

COMUNE DI CROTONE



PON FESR "SICUREZZA PER LO SVILUPPO"
Obiettivo Convergenza 2007/2013 – Obiettivo operativo 2.8 B

"Piano di Azione Giovani Sicurezza e Legalità" (PAG) finanziato dalle risorse del Fondo di rotazione nell'ambito del Piano Azione e Coesione

Linea di Intervento 1 "Sport e Legalità"
Iniziativa "Io gioco legale"

**REALIZZAZIONE DI UN CAMPO DI CALCIO A 5 OUTDOOR
"DODO' GABRIELE" NEL COMUNE DI CROTONE,
CON ANNESSO SPOGLIATOIO. CLASSE D'USO III
CUP: F19B12000150001**

PROGETTO DEFINITIVO ED ESECUTIVO

PROGETTISTA, CALCOLATORE, D.L. E COORDINATORE SICUREZZA:

Arch. Giusy SCICCHITANO



GEOLOGO:

Geol. Eliseo SCERBO



Relazione sulla pericolosità sismica di base
Analisi numerica di III livello

Elaborato

Tav. E10

DATA: Novembre 2016

IMPORTO COMPLESSIVO: 263.000 euro

RUP: Ing. Gianfranco DE MARTINO

COMUNE DI CROTONE

SETTORE 3

Il Responsabile del Procedimento

Ing. Gianfranco DE MARTINO



TIMBRO

Indice

1	PREMESSA	3
2	PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE (Analisi di III livello).....	4
2.1	DISAGREGGAZIONE DEI DATI.....	4
2.2	ESTRAZIONE ACCELEROGRAMMI.....	7
2.3	PROCEDURA DI CALCOLO ANALISI NUMERICA DI III LIVELLO.....	9
2.4	RISULTATI DELL'ANALISI DI III LIVELLO	14
3	VALUTAZIONI CONCLUSIVE	26

Allegati

Relazione MASW

1 PREMESSA

A corredo del progetto sui terreni interessati dai lavori per la realizzazione di un campo di calcio a 5 outdoor “Dodò Gabriele” in località Iannello del Comune di Crotone, secondo la normativa vigente, D.M. 14 gennaio 2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni” e Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, C.S.LL.PP., il sottoscritto Dott. Geologo Eliseo Scerbo, per la stima della risposta sismica locale riguardante l’area su cui insiste l’opera oggetto d’intervento, ha condotto un primo studio utilizzando l’approccio semplificato per la valutazione dell’amplificazione e successivamente è stato realizzato uno studio numerico di Risposta Sismica Locale (RSL).

I risultati ottenuti con l’approccio semplificato e l’analisi numerica, sono stati poi messi a confronto, come meglio dimostrato in seguito.

Lo studio, per come prescrivono le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008) del D.M. Infrastrutture 14/01/2008 e la successiva Circolare esplicativa del C.S.LL.PP. n. 617 del 02/02/2009, ha la finalità di studiare la pericolosità sismica di base dell’area e la sua modificazione locale per effetti di sito.

Il lavoro è stato articolato nelle seguenti fasi:

- Studio della pericolosità sismica di base del sito d’intervento (ED50: lat. 39.169069, long. 17.051264; WGS84 lat. 39.168055, long. 17.051264)
- In base alla pericolosità sismica, individuazione dell’input sismico al bedrock dell’area di studio tramite generazione di accelerogrammi simulati e/o scelta di accelerogrammi naturali nelle due componenti orizzontali, tra loro ortogonali.
- Scalatura degli accelerogrammi alla pericolosità sismica di base dell’area (spettrocompatibilità), tramite i relativi spettri di risposta elastici.
- Ricostruzione, attraverso indagini geognostiche e geofisiche, di un modello litotecnico del sottosuolo, almeno sino al bedrock sismico, con le sue caratteristiche geotecniche ed elasto dinamiche.
- Simulazione degli accelerogrammi in superficie con le modificazioni indotte nel segnale dalle condizioni stratigrafiche del sito.

L’approccio semplificato o *analisi di I Livello*, consiste nell’analisi semplificata dell’azione sismica di progetto e si basa sull’individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (§ 3.2.2 – Tab. 3.2.II, Categorie di sottosuolo – NTC2008). La classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente V_{s30} di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità dal piano fondale. Ai terreni appartenenti a ciascuna categoria di sottosuolo (A, B, C, D, E) è associato uno spettro di risposta elastico, con l’eccezione dei siti di tipo S1 ed S2 (§ 3.2.2 – Tab. 3.2.III, Categorie aggiuntive di sottosuolo – NTC2008) per i quali è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche. Per l’amplificazione dovuta alle condizioni topografiche semplici si adotta la classificazione semplificata (T1, T2, T3, T4) (§ 3.2.2 – Tab. 3.2.IV, Categorie topografiche – NTC2008). Le categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e vengono considerate nella definizione dell’azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Per l’analisi numerica o *analisi di III Livello*, l’analisi numerica della risposta sismica per il sito di studio prevede l’utilizzo di codici di calcolo monodimensionali, bidimensionali e tridimensionali, simulando la propagazione delle onde sismiche nei terreni dalla sottostante formazione rocciosa di base (bedrock sismico) fino alla superficie. Questa metodologia se applicata rigorosamente, ha il vantaggio di considerare il vero fenomeno fisico e, quindi, di aumentare il

grado di accuratezza nella previsione dell'amplificazione. Come facilmente deducibile dalla sua definizione, il livello 3, approfondisce il livello di studio precedente, andando a definire puntualmente il valore dell'amplificazione in un particolare sito.

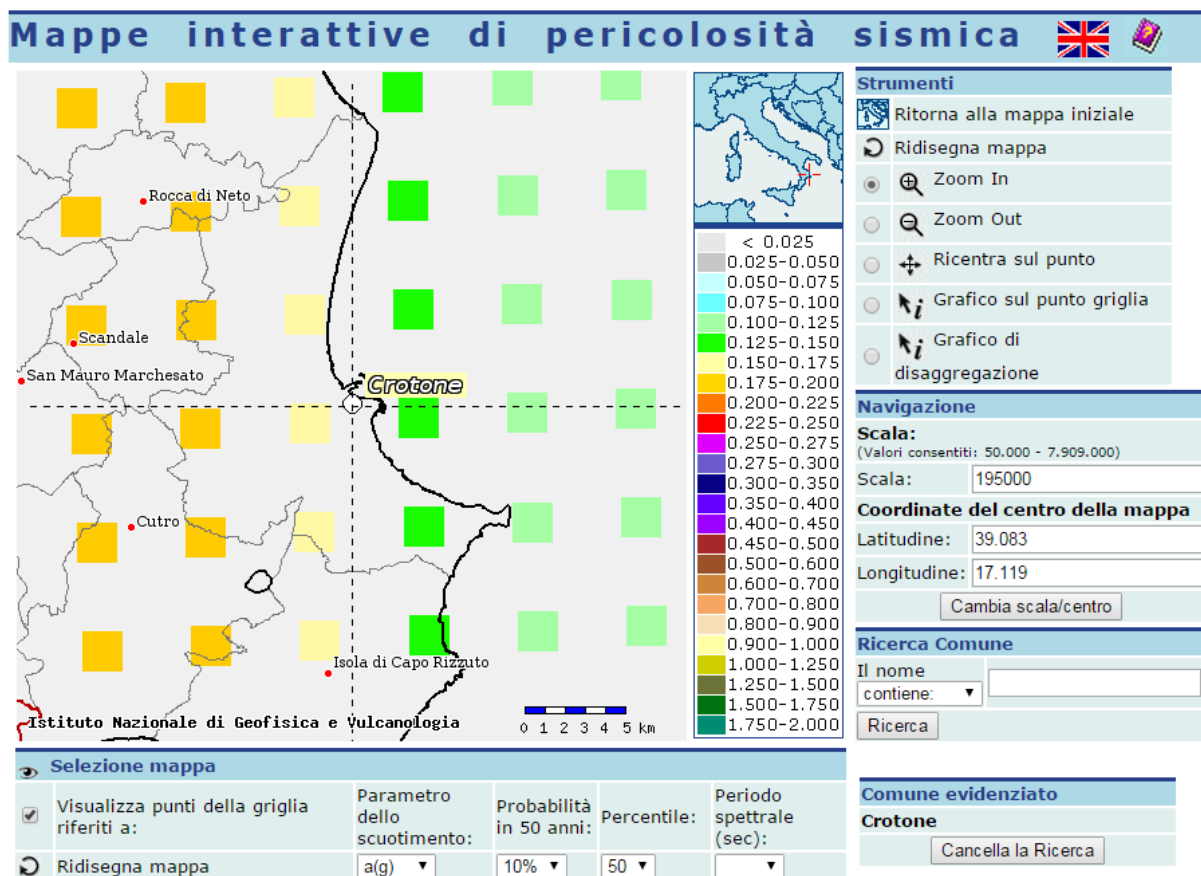
2 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE (Analisi di III livello)

L'analisi di livello 3, valuta l'amplificazione stratigrafica specifica del sito, tramite un'accelerazione attesa al bedrock, scalata da una funzione di amplificazione del sito dipendente dalla stratigrafia e dai parametri elasto dinamici di ogni strato.

Secondo le Norme Tecniche NTC2008, l'accelerazione attesa al bedrock deve risultare da una serie di accelerogrammi (naturali o simulati) che ben approssimano la storia sismica del sito. Particolare importanza, per la scelta degli accelerogrammi naturali o per la generazione di sismogrammi simulati, ha lo studio della Disaggregazione della Pericolosità Sismica.

2.1 DISAGGREGAZIONE DEI DATI

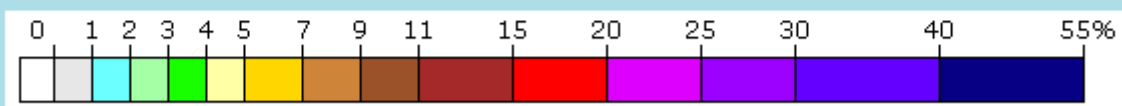
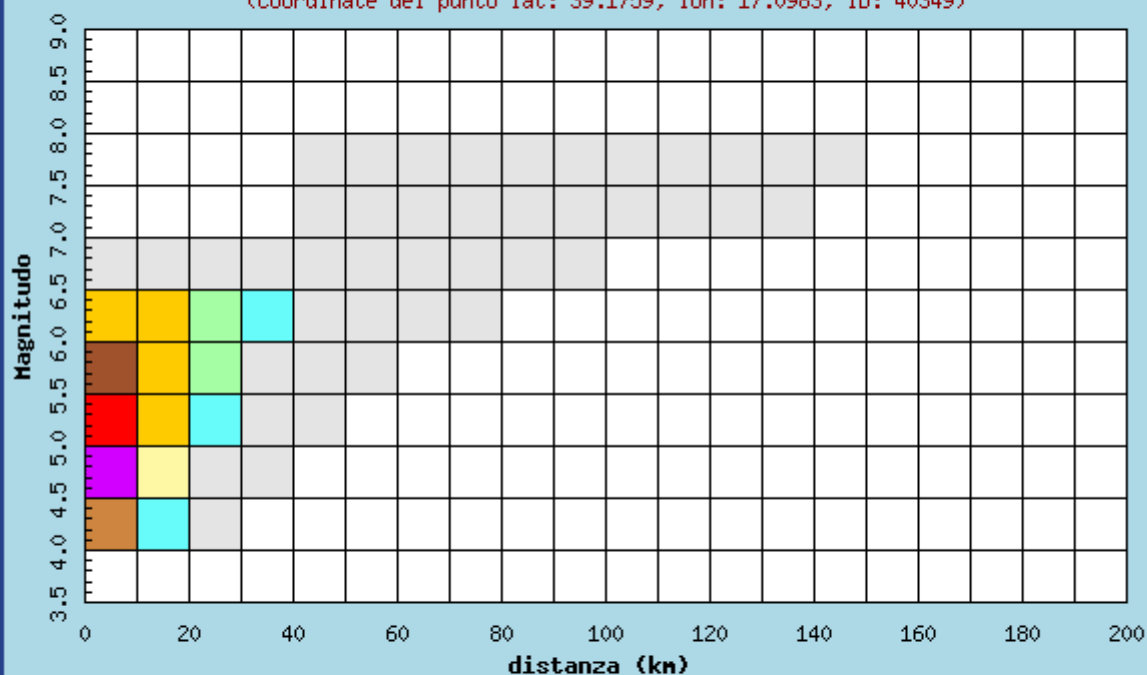
Nel presente lavoro, i dati di disaggregazione (variabilità in termini di magnitudo e distanza, M-R), sono stati desunti dalla pagina del sito dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia di Milano <http://esse1-gis.mi.ingv.it> dedicata ai dati di pericolosità sismica nazionale. Si accede ad una pagina webgis, in cui va indicato il comune oggetto d'indagine, la probabilità di accadimento in 50 anni ed il percentile (50 per la progettazione ai sensi delle NTC2008).



A questo punto bisogna spuntare il campo "grafico di disaggregazione" e cliccare sul punto più vicino al sito in esame. Saranno calcolati i valori di magnitudo-distanza con relativa probabilità.

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Disaggregazione del valore di $a(g)$ con probabilita' di eccedenza
del 10% in 50 anni

(Coordinate del punto lat: 39.1759, lon: 17.0983, ID: 40349)



Contributo percentuale alla pericolosità

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 39.1759, lon: 17.0983, ID: 40349)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	8.910	20.400	15.700	10.400	6.000	0.809	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	1.060	4.200	5.900	6.440	5.680	0.963	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.004	0.326	1.250	2.210	2.820	0.586	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.000	0.155	0.669	1.200	0.291	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.002	0.134	0.511	0.431	0.481	0.107	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.180	0.329	0.515	0.124	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	0.168	0.351	0.092	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.071	0.224	0.065	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021	0.127	0.040	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.050	0.015	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.007	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.003	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.400	11.400	0.637

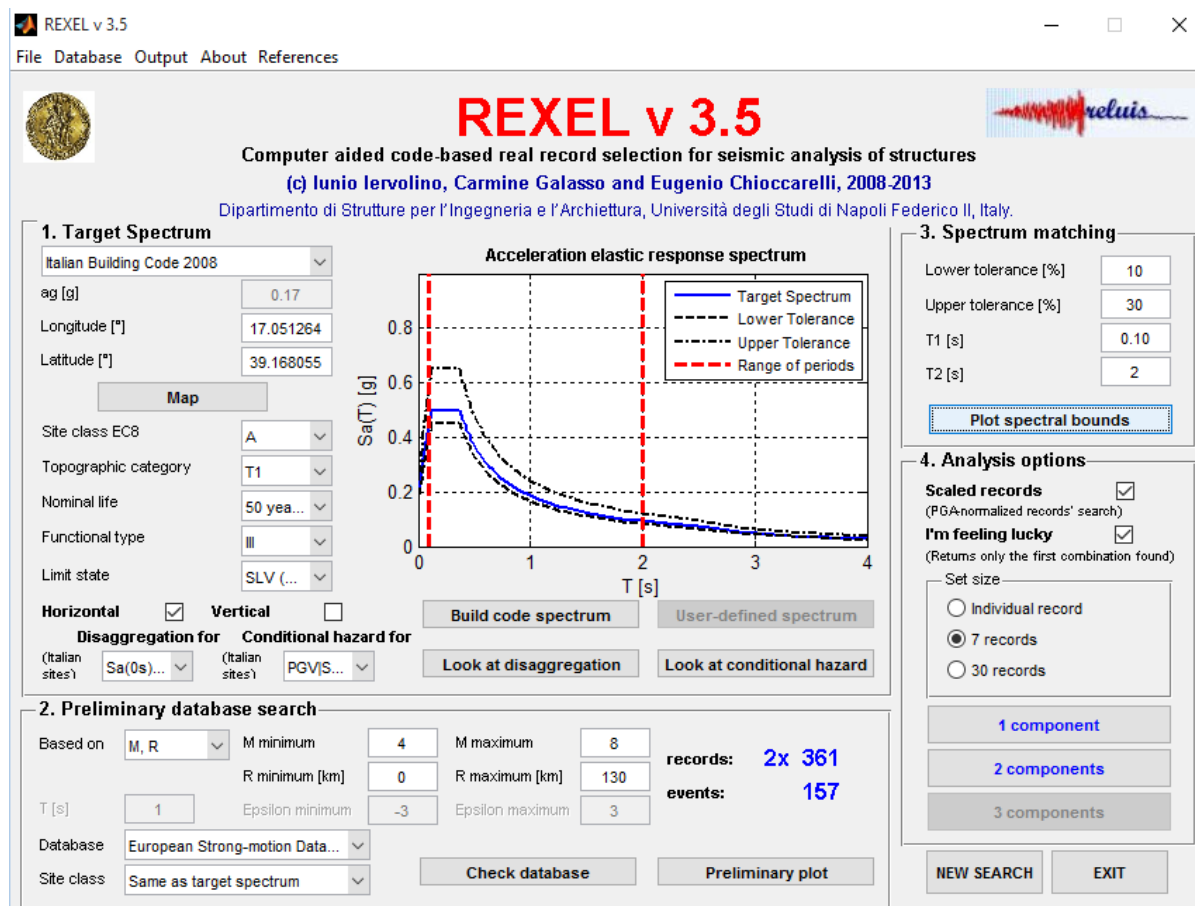
2.2 ESTRAZIONE ACCELEROGRAMMI

Per l'estrazione degli accelerogrammi, è stato utilizzato il software gratuito REXEL 3.2 beta, messo a punto dalla ReLUIS di Napoli.

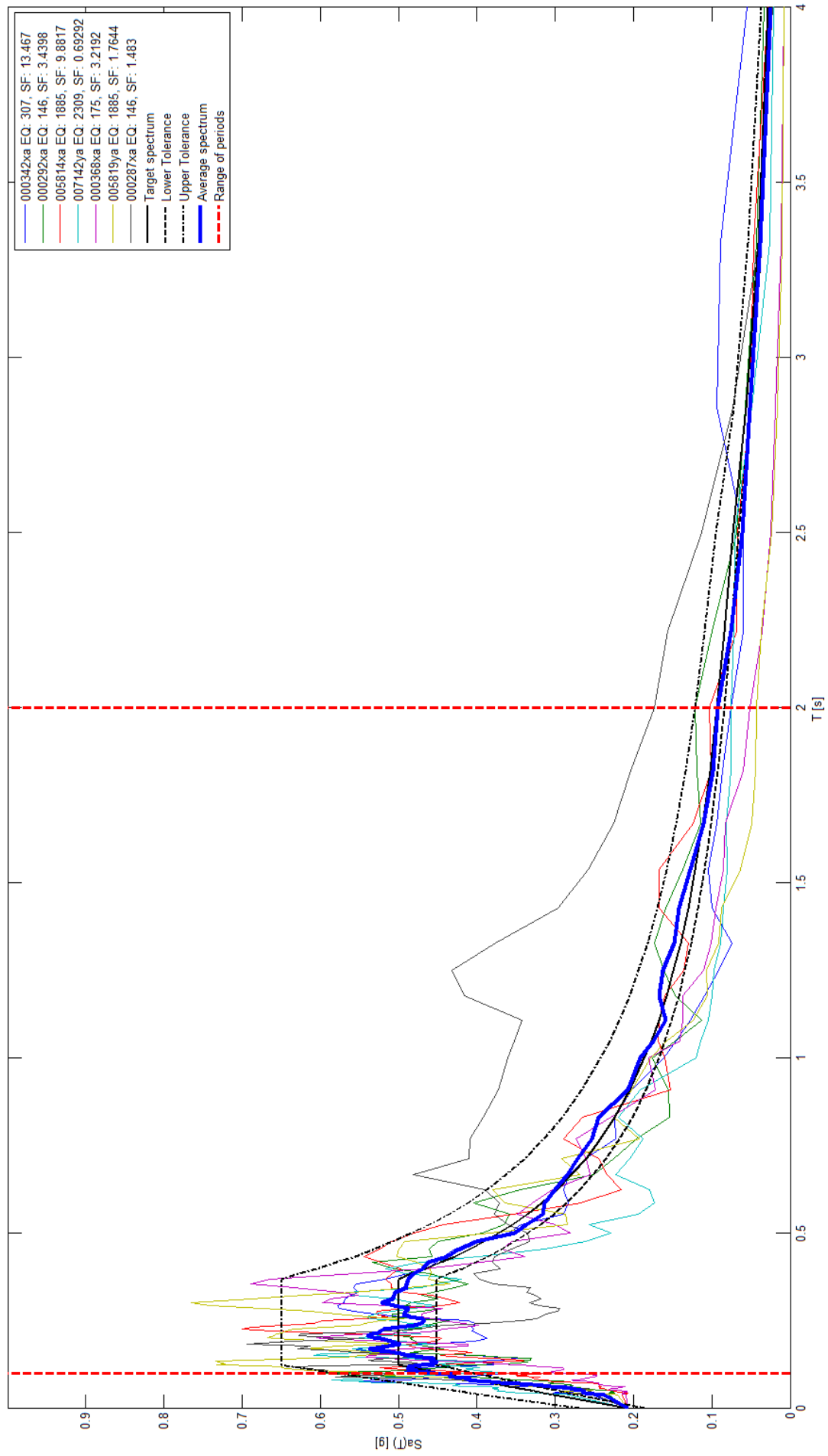
Questo software permette l'estrazione di accelerogrammi di input naturali per applicazioni ingegneristiche da più banche dati, quali la banca dati europea (ESD) e la banca dati italiana (ITACA).

Il codice consente la selezione dando all'utente la possibilità di: definire automaticamente, per qualunque luogo sul territorio nazionale, lo spettro di normativa (spettro target) dalle coordinate geografiche del sito, dalla geologia locale, dallo stato limite in esame, dalla vita nominale e classe di utilizzo; Ricercare nel database gli spettri che rispondono a una determinata coppia magnitudo e distanza di interesse; specificare la tolleranza con cui lo spettro medio della combinazione deve rispettare il target nell'intervallo di periodi interesse assegnato, che può essere uno qualunque tra 0 sec e 4 sec. Il codice consente di effettuare analisi mirate a ottenere combinazioni di accelerogrammi compatibili con lo spettro che non necessitano di essere scalati, ma anche set di accelerogrammi che essendo stati normalizzati rispetto alla propria PGA sono compatibili con lo spettro se scalati linearmente il che, come dimostrato in Iervolino et al. (2008) e negli altri riferimenti in esso contenuti, consente di ottenere combinazioni i cui spettri sono simili rispetto a quello di normativa e quindi più raccolti attorno ad esso. Il programma analizza tutte le combinazioni di sette spettri definite dai parametri dell'input e restituisce una lista (che include tutte le informazioni sui singoli accelerogrammi) di quelle il cui spettro medio rispetta la compatibilità con il target nell'intervallo di periodo prescelto e con la tolleranza prevista. I risultati sono ordinati in modo che all'inizio si trovano le combinazioni che hanno i singoli spettri il meno dispersi possibile secondo i parametri di deviazione definiti in Iervolino et al. (2008).

I risultati (file degli accelerogrammi e relativi spettri di risposta) vengono forniti in file ASCII e con unità di misura in m/sec^2 .



Combination no. 1, $SF_{mean} = 4.8497$



2.3 PROCEDURA DI CALCOLO ANALISI NUMERICA DI III LIVELLO

Nel presente lavoro è stato utilizzato il codice di calcolo RSL della GeoStru (Nr. Lic. 5747704646556A66656F585975694F73463149746244367830345549576E7971446B562F5034374441476B41).

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

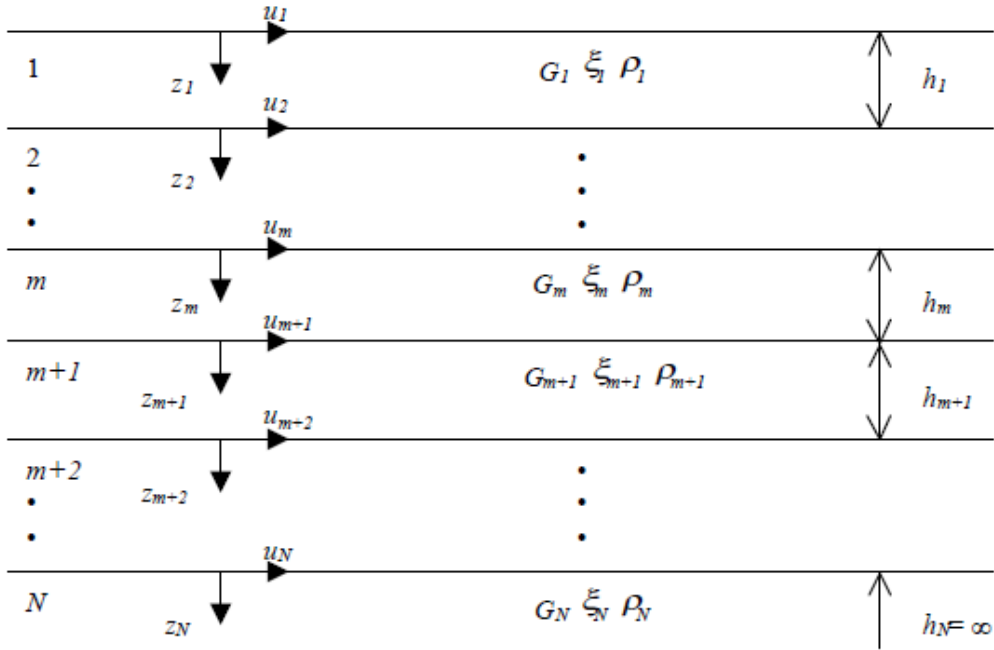
$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

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:

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



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:

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

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

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

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_me^{ik_m^*h_m} + F_me^{-ik_m^*h_m} \quad (13)$$

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

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

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

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

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

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 :

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

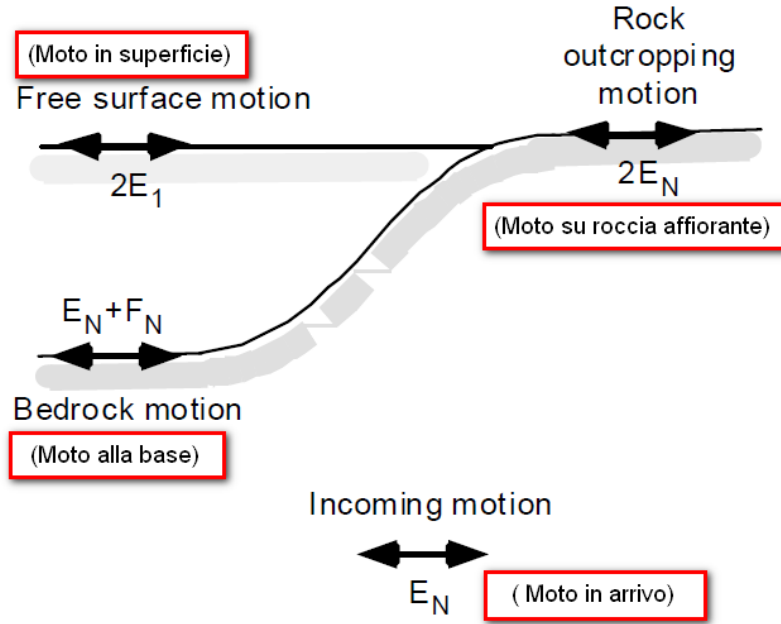
La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità z e al tempo t dalla relazione:

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

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.



Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad E_N ; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a $E_N + F_N$. Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ($E_N = F_N$), il moto avrà ampiezza pari a $2E_N$. La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

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

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

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

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

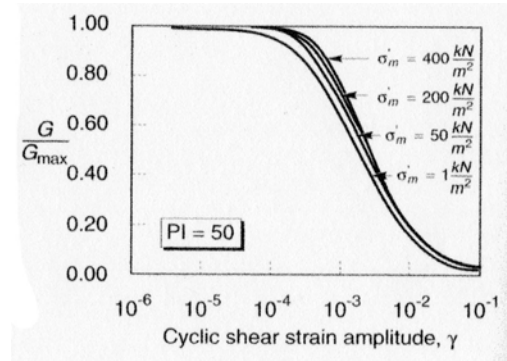
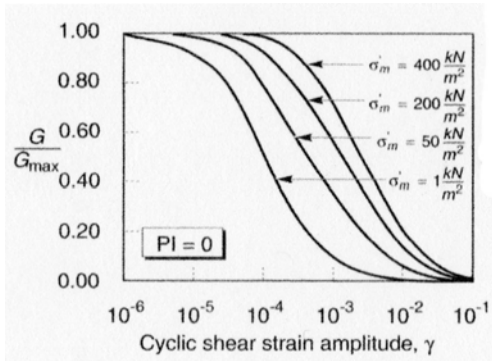
$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145 PI^{1.3}) \quad (26)$$

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

dove G_{max} è dato dalla relazione

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

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

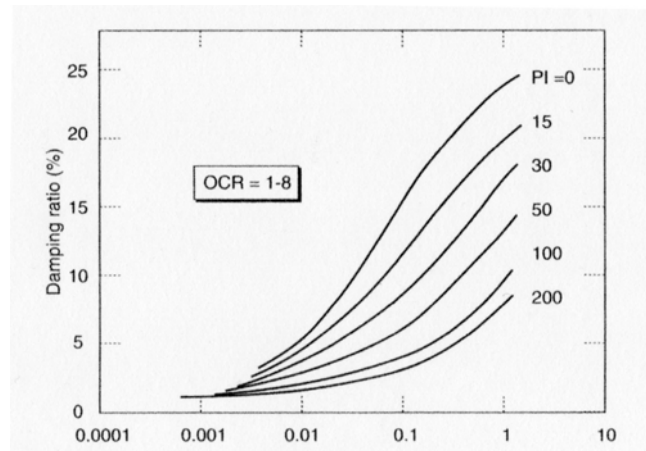


Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

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

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

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



Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

2.4 RISULTATI DELL'ANALISI DI III LIVELLO

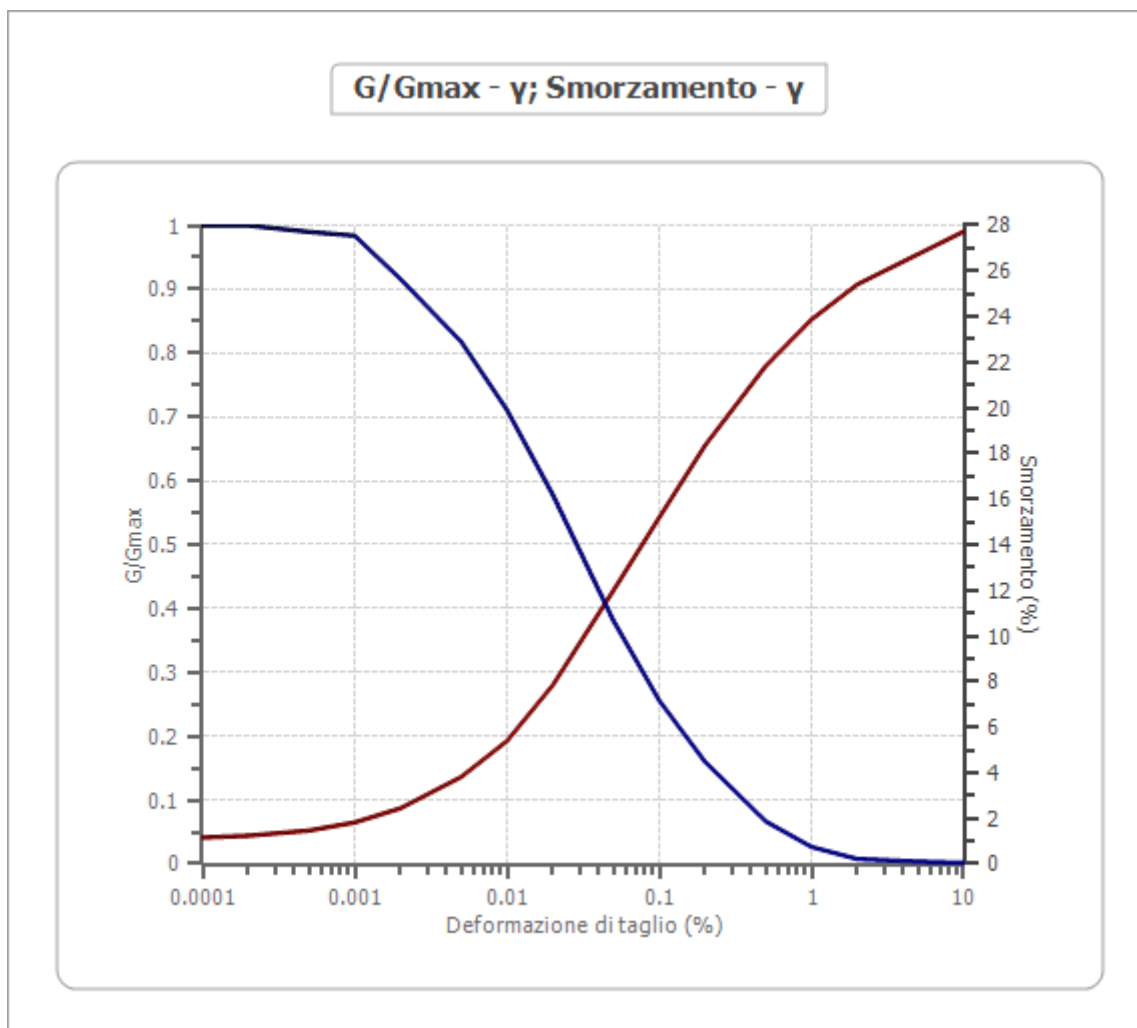
La colonna di terreno utilizzata per le simulazioni, riferita al piano fondale, è suddivisa in quattro sismostrati definiti a partire dal modello ottenuto dall'indagine MASW.

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Gmax [MPa]	Peso unità vol. [kN/m ³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	Sismostrato 1	--	9.2	Smorzamento costante	68.35	18.0	193.0	37.7
2	Sismostrato 2	9.2	17.8	Smorzamento costante	228.90	21.0	327.0	262.2
3	Sismostrato 3	oo	--	Smorzamento costante	878.82	22.0	626.0	449.1

Strato con falda: 2

Non essendo state effettuate specifiche indagini di laboratorio per la determinazione delle curve di decadimento del modulo di deformazione a taglio (G) e del coefficiente di smorzamento viscoso sono state adoperate curve sperimentali medie per terreni dello stesso tipo.

In particolare le curve utilizzate per i vari strati sono le seguenti:



Come input sismico sono stati adoperati il set di accelerogrammi spettro compatibili precedentemente individuati. Tutti gli accelerogrammi utilizzati nelle analisi sono stati scalati al valore di PGA atteso al sito in riferimento ad ogni stato limite considerato, ciò in accordo con la classificazione sismica del territorio nazionale fissata dalla NTC2008. La procedura di calcolo adoperata è quella monodimensionale (RSL).

La stratigrafia del sito con associati i parametri elasto dinamici determina un'amplificazione del segnale accelsemetrico dal bedrock alla superficie, con riferimento al piano campagna, esprimibile, mediante la funzione di amplificazione che esprime il fattore amplificativo associato alle varie frequenze da cui è composto il segnale accelerometrico.

Applicando la funzione amplificazione relativa alla stratigrafia dal bedrock al piano fondale, al set di accelerogrammi riferiti al bedrock, ottenuti in precedenza, si ottiene il set di accelerogrammi scalati alla superficie, riferita come piano fondale dell'edificio, (nello specifico: 7 accelerogrammi riferiti alla componente orizzontale per ogni stato limite considerato). Relativamente al set di accelerogrammi scalati in superficie, inoltre, è stato ricavato lo spettro di risposta elastico medio per il confronto con il relativo spettro di risposta della normativa NTC2008.

Elaborazione

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	--

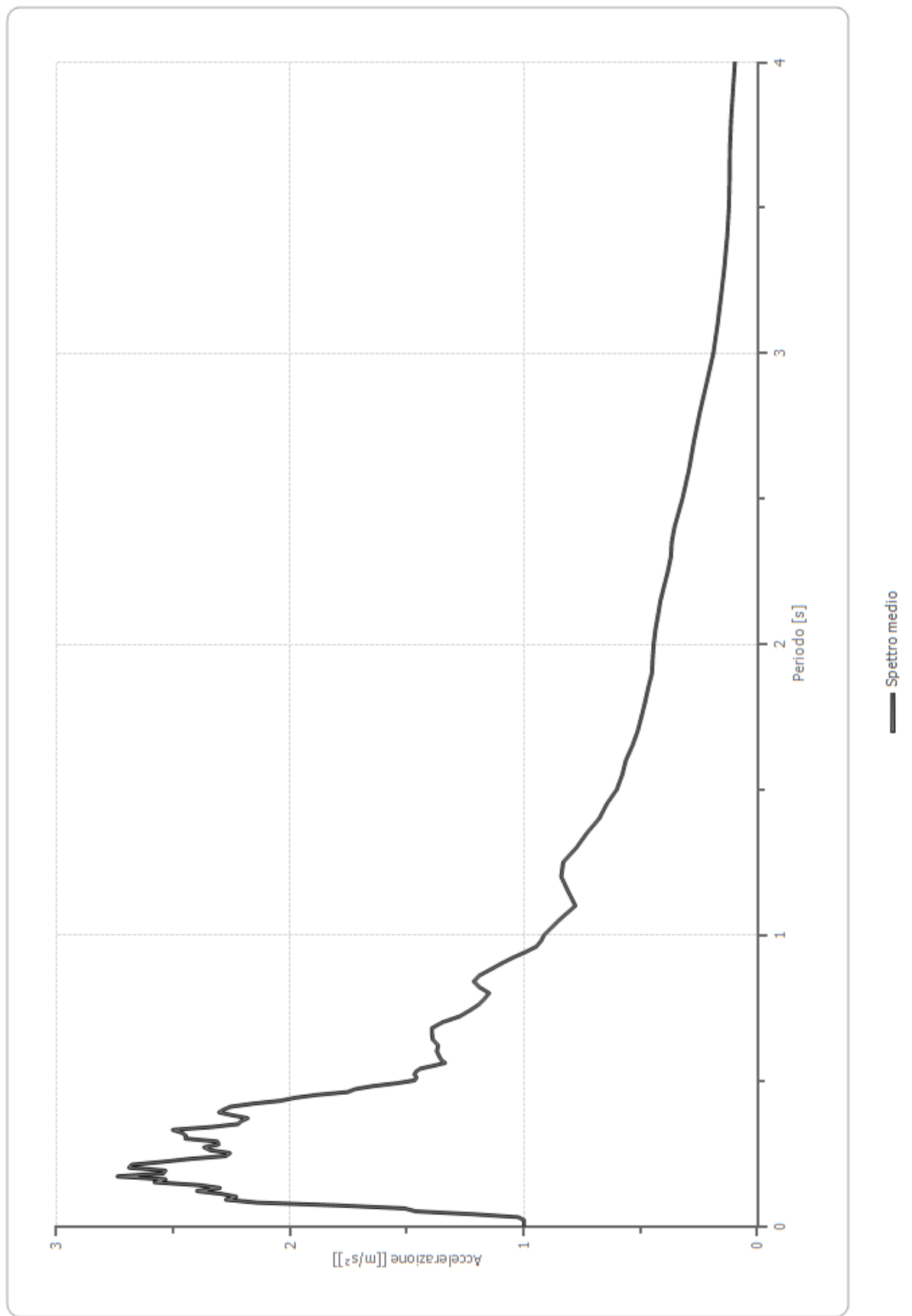
Fattori di amplificazione

Tai	0.170 [s]
Tvi	1.300 [s]
Tao	0.170 [s]
Tvo	1.300 [s]
Sami	2.453 [m/s ²]
Svmi	0.168 [m/s]
Samo	2.453 [m/s ²]
Svmo	0.168 [m/s]
Fa	1.000 [-]
Fv	1.000 [-]
TB	0.143 [s]
TC	0.429 [s]
TD	2.848 [s]
SA(0)	1.000 [m/s ²]
SA(TB)	2.453 [m/s ²]

Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelera- zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera- zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera- zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera- zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera- zione [m/s ²]
0.00	0.9996	0.26	2.3419	0.52	1.4685	0.98	0.9260	2.25	0.3833
0.01	0.9999	0.27	2.3677	0.53	1.4618	1.00	0.9132	2.30	0.3707
0.02	0.9997	0.28	2.3067	0.54	1.4444	1.05	0.8505	2.35	0.3670
0.03	1.0242	0.29	2.3119	0.55	1.3892	1.10	0.7793	2.40	0.3558
0.04	1.2155	0.30	2.4484	0.56	1.3367	1.15	0.8107	2.50	0.3209
0.05	1.4635	0.31	2.4467	0.57	1.3527	1.20	0.8400	2.60	0.2929
0.06	1.5091	0.32	2.4633	0.58	1.3605	1.25	0.8316	2.70	0.2712
0.07	1.7880	0.33	2.5023	0.60	1.3725	1.30	0.7750	2.80	0.2458
0.08	2.1408	0.34	2.3313	0.62	1.3666	1.35	0.7301	2.90	0.2165
0.09	2.2750	0.35	2.2227	0.64	1.3898	1.40	0.6774	3.00	0.1888
0.10	2.2308	0.36	2.2105	0.66	1.3933	1.45	0.6451	3.10	0.1706
0.11	2.2939	0.37	2.1822	0.68	1.3933	1.50	0.6020	3.20	0.1550
0.12	2.3984	0.38	2.2461	0.70	1.3477	1.55	0.5792	3.30	0.1409
0.13	2.3011	0.39	2.3051	0.72	1.2743	1.60	0.5634	3.40	0.1298
0.14	2.3903	0.40	2.2834	0.74	1.2320	1.65	0.5357	3.50	0.1224
0.15	2.5805	0.41	2.2532	0.76	1.1940	1.70	0.5132	3.60	0.1193
0.16	2.5336	0.42	2.1597	0.78	1.1692	1.75	0.4966	3.70	0.1182
0.17	2.7390	0.43	2.0426	0.80	1.1486	1.80	0.4811	3.80	0.1131
0.18	2.5436	0.44	1.9823	0.82	1.1901	1.85	0.4674	3.90	0.1051
0.19	2.5340	0.45	1.8886	0.84	1.2146	1.90	0.4517	4.00	0.0967
0.20	2.6897	0.46	1.7541	0.86	1.1909	1.95	0.4487		
0.21	2.6788	0.47	1.7218	0.88	1.1452	2.00	0.4443		
0.22	2.5458	0.48	1.6494	0.90	1.1002	2.05	0.4367		
0.23	2.4318	0.49	1.5460	0.92	1.0518	2.10	0.4254		
0.24	2.2766	0.50	1.4679	0.94	0.9963	2.15	0.4150		
0.25	2.2574	0.51	1.4591	0.96	0.9458	2.20	0.3994		

Spettro di accelerazione



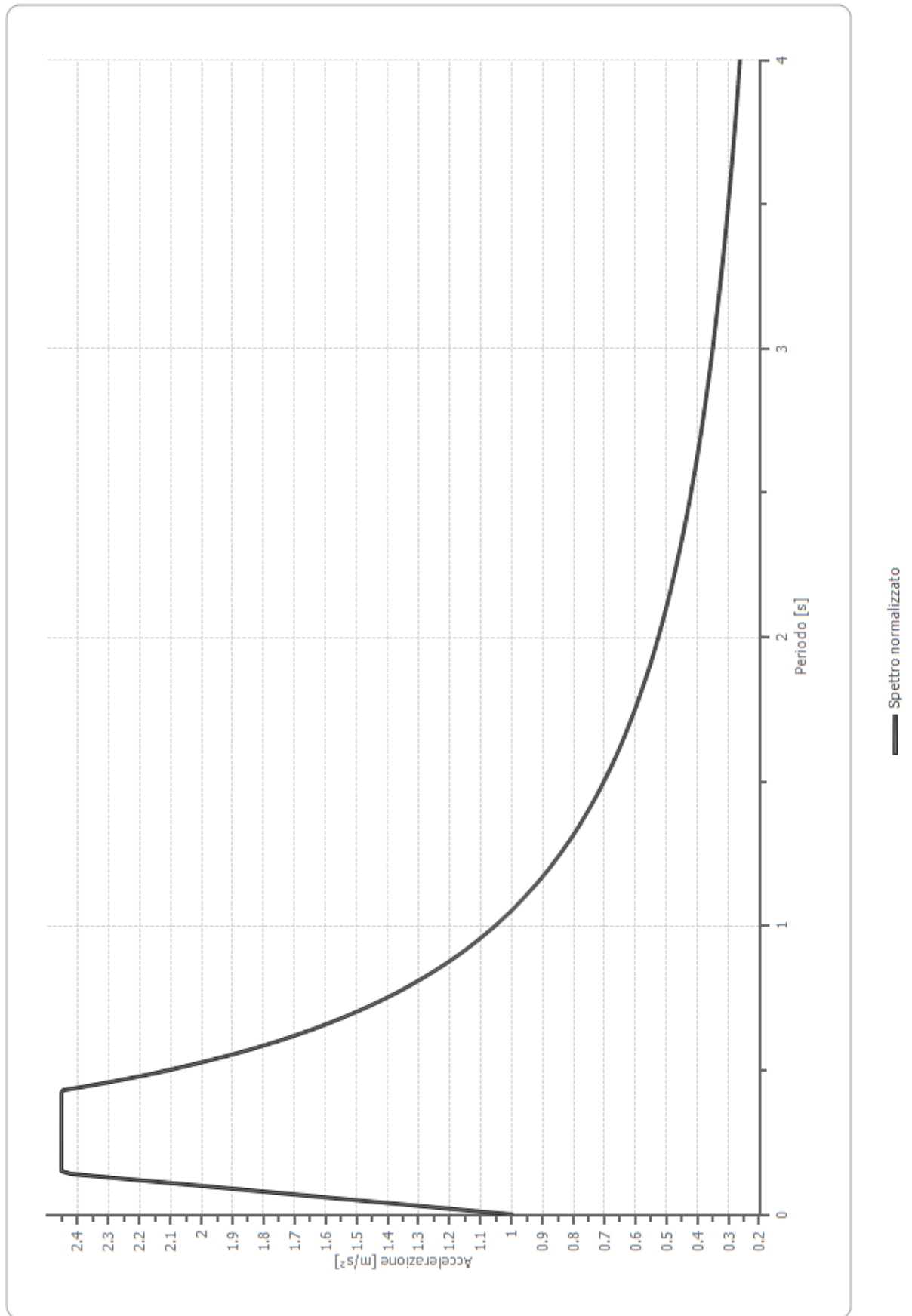
Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]	Periodo [s]	Accelera zione [m/s ²]
0.00	0.9996	0.26	2.4526	0.52	2.0243	0.98	1.0741	2.25	0.4678
0.01	1.1012	0.27	2.4526	0.53	1.9862	1.00	1.0527	2.30	0.4577
0.02	1.2028	0.28	2.4526	0.54	1.9494	1.05	1.0025	2.35	0.4479
0.03	1.3043	0.29	2.4526	0.55	1.9139	1.10	0.9570	2.40	0.4386
0.04	1.4059	0.30	2.4526	0.56	1.8797	1.15	0.9154	2.50	0.4211
0.05	1.5074	0.31	2.4526	0.57	1.8468	1.20	0.8772	2.60	0.4049
0.06	1.6090	0.32	2.4526	0.58	1.8149	1.25	0.8421	2.70	0.3899
0.07	1.7105	0.33	2.4526	0.60	1.7544	1.30	0.8097	2.80	0.3759
0.08	1.8121	0.34	2.4526	0.62	1.6978	1.35	0.7797	2.90	0.3630
0.09	1.9137	0.35	2.4526	0.64	1.6448	1.40	0.7519	3.00	0.3509
0.10	2.0152	0.36	2.4526	0.66	1.5949	1.45	0.7260	3.10	0.3396
0.11	2.1168	0.37	2.4526	0.68	1.5480	1.50	0.7018	3.20	0.3290
0.12	2.2183	0.38	2.4526	0.70	1.5038	1.55	0.6791	3.30	0.3190
0.13	2.3199	0.39	2.4526	0.72	1.4620	1.60	0.6579	3.40	0.3096
0.14	2.4214	0.40	2.4526	0.74	1.4225	1.65	0.6380	3.50	0.3008
0.15	2.4526	0.41	2.4526	0.76	1.3851	1.70	0.6192	3.60	0.2924
0.16	2.4526	0.42	2.4526	0.78	1.3496	1.75	0.6015	3.70	0.2845
0.17	2.4526	0.43	2.4480	0.80	1.3158	1.80	0.5848	3.80	0.2770
0.18	2.4526	0.44	2.3924	0.82	1.2837	1.85	0.5690	3.90	0.2699
0.19	2.4526	0.45	2.3392	0.84	1.2532	1.90	0.5540	4.00	0.2632
0.20	2.4526	0.46	2.2884	0.86	1.2240	1.95	0.5398		
0.21	2.4526	0.47	2.2397	0.88	1.1962	2.00	0.5263		
0.22	2.4526	0.48	2.1930	0.90	1.1696	2.05	0.5135		
0.23	2.4526	0.49	2.1483	0.92	1.1442	2.10	0.5013		
0.24	2.4526	0.50	2.1053	0.94	1.1199	2.15	0.4896		
0.25	2.4526	0.51	2.0640	0.96	1.0965	2.20	0.4785		

Parametri spettro normalizzato

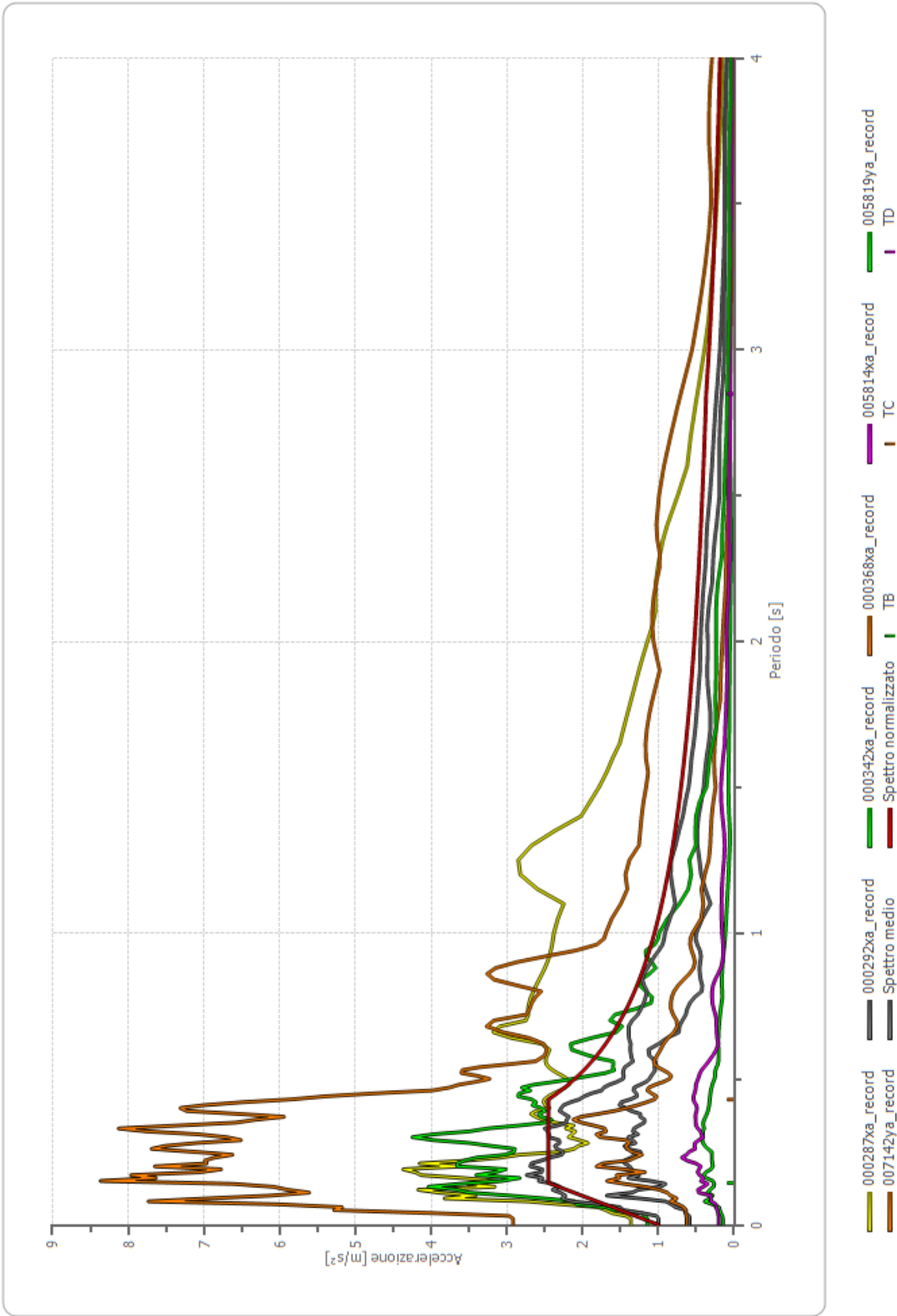
Ag [m/s ²]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s ²]	Se(TB) [m/s ²]
1.000	2.453	0.429	0.143	0.429	2.848	1.000	2.453

Spettro di accelerazione



Confronto tra gli spettri

Spettro di accelerazione assoluta

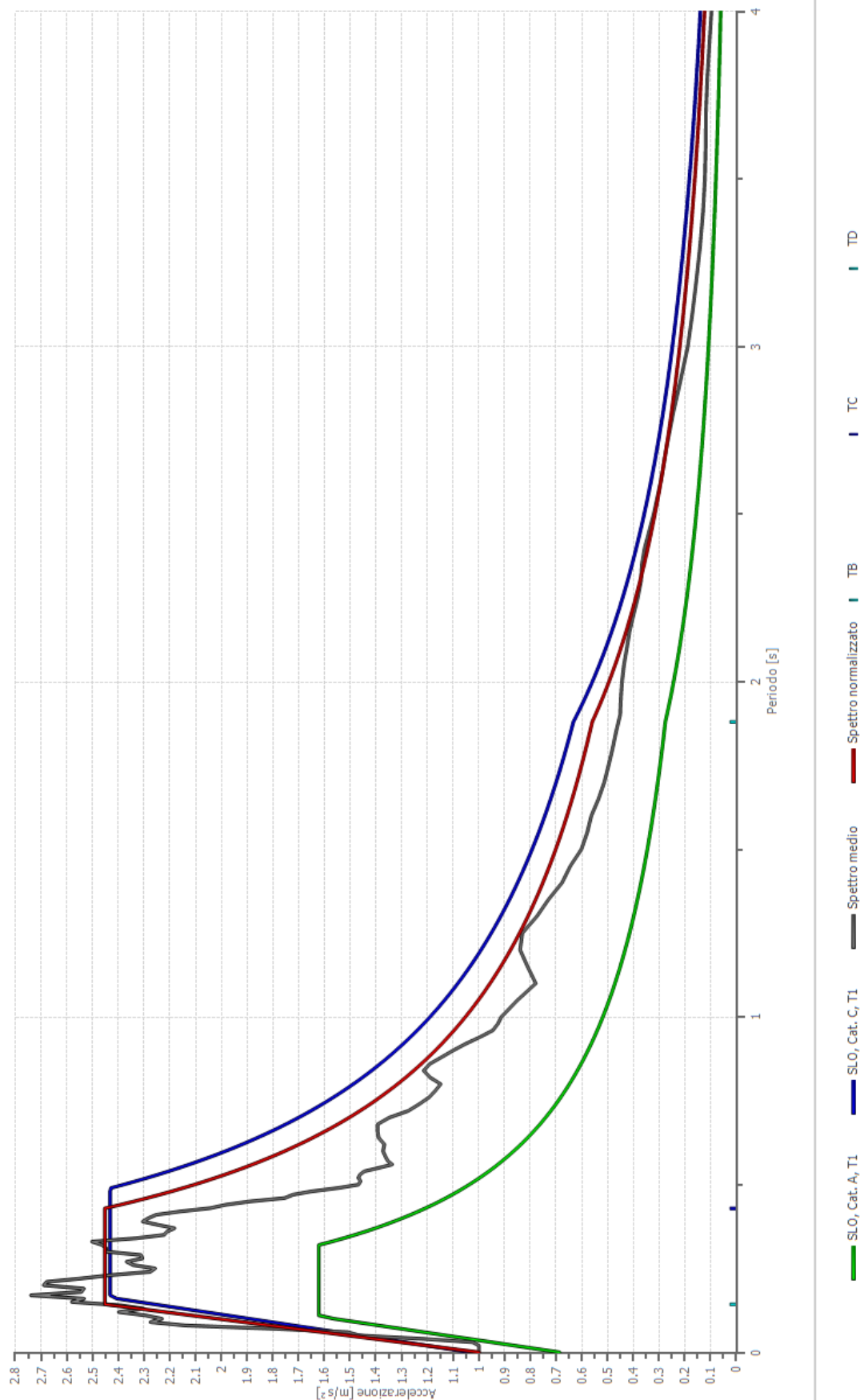


Confronto spettro normativa

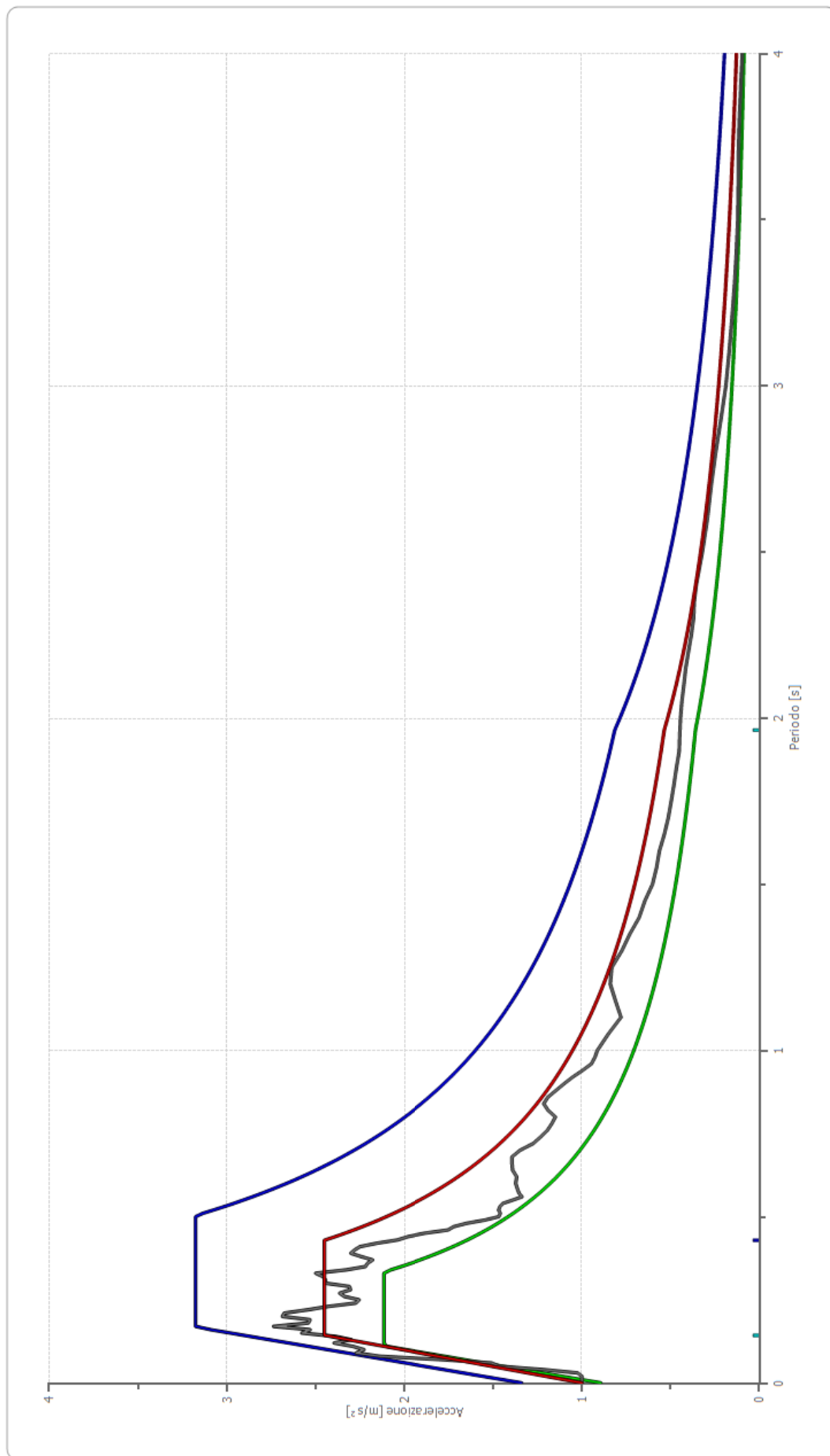
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguar dia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguar dia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C
Tr [anni]	68	113	1068	2193	68	113	1068	2193
ag [m/s ²]	0.687	0.893	2.354	3.061	0.687	0.893	2.354	3.061
Fo	2.36	2.372	2.454	2.492	2.36	2.372	2.454	2.492
Tc* [s]	0.32	0.334	0.379	0.392	0.32	0.334	0.379	0.392
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50	1.35	1.23
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	1.53	1.51	1.45	1.43
TB [s]	0.107	0.111	0.126	0.131	0.163	0.168	0.183	0.187
TC [s]	0.320	0.334	0.379	0.392	0.489	0.504	0.548	0.561
TD [s]	1.880	1.964	2.560	2.848	1.880	1.964	2.560	2.848
Se(0) [m/s ²]	0.687	0.893	2.354	3.061	1.031	1.340	3.170	3.776
Se(TB) [m/s ²]	1.621	2.118	5.777	7.628	2.432	3.177	7.779	9.409

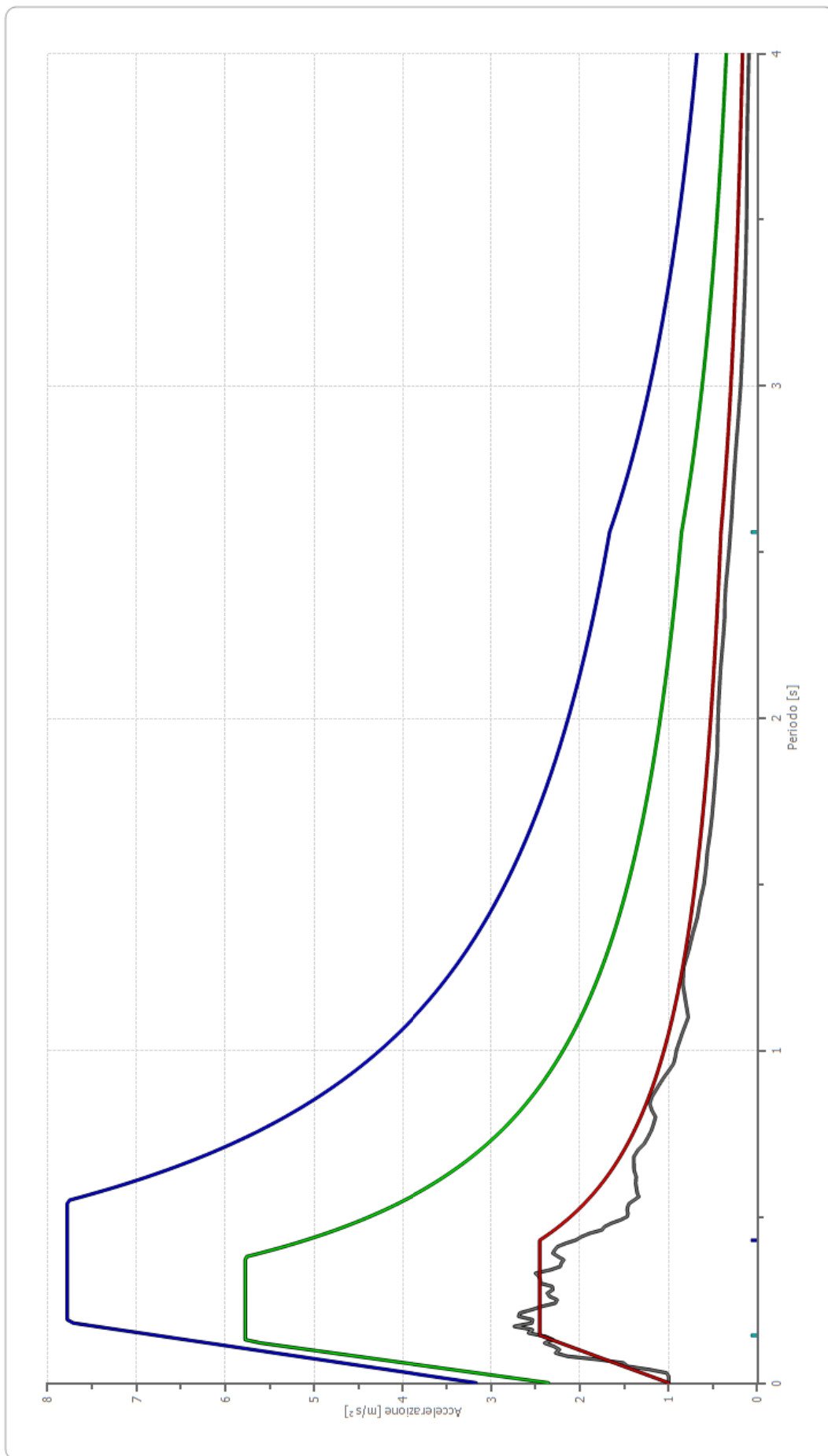
Confronto spettri elastici



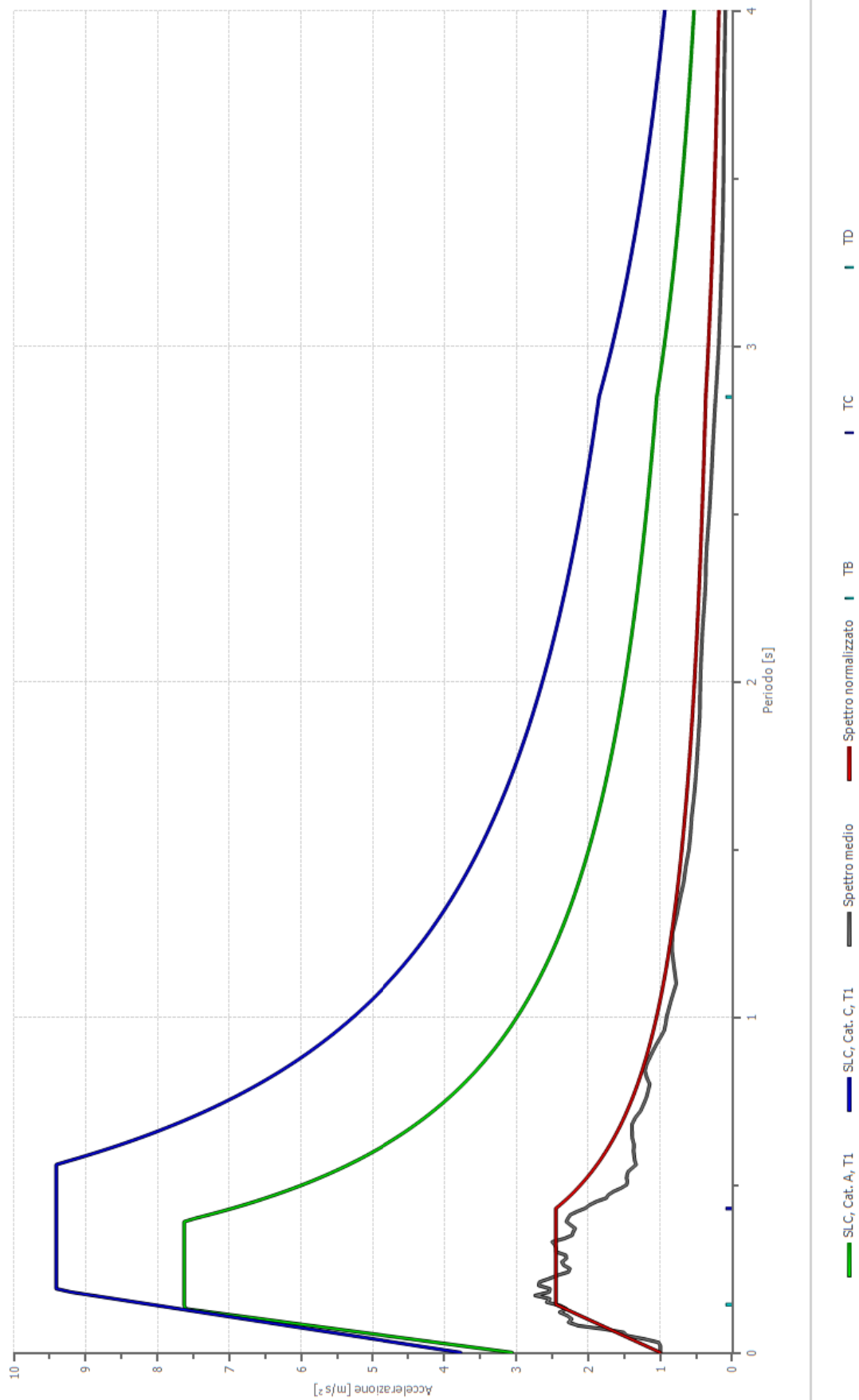
Confronto spettri elastici



Confronto spettri elastici



Confronto spettri elastici



Profilo a max

	0.0 [m]	7.9 [m]	21.4 [m]
000287xa_record [m/s ²]	44.759	19.141	14.236
000292xa_record [m/s ²]	8.701	4.198	2.987
000342xa_record [m/s ²]	1.826	1.119	0.694
000368xa_record [m/s ²]	5.073	2.417	1.624
005814xa_record [m/s ²]	4.352	1.641	1.312
005819ya_record [m/s ²]	53.304	28.418	18.586
007142ya_record [m/s ²]	84.526	47.981	29.635
media [m/s ²]	28.935	14.988	9.868
Dev. St. [m/s ²]	32.282	17.940	11.243

3 VALUTAZIONI CONCLUSIVE

Al passaggio dal tetto dei depositi rigidi (Bedrock sismico) alla superficie dei depositi di copertura, le onde sismiche interagiscono con i terreni producendo, in funzione di specifiche condizioni locali, fenomeni di amplificazione del moto sismico che condizionano la Risposta Simica Locale.

Per poter valutare la risposta sismica locale si è fatto riferimento a due diverse metodologie di calcolo, applicate allo stesso sito, al fine di confrontare numericamente i risultati ottenuti.

In particolare la risposta sismica locale è stata determinata secondo l'approccio semplificato così come indicato dalle NTC2008 (livello I) e con un'analisi numerica (livello III).

L'analisi dei risultati ottenuti, schematizzati nelle figure precedenti, indica che, per tutti i periodi e per gli stati limite considerati lo spettro di normativa NTC 2008 (Categoria di sottosuolo C e Categoria topografica T1) risulta più cautelativo rispetto allo spettro a probabilità uniforme derivato dal set di accelerogrammi dell'analisi numerica di III livello (Categoria di sottosuolo A e Categoria topografica T1).

Per le verifiche sismiche da effettuare e per i dati numerici da inserire nel Sistema Informatico – Edilizia Regione Calabria SI-ERC, vengono forniti i file degli accelerogrammi al bedrock ed in superficie con le specifiche tecniche richieste dal sistema (file ASCII nel formato: nomefile.txt).

Isola di Capo Rizzuto, 08.08.2015

IL TECNICO
Dott. Geologo Eliseo Scerbo



OGGETTO DEI LAVORI: Rapporto di Prova MASW

COMMITTENTE: Dott. Geologo Eliseo Scerbo

Progetto: Realizzazione di un campo di calcio a 5 outdoor
“Dodò Gabriele” nel Comune di Crotone



PREMESSA

Su incarico ricevuto da parte del committente Dott. Geologo Eliseo Scerbo è stata eseguita una indagine sismica di tipo MASW a supporto dei lavori per la realizzazione di un campo di calcio a 5 outdoor "Dodò Gabriele" nel Comune di Crotone

La campagna di indagine ha previsto l'esecuzione di n° 01 stendimento sismico denominato S1 di lunghezza pari a 24 m.

1. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La strumentazione utilizzata è costituita da:

- sismografo Ambrogeo Echo 12-24/2002 - 24 canali – 16/24 bit che permette l'acquisizione e rappresentazione degli impulsi sismici su PC consentendo una prima operazione di filtraggio e taratura dei dati in sito; i segnali sismici ottenuti vengono registrati simultaneamente sul disco fisso del PC. Inoltre, lo strumento è dotato di sistema di controllo analogico/digitale dei guadagni con funzione di sommatoria dei segnali sismici che consente di ottimizzare il rapporto segnale-rumore;
- geofoni 4.5 Hz verticali del tipo elettromagnetico a bobina mobile (con relativo cavo di collegamento a 24 connettori) che consentono di convertire in segnali elettrici gli spostamenti delle onde sismiche all'interno del terreno;
- cavi sismici ad attacco multipolare muniti di connettori CANNON 27 poli;
- unità esterna di immagazzinamento e memorizzazione dati che permette la verifica dei segnali in situ con possibilità di eventuale trattamento e filtraggio dati

L' "energizzazione" delle onde nel terreno, è stata realizzata mediante massa battente del peso di 8 kg su apposita piastra metallica opportunamente collocata sullo stesso.

Il software di acquisizione e interfaccia dati utilizzato durante l'esecuzione degli stendimenti sismici è AMBROGEO ECHO 24/2002 vers. Sept. 2005

3. INDAGINI MASW E CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI

Per l'esecuzione dello stendimento sono stati utilizzati 24 geofoni con passo 1.00 metri per un totale di 24 metri lineari con quattro offset complessivi rispettivamente posti a ± 1 e ± 2 metri.

Le Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC 14 gennaio 2008), la normativa tecnica europea gli Eurocodici EC 7 e EC 8 e le più avanzate normative internazionali disciplinano la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche e la valutazione della sicurezza e degli interventi di adeguamento su edifici soggetti al medesimo tipo di azioni.

Il profilo delle onde di taglio Vs nei primi 30 m di profondità risulta pertanto necessario per:

valutare l'azione sismica di progetto al livello delle fondazioni di qualunque struttura

valutare il rischio di liquefazione del terreno in sito

valutare rischi di instabilità dei pendii e/o delle opere di sostegno

Il parametro VS30 è il parametro geofisico che rappresenta meglio la variabilità geotecnica dei materiali geologici presenti nel sottosuolo: rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S entro 30 metri di profondità.

È calcolato mediante la seguente espressione

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

Dove:

V_i : velocità delle onde S dello strato i-esimo

h_i : spessore in metri dello strato i-esimo

N: numero di strati presenti nei primi 30 metri

La tecnica MASW può essere schematizzata in tre punti:

- acquisizione dei dati di campo: utilizzo di una sorgente attiva per l'energizzazione, acquisizione dei dati con comuni geofoni a componente verticale particolarmente sensibili alle basse frequenze, geofoni da 4.5 Hz, registrazione simultanea di 12 o più canali.
- determinazione della Curva di Dispersione (valutazione dello spettro di velocità);
- inversione della curva di dispersione interpretata per ottenere il profilo verticale delle Vs che descrive la variazione di Vs con la profondità.

Nelle pagine seguenti si riportano i tabulati ed i grafici della stesa MASW eseguita.

CONCLUSIONI

Dai valori delle velocità di propagazione delle onde sismiche e considerando i risultati delle stese MASW, emerge che il sottosuolo dell'area indagata è così costituito (si riporta di seguito una tabella riassuntiva):

STESA SISMICA S1

STESA SISMICA	STRATO	Velocità Media delle Onde Sismiche Secondarie m/sec	SPESSORE – metri - litologia
S1	1 (BASSO GRADO DI CONSISTENZA + SPESSORE RIDOTTO DI ALTERAZIONE)	193.45	<u>9.23</u> - litotipi di bassa consistenza
S1	2 (MEDIO-BUONO GRADO DI CONSISTENZA)	327.48	<u>17.77</u> - litotipi di media consistenza
S1	1 (MEDIO-ALTO GRADO DI CONSISTENZA + SPESSORE RIDOTTO DI ALTERAZIONE)	626.31	<u>≥3.00</u> - litotipi di medio/alta consistenza

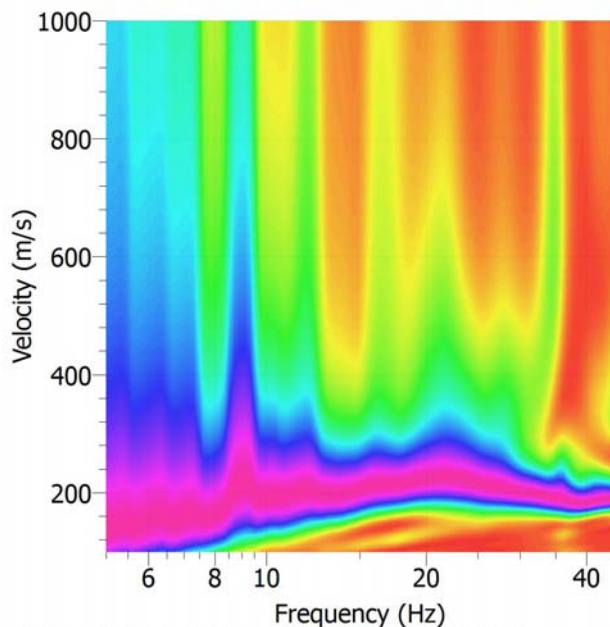
STESA SISMICA MASW	<u>Vs30(m/sec)</u>	Possibile tipo di Suolo	DESCRIZIONE GEOTECNICA
S1	280.99	c	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media rigidezza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs30 compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N \text{ SPT} < 50$, $70 < c_u < 250 \text{ kPa}$).

Isola di Capo Rizzuto(KR), Luglio 2105

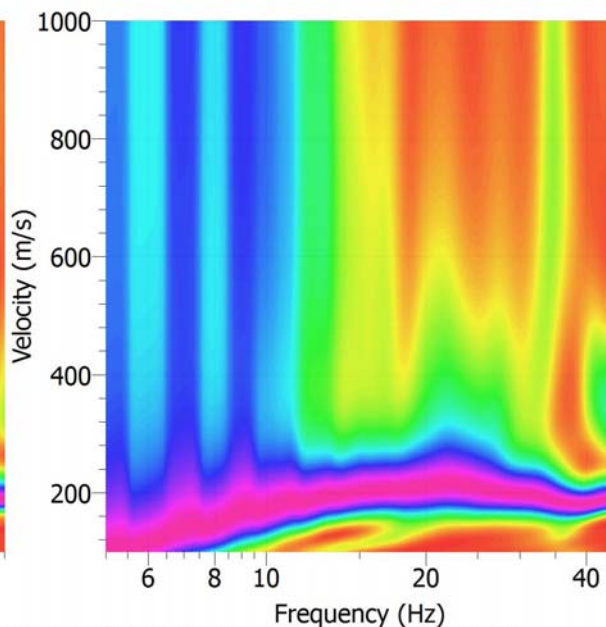
Geomat snc

**CURVE DI DISPERSIONE RELATIVE AI SEGNALI OTTENUTI DALLE DIVERSE CONFIGURAZIONI
DI ENERGIZZAZIONE (SCOPPI)
STENDIMENTO MASW S1**

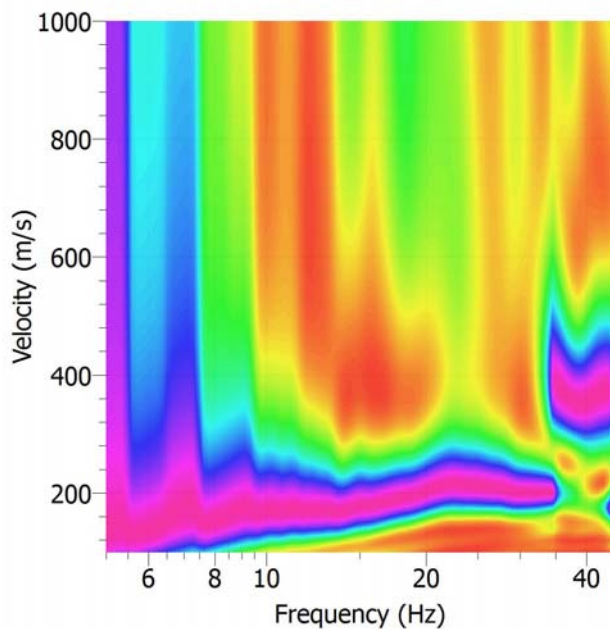
Shot at (-2, 0, 0), time=2015-07-22 12:12:47



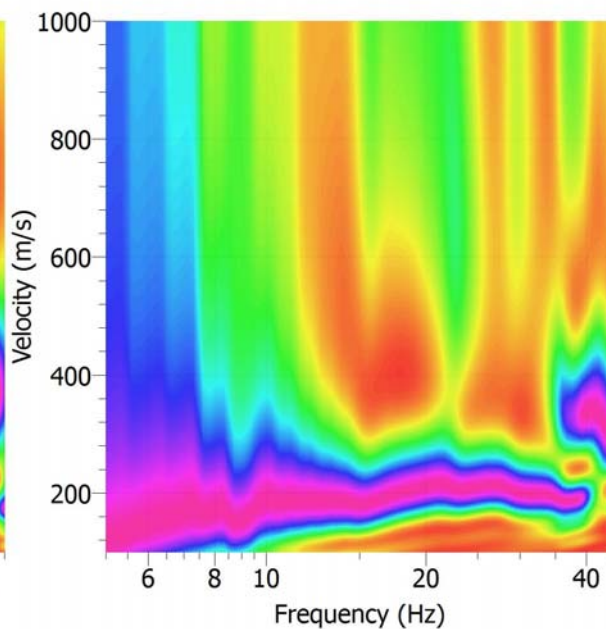
Shot at (-1, 0, 0), time=2015-07-22 12:12:35



Shot at (24, 0, 0), time=2015-07-22 10:12:07



Shot at (25, 0, 0), time=2015-07-22 10:12:18



PROFILO VERTICALE DELLE VELOCITA' OTTENUTE DALL'INTERPRETAZIONE DELLE CURVE SOPRASTANTI

STENDIMENTO MASW S1

