



# COMUNE DI PATERNO CALABRO

Provincia di Cosenza

REGIONE



CALABRIA

Lavori di "Realizzazione impianto di depurazione a fanghi attivi in loc. Cimini della potenzialità di 1.000 a.e.. Adeguamento funzionale degli impianti di depurazione di loc. Pugliano (pot. 300 a.e.) e loc. Spadolette (pot. 300 a.e.). Realizzazione rete fognaria di parte del centro urbano e collettamento all'impianto di depurazione di Loc. Cimini" - **I° Stralcio funzionale.**



## PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO

Studio geologico

Domicilio fiscale

Via Skanderberg snc

88817 S. Nicola dell'Alto (KR) - Crotone

Tel. 0984/393037

Email: bastapaola2013@gmail.com

PEC: bastapaola@epap.sicurezzapostale.it

Codice: **PD/PE**

**10.05.**

Scala:

Titolo:

**RELAZIONE PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE**

Timbri:



Il Responsabile Unico del Procedimento: Geom. Maurizio Piccolo

Data:

Rev.	Data:	Descrizione revisione	Eseguito:	Controllato:	Approvato:
A					
B					
C					

## Sommario

1. INQUADRAMENTO MACROSISMICO .....	2
2. ANALISI DELLE AMPLIFICAZIONI SISMICHE INDAGINI GEOGNOSTICHE PER LA DEFINIZIONE DEL MODELLO SISMICO LOCALE .....	5
3. CLASSE TOPOGRAFICA .....	20
4. ELABORAZIONE PER LA DEFINIZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	21
4.1. Relazione di calcolo RSL .....	29

# 1. INQUADRAMENTO MACROSISMICO

## *Descrizione dei caratteri sismici e tettonici generali dell'area*

La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Nelle NTC, tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato “periodo di riferimento” VR e la probabilità è denominata “probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” PVR. Ai fini della determinazione delle azioni sismiche di progetto nei modi previsti dalle NTC, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita convenzionalmente facendo riferimento ad un sito rigido (di categoria A) con superficie topografica orizzontale (di categoria T1), in condizioni di campo libero, cioè in assenza di manufatti.

*La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:*

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno TR ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi;

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi chiaramente precisati dalle NTC, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. **Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.**

In particolare, i caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali per la generica PVR (probabilità di superamento nel periodo di superamento Vr):

$a_g$  = accelerazione massima al sito;

$F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_c^*$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

$T_r$  = Tempo di ritorno.

Il punto in esame (che identifica il sito ove sorge la costruzione) può non ricadere in uno dei 10751 punti appartenenti alla maglia considerata nella “pericolosità sismica di base”. Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri  $p(a_g, F_0, T_c^*)$  ad esso corrispondenti possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici, attraverso l'espressione:

nella quale:

$p$  è il valore del parametro di interesse nel punto in esame;

$p_i$  è il valore del parametro di interesse nell' $i$ -esimo vertice della maglia elementare contenente

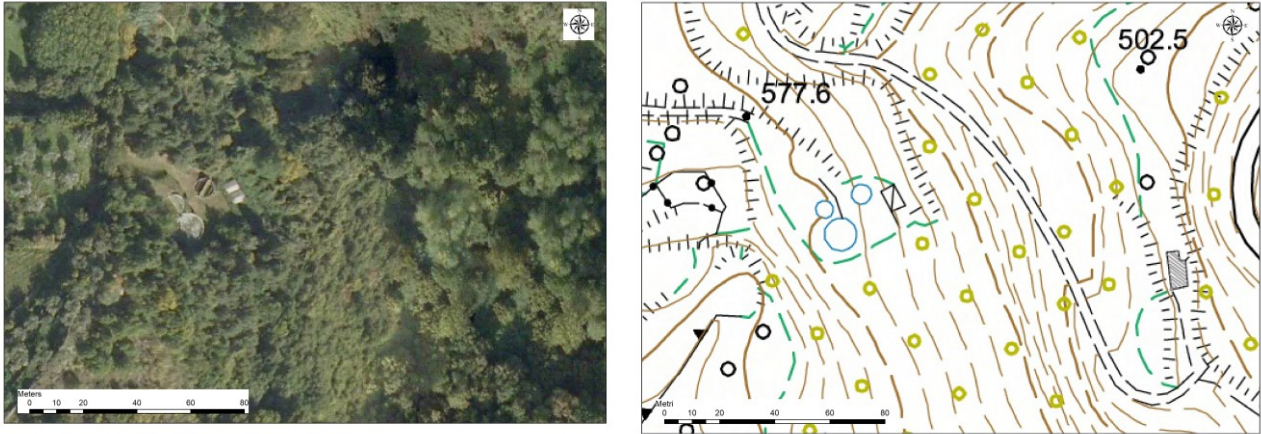
il punto in esame;

$d_i$  è la distanza del punto in esame dall' $i$ -esimo vertice della maglia suddetta.

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}} \quad [3]$$

**Per facilitare le operazioni di valutazione puntuale della pericolosità sismica, sul sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ([www.cslp.it/cslp/index.php](http://www.cslp.it/cslp/index.php)) è stato montato, ed è liberamente scaricabile, il programma “Azioni sismiche - Spettri**

di risposta ver. 1.03”. Il programma effettua tutte le operazioni di interpolazione sia geografica che temporale richieste per la valutazione dell’azione sismica. In tale software l’individuazione della pericolosità sismica per il sito di progetto è stata effettuata inserendo le coordinate geografiche del baricentro dell’area. Il sito non si trova su un nodo della maglia creata dall’ingv per la valutazione della pericolosità sismica. Il software ha proceduto all’interpolazione rispetto ai nodi più vicini identificati dalle sigle 38779, 38780, 39001 e 39002.



Sito in esame.  
latitudine: 39,228790 [°]  
longitudine: 16,272116 [°]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	40114	39,250180	16,263540	2490,5
Sito 2	40115	39,248530	16,327990	5289,0
Sito 3	40337	39,198570	16,325840	5719,7
Sito 4	40336	39,200200	16,261460	3309,0

Figura 1. Inquadramento macrosismico area intervento.

## FASE 1 – INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO

Immissione coordinate

Nodi della maglia INGV

Immissione coordinate

Nodi della maglia INGV

### Per le opere di sostegno

#### Combinazioni SLU

Accelerazione al suolo $a_g$	3.15 [m/s <sup>2</sup> ]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.23
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.20
Coefficiente riduzione ( $\beta_m$ )	0.38
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h = (a_g/g * \beta_m * St * S) = 17.99$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.50 * k_h = 9.00$

#### Combinazioni SLE

Accelerazione al suolo $a_g$	1.14 [m/s <sup>2</sup> ]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.50
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.20
Coefficiente riduzione ( $\beta_m$ )	0.47
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h = (a_g/g * \beta_m * St * S) = 9.86$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.50 * k_h = 4.93$

Per la vasca

PARAMETRI SISMICI			
Vita Nominale (Anni)	50	Classe d' Uso	TERZA
Longitudine Est (Grd)	16,27212	Latitudine Nord (Grd)	39,22879
Categoria Suolo	C	Coeff. Condiz. Topogr.	1,20000
Sistema Costruttivo Dir.1	C.A.	Sistema Costruttivo Dir.2	C.A.
Regolarita' in Altezza	NO(KR=.8)	Regolarita' in Pianta	NO
Direzione Sisma (Grd)	0	Sisma Verticale	ASSENTE
Effetti P/Delta	NO	Quota di Zero Sismico (m)	2,00000
PARAMETRI SPETTRO ELASTICO - SISMA S.L.O.			
Probabilita' Pvr	0,81	Periodo di Ritorno Anni	45,00
Accelerazione Ag/g	0,09	Periodo T'c (sec.)	0,30
Fo	2,28	Fv	0,92
Fattore Stratigrafia'Ss'	1,50	Periodo TB (sec.)	0,16
Periodo TC (sec.)	0,47	Periodo TD (sec.)	1,96
PARAMETRI SPETTRO ELASTICO - SISMA S.L.D.			
Probabilita' Pvr	0,63	Periodo di Ritorno Anni	75,00
Accelerazione Ag/g	0,12	Periodo T'c (sec.)	0,32
Fo	2,30	Fv	1,06
Fattore Stratigrafia Ss'	1,50	Periodo TB (sec.)	0,16
Periodo TC (sec.)	0,49	Periodo TD (sec.)	2,06
PARAMETRI SPETTRO ELASTICO - SISMA S.L.V.			
Probabilita' Pvr	0,10	Periodo di Ritorno Anni	712,00
Accelerazione Ag/g	0,32	Periodo T'c (sec.)	0,39
Fo	2,45	Fv	1,88
Fattore Stratigrafia Ss'	1,23	Periodo TB (sec.)	0,19
Periodo TC (sec.)	0,56	Periodo TD (sec.)	2,89
PARAMETRI SISTEMA COSTRUTTIVO C.A. - DIR. 1			
Classe Duttilita'	MEDIA	Sotto-Sistema Strutturale	Pareti
AlfaU/Alfa1	1,10	Fattore riduttivo KW	0,67
Fattore di comportam 'q'	1,76		
PARAMETRI SISTEMA COSTRUTTIVO C.A. - DIR. 2			
Classe Duttilita'	MEDIA	Sotto-Sistema Strutturale	Pareti
AlfaU/Alfa1	1,10	Fattore riduttivo KW	0,67
Fattore di comportam 'q'	1,76		

## 2. ANALISI DELLE AMPLIFICAZIONI SISMICHE INDAGINI GEOGNOSTICHE PER LA DEFINIZIONE DEL MODELLO SISMICO LOCALE

Il modello sismico è stato definito attraverso l'esecuzione di 2 prova di sismica tipo rifrazione (SIS 1(A-B) - SIS2 (CD) ) ed un prova tipo masw (SUL TRACCIATO SIS 1).

### Caratteristiche della strumentazione utilizzata



Per l'esecuzione dell'indagine sismica a rifrazione e tip Masw è stato impiegato il seguente sistema di acquisizione: Sismografo Pasi, mod. 16S24 (24 canali) a 24 bit; Cavo sismico 12 tracce 130 m intervallo 10 m attacchi singoli; Mazza di battuta kg 8; Prolunghe e materiale d'uso; Geofoni verticale con frequenza propria di 4.5 Hz; Software Geo&Soft *Intersism*, Software Geopsy. L'energizzazione è stata effettuata con l'utilizzo sia della massa battente, poiché in considerazione della lunghezza dello stendimento. L'elaborazione è stata eseguita utilizzando il software *Intersism* della Geo&Soft che attraverso varie fasi ha portato alla costruzione delle sezioni sismostratigrafiche. Definite le caratteristiche geometriche ed altimetriche delle stese

sono stati individuati sui diagrammi a traccia i primi arrivi, fase iniziale dell'elaborazione, integrando manualmente le elaborazioni eseguite dal software tramite la cross correlation e la wavelet analysis. La seconda fase è consistita nel calcolo delle dromocrone, a tal fine sono stati elaborati i dati dalle energizzazioni effettuate con il minibang e con la mazza battente. Successivamente alla



determinazione delle velocità ed alla costruzione delle dromocrone si è passati all'applicazione del Metodo Reciproco Generalizzato per la definizione della geometria dei rifrattori.

### Rilevamento ed interpretazione

#### Ubicazione indagini

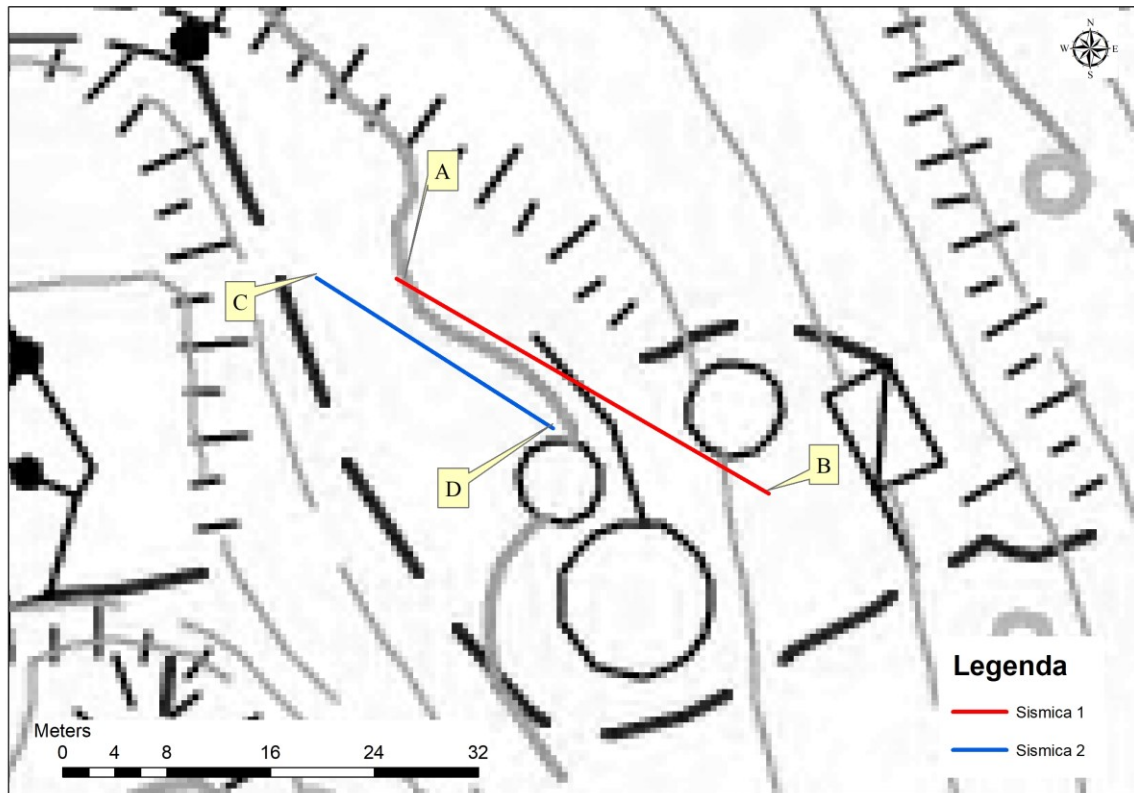


Figura 2. Ubicazione indagini – la stesa MASW è stata eseguita sullo stendimento AB (SIS 1).

#### Modello sismico tipo rifrazione

##### **Easy Refract**

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti.

Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.

Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza  $\theta_i$  mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione  $\theta_r$ . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove  $v_1$  e  $v_2$  sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per  $v_1 > v_2$  si ha che  $\theta_i > \theta_r$  e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per  $v_1 < v_2$  si ha che  $\theta_i < \theta_r$  ed esiste un angolo limite di incidenza per cui  $\theta_r = 90^\circ$  ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione

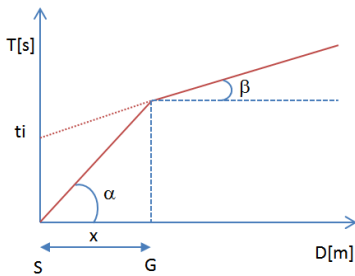
$$T = x_i / V_1$$

dove  $x_i$  è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità  $V_1$  del primo mezzo come

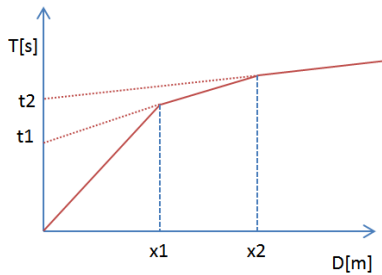
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo  $t_i$  che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.



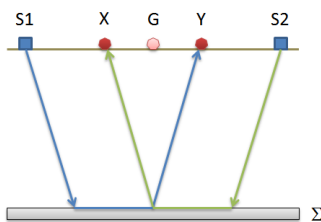
Infine, dalla conoscenza dei tempi  $t_i$  è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)} V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left( t_i - \frac{2h_1 \sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1 V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)} \sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1 V_{(i-2)}} \right)$$

In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

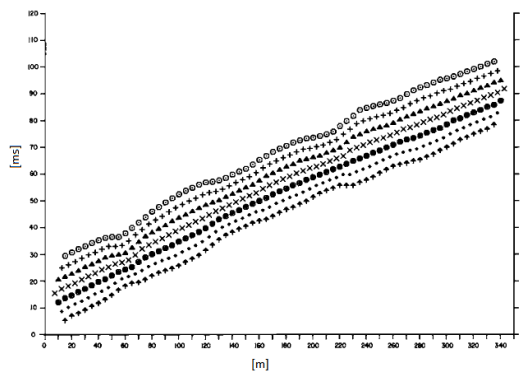
Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.





Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multistrato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantomining per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori. Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare **la funzione velocità** secondo l'equazione

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



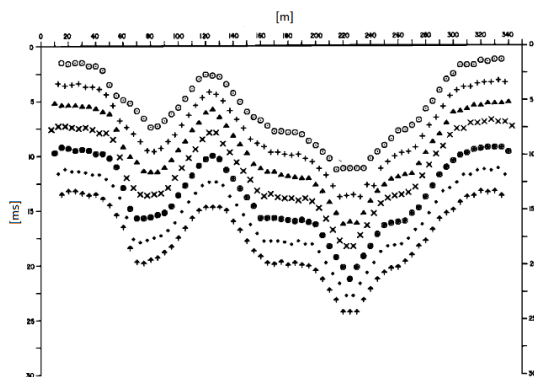
dove  $T_{S_1Y}$  e  $T_{S_2X}$  sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre  $T_{S_1S_2}$  è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento.  $T_v$  è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

Il calcolo della funzione  $T_v$  viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l'XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left( T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove  $V_n$  è la velocità del rifrattore.

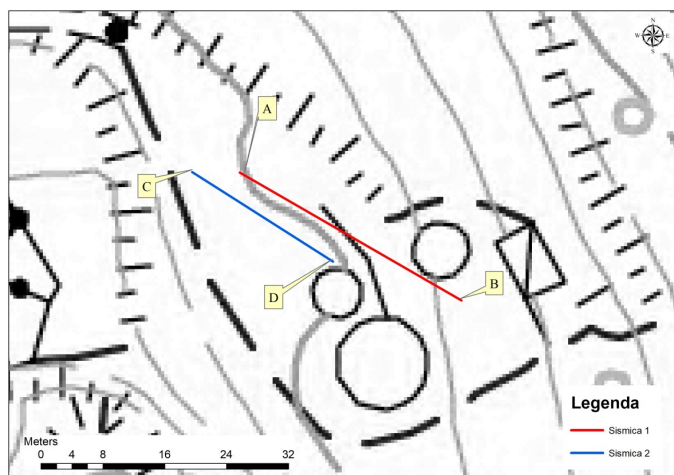


Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo. Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°



### Sezione sismica 1

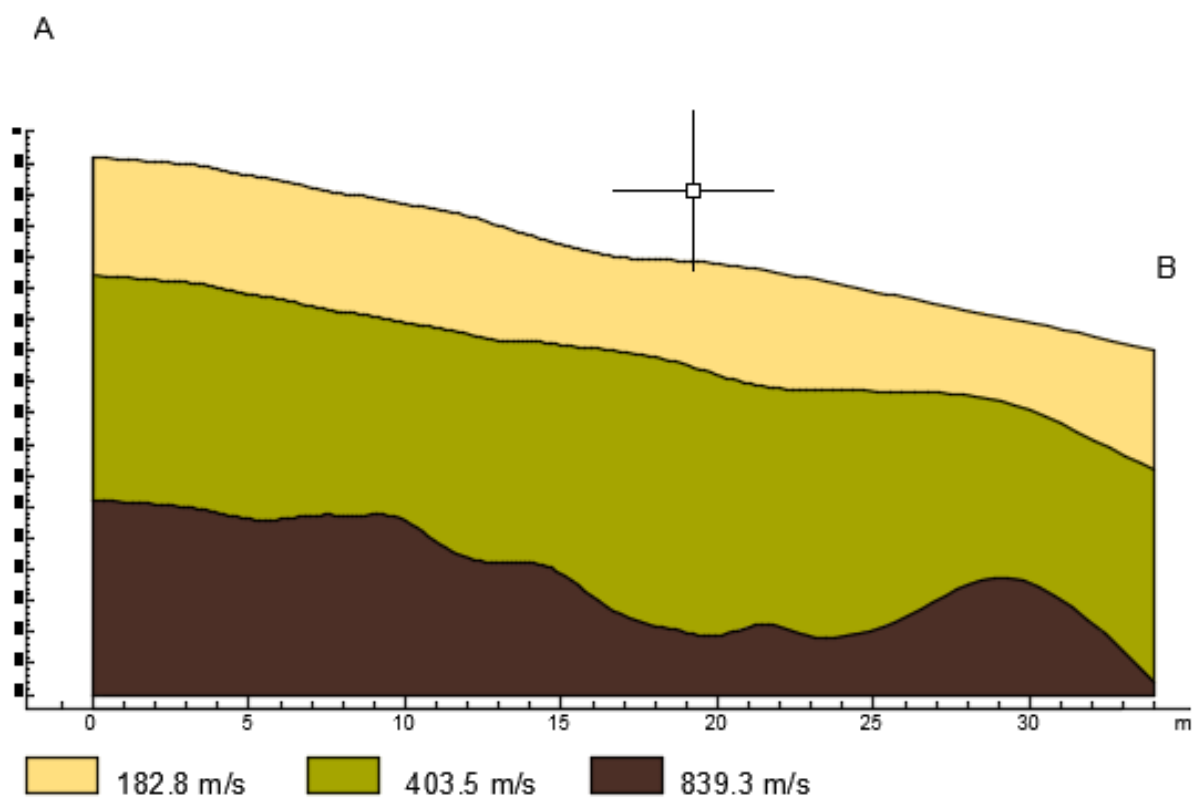


Figura 3. Sezione sismica tipo rifrazione SIS 1

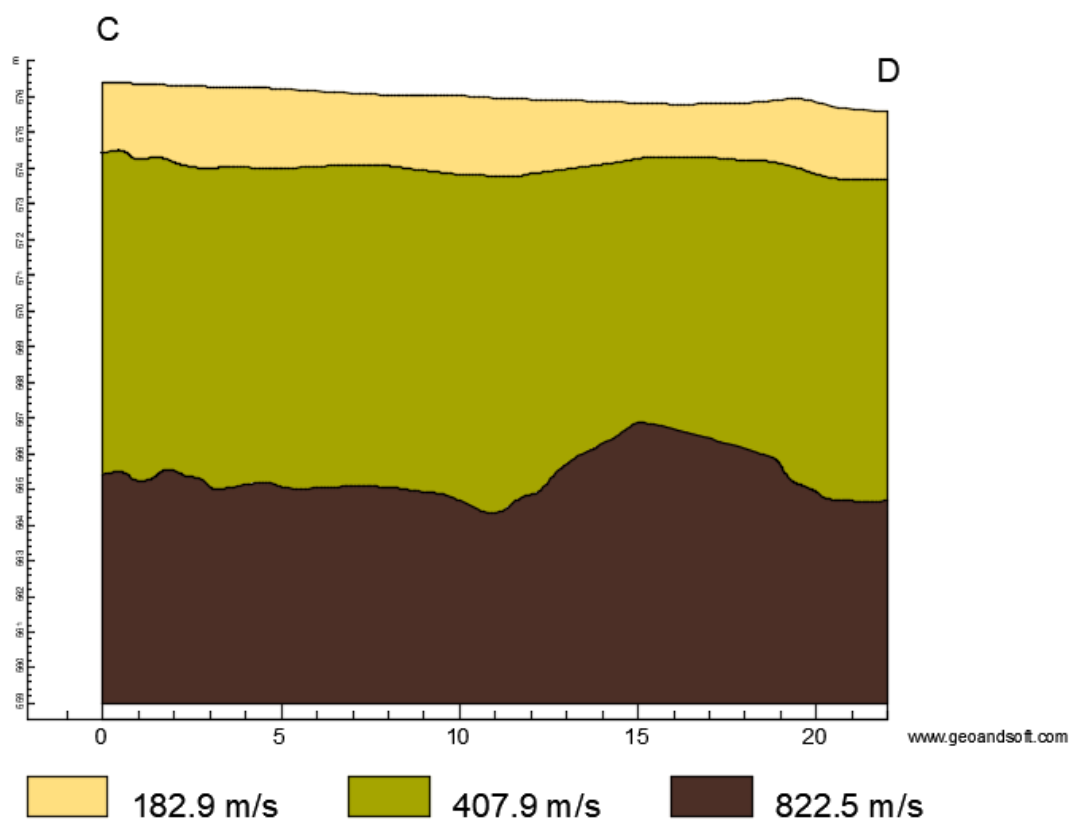


Figura 4. Sezione sismica tipo rifrazione SIS 2

---

## **MASW 1**

### **STENDIMENTO MASW 1-**

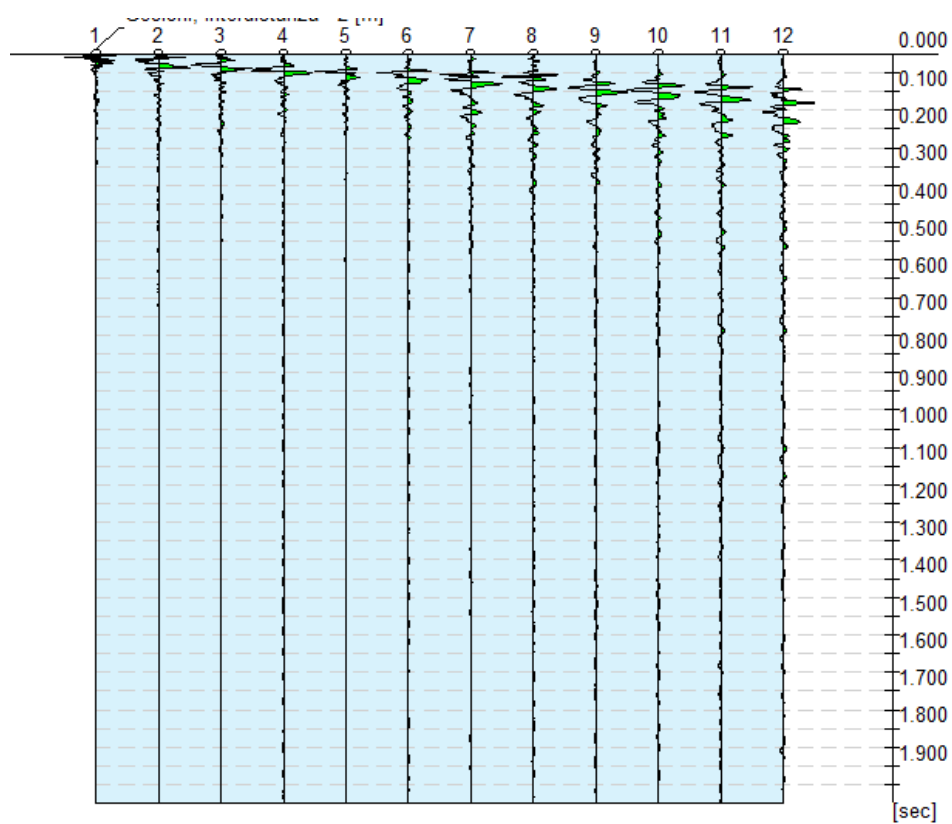
<b>Profili sismico tipo MASW</b>	
Lunghezza	Ml 55+ 10
N° canali di registrazione	12
Distanza intergeofonica	5 ml
Durata acquisizione	1 s
Passo campionamento	0,25 ms

<b>Profilo sismico tipo masw</b>				
<b>Scoppi esterni in andata</b> <i>distanza in metri dal primo geofono</i>	<b>Scoppi esterni in andata</b> <i>distanza in metri dal primo geofono</i>	<b>Scoppio centrale</b>	<b>Scoppi esterni in ritorno</b> <i>distanza in metri dal primo geofono</i>	<b>Scoppi esterni in ritorno</b> <i>distanza in metri dal primo geofono</i>
NO			- 1	- 10

Riepilogo riassuntivo delle caratteristiche degli stendimenti

## Tracce

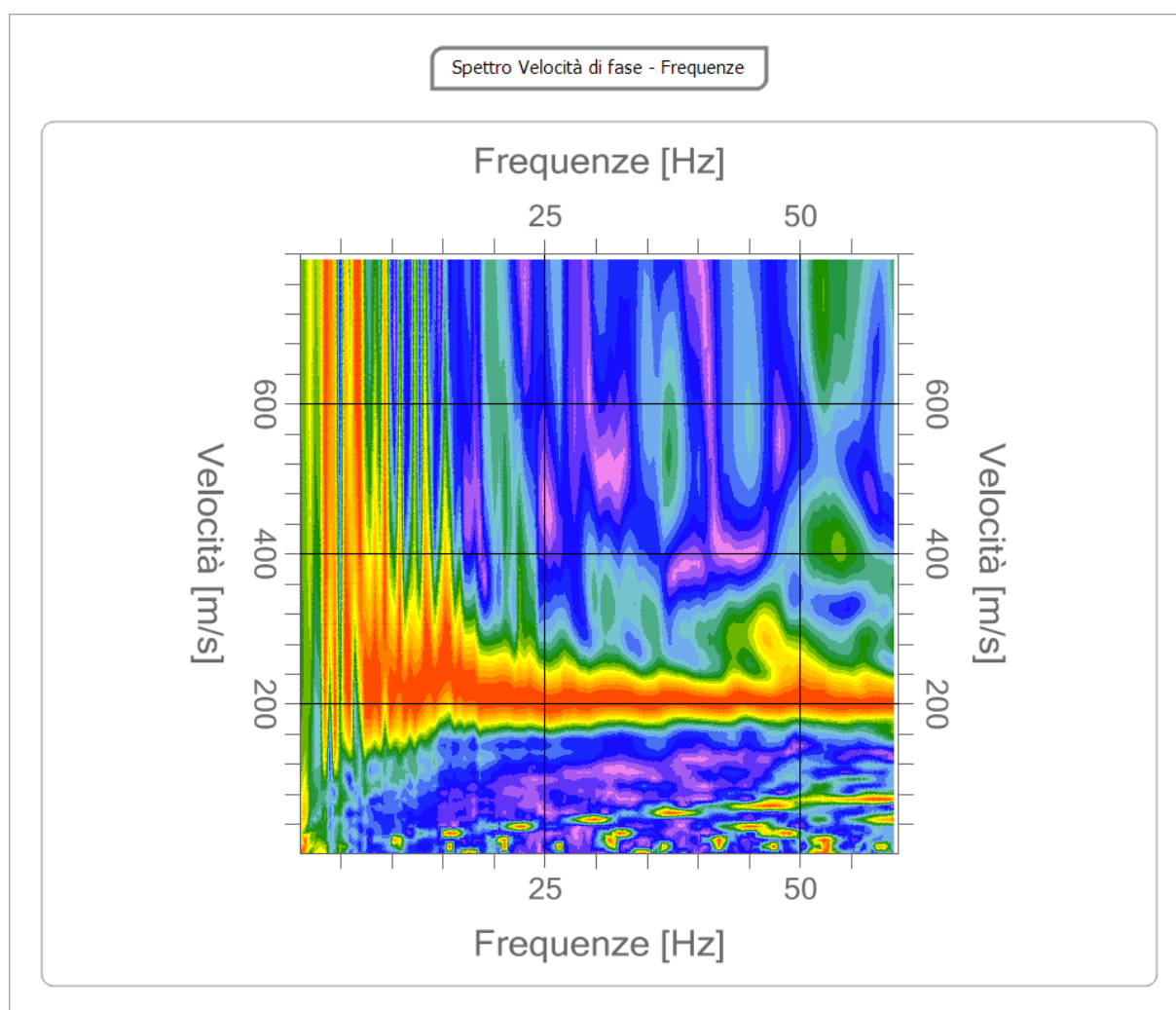
N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	2000.0
Interdistanza geofoni [m]	5.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00





## Analisi spettrale

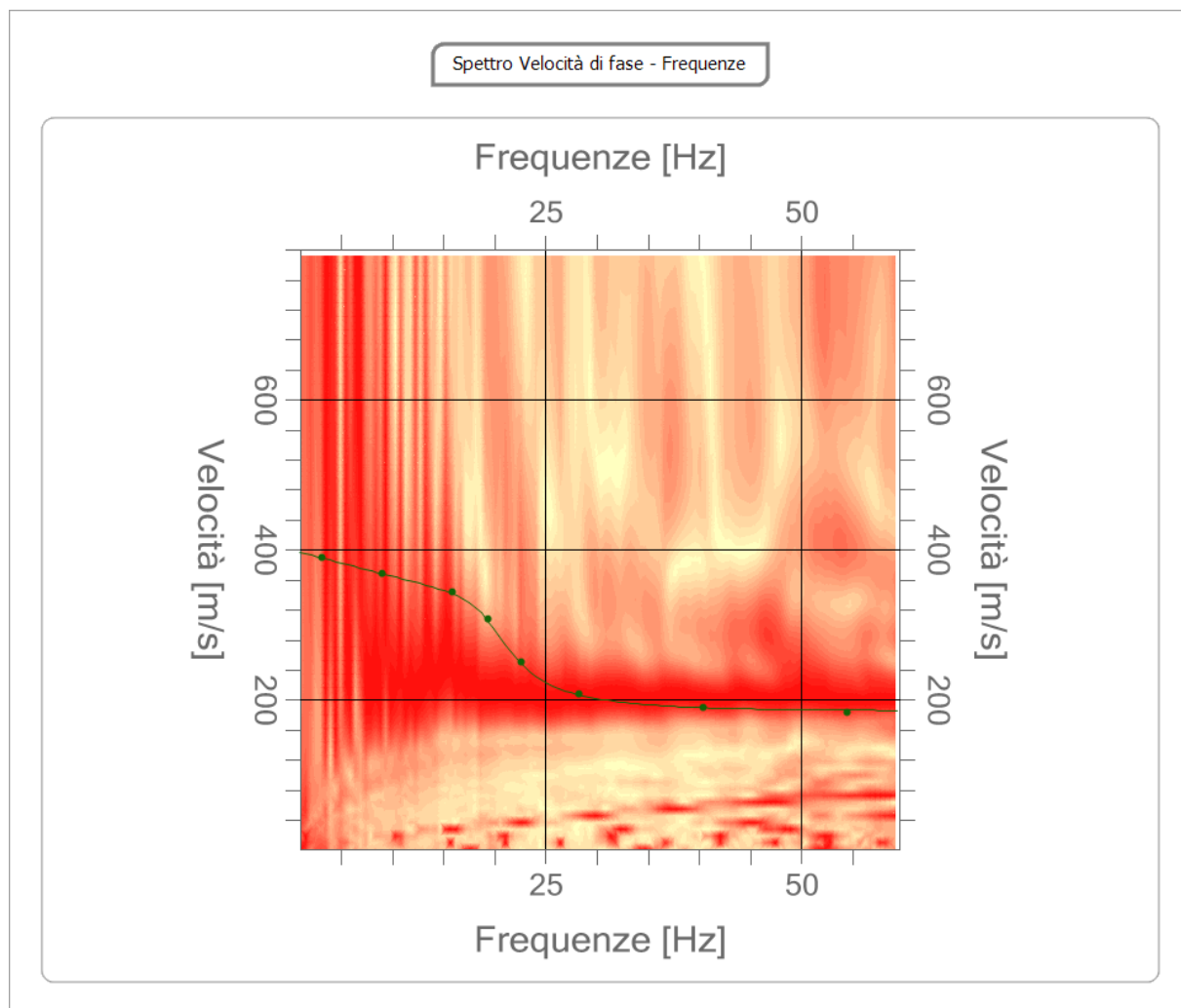
Frequenza minima di  
elaborazione [Hz] 1  
 Frequenza massima di  
elaborazione [Hz] 60  
 Velocità minima di  
elaborazione [m/sec] 1  
 Velocità massima di  
elaborazione [m/sec] 800  
 Intervallo velocità  
[m/sec] 1



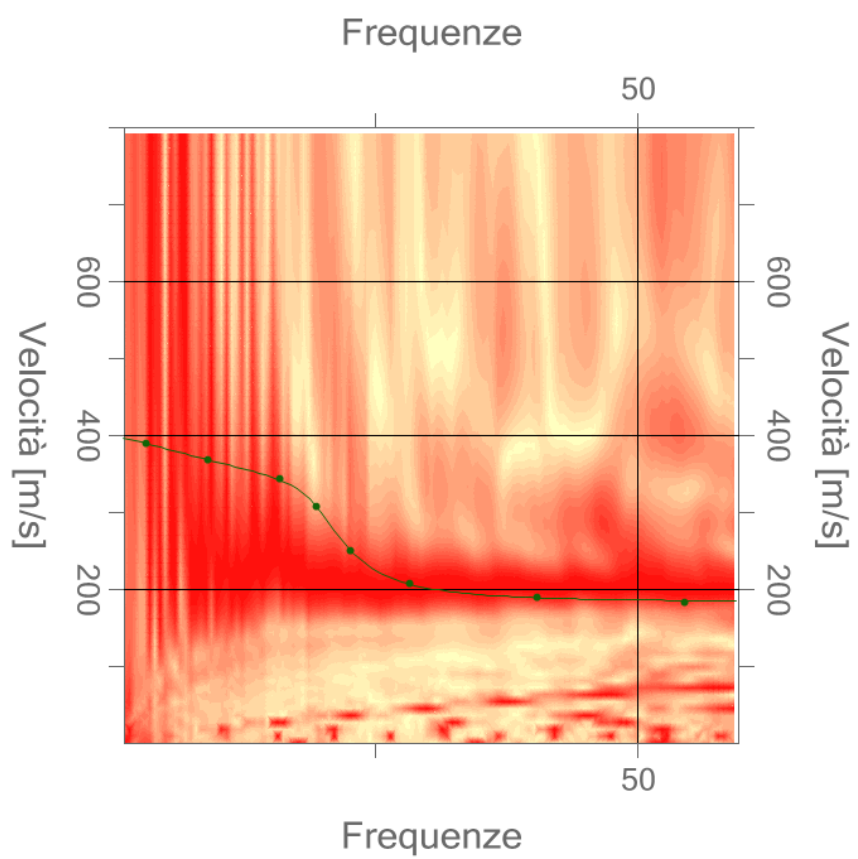
## Curva di dispersione

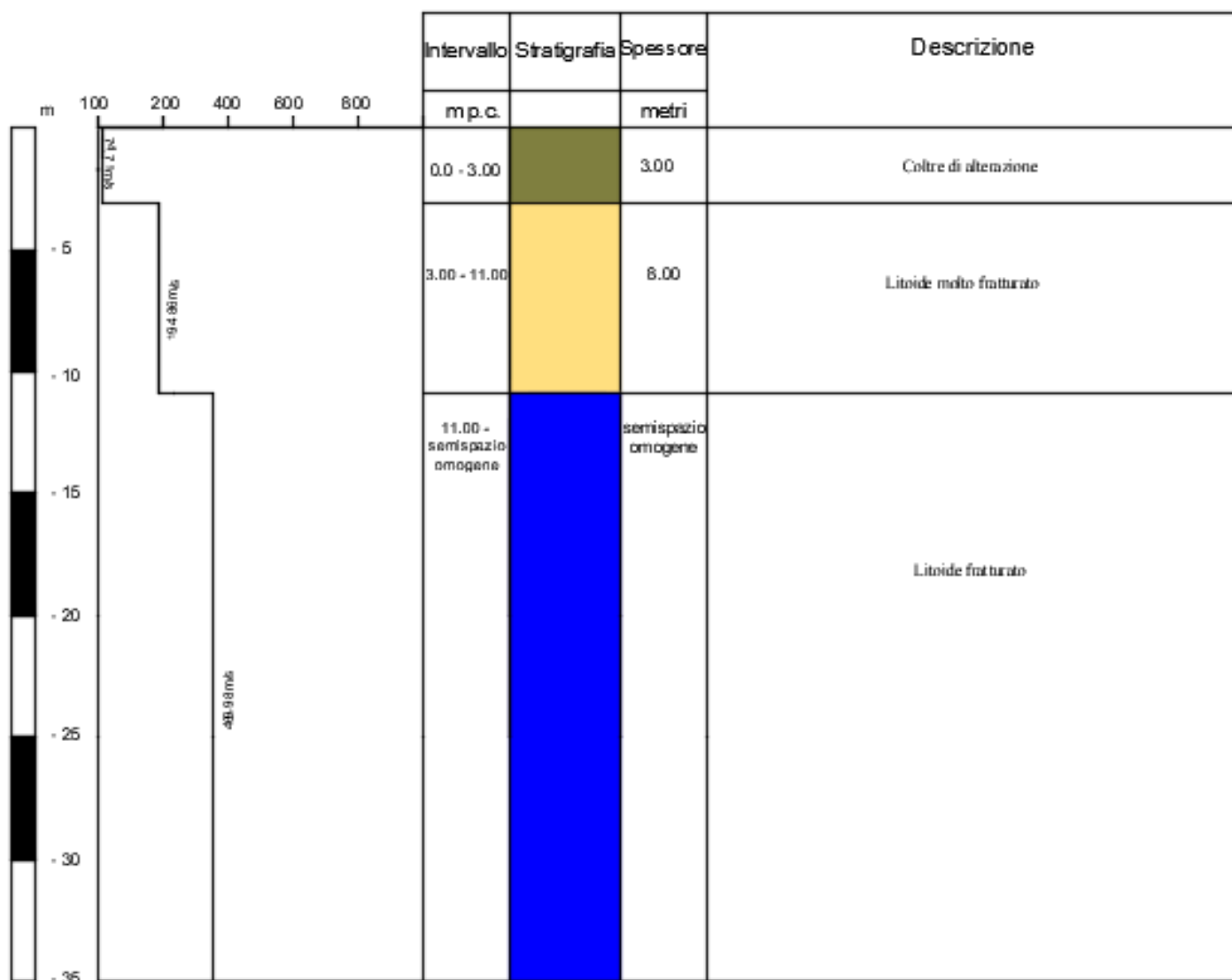
n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	3.1	389.4	0
2	9.0	368.8	0
3	15.8	343.2	0
4	19.4	307.3	0

5	22.6	250.8	0
6	28.3	208.0	0
7	40.4	189.2	0
8	54.4	184.1	0



Inversione





# Calcolo VS equivalente (Vseq)

## 1) Calcolo con Piano di posa fondazione al Piano Campagna (Vs eq calcolato da – 0.00 dal p.c.)

Litotipo	Spessore strato in metri	Velocità onda P misurata in sito (m/s)	Coeff. Poisson (v)	Velocità onda S misurata (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S desunta)
Coltre di Alterazione	3	183,00	0,40	74,71	$h_1/V_1$	0,040
Litoide molto fratturato	8	405,63	0,35	194,86	$h_2/V_2$	0,041
Litoide fratturato	19	850,23	0,28	469,98	$h_3/V_3$	0,040
	<b>30</b>				$\Sigma h_i/V_i$	0,122

Il valore del VSeq è pari a **245,90 m/s**. Valore compreso nel range di normativa compreso tra i 180 m/s e i 360 m/s in cui sono classificati i suoli di categoria **C**.

## 2) Calcolo con piano di posa fondazione a – 1 metro dal Piano Campagna (Vs eq calcolato da – 1.00 dal p.c. )

Litotipo	Spessore strato in metri	Velocità onda P misurata in sito (m/s)	Coeff. Poisson (v)	Velocità onda S misurata in sito (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S desunta)
Coltre di Alterazione	2	183,00	0,40	74,71	$h_1/V_1$	0,027
Litoide molto fratturato	8	405,63	0,35	194,86	$h_2/V_2$	0,041
Litoide fratturato	20	850,23	0,28	469,98	$h_3/V_3$	0,043
	<b>30</b>				$\Sigma h_i/V_i$	0,110

Il valore del VSeq è pari a **272,72 m/s**. Valore compreso nel range di normativa compreso tra i 180 m/s e i 360 m/s in cui sono classificati i suoli di categoria **C**.

3) Calcolo con piano di posa fondazione a – 2 metri dal Piano Campagna (Vs 30 calcolato da – 2.00 dal p.c. )

Litotipo	Spessore strato in metri	Velocità onda P misurata in sito (m/s)	Coeff. Poisson (v)	Velocità onda S misurata (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S desunta)
Coltre di Alterazione	1	183,00	0,40	74,71	$h_1/V_1$	0,013
Litoide molto fratturato	8	405,63	0,35	194,86	$h_2/V_2$	0,041
Litoide fratturato	21	850,23	0,28	469,98	$h_3/V_3$	0,045
	<b>30</b>				$\Sigma h_i/V_i$	0,099

Il valore del VSeq è pari a **303,03 m/s**. Valore compreso nel range di normativa compreso tra i 180 m/s e i 360 m/s in cui sono classificati i suoli di categoria **C**.

4) Calcolo con piano di posa fondazione a – 3 metri dal Piano Campagna (Vs 30 calcolato da – 3.00 dal p.c. )

Litotipo	Spessore strato in metri	Velocità onda P misurata in sito (m/s)	Coeff. Poisson (v)	Velocità onda S misurata (m/s)	Rapporto spessore velocità	Tempi parziali in secondi (onda S desunta)
Coltre di Alterazione	(non considerato oltrepassato dalle fondazioni)	183,00	0,40	74,71	$h_1/V_1$	0,000
Litoide molto fratturato	8	405,63	0,35	194,86	$h_2/V_2$	0,041
Litoide fratturato	22	850,23	0,28	469,98	$h_3/V_3$	0,047
	<b>30</b>				$\Sigma h_i/V_i$	0,088

Il valore del VSeq è pari a **340,90 m/s**. Valore compreso nel range di normativa compreso tra i 180 m/s e i 360 m/s in cui sono classificati i suoli di categoria **C**.



---

### 3. CLASSE TOPOGRAFICA

I fenomeni di amplificazione topografica sono legati alla configurazione topografica del piano campagna. La modifica delle caratteristiche del moto sismico per effetto della geometria superficiale del terreno va attribuita alla focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta dei rilievi a seguito dei fenomeni di riflessione delle onde sismiche ed all'interazione tra il campo d'onda incidente e quello diffratto. I fenomeni di amplificazione cresta-base aumentano in proporzione al rapporto tra l'altezza del rilievo e la sua larghezza. **(Classe topografica T2)**

Classe topografica	Ubicazione dell'opera	St
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1,0
<b>T2</b>	<b>Pendi con inclinazione media <math>&gt; 15^\circ</math></b>	<b>1.2</b>
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4

---

## 4. ELABORAZIONE PER LA DEFINIZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

Dati di disaggregazione: pericolosità sismica

### RIEPILOGO DATI PER LA DEFINIZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

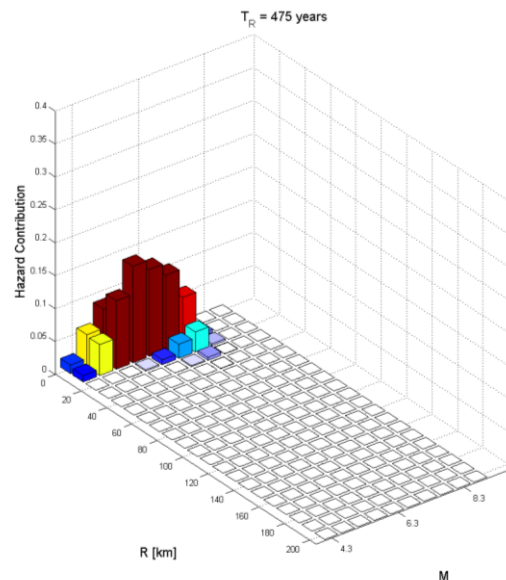
Latitudine 39.228790° Nord Longitudine 16.272116° Est.

- 1) Vita Nominale Costruzione in anni  $V_N$  50 anni
- 2) Coefficiente d'uso della costruzione  $C_U$  1.5
- 3) Periodo di riferimento per la costruzione  $V_R$  75 anni
- 4) Stato limite di Salvaguardia della Vita (SLV) con  $T_R = 712$  anni e  $P_{vr} = 10\%$

#### 5) Parametri di disaggregazione

R compresa tra 0 ed 30 km

M compresa tra 6 e 7



## ESTRAZIONE ACCELEROGRAMMI

La progettazione strutturale di opere sismoresistenti richiede la conoscenza dei meccanismi che sottendono le origini della forzante sismica, quali:

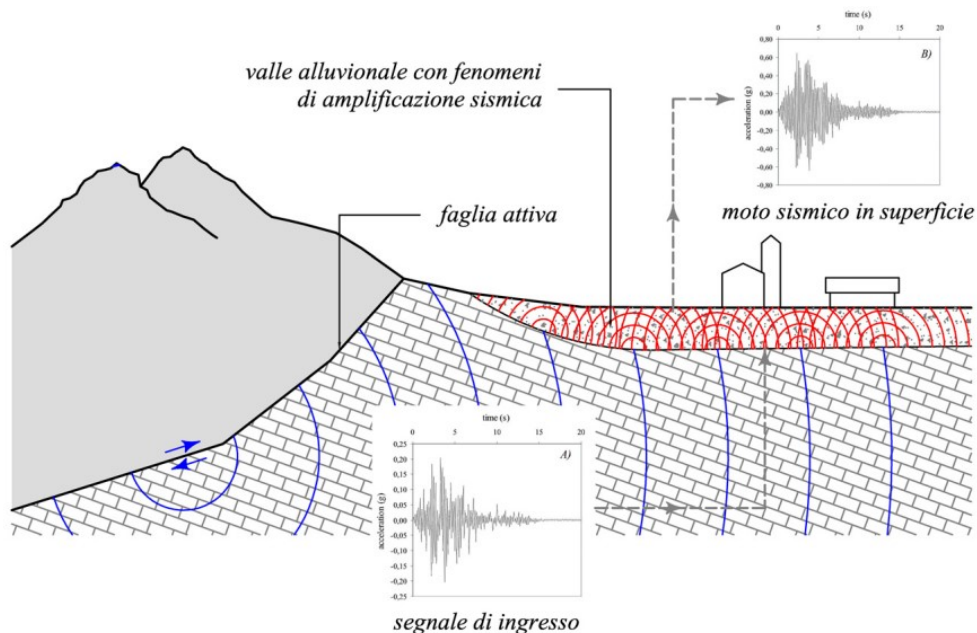
1. il meccanismo di sorgente;
2. la propagazione delle onde sismiche dalla sorgente al sito;
3. le modifiche spettrali della forzante sismica in funzione della geologia locale.

In tale ambito la conoscenza del moto vibratorio del terreno in superficie a seguito di un terremoto è di fondamentale importanza, laddove i fattori che concorrono alla sua definizione sono fortemente condizionati dalla complessità geologica del sottosuolo, dalla morfologia e morfometria dei terreni di copertura ed anche dalle proprietà dinamiche del sito (Di Marcantonio & Di Francesco, 2009); in altre parole occorre tenere in debito conto l'importanza e l'influenza dei fattori che concorrono nella definizione del punto "3", ovvero della risposta sismica locale.

In sintesi:

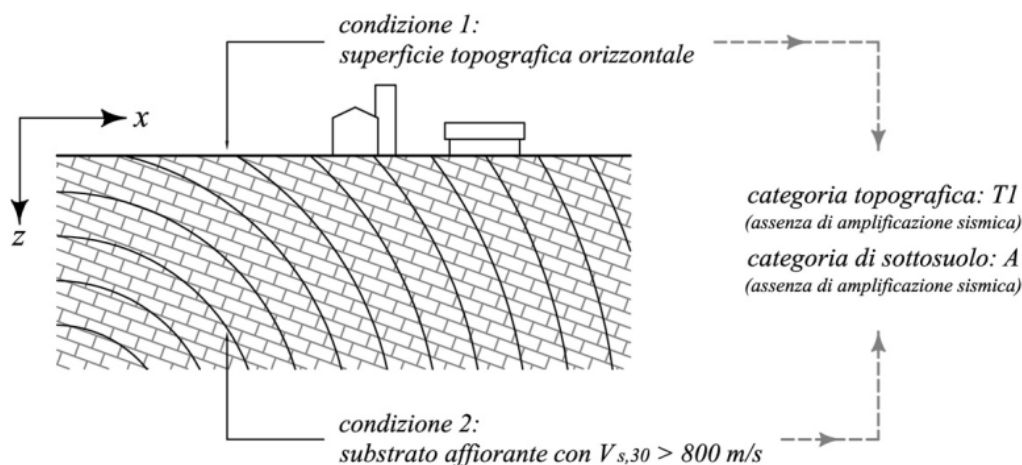
1. la stratigrafia locale;
2. le caratteristiche dinamiche dei terreni di superficie;
3. la geometria strutturale;
4. il contenuto spettrale della forzante sismica.

Riunendo tutti gli elementi in unico algoritmo è allora possibile definire, quale punto di partenza per l'analisi della risposta sismica locale, lo studio e della genesi e della propagazione di un sisma che conduce, in definitiva, alla definizione del moto sismico di ingresso ad un sito ( $u_B(t)$  – Lanzo & Silvestri, 1999) noto anche come segnale di ingresso.



Effetti tipici della risposta sismica locale, con il moto sismico di ingresso al sito che subisce amplificazione e distorsione del treno di onde in relazione alla geologia locale

Il par. 3.2 delle recenti NTC 2008 introduce il concetto di pericolosità sismica espressa in funzione della massima accelerazione attesa ( $a_g$ ) determinata in condizioni di free-field. Il punto di partenza è allora dato da un substrato roccioso affiorante (dotato di una  $V_{SH} \geq 800$  m/s) con superficie topografica orizzontale (figura 2), al quale associare una categoria di sottosuolo A ed una categoria topografica T1, entrambi conducenti ad assenza di amplificazioni sismiche.



Geometria normativa di riferimento per la definizione dei fenomeni di amplificazione sismica

È anche vero, però, che l'utilizzo dei parametri di progetto previsti nelle NTC 2008 non consente una trattazione esaustiva dell'argomento dal momento che pur adottando i coefficienti più restrittivi, applicati ad esempio a punti di riferimento del territorio aquilano, si ottiene una massima accelerazione al suolo molto inferiore rispetto a quella rilevata strumentalmente negli stessi, in occasione del sisma del 6 aprile 2009, e pari ad una media di circa 0.7g con punte ben superiori ad 1g. È evidente, allora, che una corretta progettazione strutturale non può prescindere dalla conoscenza dei meccanismi di base che sottendono il fenomeno della risposta sismica locale.

A tal proposito le NTC stabiliscono, al par. 7.11.2, che "... le indagini devono comprendere l'accertamento degli elementi che, unitamente agli effetti topografici, influenzano la propagazione delle onde sismiche, quali le condizioni stratigrafiche e la presenza di un substrato rigido ..."; contestualmente, al par. 7.11.3 (risposta sismica locale e stabilità del sito) delle NTC 2008 e della Circolare esplicativa n. 217 del 2 febbraio 2009, è stabilito che occorre innanzitutto individuare la scelta della procedura di analisi (esempio 1D o 2D) mentre è fatto divieto assoluto di utilizzo di accelerogrammi artificiali poiché ritenuti, a ragione, caratterizzati da un contenuto spettrale irrealistico. Al contrario, è ammesso l'uso degli accelerogrammi reali registrati la cui scelta sia rappresentativa della sismicità del sito. È evidente, allora, che il ricorso a metodologie di analisi della risposta sismica locale seguendo la filosofia normativa conduce a complesse indagini e conseguenti metodologie di lavoro il cui punto debole è rappresentato proprio dall'individuazione del più appropriato terremoto di progetto. In effetti, il problema deriva dalla constatazione che il terremoto in oggetto può essere considerato caratteristico per il settore sismico in questione ma affatto rappresentativo per altri settori sismici pur adiacenti; nel contempo, risulta anche difficile stabilire l'effettiva validità del contenuto in frequenza del terremoto di progetto derivato da accelerogrammi reali poiché, anche nel caso in cui siano rappresentativi della sismicità locale, influenzano in maniera determinante la risposta strutturale in quanto derivante dall'interazione terreno – struttura.

Il software REXEL v 3.4 beta permette la ricerca di combinazioni di accelerogrammi naturali compatibili con gli spettri delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC - CS.LL.PP., 2008), dell'Eurocodice 8 (EC8 – CEN, 2003), dell'ASCE/SEI 7-05 (ASCE,

2006) o completamente definiti dall'utente; le combinazioni trovate possono anche rispecchiare caratteristiche di sorgente di interesse. Le combinazioni, come discusso sotto, sono anche quelle che minimizzano la dispersione degli spettri singoli rispetto allo spettro obiettivo. I database inclusi nel software sono lo European Strong-motion Database (ESD), (aggiornato a luglio 2007) scaricabile dal sito internet <http://www.isesd.cv.ic.ac.uk>, l'Italian Accelerometric Archive (ITACA) (aggiornato ad ottobre 2010) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), scaricabile dal sito internet <http://itaca.mi.ingv.it> e il database contenente Selected Input Motions for displacement-Based Assessment and Design (SIMBAD v 2.0) (aggiornato a novembre 2011) di Smerzini e Paolucci (2011) sviluppato nell'ambito della Linea 1.2 (Sviluppo di approcci agli spostamenti per la valutazione della vulnerabilità), Task 1.2.1 (Principi, Aspetti Generali, Azioni) del progetto ReLUIS 2010-2013 (<http://www.reluis.it/>). Nei primi due casi si fa riferimento a registrazioni di terremoti con magnitudo maggiore di 4 e in condizioni di free-field. Nel caso di ITACA la classificazione del suolo secondo l'Eurocodice 8 fa riferimento ai risultati del task 2 del Progetto S4 dell'INGV <http://esse4.mi.ingv.it/> e può essere aggiornata in futuro. Il database SIMBAD fa riferimento a registrazioni di terremoti mondiali con magnitudo non minore di 5 e distanza epicentrale non maggiore di 30 km.

**UTILIZZO SOFTWARE REXEL** È stato necessario innanzitutto costruire lo spettro di risposta elastico in accelerazione per il sito di interesse. A tale scopo secondo le NTC è stato necessario inserire le coordinate geografiche del sito, longitudine e latitudine, in gradi decimali e specificare, Categoria di sottosuolo, Categoria topografica, Vita nominale, Classe d'uso e Stato limite. È stato necessario inoltre specificare la componente dell'azione sismica che si è intesa considerare. Si ricorda a tale scopo che le due componenti ortogonali indipendenti che descrivono il moto orizzontale (contrassegnate da X ed Y) sono caratterizzate dallo stesso spettro di risposta mentre la componente che descrive il moto verticale (contrassegnata da Z) è caratterizzata dal suo spettro di risposta.

## 1 - TARGET SPECTRUM

### Sezione Target spectrum

È stato scelto L'Italian Building Code 2008.

Sono state inserite la coordinate in ED50 del sito. È stata inserita la classe di suolo (C) la categoria topografica (T2) Vita Nominale della Costruzione in anni  $V_N$  50 anni, il tipo funzionale III e i vari stati limite (SLO, SLD, SLE, SLV).

**L'ANALISI È STATA RISTRETTA AGLI SPETTRI A COMPONENTE ORIZZONTALE (HORIZONTAL)**

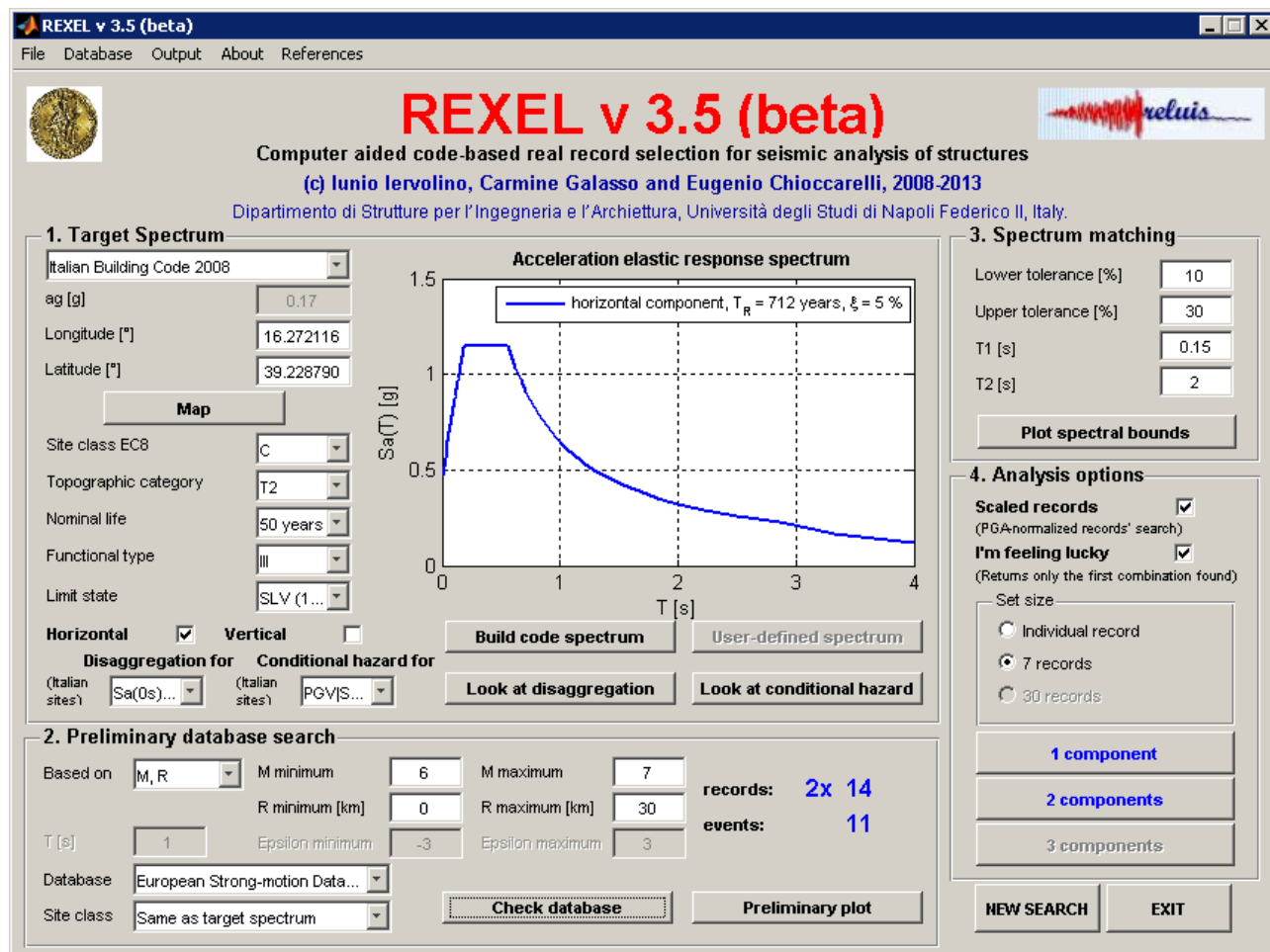
### Disaggregazione e ricerca preliminare (2 - PRELIMINARY DATABASE RESEARCH).

La disaggregazione è una procedura che permette di conoscere il contributo alla sismicità (pericolosità) di un dato sito di qualsiasi variabile del problema (condizionatamente al superamento della misura di intensità corrispondente al periodo di ritorno di interesse): in questo caso si fa riferimento alla magnitudo (M), alla distanza (R) ed alla epsilon  $\epsilon$ . Tali contributi dipendono dall'ordinata spettrale e dal valore di pericolosità associato al sito studiato, oppure, equivalentemente, dal periodo di ritorno considerato. REXEL fornisce i risultati di disaggregazione per tutti i siti italiani, per quattro ordinate spettrali quali 0 sec (PGA), 0.5, 1.0 e 1.5 secondi, e per quattro periodi di ritorno pari a 50, 475, 975 e 2475 anni. Se i parametri di ricerca impostati dall'utente fanno riferimento a periodi di ritorno diversi da quelli appena elencati, il programma fornisce automaticamente la disaggregazione con periodo di ritorno più vicino. L'analisi di disaggregazione può fornire indicazioni importanti per la

Studio di geologia e geofisica - via G. Deledda, 87018, San Marco Argentano, (C.S) -  
Tel.0984522025, Fax:0984511787, e-mail:carusopasquale@yahoo.it, web:www.geostru.com

definizione degli intervalli da utilizzare nella selezione dei record. Dalle analisi di disaggregazione condotte alle pagine 10 ed 11 del presente elaborato (i dati di disaggregazione sono stati desunti dal sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it>) si sono scelte come R in km compresa tra 0 e 30 e Magnitudo compresa tra 6 e 7.

### Eventi analizzati





Sono stati analizzati dal database Italian Accelerometric Archive **2 X 14 records e 11 eventi**.

**2. Preliminary database search**

Based on  M minimum  M maximum   
R minimum [km]  R maximum [km]   
T [s]  Epsilon minimum  Epsilon maximum   
Database   
Site class

records: **2x 14**  
events: **11**

### 3 - SPECTRUM MATCHING

Sono stati indicati i seguenti parametri per lo spettro matching:

**Federico II, Italy.**

**3. Spectrum matching**

Lower tolerance [%]   
Upper tolerance [%]   
T1 [s]   
T2 [s]

### 4- ANALYSIS OPTIONS

Per le opzioni di analisi è stata selezionato Scaled record ed è stata spuntata l'opzione I'm feeling lucky (opzione che restituisce la prima combinazione senza valutazioni sull'errore associato). È stata nella sezione Set size 7 records ed 1 component.

**4. Analysis options**

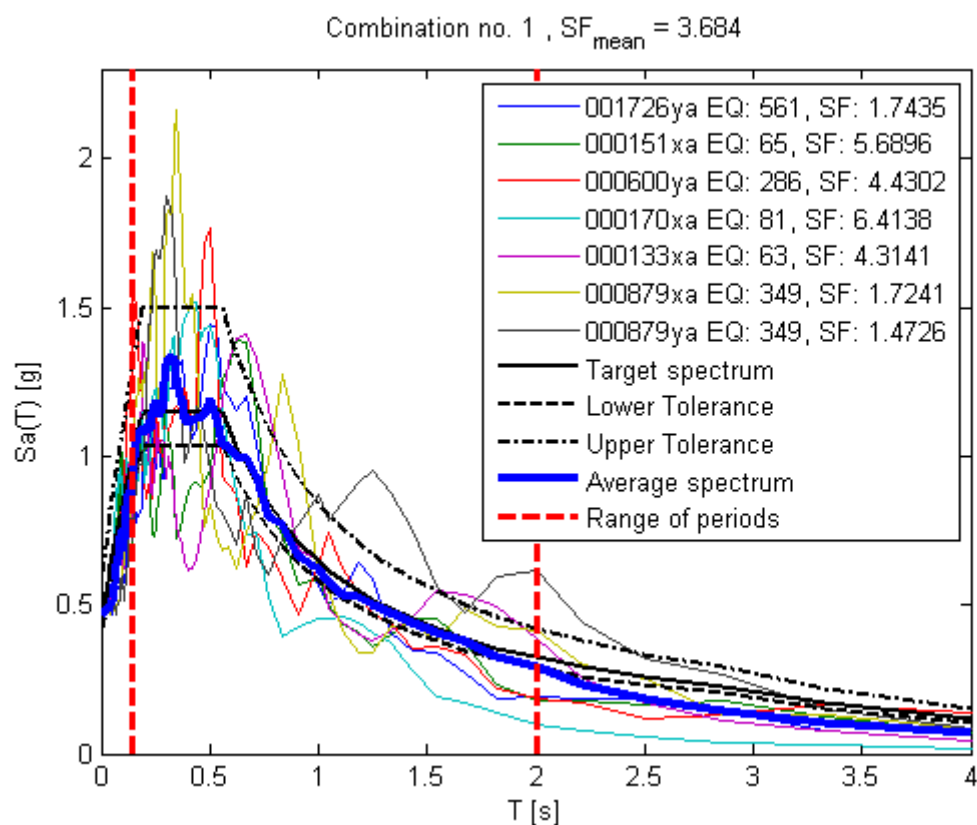
**Scaled records** ☒  
(PGA normalized records' search)  
**I'm feeling lucky** ☒  
(Returns only the first combination found)

Set size  
☐ Individual record  
☒ 7 records  
☐ 30 records

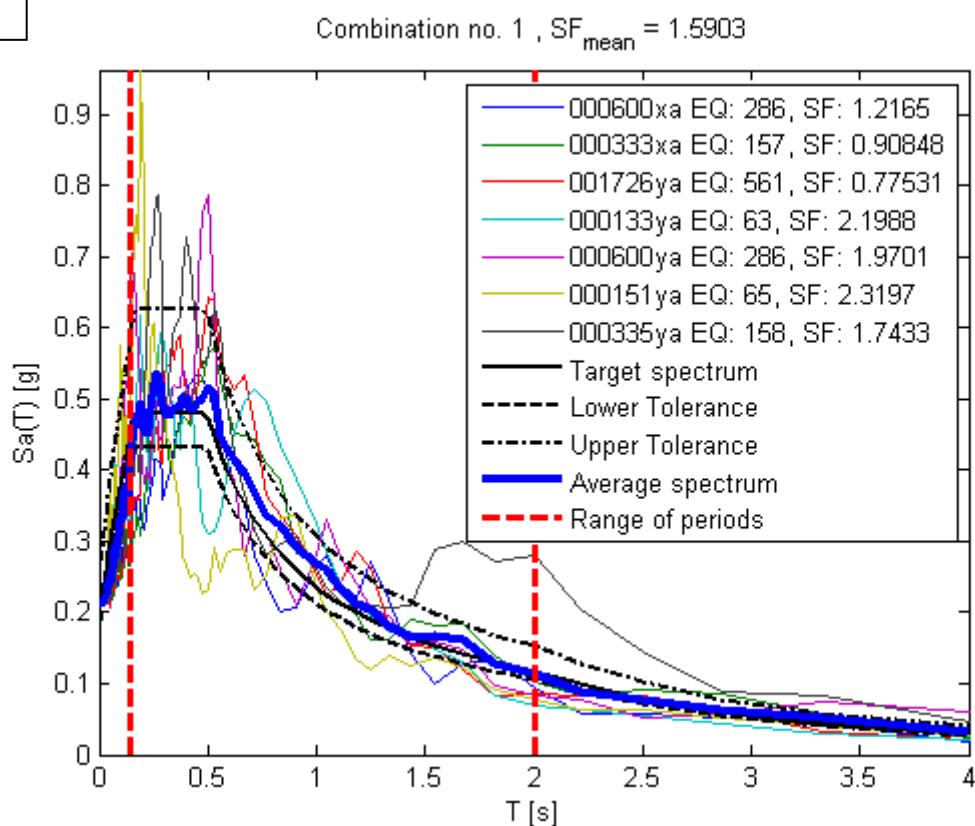
### FATTORE DI SCALA

Maximum mean scale factor:

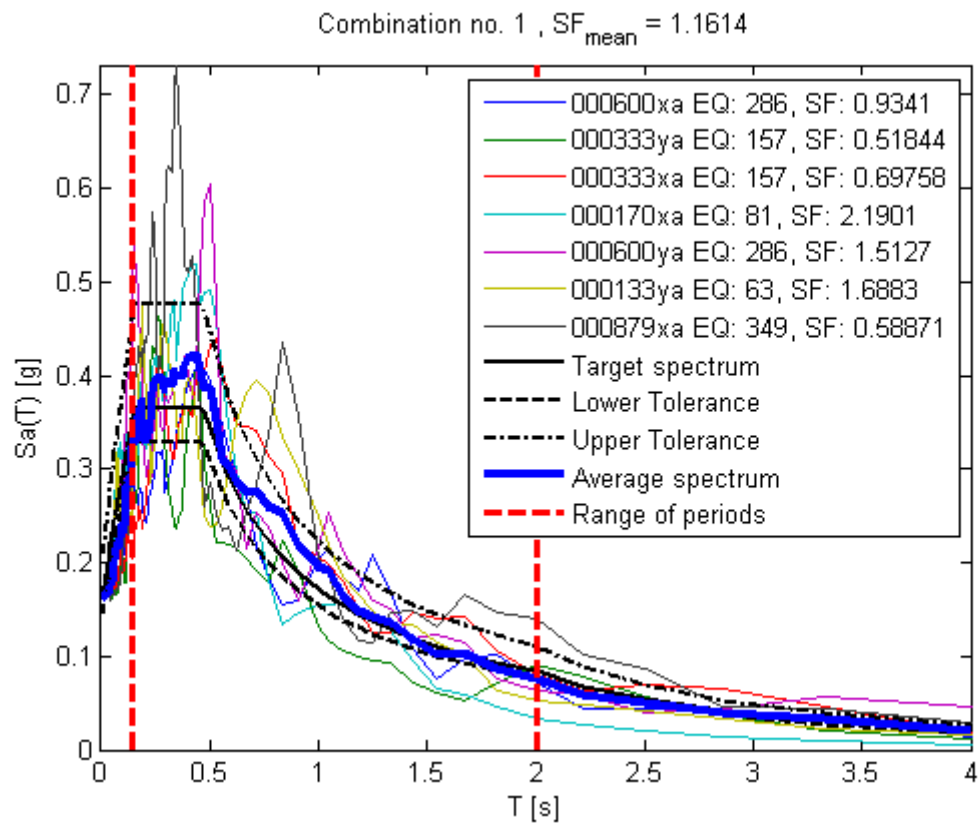
SLV



SLD



SINTESI DEGLI SPETTRI DI OUTPUT DATI DA REXEL SLV (SOPRA) ED SLD (SOTTO)



SINTESI DEGLI SPETTRI DI OUTPUT DATI DA REXEL SLO

#### **4.1. Relazione di calcolo RSL**



<b>Studio di geologia e geofisica</b> <b>C.FISC:</b> <b>P.IVA:</b>	<b>Via: via G. Deledda</b> <b>87018 San Marco Argentano - C.S</b>  <b>Tel: 0984522025 -</b> <b>Fax: 0984511787</b> <b>Email: carusopasquale@yahoo.it</b> <b>Web: www.geostru.com</b>
--	--

	<b>Data: ottobre 2018</b>
	<b>Il committente</b>
	<b>IL Tecnico</b>
	<b>Il Progettista</b>
<b>Pericolosità sismica di base</b>	

Nr. Lic. 2F75685257727847326A6B764F4C5870513358546E5A7039426E71455A2B7035785A5256425932326C497741

## INTRODUZIONE

### PROCEDURA DI CALCOLO

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
  - 2.1. Stima della funzione di trasferimento;
  - 2.2. Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
  - 2.3. Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;

Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;

3. Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile “trasferire” l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M - 1}{10}$$

dove  $M$  rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da  $N$  strati orizzontali di cui l' $N$ -esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come

ipotesi che ciascuno strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt  $\left[ \tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial z \partial t} \right]$ , la

propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

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

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

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

che sostituita nella (1) pone

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

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

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

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

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

avendo posto

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

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

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

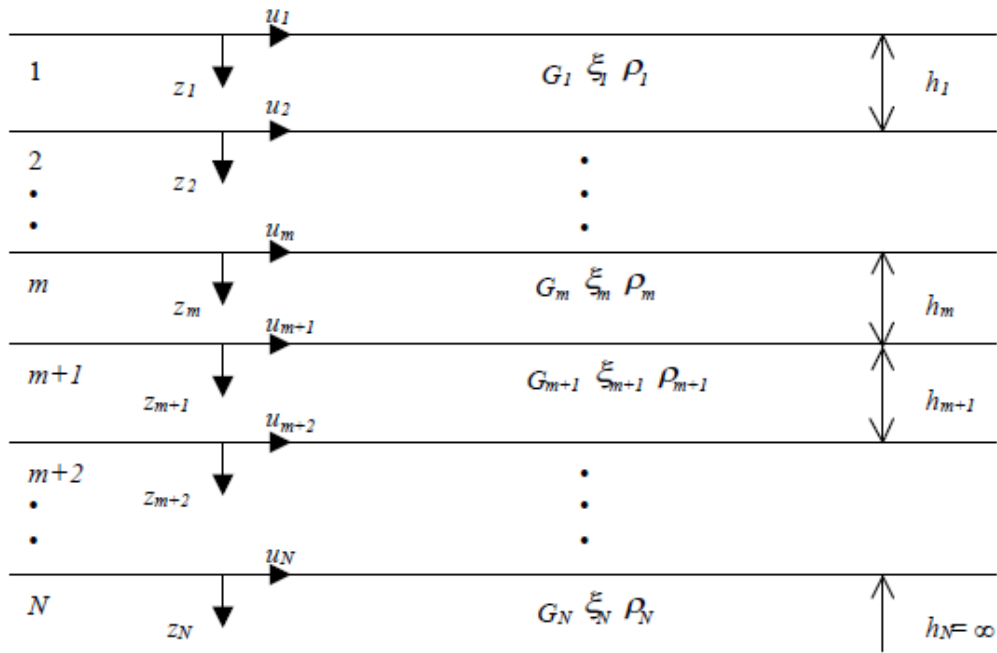


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre  $k^*$  rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

ovvero

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

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

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

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

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

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

Poiché in superficie il taglio è nullo,

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

si deduce che  $E_1 = F_1$ .

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

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

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

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

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

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

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

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

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

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (25)$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

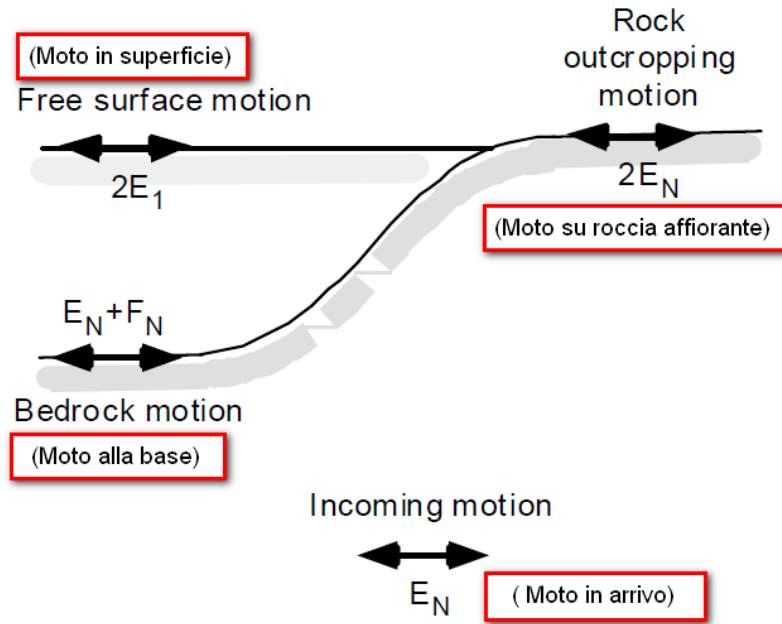


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

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

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

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

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

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

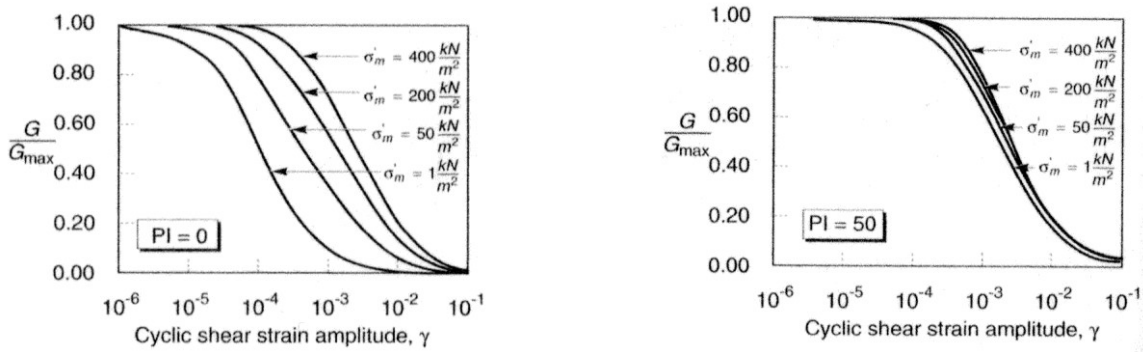
$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[ \ln \left( \frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145 PI^{1.3}) \quad (26)$$

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

dove  $G_{max}$  è dato dalla relazione

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

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

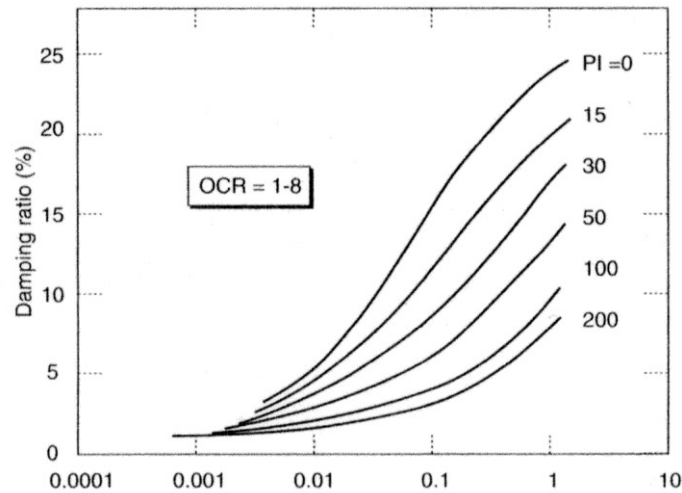


**Figura 2:** Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

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

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

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



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

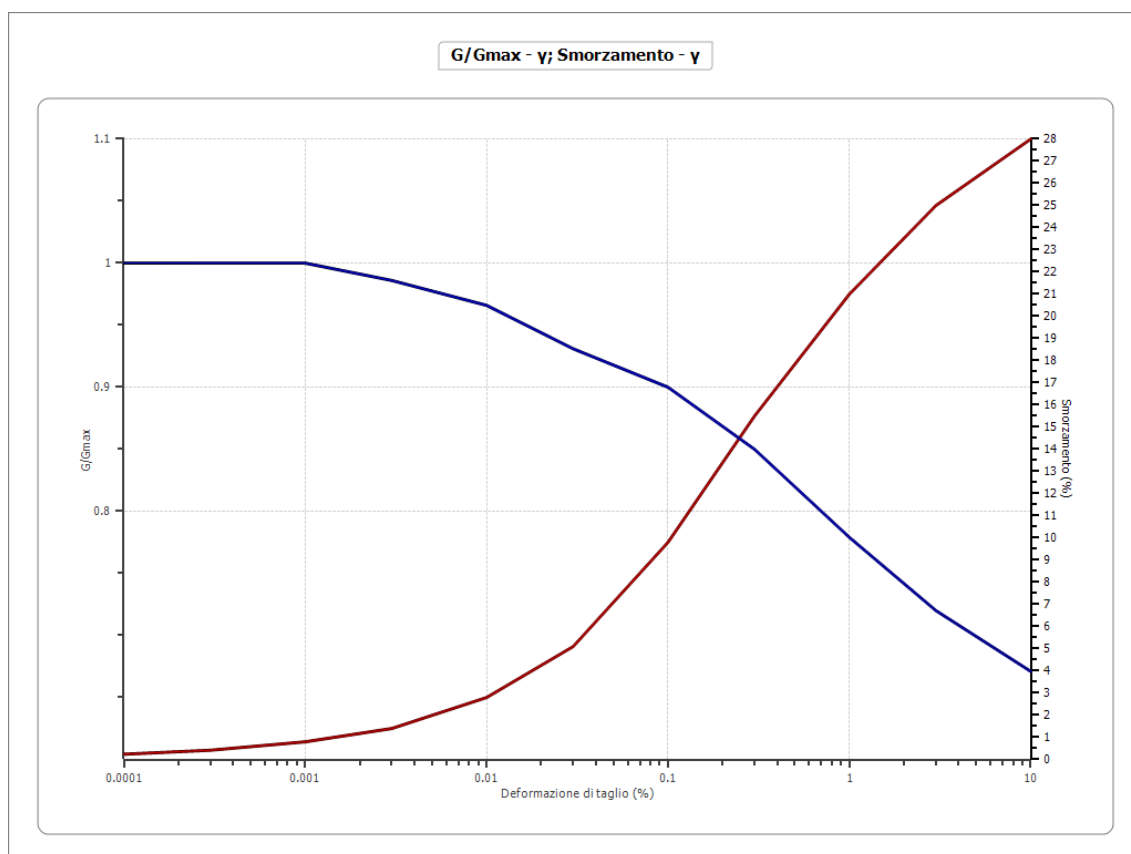
## Dati generali

Cantiere	paterno calabro
Operatore della prova	Basta Paola
Responsabile della prova	Basta Paola
Data della prova	d.C./08/2018
Via	LOCALITA PATERNO CALABRO
Latitudine	39,228[°]
Longitudine	16,272[°]

## Terreni

Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	1.000	0.001	0.800
0.003	0.986	0.003	1.400
0.010	0.966	0.010	2.800
0.030	0.931	0.030	5.100
0.100	0.900	0.100	9.800
0.300	0.850	0.300	15.500
1.000	0.779	1.000	21.000
3.000	0.720	3.000	25.000
10.000	0.671	10.000	28.000



### 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		--	3.0	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	8.76	--	15.4	74.7	23.1
2		3.0	8.0	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	73.79	--	20.8	194.8	107.8
3		11.0	30.0	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	468.37	--	20.8	470.0	481.4
4		oo	--	Smorzamento costante	0	1435.27	--	22.0	800.0	793.4

Strato con falda:

4

Strato rilevamento accelerogramma:

1 Affiorante

# STATO LIMITE DI VITA

## Elaborazione

Numero di iterazioni 90  
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5  
 Tipo di modulo elastico Shake 91  
 Massimo errore percentuale di convergenza --

## Fattori di amplificazione

Tai 0.360 [s]  
 Tvi 1.400 [s]  
 Tao 0.360 [s]  
 Tvo 1.400 [s]  
 Sami 10.633 [m/s<sup>2</sup>]  
 Svmi 1.018 [m/s]  
 Samo 10.633 [m/s<sup>2</sup>]  
 Svmo 1.018 [m/s]  
**Fa 1.000 [-]**  
**Fv 1.000 [-]**  
 TB 0.200 [s]  
 TC 0.601 [s]  
 TD 2.884 [s]  
 SA(0) 0.473 [g]  
 SA(TB) 1.084 [g]

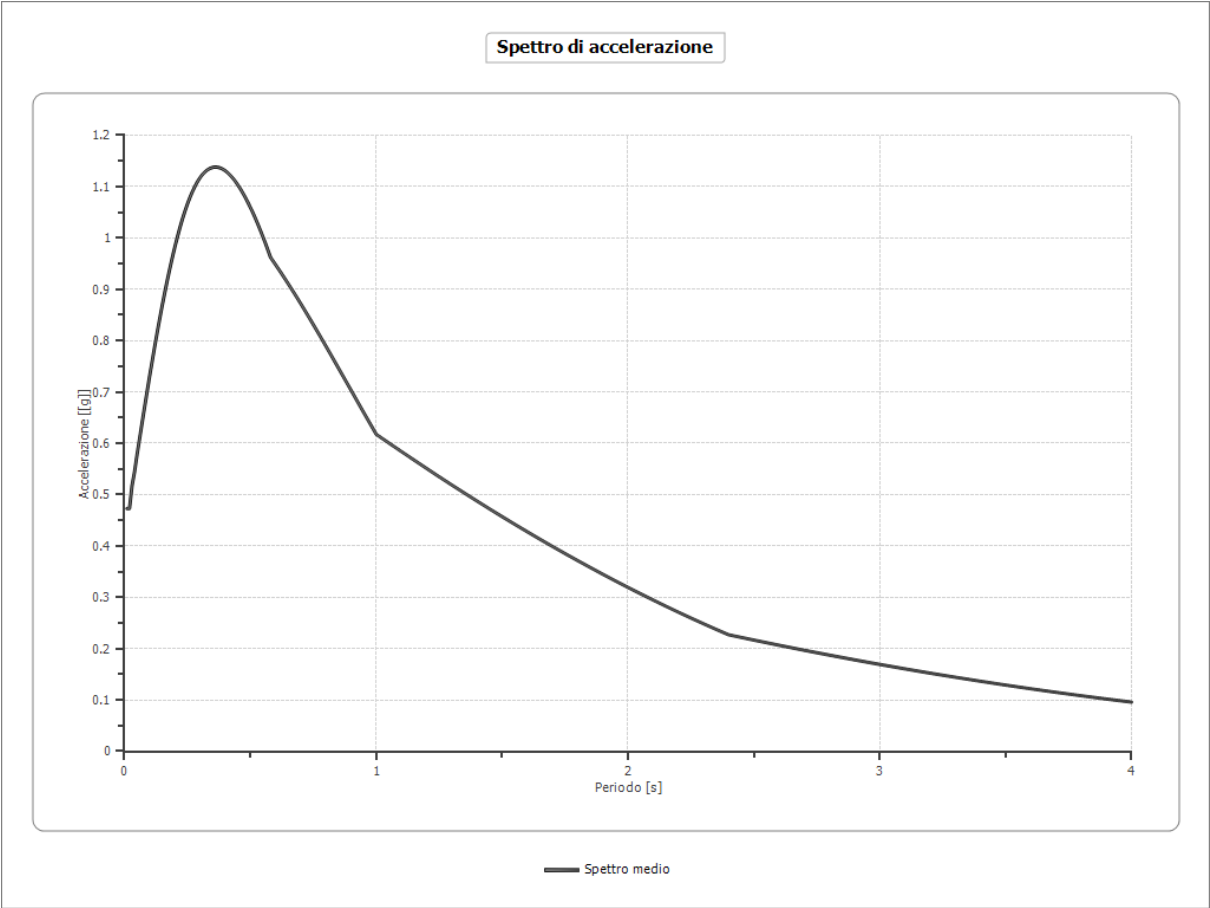
## Fattori di amplificazione su intensità spettrale

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

## Spettro medio

Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]
0.01	0.4730	0.27	1.0906	0.53	1.0267	1.00	0.6176	2.30	0.2485
0.02	0.4730	0.28	1.1008	0.54	1.0147	1.05	0.6007	2.35	0.2376
0.03	0.5173	0.29	1.1098	0.55	1.0022	1.10	0.5840	2.40	0.2270
0.04	0.5445	0.30	1.1174	0.56	0.9894	1.15	0.5675	2.50	0.2167
0.05	0.5780	0.31	1.1238	0.57	0.9760	1.20	0.5511	2.60	0.2067
0.06	0.6088	0.32	1.1290	0.58	0.9623	1.25	0.5349	2.70	0.1969
0.07	0.6402	0.33	1.1330	0.60	0.9481	1.30	0.5189	2.80	0.1874
0.08	0.6709	0.34	1.1358	0.62	0.9336	1.35	0.5032	2.90	0.1782
0.09	0.7012	0.35	1.1376	0.64	0.9187	1.40	0.4876	3.00	0.1693
0.10	0.7309	0.36	1.1382	0.66	0.9035	1.45	0.4723	3.10	0.1607
0.11	0.7600	0.37	1.1379	0.68	0.8880	1.50	0.4572	3.20	0.1523

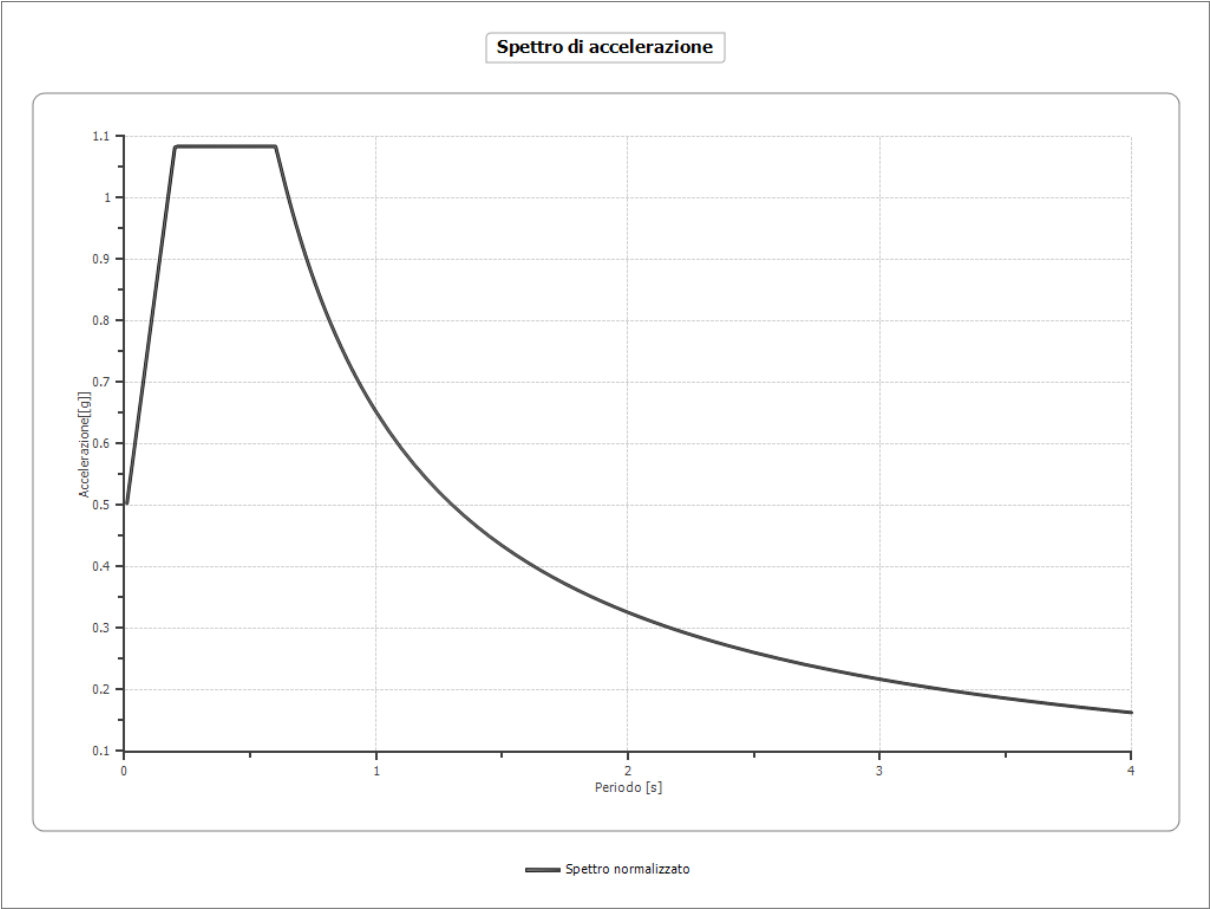
0.12	0.7884	0.38	1.1366	0.70	0.8721	1.55	0.4423	3.30	0.1443
0.13	0.8160	0.39	1.1343	0.72	0.8560	1.60	0.4277	3.40	0.1365
0.14	0.8428	0.40	1.1312	0.74	0.8396	1.65	0.4133	3.50	0.1290
0.15	0.8687	0.41	1.1272	0.76	0.8231	1.70	0.3991	3.60	0.1218
0.16	0.8936	0.42	1.1224	0.78	0.8063	1.75	0.3852	3.70	0.1149
0.17	0.9175	0.43	1.1169	0.80	0.7893	1.80	0.3715	3.80	0.1083
0.18	0.9403	0.44	1.1106	0.82	0.7723	1.85	0.3581	3.90	0.1019
0.19	0.9620	0.45	1.1036	0.84	0.7551	1.90	0.3449	4.00	0.0959
0.20	0.9825	0.46	1.0960	0.86	0.7379	1.95	0.3320		
0.21	1.0018	0.47	1.0878	0.88	0.7206	2.00	0.3193		
0.22	1.0198	0.48	1.0790	0.90	0.7033	2.05	0.3068		
0.23	1.0366	0.49	1.0696	0.92	0.6860	2.10	0.2947		
0.24	1.0521	0.50	1.0596	0.94	0.6688	2.15	0.2827		
0.25	1.0662	0.51	1.0491	0.96	0.6516	2.20	0.2711		
0.26	1.0791	0.52	1.0381	0.98	0.6345	2.25	0.2596		



Spettro normalizzato

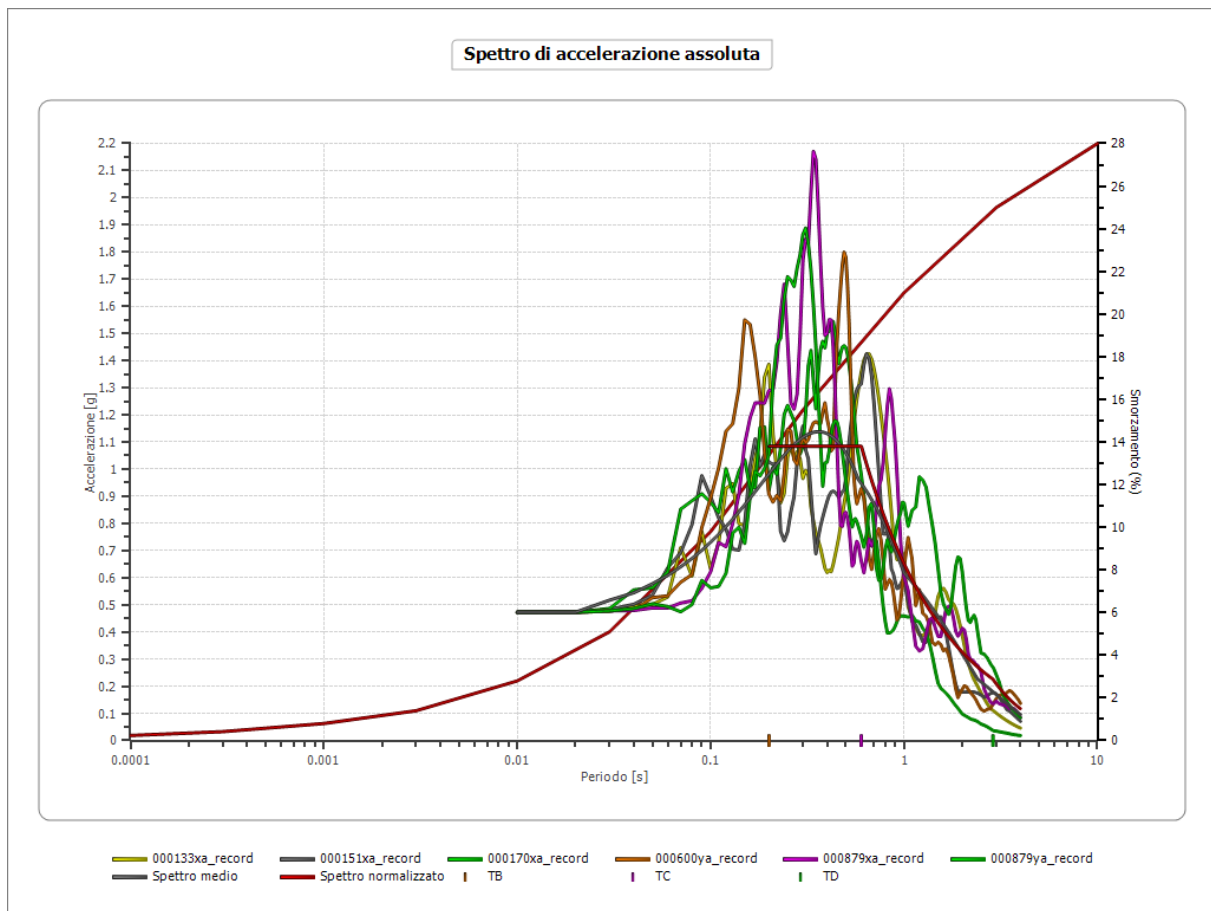
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.01	0.5035	0.27	1.0839	0.53	1.0839	1.00	0.6519	2.30	0.2834
0.02	0.5339	0.28	1.0839	0.54	1.0839	1.05	0.6209	2.35	0.2774
0.03	0.5644	0.29	1.0839	0.55	1.0839	1.10	0.5927	2.40	0.2716
0.04	0.5949	0.30	1.0839	0.56	1.0839	1.15	0.5669	2.50	0.2608

0.05	0.6254	0.31	1.0839	0.57	1.0839	1.20	0.5433	2.60	0.2507
0.06	0.6558	0.32	1.0839	0.58	1.0839	1.25	0.5215	2.70	0.2415
0.07	0.6863	0.33	1.0839	0.60	1.0839	1.30	0.5015	2.80	0.2328
0.08	0.7168	0.34	1.0839	0.62	1.0515	1.35	0.4829	2.90	0.2248
0.09	0.7472	0.35	1.0839	0.64	1.0186	1.40	0.4657	3.00	0.2173
0.10	0.7777	0.36	1.0839	0.66	0.9878	1.45	0.4496	3.10	0.2103
0.11	0.8082	0.37	1.0839	0.68	0.9587	1.50	0.4346	3.20	0.2037
0.12	0.8386	0.38	1.0839	0.70	0.9313	1.55	0.4206	3.30	0.1976
0.13	0.8691	0.39	1.0839	0.72	0.9055	1.60	0.4075	3.40	0.1917
0.14	0.8996	0.40	1.0839	0.74	0.8810	1.65	0.3951	3.50	0.1863
0.15	0.9301	0.41	1.0839	0.76	0.8578	1.70	0.3835	3.60	0.1811
0.16	0.9605	0.42	1.0839	0.78	0.8358	1.75	0.3725	3.70	0.1762
0.17	0.9910	0.43	1.0839	0.80	0.8149	1.80	0.3622	3.80	0.1716
0.18	1.0215	0.44	1.0839	0.82	0.7950	1.85	0.3524	3.90	0.1672
0.19	1.0519	0.45	1.0839	0.84	0.7761	1.90	0.3431	4.00	0.1630
0.20	1.0824	0.46	1.0839	0.86	0.7581	1.95	0.3343		
0.21	1.0839	0.47	1.0839	0.88	0.7408	2.00	0.3260		
0.22	1.0839	0.48	1.0839	0.90	0.7244	2.05	0.3180		
0.23	1.0839	0.49	1.0839	0.92	0.7086	2.10	0.3104		
0.24	1.0839	0.50	1.0839	0.94	0.6935	2.15	0.3032		
0.25	1.0839	0.51	1.0839	0.96	0.6791	2.20	0.2963		
0.26	1.0839	0.52	1.0839	0.98	0.6652	2.25	0.2897		



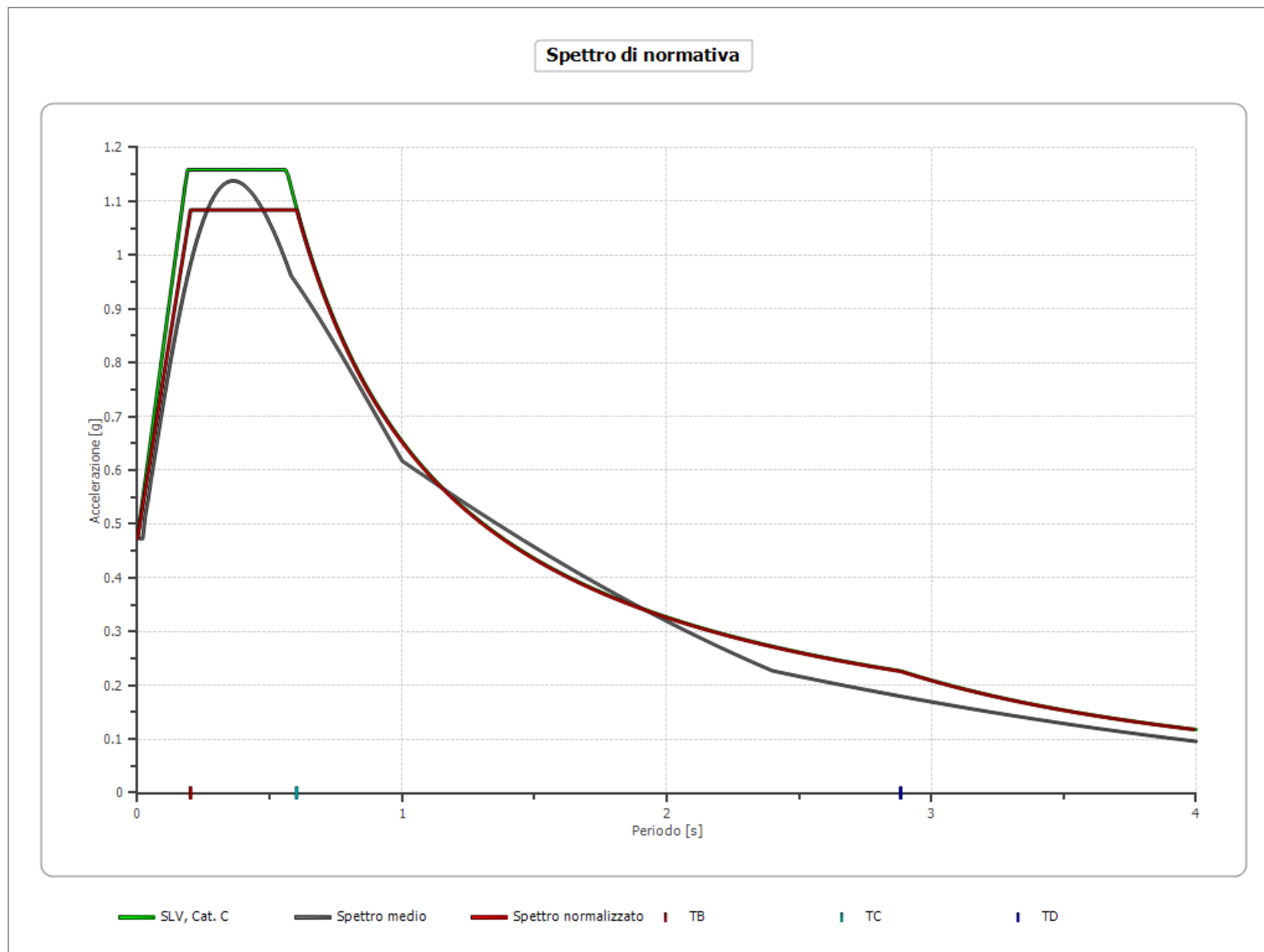
Confronto tra gli spettri





### Confronto spettro normativa

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	45	75	712	1462
ag [g]	0.089	0.116	0.321	0.423
Fo	2.28	2.304	2.449	2.488
Tc* [s]	0.299	0.321	0.396	0.429
Ss	1.50	1.50	1.23	1.07
St	1.20	1.20	1.20	1.20
Cc	1.56	1.53	1.43	1.39
TB [s]	0.156	0.163	0.188	0.199
TC [s]	0.468	0.490	0.564	0.596
TD [s]	1.956	2.064	2.884	3.292
Se(0) [g]	0.160	0.209	0.473	0.542
Se(TB) [g]	0.365	0.481	1.159	1.349



**DAL CONFRONTO EFFETTUATO LO SPETTRO STATO LIMITE DI VITA DA NORMATIVA E' MAGGIORMENTE CAUTELATIVO RISPETTO A QUELLO RICOSTRUITO CON LO STUDIO DI RPOSTA SISMICA LOCALE. QUALE INPUT SISMICO SI UTILIZZERA' QUELLO DI NORMATIVA.**

## STATO LIMITE DI DANNO

### Elaborazione

Numero di iterazioni 90  
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5  
Tipo di modulo elastico Shake 91  
Massimo errore percentuale di convergenza 7.76 E-05

### Fattori di amplificazione

Tai	0.380 [s]
Tvi	0.960 [s]
Tao	0.380 [s]
Tvo	0.960 [s]
Sami	4.429 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmi	0.426 [m/s]
Samo	4.429 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmo	0.426 [m/s]
<b>Fa</b>	<b>1.000 [-]</b>
<b>Fv</b>	<b>1.000 [-]</b>
TB	0.202 [s]
TC	0.605 [s]
TD	2.064 [s]
SA(0)	0.209 [g]
SA(TB)	0.452 [g]

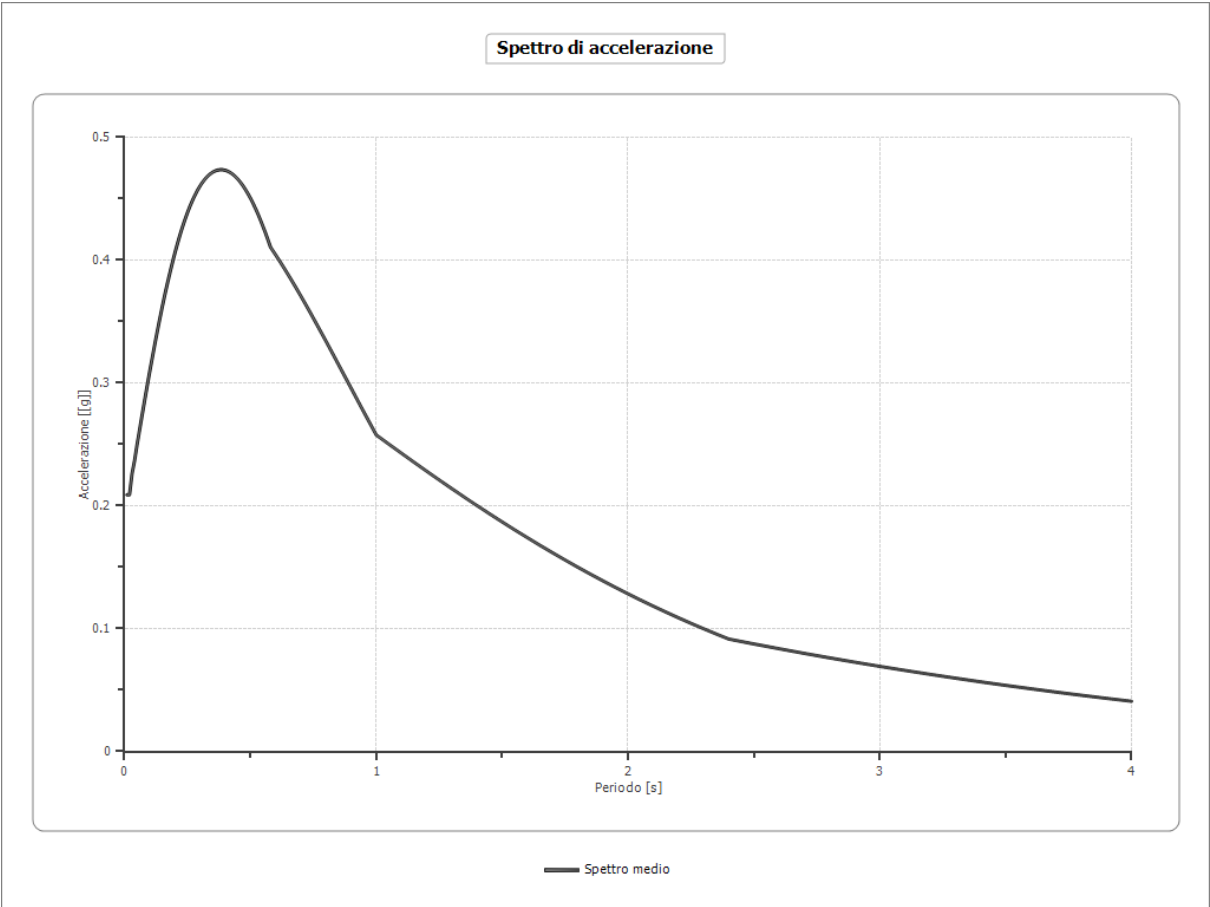
### Fattori di amplificazione su intensità spettrale

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

### Spettro medio

Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]
0.01	0.2090	0.27	0.4487	0.53	0.4376	1.00	0.2577	2.30	0.1000
0.02	0.2090	0.28	0.4530	0.54	0.4327	1.05	0.2502	2.35	0.0957
0.03	0.2262	0.29	0.4569	0.55	0.4276	1.10	0.2428	2.40	0.0916
0.04	0.2368	0.30	0.4604	0.56	0.4222	1.15	0.2355	2.50	0.0876
0.05	0.2498	0.31	0.4635	0.57	0.4165	1.20	0.2282	2.60	0.0837
0.06	0.2617	0.32	0.4661	0.58	0.4106	1.25	0.2211	2.70	0.0799
0.07	0.2739	0.33	0.4683	0.60	0.4045	1.30	0.2140	2.80	0.0763
0.08	0.2858	0.34	0.4702	0.62	0.3981	1.35	0.2071	2.90	0.0727
0.09	0.2975	0.35	0.4716	0.64	0.3916	1.40	0.2002	3.00	0.0693
0.10	0.3089	0.36	0.4727	0.66	0.3849	1.45	0.1935	3.10	0.0660
0.11	0.3202	0.37	0.4734	0.68	0.3780	1.50	0.1869	3.20	0.0628
0.12	0.3311	0.38	0.4737	0.70	0.3710	1.55	0.1805	3.30	0.0597

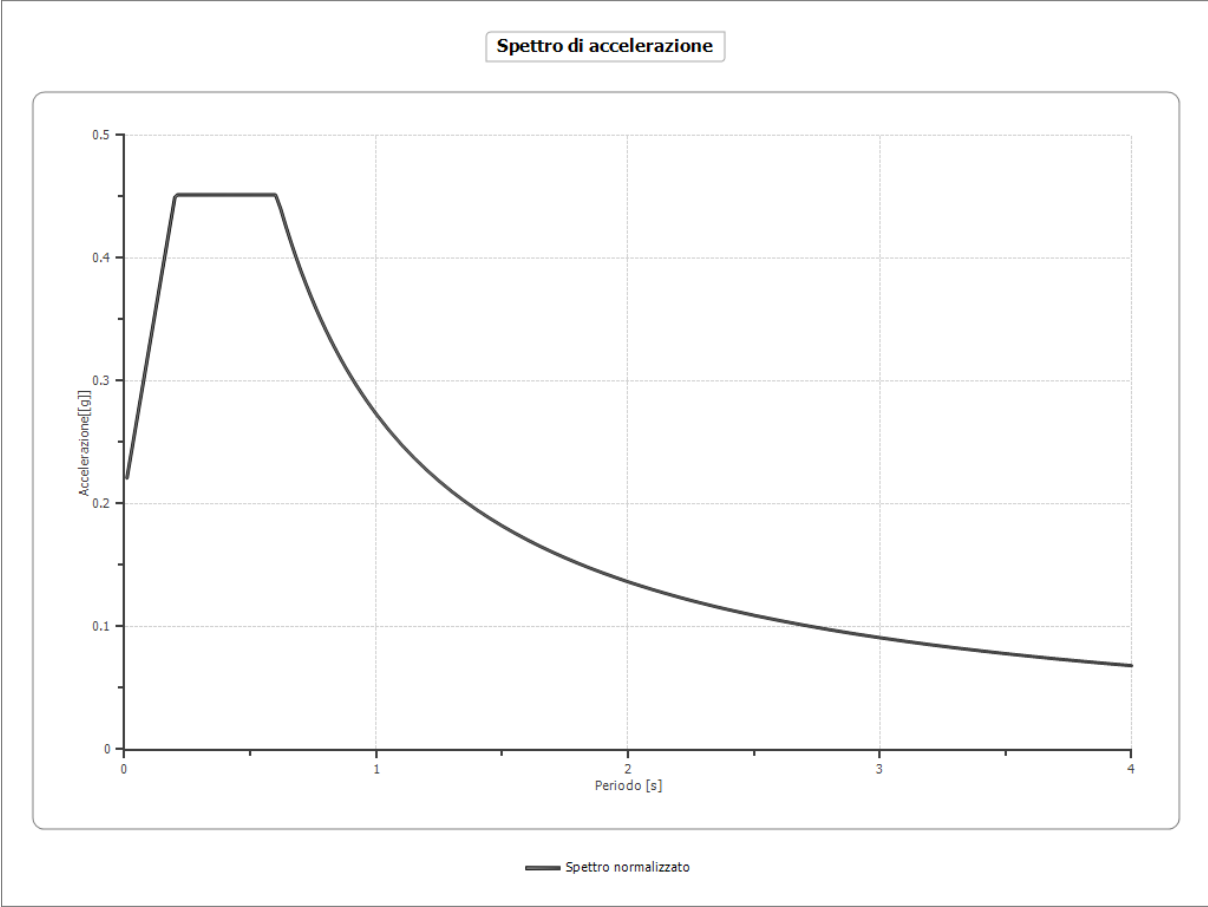
0.13	0.3417	0.39	0.4736	0.72	0.3638	1.60	0.1741	3.40	0.0567
0.14	0.3520	0.40	0.4732	0.74	0.3566	1.65	0.1679	3.50	0.0539
0.15	0.3619	0.41	0.4725	0.76	0.3492	1.70	0.1618	3.60	0.0511
0.16	0.3715	0.42	0.4714	0.78	0.3417	1.75	0.1559	3.70	0.0484
0.17	0.3807	0.43	0.4699	0.80	0.3342	1.80	0.1501	3.80	0.0458
0.18	0.3894	0.44	0.4681	0.82	0.3266	1.85	0.1445	3.90	0.0433
0.19	0.3978	0.45	0.4660	0.84	0.3189	1.90	0.1390	4.00	0.0409
0.20	0.4057	0.46	0.4636	0.86	0.3112	1.95	0.1336		
0.21	0.4132	0.47	0.4608	0.88	0.3035	2.00	0.1284		
0.22	0.4202	0.48	0.4577	0.90	0.2959	2.05	0.1233		
0.23	0.4268	0.49	0.4543	0.92	0.2882	2.10	0.1184		
0.24	0.4330	0.50	0.4506	0.94	0.2805	2.15	0.1136		
0.25	0.4386	0.51	0.4466	0.96	0.2729	2.20	0.1089		
0.26	0.4439	0.52	0.4422	0.98	0.2653	2.25	0.1044		



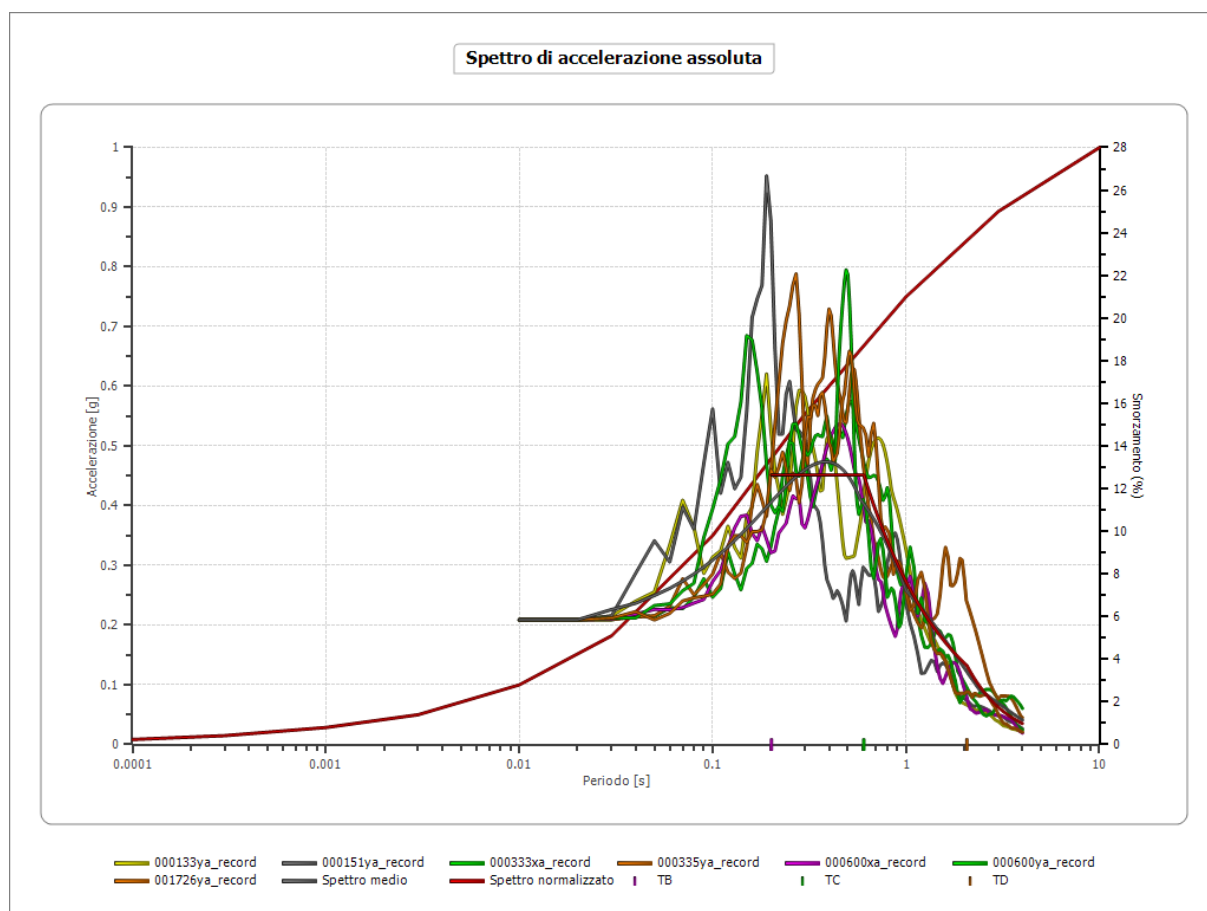
Spettro normalizzato

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.01	0.2210	0.27	0.4515	0.53	0.4515	1.00	0.2731	2.30	0.1187
0.02	0.2331	0.28	0.4515	0.54	0.4515	1.05	0.2601	2.35	0.1162
0.03	0.2451	0.29	0.4515	0.55	0.4515	1.10	0.2483	2.40	0.1138
0.04	0.2571	0.30	0.4515	0.56	0.4515	1.15	0.2375	2.50	0.1092
0.05	0.2691	0.31	0.4515	0.57	0.4515	1.20	0.2276	2.60	0.1050

0.06	0.2812	0.32	0.4515	0.58	0.4515	1.25	0.2185	2.70	0.1012
0.07	0.2932	0.33	0.4515	0.60	0.4515	1.30	0.2101	2.80	0.0975
0.08	0.3052	0.34	0.4515	0.62	0.4405	1.35	0.2023	2.90	0.0942
0.09	0.3173	0.35	0.4515	0.64	0.4267	1.40	0.1951	3.00	0.0910
0.10	0.3293	0.36	0.4515	0.66	0.4138	1.45	0.1884	3.10	0.0881
0.11	0.3413	0.37	0.4515	0.68	0.4016	1.50	0.1821	3.20	0.0853
0.12	0.3533	0.38	0.4515	0.70	0.3902	1.55	0.1762	3.30	0.0828
0.13	0.3654	0.39	0.4515	0.72	0.3793	1.60	0.1707	3.40	0.0803
0.14	0.3774	0.40	0.4515	0.74	0.3691	1.65	0.1655	3.50	0.0780
0.15	0.3894	0.41	0.4515	0.76	0.3594	1.70	0.1607	3.60	0.0759
0.16	0.4015	0.42	0.4515	0.78	0.3501	1.75	0.1561	3.70	0.0738
0.17	0.4135	0.43	0.4515	0.80	0.3414	1.80	0.1517	3.80	0.0719
0.18	0.4255	0.44	0.4515	0.82	0.3331	1.85	0.1476	3.90	0.0700
0.19	0.4375	0.45	0.4515	0.84	0.3251	1.90	0.1437	4.00	0.0683
0.20	0.4496	0.46	0.4515	0.86	0.3176	1.95	0.1401		
0.21	0.4515	0.47	0.4515	0.88	0.3104	2.00	0.1366		
0.22	0.4515	0.48	0.4515	0.90	0.3035	2.05	0.1332		
0.23	0.4515	0.49	0.4515	0.92	0.2969	2.10	0.1301		
0.24	0.4515	0.50	0.4515	0.94	0.2905	2.15	0.1270		
0.25	0.4515	0.51	0.4515	0.96	0.2845	2.20	0.1241		
0.26	0.4515	0.52	0.4515	0.98	0.2787	2.25	0.1214		

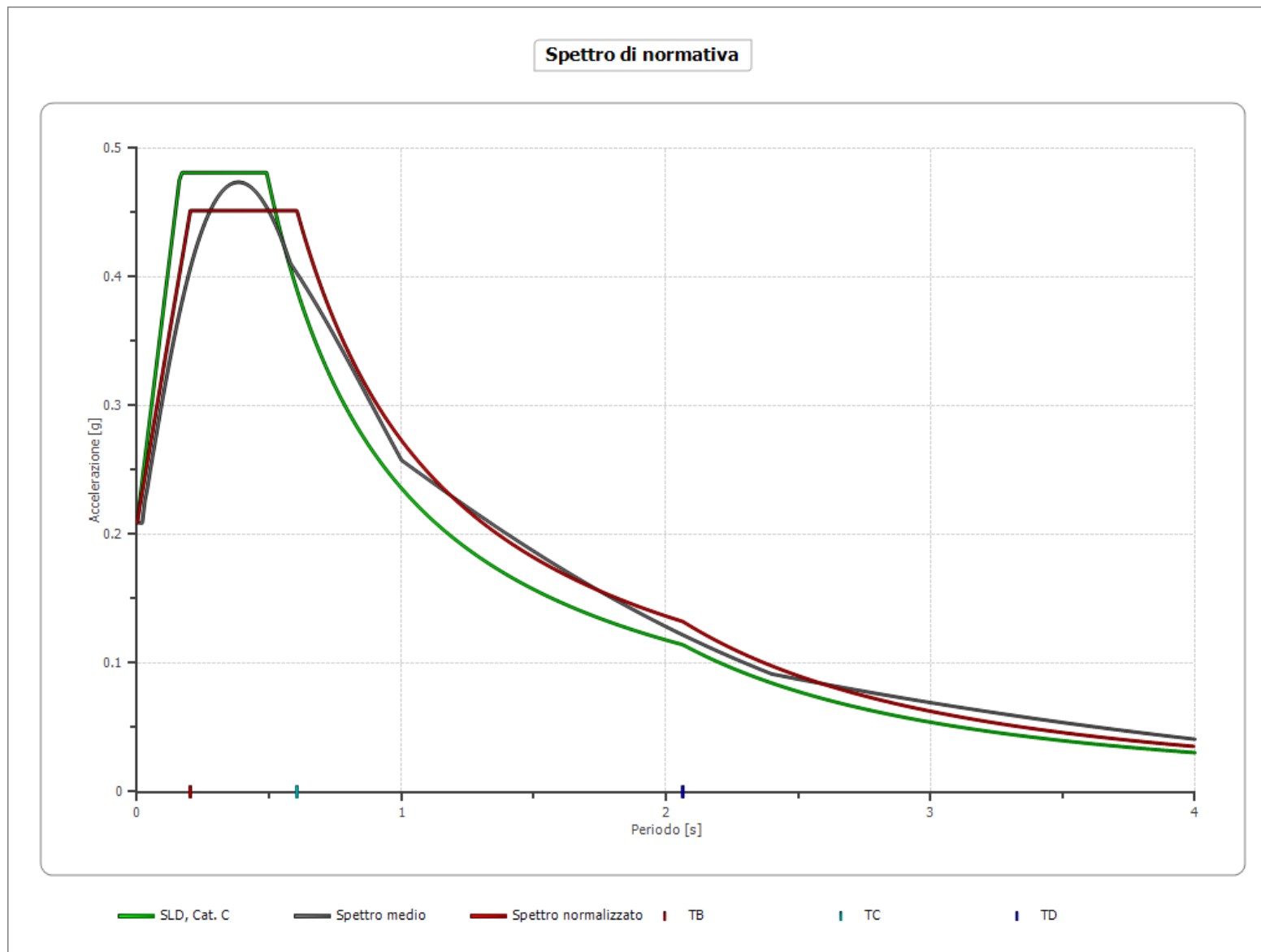


Confronto tra gli spettri



### Confronto spettro normativa

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	45	75	712	1462
ag [g]	0.089	0.116	0.321	0.423
Fo	2.28	2.304	2.449	2.488
Tc* [s]	0.299	0.321	0.396	0.429
Ss	1.50	1.50	1.23	1.07
St	1.20	1.20	1.20	1.20
Cc	1.56	1.53	1.43	1.39
TB [s]	0.156	0.163	0.188	0.199
TC [s]	0.468	0.490	0.564	0.596
TD [s]	1.956	2.064	2.884	3.292
Se(0) [g]	0.160	0.209	0.473	0.542
Se(TB) [g]	0.365	0.481	1.159	1.349



**DAL CONFRONTO EFFETTUATO LO SPETTRO STATO LIMITE DI DANNO DA NORMATIVA E' MAGGIORMENTE CAUTELATIVO RISPETTO A QUELLO RICOSTRUITO CON LO STUDIO DI RPOSTA SISMICA LOCALE. QUALE INPUT SISMICO SI UTILIZZERÀ QUELLO DI NORMATIVA.**

## Elaborazione

Numero di iterazioni 90  
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5  
 Tipo di modulo elastico Shake 91  
 Massimo errore percentuale di convergenza 1.55 E-04

### Fattori di amplificazione

Tai	0.370 [s]
Tvi	0.880 [s]
Tao	0.370 [s]
Tvo	0.880 [s]
Sami	3.466 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmi	0.308 [m/s]
Samo	3.466 [m/s <sup>2</sup> ]
Svmo	0.308 [m/s]
<b>Fa</b>	<b>1.000 [-]</b>
<b>Fv</b>	<b>1.000 [-]</b>
TB	0.186 [s]
TC	0.559 [s]
TD	1.956 [s]
SA(0)	0.160 [g]
SA(TB)	0.353 [g]

### Fattori di amplificazione su intensità spettrale

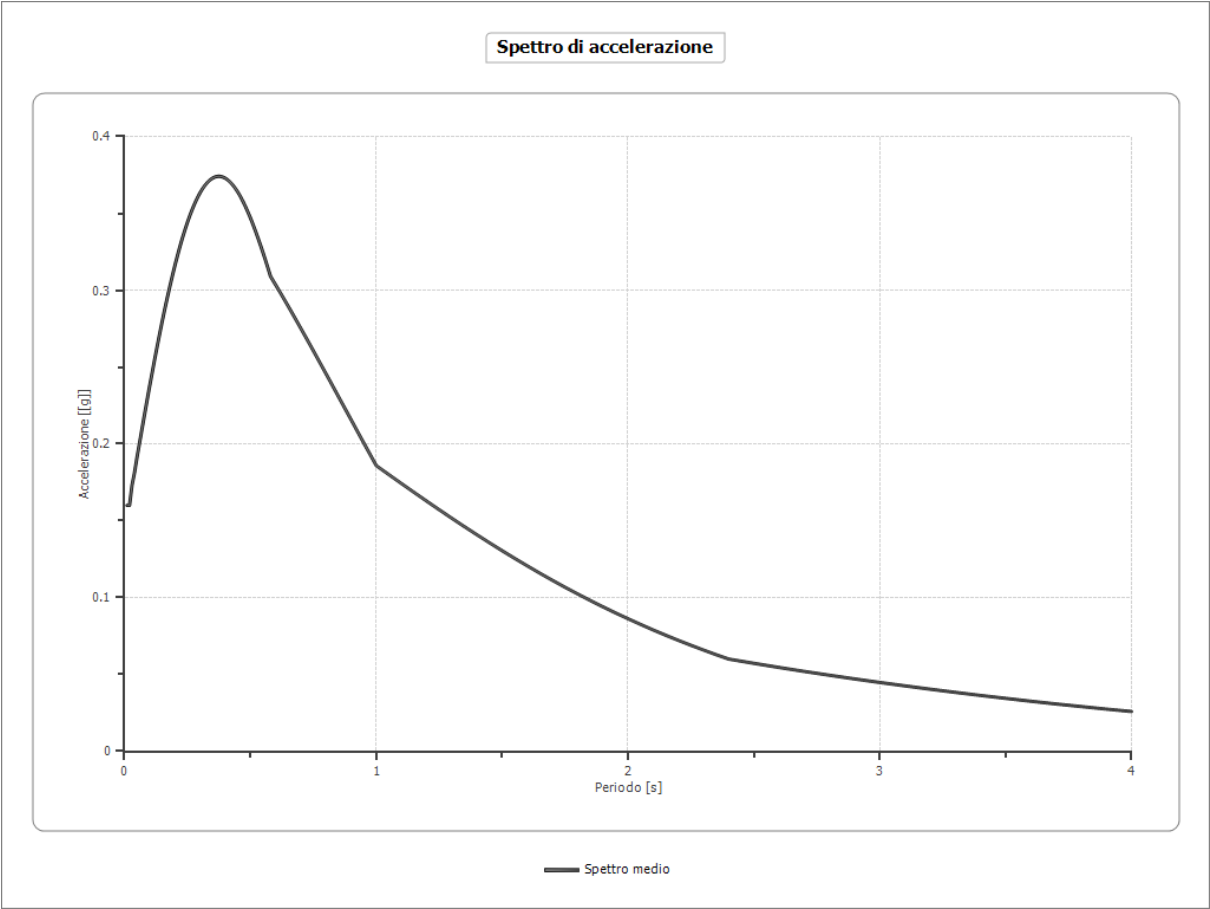
Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
-----------------------	---------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------------	----

### Spettro medio

Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]
0.01	0.1600	0.27	0.3529	0.53	0.3341	1.00	0.1859	2.30	0.0659
0.02	0.1600	0.28	0.3568	0.54	0.3294	1.05	0.1801	2.35	0.0629
0.03	0.1733	0.29	0.3603	0.55	0.3245	1.10	0.1742	2.40	0.0600
0.04	0.1814	0.30	0.3633	0.56	0.3195	1.15	0.1685	2.50	0.0572
0.05	0.1915	0.31	0.3660	0.57	0.3143	1.20	0.1628	2.60	0.0546
0.06	0.2007	0.32	0.3684	0.58	0.3090	1.25	0.1572	2.70	0.0520
0.07	0.2102	0.33	0.3703	0.60	0.3036	1.30	0.1517	2.80	0.0495
0.08	0.2194	0.34	0.3718	0.62	0.2981	1.35	0.1462	2.90	0.0471
0.09	0.2286	0.35	0.3730	0.64	0.2925	1.40	0.1409	3.00	0.0448
0.10	0.2376	0.36	0.3737	0.66	0.2868	1.45	0.1357	3.10	0.0426
0.11	0.2464	0.37	0.3741	0.68	0.2811	1.50	0.1305	3.20	0.0404
0.12	0.2551	0.38	0.3741	0.70	0.2753	1.55	0.1255	3.30	0.0384
0.13	0.2636	0.39	0.3737	0.72	0.2695	1.60	0.1206	3.40	0.0364
0.14	0.2718	0.40	0.3729	0.74	0.2636	1.65	0.1159	3.50	0.0345



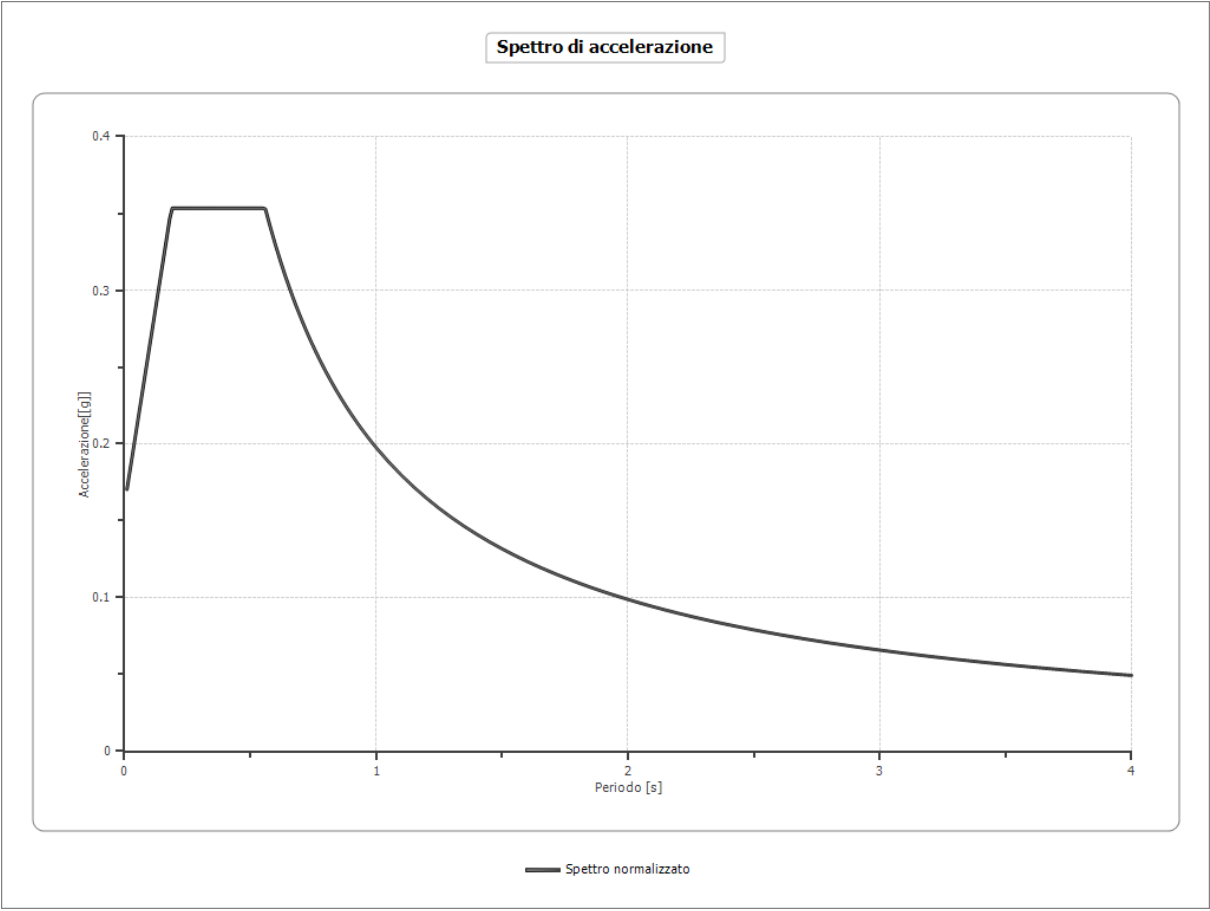
0.15	0.2798	0.41	0.3718	0.76	0.2577	1.70	0.1113	3.60	0.0326
0.16	0.2876	0.42	0.3703	0.78	0.2518	1.75	0.1068	3.70	0.0308
0.17	0.2951	0.43	0.3685	0.80	0.2458	1.80	0.1024	3.80	0.0291
0.18	0.3023	0.44	0.3664	0.82	0.2398	1.85	0.0982	3.90	0.0275
0.19	0.3093	0.45	0.3639	0.84	0.2338	1.90	0.0941	4.00	0.0259
0.20	0.3159	0.46	0.3611	0.86	0.2278	1.95	0.0901		
0.21	0.3222	0.47	0.3580	0.88	0.2218	2.00	0.0863		
0.22	0.3282	0.48	0.3546	0.90	0.2157	2.05	0.0825		
0.23	0.3339	0.49	0.3510	0.92	0.2097	2.10	0.0790		
0.24	0.3392	0.50	0.3471	0.94	0.2038	2.15	0.0755		
0.25	0.3441	0.51	0.3430	0.96	0.1978	2.20	0.0722		
0.26	0.3487	0.52	0.3387	0.98	0.1918	2.25	0.0690		



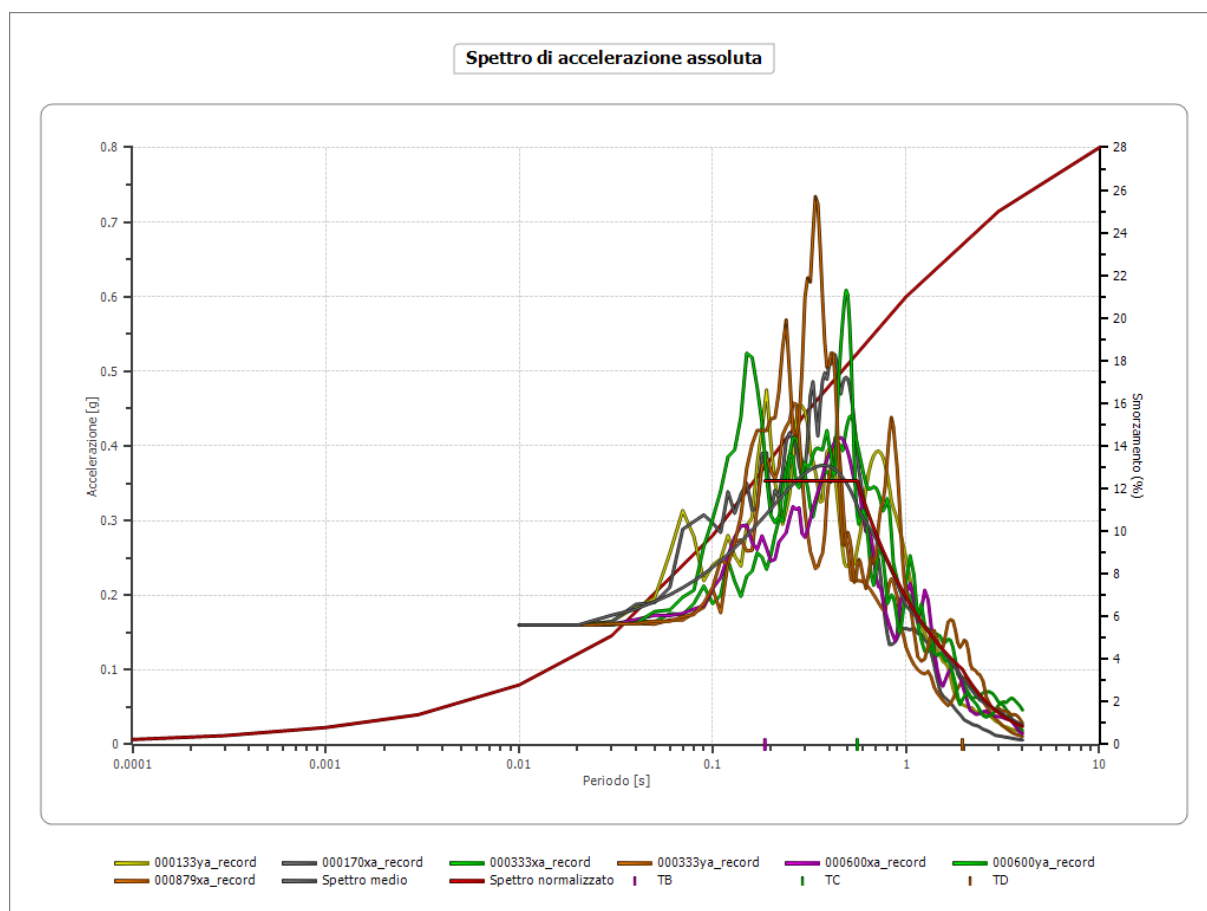
Spettro normalizzato

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.01	0.1704	0.27	0.3534	0.53	0.3534	1.00	0.1976	2.30	0.0859
0.02	0.1807	0.28	0.3534	0.54	0.3534	1.05	0.1882	2.35	0.0841
0.03	0.1911	0.29	0.3534	0.55	0.3534	1.10	0.1796	2.40	0.0823
0.04	0.2015	0.30	0.3534	0.56	0.3528	1.15	0.1718	2.50	0.0790
0.05	0.2119	0.31	0.3534	0.57	0.3466	1.20	0.1646	2.60	0.0760
0.06	0.2222	0.32	0.3534	0.58	0.3406	1.25	0.1581	2.70	0.0732
0.07	0.2326	0.33	0.3534	0.60	0.3293	1.30	0.1520	2.80	0.0706

0.08	0.2430	0.34	0.3534	0.62	0.3187	1.35	0.1464	2.90	0.0681
0.09	0.2534	0.35	0.3534	0.64	0.3087	1.40	0.1411	3.00	0.0659
0.10	0.2637	0.36	0.3534	0.66	0.2994	1.45	0.1363	3.10	0.0637
0.11	0.2741	0.37	0.3534	0.68	0.2906	1.50	0.1317	3.20	0.0617
0.12	0.2845	0.38	0.3534	0.70	0.2822	1.55	0.1275	3.30	0.0599
0.13	0.2949	0.39	0.3534	0.72	0.2744	1.60	0.1235	3.40	0.0581
0.14	0.3052	0.40	0.3534	0.74	0.2670	1.65	0.1197	3.50	0.0564
0.15	0.3156	0.41	0.3534	0.76	0.2600	1.70	0.1162	3.60	0.0549
0.16	0.3260	0.42	0.3534	0.78	0.2533	1.75	0.1129	3.70	0.0534
0.17	0.3364	0.43	0.3534	0.80	0.2470	1.80	0.1098	3.80	0.0520
0.18	0.3467	0.44	0.3534	0.82	0.2409	1.85	0.1068	3.90	0.0507
0.19	0.3534	0.45	0.3534	0.84	0.2352	1.90	0.1040	4.00	0.0494
0.20	0.3534	0.46	0.3534	0.86	0.2297	1.95	0.1013		
0.21	0.3534	0.47	0.3534	0.88	0.2245	2.00	0.0988		
0.22	0.3534	0.48	0.3534	0.90	0.2195	2.05	0.0964		
0.23	0.3534	0.49	0.3534	0.92	0.2148	2.10	0.0941		
0.24	0.3534	0.50	0.3534	0.94	0.2102	2.15	0.0919		
0.25	0.3534	0.51	0.3534	0.96	0.2058	2.20	0.0898		
0.26	0.3534	0.52	0.3534	0.98	0.2016	2.25	0.0878		

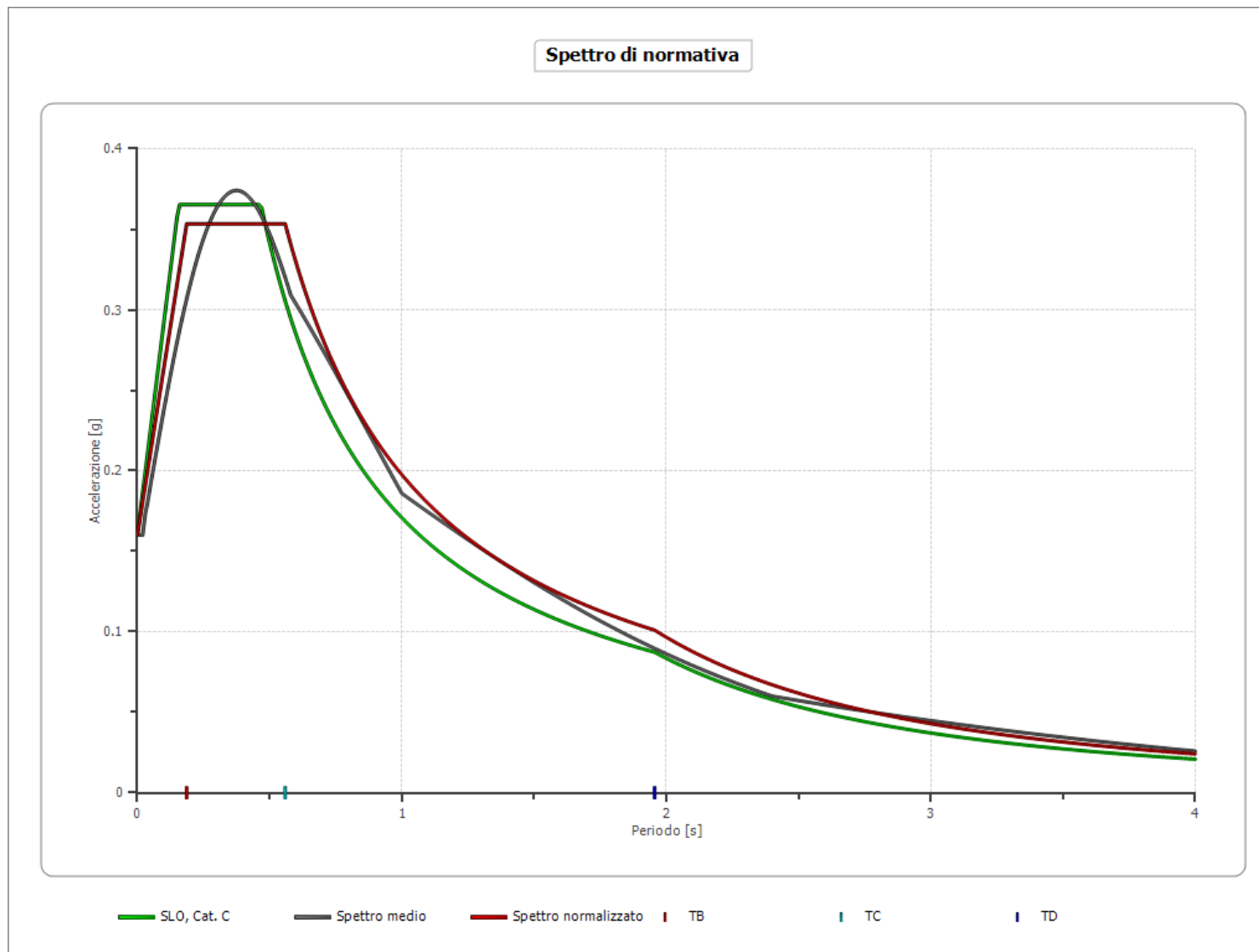


Confronto tra gli spettri



### Confronto spettro normativa

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	45	75	712	1462
ag [g]	0.089	0.116	0.321	0.423
Fo	2.28	2.304	2.449	2.488
Tc* [s]	0.299	0.321	0.396	0.429
Ss	1.50	1.50	1.23	1.07
St	1.20	1.20	1.20	1.20
Cc	1.56	1.53	1.43	1.39
TB [s]	0.156	0.163	0.188	0.199
TC [s]	0.468	0.490	0.564	0.596
TD [s]	1.956	2.064	2.884	3.292
Se(0) [g]	0.160	0.209	0.473	0.542
Se(TB) [g]	0.365	0.481	1.159	1.349



**DAL CONFRONTO EFFETTUATO LO SPETTRO STATO LIMITE DI DANNO DA NORMATIVA E' MAGGIORMENTE CAUTELATIVO RISPETTO A QUELLO RICOSTRUITO CON LO STUDIO DI RPOSTA SISMICA LOCALE. QUALE INPUT SISMICO SI UTILIZZERÀ QUELLO DI NORMATIVA.**