COMUNE DI MONTALTO UFFUGO

Prov. di Cosenza

Finanziato dall'Unione europea
NextGenerationEU



INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO ALLA LOCALITÀ CALDOPIANO MEDIANTE RIPRISTINO DELLA STRUTTURA STRADALE DI CONTENIMENTO INTERESSATA DA DISSESTO
CUP: H84H20000700001–

PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

COMMITTENTE : AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI MONTALTO UFFUGO

RSL CON ANALISI MONODIMENSIONALE E VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

			TAV.35

Il R.U.P.
Ing. Massimiliano Costanzo

Il Progettista
Ing. Govanni Motta



COMUNE DI MONTALTO UFFUGO

PROV. DI COSENZA

Progetto:

"MESSA INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO A RISCHIO IDROGEOLOGICO ALLA LOCALITÀ CALDOPIANO MEDIANTE RIPRISTINO DELLA STRUTTURA STRADALE DI CONTENIMENTO INTERESSATA DA DISSESTO". CUP: H84H20000700001– CIG: 86936345BA

Committente: AMM.NE COMUNALE DI MONTALTO UFFUGO

RSL CON ANALISI MONODIMENSIONALE E VERIFICA ALA LIQUEFAZIONE

Rende – giugno 2021



IL GEOLOGO
DOTT. VINCENZO SICILIA Timbro e firma_____

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:

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

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:

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

che sostituita nella (1) pone

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

dove ω rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

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

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

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \tag{5}$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega}\xi \tag{6}$$

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:

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

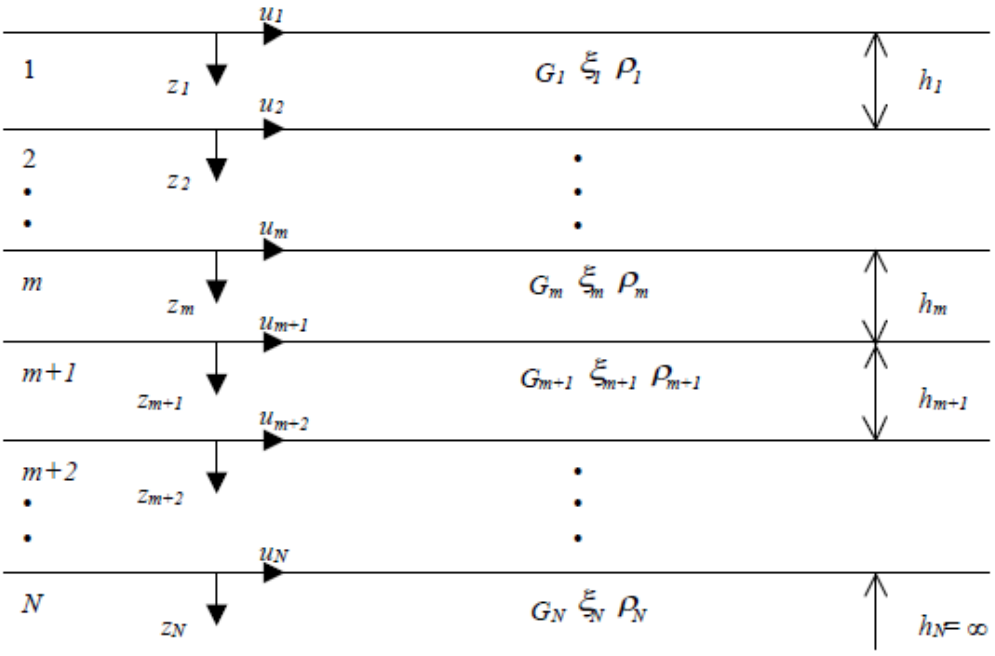


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

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:

$$k^* = \omega\sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \tag{8}$$

Il taglio invece è dato da:

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

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

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

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

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:

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

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

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

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

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

$$\tau_m(h_m,t) = ik_m^* G_m^* \left[E_m e^{ik_m^* h_m} - F e^{ik^* h_m}\right] e^{i\omega t} \tag{15}$$

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

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

ovvero

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

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

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

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

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

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

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0,t) = ik_1^* G_1^* \left[E_1 - F1\right] e^{i\omega t} = 0$$

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:

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

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,

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

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

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

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

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

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z,t) = G^* \gamma(z,t) \tag{25}$$

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.

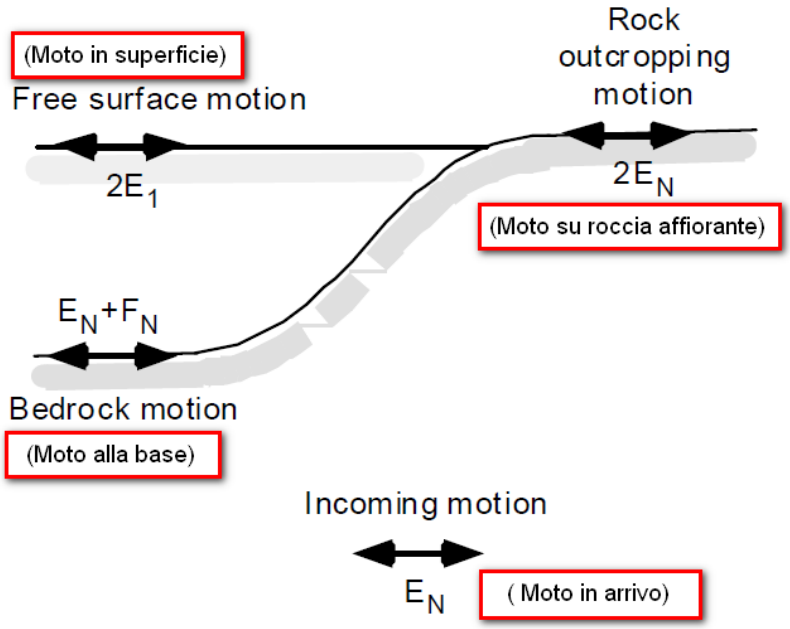


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

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:

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

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(γ)* adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

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

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

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

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

dove G_{max} è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \tag{28}$$

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.

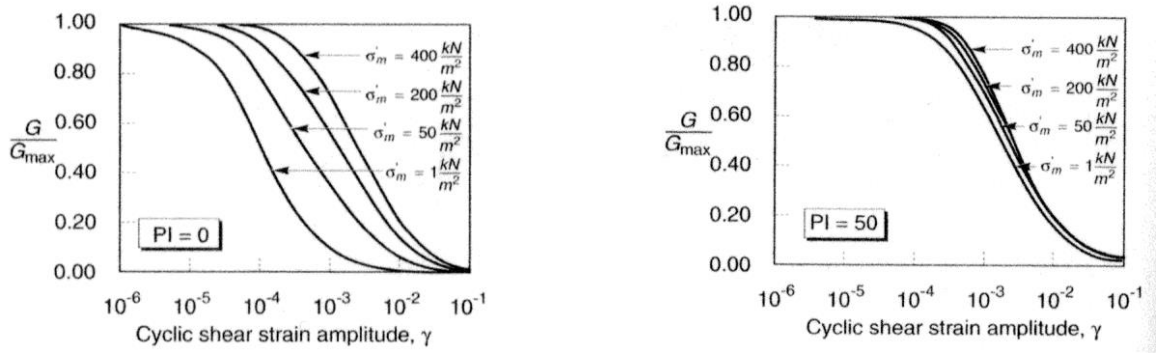


Figura 2: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

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

$$\xi = 0.333\,\frac{1+exp\left(-0.0145\,PI^{1.3}\right)}{2}\left[0.586\left(\frac{G}{G_{max}}\right)^2 - 1.547\frac{G}{G_{max}} + 1\right] \tag{29}$$

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

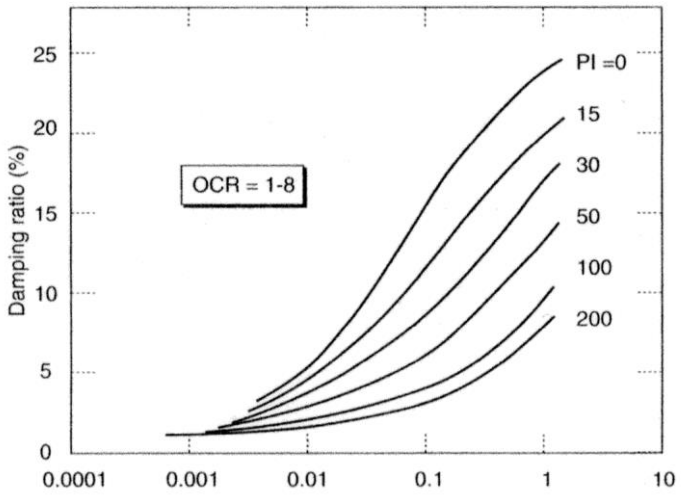


Figura 3: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

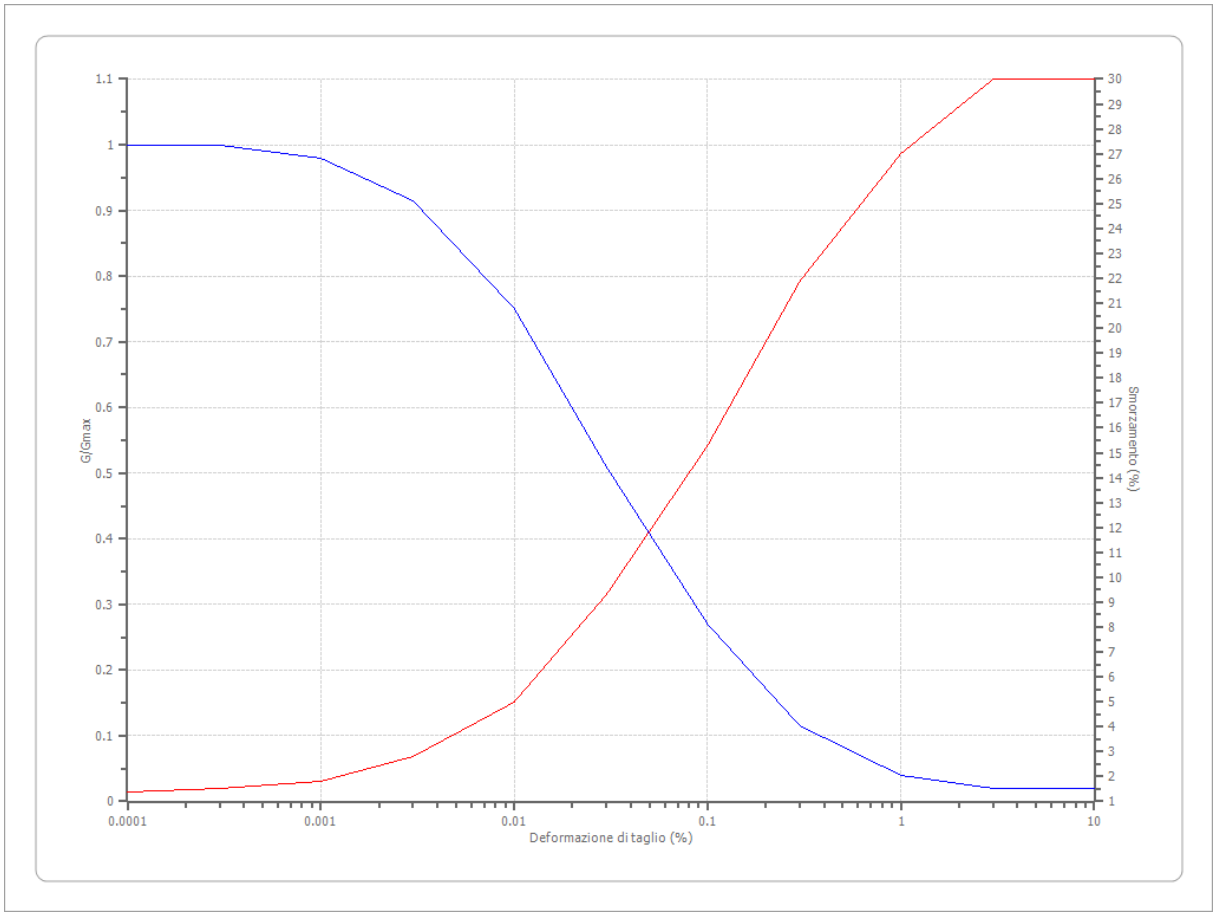
Dati generali

Data della prova	d.C./06/2021
Via	Loc. Caldopiano di Montalto Uffugo SP95
Latitudine	39,3817177[°]
Longitudine	16,1292667[°]

Terreni

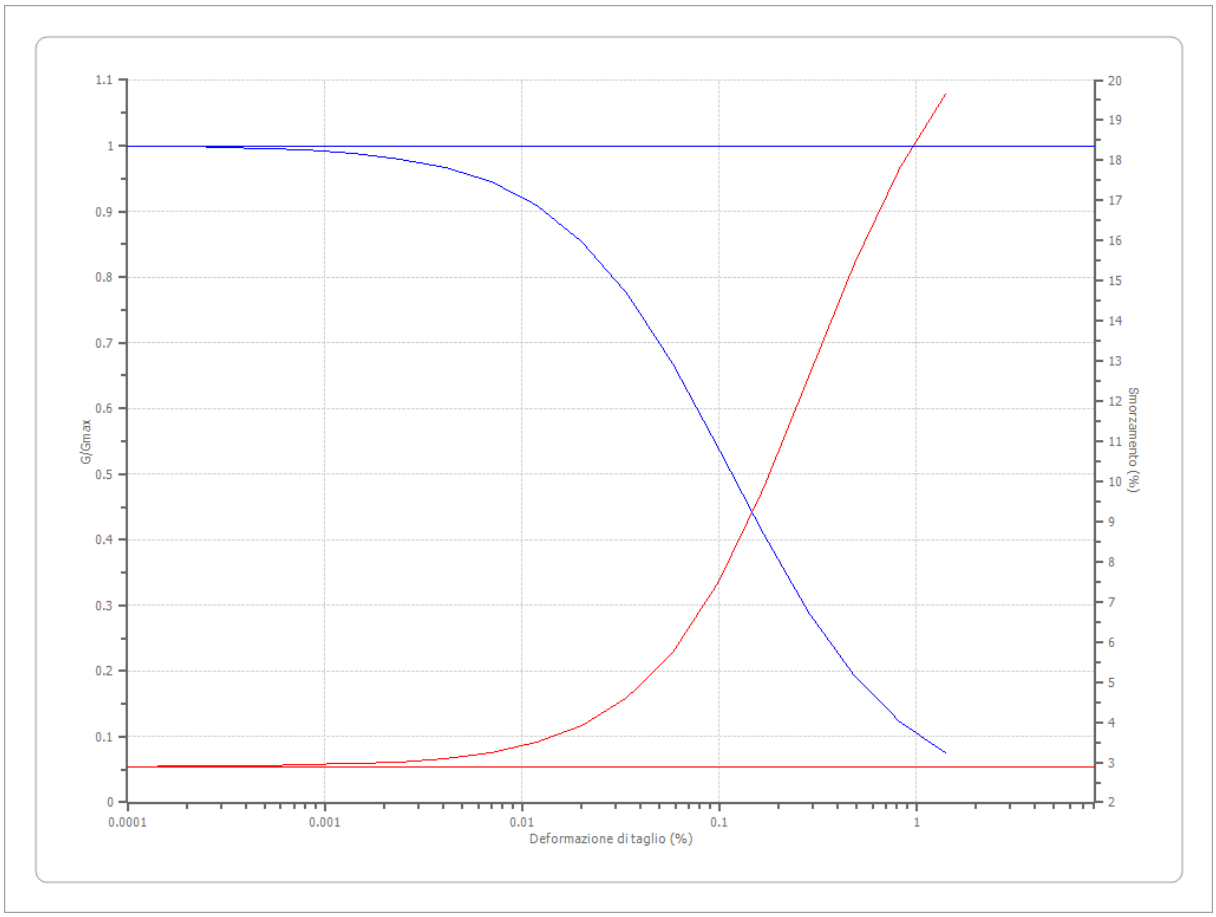
EPRI Sand (1993) 0-6 metri

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	1.400
0.0003	1.000	0.0003	1.500
0.001	0.980	0.001	1.800
0.003	0.914	0.003	2.800
0.010	0.750	0.010	5.000
0.030	0.509	0.030	9.300
0.100	0.270	0.100	15.300
0.300	0.116	0.300	21.900
1.000	0.040	1.000	27.000
3.000	0.020	3.000	30.000
10.000	0.020	10.000	30.000



Lombardia - Argille limose

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
8.000	1.000	8.000	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



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		--	0.6	EPRI Sand (1993) 0-6 metri	0	59.31	--	19.0	175.0	5.7
2		0.6	1.6	Lombardia - Argille limose	0	62.44	--	20.0	175.0	27.4
3		2.2	7.0	Lombardia - Argille limose	0	209.72	--	21.0	313.0	116.9
4		9.2	17.8	Lombardia - Argille limose	0	454.13	--	22.0	450.0	386.2
5		27.0	53.0	Lombardia - Argille limose	0	852.50	--	23.0	603.0	1191.5
6		oo	--	Smorzamento costante	0	1435.27	--	22.0	800.0	1801.0

Strato rilevamento accelerogramma: 6 Affiorante

Elaborazione SLO

Numero di iterazioni 8
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
Tipo di modulo elastico Shake
Massimo errore percentuale di convergenza --

Fattori di amplificazione ICMS 2018

Tai	0.280 [s]
Tvi	2.350 [s]
Tao	0.220 [s]
Tvo	0.500 [s]
Sami	1.959 [m/s²]
Svmi	0.113 [m/s]
Samo	3.068 [m/s²]
Svmo	0.150 [m/s]
Fa	**1.566 [-]**
Fv	**1.325 [-]**
TB	0.103 [s]
TC	0.308 [s]
TD	1.964 [s]
SA(0)	0.146 [g]
SA(TB)	0.336 [g]

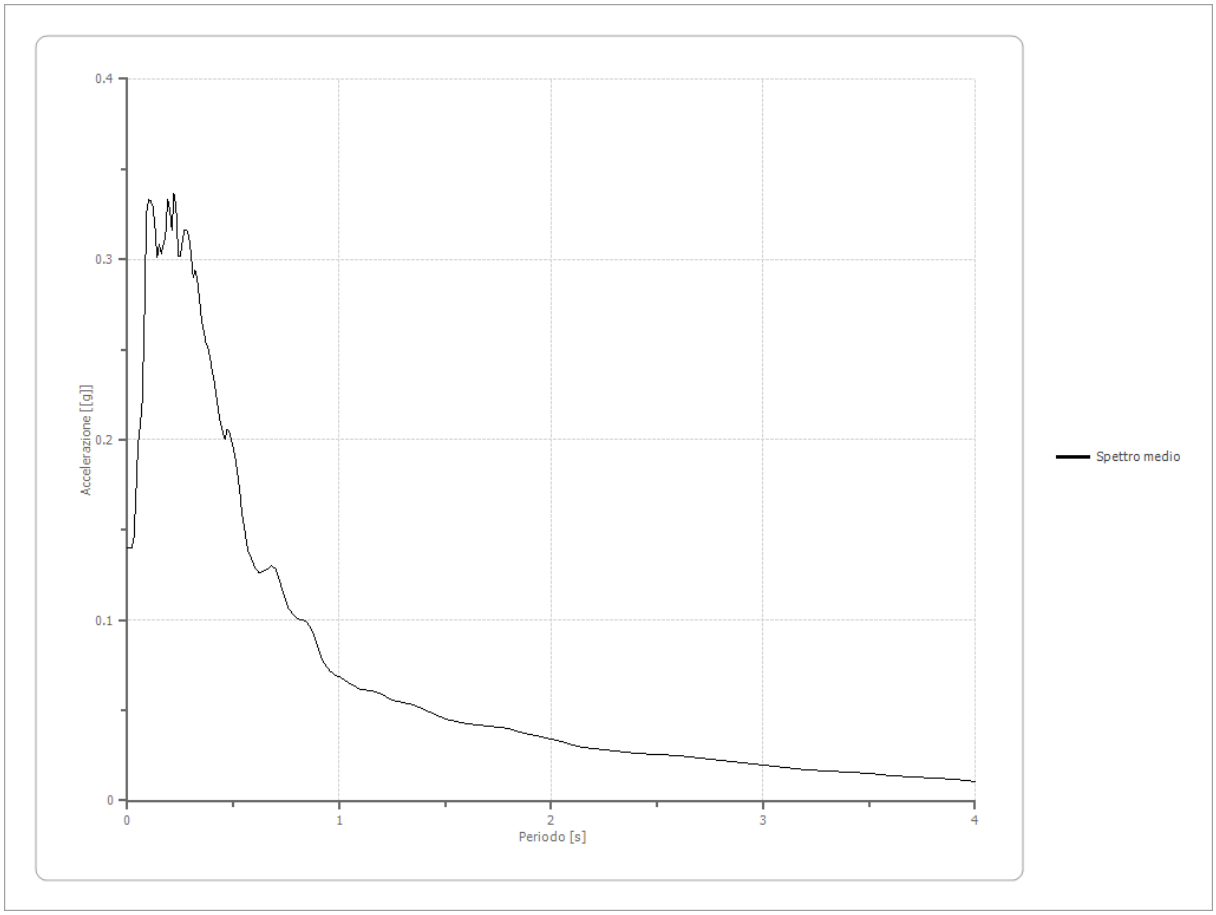
Fattori di amplificazione su intensità spettrale

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]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.1401	0.26	0.3101	0.52	0.1805	0.98	0.0691	2.25	0.0281
0.01	0.1401	0.27	0.3165	0.53	0.1719	1.00	0.0686	2.30	0.0274
0.02	0.1401	0.28	0.3164	0.54	0.1598	1.05	0.0650	2.35	0.0269
0.03	0.1447	0.29	0.3131	0.55	0.1525	1.10	0.0614	2.40	0.0265
0.04	0.1682	0.30	0.3038	0.56	0.1444	1.15	0.0606	2.50	0.0257
0.05	0.1972	0.31	0.2899	0.57	0.1383	1.20	0.0587	2.60	0.0246
0.06	0.2078	0.32	0.2942	0.58	0.1356	1.25	0.0554	2.70	0.0235
0.07	0.2211	0.33	0.2888	0.60	0.1297	1.30	0.0542	2.80	0.0222
0.08	0.2654	0.34	0.2783	0.62	0.1261	1.35	0.0530	2.90	0.0210
0.09	0.3256	0.35	0.2665	0.64	0.1272	1.40	0.0507	3.00	0.0197
0.10	0.3334	0.36	0.2606	0.66	0.1286	1.45	0.0479	3.10	0.0184
0.11	0.3326	0.37	0.2540	0.68	0.1303	1.50	0.0455	3.20	0.0173
0.12	0.3295	0.38	0.2513	0.70	0.1280	1.55	0.0436	3.30	0.0165
0.13	0.3180	0.39	0.2457	0.72	0.1212	1.60	0.0426	3.40	0.0157

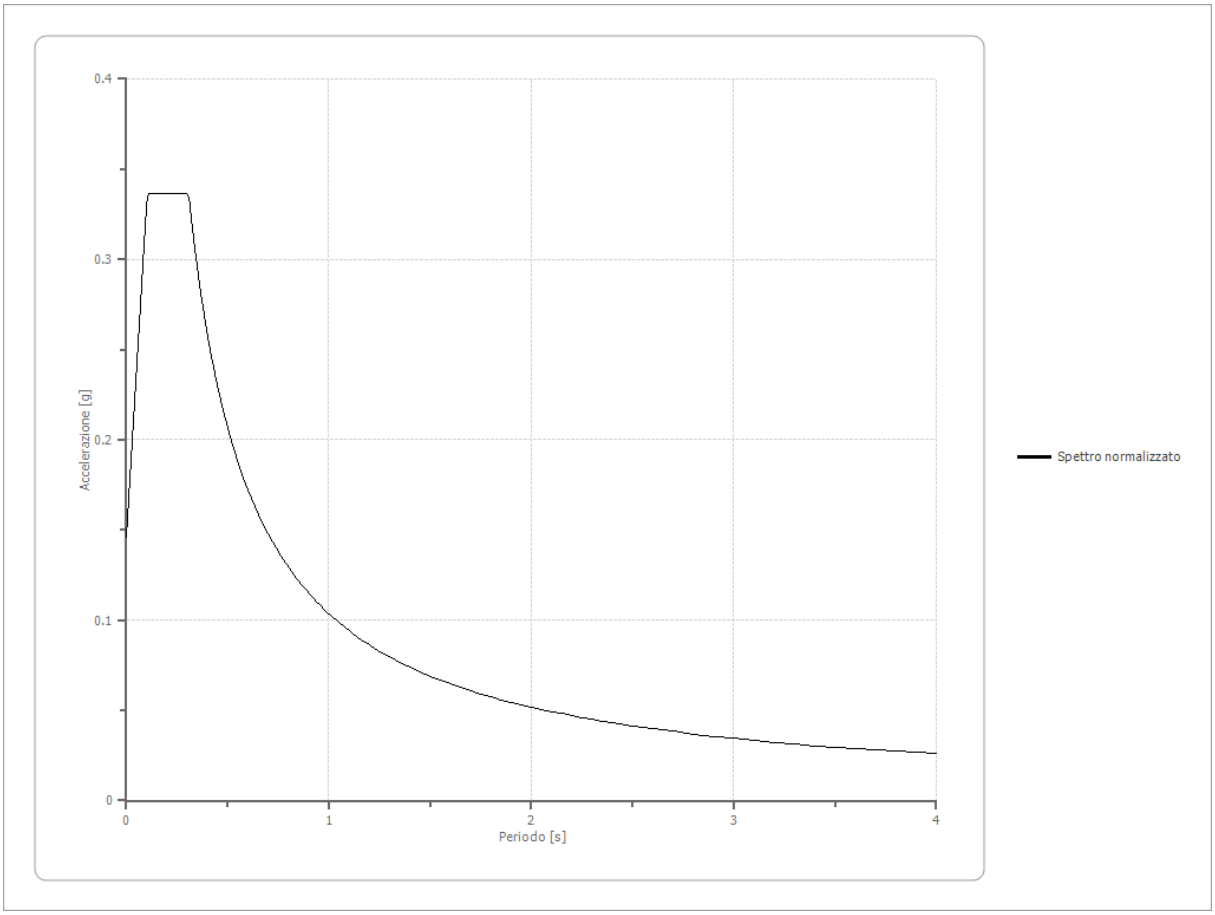
0.14	0.3011	0.40	0.2380	0.74	0.1130	1.65	0.0418	3.50	0.0149
0.15	0.3080	0.41	0.2325	0.76	0.1069	1.70	0.0415	3.60	0.0141
0.16	0.3032	0.42	0.2241	0.78	0.1036	1.75	0.0409	3.70	0.0133
0.17	0.3081	0.43	0.2151	0.80	0.1007	1.80	0.0398	3.80	0.0125
0.18	0.3126	0.44	0.2089	0.82	0.1001	1.85	0.0380	3.90	0.0117
0.19	0.3333	0.45	0.2042	0.84	0.0997	1.90	0.0368	4.00	0.0108
0.20	0.3278	0.46	0.2006	0.86	0.0966	1.95	0.0356		
0.21	0.3161	0.47	0.2055	0.88	0.0916	2.00	0.0341		
0.22	0.3362	0.48	0.2046	0.90	0.0845	2.05	0.0327		
0.23	0.3286	0.49	0.2006	0.92	0.0779	2.10	0.0311		
0.24	0.3016	0.50	0.1953	0.94	0.0742	2.15	0.0296		
0.25	0.3017	0.51	0.1892	0.96	0.0714	2.20	0.0289		



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	0.1462	0.26	0.3362	0.52	0.1990	0.98	0.1056	2.25	0.0460
0.01	0.1647	0.27	0.3362	0.53	0.1952	1.00	0.1035	2.30	0.0450
0.02	0.1832	0.28	0.3362	0.54	0.1916	1.05	0.0985	2.35	0.0440
0.03	0.2017	0.29	0.3362	0.55	0.1881	1.10	0.0941	2.40	0.0431
0.04	0.2203	0.30	0.3362	0.56	0.1848	1.15	0.0900	2.50	0.0414
0.05	0.2388	0.31	0.3338	0.57	0.1815	1.20	0.0862	2.60	0.0398
0.06	0.2573	0.32	0.3233	0.58	0.1784	1.25	0.0828	2.70	0.0383
0.07	0.2758	0.33	0.3135	0.60	0.1724	1.30	0.0796	2.80	0.0370

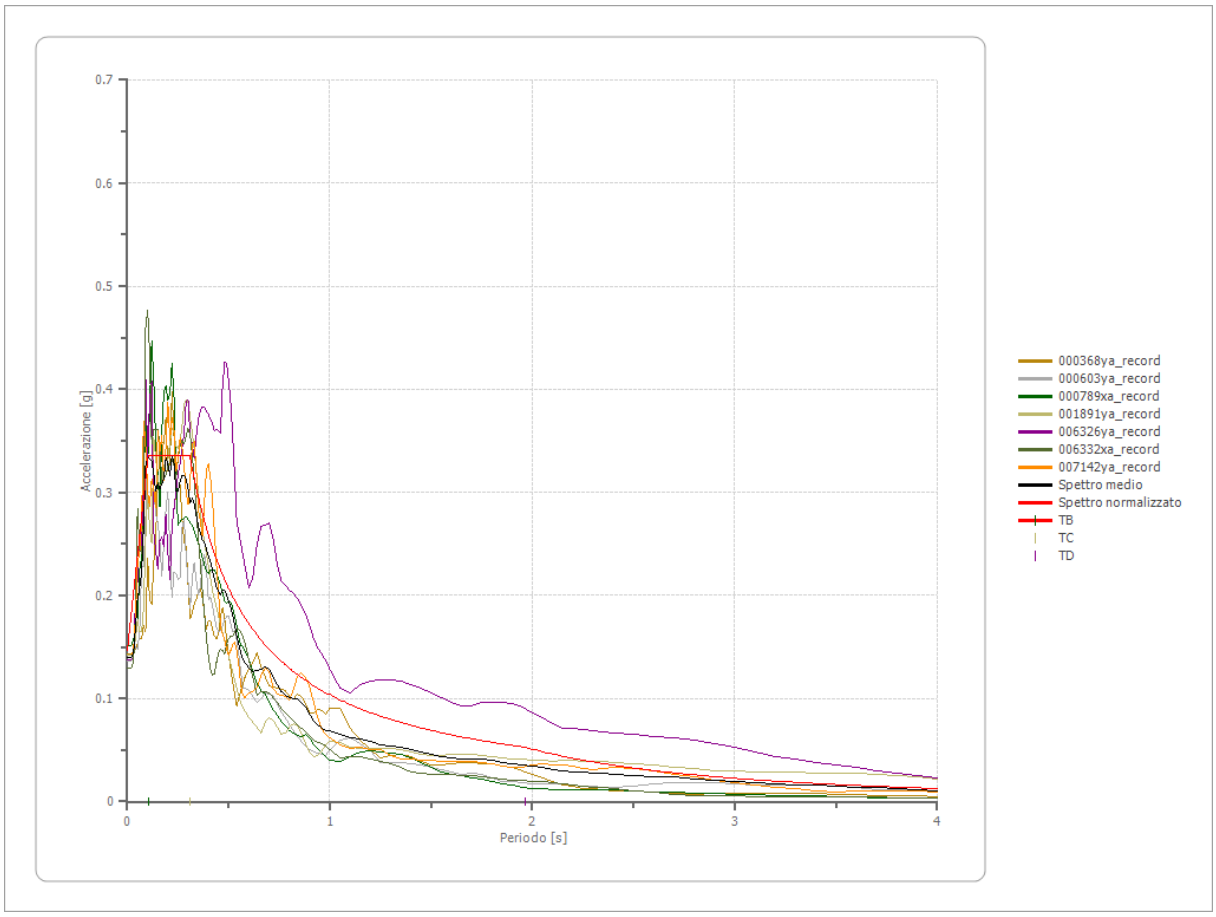
0.08	0.2943	0.34	0.3043	0.62	0.1669	1.35	0.0766	2.90	0.0357
0.09	0.3129	0.35	0.2956	0.64	0.1617	1.40	0.0739	3.00	0.0345
0.10	0.3314	0.36	0.2874	0.66	0.1568	1.45	0.0714	3.10	0.0334
0.11	0.3362	0.37	0.2796	0.68	0.1522	1.50	0.0690	3.20	0.0323
0.12	0.3362	0.38	0.2723	0.70	0.1478	1.55	0.0668	3.30	0.0314
0.13	0.3362	0.39	0.2653	0.72	0.1437	1.60	0.0647	3.40	0.0304
0.14	0.3362	0.40	0.2587	0.74	0.1398	1.65	0.0627	3.50	0.0296
0.15	0.3362	0.41	0.2524	0.76	0.1361	1.70	0.0609	3.60	0.0287
0.16	0.3362	0.42	0.2464	0.78	0.1327	1.75	0.0591	3.70	0.0280
0.17	0.3362	0.43	0.2406	0.80	0.1293	1.80	0.0575	3.80	0.0272
0.18	0.3362	0.44	0.2352	0.82	0.1262	1.85	0.0559	3.90	0.0265
0.19	0.3362	0.45	0.2299	0.84	0.1232	1.90	0.0545	4.00	0.0259
0.20	0.3362	0.46	0.2249	0.86	0.1203	1.95	0.0531		
0.21	0.3362	0.47	0.2201	0.88	0.1176	2.00	0.0517		
0.22	0.3362	0.48	0.2156	0.90	0.1150	2.05	0.0505		
0.23	0.3362	0.49	0.2112	0.92	0.1125	2.10	0.0493		
0.24	0.3362	0.50	0.2069	0.94	0.1101	2.15	0.0481		
0.25	0.3362	0.51	0.2029	0.96	0.1078	2.20	0.0470		



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.146	2.300	--	0.103	0.308	1.964	0.146	0.336	1.335

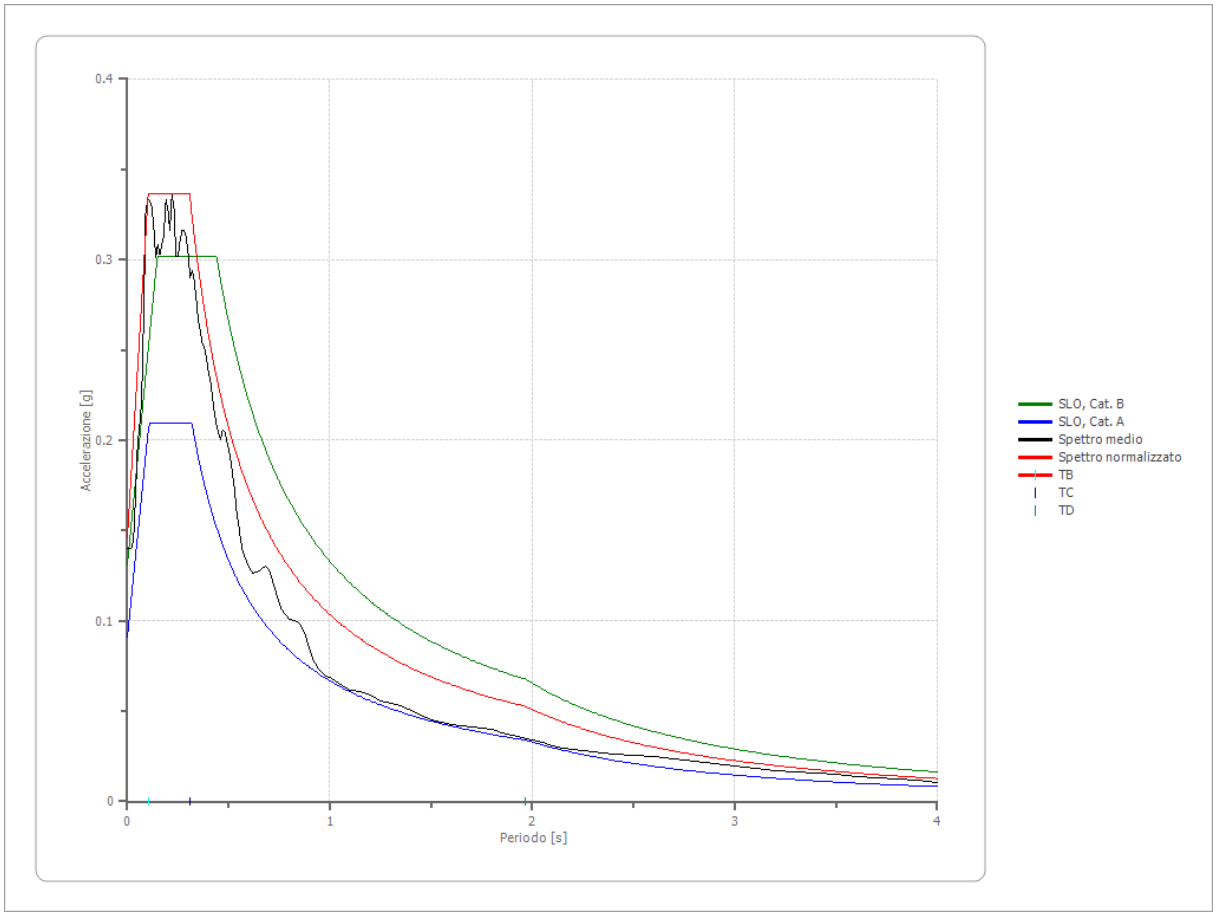
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B	Operatività SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A
Tr [anni]	60	101	949	1950	60	101	949	1950
ag [g]	0.091	0.118	0.322	0.424	0.091	0.118	0.322	0.424
Fo	2.3	2.334	2.454	2.497	2.3	2.334	2.454	2.497
Tc* [s]	0.319	0.334	0.4	0.428	0.319	0.334	0.4	0.428
Ss	1.20	1.20	1.08	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.20	1.20	1.20	1.20	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.38	1.37	1.32	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.147	0.152	0.176	0.186	0.106	0.111	0.133	0.143
TC [s]	0.441	0.457	0.528	0.558	0.319	0.334	0.400	0.428
TD [s]	1.964	2.072	2.888	3.296	1.964	2.072	2.888	3.296
Se(0) [g]	0.131	0.170	0.419	0.509	0.091	0.118	0.322	0.424
Se(TB) [g]	0.301	0.397	1.028	1.270	0.209	0.276	0.790	1.059


0.4
0.3
0.2
0.1
0
Accelerazione [g]
0
1
2
3
4
Periodo [s]
SLO, Cat. B
SLO, Cat. A
Spettro medio
Spettro normalizzato
TB
TC
TD

Elaborazione SLD

Numero di iterazioni 8
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
Tipo di modulo elastico Shake
Massimo errore percentuale di convergenza --

Fattori di amplificazione ICMS 2018

Tai	0.320 [s]
Tvi	3.300 [s]
Tao	0.110 [s]
Tvo	0.410 [s]
Sami	2.499 [m/s²]
Svmi	0.157 [m/s]
Samo	3.898 [m/s²]
Svmo	0.201 [m/s]
Fa	**1.560 [-]**
Fv	**1.279 [-]**
TB	0.108 [s]
TC	0.324 [s]
TD	2.072 [s]
SA(0)	0.194 [g]
SA(TB)	0.452 [g]

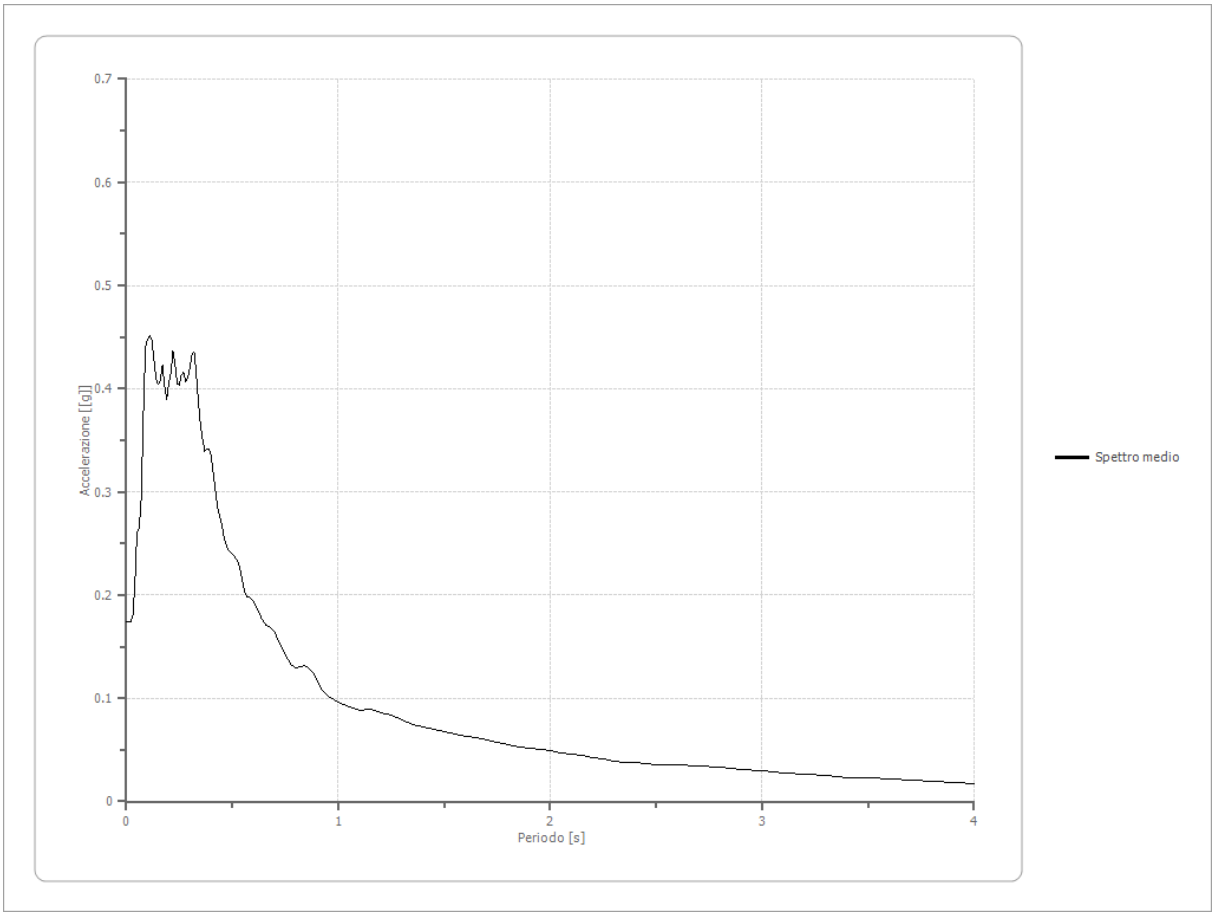
Fattori di amplificazione su intensità spettrale

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]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.1741	0.26	0.4136	0.52	0.2349	0.98	0.0984	2.25	0.0408
0.01	0.1741	0.27	0.4159	0.53	0.2307	1.00	0.0960	2.30	0.0391
0.02	0.1741	0.28	0.4063	0.54	0.2224	1.05	0.0911	2.35	0.0382
0.03	0.1802	0.29	0.4099	0.55	0.2108	1.10	0.0887	2.40	0.0374
0.04	0.2092	0.30	0.4219	0.56	0.2011	1.15	0.0890	2.50	0.0358
0.05	0.2606	0.31	0.4343	0.57	0.1987	1.20	0.0863	2.60	0.0353
0.06	0.2642	0.32	0.4352	0.58	0.1980	1.25	0.0833	2.70	0.0345
0.07	0.2929	0.33	0.4135	0.60	0.1938	1.30	0.0792	2.80	0.0330
0.08	0.3747	0.34	0.3858	0.62	0.1859	1.35	0.0745	2.90	0.0310
0.09	0.4401	0.35	0.3646	0.64	0.1760	1.40	0.0719	3.00	0.0295
0.10	0.4476	0.36	0.3507	0.66	0.1711	1.45	0.0700	3.10	0.0280
0.11	0.4519	0.37	0.3389	0.68	0.1690	1.50	0.0677	3.20	0.0266
0.12	0.4469	0.38	0.3414	0.70	0.1636	1.55	0.0650	3.30	0.0250
0.13	0.4286	0.39	0.3415	0.72	0.1550	1.60	0.0633	3.40	0.0234
0.14	0.4092	0.40	0.3347	0.74	0.1471	1.65	0.0615	3.50	0.0224

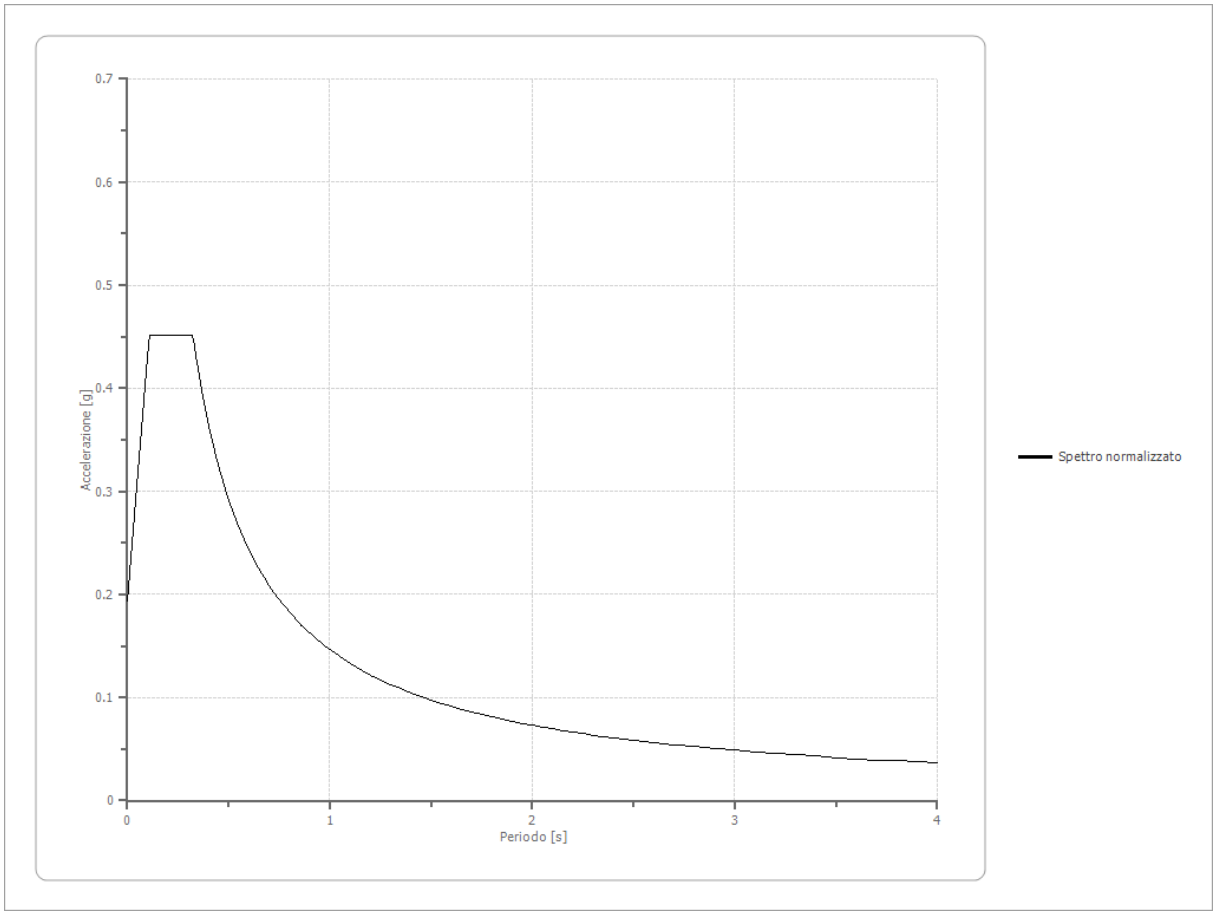
0.15	0.4048	0.41	0.3176	0.76	0.1391	1.70	0.0594	3.60	0.0216
0.16	0.4081	0.42	0.3016	0.78	0.1318	1.75	0.0571	3.70	0.0208
0.17	0.4224	0.43	0.2848	0.80	0.1291	1.80	0.0548	3.80	0.0199
0.18	0.4037	0.44	0.2761	0.82	0.1308	1.85	0.0529	3.90	0.0188
0.19	0.3893	0.45	0.2680	0.84	0.1316	1.90	0.0514	4.00	0.0175
0.20	0.4060	0.46	0.2568	0.86	0.1294	1.95	0.0502		
0.21	0.4153	0.47	0.2493	0.88	0.1243	2.00	0.0489		
0.22	0.4364	0.48	0.2445	0.90	0.1164	2.05	0.0471		
0.23	0.4226	0.49	0.2421	0.92	0.1090	2.10	0.0456		
0.24	0.4044	0.50	0.2393	0.94	0.1042	2.15	0.0442		
0.25	0.4037	0.51	0.2370	0.96	0.1006	2.20	0.0425		



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	0.1936	0.26	0.4519	0.52	0.2812	0.98	0.1492	2.25	0.0650
0.01	0.2176	0.27	0.4519	0.53	0.2759	1.00	0.1462	2.30	0.0636
0.02	0.2415	0.28	0.4519	0.54	0.2708	1.05	0.1393	2.35	0.0622
0.03	0.2655	0.29	0.4519	0.55	0.2659	1.10	0.1329	2.40	0.0609
0.04	0.2894	0.30	0.4519	0.56	0.2611	1.15	0.1271	2.50	0.0585
0.05	0.3134	0.31	0.4519	0.57	0.2565	1.20	0.1219	2.60	0.0562
0.06	0.3373	0.32	0.4519	0.58	0.2521	1.25	0.1170	2.70	0.0542
0.07	0.3613	0.33	0.4431	0.60	0.2437	1.30	0.1125	2.80	0.0522
0.08	0.3852	0.34	0.4301	0.62	0.2358	1.35	0.1083	2.90	0.0504

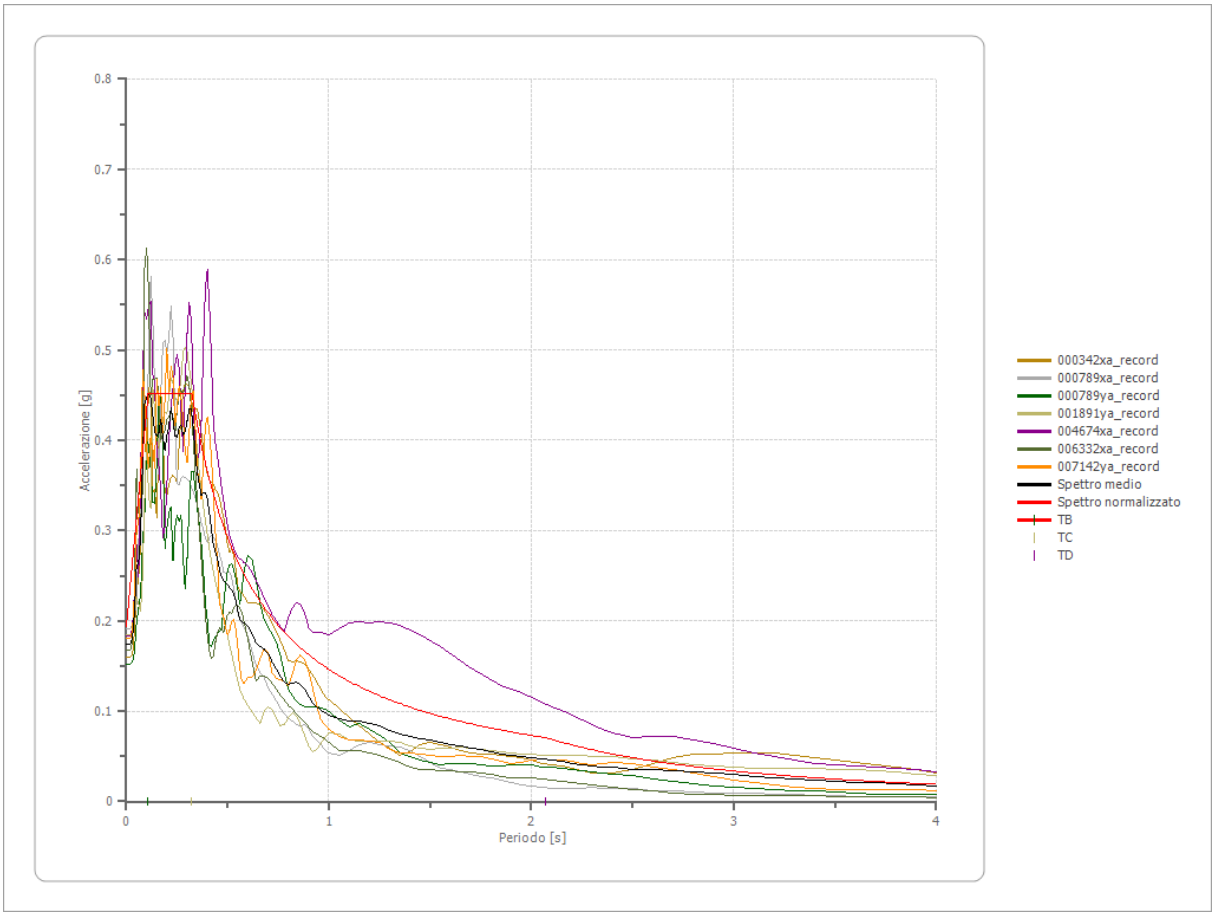
0.09	0.4092	0.35	0.4178	0.64	0.2285	1.40	0.1044	3.00	0.0487
0.10	0.4331	0.36	0.4062	0.66	0.2215	1.45	0.1008	3.10	0.0472
0.11	0.4519	0.37	0.3952	0.68	0.2150	1.50	0.0975	3.20	0.0457
0.12	0.4519	0.38	0.3848	0.70	0.2089	1.55	0.0943	3.30	0.0443
0.13	0.4519	0.39	0.3749	0.72	0.2031	1.60	0.0914	3.40	0.0430
0.14	0.4519	0.40	0.3656	0.74	0.1976	1.65	0.0886	3.50	0.0418
0.15	0.4519	0.41	0.3566	0.76	0.1924	1.70	0.0860	3.60	0.0406
0.16	0.4519	0.42	0.3481	0.78	0.1875	1.75	0.0836	3.70	0.0395
0.17	0.4519	0.43	0.3400	0.80	0.1828	1.80	0.0812	3.80	0.0385
0.18	0.4519	0.44	0.3323	0.82	0.1783	1.85	0.0790	3.90	0.0375
0.19	0.4519	0.45	0.3249	0.84	0.1741	1.90	0.0770	4.00	0.0366
0.20	0.4519	0.46	0.3179	0.86	0.1700	1.95	0.0750		
0.21	0.4519	0.47	0.3111	0.88	0.1662	2.00	0.0731		
0.22	0.4519	0.48	0.3046	0.90	0.1625	2.05	0.0713		
0.23	0.4519	0.49	0.2984	0.92	0.1589	2.10	0.0696		
0.24	0.4519	0.50	0.2924	0.94	0.1556	2.15	0.0680		
0.25	0.4519	0.51	0.2867	0.96	0.1523	2.20	0.0665		



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.194	2.334	--	0.108	0.324	2.072	0.194	0.452	1.282

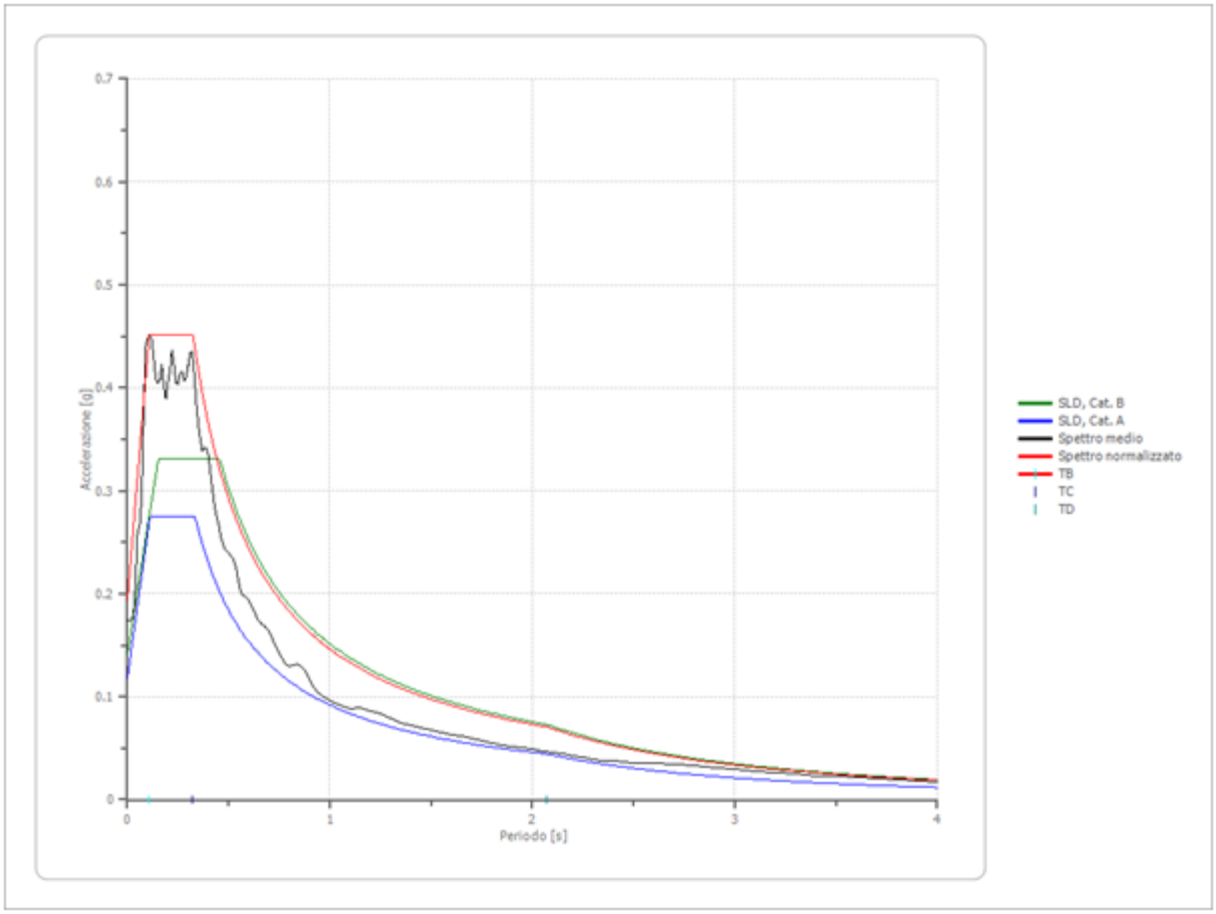
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B	Operatività SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A
Tr [anni]	60	101	949	1950	60	101	949	1950
ag [g]	0.091	0.118	0.322	0.424	0.091	0.118	0.322	0.424
Fo	2.3	2.334	2.454	2.497	2.3	2.334	2.454	2.497
Tc* [s]	0.319	0.334	0.4	0.428	0.319	0.334	0.4	0.428
Ss	1.20	1.20	1.08	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.38	1.37	1.32	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.147	0.152	0.176	0.186	0.106	0.111	0.133	0.143
TC [s]	0.441	0.457	0.528	0.558	0.319	0.334	0.400	0.428
TD [s]	1.964	2.072	2.888	3.296	1.964	2.072	2.888	3.296
Se(0) [g]	0.109	0.142	0.349	0.424	0.091	0.118	0.322	0.424
Se(TB) [g]	0.251	0.331	0.857	1.059	0.209	0.276	0.790	1.059


0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
Accelerazione [g]
0
1
2
3
4
Periodo [s]
SLD, Cat. B
SLD, Cat. A
Spettro medio
Spettro normalizzato
TB
TC
TD

Elaborazione SLV

Numero di iterazioni 8
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
Tipo di modulo elastico Shake
Massimo errore percentuale di convergenza 1.82 E-03

Fattori di amplificazione ICMS 2018

Tai	0.270 [s]
Tvi	1.750 [s]
Tao	0.250 [s]
Tvo	0.580 [s]
Sami	7.346 [m/s²]
Svmi	0.498 [m/s]
Samo	10.927 [m/s²]
Svmo	0.632 [m/s]
Fa	**1.487 [-]**
Fv	**1.270 [-]**
TB	0.115 [s]
TC	0.364 [s]
TD	2.888 [s]
SA(0)	0.476 [g]
SA(TB)	1.167 [g]

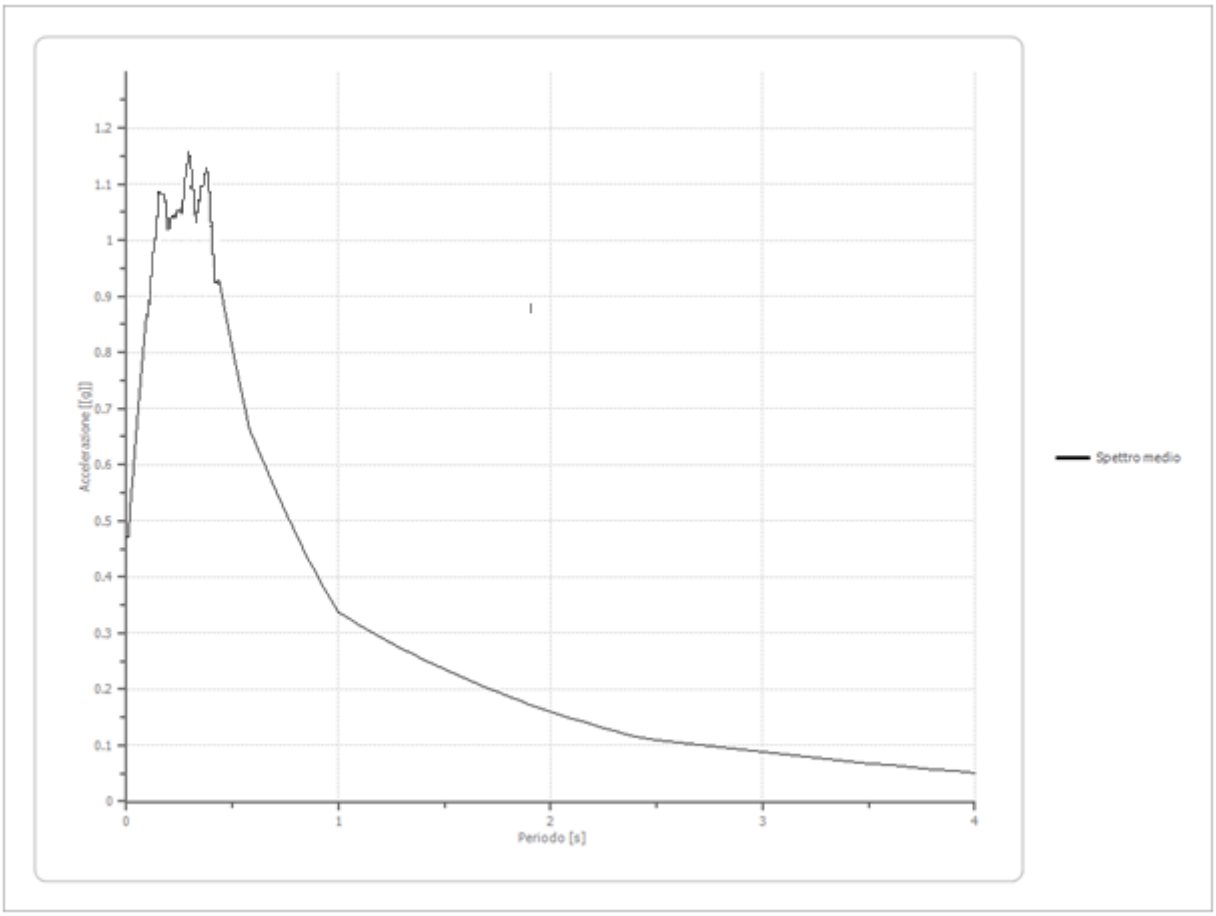
Fattori di amplificazione su intensità spettrale

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]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.4716	0.26	1.1653	0.52	0.7694	0.98	0.3496	2.25	0.1309
0.01	0.4718	0.27	1.1618	0.53	0.7513	1.00	0.3375	2.30	0.1255
0.02	0.5384	0.28	1.1565	0.54	0.7334	1.05	0.3257	2.35	0.1203
0.03	0.5793	0.29	1.1496	0.55	0.7156	1.10	0.3143	2.40	0.1152
0.04	0.6294	0.30	1.1412	0.56	0.6979	1.15	0.3033	2.50	0.1102
0.05	0.6750	0.31	1.1314	0.57	0.6803	1.20	0.2925	2.60	0.1054
0.06	0.7210	0.32	1.1204	0.58	0.6627	1.25	0.2821	2.70	0.1008
0.07	0.7653	0.33	1.1083	0.60	0.6451	1.30	0.2720	2.80	0.0962
0.08	0.8083	0.34	1.0950	0.62	0.6276	1.35	0.2623	2.90	0.0918
0.09	0.8495	0.35	1.0807	0.64	0.6101	1.40	0.2528	3.00	0.0876
0.10	0.8889	0.36	1.0655	0.66	0.5926	1.45	0.2437	3.10	0.0834
0.11	0.9261	0.37	1.0494	0.68	0.5753	1.50	0.2348	3.20	0.0793
0.12	0.9609	0.38	1.0325	0.70	0.5581	1.55	0.2262	3.30	0.0754
0.13	0.9933	0.39	1.0150	0.72	0.5410	1.60	0.2179	3.40	0.0716

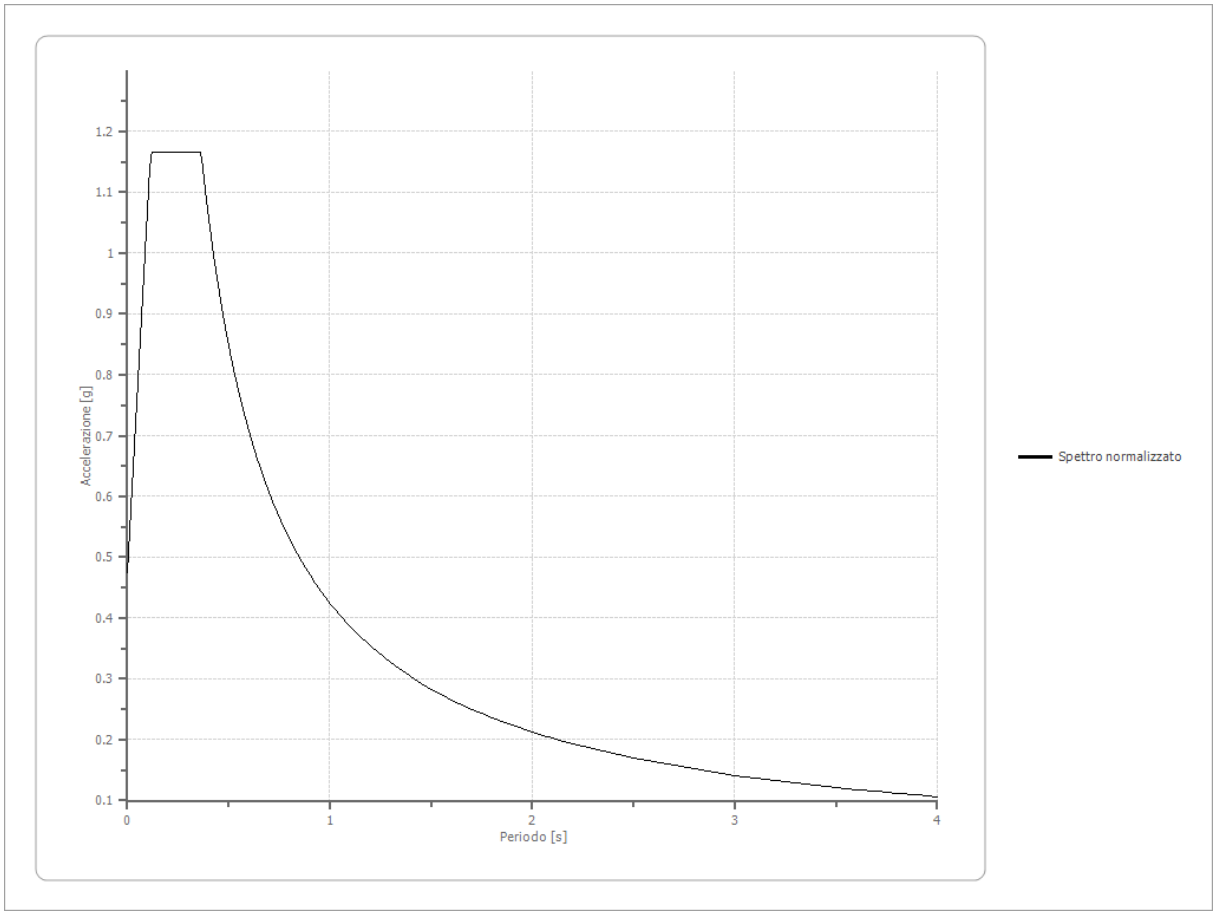
0.14	1.0230	0.40	0.9969	0.74	0.5242	1.65	0.2099	3.50	0.0678
0.15	1.0499	0.41	0.9784	0.76	0.5077	1.70	0.2021	3.60	0.0642
0.16	1.0741	0.42	0.9594	0.78	0.4914	1.75	0.1946	3.70	0.0607
0.17	1.0953	0.43	0.9402	0.80	0.4755	1.80	0.1873	3.80	0.0573
0.18	1.1137	0.44	0.9209	0.82	0.4600	1.85	0.1803	3.90	0.0540
0.19	1.1292	0.45	0.9015	0.84	0.4448	1.90	0.1734	4.00	0.0508
0.20	1.1419	0.46	0.8821	0.86	0.4300	1.95	0.1668		
0.21	1.1518	0.47	0.8628	0.88	0.4156	2.00	0.1604		
0.22	1.1592	0.48	0.8437	0.90	0.4016	2.05	0.1541		
0.23	1.1641	0.49	0.8248	0.92	0.3880	2.10	0.1481		
0.24	1.1666	0.50	0.8061	0.94	0.3748	2.15	0.1422		
0.25	1.1670	0.51	0.7877	0.96	0.3620	2.20	0.1365		



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	0.4755	0.26	1.1670	0.52	0.8169	0.98	0.4335	2.25	0.1888
0.01	0.5357	0.27	1.1670	0.53	0.8015	1.00	0.4248	2.30	0.1847
0.02	0.5958	0.28	1.1670	0.54	0.7866	1.05	0.4046	2.35	0.1808
0.03	0.6559	0.29	1.1670	0.55	0.7723	1.10	0.3862	2.40	0.1770
0.04	0.7160	0.30	1.1670	0.56	0.7585	1.15	0.3694	2.50	0.1699
0.05	0.7762	0.31	1.1670	0.57	0.7452	1.20	0.3540	2.60	0.1634
0.06	0.8363	0.32	1.1670	0.58	0.7324	1.25	0.3398	2.70	0.1573

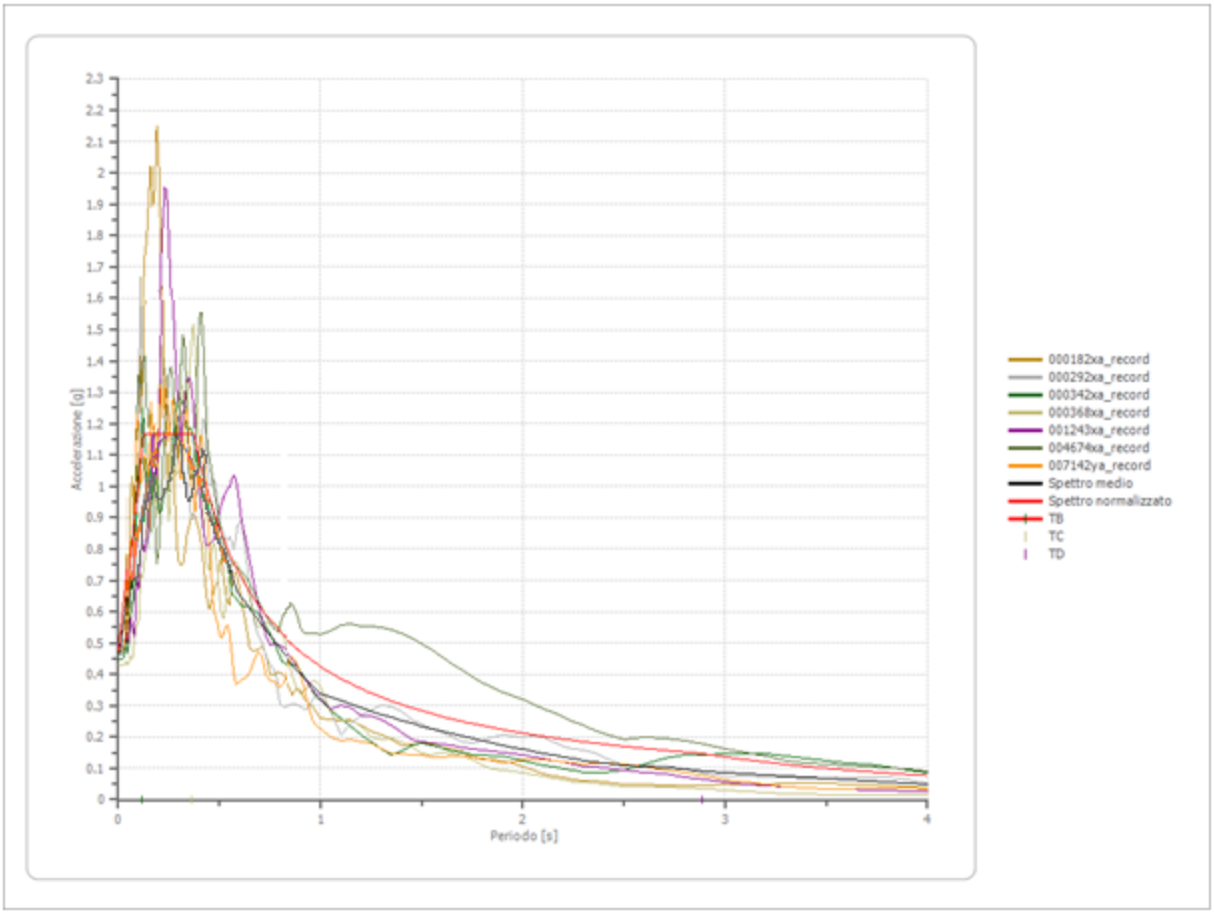
0.07	0.8964	0.33	1.1670	0.60	0.7080	1.30	0.3268	2.80	0.1517
0.08	0.9565	0.34	1.1670	0.62	0.6851	1.35	0.3147	2.90	0.1465
0.09	1.0167	0.35	1.1670	0.64	0.6637	1.40	0.3034	3.00	0.1416
0.10	1.0768	0.36	1.1670	0.66	0.6436	1.45	0.2930	3.10	0.1370
0.11	1.1369	0.37	1.1481	0.68	0.6247	1.50	0.2832	3.20	0.1327
0.12	1.1670	0.38	1.1178	0.70	0.6068	1.55	0.2741	3.30	0.1287
0.13	1.1670	0.39	1.0892	0.72	0.5900	1.60	0.2655	3.40	0.1249
0.14	1.1670	0.40	1.0620	0.74	0.5740	1.65	0.2574	3.50	0.1214
0.15	1.1670	0.41	1.0361	0.76	0.5589	1.70	0.2499	3.60	0.1180
0.16	1.1670	0.42	1.0114	0.78	0.5446	1.75	0.2427	3.70	0.1148
0.17	1.1670	0.43	0.9879	0.80	0.5310	1.80	0.2360	3.80	0.1118
0.18	1.1670	0.44	0.9654	0.82	0.5180	1.85	0.2296	3.90	0.1089
0.19	1.1670	0.45	0.9440	0.84	0.5057	1.90	0.2236	4.00	0.1062
0.20	1.1670	0.46	0.9234	0.86	0.4939	1.95	0.2178		
0.21	1.1670	0.47	0.9038	0.88	0.4827	2.00	0.2124		
0.22	1.1670	0.48	0.8850	0.90	0.4720	2.05	0.2072		
0.23	1.1670	0.49	0.8669	0.92	0.4617	2.10	0.2023		
0.24	1.1670	0.50	0.8496	0.94	0.4519	2.15	0.1976		
0.25	1.1670	0.51	0.8329	0.96	0.4425	2.20	0.1931		



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.476	2.454	--	0.115	0.364	2.888	0.476	1.167	1.286

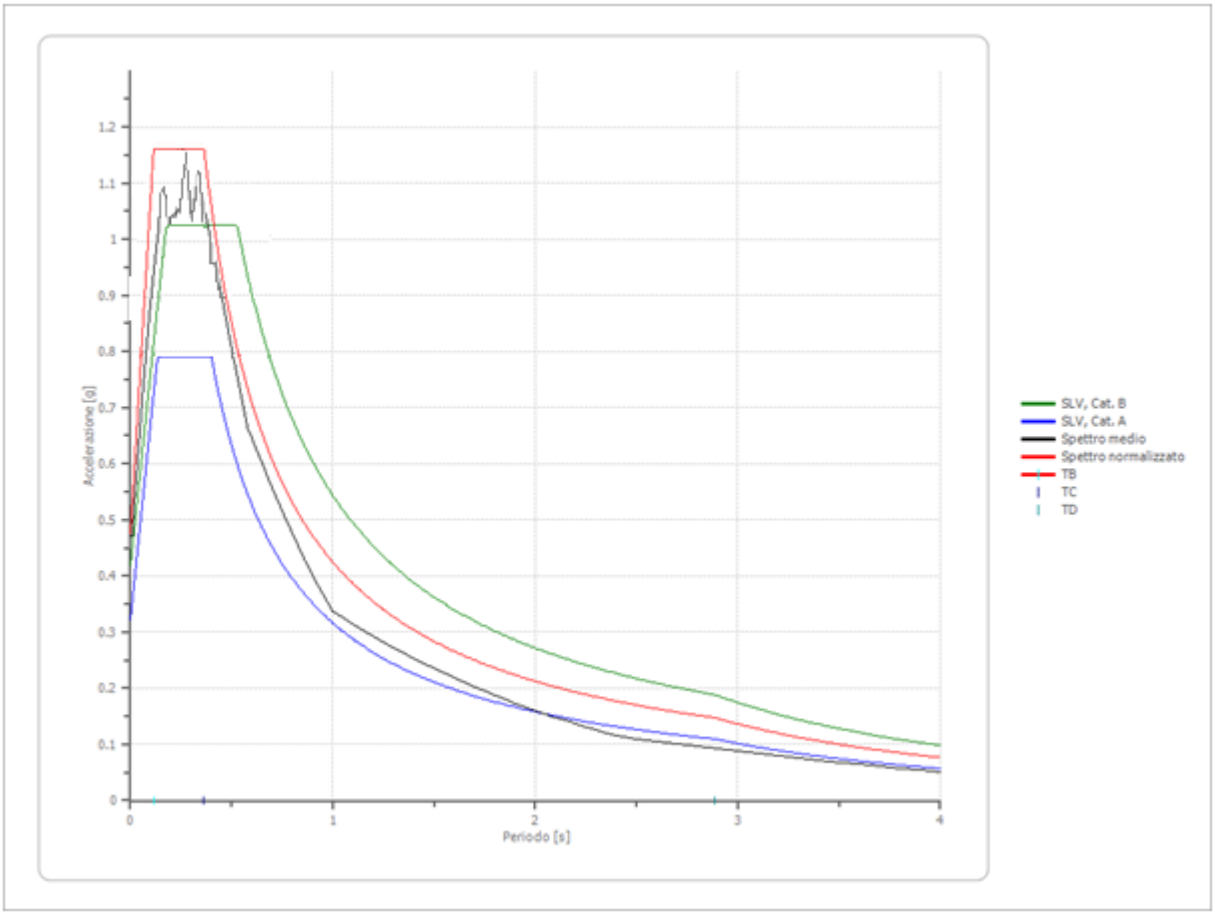
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B	Operatività SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A
Tr [anni]	60	101	949	1950	60	101	949	1950
ag [g]	0.091	0.118	0.322	0.424	0.091	0.118	0.322	0.424
Fo	2.3	2.334	2.454	2.497	2.3	2.334	2.454	2.497
Tc* [s]	0.319	0.334	0.4	0.428	0.319	0.334	0.4	0.428
Ss	1.20	1.20	1.08	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.20	1.20	1.20	1.20	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.38	1.37	1.32	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.147	0.152	0.176	0.186	0.106	0.111	0.133	0.143
TC [s]	0.441	0.457	0.528	0.558	0.319	0.334	0.400	0.428
TD [s]	1.964	2.072	2.888	3.296	1.964	2.072	2.888	3.296
Se(0) [g]	0.131	0.170	0.419	0.509	0.091	0.118	0.322	0.424
Se(TB) [g]	0.301	0.397	1.028	1.270	0.209	0.276	0.790	1.059


Accelerazione [g]
Periodo [s]
SLV, Cat. B
SLV, Cat. A
Spettro medio
Spettro normalizzato
TB
TC
TD

VERIFICA DI SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Per ciò che riguarda la liquefazione dei terreni, come già asserito sopra, le norme dettate dalla *L.R. n° 35 del 19/10/2009,* acquisiscono completamente e senza modifica alcuna, quanto esposto nelle NTC/2008 e nelle successive NTC/2018/19.

Per **liquefazione** si intende un processo di accumulazione della pressione del fluido interstiziale che causa in un terreno non coesivo saturo, la diminuzione della resistenza e/o rigidezza a taglio a seguito dello scuotimento sismico, potendo dar luogo a deformazioni permanenti significative.

La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno, a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità.

La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che riempie gli interstizi arriva a uguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide; una volta che il terremoto ha innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità.

La liquefazione si attua quando il valore limite della tensione tangenziale tende a zero.

Come si osserva facilmente il pericolo di liquefazione aumenta al diminuire della coesione c, dell'angolo di attrito φ, della tensione totale σn, e all'aumentare della pressione interstiziale u.

Tale pericolo riguarda soprattutto i depositi superficiali di terreni incoerenti o debolmente coerenti, in presenza di falde acquifere (Bozza, 2004).

La liquefazione del terreno può avvenire sotto determinate condizioni:

• Fondamentalmente un terreno liquefa se è saturo di acqua e già piccole quantità di acqua impediscono l'aumento della pressione neutra ed attenua i carichi dinamici, perciò al di sopra del livello piezometrico nessuna liquefazioni può esserci;

• I terreni hanno diverse disposizioni dei granuli, diversa DR e differenti permeabilità. Per esempio i terreni più vulnerabili sono quelli cha hanno granulometria compresa tra limo e sabbia grossolana, con bassa densità relativa (DR < 50 ÷ 60%), e bassa permeabilità (Balthaus e Sondermann, 1986).

• Le caratteristiche dell'impulso sismico (magnitudo M > 5,0) e le azioni cicliche di un sisma hanno l'effetto di incrementare notevolmente il potenziale di liquefazione del terreno, provocandone la compattazione: ciò riduce il volume dei vuoti aumentando di conseguenza la pressione dell'acqua interstiziale. Questo implica una perdita di resistenza dovuta a meccanismi di generazione di sovrappressione interstiziale nel terreno in condizioni non drenate, vale a dire di deformazione a taglio a volume costante. Ciò è essenzialmente dovuto alla rapidità dei processi di sollecitazione agenti, troppo brevi perché possa avere inizio la dissipazione delle pressioni accumulatesi nel fluido (Bozza, 2004).

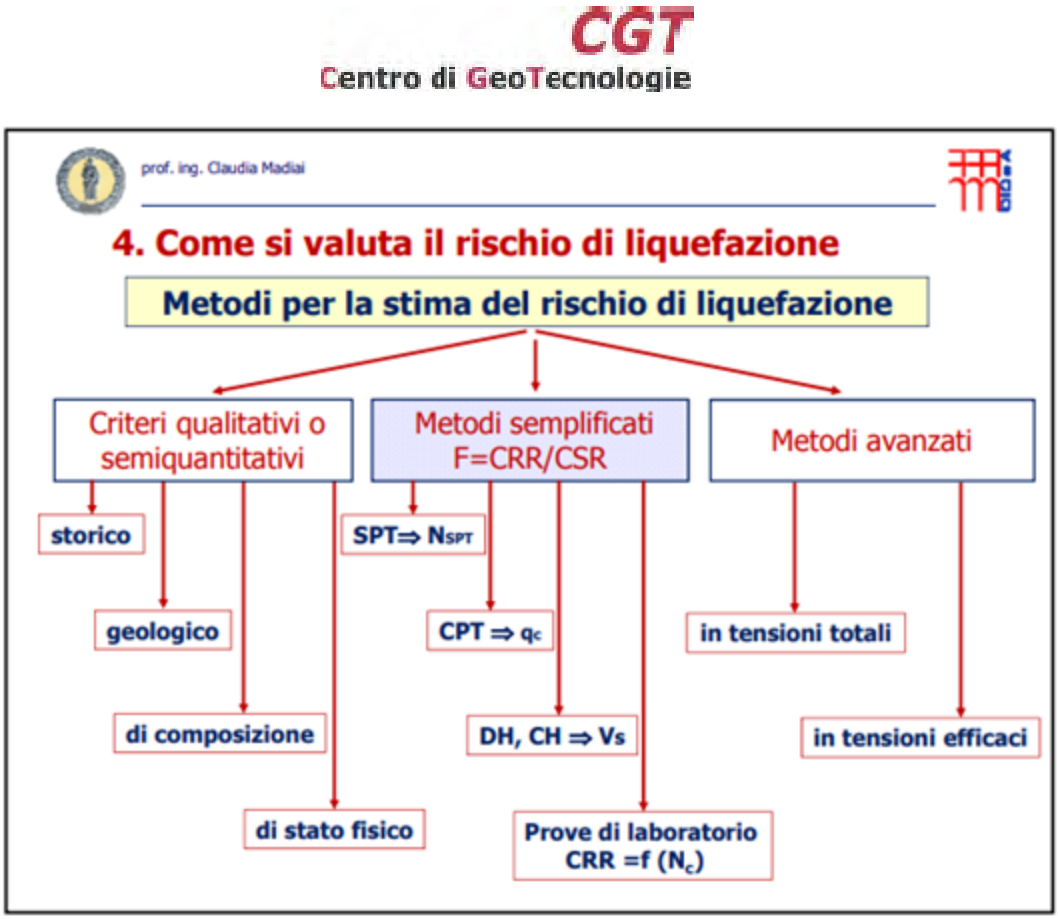
Dai casi verificatisi in passato si è capito che questo fenomeno è profondamente influenzato dal numero dei cicli N del terremoto, dalla densità relativa D e dalla granulometria del terreno. Un

terreno incoerente, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa. Il potenziale di liquefazione aumenta poi, ovviamente, al crescere di N.

Il quadro dei metodi oggi disponibili è quanto mai vario e va da criteri basati su soli dati geologici qualitativi (età del deposito, origine, stratigrafia, profondità della falda, ecc.) a metodi di analisi dinamica molto sofisticati, basati sulla valutazione in termini di pressione effettive della risposta sismica locale e su prove di laboratorio molto sofisticate e complesse.

L'analisi di questi ultimi metodi, benché da riservare alla progettazione di opere di notevole importanza (dighe in terra, strutture off-shore, centrali nucleari, ecc.)

Qui di seguito una tabella riassuntiva dei differenti metodi per la stima del rischio di liquefazione.



Per ciò che concerne il sito in esame, possiamo affermare in generale che l'ossatura geologica dello stesso è costituita in genere da una formazione di argille marnose e marne argillose ricoperte da uno spessore variabile ma quasi sempre molto esiguo di materiale detritico.

Già negli strati più superficiali si rileva un sensibile grado di coesione che raggiunge anche valori significativi negli strati più profondi, come dimostrano le analisi di laboratorio su campioni indisturbati analizzati e prelevati durante le indagini.

Sul sito non è stata rilevata la presenza di falda nei primi 15 metri di terreno da misurazioni effettuate nei fori di carotaggio secondo quanto riportato nella relazione preliminare, come da

aspettarsi, del resto, viste le caratteristiche idrogeologiche dei terreni, nonché la geometria del versante in cui essi risiedono.

Non ci sono di fatto le condizioni per la formazione di una vera e propria falda freatica il che esclude la possibilità di liquefazione.

Eventuali accumuli idrici sospesi e temporanei, caratteristici di questo tipo di terreni, in concomitanza di fenomeni piovosi intensi vengono rapidamente drenati più in basso dando vita, talvolta a sorgenti temporanee la cui durata dipende direttamente dalla durata delle precipitazioni.

Infine, se si analizzano i diagrammi relativi alla caratterizzazione granulometrica dei terreni si noterà che essi sono costituiti in percentuali maggiori al 70% da materiale fine (limi ed argille) e ciò li colloca al di fuori dell'intervallo granulometrico a rischio di liquefazione come indicato dalla normativa.

Nella presente relazione è stata esaminata la risposta sismica locale contenente anche la verifica alla liquefazione, e sono stati calcolati gli spettri di risposta mediante il programma ***Geostru RSL III 2021***, di comune accordo con il progettista.

CONCLUSIONI

L'indagine preliminare effettuata in data 2018 unitamente alla ricerca bibliografica e studi precedenti, al rilevamento di campagna, hanno consentito di effettuare una prima valutazione sull'assetto litostratigrafico e geomorfologico del sito di intervento; da qui è stata definita una campagna di indagini complementare sia per confermare quanto ipotizzato dalle osservazioni di campagna sia per ottenere dati più dettagliati sulle caratteristiche litostratigrafiche e tecniche dei terreni interessati.

In tal modo è stato possibile ottenere un modello geologico e sismico adeguatamente proporzionale alla tipologia di opera prevista.

I sondaggi penetrometrici hanno consentito di caratterizzare direttamente e puntualmente le porzioni più superficiali di terreno dove risiederanno le strutture di fondazione, mentre i sondaggi sismici hanno consentito la determinazione della categoria di sottosuolo e delle caratteristiche geomeccaniche dei livelli più profondi mediante correlazioni empiriche di illustri autori, sempre più usate nell'ingegneria geotecnica; inoltre, le misure HVSR hanno consentito di rilevare le frequenze più importanti del terreno di fondazione, utilissime per il dimensionamento strutturale dell'opera da realizzare.

L'analisi geologico-tecnica e sismica ed idrogeologica effettuata hanno consentito di determinare gli elementi di rischio presenti nel contesto geologico, morfologico ed idrogeologico interessato e di un modello geosismico dettagliato, necessario per una corretta progettazione.

Dalla consultazione delle cartografie del PAI Calabria risulta che ***il sito in esame non rientra in nessuna area a vincolo che possa mettere in risalto a presenza di situazioni di rischio idrogeologico o idraulico*** (vedi cartografia allegata).

Tuttavia si consiglia di adottare i seguenti accorgimenti:

- La struttura dovrà essere adeguatamente verificata in funzione dei parametri geotecnici, sismici ed idrogeologici forniti nel presente lavoro.

Con la presente relazione, sono stati forniti ai progettisti gli elementi necessari per eseguire la progettazione di tutte le opere previste dal progetto.

Rende, giugno 2021

Il Geologo

Dr. Vincenzo Sicilia

