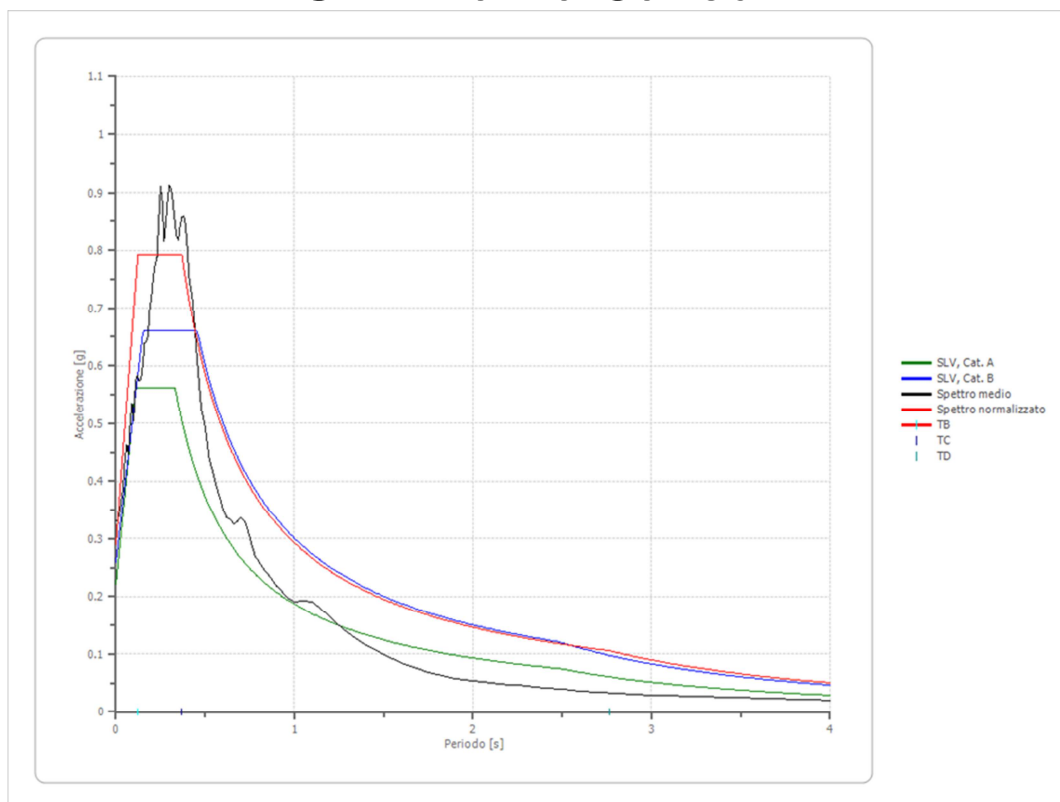


Figura 17: sovrapposizione degli spettri, medio, A, B e di RSL

Come si può osservare dal grafico della figura precedente, lo spettro medio relativo allo SLV presenta due picchi di valore intorno a 0,91 g in corrispondenza dei periodi 0,25 e 0,30 s.

I valori ottenuti dalla normalizzazione riferiti allo SLV sono i seguenti:

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.291	2.724564	--	0.123	0.370	2.763	0.291	0.792	1.316

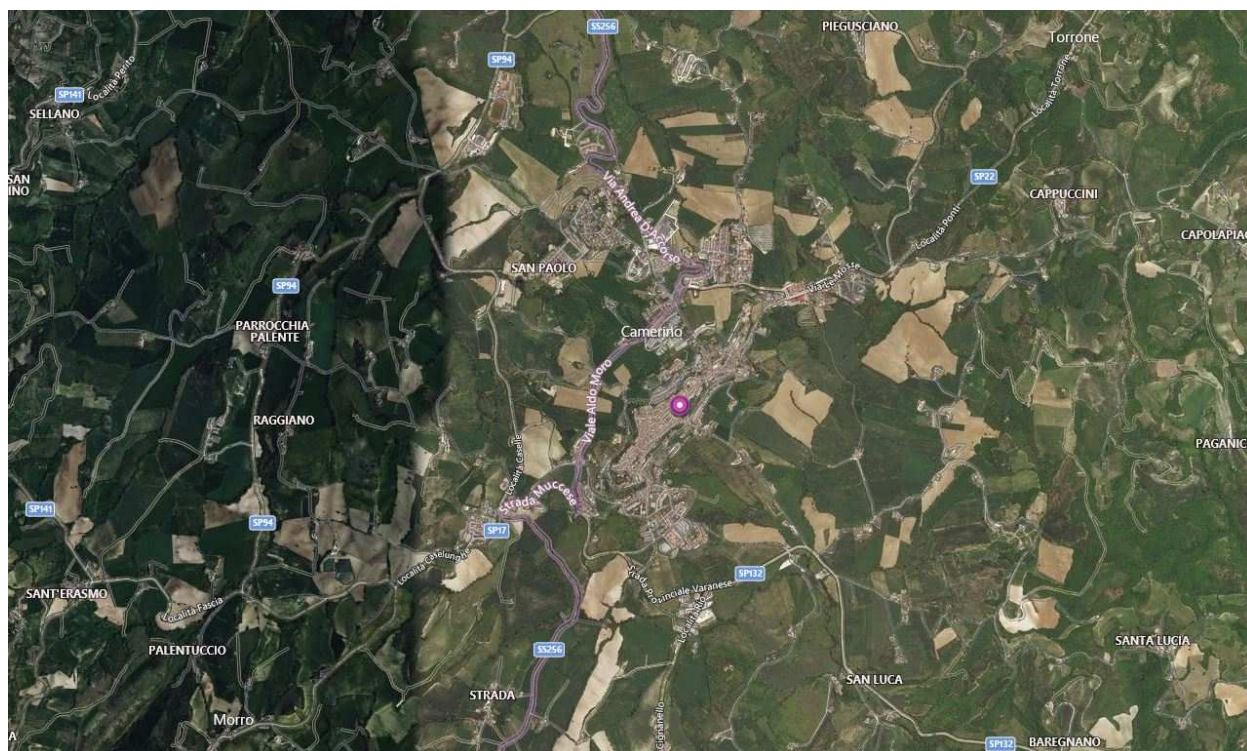
ANALISI DI CALCOLO DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

**LAVORI DI RIPARAZIONE DANNI DI UN IMMOBILE DANNEGGIATO DAGLI
EVENTI SISMICI VERIFICATISI A FAR DATA DAL 24 AGOSTO 2016**

Dati generali

Committente
RUP
Cantiere
Operatore della prova
Data della prova
Latitudine (WGS84)
Longitudine (WGS84)

Università degli Studi di Camerino
ing. Gianluca Marucci
Palazzo da Varano, Piazza Cavour, Camerino
Geol. Maccari Marcello
20/01/2022
43,135706[°]
13,068801[°]



Software: **RSL III** Versione: 2020.20.5.751



Copyright © 2018

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:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
 - 2.1. Stima della funzione di trasferimento;
 - 2.2. Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
 - 2.3. 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;

3. 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

$$\left[\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z, t)}{\partial z \partial t} \right]$$

come un solido di Kelvin-Voigt, 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:

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

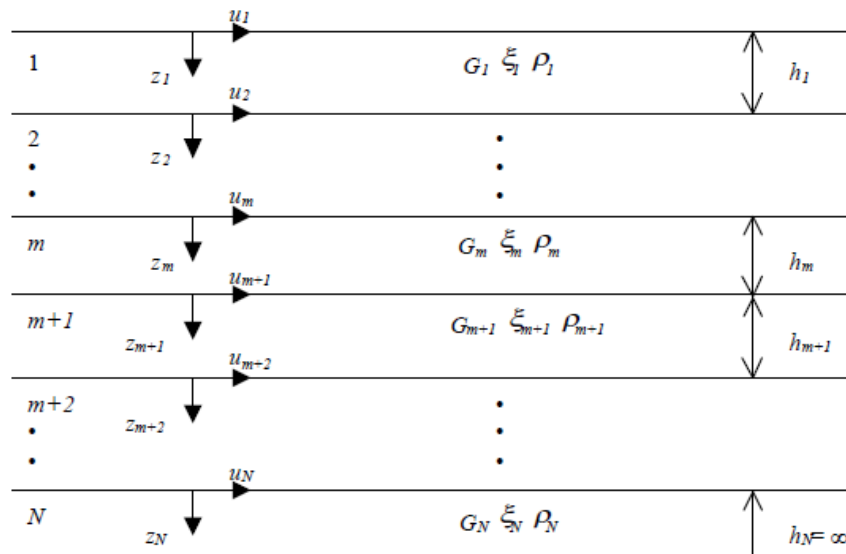


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

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:

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

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:

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

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 :

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

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.

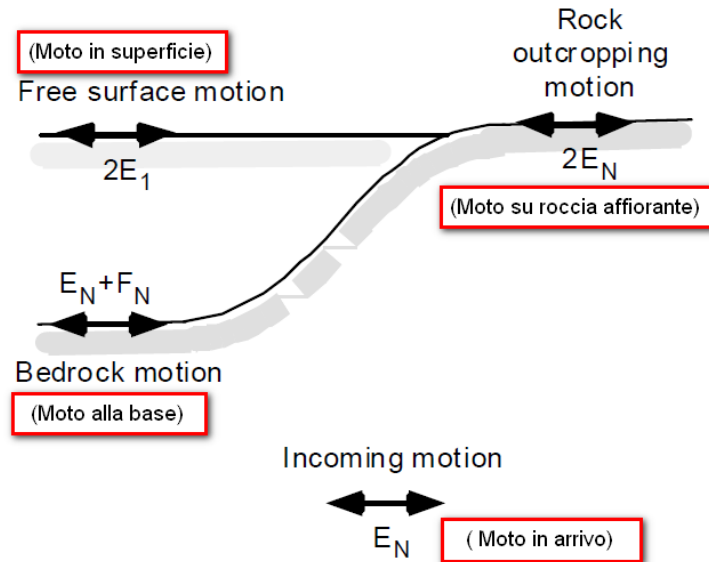


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

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.

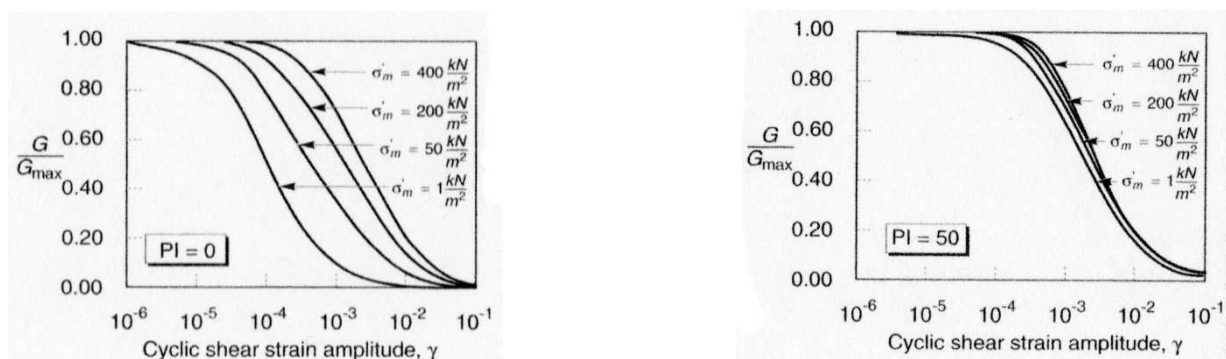


Figura 2: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

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

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{1.8})}{2} \left[0.586 \left(\frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

da cui si deduce che anche ξ deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.

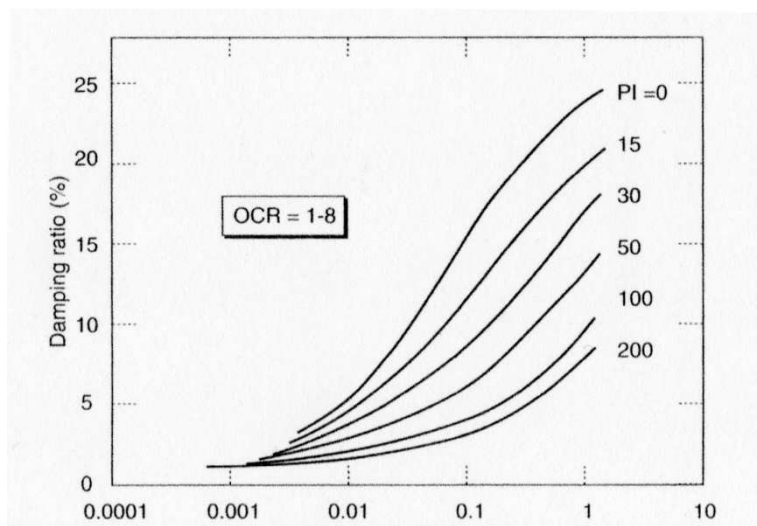


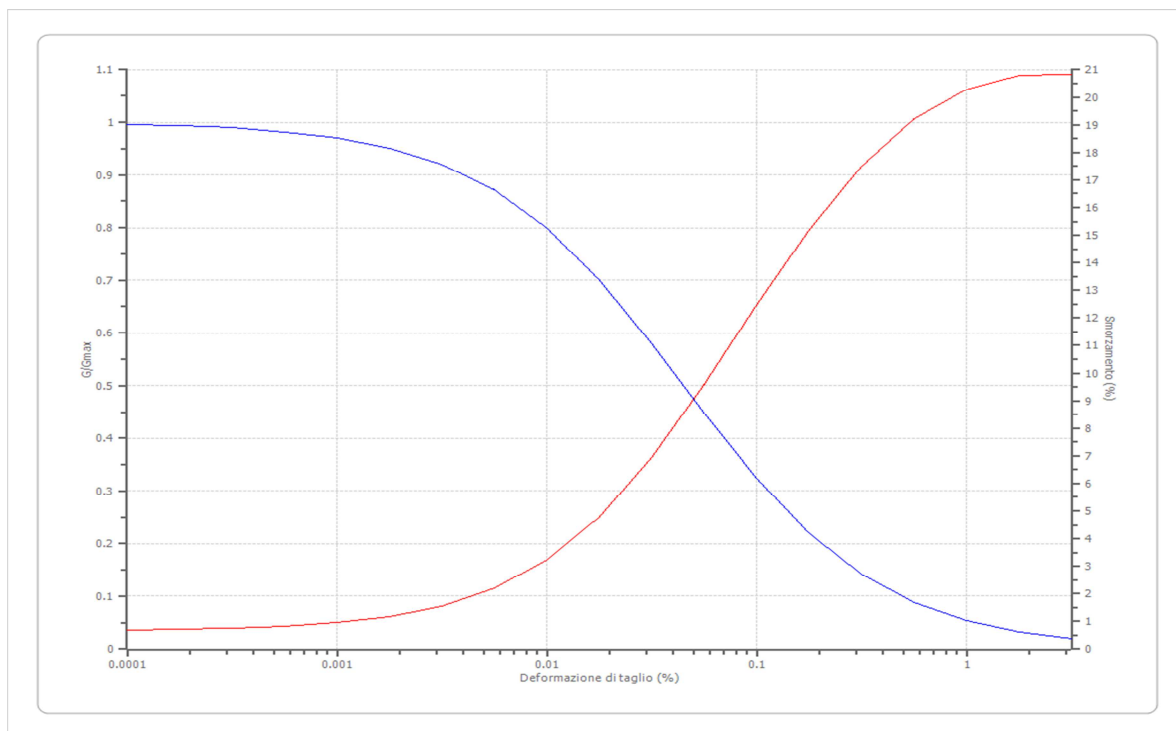
Figura 3: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

SLV Orto Botanico

Terreni

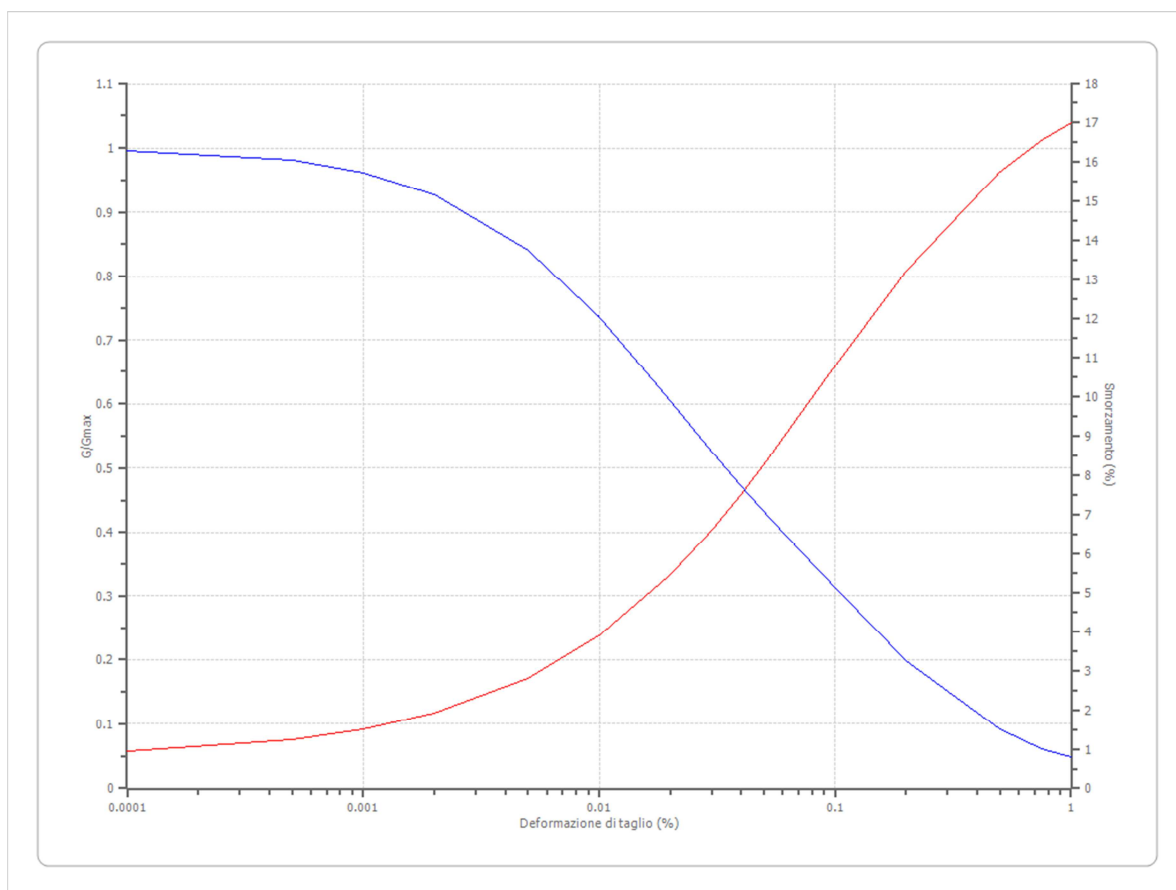
Darendeli & Stokoe (2001) IP=0, OCR = 1

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	0.996	0.0001	0.685
0.000178	0.994	0.000178	0.708
0.000316	0.990	0.000316	0.750
0.000562	0.982	0.000562	0.822
0.001	0.971	0.001	0.950
0.00178	0.951	0.00178	1.173
0.00316	0.920	0.00316	1.556
0.00562	0.871	0.00562	2.197
0.010	0.799	0.010	3.228
0.0178	0.700	0.0178	4.787
0.0316	0.579	0.0316	6.941
0.0562	0.448	0.0562	9.594
0.100	0.324	0.100	12.466
0.178	0.220	0.178	15.197
0.316	0.142	0.316	17.496
0.562	0.089	0.562	19.207
1.000	0.054	1.000	20.291
1.780	0.033	1.780	20.801
3.160	0.020	3.160	20.839



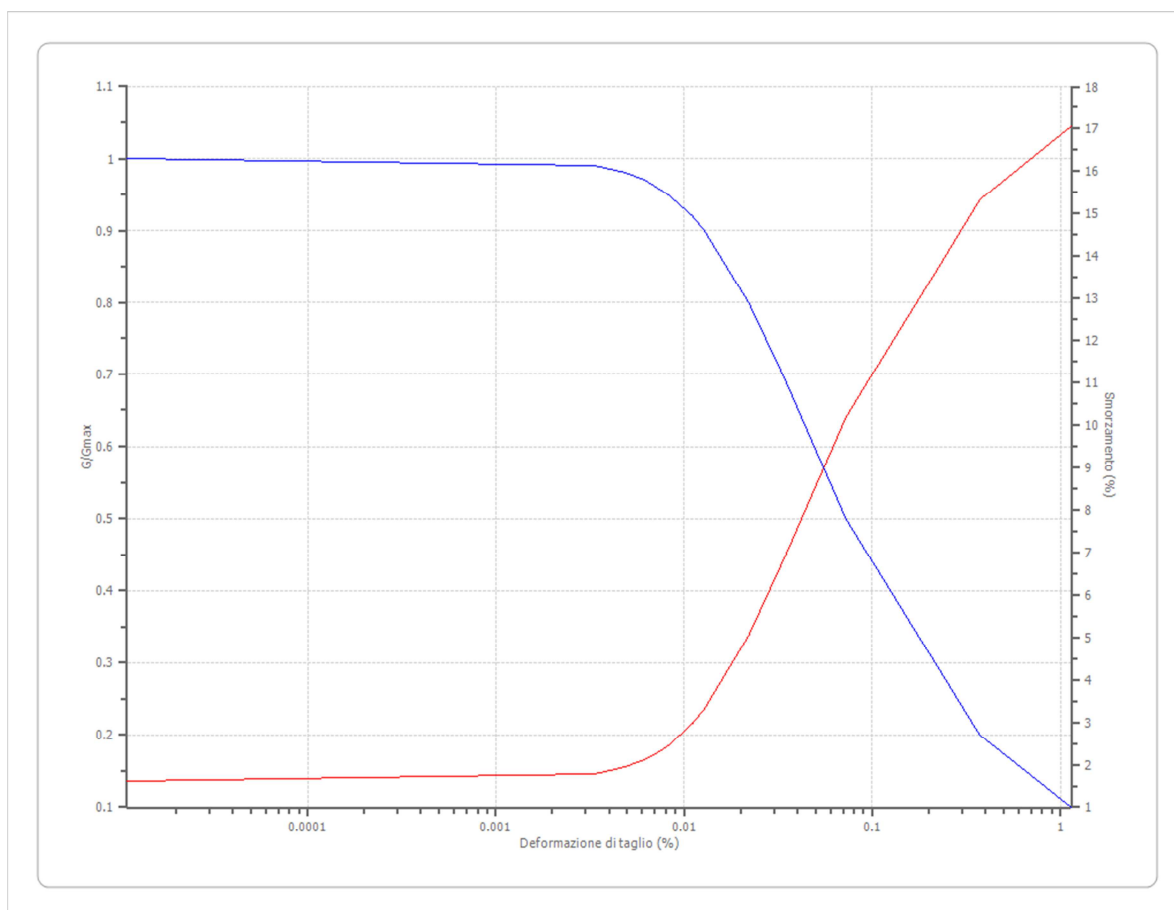
Rollins et al (1998)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	0.996	0.0001	0.949
0.0005	0.981	0.0005	1.239
0.001	0.962	0.001	1.498
0.002	0.927	0.002	1.905
0.005	0.841	0.005	2.805
0.010	0.736	0.010	3.894
0.020	0.605	0.020	5.454
0.030	0.526	0.030	6.605
0.040	0.472	0.040	7.523
0.050	0.432	0.050	8.282
0.075	0.361	0.075	9.737
0.100	0.313	0.100	10.793
0.200	0.198	0.200	13.229
0.500	0.091	0.500	15.758
0.750	0.062	0.750	16.555
1.000	0.048	1.000	17.009



ALS_MS3

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.000011	1.000	0.000011	1.600
0.00335	0.990	0.00335	1.772
0.00488	0.980	0.00488	1.943
0.00613	0.970	0.00613	2.115
0.00723	0.960	0.00723	2.286
0.00825	0.950	0.00825	2.458
0.0106	0.925	0.0106	2.887
0.0109	0.922	0.0109	2.937
0.0111	0.920	0.0111	2.973
0.0128	0.900	0.0128	3.316
0.022	0.800	0.022	5.032
0.0333	0.700	0.0333	6.748
0.0725	0.500	0.0725	10.180
0.373	0.200	0.373	15.329
1.140	0.100	1.140	17.045









Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Gmax [MPa]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	Depositi di riporto e eluvioni	--	2.0	Rollins et al (1998)	124.24	19.5	250.0	19.5
2	Marne argillose	2.0	4.0	Darendeli & Stokoe (2001) IP=0, OCR = 1	309.11	21.0	380.0	81.0
3	Alternanze di arenarie e marne argillose	6.0	15.8	ALS_MS3	1657.11	22.5	850.0	300.8
4	Marne argillose stratificate	21.8	4.0	Darendeli & Stokoe (2001) IP=0, OCR = 1	386.61	21.5	420.0	521.5
5	Alternanze di arenarie e marne argillose	25.8	20.0	ALS_MS3	1542.20	22.5	820.0	789.5
6	Alternanze di arenarie e marne argillose	oo	--	Smorzamento costante	2161.95	23.5	950.0	1014.5

Strato rilevamento accelerogramma:

6 Affiorante

Profilo			Velocità onde di taglio		Tensione verticale	
	2.00 [m]	2.00 [m]	250.0 [m/s]		19.5 [kPa]	
	4.00 [m]	6.00 [m]	380.0 [m/s]		81.0 [kPa]	
	15.80 [m]	21.80 [m]	850.0 [m/s]		300.8 [kPa]	
	4.00 [m]	25.80 [m]	420.0 [m/s]		521.5 [kPa]	
	20.00 [m]	45.80 [m]	820.0 [m/s]		789.5 [kPa]	
		oo	950.0 [m/s]		1014.5 [kPa]	

ELABORAZIONE

Numero di iterazioni 20
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
Tipo di modulo elastico Shake
Massimo errore percentuale di convergenza 2.61 E-03

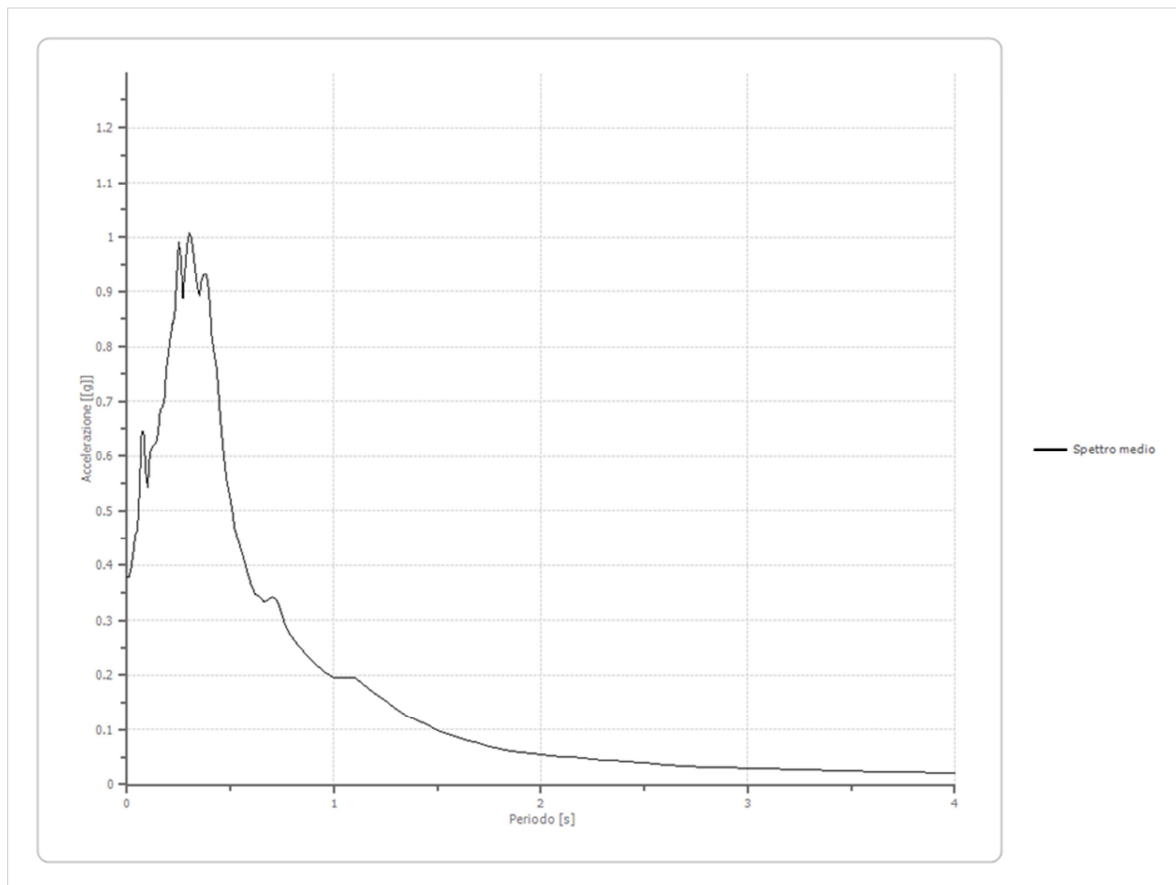
Fattori di amplificazione ICMS 2018

Tai	0.250 [s]
Tvi	0.410 [s]
Tao	0.300 [s]
Tvo	0.400 [s]
Sami	6.292 [m/s ²]
Svmi	0.347 [m/s]
Samo	8.463 [m/s ²]
Svmo	0.500 [m/s]
Fa	1.345 [-]
Fv	1.439 [-]
TB	0.124 [s]
TC	0.371 [s]
TD	2.949 [s]
SA(0)	0.337 [g]
SA(TB)	0.863 [g]

Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.3796	0.26	0.9637	0.52	0.4674	0.98	0.1991	2.25	0.0465
0.01	0.3797	0.27	0.8880	0.53	0.4550	1.00	0.1955	2.30	0.0451
0.02	0.3957	0.28	0.9388	0.54	0.4422	1.05	0.1963	2.35	0.0436
0.03	0.4237	0.29	0.9840	0.55	0.4287	1.10	0.1950	2.40	0.0422
0.04	0.4564	0.30	1.0077	0.56	0.4159	1.15	0.1804	2.50	0.0393
0.05	0.4631	0.31	0.9995	0.57	0.4032	1.20	0.1663	2.60	0.0366
0.06	0.5351	0.32	0.9709	0.58	0.3895	1.25	0.1534	2.70	0.0339
0.07	0.6447	0.33	0.9381	0.60	0.3637	1.30	0.1393	2.80	0.0321
0.08	0.6455	0.34	0.9074	0.62	0.3471	1.35	0.1271	2.90	0.0309
0.09	0.5729	0.35	0.8914	0.64	0.3430	1.40	0.1172	3.00	0.0297
0.10	0.5419	0.36	0.9182	0.66	0.3351	1.45	0.1085	3.10	0.0284
0.11	0.6027	0.37	0.9308	0.68	0.3374	1.50	0.0998	3.20	0.0271
0.12	0.6169	0.38	0.9317	0.70	0.3439	1.55	0.0929	3.30	0.0264
0.13	0.6205	0.39	0.9161	0.72	0.3389	1.60	0.0864	3.40	0.0256
0.14	0.6241	0.40	0.8767	0.74	0.3212	1.65	0.0805	3.50	0.0249
0.15	0.6436	0.41	0.8172	0.76	0.2956	1.70	0.0752	3.60	0.0240
0.16	0.6828	0.42	0.7913	0.78	0.2771	1.75	0.0701	3.70	0.0232
0.17	0.6900	0.43	0.7696	0.80	0.2662	1.80	0.0653	3.80	0.0225
0.18	0.7001	0.44	0.7270	0.82	0.2561	1.85	0.0612	3.90	0.0217
0.19	0.7595	0.45	0.6737	0.84	0.2481	1.90	0.0582	4.00	0.0208
0.20	0.7893	0.46	0.6316	0.86	0.2397	1.95	0.0561		
0.21	0.8184	0.47	0.5925	0.88	0.2304	2.00	0.0544		

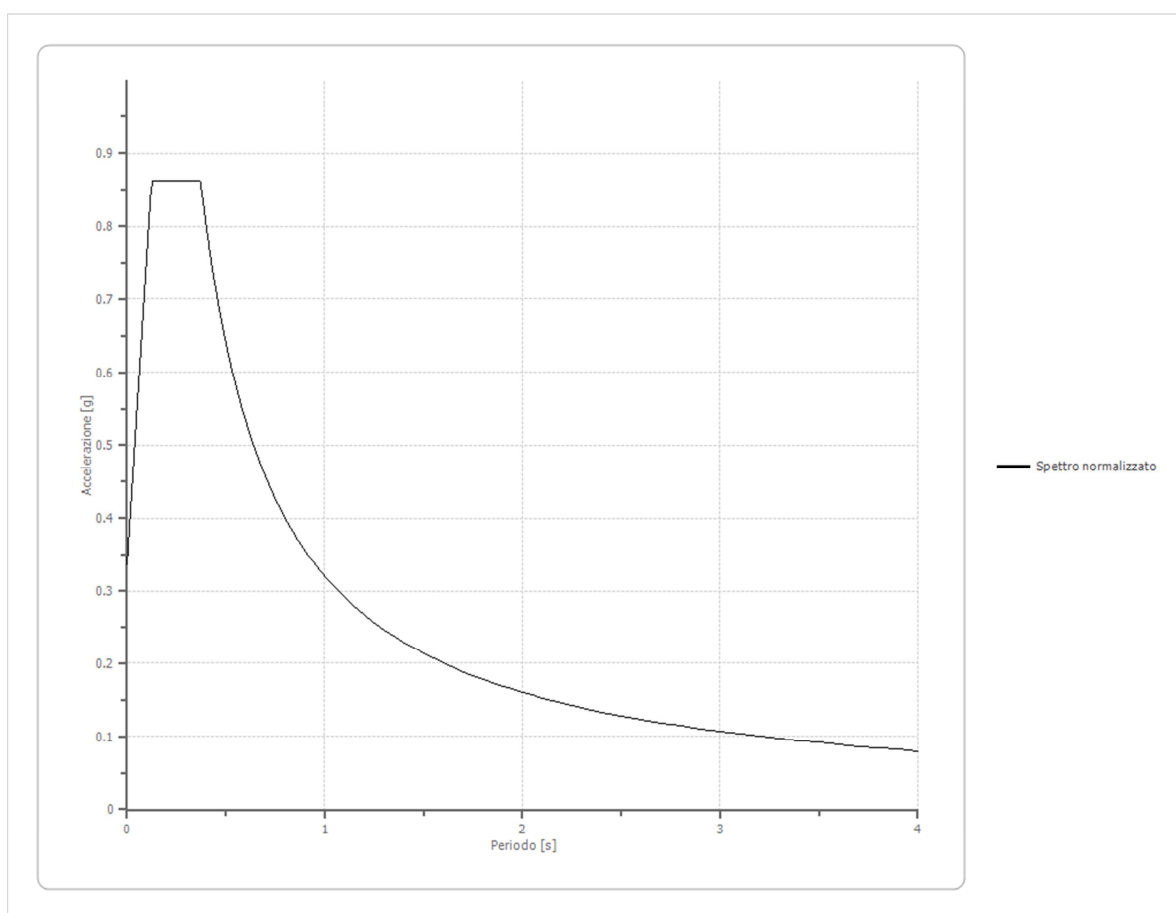
0.22	0.8419	0.48	0.5571	0.90	0.2227	2.05	0.0527		
0.23	0.8558	0.49	0.5385	0.92	0.2162	2.10	0.0511		
0.24	0.9251	0.50	0.5204	0.94	0.2098	2.15	0.0495		
0.25	0.9914	0.51	0.4966	0.96	0.2034	2.20	0.0480		



Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.3372	0.26	0.8627	0.52	0.6159	0.98	0.3268	2.25	0.1423
0.01	0.3797	0.27	0.8627	0.53	0.6043	1.00	0.3203	2.30	0.1392
0.02	0.4221	0.28	0.8627	0.54	0.5931	1.05	0.3050	2.35	0.1363
0.03	0.4646	0.29	0.8627	0.55	0.5823	1.10	0.2912	2.40	0.1334
0.04	0.5071	0.30	0.8627	0.56	0.5719	1.15	0.2785	2.50	0.1281
0.05	0.5495	0.31	0.8627	0.57	0.5619	1.20	0.2669	2.60	0.1232
0.06	0.5920	0.32	0.8627	0.58	0.5522	1.25	0.2562	2.70	0.1186
0.07	0.6345	0.33	0.8627	0.60	0.5338	1.30	0.2464	2.80	0.1144
0.08	0.6769	0.34	0.8627	0.62	0.5166	1.35	0.2372	2.90	0.1104
0.09	0.7194	0.35	0.8627	0.64	0.5004	1.40	0.2288	3.00	0.1068
0.10	0.7618	0.36	0.8627	0.66	0.4853	1.45	0.2209	3.10	0.1033
0.11	0.8043	0.37	0.8627	0.68	0.4710	1.50	0.2135	3.20	0.1001
0.12	0.8468	0.38	0.8428	0.70	0.4575	1.55	0.2066	3.30	0.0971

0.13	0.8627	0.39	0.8212	0.72	0.4448	1.60	0.2002	3.40	0.0942
0.14	0.8627	0.40	0.8007	0.74	0.4328	1.65	0.1941	3.50	0.0915
0.15	0.8627	0.41	0.7811	0.76	0.4214	1.70	0.1884	3.60	0.0890
0.16	0.8627	0.42	0.7625	0.78	0.4106	1.75	0.1830	3.70	0.0866
0.17	0.8627	0.43	0.7448	0.80	0.4003	1.80	0.1779	3.80	0.0843
0.18	0.8627	0.44	0.7279	0.82	0.3906	1.85	0.1731	3.90	0.0821
0.19	0.8627	0.45	0.7117	0.84	0.3813	1.90	0.1686	4.00	0.0801
0.20	0.8627	0.46	0.6962	0.86	0.3724	1.95	0.1642		
0.21	0.8627	0.47	0.6814	0.88	0.3639	2.00	0.1601		
0.22	0.8627	0.48	0.6672	0.90	0.3559	2.05	0.1562		
0.23	0.8627	0.49	0.6536	0.92	0.3481	2.10	0.1525		
0.24	0.8627	0.50	0.6405	0.94	0.3407	2.15	0.1490		
0.25	0.8627	0.51	0.6280	0.96	0.3336	2.20	0.1456		



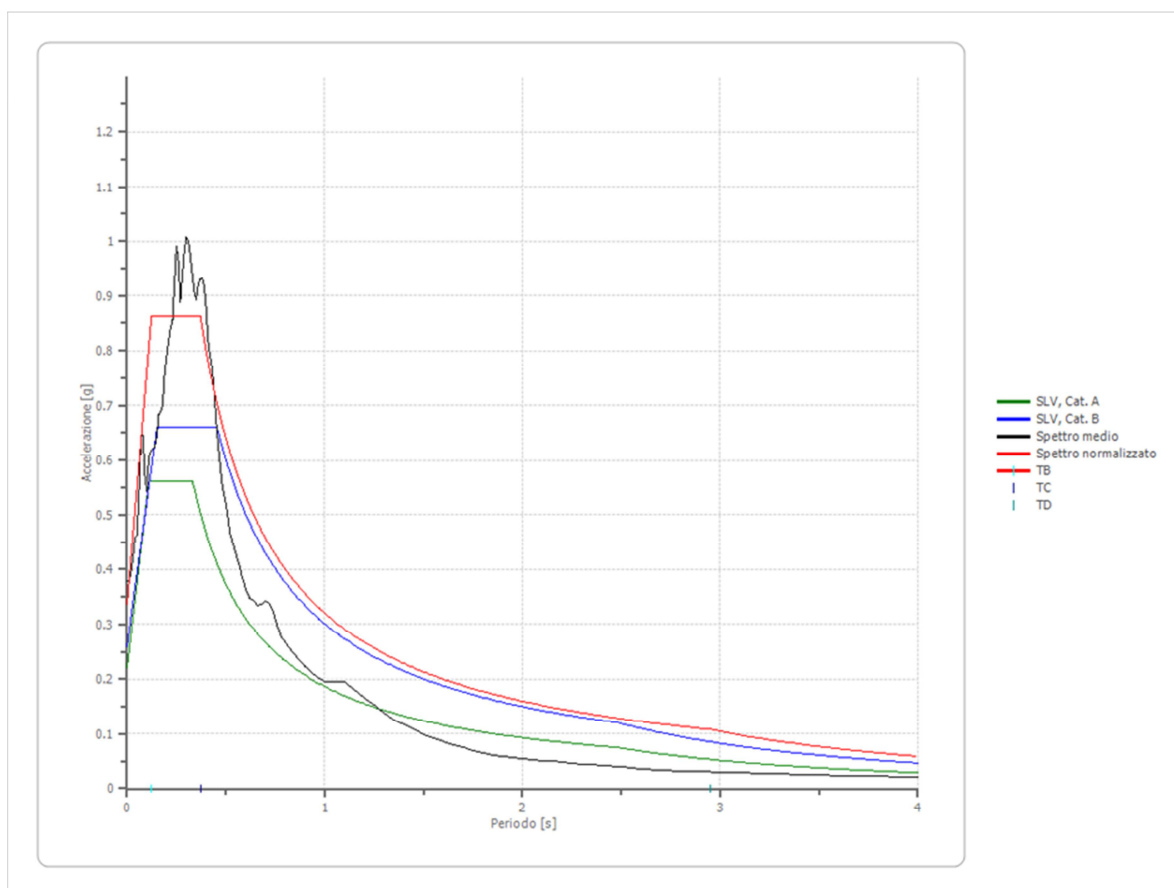
Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.337	2.558476	--	0.124	0.371	2.949	0.337	0.863	1.526

Confronto spettro normativa

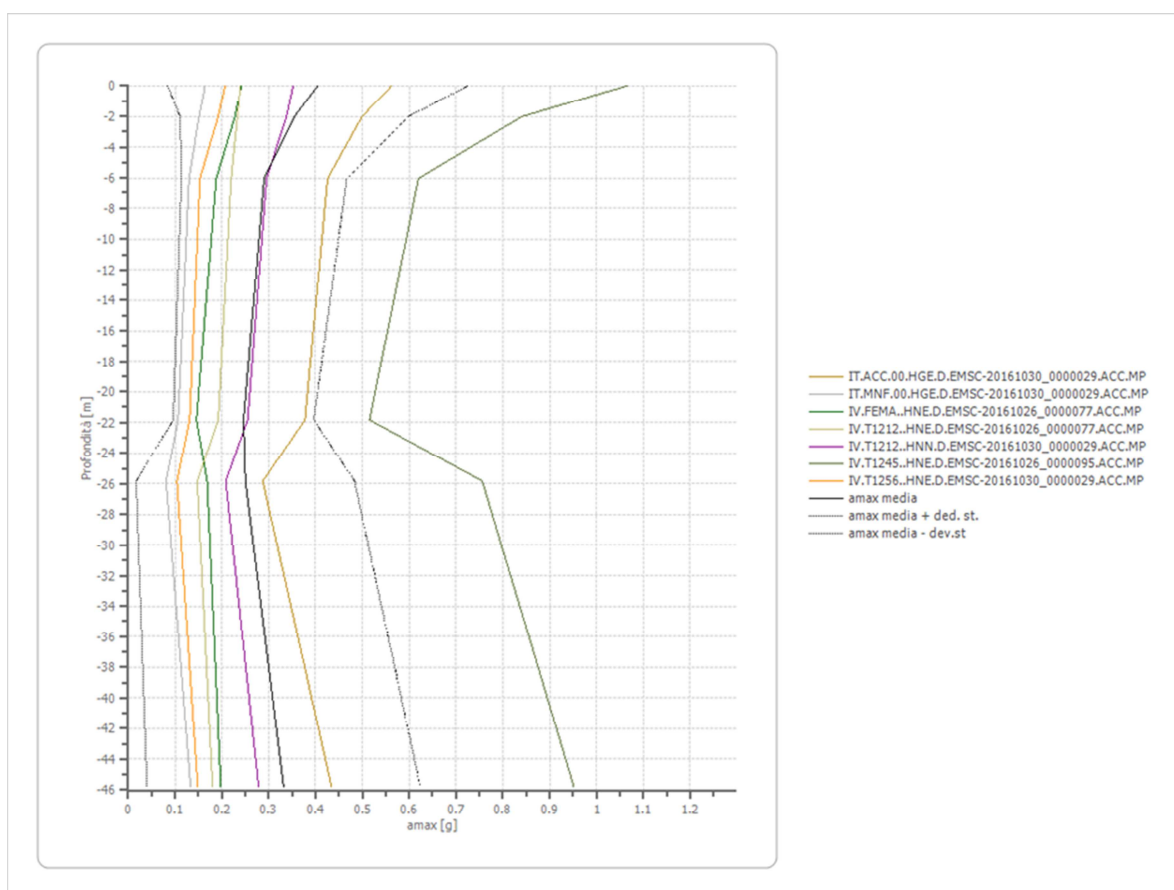
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.078	0.097	0.221	0.277	0.078	0.097	0.221	0.277
Fo	2.438	2.432	2.544	2.584	2.438	2.432	2.544	2.584
Tc* [s]	0.285	0.295	0.332	0.343	0.285	0.295	0.332	0.343
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.18	1.11
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.00	1.00	1.00	1.00	1.41	1.40	1.37	1.36
TB [s]	0.095	0.098	0.111	0.114	0.134	0.138	0.152	0.156
TC [s]	0.285	0.295	0.332	0.343	0.403	0.414	0.455	0.467
TD [s]	1.912	1.988	2.484	2.708	1.912	1.988	2.484	2.708
Se(0) [g]	0.078	0.097	0.221	0.277	0.094	0.116	0.260	0.308
Se(TB) [g]	0.190	0.236	0.562	0.716	0.228	0.283	0.661	0.797



Profilo a max

	0.0 [m]	2.0 [m]	6.0 [m]	21.8 [m]	25.8 [m]	45.8 [m]
IT.ACC.00.HGE.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP [g]	0.562	0.499	0.426	0.378	0.287	0.434
IT.MNF.00.HGE.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP [g]	0.164	0.151	0.130	0.107	0.081	0.133
IV.FEMA..HNE.D.EMSC-20161026_0000077.ACC.MP [g]	0.242	0.228	0.188	0.146	0.169	0.198
IV.T1212..HNE.D.EMSC-20161026_0000077.ACC.MP [g]	0.239	0.233	0.220	0.192	0.147	0.180
IV.T1212..HNN.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP [g]	0.352	0.338	0.296	0.255	0.208	0.278
IV.T1245..HNE.D.EMSC-20161026_0000095.ACC.MP [g]	1.065	0.840	0.620	0.515	0.756	0.952
IV.T1256..HNE.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP [g]	0.207	0.192	0.153	0.131	0.104	0.149
media [g]	0.405	0.354	0.290	0.246	0.250	0.332
Dev. St. [g]	0.320	0.244	0.177	0.150	0.233	0.292

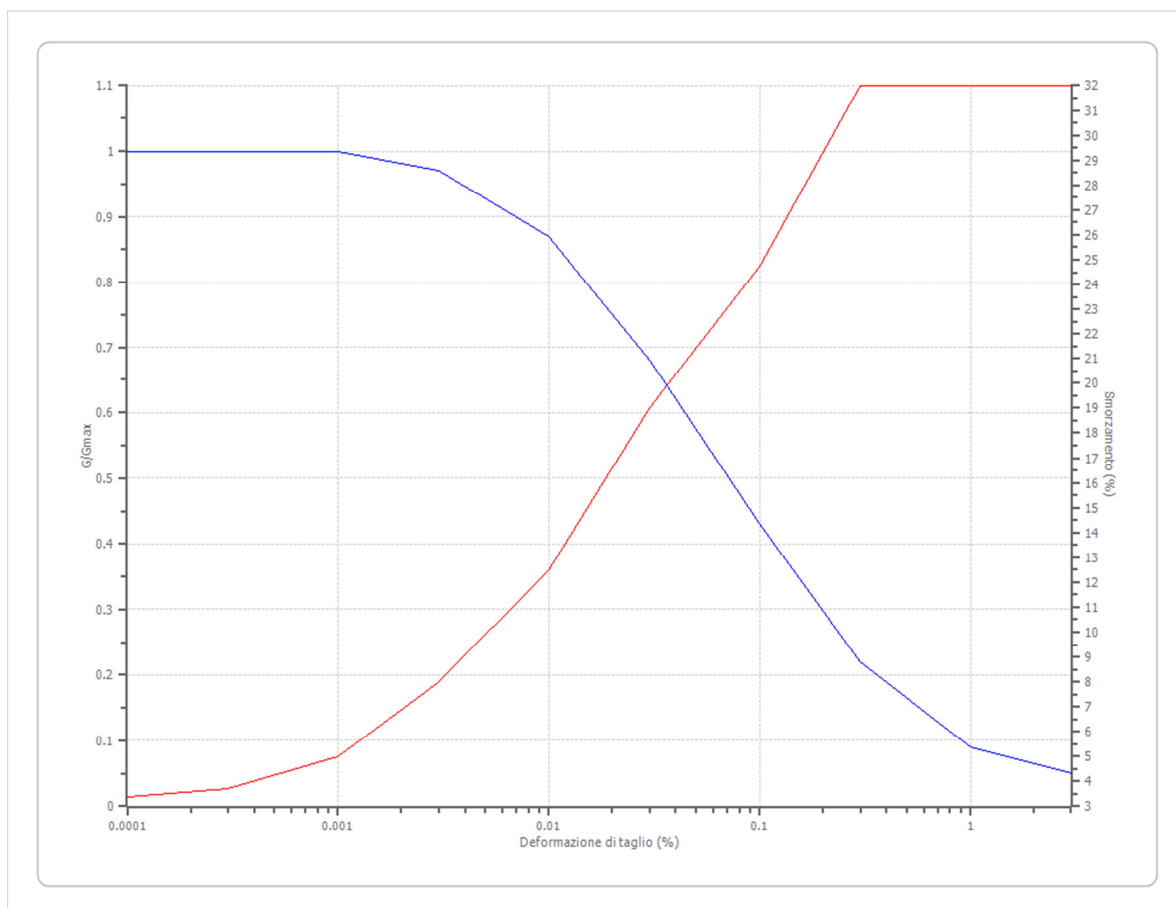


SLV Piazza Cavour

Terreni

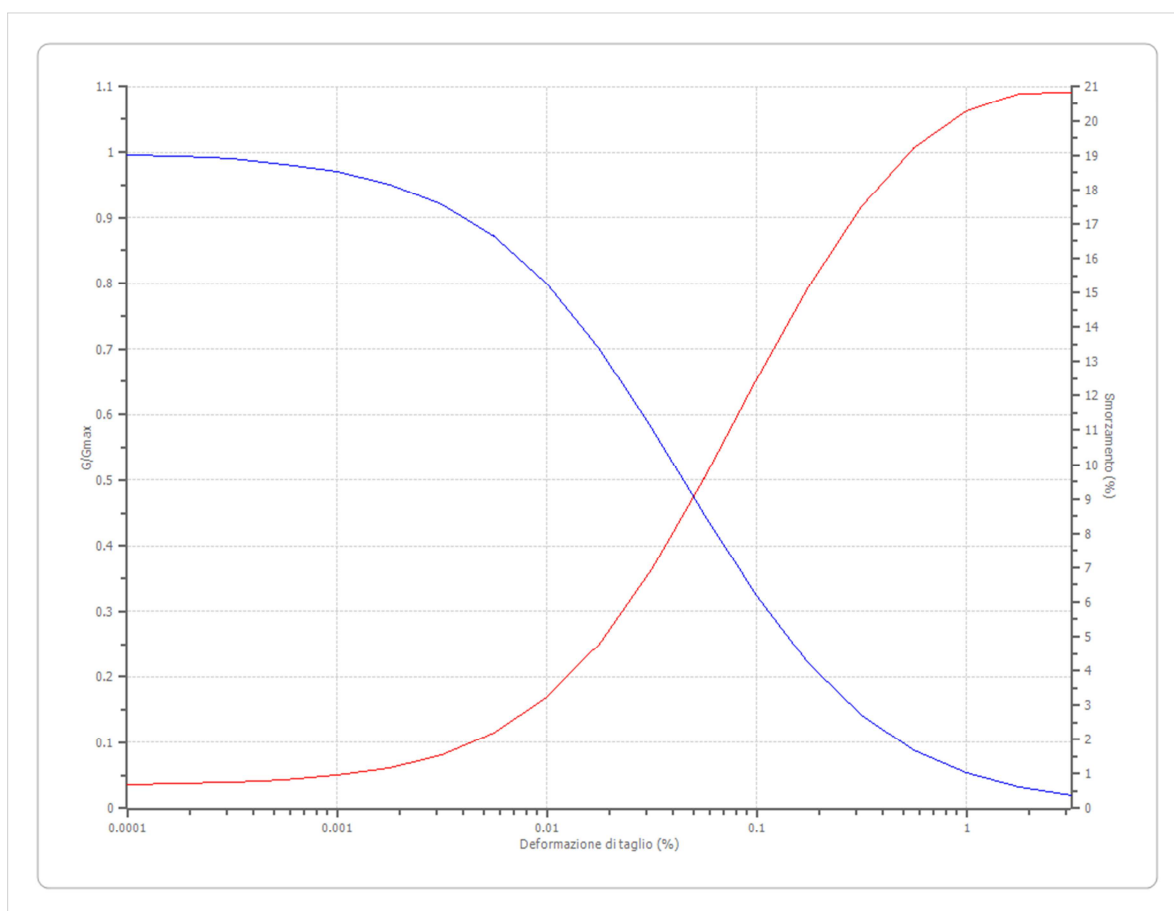
EPRI Rock (1993) 15,54-36,57 metri

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	3.360
0.0003	1.000	0.0003	3.730
0.001	1.000	0.001	5.000
0.003	0.970	0.003	8.000
0.010	0.870	0.010	12.500
0.030	0.680	0.030	19.000
0.100	0.430	0.100	24.750
0.300	0.220	0.300	32.000
1.000	0.090	1.000	32.000
3.000	0.050	3.000	32.000



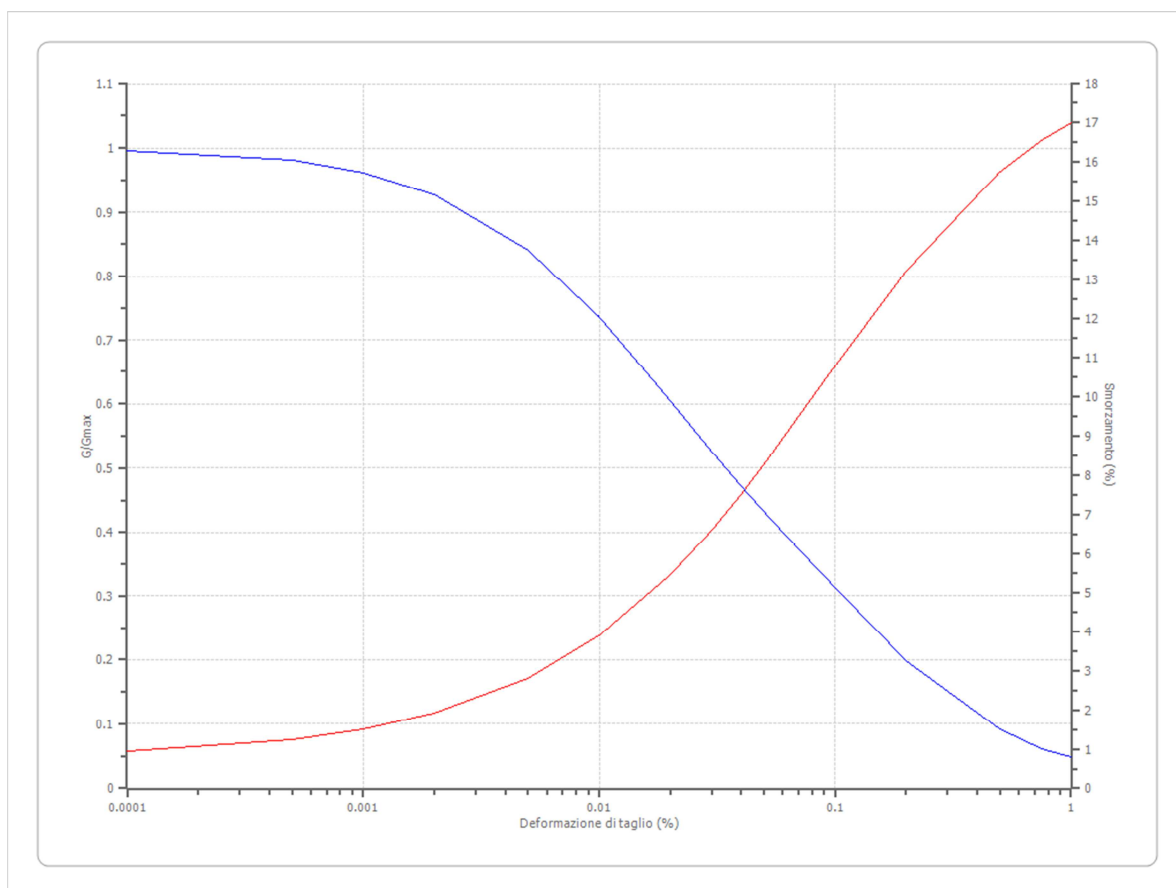
Darendeli & Stokoe (2001) IP=0, OCR = 1

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	0.996	0.0001	0.685
0.000178	0.994	0.000178	0.708
0.000316	0.990	0.000316	0.750
0.000562	0.982	0.000562	0.822
0.001	0.971	0.001	0.950
0.00178	0.951	0.00178	1.173
0.00316	0.920	0.00316	1.556
0.00562	0.871	0.00562	2.197
0.010	0.799	0.010	3.228
0.0178	0.700	0.0178	4.787
0.0316	0.579	0.0316	6.941
0.0562	0.448	0.0562	9.594
0.100	0.324	0.100	12.466
0.178	0.220	0.178	15.197
0.316	0.142	0.316	17.496
0.562	0.089	0.562	19.207
1.000	0.054	1.000	20.291
1.780	0.033	1.780	20.801
3.160	0.020	3.160	20.839



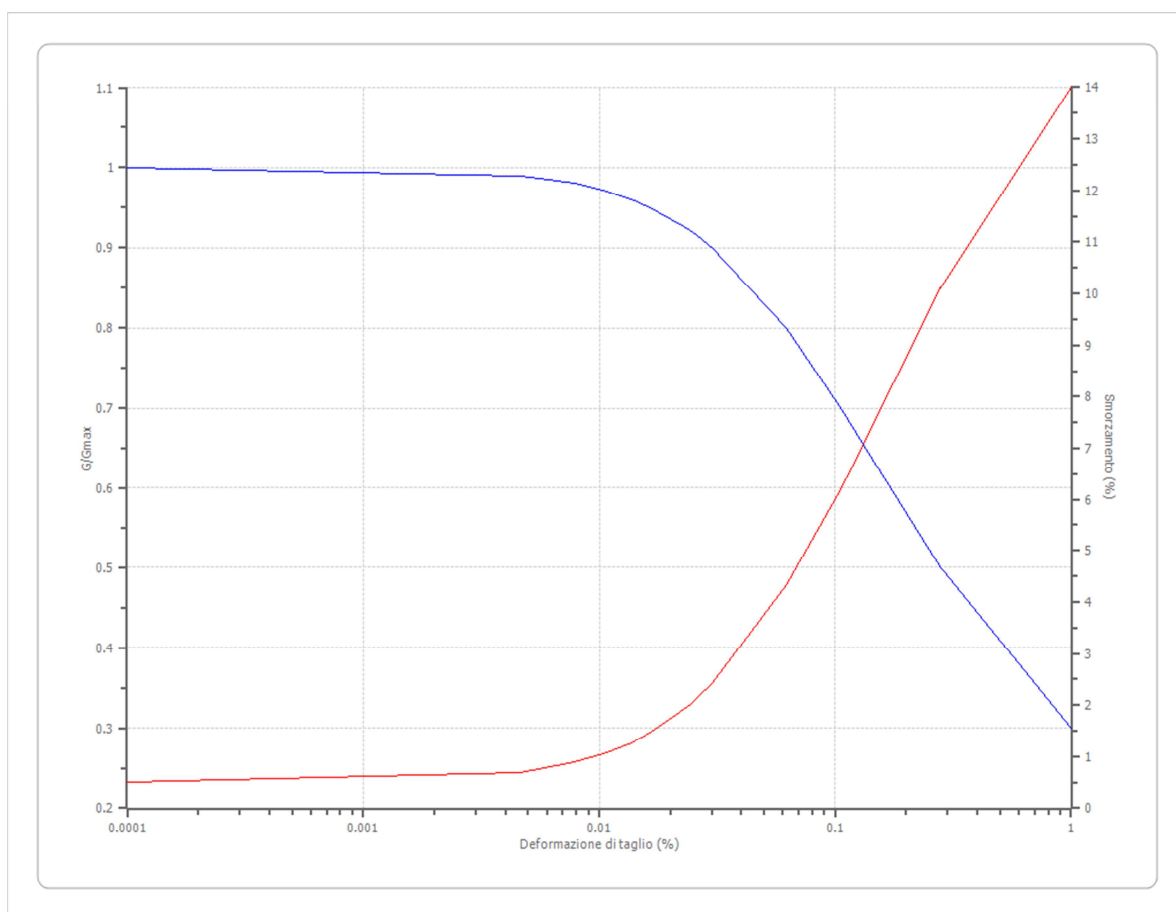
Rollins et al (1998)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	0.996	0.0001	0.949
0.0005	0.981	0.0005	1.239
0.001	0.962	0.001	1.498
0.002	0.927	0.002	1.905
0.005	0.841	0.005	2.805
0.010	0.736	0.010	3.894
0.020	0.605	0.020	5.454
0.030	0.526	0.030	6.605
0.040	0.472	0.040	7.523
0.050	0.432	0.050	8.282
0.075	0.361	0.075	9.737
0.100	0.313	0.100	10.793
0.200	0.198	0.200	13.229
0.500	0.091	0.500	15.758
0.750	0.062	0.750	16.555
1.000	0.048	1.000	17.009



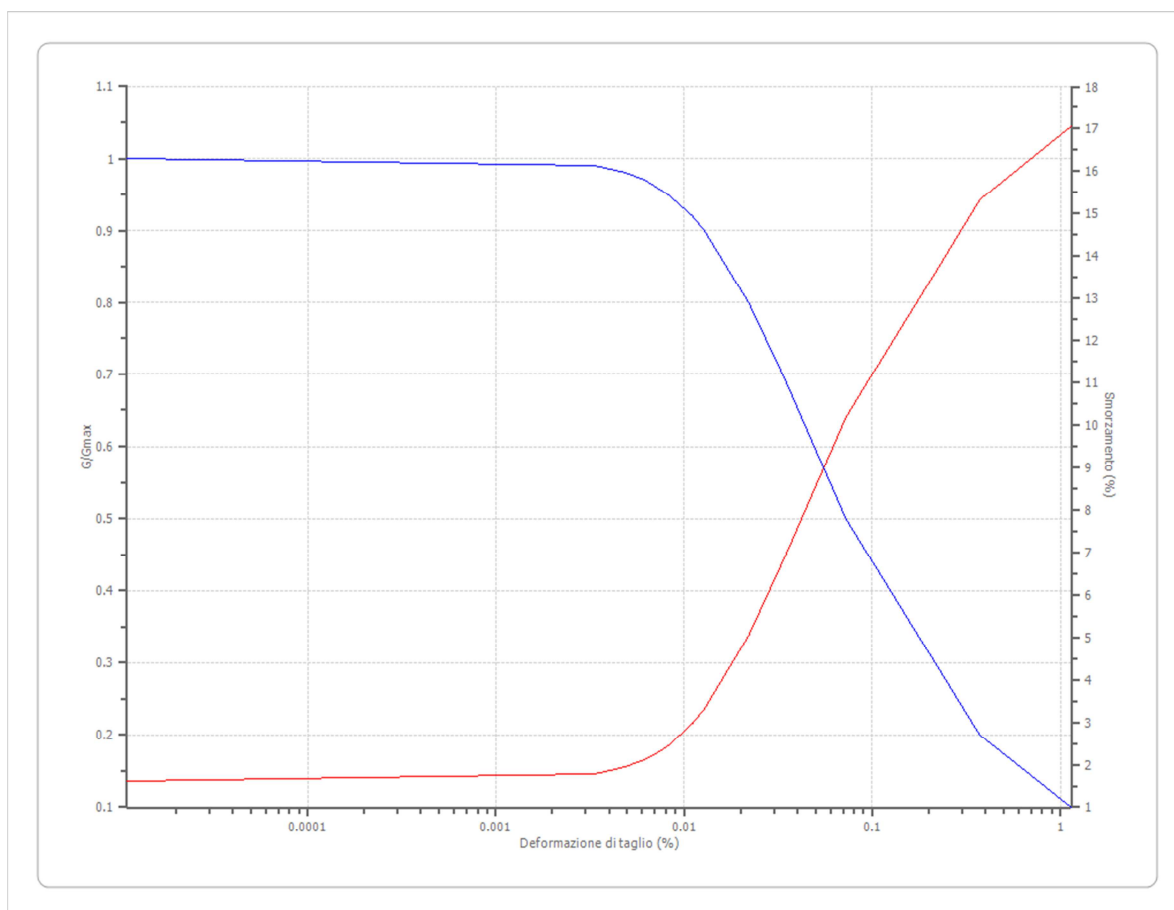
Formazione alterata Marcellini et al. (1995) - Costanzo (2007) MZS2017

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.500
0.00463	0.990	0.00463	0.692
0.00788	0.980	0.00788	0.884
0.0108	0.970	0.0108	1.076
0.0137	0.960	0.0137	1.268
0.0164	0.950	0.0164	1.460
0.0233	0.925	0.0233	1.940
0.0241	0.922	0.0241	1.996
0.0247	0.920	0.0247	2.036
0.0302	0.900	0.0302	2.420
0.0622	0.800	0.0622	4.341
0.106	0.700	0.106	6.210
0.279	0.500	0.279	10.102
1.000	0.300	1.000	14.000



ALS_MS3

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.000011	1.000	0.000011	1.600
0.00335	0.990	0.00335	1.772
0.00488	0.980	0.00488	1.943
0.00613	0.970	0.00613	2.115
0.00723	0.960	0.00723	2.286
0.00825	0.950	0.00825	2.458
0.0106	0.925	0.0106	2.887
0.0109	0.922	0.0109	2.937
0.0111	0.920	0.0111	2.973
0.0128	0.900	0.0128	3.316
0.022	0.800	0.022	5.032
0.0333	0.700	0.0333	6.748
0.0725	0.500	0.0725	10.180
0.373	0.200	0.373	15.329
1.140	0.100	1.140	17.045

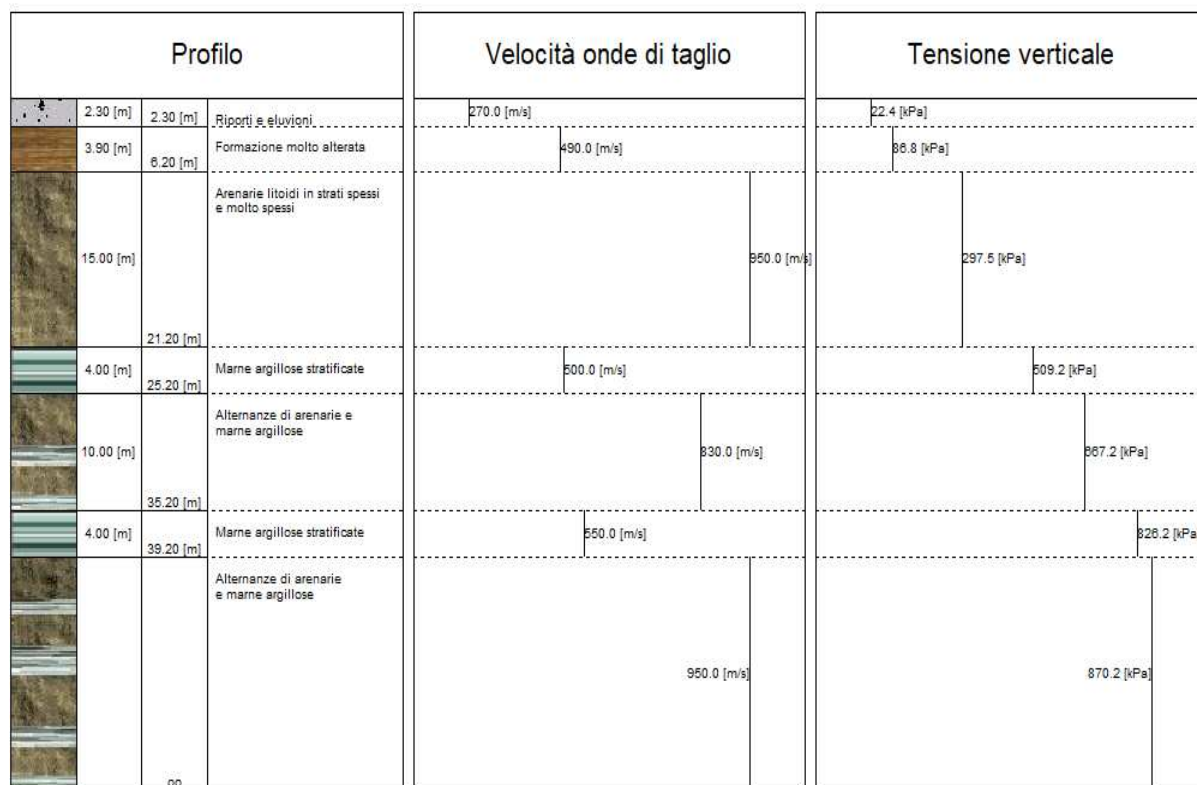


Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Gmax [MPa]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	Riporti e eluvioni	--	2.3	Rollins et al (1998)	144.91	19.5	270.0	22.4
2	Formazione molto alterata	2.3	3.9	Formazione alterata Marcellini et al. (1995) - Costanzo (2007) MZS2017	526.21	21.5	490.0	86.8
3	Arenarie litoidi in strati spessi e molto spessi	6.2	15.0	EPRI Rock (1993) 15,54-36,57 metri	2069.95	22.5	950.0	297.5
4	Marne argillose stratificate	21.2	4.0	Darendeli & Stokoe (2001) IP=0, OCR = 1	547.91	21.5	500.0	509.2
5	Alternanze di arenarie e marne argillose	25.2	10.0	ALS_MS3	1615.16	23.0	830.0	667.2
6	Marne argillose stratificate	35.2	4.0	Darendeli & Stokoe (2001) IP=0, OCR = 1	678.39	22.0	550.0	826.2
7	Alternanze di arenarie e marne argillose	oo	--	Smorzamento costante	2161.95	23.5	950.0	870.2

Strato rilevamento accelerogramma:

7 Affiorante



ELABORAZIONE

Numero di iterazioni 20
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
Tipo di modulo elastico Shake
Massimo errore percentuale di convergenza 2.18 E-04

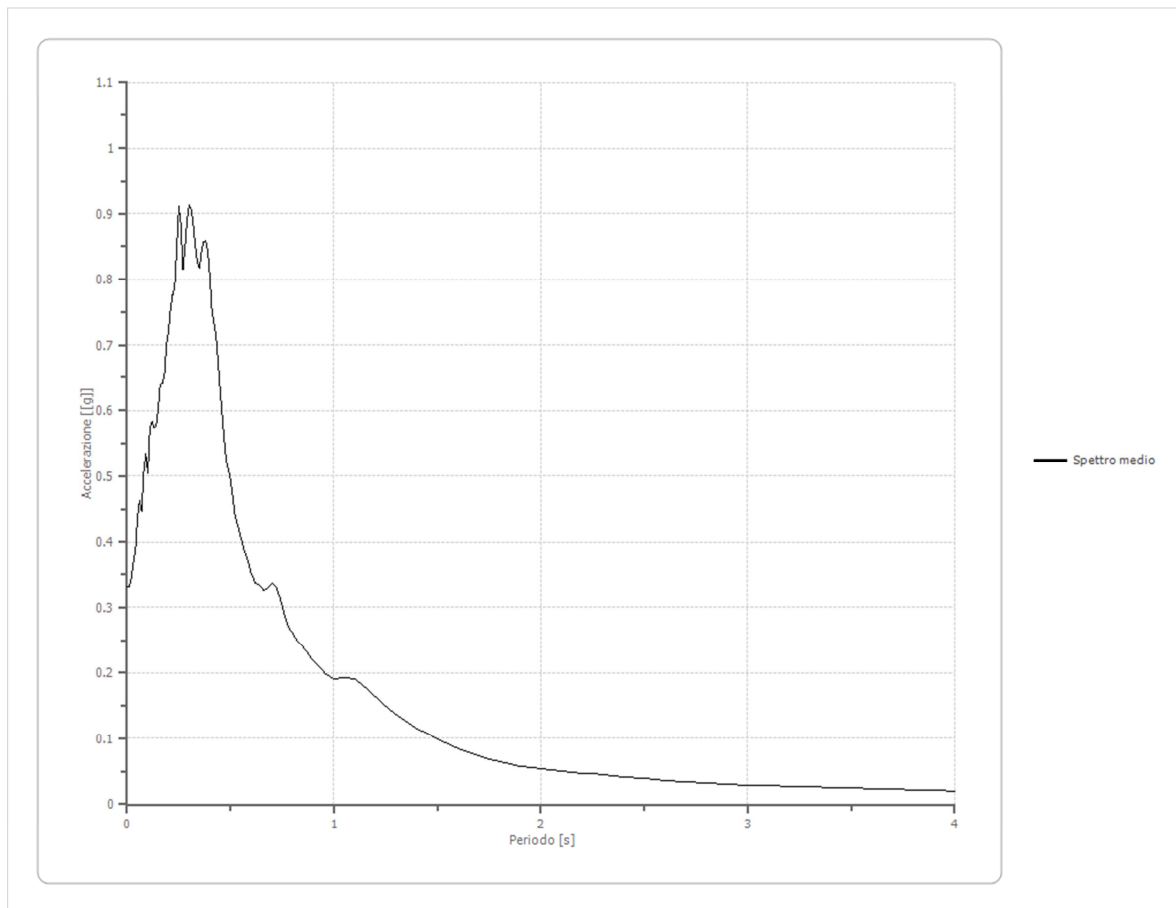
Fattori di amplificazione ICMS 2018

Tai	0.250 [s]
Tvi	0.410 [s]
Tao	0.300 [s]
Tvo	0.400 [s]
Sami	6.292 [m/s ²]
Svmi	0.347 [m/s]
Samo	7.771 [m/s ²]
Svmo	0.457 [m/s]
Fa	1.235 [-]
Fv	1.316 [-]
TB	0.123 [s]
TC	0.370 [s]
TD	2.763 [s]
SA(0)	0.291 [g]
SA(TB)	0.792 [g]

Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.3314	0.26	0.8834	0.52	0.4435	0.98	0.1948	2.25	0.0461
0.01	0.3314	0.27	0.8148	0.53	0.4302	1.00	0.1912	2.30	0.0447
0.02	0.3437	0.28	0.8499	0.54	0.4188	1.05	0.1919	2.35	0.0432
0.03	0.3675	0.29	0.8908	0.55	0.4067	1.10	0.1910	2.40	0.0417
0.04	0.3855	0.30	0.9127	0.56	0.3951	1.15	0.1774	2.50	0.0389
0.05	0.4356	0.31	0.9054	0.57	0.3835	1.20	0.1632	2.60	0.0362
0.06	0.4621	0.32	0.8822	0.58	0.3742	1.25	0.1503	2.70	0.0335
0.07	0.4463	0.33	0.8502	0.60	0.3505	1.30	0.1369	2.80	0.0318
0.08	0.5033	0.34	0.8242	0.62	0.3359	1.35	0.1254	2.90	0.0306
0.09	0.5347	0.35	0.8175	0.64	0.3339	1.40	0.1161	3.00	0.0294
0.10	0.5049	0.36	0.8438	0.66	0.3265	1.45	0.1073	3.10	0.0280
0.11	0.5723	0.37	0.8573	0.68	0.3297	1.50	0.0986	3.20	0.0269
0.12	0.5841	0.38	0.8579	0.70	0.3360	1.55	0.0919	3.30	0.0261
0.13	0.5741	0.39	0.8423	0.72	0.3314	1.60	0.0854	3.40	0.0254
0.14	0.5765	0.40	0.8056	0.74	0.3141	1.65	0.0796	3.50	0.0246
0.15	0.6009	0.41	0.7525	0.76	0.2893	1.70	0.0742	3.60	0.0238
0.16	0.6395	0.42	0.7327	0.78	0.2709	1.75	0.0692	3.70	0.0230
0.17	0.6416	0.43	0.7134	0.80	0.2603	1.80	0.0645	3.80	0.0223
0.18	0.6526	0.44	0.6760	0.82	0.2511	1.85	0.0606	3.90	0.0215
0.19	0.6999	0.45	0.6278	0.84	0.2436	1.90	0.0577	4.00	0.0206
0.20	0.7208	0.46	0.5900	0.86	0.2355	1.95	0.0556		
0.21	0.7570	0.47	0.5542	0.88	0.2265	2.00	0.0539		

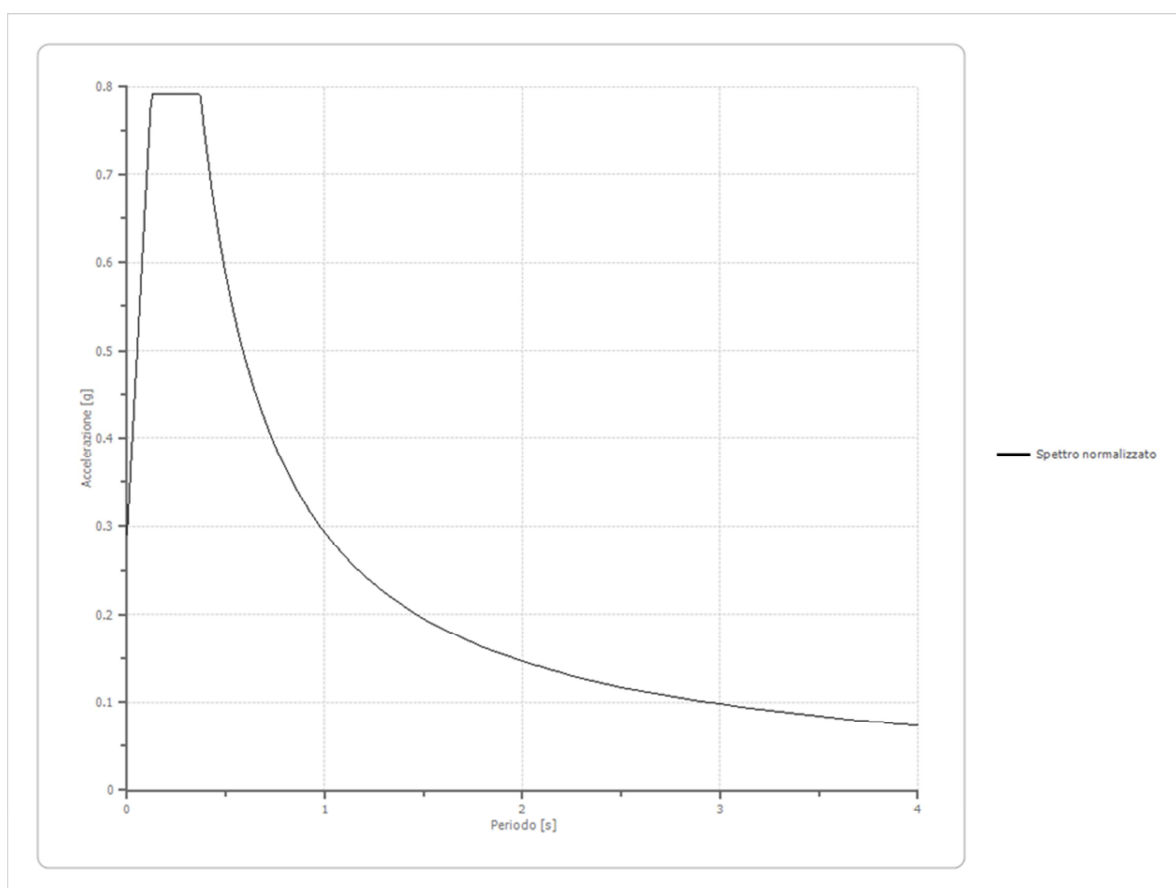
0.22	0.7764	0.48	0.5225	0.90	0.2181	2.05	0.0522		
0.23	0.7884	0.49	0.5091	0.92	0.2116	2.10	0.0506		
0.24	0.8501	0.50	0.4938	0.94	0.2052	2.15	0.0490		
0.25	0.9103	0.51	0.4702	0.96	0.1989	2.20	0.0476		



Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.2907	0.26	0.7921	0.52	0.5632	0.98	0.2988	2.25	0.1302
0.01	0.3314	0.27	0.7921	0.53	0.5525	1.00	0.2929	2.30	0.1273
0.02	0.3721	0.28	0.7921	0.54	0.5423	1.05	0.2789	2.35	0.1246
0.03	0.4128	0.29	0.7921	0.55	0.5325	1.10	0.2662	2.40	0.1220
0.04	0.4535	0.30	0.7921	0.56	0.5229	1.15	0.2547	2.50	0.1171
0.05	0.4942	0.31	0.7921	0.57	0.5138	1.20	0.2440	2.60	0.1126
0.06	0.5348	0.32	0.7921	0.58	0.5049	1.25	0.2343	2.70	0.1085
0.07	0.5755	0.33	0.7921	0.60	0.4881	1.30	0.2253	2.80	0.1046
0.08	0.6162	0.34	0.7921	0.62	0.4723	1.35	0.2169	2.90	0.1010
0.09	0.6569	0.35	0.7921	0.64	0.4576	1.40	0.2092	3.00	0.0976
0.10	0.6976	0.36	0.7921	0.66	0.4437	1.45	0.2020	3.10	0.0945
0.11	0.7383	0.37	0.7915	0.68	0.4307	1.50	0.1952	3.20	0.0915
0.12	0.7790	0.38	0.7707	0.70	0.4184	1.55	0.1889	3.30	0.0887
0.13	0.7921	0.39	0.7509	0.72	0.4067	1.60	0.1830	3.40	0.0861

0.14	0.7921	0.40	0.7321	0.74	0.3957	1.65	0.1775	3.50	0.0837
0.15	0.7921	0.41	0.7143	0.76	0.3853	1.70	0.1723	3.60	0.0813
0.16	0.7921	0.42	0.6973	0.78	0.3754	1.75	0.1673	3.70	0.0791
0.17	0.7921	0.43	0.6810	0.80	0.3661	1.80	0.1627	3.80	0.0771
0.18	0.7921	0.44	0.6656	0.82	0.3571	1.85	0.1583	3.90	0.0751
0.19	0.7921	0.45	0.6508	0.84	0.3486	1.90	0.1541	4.00	0.0732
0.20	0.7921	0.46	0.6366	0.86	0.3405	1.95	0.1502		
0.21	0.7921	0.47	0.6231	0.88	0.3328	2.00	0.1464		
0.22	0.7921	0.48	0.6101	0.90	0.3254	2.05	0.1429		
0.23	0.7921	0.49	0.5977	0.92	0.3183	2.10	0.1395		
0.24	0.7921	0.50	0.5857	0.94	0.3115	2.15	0.1362		
0.25	0.7921	0.51	0.5742	0.96	0.3051	2.20	0.1331		



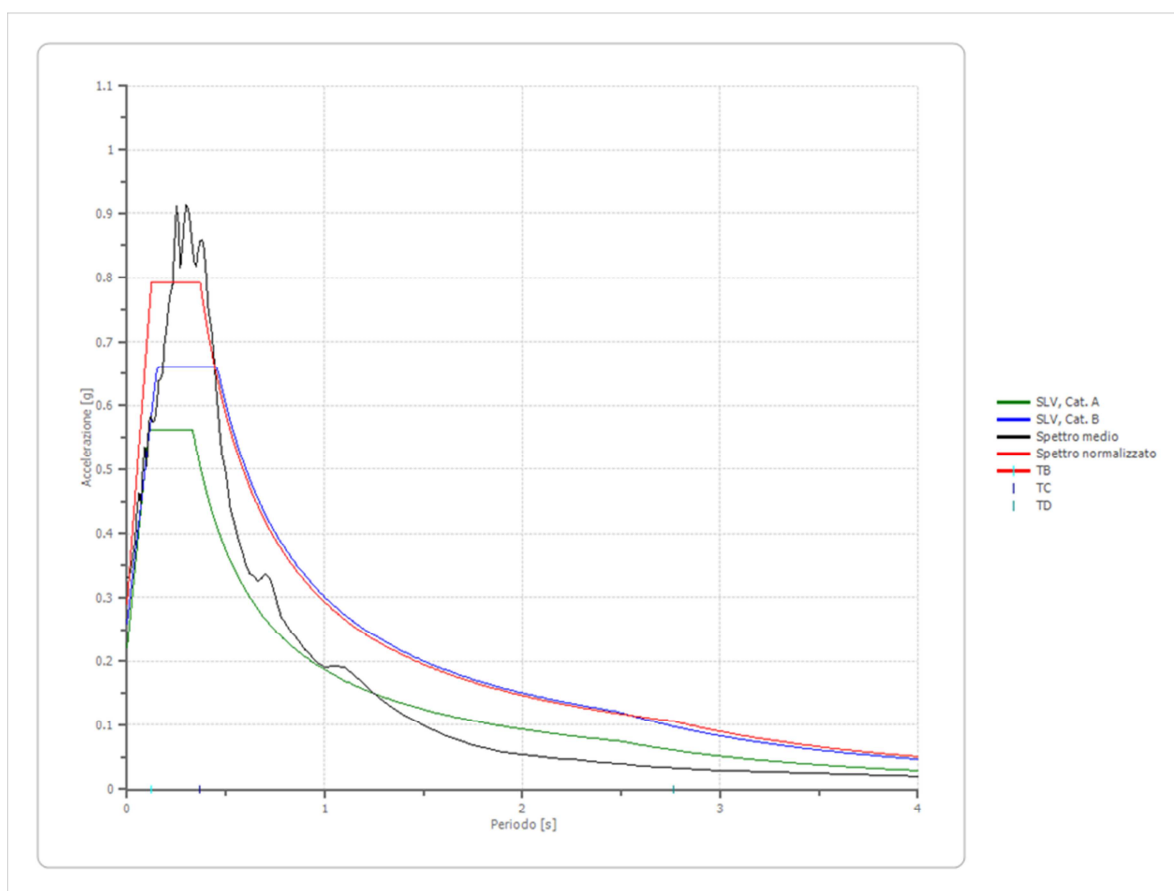
Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.291	2.724564	--	0.123	0.370	2.763	0.291	0.792	1.316

Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.078	0.097	0.221	0.277	0.078	0.097	0.221	0.277
Fo	2.438	2.432	2.544	2.584	2.438	2.432	2.544	2.584
Tc* [s]	0.285	0.295	0.332	0.343	0.285	0.295	0.332	0.343
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.18	1.11
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.00	1.00	1.00	1.00	1.41	1.40	1.37	1.36
TB [s]	0.095	0.098	0.111	0.114	0.134	0.138	0.152	0.156
TC [s]	0.285	0.295	0.332	0.343	0.403	0.414	0.455	0.467
TD [s]	1.912	1.988	2.484	2.708	1.912	1.988	2.484	2.708
Se(0) [g]	0.078	0.097	0.221	0.277	0.094	0.116	0.260	0.308
Se(TB) [g]	0.190	0.236	0.562	0.716	0.228	0.283	0.661	0.797



Profilo a max

	0.0 [m]	2.3 [m]	6.2 [m]	21.2 [m]	25.2 [m]	35.2 [m]	39.2 [m]
IT.ACC.00.HGE.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP [g]	0.501	0.447	0.397	0.346	0.309	0.277	0.434
IT.MNF.00.HGE.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP [g]	0.158	0.134	0.122	0.103	0.080	0.067	0.133
IV.FEMA..HNE.D.EMSC-20161026_0000077.ACC.MP [g]	0.243	0.222	0.191	0.153	0.153	0.160	0.198
IV.T1212..HNE.D.EMSC-20161026_0000077.ACC.MP [g]	0.228	0.218	0.209	0.185	0.164	0.140	0.180
IV.T1212..HNN.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP [g]	0.324	0.311	0.291	0.252	0.232	0.208	0.278
IV.T1245..HNE.D.EMSC-20161026_0000095.ACC.MP [g]	0.923	0.805	0.698	0.528	0.623	0.572	0.952
IV.T1256..HNE.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP [g]	0.172	0.166	0.155	0.132	0.117	0.104	0.149
media [g]	0.364	0.329	0.295	0.243	0.240	0.218	0.332
Dev. St. [g]	0.273	0.234	0.200	0.150	0.185	0.170	0.292

