


# NUOVO DEPURATORE BIOLOGICO DI BOTTEGONE (PT)



Tavola / Elaborato	Nome Elaborato:	Scala:
<b>R.G.4</b>	<b>Relazione sismica</b>	-
		Data: Marzo 2025

		Sede Firenze Via de Sanctis, 49 Cod. Fiscale e P.I. 06111950488	
<small>Organizzazione dotata di Sistema di Gestione Integrato certificato in conformità alla normativa ISO9001 - ISO14001 - OHSAS18001 - SA8000</small>			
<b>PROGETTISTI :</b>		<b>RESPONSABILE COMMESSA E PROGETTO:</b> Dott. Ing. Luca DEL BIMBO	
		<b>GEOLOGIA:</b> Dott. Geol. Filippo LANDINI	
<b>CONSULENTI TECNICI</b>		opere architettoniche e paesaggistiche: Arch. Riccardo BONECHI geologia: Geol. Filippo SOTTANI opere elettriche: Geol. Daniele PITTARO opere civili ed edili: Tecnoengineering s.r.l. Dott. Ing. Marco BENVENUTO	
		<b>COLLABORATORI</b> indagini geologiche: Dott. Lorenzo PORAZZINI opere civili ed edili: Dott. Ing. Lorenzo DEGL'INNOCENTI opere idrauliche e sanitarie: Dott. Ing. Valentina CAMICI opere elettriche: P.I. Luca ANGELI modellazione processi: Dott. Ing. Alice BALDUCCI	
		<b>COMMESSA I.T. :</b> INGT-TPLPE-PBADI165	
<b>COORDINATORE DELLA SICUREZZA :</b>		<b>RESPONSABILE COMMITTENTE :</b> Ing. Cristiano AGOSTINI	
<b>DIRETTORE TECNICO INGEGNERIE TOSCANI :</b>		<b>RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO :</b> P.I. Armando MINIATI	
		Dott. Ing. Giovanni SIMONELLI	

Rev.	Data	Descrizione / Motivo della revisione	Redatto	Controllato / Approvato
00	Marzo 2025	Richiesta integrazione verifica assoggettabilità VIA	PITTARO	FERRI / LANDINI

## Sommario

1	QUADRO INTRODUTTIVO.....	2
1.1	Premessa e ubicazione .....	2
1.2	Inquadramento normativo .....	2
1.3	Progetto .....	2
2	INDAGINI GEOLOGICHE .....	4
2.1	Indagini di sismica a rifrazione di superficie e in foro.....	6
2.2	Indagini di sismica passiva a stazione singola (tipo HVSR) .....	7
3	MODELLAZIONE SISMICA .....	7
3.1	Parametri sismici.....	7
3.2	Spettri elastici .....	10

Allegati:

Risposta sismica Locale

# 1 QUADRO INTRODUTTIVO

## 1.1 Premessa e ubicazione

La presente relazione geologica ha lo scopo di descrivere le caratteristiche geologiche areali e locali, del progetto esecutivo relativo alla costruzione del nuovo impianto di Depurazione Liquami (IDL) di Bottegone, situato nel comune di Pistoia.

Il presente progetto si inserisce nel quadro di una globale ristrutturazione fognaria dell'intera area di Bottegone, situata lungo la Statale Fiorentina, mediante la costruzione di nuovo depuratore.

Gli interventi sul sistema fognario prevedono il bypass idraulico, a monte dell'area PIR, della condotta fognaria DN400 gres esistente, mediante la posa in opera di nuove condotte in PVC Sn-8 lungo via San Sebastiano, fino al nuovo depuratore di progetto.

Si prevede dunque la costruzione di nuovo impianto di depurazione di Bottegone con 12.000 A.E. e dismissione dell'attuale depuratore in via Bottaia con capacità 4.000 A.E..

## 1.2 Inquadramento normativo

- R.D. 3267 del 30/01/1923.: "Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani". Vincolo idrogeologico.
- L.R. 21 marzo 2000, n. 39: "Legge Forestale della Toscana".

## 1.3 Progetto

*Considerando una dotazione idrica pro-capite di 200 l/ab. giorno e un coefficiente di restituzione pari a 1 in conformità a quanto previsto dalla L.R 46/R e s.m.i., la portata media al depuratore risulta pari a circa 100mc/h (50mc/h per linea) e la portata massima di circa 500 mc/h (5Q<sub>24</sub>).*

*La portata massima ammessa ai pretrattamenti (grigliatura grossolana, grigliatura fine, dissabbiatura e sedimentazione primaria) è pari a 5Q<sub>nm</sub> =12.000 mc/d (500 mc/h), mentre la massima portata ammessa dal comparto biologico è pari 3Q<sub>nm</sub>=7.200 mc/d (300 mc/h).*

*Il by pass/scolmatore di testa dell'impianto scolmerà le eventuali portate superiori a 5Q<sub>nm</sub> =12.000 mc/d (500 mc/h), con un rapporto di diluizione superiore a 5. Le portate invece*

da 3 a 5 Qnm saranno sottoposte a pretrattamenti e scolmate prima dei trattamenti secondari.

*Schematicamente, il ciclo biologico si svolge nel modo seguente: i liquami in arrivo all'impianto, preventivamente grigliati, attraversano in parte mediante sollevamento il dissabbiatore, ove avviene la separazione delle particelle minerali presenti, e confluiscono verso il comparto biologico e in parte, sfiorando dalla stazione di sollevamento iniziale, vengono inviati ad un sedimentatore primario con funzione di bacino di equalizzazione e successivamente alla disinfezione finale. Dopo i trattamenti preliminari, i liquami vengono immessi nei bacini di defosfatazione, denitrificazione e successivamente di ossidazione-nitrificazione (schema A2/O), ove l'intensa aerazione, favorendo l'azione biologica dei fanghi attivi, provoca l'abbattimento delle sostanze organiche inquinanti. In questa fase è possibile ottenere anche un parziale abbattimento del fosforo, a mezzo di immissione di elettroliti (cloruro ferrico). Scegliendo un impianto ad aerazione prolungata si ottiene un elevato rendimento. Con tale soluzione viene infatti eliminata la fase di sedimentazione primaria e vengono attribuiti alti tempi di detenzione al reparto biologico per far sì che il fango, continuamente ricircolato (Mixed Liquor), risulti già stabilizzato. Tale stabilizzazione avviene contemporaneamente alla fase di aerazione e questo comporta, a parità di grado di stabilizzazione finale del fango, un volume della vasca di aerazione maggiore dei volumi necessari ad un impianto a fanghi attivi classico. Si avrà conseguentemente una notevole semplificazione del processo in termini di gestione e poiché nella vasca di aerazione si sviluppa una massa biologica maggiore rispetto agli impianti tradizionali, essa risulterà meno sensibile alle variazioni delle condizioni esterne. Dall'ossidazione i liquami passano quindi ai bacini di sedimentazione finale, dove chiarificano separando al fondo i fiocchi di fango attivo e l'eventuale fango chimico dovuto all'abbattimento del fosforo. Infine, i liquami attraversano la vasca di disinfezione, ove vengono disinfettati con dosaggio di acido parecetico e vengono quindi inviati all'uscita dell'impianto e immessi nel ricettore finale. I fanghi attivi separati al fondo dei sedimentatori secondari vengono sollevati ed in parte ricircolati al trattamento ossidativo (fanghi di ricircolo); la frazione residua (fanghi di supero) perviene prima alla stabilizzazione aerobica, quindi all'ispessimento fanghi e successivamente alla disidratazione tramite centrifughe per ridurne il contenuto in acqua. I fanghi verranno quindi conferiti a discarica controllata o ad un futuro riutilizzo in agricoltura.*

*L'impianto è progettato, nella sezione biologica e di sedimentazione, su due linee in*

parallelo.

*L'impianto è composto, pertanto, dalle seguenti fasi di trattamento:*

- 1) Linea acque: grigliatura grossolana; grigliatura fine (2); dissabbiatore; vasca di sedimentazione primaria; vasche di denitrificazione dei liquami (2); vasche di ossidazione dei liquami (2); vasche di sedimentazione secondaria (2); disinfezione di emergenza; scarico nel fosso.*
- 2) Linea fanghi: digestore aerobico; ispessitore; disidratazione meccanica tramite centrifughe (1).*

## **2 INDAGINI GEOLOGICHE**

Gli interventi in progetto rientrano nella **classe di indagine 4** secondo il D.P.G.R. 1/R/2022 art. 5 allegato A: *riferita ad opere di volume totale superiore a 6000 metri cubi o, in ogni*

*caso, sempre per opere di volume, se l'altezza in gronda è superiore a venti metri. Nell'ambito di*

*tale classe, sono effettuate le seguenti indagini:*

- Per la determinazione dell'azione sismica, una campagna d'indagine sismica di superficie, ai sensi di quanto definito al paragrafo 2, punto 2, lettera b) e la realizzazione di una prova geofisica nel foro di sondaggio o, alternativamente, una prova penetrometrica statica con cono sismico (ad esempio SCPTU), per terreni scarsamente consistenti;*
- Per la parametrizzazione del volume geotecnico significativo, ai sensi di quanto definito al paragrafo 2, punto 2, lettere a) e c), almeno 3 verticali di indagine di cui una è rappresentata da un sondaggio geognostico a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati su cui realizzare idonee prove sulle terre e sulle rocce presso laboratori compresi nell'elenco di cui al servizio tecnico centrale del Consiglio superiore dei lavori pubblici. Nel caso in cui la litologia non permetta di prelevare campioni indisturbati, sono eseguite almeno prove penetrometriche in foro di tipo SPT. In presenza di problematiche di versante sono altresì prodotte verifiche di stabilità del pendio e del complesso opera-pendio. Sono da prevedere anche misure piezometriche della falda. All'interno del foro di sondaggio, è eseguita*

*una prova geofisica in foro per la caratterizzazione di almeno 30 metri di profondità o comunque di una profondità di indagine idonea a caratterizzare i terreni posti al di sopra del bedrock sismico se posto ad una profondità inferiore a m 30, o alternativamente, prova penetrometrica statica con cono sismico (ad esempio SCPTU), per terreni scarsamente consistenti, per la caratterizzazione di almeno 30 metri di profondità... .*

Le risultanze ed i dettagli delle indagini geognostiche sono visibili nell'apposito fascicolo delle indagini geognostiche del presente progetto esecutivo.

Nell'ambito delle precedenti fasi progettuali sono state eseguite due campagne di indagini:

- Campagna di indagine luglio-agosto 2018 dove sono state effettuate le seguenti indagini geologiche:
  - n.1 indagini di tipo MASW
  - n.1 indagini di tipo HVSR
  - n.3 sezioni tomografiche a rifrazione
  - n.1 prospezione sismica in foro Down-Hole;
  - n.11 prove penetrometriche dinamiche DPSH, fino a circa 5 metri di profondità da piano campagna ciascuna.
  - n.14 prove penetrometriche statiche CPT DPSH, fino a circa 6,5 metri di profondità da piano campagna ciascuna.
  - n. 7 tubi piezometrici
  - n. 7 sondaggi a carotaggio continuo, anche profondi (uno di essi di 35 metri) con la estrusione di n.17 campioni indisturbati, successivamente analizzati in laboratorio geotecnico.
  - Sono state eseguite, in apposito laboratorio certificato, analisi granulometriche, limi di Atterberg, prove di taglio diretto, prove triassiali UU, prove triassiali CU, prove triassiali CD, edometrie.
- Campagna di indagine agosto 2019:
  - Prelievo in cassetta da parte geologo Filippo Sottani, n.14 campioni indisturbati (2 per ciascuna verticale di sondaggio).



Tali campioni sono stati analizzati in laboratorio geotecnico, mediante prove granulometriche e limiti di Atteerberg.

Gli approfondimenti di cui sopra sono stati effettuati alla luce soprattutto della possibilità potenziale di liquefazione, soprattutto a livello granulometrico, del materiale litologico riscontrato durante le indagini.

## **2.1 Indagini di sismica a rifrazione di superficie e in foro**

Nel mese di agosto 2018 la ditta Pignataro Trivellazioni s.r.l. di Terranova da Sibari (CS) ha eseguito n. 3 prospezioni di sismica a rifrazione, n. 1 linea di sismica a rifrazione in onde Sh di tipo Masw e n. 1 prospezione di sismica in foro di tipo down-hole.

L'indagine di sismica a rifrazione in onde Sh di tipo Masw, ha permesso di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde Sh) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

La stesa ha permesso di individuare un primo sismostrato dello spessore di 2,4 m avente un valore di  $V_s = 91$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 7,2 m avente un valore di  $V_s = 193$  m/s, e un terzo sismostrato, investigato per 21,0 m, con  $V_s = 233$  m/s.

Dall'indagine è stato ricavato un valore di  $V_{s_{eq}} = 183$  m/s riferibile ad una categoria di suolo di fondazione di tipo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

L'indagine di sismica in foro di tipo down-hole eseguita nel foro di sondaggio S4 della profondità di 35,0 m, ha permesso la ricostruzione di una sismostratigrafia che vede la successione, partendo dal piano campagna di n. 4 sismostrati di cui il primo sismostrato dello spessore di 6,0 m avente un valore di  $V_s = 131,6$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 6,0 m avente un valore di  $V_s = 295,6$  m/s, un terzo sismostrato dello spessore di 17,0 m con  $V_s = 429,4$  m/s, e un quarto sismostrato, investigato per 6,0 m, con  $V_s = 521,9$  m/s.

Dall'indagine è stato ricavato un valore di  $V_{s30} = 299,2$  m/s riferibile ad una categoria di suolo di fondazione di tipo C: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o*

terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

## **2.2 Indagini di sismica passiva a stazione singola (tipo HVSR)**

Nell'agosto 2018 la ditta Pignataro Trivellazioni s.r.l. di Terranova da Sibari (CS) ha anche eseguito una misura di sismica passiva con tecnica a "stazione singola" (HVSR) permettono di determinare la frequenza di risonanza del sito.

La misura effettuata ha rilevato la presenza di un picco di frequenza a 0,97 Hz con  $A_0 = 4,05$ , che indicherebbe un contrasto di impedenza a profondità superiori ai 50,0 m dal p.c..

## **3 MODELLAZIONE SISMICA**

Il territorio interessato dal progetto, da un punto di vista sismico, in base Ord. PCM 3519 del 28.04.2006 - Delib. G.R. n. 431 del 19.06.2006, ricade nei comuni classificati in zona di sismicità 2, Comune di Pistoia.

Tale categoria, individua il valore di accelerazione orizzontale dello spettro di risposta elastico  $a_g/g$  pari a 0,25.

Con l'entrata in vigore della nuova normativa sulle costruzioni, infatti, la stima della pericolosità sismica viene definita in base al sito di progetto.

### **3.1 Parametri sismici**

latitudine: 43,892579 [°]

longitudine: 10,957013 [°]

Classe d'uso: III. Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente.

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	19388	43,906830	10,922770	3168,4
Sito 2	19389	43,908330	10,992120	3313,5



Sito 3	19611	43,858350	10,994110	4829,9
Sito 4	19610	43,856860	10,924830	4736,0

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 75 anni

Coefficiente cu: 1,5

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	45	0,057	2,545	0,260
Danno (SLD)	63	75	0,070	2,538	0,272
Salvaguardia della vita (SLV)	10	712	0,163	2,395	0,303
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	1462	0,205	2,391	0,312

### Stabilità di pendii e fondazioni

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,500	1,640	1,000	0,017	0,009	0,840	0,200
SLD	1,500	1,610	1,000	0,021	0,010	1,026	0,200
SLV	1,470	1,560	1,000	0,057	0,029	2,347	0,240
SLC	1,410	1,540	1,000	0,081	0,040	2,833	0,280

### Muri di sostegno NTC 2018

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,500	1,640	1,000	0,000	--	0,840	--
SLD	1,500	1,610	1,000	0,049	0,025	1,026	0,470
SLV	1,470	1,560	1,000	0,091	0,045	2,347	0,380
SLC	1,410	1,540	1,000	0,000	--	2,833	--

### Fronti di scavo e rilevati

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,500	1,640	1,000	0,000	--	0,840	--

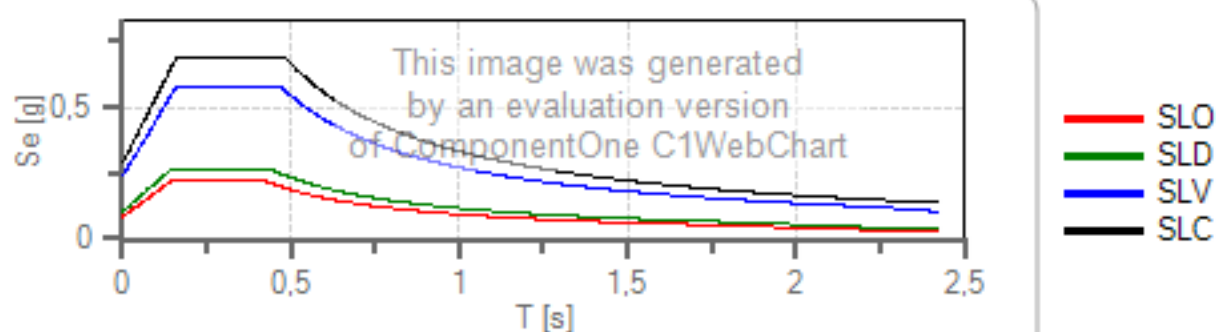
SLD	1,500	1,610	1,000	0,049	0,025	1,026	0,470
SLV	1,470	1,560	1,000	0,091	0,045	2,347	0,380
SLC	1,410	1,540	1,000	0,000	--	2,833	--

### 3.2 Spettri elastici

Coefficiente di smorzamento viscoso = 5%

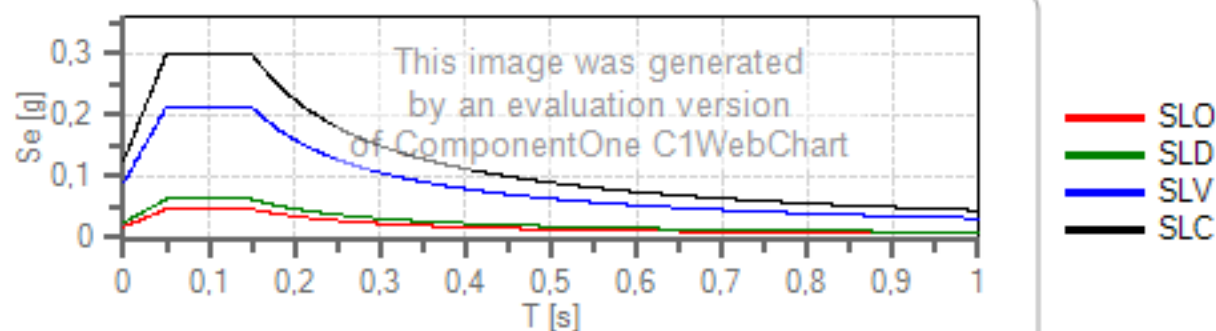
Fattore che altera lo spettro elastico =1,000

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



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1,5	0,057	2,545	0,260	1,500	1,640	1,000	1,500	1,000	0,142	0,427	1,829
SLD	1,5	0,070	2,538	0,272	1,500	1,610	1,000	1,500	1,000	0,146	0,438	1,879
SLV	1,5	0,163	2,395	0,303	1,470	1,560	1,000	1,470	1,000	0,158	0,473	2,251
SLC	1,5	0,205	2,391	0,312	1,410	1,540	1,000	1,410	1,000	0,160	0,481	2,419

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



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S		TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1,5	0,057	2,545	0,260	1,000	1,640	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1,5	0,070	2,538	0,272	1,000	1,610	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1,5	0,163	2,395	0,303	1,000	1,560	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1,5	0,205	2,391	0,312	1,000	1,540	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000

Firenze, dicembre 2024

Geol. Filippo Landini



<b>GeoStru</b> <b>C.FISC:</b> <b>P.IVA:</b>	<b>Via: via G. Verdi</b> <b>00199 Roma - Roma</b>  <b>Tel: 000000000 -</b> <b>Fax: 00000000</b> <b>Email: info@geostru.eu</b> <b>Web: www.geostru.eu</b>
---	--

**Risposta Sismica Locale**  
**Progetto nuovo depuratore biologico di Bottegone (PT)**

	<b>Data: novembre 2024</b>
	<b>Il committente Publiacqua</b>
	<b>IL Tecnico</b>
	<b>Il Progettista</b>
<b>Pericolosità sismica di base</b>	

## 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 come un solido di Kelvin-Voigt  $\left[ \tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z, t)}{\partial z \partial t} \right]$ , la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

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

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

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

che sostituita nella (1) pone

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

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

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

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

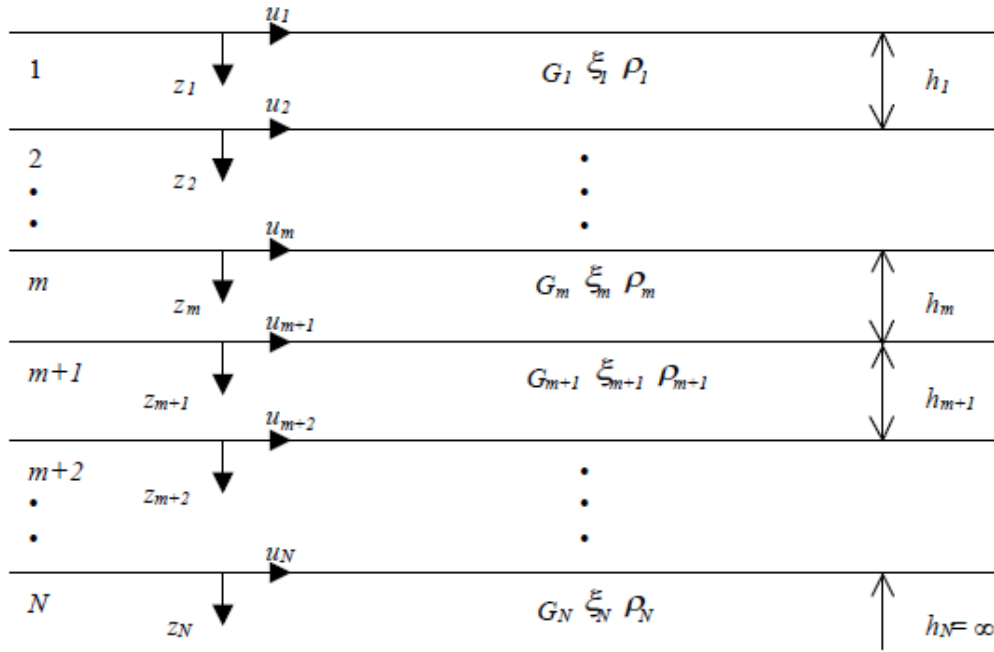
$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

avendo posto

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

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

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



**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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

ovvero

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

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

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

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

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

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

Poiché in superficie il taglio è nullo,

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

si deduce che  $E_1 = F_1$ .

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad  $m$ . La funzione di trasferimento  $A_{mn}$  che lega gli spostamenti in sommità degli strati  $m$  ed  $n$  è definita dalla seguente espressione:

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

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

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

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

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

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

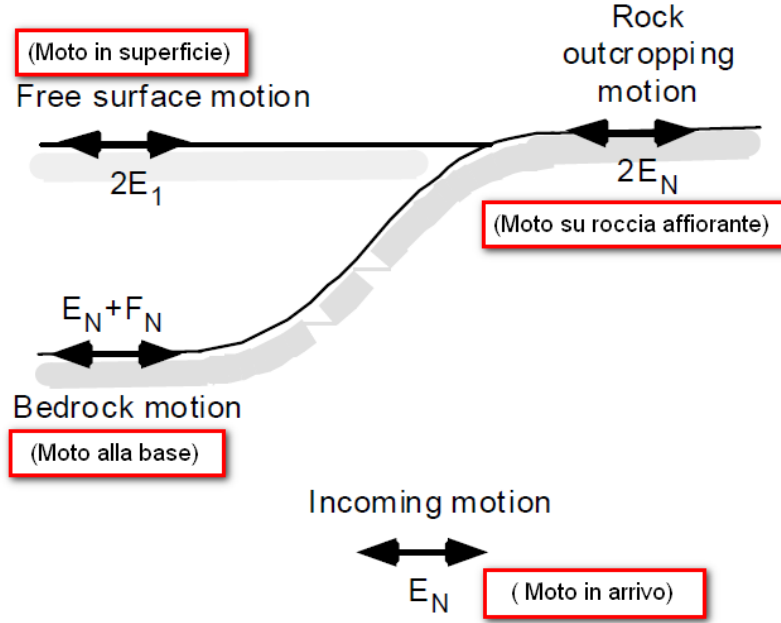
La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità  $z$  e al tempo  $t$  dalla relazione:

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

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

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

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

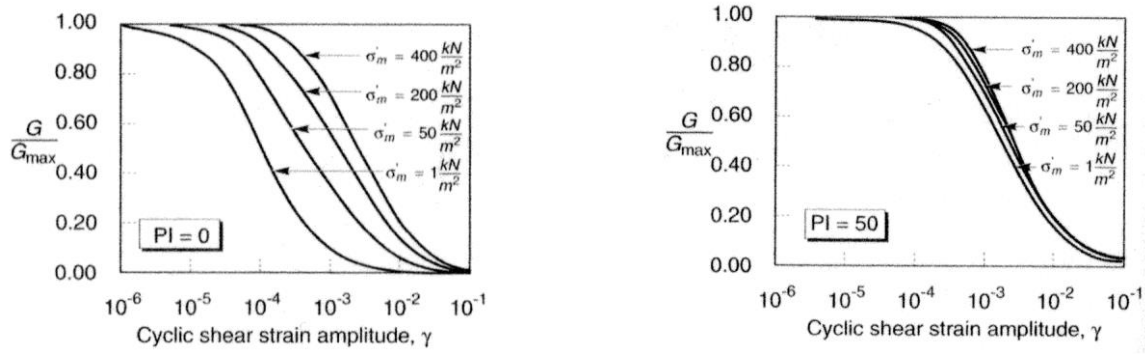
$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[ \ln \left( \frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145 PI^{1.3}) \quad (26)$$

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

dove  $G_{max}$  è dato dalla relazione

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

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

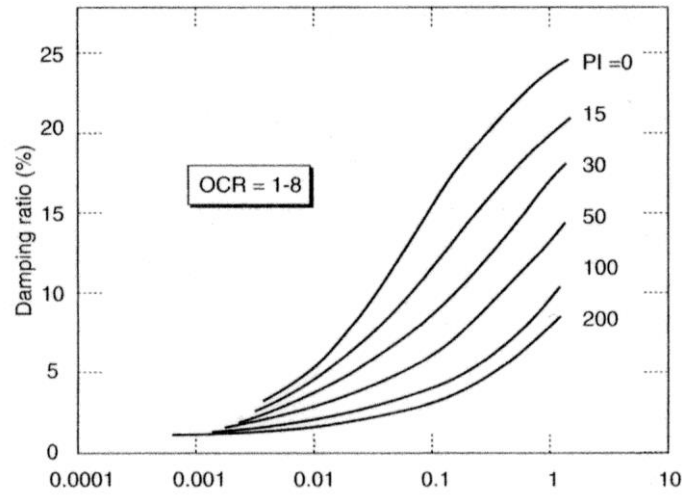


**Figura 2:** Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

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

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

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



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

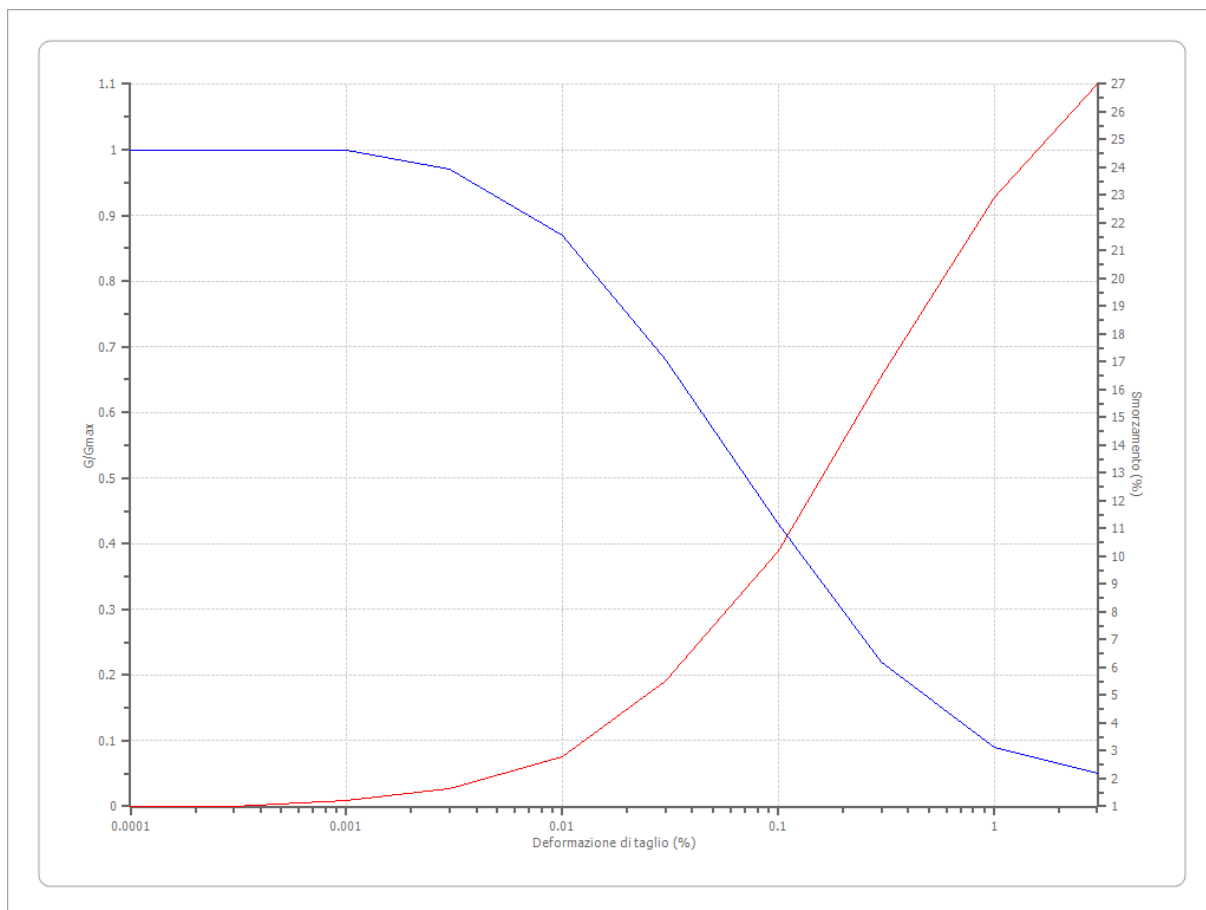
**Dati generali**

Descrizione	Risposta Sismica Locale
Progetto nuovo depuratore biologico di Bottegone (PT)	
Committente	Publiacqua
Operatore della prova	Daniele Pittaro
Responsabile della prova	Filippo Landini
Data della prova	d.C./10/2024
Via	Via Bottai, Loc. Bottegone (PT)
Latitudine	43,87794[°]
Longitudine	10,9605837[°]

**Terreni**

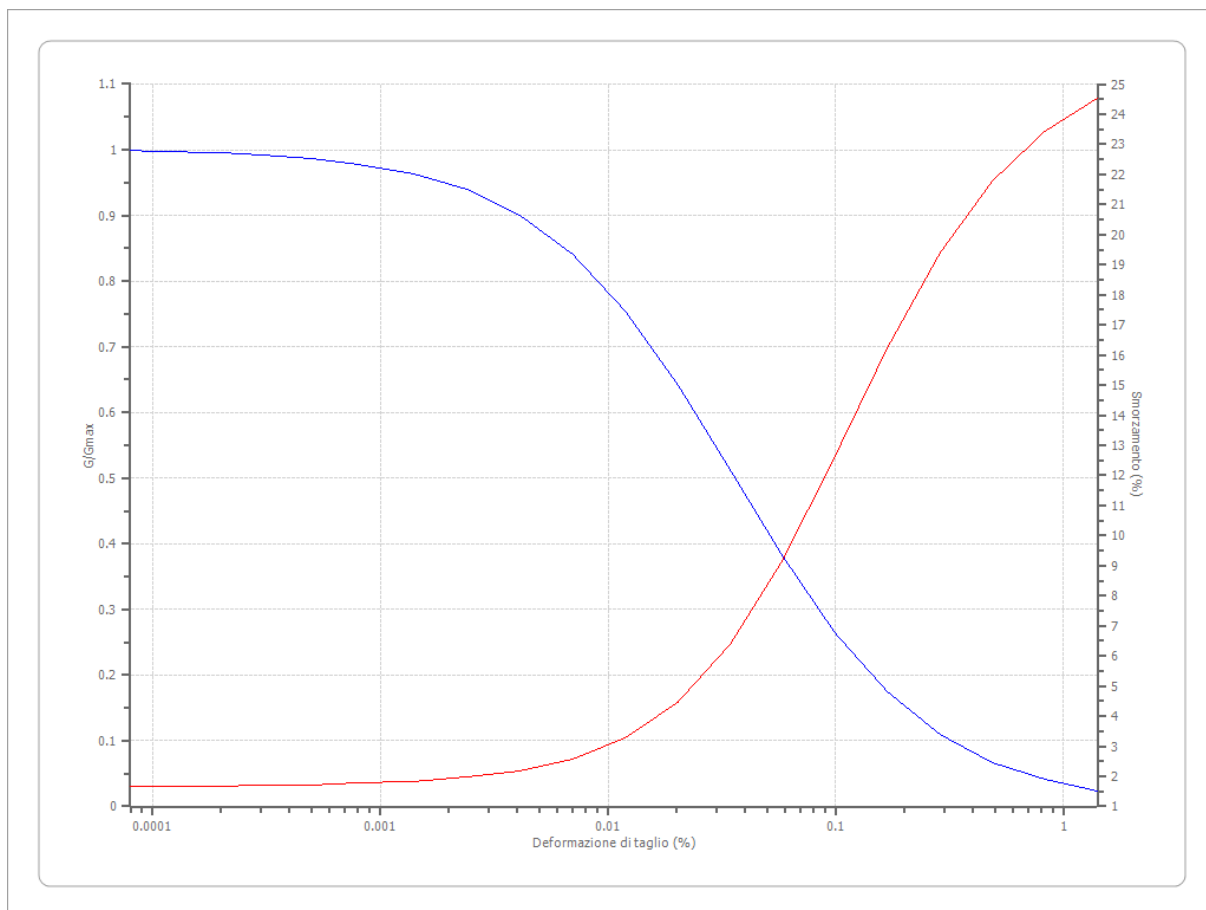
EPRI Sand (1993) 15,54-36,57 metri

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	1.000
0.0003	1.000	0.0003	1.000
0.001	1.000	0.001	1.200
0.003	0.970	0.003	1.640
0.010	0.870	0.010	2.800
0.030	0.680	0.030	5.490
0.100	0.430	0.100	10.200
0.300	0.220	0.300	16.500
1.000	0.090	1.000	22.900
3.000	0.050	3.000	27.000



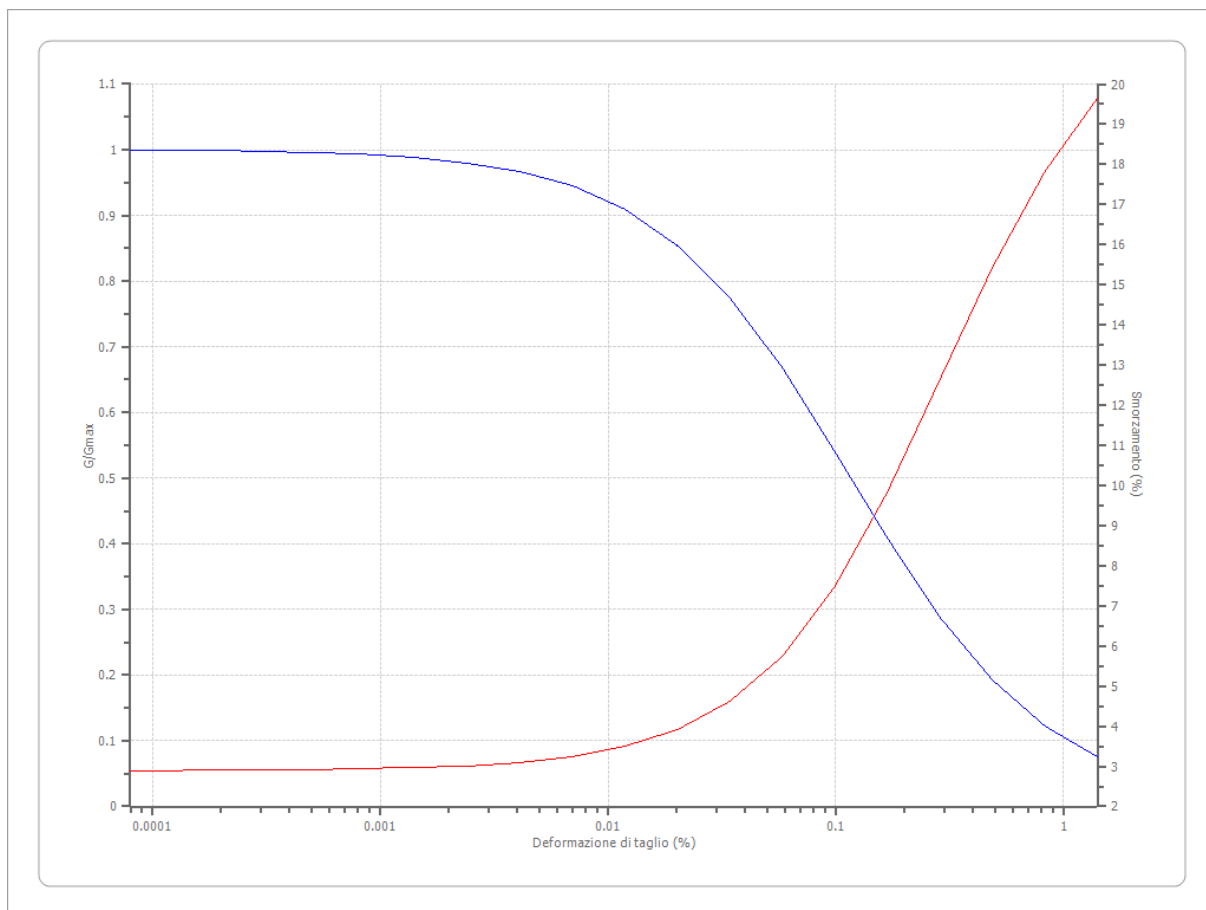
Lombardia - Limi argillosi

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00008	1.000	0.00008	1.665475
0.0001	0.9974	0.0001	1.67745
0.0002	0.995575	0.0002	1.685925
0.0003	0.992475	0.0003	1.700375
0.0005	0.9872	0.0005	1.725175
0.0008	0.978325	0.0008	1.767775
0.0014	0.963575	0.0014	1.841375
0.0024	0.939225	0.0024	1.96895
0.0041	0.900325	0.0041	2.191675
0.007	0.8407	0.007	2.583075
0.0119	0.755075	0.0119	3.270475
0.0202	0.64305	0.0202	4.454025
0.0343	0.512875	0.0343	6.375775
0.0583	0.381	0.0583	9.167875
0.099	0.2647	0.099	12.63128
0.1684	0.173975	0.1684	16.22277
0.2862	0.109725	0.2862	19.36967
0.4866	0.0673	0.4866	21.77518
0.8272	0.040525	0.8272	23.44093
1.4063	0.024175	1.4063	24.52093



Lombardia - Argille limose

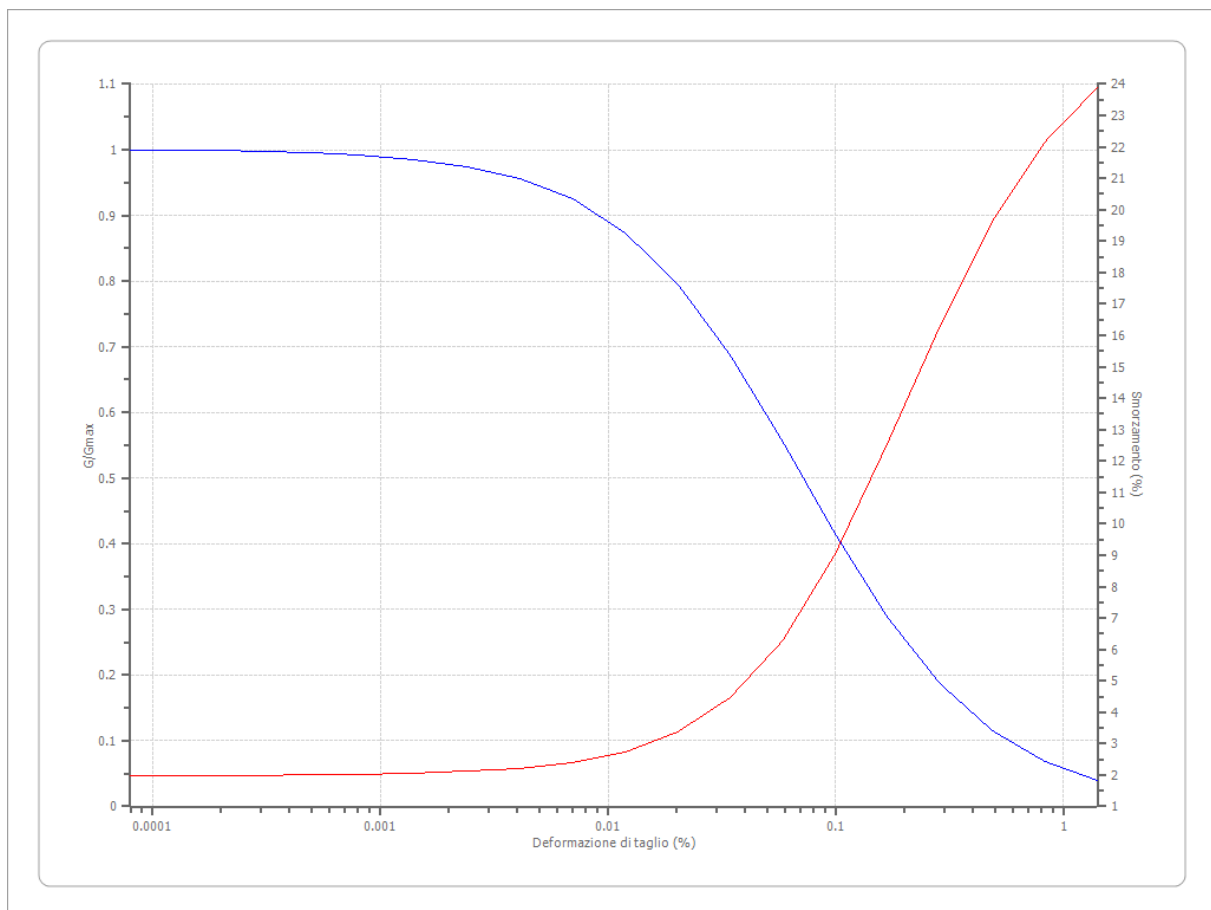
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00008	1.000	0.00008	2.891
0.0001	0.9992	0.0001	2.8959
0.0002	0.9986	0.0002	2.8994
0.0003	0.9976	0.0003	2.9053
0.0005	0.9959	0.0005	2.9154
0.0008	0.9931	0.0008	2.9326
0.0014	0.9883	0.0014	2.962
0.0024	0.9802	0.0024	3.012
0.0041	0.9667	0.0041	3.0975
0.007	0.9445	0.007	3.2433
0.0119	0.9089	0.0119	3.4917
0.0202	0.854	0.0202	3.9125
0.0343	0.7742	0.0343	4.616
0.0583	0.6677	0.0583	5.7552
0.099	0.5408	0.099	7.4855
0.1684	0.4084	0.1684	9.848
0.2862	0.2881	0.2862	12.6362
0.4866	0.1918	0.4866	15.4287
0.8272	0.1221	0.8272	17.8243
1.4063	0.0754	1.4063	19.6357



Lombardia - Limi sabbiosi

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00008	1.000	0.00008	1.9826
0.0001	0.99915	0.0001	1.98695
0.0002	0.9985	0.0002	1.9903
0.0003	0.9974	0.0003	1.9962
0.0005	0.9953	0.0005	2.0067
0.0008	0.9918	0.0008	2.02525
0.0014	0.98555	0.0014	2.05825
0.0024	0.97465	0.0024	2.11705
0.0041	0.956	0.0041	2.222
0.007	0.9246	0.007	2.4103
0.0119	0.87385	0.0119	2.7498
0.0202	0.7964	0.0202	3.36165
0.0343	0.6886	0.0343	4.4464
0.0583	0.556	0.0583	6.2701
0.099	0.41535	0.099	9.0215
0.1684	0.2876	0.1684	12.55055
0.2862	0.1867	0.2862	16.2968
0.4866	0.11545	0.4866	19.6163
0.8272	0.0691	0.8272	22.15295
1.4063	0.0405	1.4063	23.89285





### Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	6.0	Lombardia - Argille limose	0	31.49	--	18.0	131.0	24.6
2		6.0	6.0	Lombardia - Limi sabbiosi	0	159.68	--	18.0	295.0	103.1
3		12.0	17.0	EPRI Sand (1993) 15,54-36,57 metri	0	468.83	--	19.0	492.0	235.3
4		oo	--	Lombardia - Limi argillosi	0	553.40	--	20.0	521.0	313.4

Strato con falda: 2  
 Strato rilevamento accelerogramma: 4 Affiorante

Profilo				Velocità onde di taglio		Tensione verticale	
	6.00 [m]			131.0 [m/s]		24.6 [kPa]	
		6.00 [m]					
	6.00 [m]			295.0 [m/s]		103.1 [kPa]	
		12.00 [m]					
	17.00 [m]			492.0 [m/s]		235.3 [kPa]	
		29.00 [m]					
				521.0 [m/s]		313.4 [kPa]	
		∞					

## Elaborazione

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 1.29 E-05

## Fattori di amplificazione ICMS 2018

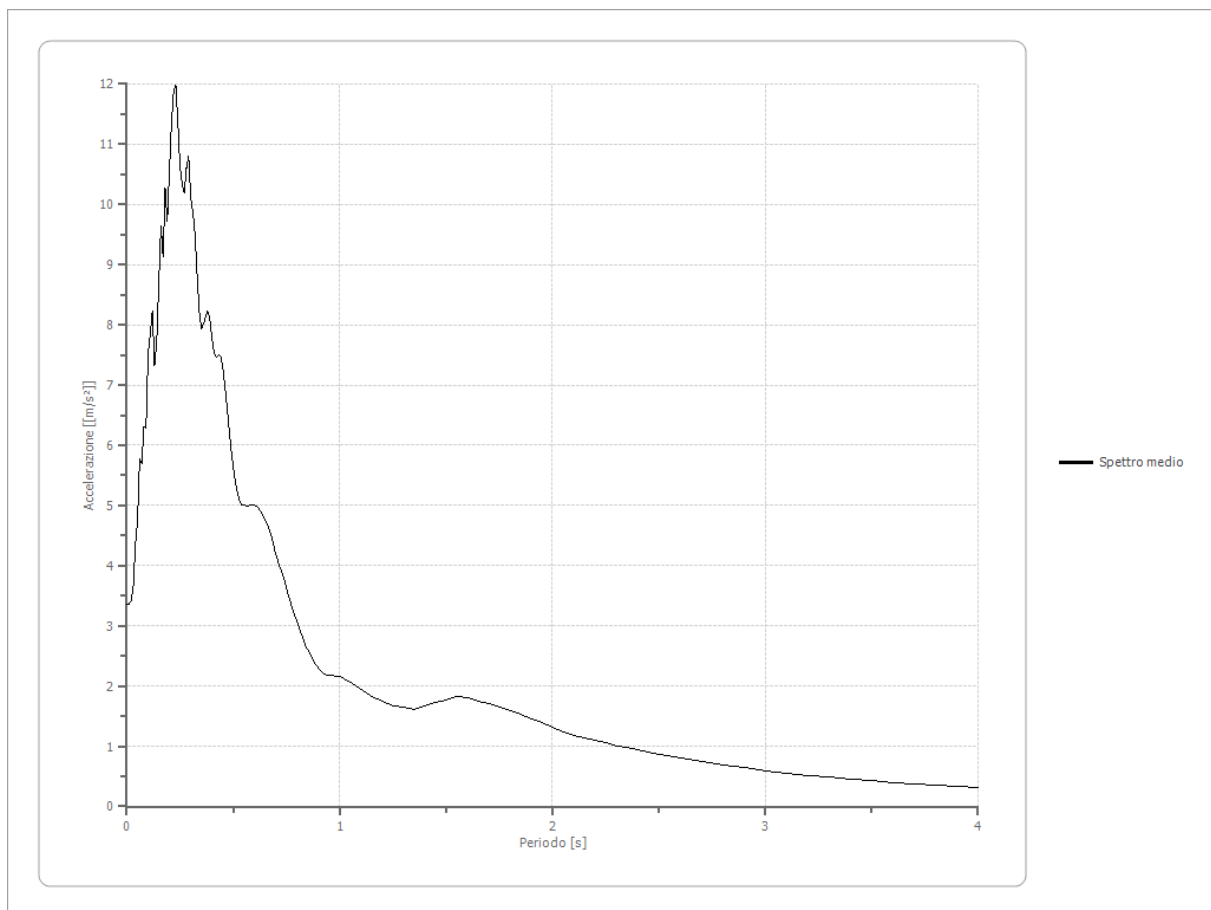
Tai	0.160 [s]
Tvi	1.750 [s]
Tao	0.230 [s]
Tvo	0.450 [s]
Sami	5.079 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmi	0.463 [m/s]
Samo	9.865 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmo	0.490 [m/s]
<b>Fa</b>	<b>1.942 [-]</b>
<b>Fv</b>	<b>1.059 [-]</b>
TB	0.104 [s]
TC	0.312 [s]
TD	2.683 [s]
SA(0)	2.656 [m/s <sup>2</sup> ]
SA(TB)	9.865 [m/s <sup>2</sup> ]

### Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
-----------------------	---------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------------	----

### Spettro medio di risposta elastico

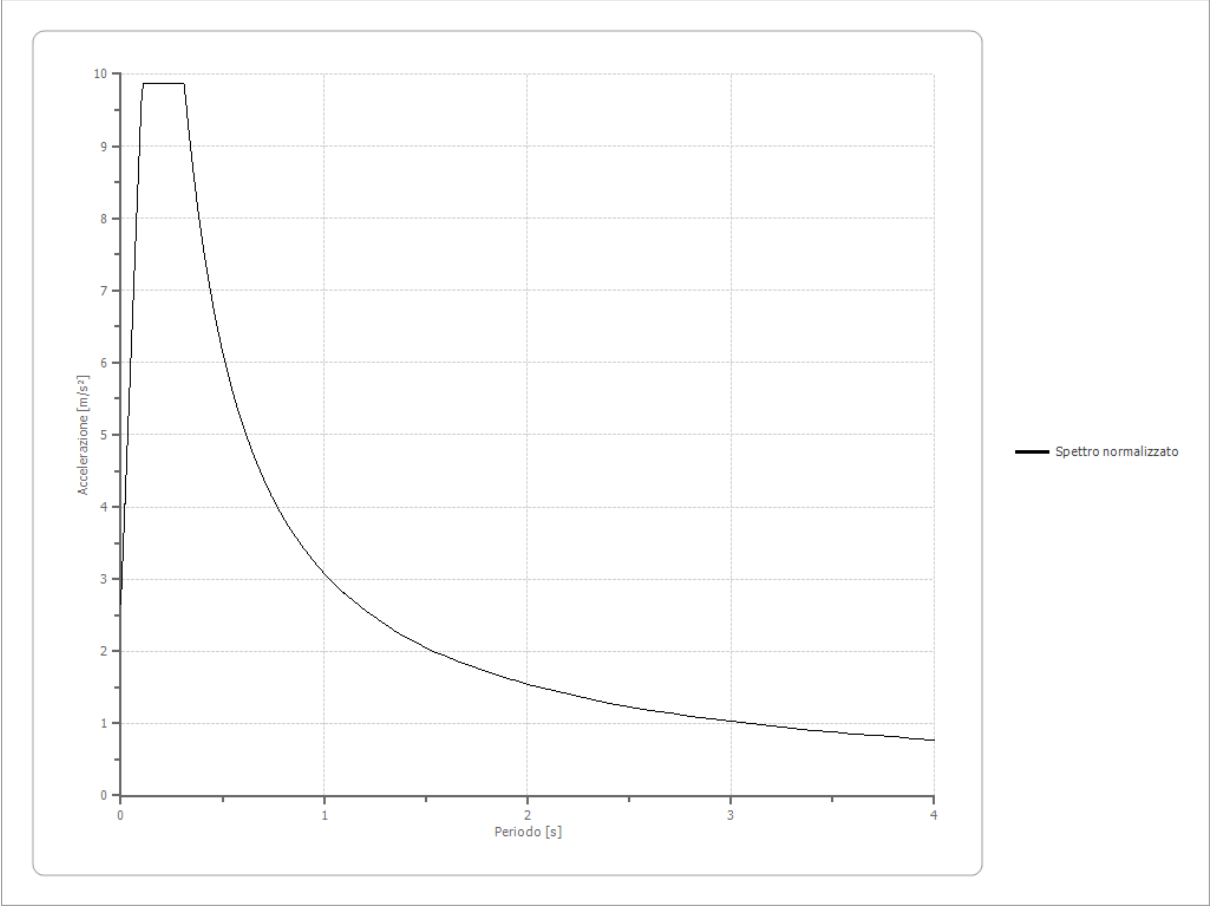
Periodo [s]	Accelera zione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s <sup>2</sup> ]
0.00	3.3489	0.26	10.3238	0.52	5.1984	0.98	2.1686	2.25	1.0510
0.01	3.3489	0.27	10.1926	0.53	5.0605	1.00	2.1663	2.30	1.0085
0.02	3.4100	0.28	10.6060	0.54	5.0138	1.05	2.0624	2.35	0.9743
0.03	3.6276	0.29	10.8007	0.55	5.0033	1.10	1.9493	2.40	0.9342
0.04	4.3674	0.30	10.1139	0.56	4.9928	1.15	1.8353	2.50	0.8665
0.05	4.7524	0.31	9.8867	0.57	4.9969	1.20	1.7449	2.60	0.8117
0.06	5.7719	0.32	9.5326	0.58	5.0036	1.25	1.6685	2.70	0.7559
0.07	5.6990	0.33	8.8547	0.60	5.0087	1.30	1.6521	2.80	0.6966
0.08	6.3111	0.34	8.2290	0.62	4.9438	1.35	1.6191	2.90	0.6401
0.09	6.2936	0.35	7.9416	0.64	4.8341	1.40	1.6732	3.00	0.5927
0.10	7.5372	0.36	8.0168	0.66	4.6957	1.45	1.7316	3.10	0.5522
0.11	7.8469	0.37	8.1259	0.68	4.4817	1.50	1.7689	3.20	0.5162
0.12	8.2367	0.38	8.2385	0.70	4.1875	1.55	1.8252	3.30	0.4842
0.13	7.3225	0.39	8.0961	0.72	3.9751	1.60	1.8138	3.40	0.4531
0.14	7.7070	0.40	7.7818	0.74	3.7635	1.65	1.7442	3.50	0.4257
0.15	8.6819	0.41	7.5269	0.76	3.5052	1.70	1.7079	3.60	0.3997
0.16	9.6335	0.42	7.4585	0.78	3.2616	1.75	1.6545	3.70	0.3754
0.17	9.1243	0.43	7.5046	0.80	3.0567	1.80	1.5997	3.80	0.3528
0.18	10.2691	0.44	7.4926	0.82	2.8604	1.85	1.5322	3.90	0.3337
0.19	9.7172	0.45	7.3274	0.84	2.6806	1.90	1.4484	4.00	0.3161
0.20	10.5635	0.46	7.0044	0.86	2.5297	1.95	1.3856		
0.21	11.3746	0.47	6.6493	0.88	2.3952	2.00	1.3172		
0.22	11.8916	0.48	6.2809	0.90	2.2893	2.05	1.2467		
0.23	11.9799	0.49	5.9261	0.92	2.2165	2.10	1.1865		
0.24	11.3293	0.50	5.6273	0.94	2.1732	2.15	1.1315		
0.25	10.6247	0.51	5.3893	0.96	2.1714	2.20	1.0912		



**Spettro normalizzato di risposta elastico**

Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]
0.00	2.6562	0.26	9.8654	0.52	5.9231	0.98	3.1429	2.25	1.3689
0.01	3.3489	0.27	9.8654	0.53	5.8114	1.00	3.0800	2.30	1.3391
0.02	4.0417	0.28	9.8654	0.54	5.7038	1.05	2.9334	2.35	1.3107
0.03	4.7344	0.29	9.8654	0.55	5.6001	1.10	2.8000	2.40	1.2833
0.04	5.4271	0.30	9.8654	0.56	5.5001	1.15	2.6783	2.50	1.2320
0.05	6.1199	0.31	9.8654	0.57	5.4036	1.20	2.5667	2.60	1.1846
0.06	6.8126	0.32	9.6251	0.58	5.3104	1.25	2.4640	2.70	1.1408
0.07	7.5053	0.33	9.3334	0.60	5.1334	1.30	2.3693	2.80	1.1000
0.08	8.1980	0.34	9.0589	0.62	4.9678	1.35	2.2815	2.90	1.0621
0.09	8.8908	0.35	8.8001	0.64	4.8126	1.40	2.2000	3.00	1.0267
0.10	9.5835	0.36	8.5556	0.66	4.6667	1.45	2.1242	3.10	0.9936
0.11	9.8654	0.37	8.3244	0.68	4.5295	1.50	2.0534	3.20	0.9625
0.12	9.8654	0.38	8.1053	0.70	4.4000	1.55	1.9871	3.30	0.9333
0.13	9.8654	0.39	7.8975	0.72	4.2778	1.60	1.9250	3.40	0.9059
0.14	9.8654	0.40	7.7001	0.74	4.1622	1.65	1.8667	3.50	0.8800
0.15	9.8654	0.41	7.5123	0.76	4.0527	1.70	1.8118	3.60	0.8556
0.16	9.8654	0.42	7.3334	0.78	3.9488	1.75	1.7600	3.70	0.8324
0.17	9.8654	0.43	7.1629	0.80	3.8500	1.80	1.7111	3.80	0.8105
0.18	9.8654	0.44	7.0001	0.82	3.7561	1.85	1.6649	3.90	0.7898
0.19	9.8654	0.45	6.8445	0.84	3.6667	1.90	1.6211	4.00	0.7700

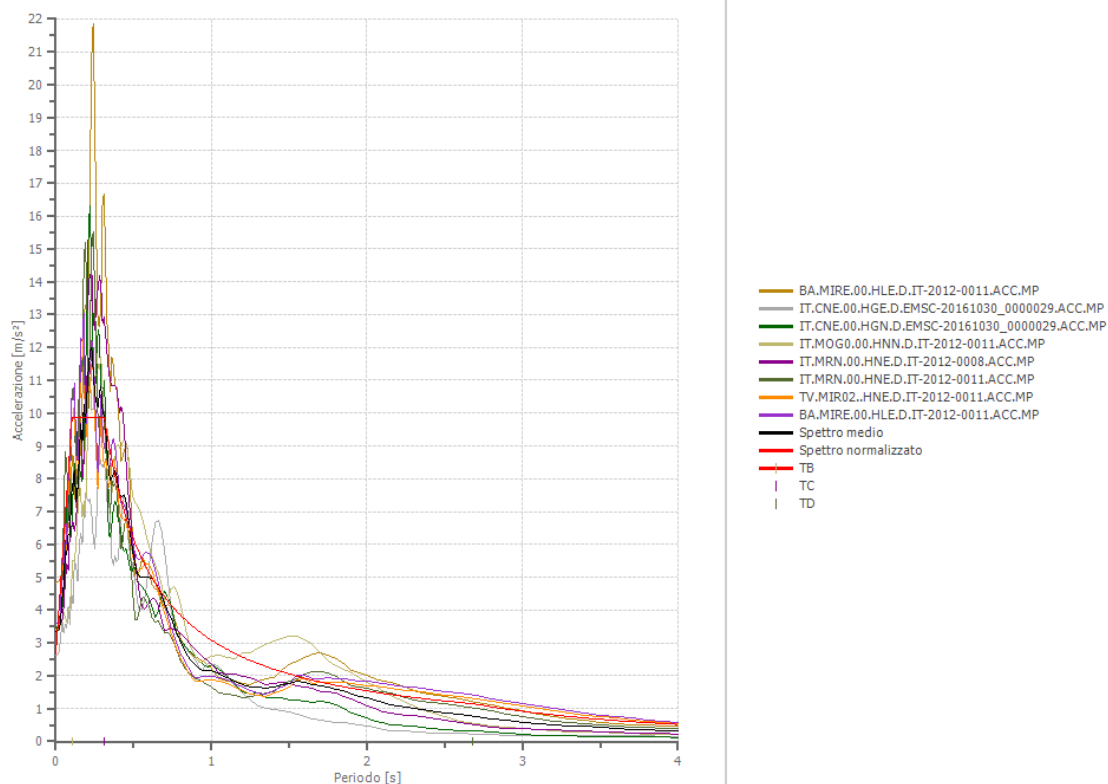
0.20	9.8654	0.46	6.6957	0.86	3.5814	1.95	1.5795		
0.21	9.8654	0.47	6.5533	0.88	3.5000	2.00	1.5400		
0.22	9.8654	0.48	6.4167	0.90	3.4223	2.05	1.5025		
0.23	9.8654	0.49	6.2858	0.92	3.3479	2.10	1.4667		
0.24	9.8654	0.50	6.1601	0.94	3.2766	2.15	1.4326		
0.25	9.8654	0.51	6.0393	0.96	3.2084	2.20	1.4000		



Parametri spettro normalizzato

Ag [m/s²]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s²]	Se(TB) [m/s²]	S
2.656	3.714057	--	0.104	0.312	2.683	2.656	9.865	1.682

Confronto tra gli spettri



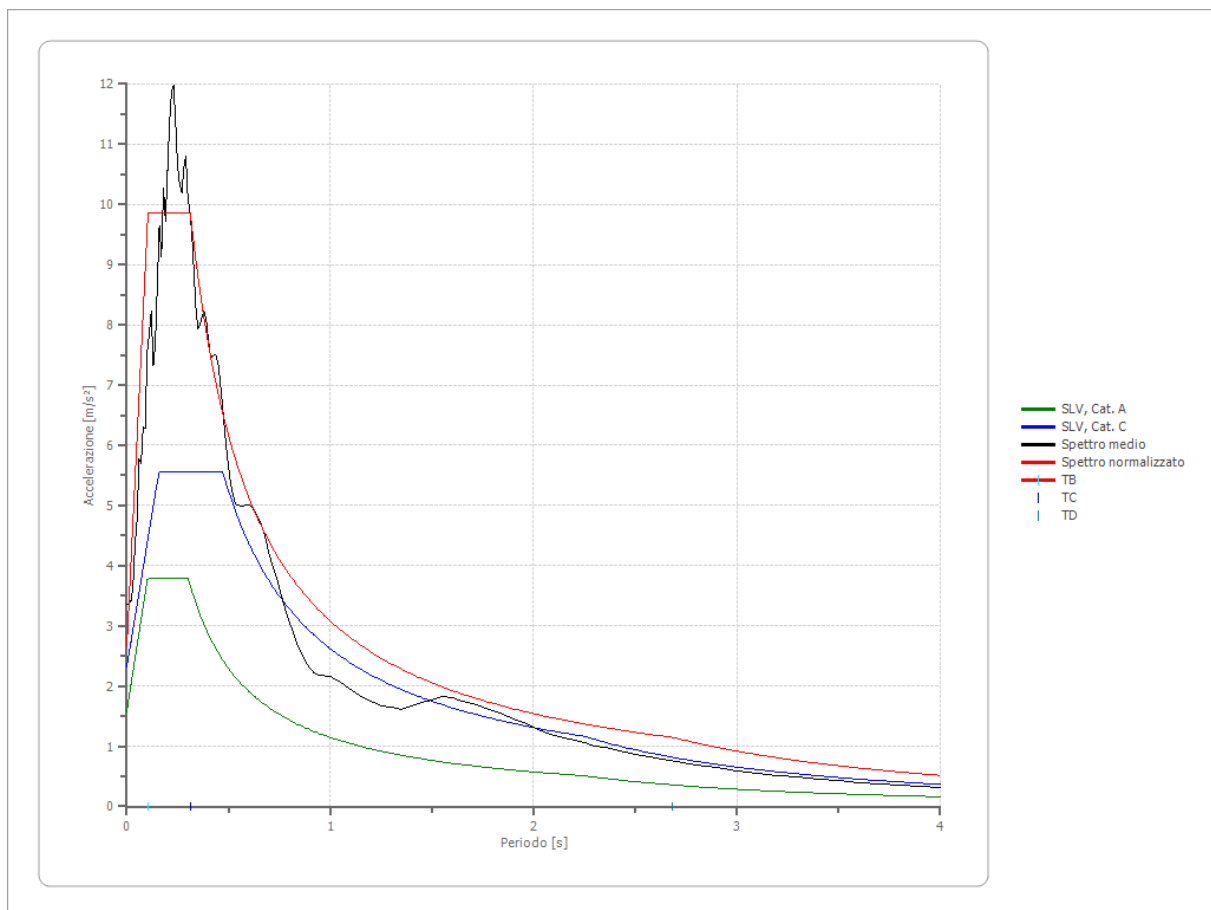
### Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività à SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C
T r [a n n i ]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
a g [ m /s ²]	0.559	0.677	1.579	1.982	0.559	0.677	1.579	1.982
F o	2.549	2.545	2.396	2.391	2.549	2.545	2.396	2.391
T c * [s]	0.26	0.272	0.303	0.312	0.26	0.272	0.303	0.312

]								
S	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50	1.47	1.41
s								
S	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
t								
C	1.00	1.00	1.00	1.00	1.64	1.61	1.56	1.54
c								
T	0.087	0.091	0.101	0.104	0.142	0.146	0.157	0.160
B								
[s								
]								
T	0.260	0.272	0.303	0.312	0.426	0.439	0.472	0.481
C								
[s								
]								
T	1.828	1.876	2.244	2.408	1.828	1.876	2.244	2.408
D								
[s								
]								
S	0.559	0.677	1.579	1.982	0.839	1.016	2.319	2.795
e(								
0)								
[								
m								
/s								
²]								
S	1.425	1.723	3.783	4.739	2.137	2.584	5.556	6.683
e(								
T								
B								
)								
[								
m								
/s								
²]								

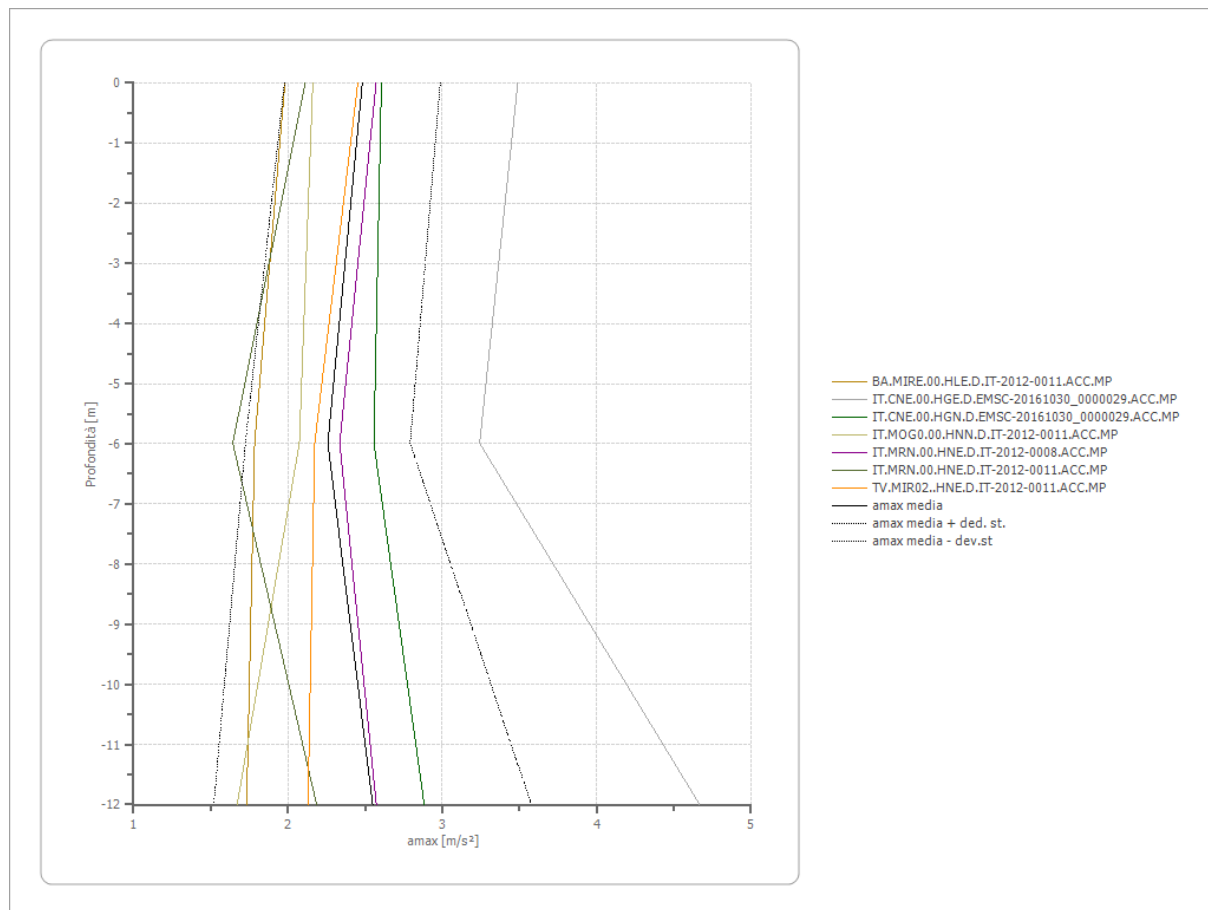




**Profilo a max**

	0.0 [m]	6.0 [m]	12.0 [m]	29.0 [m]
BA.MIRE.00.HLE .D.IT-2012-0011. ACC.MP [m/s²]	--	--	--	
IT.CNE.00.HGE. D.EMSC-2016103 0_0000029.ACC. MP [m/s²]	3.489	3.242	4.667	
IT.CNE.00.HGN. D.EMSC-2016103 0_0000029.ACC. MP [m/s²]	2.606	2.557	2.883	
IT.MOG0.00.HNN .D.IT-2012-0011. ACC.MP [m/s²]	2.161	2.074	1.671	
IT.MRN.00.HNE. D.IT-2012-0008.A CC.MP [m/s²]	2.571	2.335	2.572	
IT.MRN.00.HNE. D.IT-2012-0011.A CC.MP [m/s²]	2.113	1.643	2.186	
TV.MIR02..HNE.	2.452	2.173	2.130	

D.IT-2012-0011.A CC.MP [m/s <sup>2</sup> ]				
media [m/s <sup>2</sup> ]	2.482	2.258	2.549	
Dev. St. [m/s <sup>2</sup> ]	0.505	0.533	1.028	



## Indice

Dati generali	.7
Terreni	.7
EPRI Sand (1993) 15,54-36,57 metri	.7
Lombardia - Limi argillosi	.8
Lombardia - Argille limose	.9
Lombardia - Limi sabbiosi	.10
Stratigrafia	.11
Elaborazione	.12
Fattori di amplificazione ICMS 2018	.12
Fattori di amplificazione su intensità spettrale	.13
Spettro medio di risposta elastico	.13
Spettro normalizzato di risposta elastico	.14
Confronto tra gli spettri	.15
Confronto spettro normativa	.16
Profilo a max	.17
Indice	.19