

PROVINCIA DI MATERA COMUNE DI FERRANDINA

LOCALITA':

LOCALITA' QUADRONE

PROGETTO:

**PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRI-VOLTAICO A
TERRA DELLA POTENZA NOMINALE 19,99 MW DENOMINATO "DALSOLAR1"**

TITOLO DOCUMENTO:

Risposta sismica locale

SOGGETTO RICHIEDENTE

L'ESECUTORE:

DALSOLAR S.R.L.

SEDE LEGALE E UFFICI

Via Santa Sofia n.22

20122 - MILANO (MI)

CF e P.IVA n. 11013410961. N. REA MI-2573257

GRUPPO DI PROGETTAZIONE



Ing. Carmen Martone

Geol. Raffaele Nardone

Ing. Domenico Castaldo

Iscr. n°8630 Y Ordine Ingegneri di Torino

C.F. CSTDNC 73M18 H355W

Viale Europa 42, 10070 - Balangero

tel 0123/346088 fax 0123/347458

info@studioingcastaldo.it cell 338/4727747

Via V. Verrastro 15/A, 85100 Potenza
P.Iva 02094310766

Codice lavoro	Livello proget.	Cat. Op.	Tipologia	Numero	Rev.	Pag.	di	Nome file	Scala	Progressivo
C261	PD	I.FV_IF	R	01	/00	1	1	A.2		2
Rev.	Data	Descrizione						Redazione	Controllo	Approvazione
00	Gennaio 2022	Emissione								
00	Ottobre 2023	Revisione								

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; 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:

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

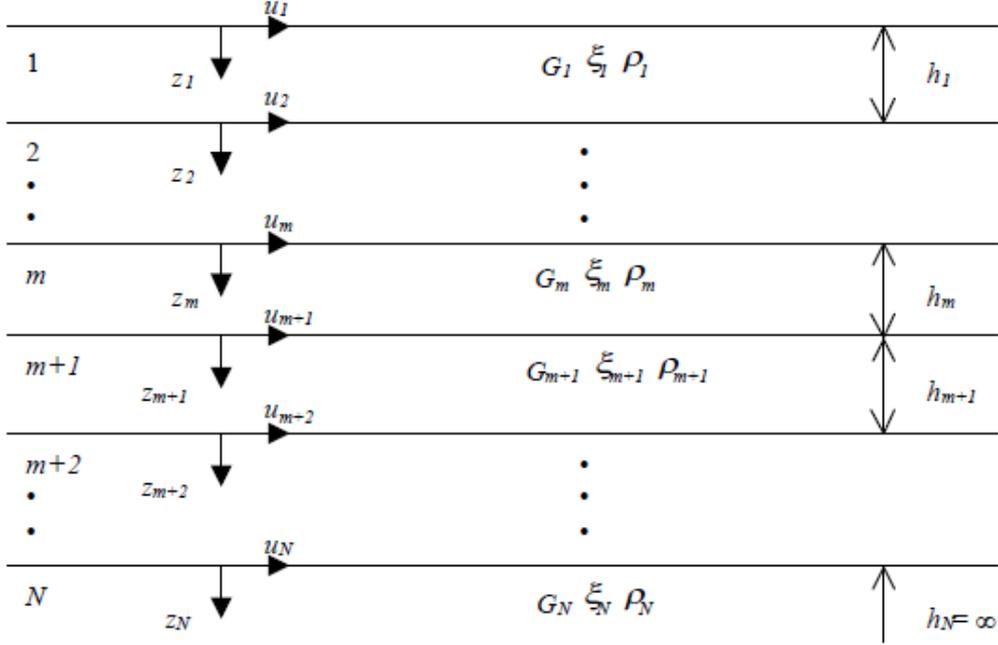


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

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:

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

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.

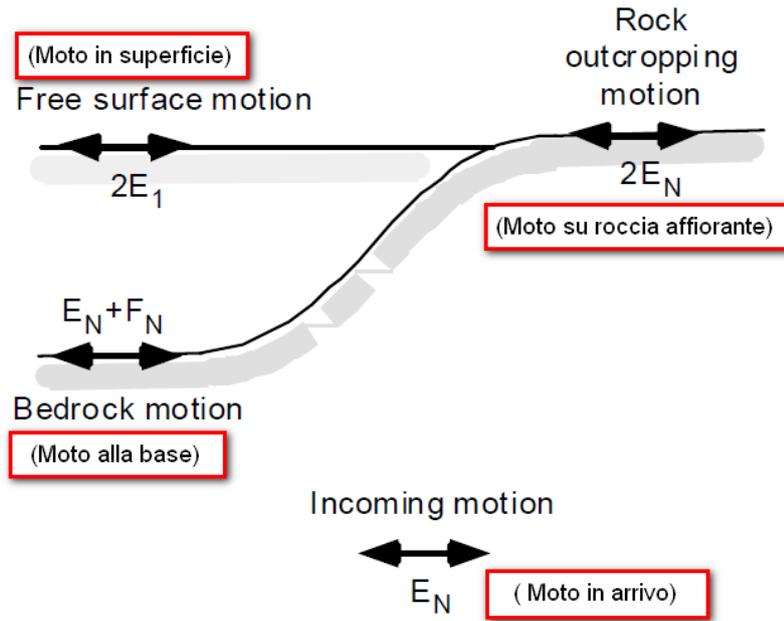


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

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:

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

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

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

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

dove G_{max} è dato dalla relazione

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

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

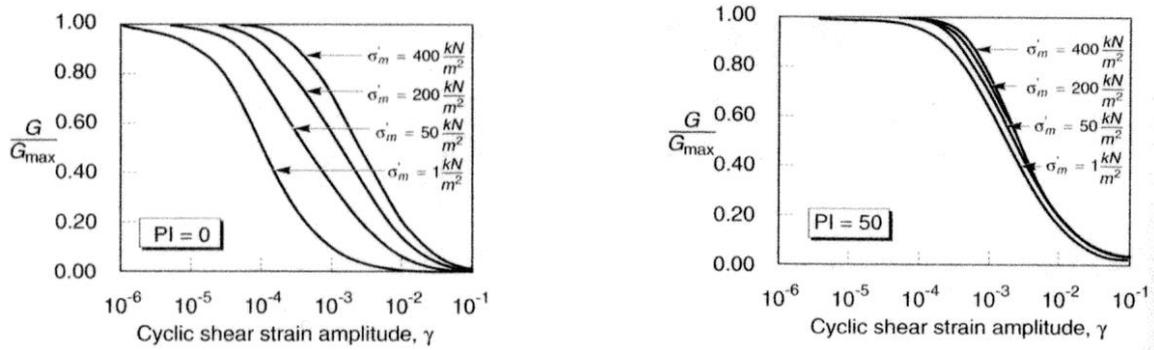


Figura 2: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

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

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

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

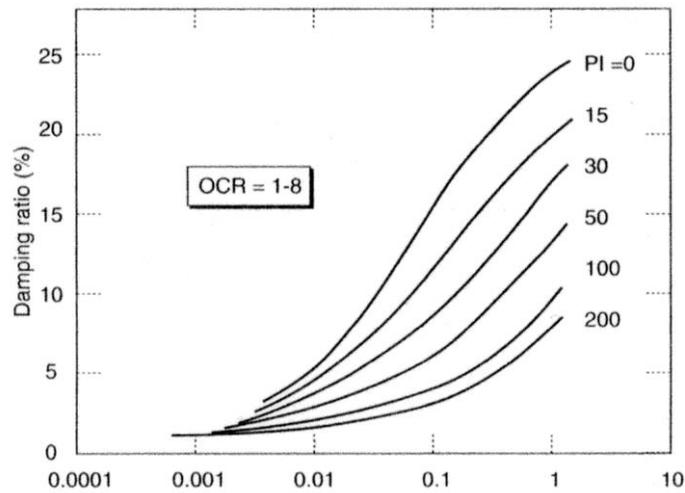


Figura 3: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

Microzona 1

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		--	8.0	Seed et al. (1986) Gravel	0	82.37	--	18.5	209.0	74.0
2		8.00	20.0	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	1298.54	--	21.1	777.0	396.0
3		oo	--	Smorzamento costante	0	1565.75	--	24.0	800.0	660.5

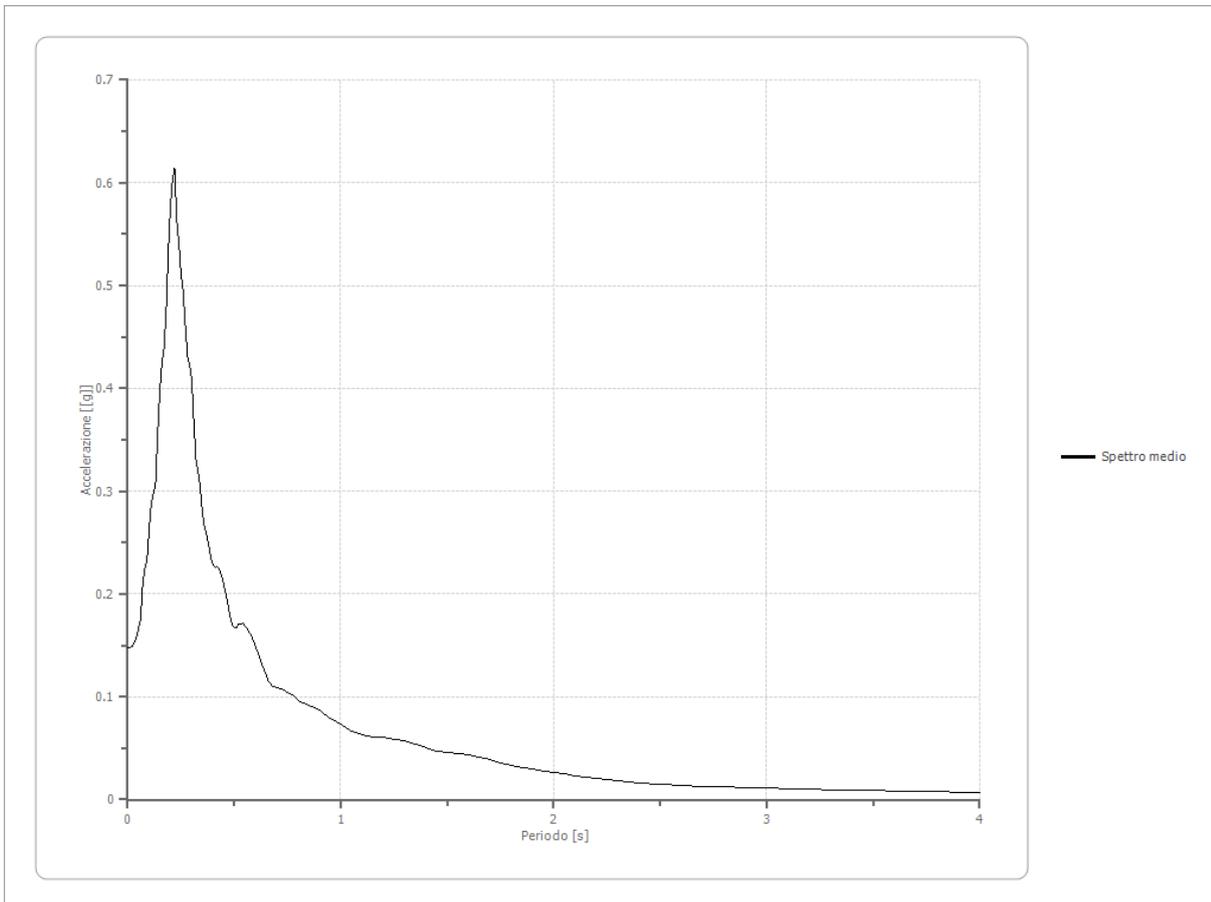
Fattori di amplificazione ICMS 2018

Tai	0.150 [s]
Tvi	1.550 [s]
Tao	0.220 [s]
Tvo	0.260 [s]
Sami	1.720 [m/s²]
Svmi	0.117 [m/s]
Samo	4.394 [m/s²]
Svmo	0.196 [m/s]
Fa	2.555 [-]
Fv	1.672 [-]
TB	0.094 [s]
TC	0.281 [s]
TD	2.046 [s]
SA(0)	0.112 [g]
SA(TB)	0.448 [g]

Spettro medio di risposta elastico

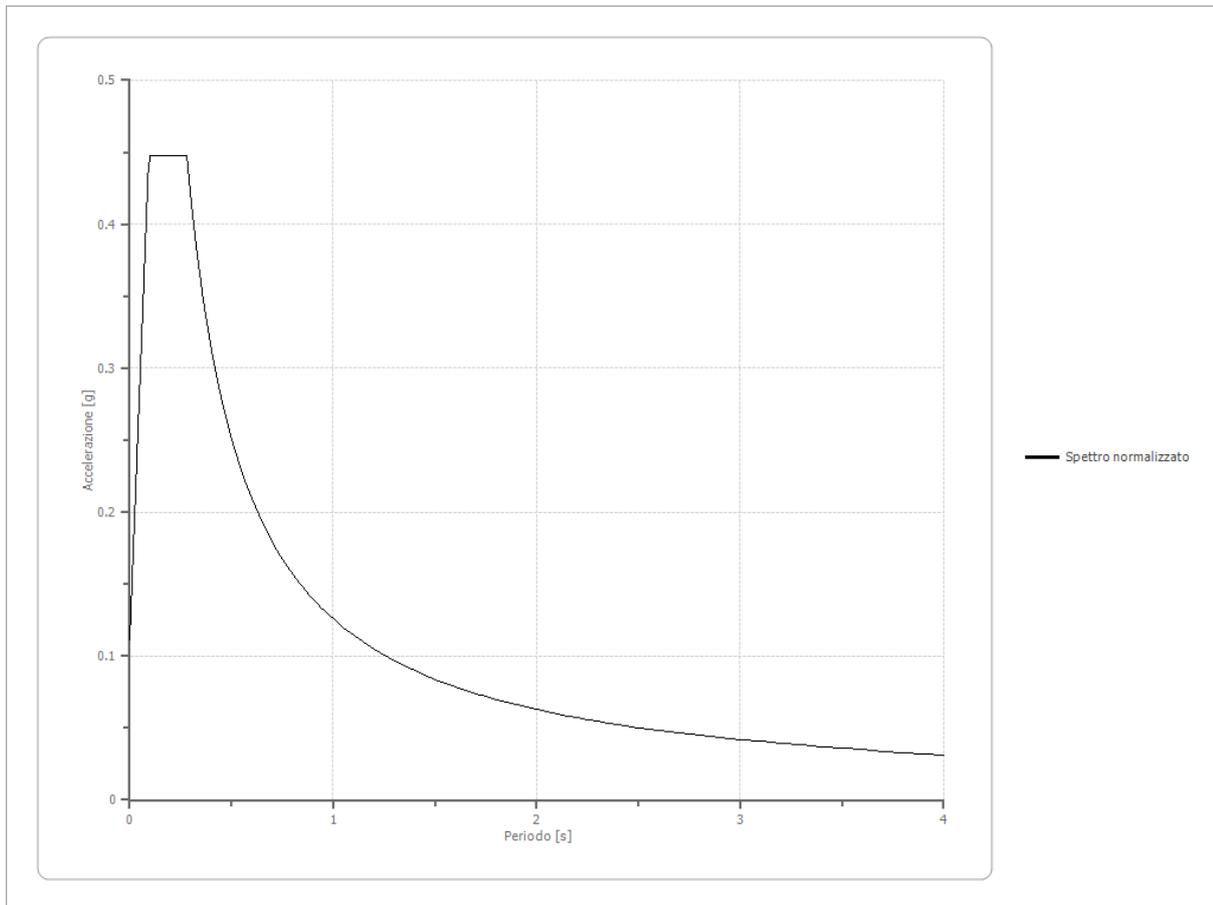
Periodo [s]	Accelerazione [g]								
0.00	0.1475	0.26	0.4954	0.52	0.1702	0.98	0.0759	2.25	0.0191
0.01	0.1475	0.27	0.4617	0.53	0.1710	1.00	0.0732	2.30	0.0179
0.02	0.1489	0.28	0.4311	0.54	0.1713	1.05	0.0668	2.35	0.0168
0.03	0.1519	0.29	0.4227	0.55	0.1686	1.10	0.0625	2.40	0.0162

0.04	0.1565	0.30	0.4091	0.56	0.1663	1.15	0.0611	2.50	0.0149
0.05	0.1663	0.31	0.3667	0.57	0.1632	1.20	0.0604	2.60	0.0138
0.06	0.1758	0.32	0.3314	0.58	0.1592	1.25	0.0588	2.70	0.0130
0.07	0.2099	0.33	0.3188	0.60	0.1486	1.30	0.0568	2.80	0.0124
0.08	0.2241	0.34	0.3039	0.62	0.1380	1.35	0.0537	2.90	0.0116
0.09	0.2321	0.35	0.2800	0.64	0.1259	1.40	0.0503	3.00	0.0110
0.10	0.2618	0.36	0.2655	0.66	0.1158	1.45	0.0472	3.10	0.0103
0.11	0.2872	0.37	0.2582	0.68	0.1100	1.50	0.0460	3.20	0.0098
0.12	0.2984	0.38	0.2470	0.70	0.1083	1.55	0.0448	3.30	0.0094
0.13	0.3049	0.39	0.2351	0.72	0.1076	1.60	0.0433	3.40	0.0091
0.14	0.3555	0.40	0.2295	0.74	0.1051	1.65	0.0414	3.50	0.0088
0.15	0.3967	0.41	0.2259	0.76	0.1034	1.70	0.0388	3.60	0.0085
0.16	0.4242	0.42	0.2269	0.78	0.1009	1.75	0.0361	3.70	0.0081
0.17	0.4391	0.43	0.2248	0.80	0.0964	1.80	0.0334	3.80	0.0075
0.18	0.4730	0.44	0.2176	0.82	0.0938	1.85	0.0312	3.90	0.0069
0.19	0.5311	0.45	0.2091	0.84	0.0925	1.90	0.0296	4.00	0.0065
0.20	0.5766	0.46	0.2005	0.86	0.0907	1.95	0.0280		
0.21	0.6040	0.47	0.1907	0.88	0.0889	2.00	0.0263		
0.22	0.6141	0.48	0.1783	0.90	0.0866	2.05	0.0247		
0.23	0.5624	0.49	0.1696	0.92	0.0838	2.10	0.0234		
0.24	0.5409	0.50	0.1669	0.94	0.0806	2.15	0.0219		
0.25	0.5114	0.51	0.1678	0.96	0.0784	2.20	0.0204		



Spettro normalizzato di risposta elastico

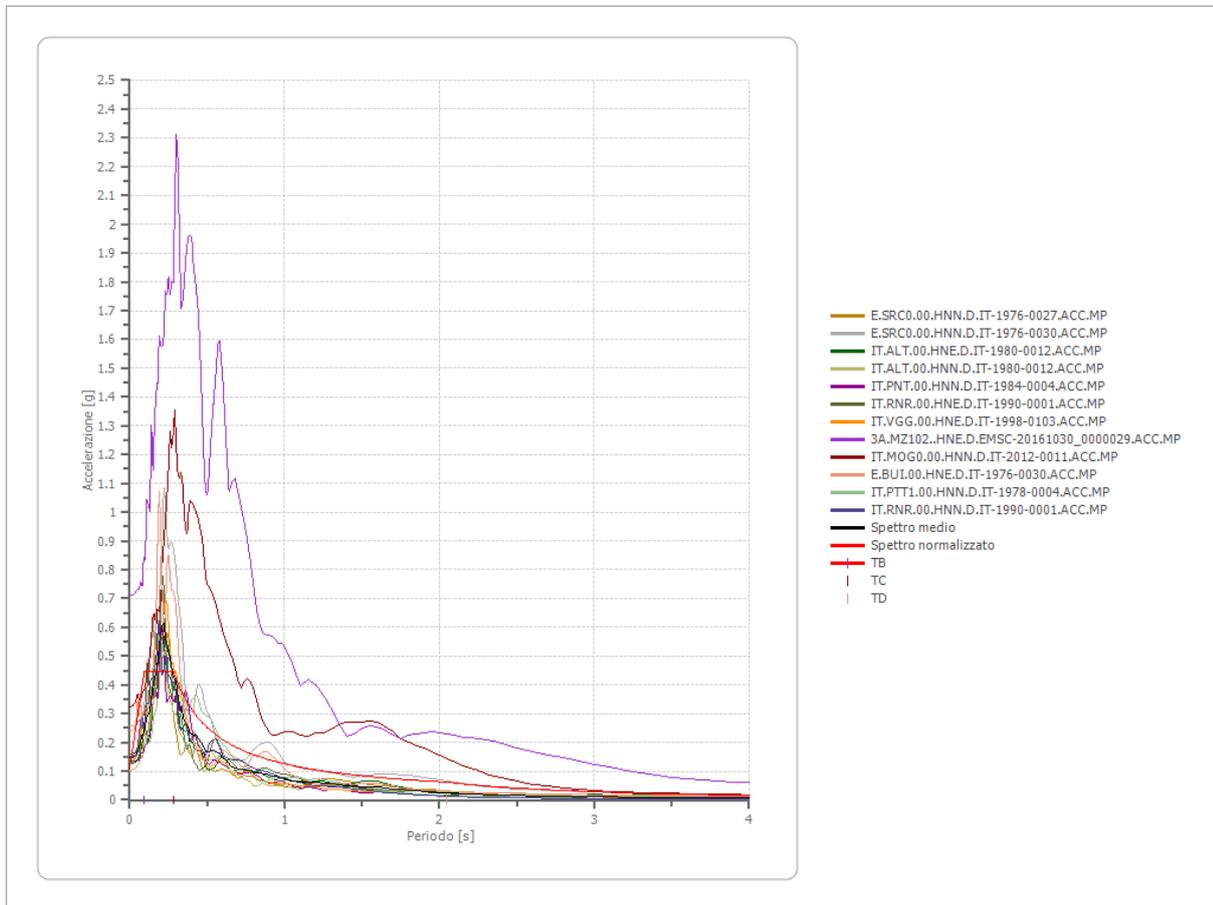
Periodo [s]	Accelerazione [g]								
0.00	0.1116	0.26	0.4479	0.52	0.2416	0.98	0.1282	2.25	0.0558
0.01	0.1475	0.27	0.4479	0.53	0.2370	1.00	0.1256	2.30	0.0546
0.02	0.1835	0.28	0.4479	0.54	0.2327	1.05	0.1197	2.35	0.0535
0.03	0.2195	0.29	0.4332	0.55	0.2284	1.10	0.1142	2.40	0.0523
0.04	0.2554	0.30	0.4188	0.56	0.2243	1.15	0.1092	2.50	0.0503
0.05	0.2914	0.31	0.4053	0.57	0.2204	1.20	0.1047	2.60	0.0483
0.06	0.3274	0.32	0.3926	0.58	0.2166	1.25	0.1005	2.70	0.0465
0.07	0.3633	0.33	0.3807	0.60	0.2094	1.30	0.0966	2.80	0.0449
0.08	0.3993	0.34	0.3695	0.62	0.2026	1.35	0.0931	2.90	0.0433
0.09	0.4353	0.35	0.3590	0.64	0.1963	1.40	0.0897	3.00	0.0419
0.10	0.4479	0.36	0.3490	0.66	0.1904	1.45	0.0866	3.10	0.0405
0.11	0.4479	0.37	0.3396	0.68	0.1848	1.50	0.0838	3.20	0.0393
0.12	0.4479	0.38	0.3306	0.70	0.1795	1.55	0.0811	3.30	0.0381
0.13	0.4479	0.39	0.3221	0.72	0.1745	1.60	0.0785	3.40	0.0370
0.14	0.4479	0.40	0.3141	0.74	0.1698	1.65	0.0761	3.50	0.0359
0.15	0.4479	0.41	0.3064	0.76	0.1653	1.70	0.0739	3.60	0.0349
0.16	0.4479	0.42	0.2991	0.78	0.1611	1.75	0.0718	3.70	0.0340
0.17	0.4479	0.43	0.2922	0.80	0.1570	1.80	0.0698	3.80	0.0331
0.18	0.4479	0.44	0.2855	0.82	0.1532	1.85	0.0679	3.90	0.0322
0.19	0.4479	0.45	0.2792	0.84	0.1496	1.90	0.0661	4.00	0.0314
0.20	0.4479	0.46	0.2731	0.86	0.1461	1.95	0.0644		
0.21	0.4479	0.47	0.2673	0.88	0.1428	2.00	0.0628		
0.22	0.4479	0.48	0.2617	0.90	0.1396	2.05	0.0613		
0.23	0.4479	0.49	0.2564	0.92	0.1366	2.10	0.0598		
0.24	0.4479	0.50	0.2513	0.94	0.1337	2.15	0.0584		
0.25	0.4479	0.51	0.2463	0.96	0.1309	2.20	0.0571		



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.112	4.013943	--	0.094	0.281	2.046	0.112	0.448	0.569

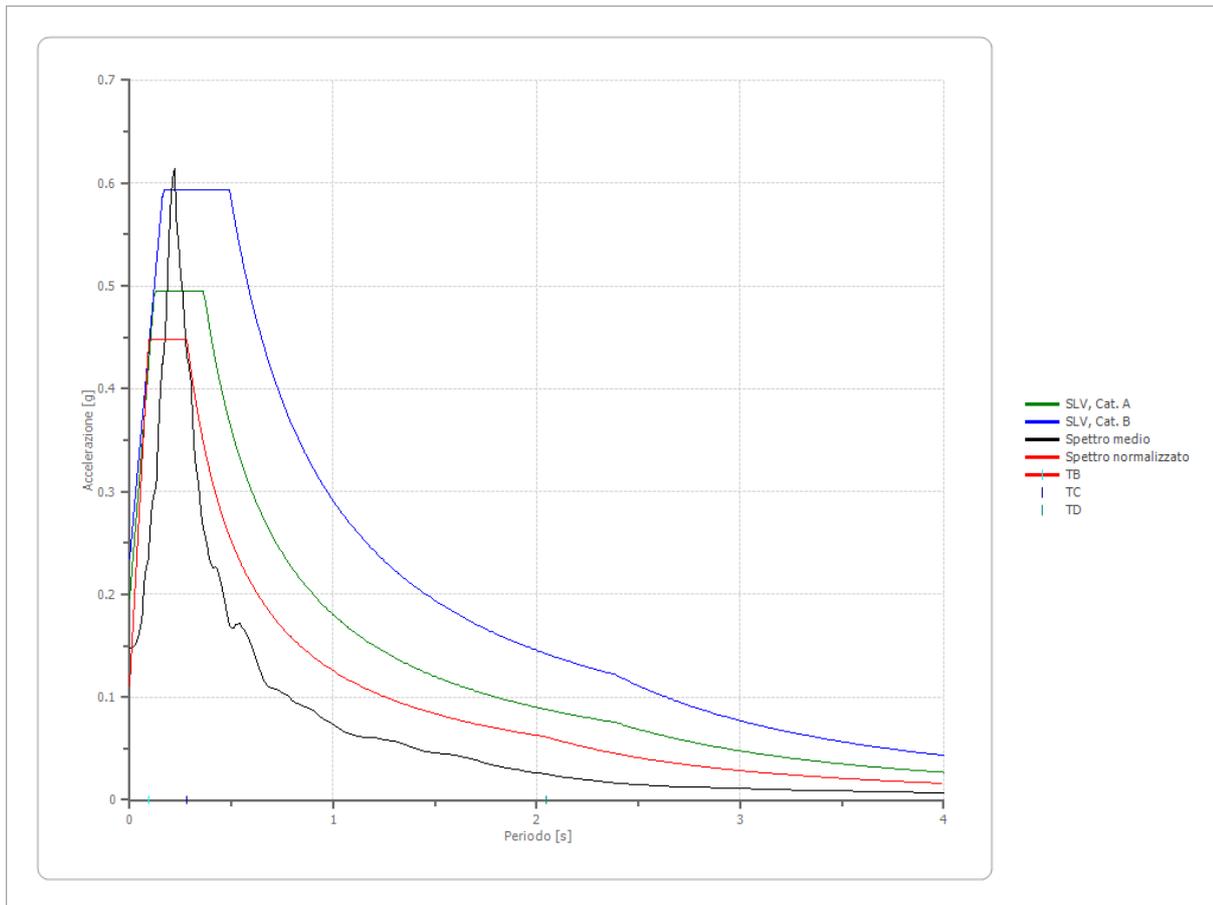
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

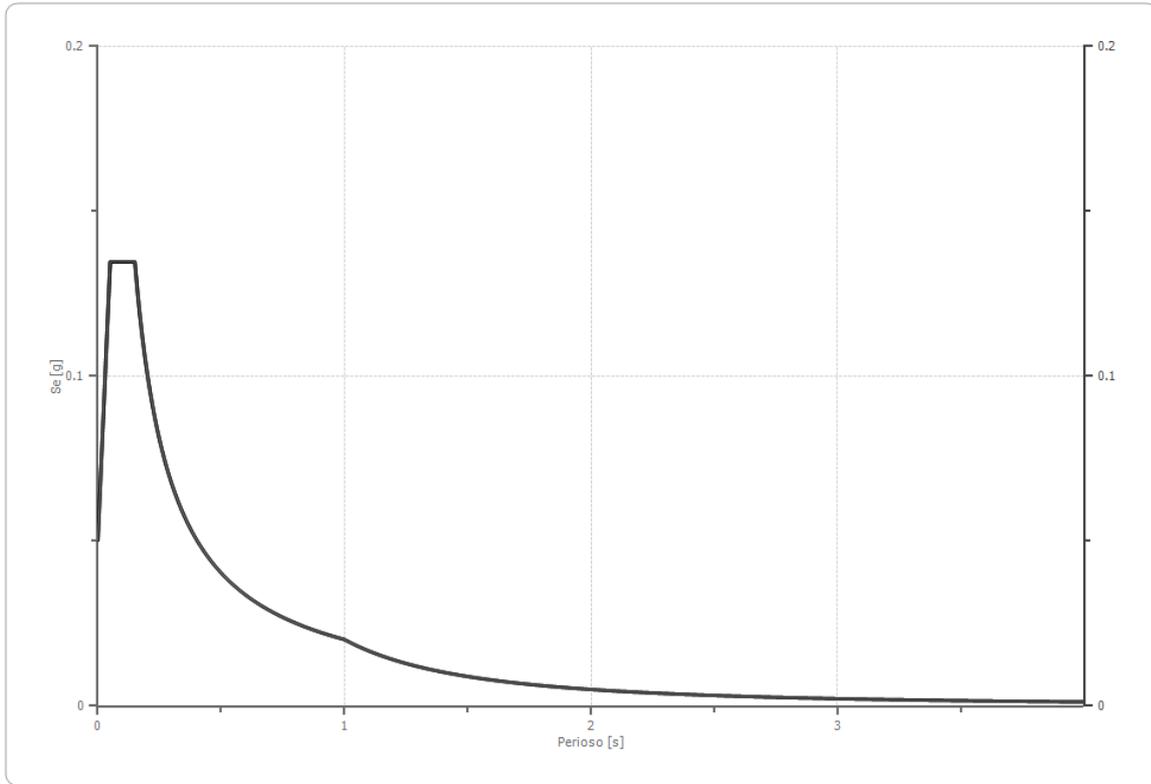
	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvagnar dia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività à SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvagnar dia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	60	101	949	1950	60	101	949	1950
ag [g]	0.063	0.080	0.196	0.244	0.063	0.080	0.196	0.244
Fo	2.49	2.52	2.523	2.549	2.49	2.52	2.523	2.549
Tc* [s]	0.32	0.333	0.364	0.37	0.32	0.333	0.364	0.37
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.15
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	1.38	1.37	1.35	1.34
TB [s]	0.107	0.111	0.121	0.123	0.147	0.152	0.163	0.166
TC [s]	0.320	0.333	0.364	0.370	0.442	0.456	0.490	0.497
TD [s]	1.852	1.920	2.384	2.576	1.852	1.920	2.384	2.576
Se(0) [g]	0.063	0.080	0.196	0.244	0.076	0.096	0.235	0.281
Se(TB) [g]	0.157	0.202	0.495	0.622	0.188	0.242	0.593	0.716



Spettro verticale di progetto

Ag [g]	F0	Tc*	Fv	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.112	4.014	0.150	1.810	1.5	0.050	0.150	1.000	0.050	0.135

Spettro verticale di progetto



Microzona 2

Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m ³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	10.0	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	95.47	--	18.5	225.0	92.5
2		10.0	20.0	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	1298.54	--	21.1	777.0	396.0
3		oo	--	Smorzamento costante	0	1565.75	--	24.0	800.0	607.0

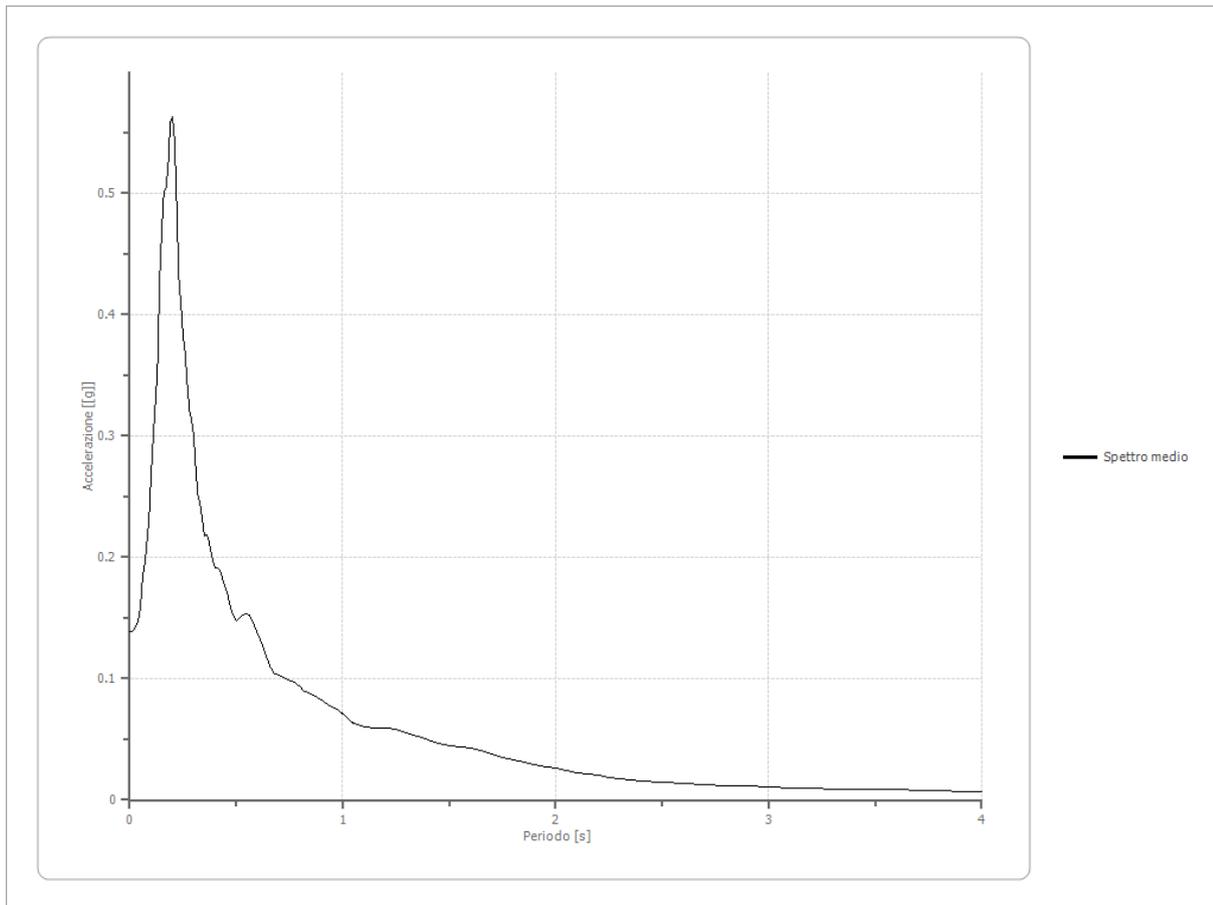
Strato rilevamento accelerogramma: 3 Affiorante

Fattori di amplificazione ICMS 2018

Tai	0.150 [s]
Tvi	1.550 [s]
Tao	0.200 [s]
Tvo	0.210 [s]
Sami	1.720 [m/s ²]
Svmi	0.117 [m/s]
Samo	4.129 [m/s ²]
Svmo	0.159 [m/s]
Fa	2.401 [-]
Fv	1.355 [-]
TB	0.081 [s]
TC	0.242 [s]
TD	1.995 [s]
SA(0)	0.099 [g]
SA(TB)	0.421 [g]

Spettro medio di risposta elastico

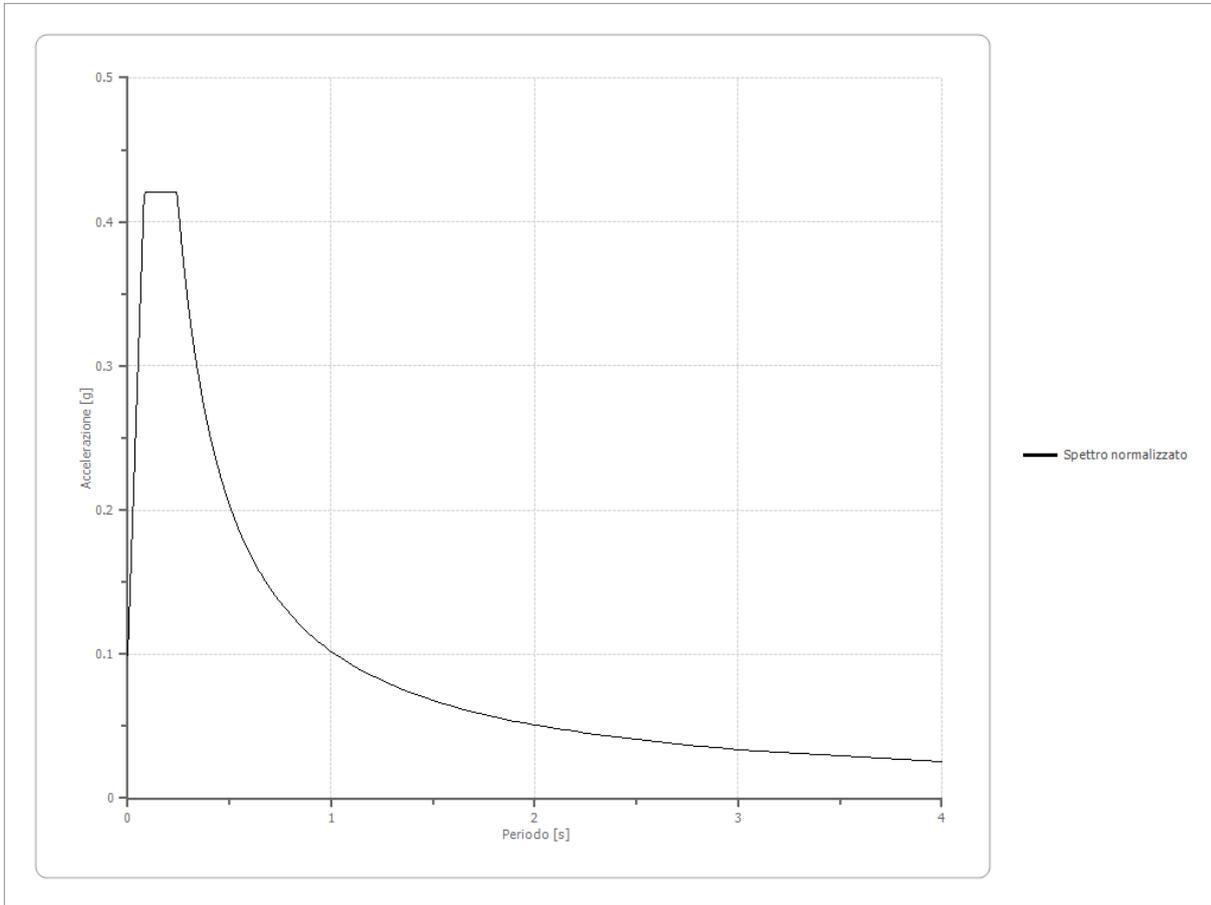
Periodo [s]	Accelerazione [g]								
0.00	0.1387	0.26	0.3694	0.52	0.1509	0.98	0.0737	2.25	0.0187
0.01	0.1387	0.27	0.3431	0.53	0.1527	1.00	0.0711	2.30	0.0175
0.02	0.1404	0.28	0.3204	0.54	0.1536	1.05	0.0634	2.35	0.0165
0.03	0.1439	0.29	0.3136	0.55	0.1533	1.10	0.0598	2.40	0.0159
0.04	0.1473	0.30	0.3011	0.56	0.1523	1.15	0.0591	2.50	0.0145
0.05	0.1593	0.31	0.2714	0.57	0.1494	1.20	0.0592	2.60	0.0134
0.06	0.1831	0.32	0.2516	0.58	0.1452	1.25	0.0578	2.70	0.0126
0.07	0.1944	0.33	0.2441	0.60	0.1369	1.30	0.0556	2.80	0.0120
0.08	0.2113	0.34	0.2317	0.62	0.1287	1.35	0.0527	2.90	0.0112
0.09	0.2309	0.35	0.2172	0.64	0.1185	1.40	0.0495	3.00	0.0106
0.10	0.2675	0.36	0.2180	0.66	0.1093	1.45	0.0465	3.10	0.0099
0.11	0.2978	0.37	0.2149	0.68	0.1036	1.50	0.0451	3.20	0.0095
0.12	0.3267	0.38	0.2054	0.70	0.1025	1.55	0.0439	3.30	0.0091
0.13	0.3541	0.39	0.1970	0.72	0.1012	1.60	0.0423	3.40	0.0088
0.14	0.4288	0.40	0.1914	0.74	0.0989	1.65	0.0404	3.50	0.0085
0.15	0.4688	0.41	0.1909	0.76	0.0979	1.70	0.0378	3.60	0.0083
0.16	0.5012	0.42	0.1899	0.78	0.0960	1.75	0.0352	3.70	0.0079
0.17	0.5049	0.43	0.1862	0.80	0.0928	1.80	0.0330	3.80	0.0074
0.18	0.5219	0.44	0.1797	0.82	0.0894	1.85	0.0308	3.90	0.0068
0.19	0.5585	0.45	0.1742	0.84	0.0885	1.90	0.0291	4.00	0.0064
0.20	0.5634	0.46	0.1686	0.86	0.0867	1.95	0.0274		
0.21	0.5444	0.47	0.1612	0.88	0.0849	2.00	0.0257		
0.22	0.4943	0.48	0.1547	0.90	0.0828	2.05	0.0241		
0.23	0.4306	0.49	0.1502	0.92	0.0800	2.10	0.0228		
0.24	0.4085	0.50	0.1479	0.94	0.0778	2.15	0.0213		
0.25	0.3837	0.51	0.1495	0.96	0.0760	2.20	0.0199		



Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]								
0.00	0.0987	0.26	0.3916	0.52	0.1958	0.98	0.1039	2.25	0.0453
0.01	0.1387	0.27	0.3771	0.53	0.1921	1.00	0.1018	2.30	0.0443
0.02	0.1786	0.28	0.3636	0.54	0.1886	1.05	0.0970	2.35	0.0433
0.03	0.2186	0.29	0.3511	0.55	0.1851	1.10	0.0926	2.40	0.0424
0.04	0.2585	0.30	0.3394	0.56	0.1818	1.15	0.0885	2.50	0.0407
0.05	0.2985	0.31	0.3285	0.57	0.1786	1.20	0.0849	2.60	0.0392
0.06	0.3384	0.32	0.3182	0.58	0.1756	1.25	0.0815	2.70	0.0377
0.07	0.3784	0.33	0.3085	0.60	0.1697	1.30	0.0783	2.80	0.0364
0.08	0.4184	0.34	0.2995	0.62	0.1642	1.35	0.0754	2.90	0.0351
0.09	0.4209	0.35	0.2909	0.64	0.1591	1.40	0.0727	3.00	0.0339
0.10	0.4209	0.36	0.2828	0.66	0.1543	1.45	0.0702	3.10	0.0328
0.11	0.4209	0.37	0.2752	0.68	0.1497	1.50	0.0679	3.20	0.0318
0.12	0.4209	0.38	0.2680	0.70	0.1455	1.55	0.0657	3.30	0.0309
0.13	0.4209	0.39	0.2611	0.72	0.1414	1.60	0.0636	3.40	0.0299
0.14	0.4209	0.40	0.2546	0.74	0.1376	1.65	0.0617	3.50	0.0291
0.15	0.4209	0.41	0.2483	0.76	0.1340	1.70	0.0599	3.60	0.0283
0.16	0.4209	0.42	0.2424	0.78	0.1305	1.75	0.0582	3.70	0.0275
0.17	0.4209	0.43	0.2368	0.80	0.1273	1.80	0.0566	3.80	0.0268
0.18	0.4209	0.44	0.2314	0.82	0.1242	1.85	0.0550	3.90	0.0261
0.19	0.4209	0.45	0.2263	0.84	0.1212	1.90	0.0536	4.00	0.0255
0.20	0.4209	0.46	0.2214	0.86	0.1184	1.95	0.0522		
0.21	0.4209	0.47	0.2166	0.88	0.1157	2.00	0.0509		

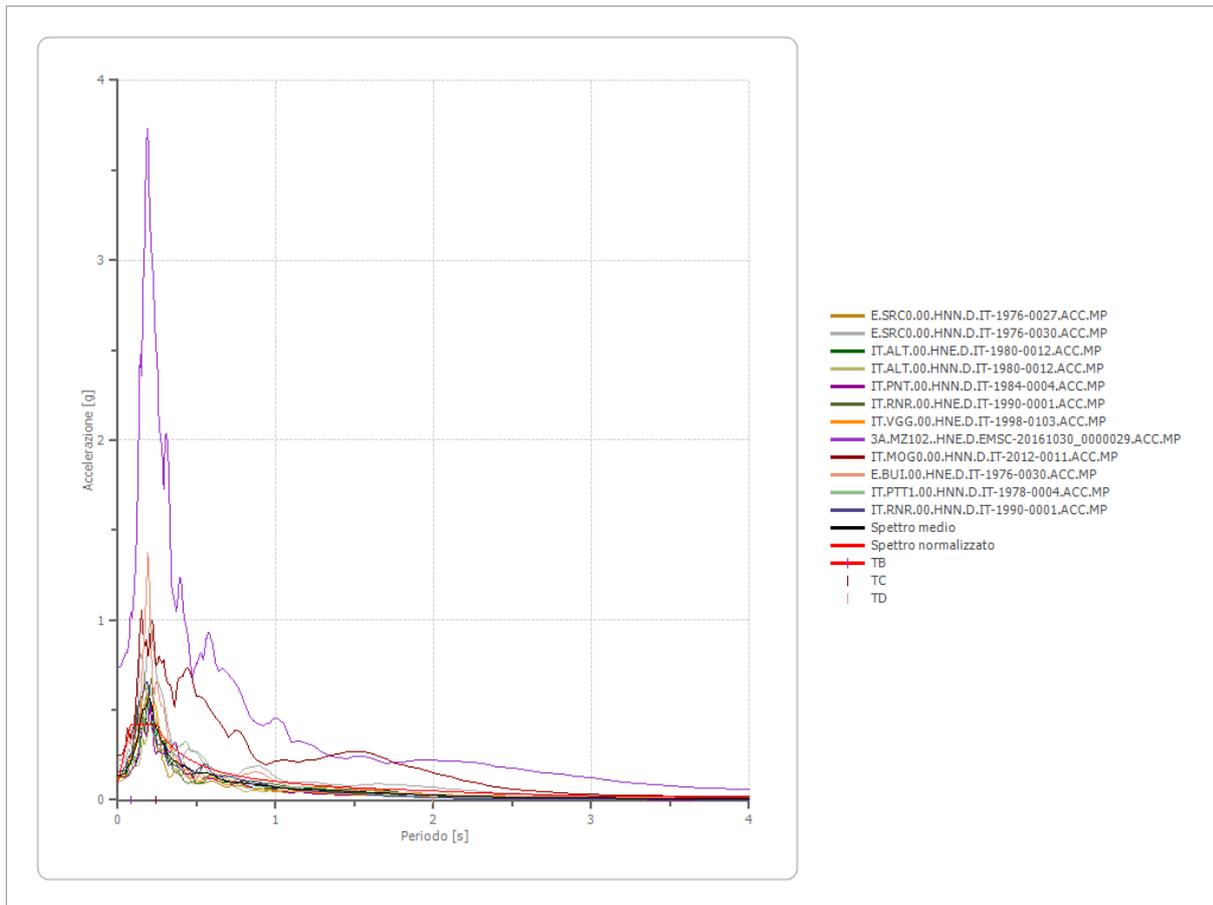
0.22	0.4209	0.48	0.2121	0.90	0.1131	2.05	0.0497		
0.23	0.4209	0.49	0.2078	0.92	0.1107	2.10	0.0485		
0.24	0.4209	0.50	0.2036	0.94	0.1083	2.15	0.0474		
0.25	0.4073	0.51	0.1996	0.96	0.1061	2.20	0.0463		



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.099	4.264718	--	0.081	0.242	1.995	0.099	0.421	0.503

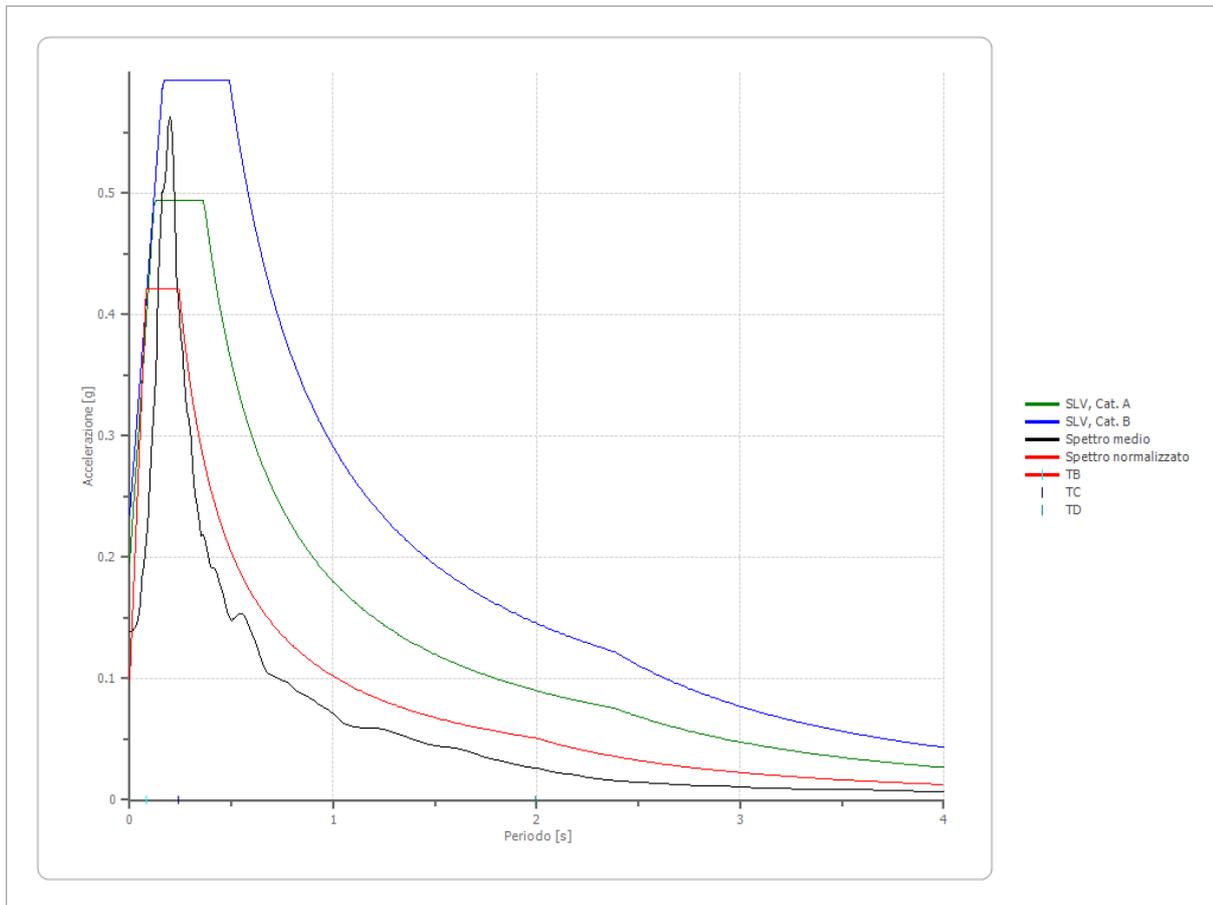
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

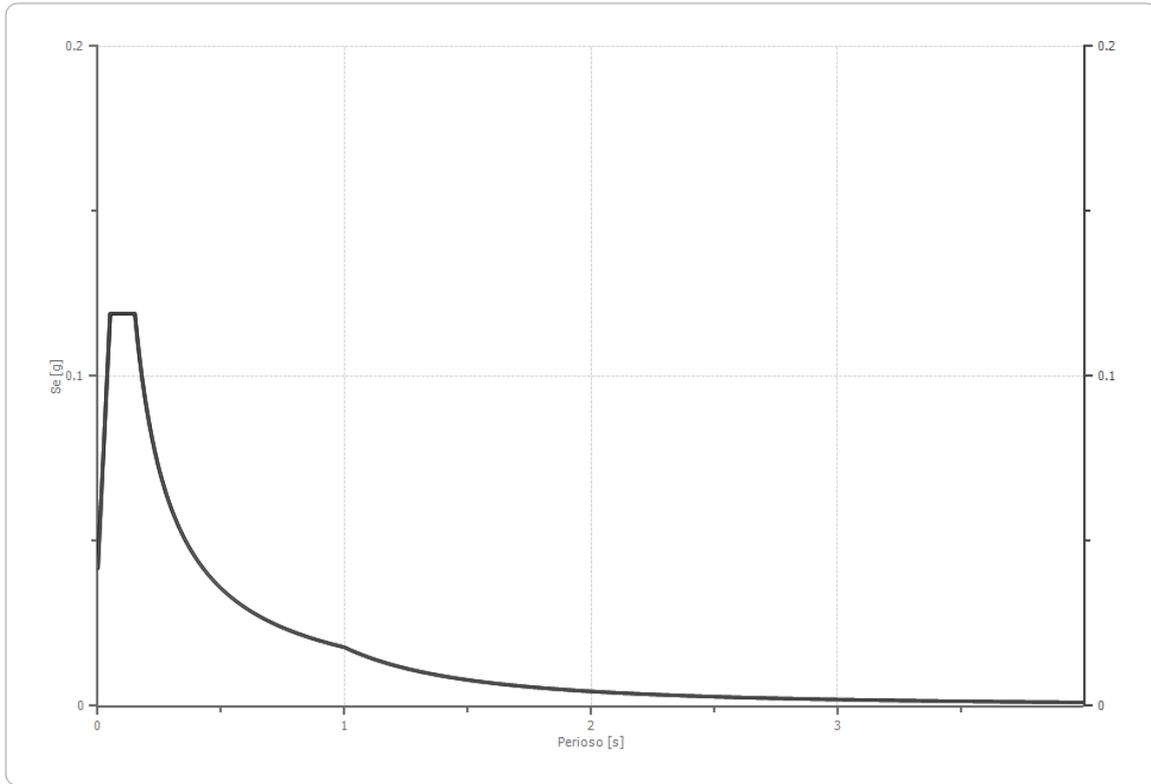
	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività à SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	60	101	949	1950	60	101	949	1950
ag [g]	0.063	0.080	0.196	0.244	0.063	0.080	0.196	0.244
Fo	2.49	2.52	2.523	2.549	2.49	2.52	2.523	2.549
Tc* [s]	0.32	0.333	0.364	0.37	0.32	0.333	0.364	0.37
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.15
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	1.38	1.37	1.35	1.34
TB [s]	0.107	0.111	0.121	0.123	0.147	0.152	0.163	0.166
TC [s]	0.320	0.333	0.364	0.370	0.442	0.456	0.490	0.497
TD [s]	1.852	1.920	2.384	2.576	1.852	1.920	2.384	2.576
Se(0) [g]	0.063	0.080	0.196	0.244	0.076	0.096	0.235	0.281
Se(TB) [g]	0.157	0.202	0.495	0.622	0.188	0.242	0.593	0.716



Spettro verticale di progetto

Ag [g]	F0	Tc*	Fv	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.099	4.265	0.150	1.809	1.5	0.050	0.150	1.000	0.042	0.119

Spettro verticale di progetto



Microzona 3 Sottostazione elettrica Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m ³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	11.0	Seed et al. (1986) Gravel	0	83.15	--	19.6	204.0	107.8
2		11.0	20.0	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	1152.49	--	21.1	732.0	426.6
3		oo	--	Smorzamento costante	0	1565.75	--	24.0	800.0	637.6

Fattori di amplificazione ICMS 2018

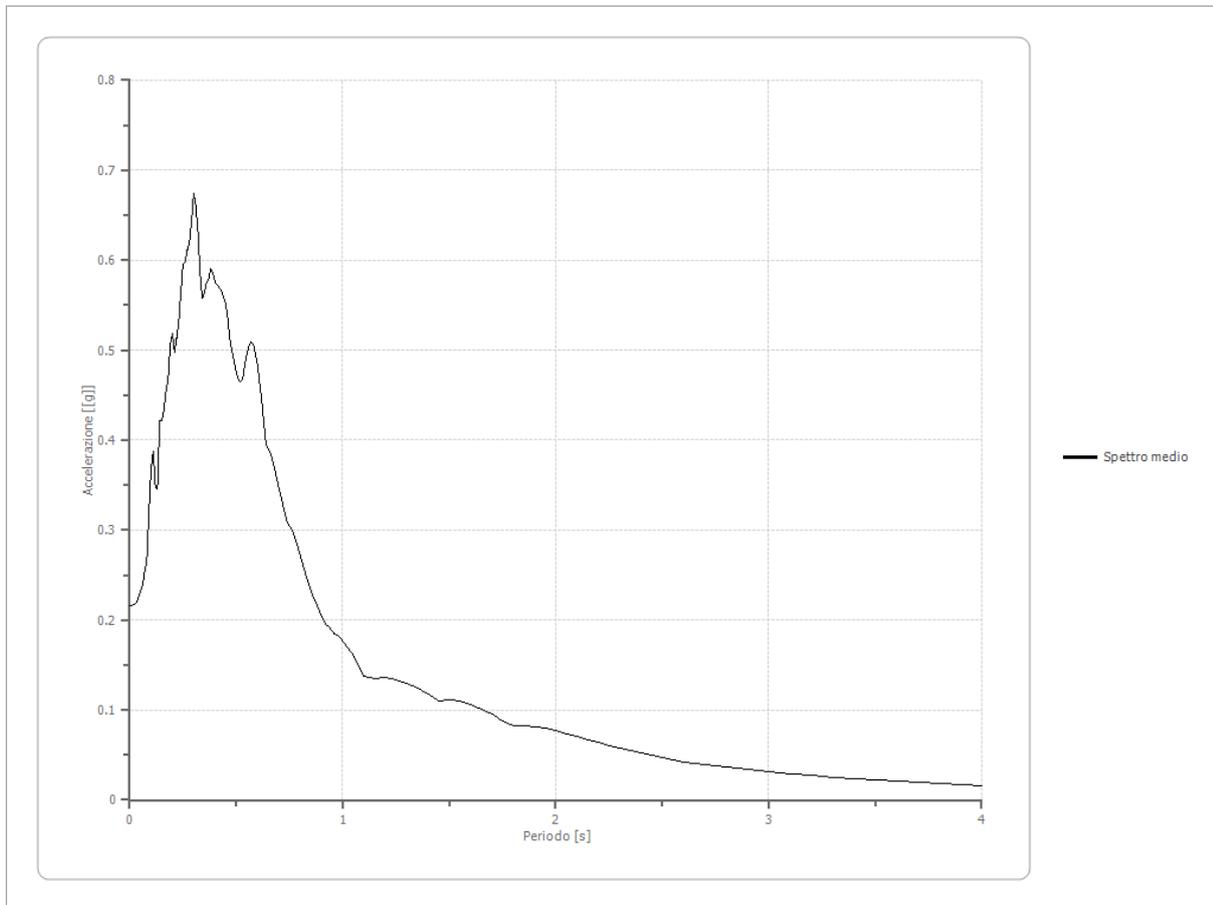
Tai	0.190 [s]
Tvi	1.650 [s]
Tao	0.300 [s]
Tvo	0.580 [s]
Sami	3.189 [m/s ²]
Svmi	0.249 [m/s]
Samo	5.524 [m/s ²]
Svmo	0.427 [m/s]
Fa	1.732 [-]
Fv	1.718 [-]
TB	0.162 [s]
TC	0.486 [s]
TD	2.374 [s]
SA(0)	0.193 [g]
SA(TB)	0.563 [g]

Fattori di amplificazione su intensità spettrale

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

Spettro medio di risposta elastico

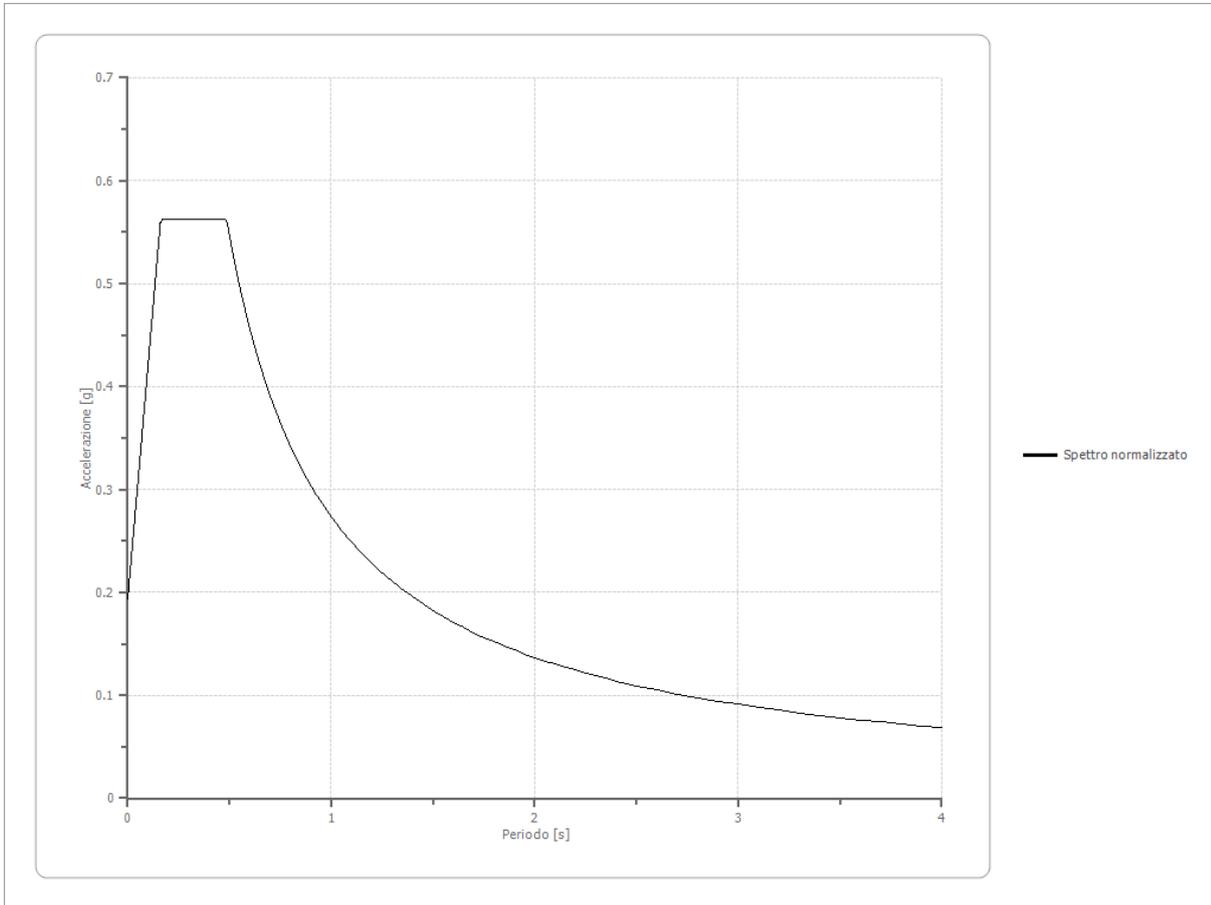
Periodo [s]	Accelerazione [g]								
0.00	0.2163	0.26	0.5977	0.52	0.4653	0.98	0.1820	2.25	0.0608
0.01	0.2163	0.27	0.6120	0.53	0.4690	1.00	0.1765	2.30	0.0578
0.02	0.2173	0.28	0.6203	0.54	0.4831	1.05	0.1608	2.35	0.0549
0.03	0.2190	0.29	0.6435	0.55	0.4968	1.10	0.1370	2.40	0.0523
0.04	0.2234	0.30	0.6738	0.56	0.5052	1.15	0.1355	2.50	0.0470
0.05	0.2314	0.31	0.6604	0.57	0.5097	1.20	0.1362	2.60	0.0420
0.06	0.2383	0.32	0.6320	0.58	0.5070	1.25	0.1336	2.70	0.0389
0.07	0.2539	0.33	0.5860	0.60	0.4833	1.30	0.1293	2.80	0.0362
0.08	0.2671	0.34	0.5582	0.62	0.4425	1.35	0.1246	2.90	0.0337
0.09	0.3202	0.35	0.5632	0.64	0.3944	1.40	0.1177	3.00	0.0313
0.10	0.3687	0.36	0.5747	0.66	0.3863	1.45	0.1106	3.10	0.0290
0.11	0.3876	0.37	0.5782	0.68	0.3676	1.50	0.1116	3.20	0.0269
0.12	0.3481	0.38	0.5911	0.70	0.3476	1.55	0.1094	3.30	0.0249
0.13	0.3457	0.39	0.5865	0.72	0.3269	1.60	0.1056	3.40	0.0232
0.14	0.4220	0.40	0.5760	0.74	0.3082	1.65	0.1011	3.50	0.0216
0.15	0.4210	0.41	0.5727	0.76	0.3006	1.70	0.0952	3.60	0.0203
0.16	0.4337	0.42	0.5702	0.78	0.2887	1.75	0.0881	3.70	0.0191
0.17	0.4546	0.43	0.5671	0.80	0.2721	1.80	0.0829	3.80	0.0179
0.18	0.4682	0.44	0.5584	0.82	0.2557	1.85	0.0824	3.90	0.0171
0.19	0.5067	0.45	0.5507	0.84	0.2400	1.90	0.0816	4.00	0.0162
0.20	0.5180	0.46	0.5356	0.86	0.2267	1.95	0.0797		
0.21	0.4980	0.47	0.5117	0.88	0.2155	2.00	0.0771		
0.22	0.5129	0.48	0.4990	0.90	0.2038	2.05	0.0738		
0.23	0.5315	0.49	0.4870	0.92	0.1957	2.10	0.0702		
0.24	0.5653	0.50	0.4753	0.94	0.1910	2.15	0.0670		
0.25	0.5956	0.51	0.4668	0.96	0.1849	2.20	0.0639		



Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]								
0.00	0.1934	0.26	0.5631	0.52	0.5260	0.98	0.2791	2.25	0.1216
0.01	0.2163	0.27	0.5631	0.53	0.5160	1.00	0.2735	2.30	0.1189
0.02	0.2391	0.28	0.5631	0.54	0.5065	1.05	0.2605	2.35	0.1164
0.03	0.2619	0.29	0.5631	0.55	0.4973	1.10	0.2486	2.40	0.1140
0.04	0.2847	0.30	0.5631	0.56	0.4884	1.15	0.2378	2.50	0.1094
0.05	0.3076	0.31	0.5631	0.57	0.4798	1.20	0.2279	2.60	0.1052
0.06	0.3304	0.32	0.5631	0.58	0.4716	1.25	0.2188	2.70	0.1013
0.07	0.3532	0.33	0.5631	0.60	0.4558	1.30	0.2104	2.80	0.0977
0.08	0.3761	0.34	0.5631	0.62	0.4411	1.35	0.2026	2.90	0.0943
0.09	0.3989	0.35	0.5631	0.64	0.4273	1.40	0.1954	3.00	0.0912
0.10	0.4217	0.36	0.5631	0.66	0.4144	1.45	0.1886	3.10	0.0882
0.11	0.4446	0.37	0.5631	0.68	0.4022	1.50	0.1823	3.20	0.0855
0.12	0.4674	0.38	0.5631	0.70	0.3907	1.55	0.1765	3.30	0.0829
0.13	0.4902	0.39	0.5631	0.72	0.3799	1.60	0.1709	3.40	0.0804
0.14	0.5131	0.40	0.5631	0.74	0.3696	1.65	0.1658	3.50	0.0781
0.15	0.5359	0.41	0.5631	0.76	0.3599	1.70	0.1609	3.60	0.0760
0.16	0.5587	0.42	0.5631	0.78	0.3506	1.75	0.1563	3.70	0.0739
0.17	0.5631	0.43	0.5631	0.80	0.3419	1.80	0.1519	3.80	0.0720
0.18	0.5631	0.44	0.5631	0.82	0.3335	1.85	0.1478	3.90	0.0701
0.19	0.5631	0.45	0.5631	0.84	0.3256	1.90	0.1439	4.00	0.0684
0.20	0.5631	0.46	0.5631	0.86	0.3180	1.95	0.1403		
0.21	0.5631	0.47	0.5631	0.88	0.3108	2.00	0.1368		

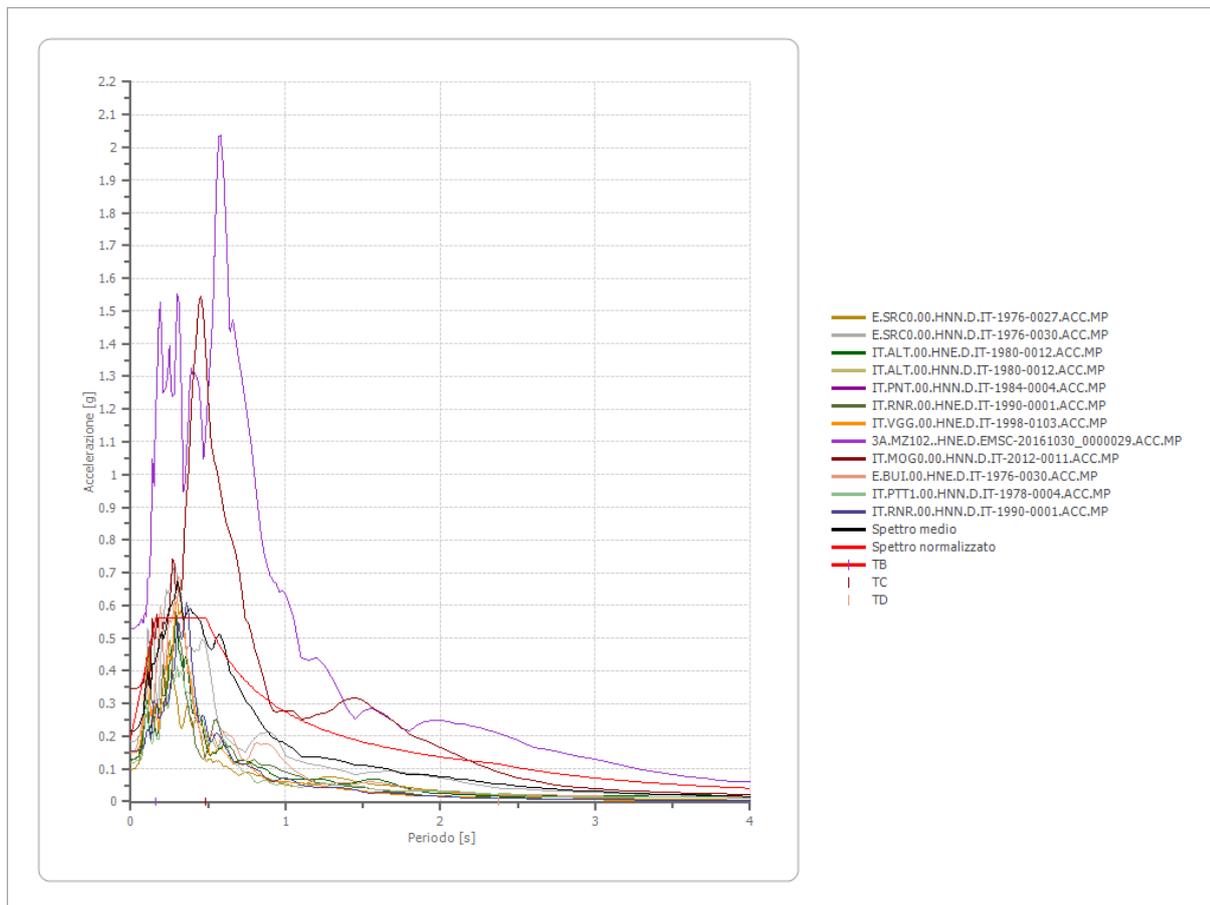
0.22	0.5631	0.48	0.5631	0.90	0.3039	2.05	0.1334		
0.23	0.5631	0.49	0.5582	0.92	0.2973	2.10	0.1302		
0.24	0.5631	0.50	0.5470	0.94	0.2910	2.15	0.1272		
0.25	0.5631	0.51	0.5363	0.96	0.2849	2.20	0.1243		



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.193	2.911126	--	0.162	0.486	2.374	0.193	0.563	0.987

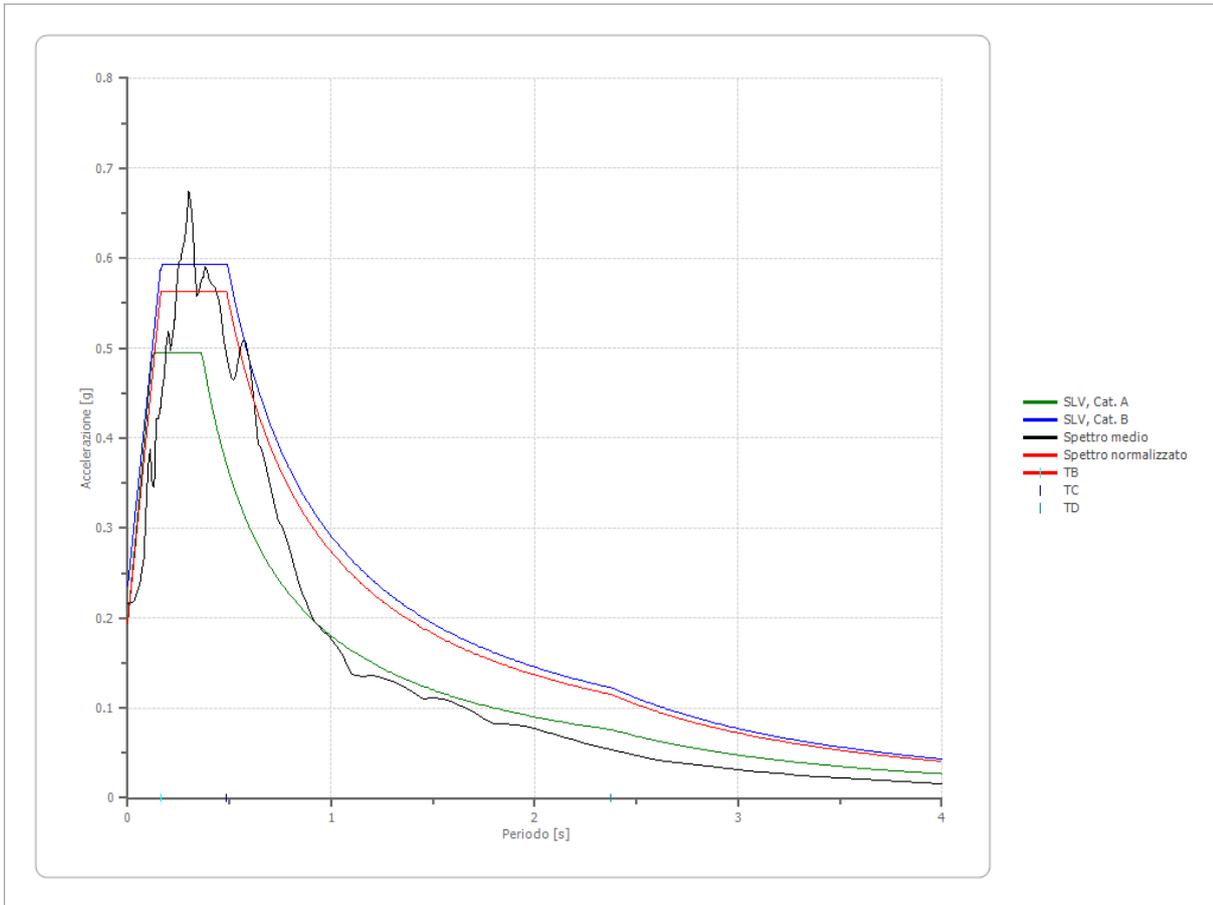
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia dia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività à SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardia dia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	60	101	949	1950	60	101	949	1950
ag [g]	0.063	0.080	0.196	0.244	0.063	0.080	0.196	0.244
Fo	2.49	2.52	2.523	2.549	2.49	2.52	2.523	2.549
Tc* [s]	0.32	0.333	0.364	0.37	0.32	0.333	0.364	0.37
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.15
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	1.38	1.37	1.35	1.34
TB [s]	0.107	0.111	0.121	0.123	0.147	0.152	0.163	0.166
TC [s]	0.320	0.333	0.364	0.370	0.442	0.456	0.490	0.497
TD [s]	1.852	1.920	2.384	2.576	1.852	1.920	2.384	2.576
Se(0) [g]	0.063	0.080	0.196	0.244	0.076	0.096	0.235	0.281
Se(TB) [g]	0.157	0.202	0.495	0.622	0.188	0.242	0.593	0.716



**Profilo a max
Spettro verticale di progetto**

Ag [g]	F0	Tc*	Fv	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.193	2.911	0.150	1.728	1.5	0.050	0.150	1.000	0.115	0.223

Spettro verticale di progetto

