



REGIONE CALABRIA



PROVINCIA DI CROTONE



COMUNE DI CROTONE



COMUNE DI SCANDALE

Proponente	Genera SRL		 Partnered by: 		
Progettazione	<b>Ing. Fabio Domenico Amico</b> Via Milazzo, 17 40121 Bologna <a href="mailto:f.amico@green-go.net">f.amico@green-go.net</a>		Studio Archeologico	<b>Dott. Marco di Lieto</b> Viale T. Campanella n. 186 int. 9/G 88100 – Catanzaro <a href="mailto:dilieto@pec.it">dilieto@pec.it</a>	
SIA Studio paesaggistico	<b>Ing. Fabio Domenico Amico</b> Via Milazzo, 17 40121 Bologna <a href="mailto:f.amico@green-go.net">f.amico@green-go.net</a>		Studio di Compatibilità Agronomica e naturalistica	<b>Dott. Antonio Fruci</b> C.da Frassà snc 88025 Maida (CZ) <a href="mailto:a.fruci@libero.it">a.fruci@libero.it</a>	
Rendering Fotosimulazioni	<b>Dott. Francesca Paiar</b> Via Rucci 12 88044 Marcellinara (CZ) <a href="mailto:federica.paiar@legalmail.it">federica.paiar@legalmail.it</a>		Studio Geologico e Idrogeologico	<b>Dott. Carlo Lappano</b> Via T.Tasso, 8° 87036-Rende (CS) <a href="mailto:c.lappano@libero.it">c.lappano@libero.it</a>	
Opera	Progetto di realizzazione di un impianto fotovoltaico e opere connesse nei Comuni di Crotona (KR) e Scandale (KR), denominato San Biagio				
Oggetto	Identificativo file elaborato: SNBSSOR01-00				
	Titolo elaborato: Relazione sismica				
00	09/09/2021	Emissione per progetto definitivo	Dott. Carlo Lappano	Ing. Fabio Domenico Amico	Genera Srl
Rev.	Data	Oggetto della revisione	Elaborazione	Verifica	Approvazione

## INDICE

1. - PREMESSA .....	2
2. - UBICAZIONE SITO .....	3
3. - ZONIZZAZIONE SISMICA DEL SITO .....	4
4 - MACROZONAZIONE SISMICA .....	4
5 - DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	5
6 - VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO .....	6
7 - STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO .....	8
8 - DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	10
9 - PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO .....	14
10 - INTENSITÀ MACROSISMICA .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
11 - MODELLAZIONE NUMERICA DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE .....	19
12 – CONCLUSIONI .....	47

## 1. - PREMESSA

Il sottoscritto Dott. Geol. Carlo LAPPANO, è stato incaricato dalla Società GENERA S.r.l., per la redazione dello studio di pericolosità sismica cui si riferisce la presente relazione, riguardante il “PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO ED OPERE CONNESSE NEI COMUNI DI CROTONE (Kr) E SCANDALE (Kr), DENOMINATO SAN BIAGIO”.

Le finalità che si vogliono raggiungere con il presente studio possono sintetizzarsi nella individuazione delle caratteristiche sismostratigrafiche del sito ed i relativi parametri sismici. In particolare, visto che dovrà essere realizzata una struttura di classe d'uso III, per determinare la risposta sismica locale si è utilizzata un'ANALISI NUMERICA DI TIPO MONODIMENSIONALE. Si è, pertanto, proceduto con il rilevamento di campagna per un'area sufficientemente ampia, l'esame aerofotogrammetrico ed uno studio accurato di tutta la bibliografia di carattere storico compreso la Carta Geologica della Calabria in scala 1:25.000 redatta dall'I.G.M. e relative note illustrative.

Successivamente, è stata presa in considerazione una campagna di indagini geognostiche eseguita nel sito, consistite in:

- *N° 3 prospezione sismica di superficie tipo “MASW”.*
- *N° 5 prove penetrometriche superpesanti*

La presente relazione è stata redatta in osservanza delle normative vigenti in materia (1).

- **Legge 2 febbraio 1974, n. 64:** *“Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;*
- **Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003 e s.m.i.:** *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”;*
- **Ordinanza P.C.M. n. 3519 del 28.04.2006:** *“Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”;*
- **DM 17.01.2018: NTC18;**

## 2. - UBICAZIONE SITO

L'area oggetto di studio è ubicata nel comune di Crotona (Kr) presso la località San Biagio.

### **Riferimenti cartografici:**

*Foglio 238 della Carta Geologica della Calabria in scala 1:25.000 CASMEZ quadrante III S.E.  
e 238 III S.O. denominate "Crotona e Cutro".*

### **Coordinate geografiche del sito:**

#### **sistema WGS:**

*Latitudine = 39,064977*

*Longitudine =17,085181*

#### **sistema ED50:**

*Latitudine = 39,065993*

*Longitudine =17,085968*



### 3. - ZONIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

Lo studio di pericolosità sismica di base cui si riferisce la presente relazione, eseguito per conto dalla Società GENERA S.r.l., riguarda il progetto per la realizzazione di un Impianto Fotovoltaico. Per tale scopo si è proceduto ad illustrare, in particolare, la sismicità dell'area ed a fornire una caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione interessati dalle opere previste nel progetto, con le seguenti finalità:

- Definire la macrozonazione sismica dell'area attraverso l'individuazione delle zone sismiche, ai sensi dell'OPCM n.3274 del 20 marzo 2003.
- Definire la categoria del suolo di fondazione (microzonazione) attraverso i profili di velocità delle  $V_s$  ottenuti con le prove geofisiche in sito, secondo quanto specificato al paragrafo 3.2.2 delle NTC 2018;
- caratterizzare la pericolosità sismica dell'area mediante l'individuazione del parametro  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima del terreno).
- Definire *la vita nominale dell'opera*, che congiuntamente alla *classe d'uso*, permette di determinare quel *periodo di riferimento*. Una volta definito il periodo di riferimento e i diversi *stati limite* da considerare e le relative *probabilità di superamento*, è possibile stabilire il *periodo di ritorno* associato a ciascun stato limite;

a questo punto è possibile definire la *pericolosità sismica di base* per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

### 4 - MACROZONAZIONE SISMICA

Per una dettagliata valutazione della pericolosità sismica nella zona in esame, in ottemperanza all'Ordinanza 3274 del 20/03/2003 e dell'Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006 dalla G.U. n.108 del 11/05/06, va tenuto conto che il Comune di Crotone (CS), in base alla classificazione sismica nazionale, ricade in **zona sismica 2**.

Si riporta la tabella dove ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo  $a_g$ , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ $a_g/g$ ]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [ $a_g/g$ ]
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

In particolare, la recente riclassificazione sismica del territorio nazionale ha classificato l'intero territorio nazionale in quattro zone indicate con i numeri da 1 (a maggior rischio) a 4 (a minor rischio). Più precisamente i 409 comuni calabresi ricadono tutti nella zona 1 e 2, di cui 261 ricadono nella zona 1 e 148 nella zona 2. Pertanto, come si può notare dalla mappa della zonazione sismica nazionale (figura 1.), la Calabria è l'unica regione italiana ad essere interamente compresa nella zona 1 e 2.

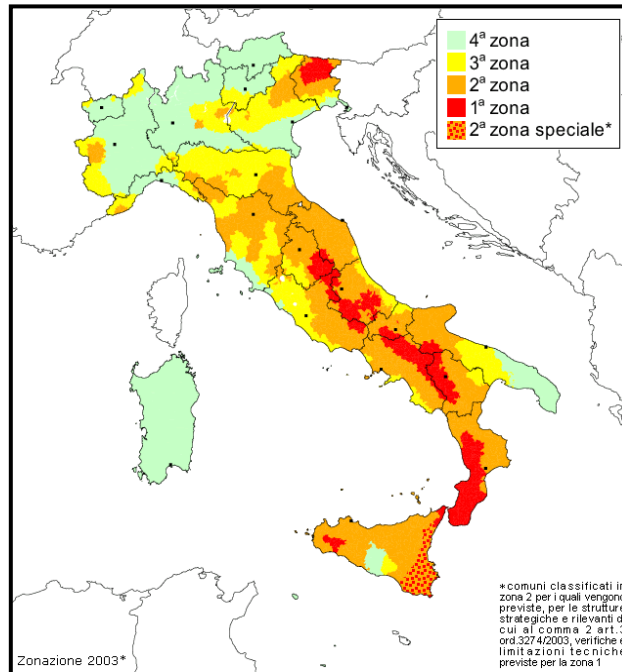


Figura 1. mappa della zonazione sismica nazionale

## 5 - DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità  $V_s$  per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo. I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

$h_i$  spessore dell' $i$ -esimo strato;

$V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;

$N$  numero di strati;

$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Il sito in esame, poiché la velocità media delle onde di taglio nei primi trenta metri ( $V_{S30}$ ) è risultata pari a 501 m/s e congruente con la descrizione stratigrafica secondo la tab. 3.2.II delle NTC 2018 (sotto riportata), ricade, quindi, in **Categoria di sottosuolo C**.

**Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo**

<b>Categoria</b>	<b>Descrizione</b>
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
<b>C</b>	<i><b><u>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</u></b></i>
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s</i>
<b>E</b>	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

## **6 - VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO**

Nelle NTC18 il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (2.1)$$

dove:

$V_R$  = periodo di riferimento

$V_N$  = vita nominale

$C_U$  = coefficiente d'uso

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$ , secondo le NTC18, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità:

- $V_N \leq 10$  anni per le opere provvisorie, provvisionali e le strutture in fase costruttiva che però abbiano una durata di progetto  $\geq 2$  anni.
- $V_N \geq 50$  anni per le opere ordinarie, ponti, infrastrutture e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- $V_N \geq 100$  anni per grandi opere, ponti, infrastrutture e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica.

Nel caso specifico  $V_N = 100$  anni.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC18 prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

**Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.  $C_U = 0.7$ ;

**Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.  $C_U = 1.0$ ;

**Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.  $C_U = 1.5$ ;

**Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie, ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.  $C_U = 2.0$ ;**



Nel caso in esame viene presa in considerazione la **classe d'uso IV** a cui è associato il coefficiente  $C_U = 2,0$ .

Una volta ottenuti  $V_N$  e  $C_U$ , è possibile calcolare il periodo di riferimento  $V_R$ , che qui vale:

$$V_R = 50 * 2,0 = 100 \text{ anni.}$$

## **7 - STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO**

Le NTC18 prendono in considerazione 4 possibili *stati limite* (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono *stati limite di esercizio* (SLE) e due sono *stati limite ultimi* (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività** (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno** (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita** (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)**: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le NTC18, in presenza di azioni sismiche, richiedono le verifiche allo SLO solo per gli elementi non strutturali e per gli impianti di strutture di classi d'uso III e IV (NTC18, punto 7.1). Lo SLO si utilizza anche come riferimento progettuale per quelle opere che devono restare operative durante e subito dopo il terremoto. Le verifiche allo SLC sono, invece, richieste solo per le costruzioni o ponti con isolamento e/o dissipazione (NTC18, punto 7.10).

Ad ogni stato limite è associata una **probabilità di superamento**  $P_{VR}$  (Tabella 3.1), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento  $V_R$ , si verifichi almeno un evento sismico ( $n \geq 1$ ) di  $a_g$  prefissata ( $a_g$  = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza  $\lambda = 1/T_R$  ( $T_R$  = periodo di ritorno).

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	<b><math>P_{VR} = 81\%</math></b>
Stato limite di esercizio: danno	SLD	<b><math>P_{VR} = 63\%</math></b>
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	<b><math>P_{VR} = 10\%</math></b>
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	<b><math>P_{VR} = 5\%</math></b>

**Tabella 3.1- Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento  $V_R$**

Fissati  $V_R$  e  $P_{VR}$  associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni, mediante l'espressione riportata nell'Allegato A delle NTC18:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \quad (3.1)$$

ale relazione tra  $P_{VR}$  (probabilità) e  $T_R$  (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è  **$V_R = 50$  anni**, il tempo di ritorno  $T_R$  sarà:

Stato limite di esercizio: operatività	SLO	<b><math>T_R = 30</math></b>
Stato limite di esercizio: danno	SLD	<b><math>T_R = 50</math></b>
Stati limite ultimo: salvaguardia della vita	SLV	<b><math>T_R = 475</math></b>
Stati limite ultimo: di prevenzione del collasso	SLC	<b><math>T_R = 975</math></b>

**Tabella 3.2- Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento  $V_R$**

## 8 - DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC18, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale. Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC18 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

Secondo le NTC18 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno  $T_R$  (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'**Allegato A** alle NTC18:

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima;

$F_0$  = 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.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

$a_g$ , il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

$F_0$  e  $T_C^*$  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC18 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti in tabella (Tabella 4.1), contenuta nell'**Allegato B** delle NTC18, per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

ID	LON	LAT	$T_R = 30$			$T_R = 50$			$T_R = 72$			$T_R = 101$		
			$a_g$	$F_0$	$T_C^*$	$a_g$	$F_0$	$T_C^*$	$a_g$	$F_0$	$T_C^*$	$a_g$	$F_0$	$T_C^*$
13111	6.5448	45.1340	0.263	2.500	0.180	0.340	2.510	0.210	0.394	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13333	6.5506	45.0850	0.264	2.490	0.180	0.341	2.510	0.210	0.395	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13555	6.5564	45.0350	0.264	2.500	0.180	0.340	2.510	0.200	0.393	2.550	0.220	0.466	2.500	0.240
13777	6.5621	44.9850	0.263	2.500	0.180	0.338	2.520	0.200	0.391	2.550	0.220	0.462	2.510	0.240
12890	6.6096	45.1880	0.284	2.460	0.190	0.364	2.510	0.210	0.431	2.500	0.220	0.509	2.480	0.240
13112	6.6153	45.1390	0.286	2.460	0.190	0.366	2.510	0.210	0.433	2.500	0.220	0.511	2.480	0.240
13334	6.6210	45.0890	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.434	2.500	0.220	0.511	2.490	0.240
13556	6.6268	45.0390	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.433	2.510	0.220	0.510	2.490	0.240
13778	6.6325	44.9890	0.288	2.460	0.190	0.366	2.520	0.210	0.430	2.510	0.220	0.507	2.500	0.240

14000	6.6383	44.9390	0.286	2.470	0.190	0.363	2.520	0.210	0.426	2.520	0.220	0.502	2.500	0.240
14222	6.6439	44.8890	0.284	2.470	0.190	0.360	2.530	0.210	0.421	2.530	0.220	0.497	2.500	0.240
12891	6.6803	45.1920	0.306	2.430	0.200	0.389	2.500	0.210	0.467	2.470	0.230	0.544	2.490	0.230
10228	6.6826	45.7940	0.283	2.420	0.200	0.364	2.460	0.220	0.430	2.460	0.240	0.505	2.440	0.250
13113	6.6860	45.1430	0.309	2.430	0.200	0.391	2.510	0.210	0.470	2.470	0.230	0.546	2.490	0.230
10450	6.6885	45.7450	0.278	2.440	0.200	0.356	2.480	0.220	0.415	2.500	0.230	0.485	2.470	0.250
13335	6.6915	45.0930	0.310	2.430	0.200	0.392	2.510	0.210	0.470	2.480	0.230	0.546	2.500	0.230
10672	6.6942	45.6950	0.275	2.450	0.200	0.351	2.490	0.210	0.406	2.520	0.230	0.475	2.490	0.250
13557	6.6973	45.0430	0.311	2.440	0.200	0.392	2.520	0.210	0.469	2.480	0.230	0.545	2.500	0.230
13779	6.7029	44.9930	0.310	2.440	0.200	0.391	2.520	0.210	0.467	2.480	0.230	0.543	2.500	0.230

**Tabella 4.1- Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC18, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.**

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno  $T_R$  corrispondente alla  $V_R$  e  $P_{VR}$  fissate, il valore del generico parametro  $p$  ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione (Figura 4.1), a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC18:

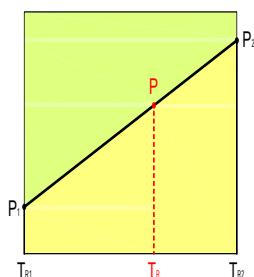
$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1} \quad (4.1)$$

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse ( $a_g, F_o, T_C^*$ ) corrispondente al periodo di ritorno  $T_R$  desiderato, mentre  $p_{1,2}$  è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno  $TR_{1,2}$ .

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri  $p$  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 l'espressione dell'Allegato A alle NTC18:

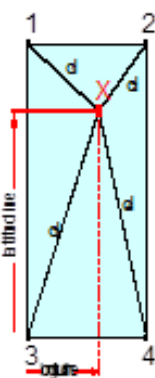
$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 p_i d_i}{\sum_{i=1}^4 d_i} \quad (4.2)$$

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse ( $a_g, F_o, T_C^*$ ) corrispondente al punto considerato,  $p_i$  è il valore di tale parametro nell' $i$ -esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e  $d_i$  è la distanza del punto in esame dall' $i$ -esimo vertice della suddetta maglia.



**Figura 4.1 - Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC18.**

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella Figura 4.2



**Figura 4.2 - Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC18.**

Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC18, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza  $d$  tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

$$d = R \cdot \arccos[\sin(\text{lat}\beta) \cdot \sin(\text{lat}\alpha) + \cos(\text{lat}\beta) \cdot \cos(\text{lat}\alpha) \cdot \cos(\text{lon}\alpha - \text{lon}\beta)] \quad (4.3)$$

dove  $R = 6371$  è il raggio medio terrestre in km, mentre  $\text{lat}\alpha$ ,  $\text{lon}\alpha$ ,  $\text{lat}\beta$  e  $\text{lon}\beta$  sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di  $\pm 0,01g$  ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.

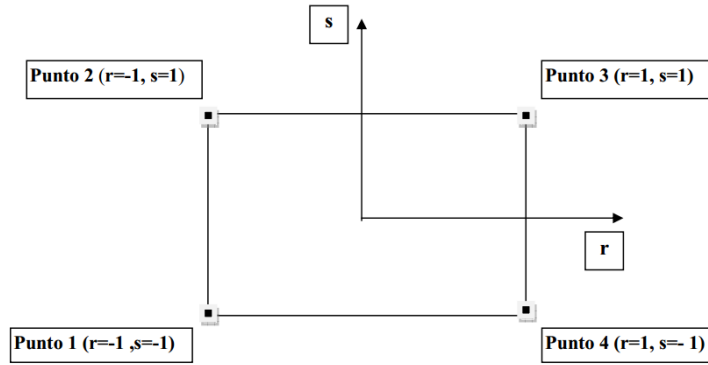


Figura 4.3 - Applicazione dell'interpolazione bilineare.

Definiti i 4 vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1-r) \cdot (1-s)/4 \quad (4.4)$$

$$h_2 = (1-r) \cdot (1+s)/4 \quad (4.5)$$

$$h_3 = (1+r) \cdot (1+s)/4 \quad (4.6)$$

$$h_4 = (1+r) \cdot (1-s)/4 \quad (4.7)$$

Tra le coordinate  $x, y$  di un punto generico e le coordinate  $r, s$  dello stesso punto valgono le seguenti relazioni:

$$4x = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot x_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot x_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot x_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot x_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot x_4] \quad (4.8)$$

$$4y = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot y_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot y_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot y_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot y_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot y_4] \quad (4.9)$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di  $r$  ed  $s$ , si determinano i parametri  $ag, F0, Tc^*$  dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^4 h_i \cdot p_i = [(1-r) \cdot (1-s) \cdot p_1 + (1-r) \cdot (1+s) \cdot p_2 + (1+r) \cdot (1+s) \cdot p_3 + (1+r) \cdot (1-s) \cdot p_4] \quad (4.10)$$

Dove  $p$  rappresenta il parametro cercato.

## 9 - PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2).

### Coefficienti sismici

I coefficienti sismici orizzontale  $K_h$  e verticale  $K_v$  dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno ( $T_R$ ) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \quad (5.1)$$

Con  $V_R$  vita di riferimento della costruzione e  $P_{VR}$  probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC2018). In ogni caso  $V_R$  non può essere inferiore a 35 anni.

### Stabilità dei pendii e fondazioni

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti  $K_h$  e  $K_v$  sono così determinati:

$$K_h = \beta_s \cdot \left( \frac{a_{max}}{g} \right) \quad (5.2)$$

$$K_v = \pm 0.5 \cdot K_h \quad (5.3)$$

Con

$\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  accelerazione di gravità.

I valori di  $\beta_s$  sono riportati nella tabella 5.1.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Tabella 5.1- Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.4)$$

$S_S$  (effetto di amplificazione stratigrafica) ( $0.90 \leq S_S \leq 1.80$ ) è funzione di  $F_0$  (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

$S_T$  (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

$$\mathbf{T1: } S_T = 1.0; \mathbf{T2: } S_T = 1.20; \mathbf{T3: } S_T = 1.2; \mathbf{T4: } S_T = 1.40.$$

### Muri di sostegno

Per i muri di sostegno pendii i coefficienti  $K_h$  e  $K_v$  sono così determinati:

$$K_h = \beta_s \cdot \left( \frac{a_{\max}}{g} \right) \quad (5.5)$$

$$K_v = \pm 0.5 \cdot K_h \quad (5.6)$$

Con:

$\beta_m$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, per i muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno assume valore unitario altrimenti assume i valori riportati nella Tabella 5.2.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_m$	$B_m$
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.31	0.31
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.29	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.18

$a_{\max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (5.7)$$

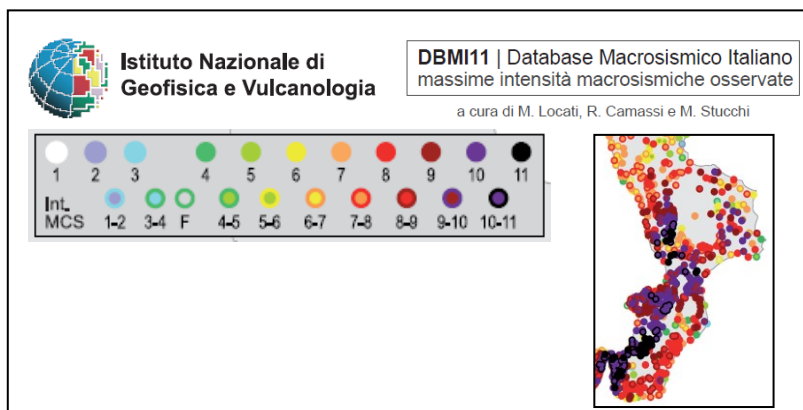
$S$  è il coefficiente comprendente l'effetto di amplificazione stratigrafica  $S_S$  e di amplificazione topografica  $S_T$ .

$a_g$  accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.



## L'INTESITÀ MACROSISMICA

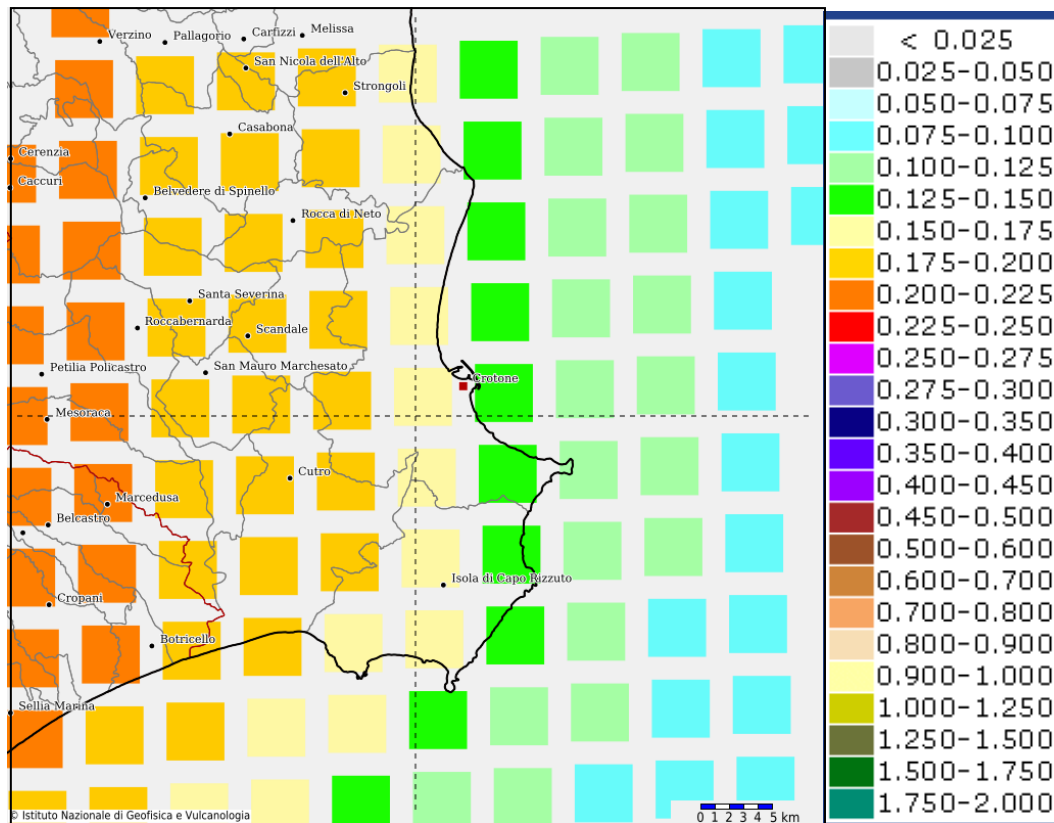
Per avere un quadro completo della pericolosità sismica è necessario considerare anche l'intensità macrosismica. L'intensità macrosismica (MCS) rappresenta, in un certo senso, le conseguenze socio-economiche di un evento sismico, descrivendo, infatti, il grado di danneggiamento causato dai terremoti; una carta di pericolosità in intensità macrosismica si avvicina, con le dovute cautele derivate da diverse approssimazioni insite nel parametro intensità, al concetto di rischio sismico. Per l'area in esame le massime intensità macrosismiche sono visualizzate nella Figura 2 ("Massima Intensità Macrosismica osservata in Italia, 2011". - Istituto Nazionale di Geofisica)



Con riferimento alla suddetta figura e ai tabulati sotto riportati, le massime intensità macrosismiche osservate nel comune di Crotonese (Kr) sono maggiori di 8-9. Sulla base di queste informazioni la sismicità dell'area interessata può quindi essere definita di elevata entità.

Numero di eventi: 16									
Effetti	In occasione del terremoto del:								
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Area epicentrale	Np	Ix	Mw
9-10	1638	03	27	15	05	Calabria	206	11	7.00
8	1638	06	08	09	45	Crotonese	40	10	6.60
8-9	1767	07	14	01	05	Cosentino	8	8-9	5.83
7-8	1783	03	28	18	55	Calabria	323	11	6.94
8	1835	10	12	22	35	Cosentino	34	10	5.91
6-7	1836	04	25	00	20	Calabria settent.	46	10	6.16
7	1854	02	12	17	50	Cosentino	89	10	6.15
5	1887	12	03	03	45	Calabria settent.	142	9	5.52
8	1905	09	08	01	43	Calabria	827	10-11	7.06
6	1908	12	28	04	20	Calabria meridionale	786	11	7.24
7	1913	06	28	08	53	Calabria settentrion	151	8-9	5.65
6-7	1928	03	07	10	55	CAPO VATICANO	30	8	5.90
4	1947	05	11	06	32	Calabria centrale	254	9	5.71
5	1980	11	23	18	34	Irpinia-Basilicata	1317	10	6.89
NF	1990	05	05	07	21	POTENTINO	1374	7-8	5.84
4-5	1996	04	27	00	38	COSENTINO	123	7	4.81

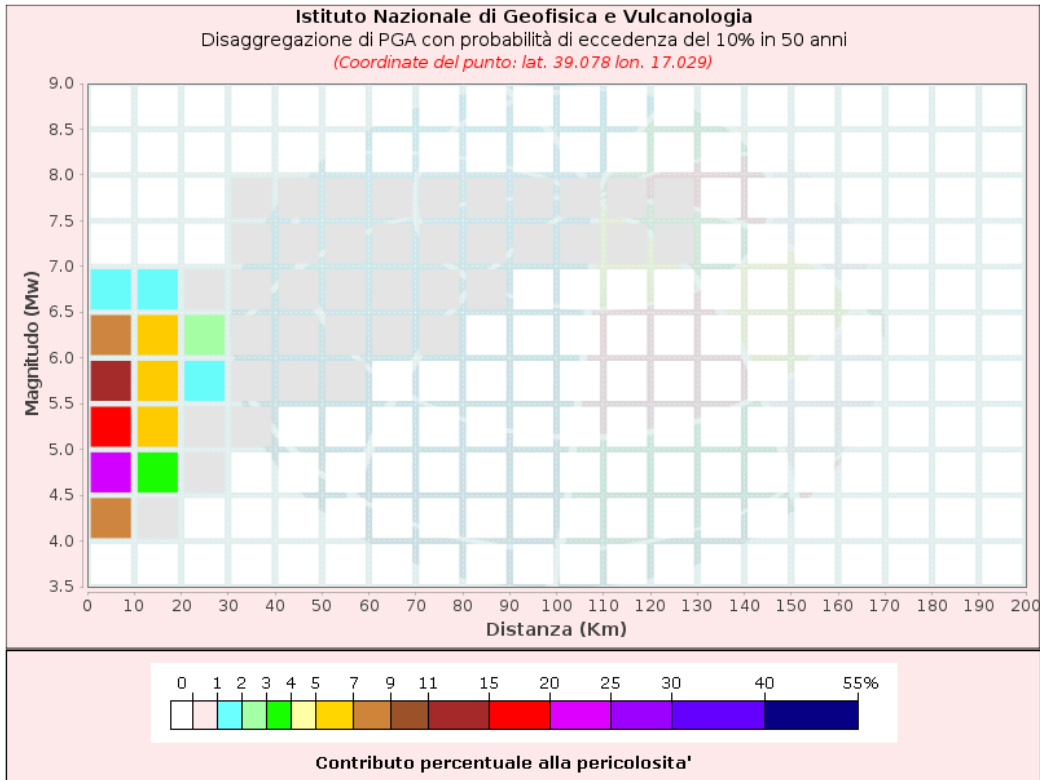
# MAPPA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA



Valori di accelerazione per frequenze annuali di eccedenza  
(Coordinate del punto: lat. 39.128 lon. 17.031)

Frequenza annuale di eccedenza	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.2621	0.3374	0.3858
0.0010	0.1870	0.2404	0.2587
0.0021	0.1395	0.1818	0.1875
0.0050	0.0949	0.1248	0.1278
0.0071	0.0791	0.1047	0.1066
0.0099	0.0669	0.0892	0.0909
0.0139	0.0552	0.0749	0.0762
0.0199	0.0442	0.0617	0.0630
0.0332	0.0314	0.0471	0.0482

# DISAGGREGAZIONE



**Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni**  
 (Coordinate del punto: lat. 39.078 lon. 17.029)

Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	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	0.0000	8.4300	20.5000	17.1000	12.1000	7.4200	1.0300	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.8330	3.6600	5.5800	6.4900	6.0400	1.0600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.1310	0.7690	1.5600	2.1500	0.4640	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0437	0.3530	0.7900	0.3890	0.2920	0.0621	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0395	0.2950	0.3810	0.5170	0.1190	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0007	0.0765	0.2060	0.3700	0.0939	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0102	0.0938	0.2440	0.0683	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0284	0.1460	0.0454	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0035	0.0585	0.0211	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0223	0.0095	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0067	0.0039	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0012	0.0014	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0005	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.41	10.2	0.704

## Caratteristiche del sito e della struttura in progetto

Risposta sismica:

-Categoria di sottosuolo: C;

-Categoria Topografica: T1;

-Coordinate Geografiche medie (ED50): N 39.0659- E 17.0859

- $V_N$  (Vita nominale della costruzione (in anni)) = 50;

-Classe d'uso della costruzione: IV (CU = 2.0);

-Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) VR = 100;

### Parametri sismici, spettrali e periodo di ritorno

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc' [s]
Operatività (SLO)	60	0.063	2.358	0.316
Danno (SLD)	101	0.082	2.387	0.332
Salvaguardia vita (SLV)	949	0.223	2.441	0.375
Prevenzione collasso (SLC)	1950	0.292	2.481	0.38

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1.37	1.27
CC Coeff. funz categoria	1,54	1,51	1.45	1.44
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.041	0.041	0.057	0.057
kv	0.020	0.020	0.029	0.029
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	2.000	2.000	2.000	2.000
Beta	0.200	0.200	0.280	0.280

### Parametri sismici

Sito in esame.

latitudine: 39,066916

longitudine: 17,086687

Classe: 4

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 40792 Lat: 39,0781 Lon: 17,0286 Distanza: 5166,599

Sito 2 ID: 40793 Lat: 39,0760 Lon: 17,0928 Distanza: 1142,811

Sito 3 ID: 41015 Lat: 39,0261 Lon: 17,0901 Distanza: 4552,699

Sito 4 ID: 41014 Lat: 39,0282 Lon: 17,0259 Distanza: 6792,414

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 100anni

Coefficiente cu: 2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 60 [anni]

ag: 0,063 g

Fo: 2,358

Tc\*: 0,316 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:

63 %

Tr: 101 [anni]

ag: 0,082 g

Fo: 2,387

Tc\*: 0,332 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:

10 %

Tr: 949 [anni]

ag: 0,223 g

Fo: 2,441

Tc\*: 0,375 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:

5 %

Tr: 1950 [anni]

ag: 0,292 g

Fo: 2,481

Tc\*: 0,388 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,500

Cc: 1,540

St: 1,000

Kh: 0,041

Kv: 0,020

Amax: 2,000

Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500

Cc: 1,510

St: 1,000

Kh: 0,041

Kv: 0,020

Amax: 2,000

Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,370

Cc: 1,450

St: 1,000

Kh: 0,057

Kv: 0,029

Amax: 2,000

Beta: 0,280

SLC:

Ss: 1,270

Cc: 1,440

St: 1,000

Kh: 0,057

Kv: 0,029

Amax: 2,000

Beta: 0,280

## **11 - MODELLAZIONE NUMERICA DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE**

Gli accelerogrammi (componente orizzontale), per ognuno degli stati limite considerati, sono stati scalati all'accelerazione risultante al sito. Nel calcolo dello spettro di risposta elastico in accelerazione al sito, per gli stati limite SLO, SLD, SLC e SLV è stato adottato un valore del damping pari al 5% (spettro elastico).

Per tutti gli stati limite, quindi, sono stati determinati, per ognuno dei 7 eventi reali individuati:

- gli accelerogrammi alla superficie del suolo;
- gli spettri di risposta alla superficie del suolo, messi a confronto con lo spettro da normativa con Categoria di sottosuolo "C";
- la variazione dell'accelerazione orizzontale di picco con la profondità (profilo PGA);
- la funzione di trasferimento dell'accelerazione tra il substrato sismico e la superficie del suolo, calcolata come rapporto tra le ampiezze al suolo e l'ampiezza al substrato al variare della frequenza.

### **PROCEDURA DI CALCOLO**

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

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

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

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

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

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

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

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

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

dove  $M$  rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da  $N$  strati orizzontali di cui l’ $N$ -esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt  $\left[ \tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial z \partial t} \right]$ , la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall’equazione dell’onda:

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

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

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

che sostituita nella (1) pone

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

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

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

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

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

avendo posto

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

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

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

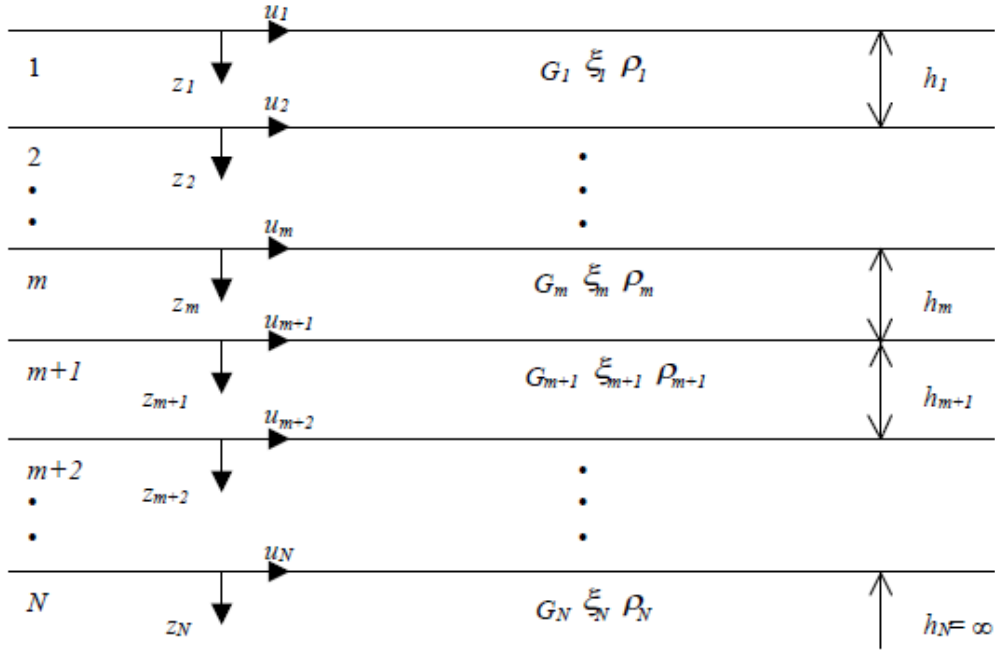


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

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

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

Il taglio invece è dato da:

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

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:

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

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



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  $m$ :

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

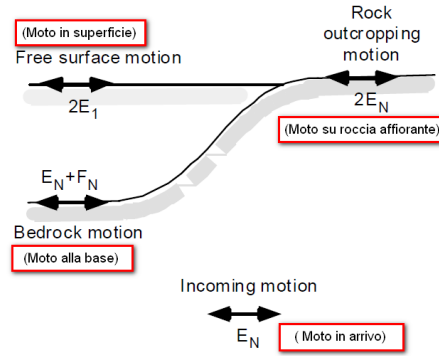
La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità  $z$  e al tempo  $t$  dalla relazione:

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

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:

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

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

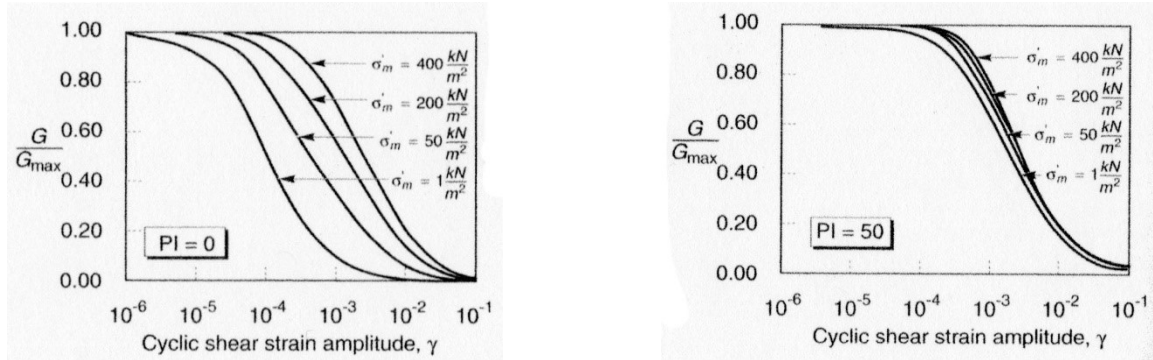
$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[ \ln \left( \frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145PI^{1.3}) \quad (26)$$

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

dove  $G_{max}$  è dato dalla relazione

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

dove  $\rho$  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.

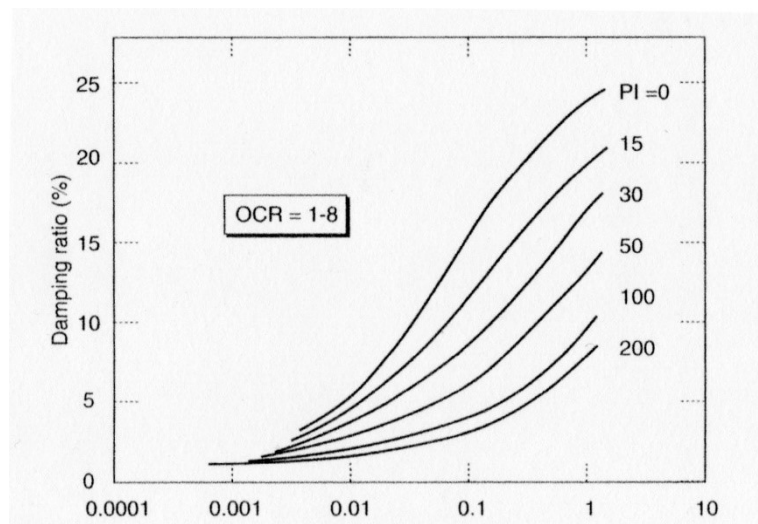


**Figura 2:** Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

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

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

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



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

## RELAZIONE DI CALCOLO

### Stato Limite SLO

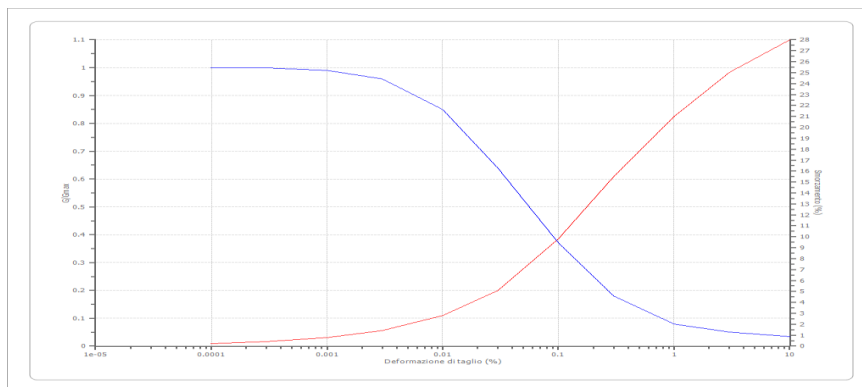
#### Dati generali

Latitudine 39.064977[°]  
 Longitudine 17.085181[°]

#### Terreni

Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	0.990	0.001	0.800
0.003	0.960	0.003	1.400
0.010	0.850	0.010	2.800
0.030	0.640	0.030	5.100
0.100	0.370	0.100	9.800
0.300	0.180	0.300	15.500
1.000	0.080	1.000	21.000
3.000	0.050	3.000	25.000
10.000	0.035	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		--	8.0	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	0	71.36	--	17.5	200.0	70.0
2		8.0	12.0	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	0	149.97	--	18.5	282.0	251.0
3		oo	--	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	0	326.20	--	20.0	400.0	362.0

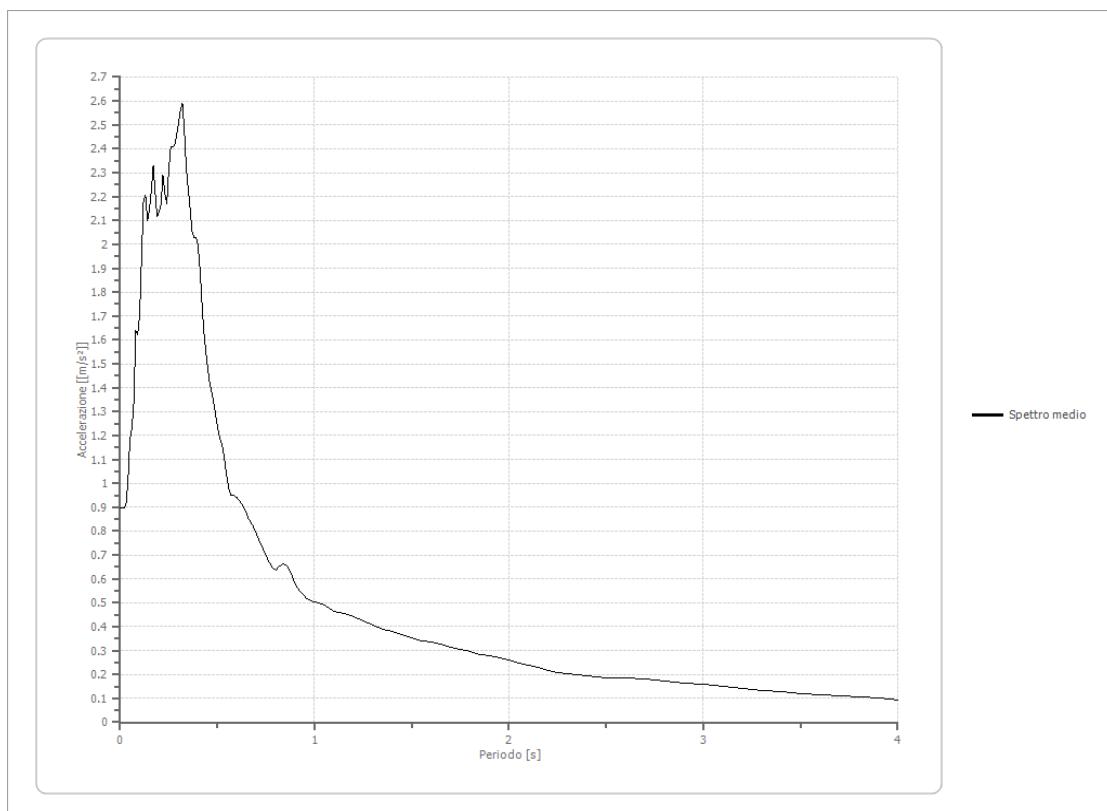


## Fattori di amplificazione su intensità spettrale

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

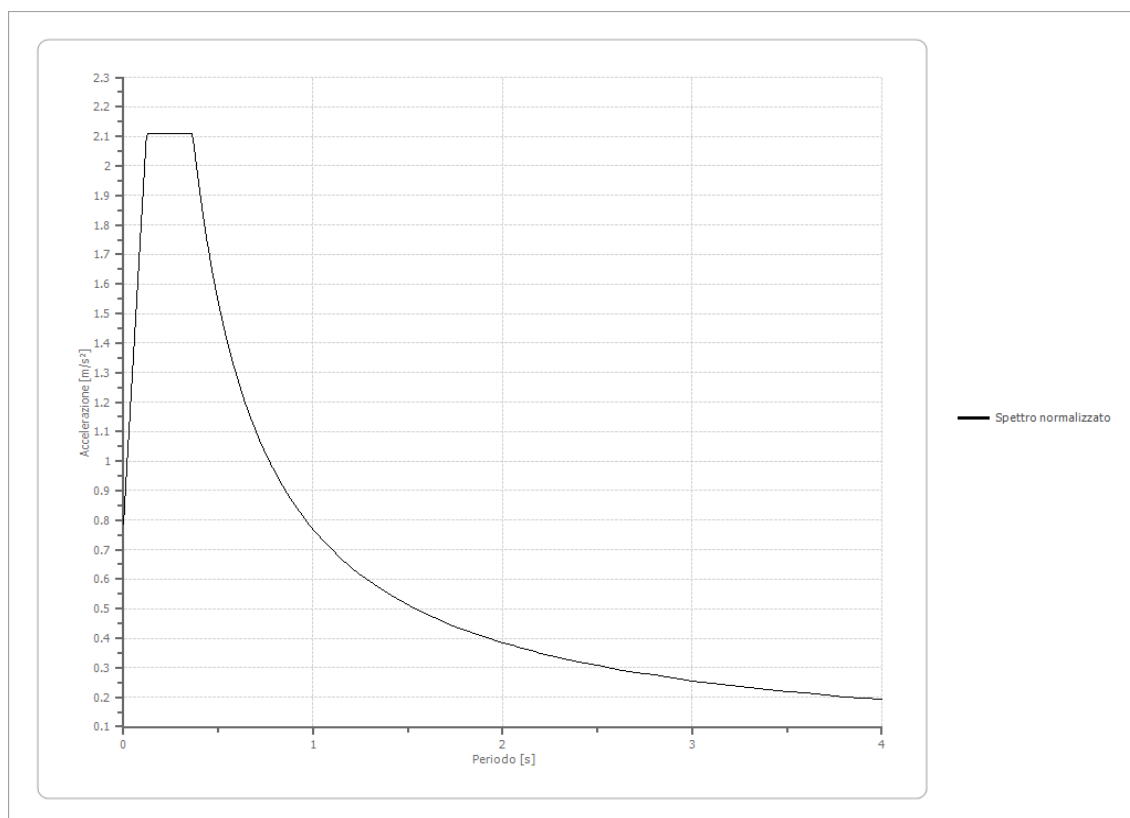
### Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]
0.00	0.8971	0.26	2.4073	0.52	1.1716	0.98	0.5072	2.25	0.2085
0.01	0.8971	0.27	2.4073	0.53	1.1350	1.00	0.5045	2.30	0.2014
0.02	0.8971	0.28	2.4141	0.54	1.0794	1.05	0.4916	2.35	0.1974
0.03	0.9140	0.29	2.4585	0.55	1.0225	1.10	0.4638	2.40	0.1939
0.04	1.0049	0.30	2.5068	0.56	0.9739	1.15	0.4555	2.50	0.1873
0.05	1.1843	0.31	2.5639	0.57	0.9481	1.20	0.4407	2.60	0.1851
0.06	1.2268	0.32	2.5881	0.58	0.9493	1.25	0.4229	2.70	0.1810
0.07	1.3397	0.33	2.4729	0.60	0.9423	1.30	0.4059	2.80	0.1742
0.08	1.6401	0.34	2.3159	0.62	0.9212	1.35	0.3890	2.90	0.1655
0.09	1.6232	0.35	2.2307	0.64	0.8944	1.40	0.3798	3.00	0.1572
0.10	1.7004	0.36	2.1494	0.66	0.8530	1.45	0.3674	3.10	0.1505
0.11	1.9387	0.37	2.0567	0.68	0.8249	1.50	0.3528	3.20	0.1428
0.12	2.1811	0.38	2.0279	0.70	0.7921	1.55	0.3404	3.30	0.1345
0.13	2.2065	0.39	2.0303	0.72	0.7509	1.60	0.3336	3.40	0.1260
0.14	2.0993	0.40	1.9962	0.74	0.7145	1.65	0.3265	3.50	0.1203
0.15	2.1449	0.41	1.9002	0.76	0.6804	1.70	0.3157	3.60	0.1155
0.16	2.2226	0.42	1.7642	0.78	0.6513	1.75	0.3043	3.70	0.1113
0.17	2.3306	0.43	1.6406	0.80	0.6383	1.80	0.2939	3.80	0.1063
0.18	2.2194	0.44	1.5565	0.82	0.6538	1.85	0.2849	3.90	0.1003
0.19	2.1160	0.45	1.4861	0.84	0.6642	1.90	0.2769	4.00	0.0934
0.20	2.1363	0.46	1.4232	0.86	0.6530	1.95	0.2693		
0.21	2.1713	0.47	1.3840	0.88	0.6241	2.00	0.2595		
0.22	2.2900	0.48	1.3442	0.90	0.5801	2.05	0.2472		
0.23	2.2112	0.49	1.2920	0.92	0.5510	2.10	0.2380		
0.24	2.1703	0.50	1.2403	0.94	0.5336	2.15	0.2287		
0.25	2.3099	0.51	1.1990	0.96	0.5187	2.20	0.2182		



## Spettro normalizzato di risposta elastico

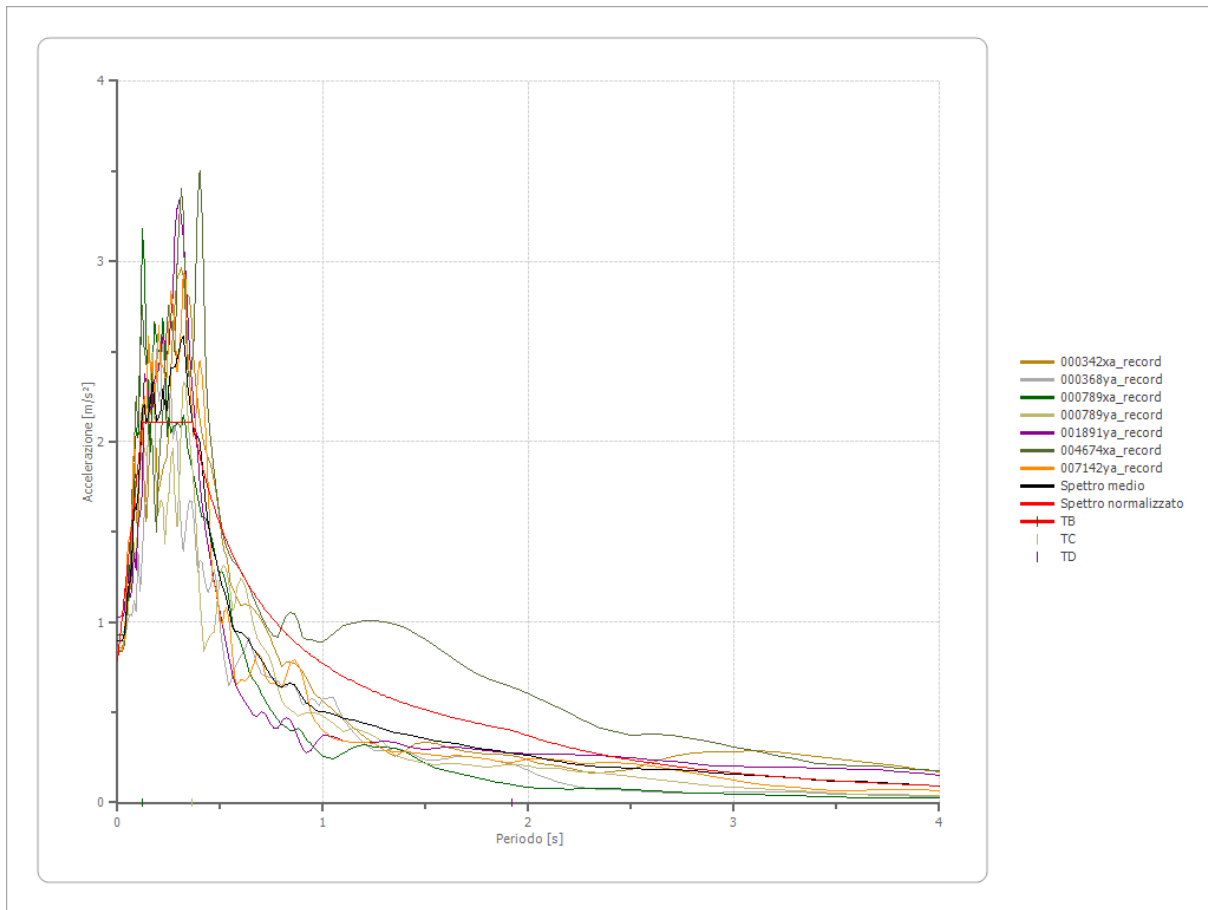
Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]
0.00	0.7883	0.26	2.1101	0.52	1.4789	0.98	0.7847	2.25	0.3418
0.01	0.8971	0.27	2.1101	0.53	1.4510	1.00	0.7690	2.30	0.3344
0.02	1.0059	0.28	2.1101	0.54	1.4241	1.05	0.7324	2.35	0.3272
0.03	1.1147	0.29	2.1101	0.55	1.3982	1.10	0.6991	2.40	0.3204
0.04	1.2235	0.30	2.1101	0.56	1.3733	1.15	0.6687	2.50	0.3076
0.05	1.3323	0.31	2.1101	0.57	1.3492	1.20	0.6409	2.60	0.2958
0.06	1.4411	0.32	2.1101	0.58	1.3259	1.25	0.6152	2.70	0.2848
0.07	1.5499	0.33	2.1101	0.60	1.2817	1.30	0.5916	2.80	0.2747
0.08	1.6587	0.34	2.1101	0.62	1.2404	1.35	0.5696	2.90	0.2652
0.09	1.7675	0.35	2.1101	0.64	1.2016	1.40	0.5493	3.00	0.2563
0.10	1.8763	0.36	2.1101	0.66	1.1652	1.45	0.5304	3.10	0.2481
0.11	1.9851	0.37	2.0785	0.68	1.1309	1.50	0.5127	3.20	0.2403
0.12	2.0939	0.38	2.0238	0.70	1.0986	1.55	0.4961	3.30	0.2330
0.13	2.1101	0.39	1.9719	0.72	1.0681	1.60	0.4806	3.40	0.2262
0.14	2.1101	0.40	1.9226	0.74	1.0392	1.65	0.4661	3.50	0.2197
0.15	2.1101	0.41	1.8757	0.76	1.0119	1.70	0.4524	3.60	0.2136
0.16	2.1101	0.42	1.8310	0.78	0.9859	1.75	0.4394	3.70	0.2078
0.17	2.1101	0.43	1.7884	0.80	0.9613	1.80	0.4272	3.80	0.2024
0.18	2.1101	0.44	1.7478	0.82	0.9378	1.85	0.4157	3.90	0.1972
0.19	2.1101	0.45	1.7089	0.84	0.9155	1.90	0.4048	4.00	0.1923
0.20	2.1101	0.46	1.6718	0.86	0.8942	1.95	0.3944		
0.21	2.1101	0.47	1.6362	0.88	0.8739	2.00	0.3845		
0.22	2.1101	0.48	1.6021	0.90	0.8545	2.05	0.3751		
0.23	2.1101	0.49	1.5694	0.92	0.8359	2.10	0.3662		
0.24	2.1101	0.50	1.5381	0.94	0.8181	2.15	0.3577		
0.25	2.1101	0.51	1.5079	0.96	0.8011	2.20	0.3496		



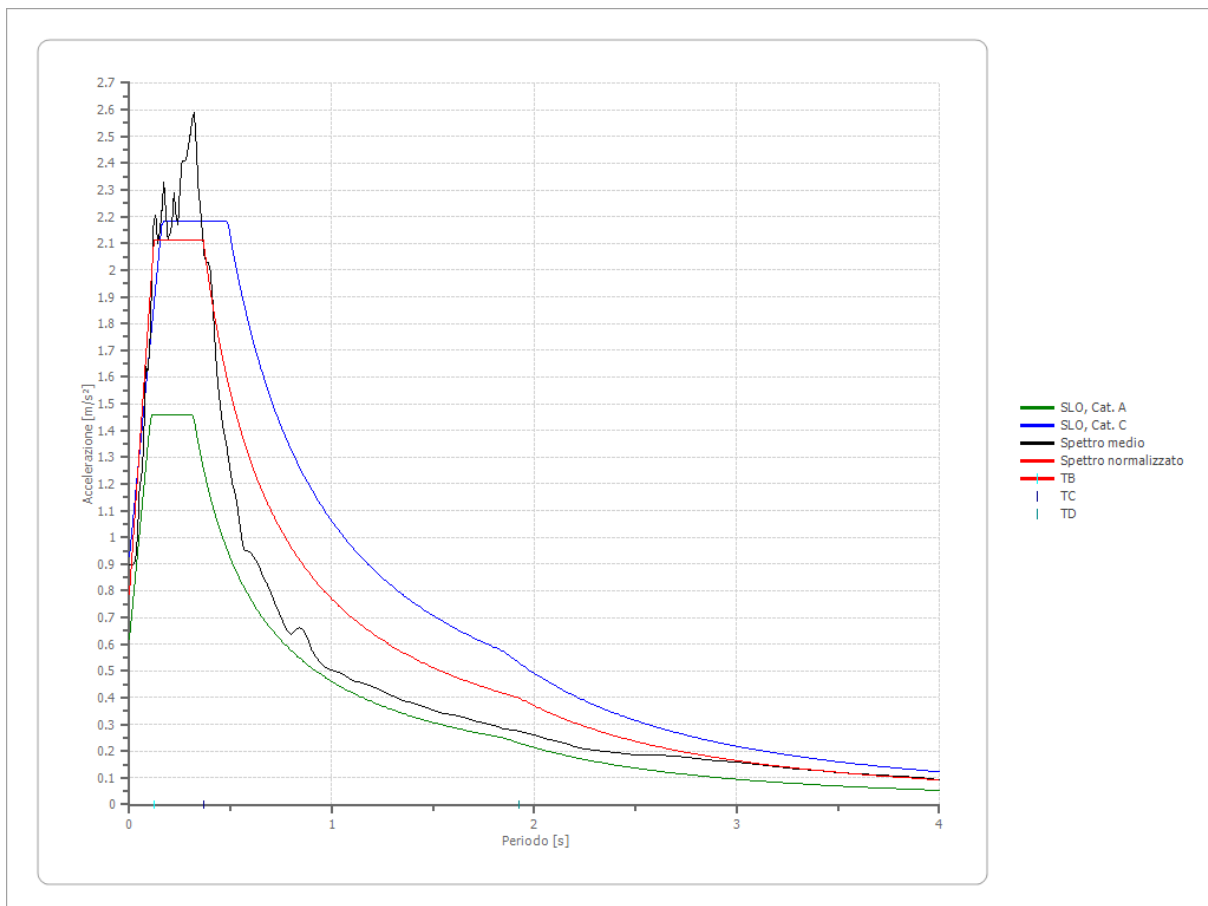
### Parametri spettro normalizzato

Ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s <sup>2</sup> ]	Se(TB) [m/s <sup>2</sup> ]	S
0.788	2.676758	--	0.121	0.364	1.921	0.788	2.110	1.276

## Confronto tra gli spettri



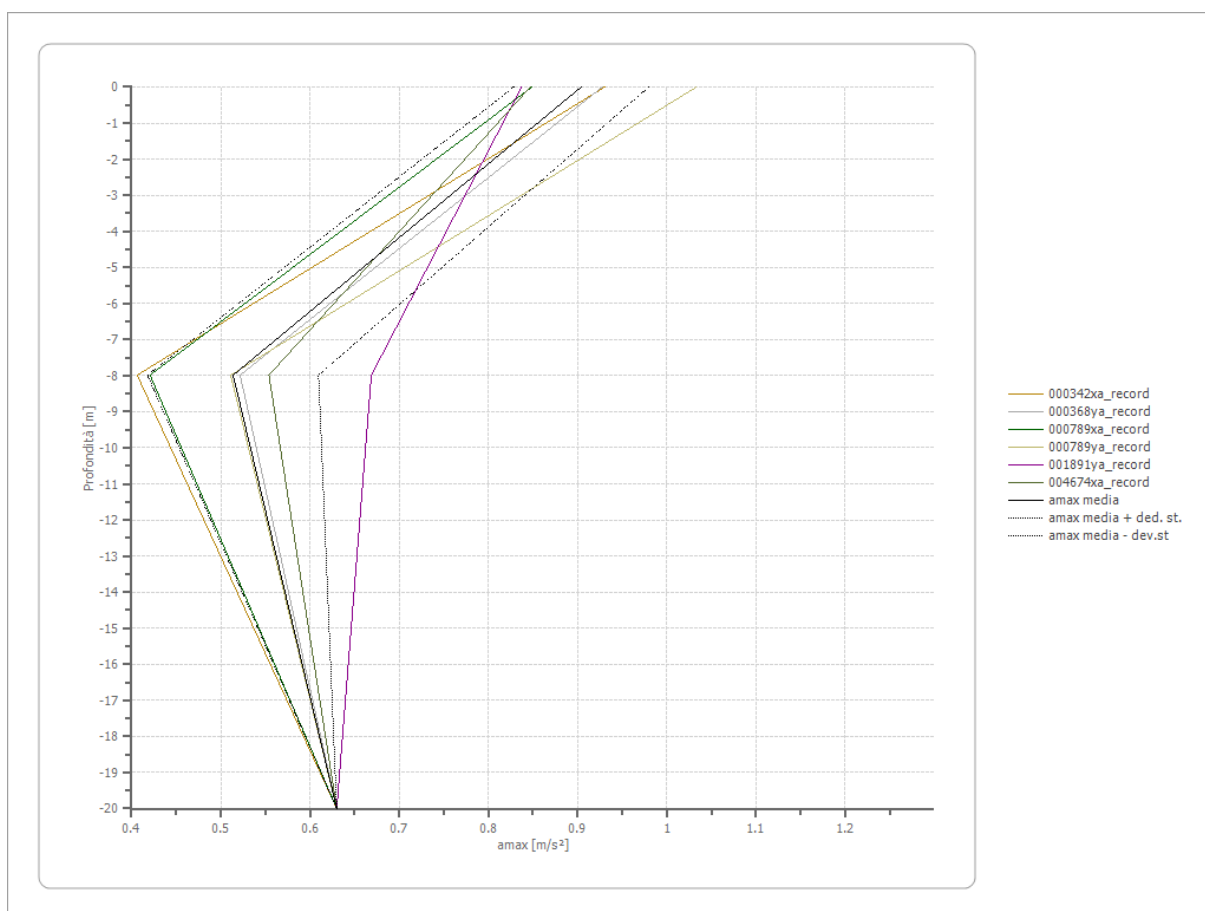
## Confronto spettro normativa





### Profilo a max

	0.0 [m]	8.0 [m]	20.0 [m]
000342xa_record [m/s <sup>2</sup> ]	0.930	0.406	0.630
000368ya_record [m/s <sup>2</sup> ]	0.928	0.522	0.630
000789xa_record [m/s <sup>2</sup> ]	0.849	0.421	0.630
000789ya_record [m/s <sup>2</sup> ]	1.033	0.511	0.630
001891ya_record [m/s <sup>2</sup> ]	0.837	0.669	0.630
004674xa_record [m/s <sup>2</sup> ]	0.847	0.554	0.630
media [m/s <sup>2</sup> ]	0.904	0.514	0.630
Dev. St. [m/s <sup>2</sup> ]	0.076	0.096	0.000



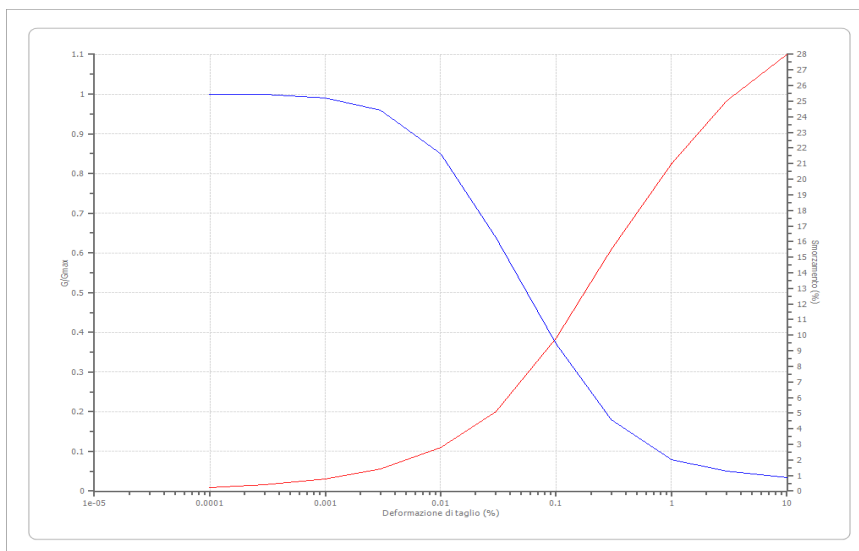
**Dati generali**

Latitudine 39.064977[°]  
 Longitudine 17.085181[°]

**Terreni**

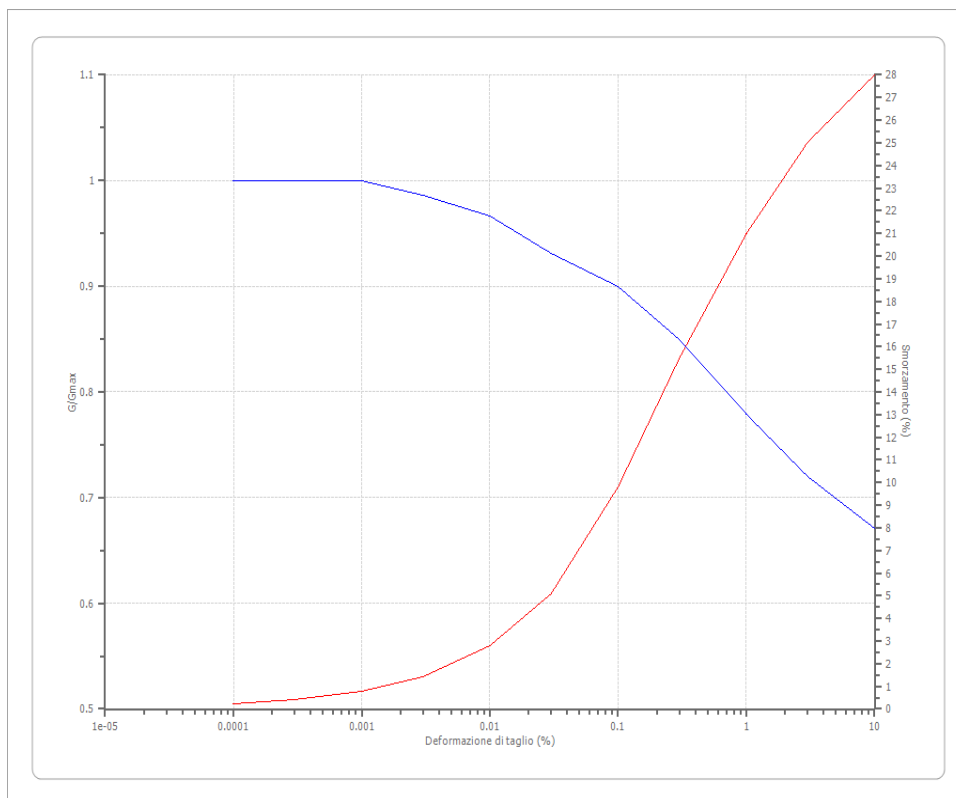
Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	0.990	0.001	0.800
0.003	0.960	0.003	1.400
0.010	0.850	0.010	2.800
0.030	0.640	0.030	5.100
0.100	0.370	0.100	9.800
0.300	0.180	0.300	15.500
1.000	0.080	1.000	21.000
3.000	0.050	3.000	25.000
10.000	0.035	10.000	28.000



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/m <sup>3</sup> ]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	8.0	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	0	71.36	--	17.5	200.0	70.0
2		8.0	12.0	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	0	149.97	--	18.5	282.0	251.0
3		oo	--	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	326.20	--	20.0	400.0	362.0

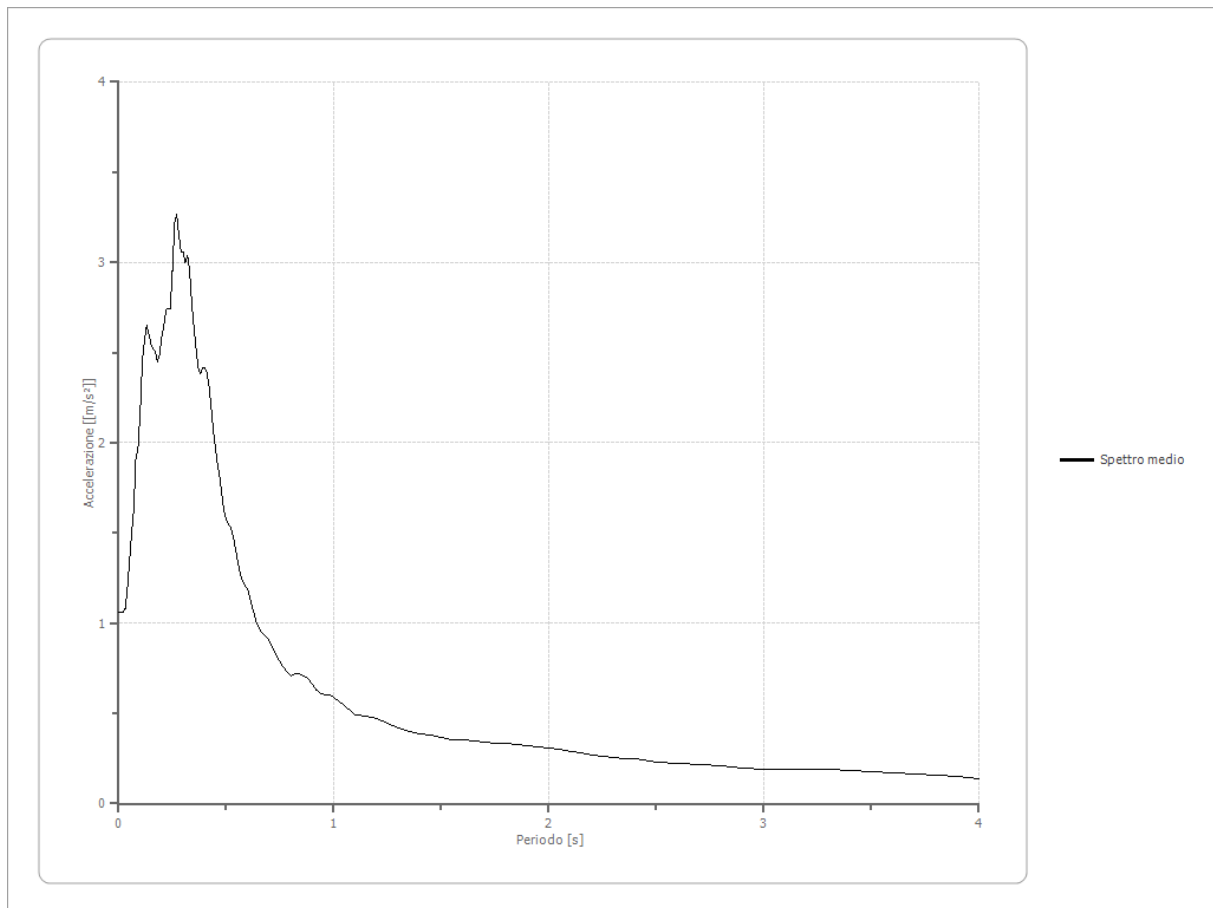
Strato rilevamento accelerogramma:

3 Affiorante



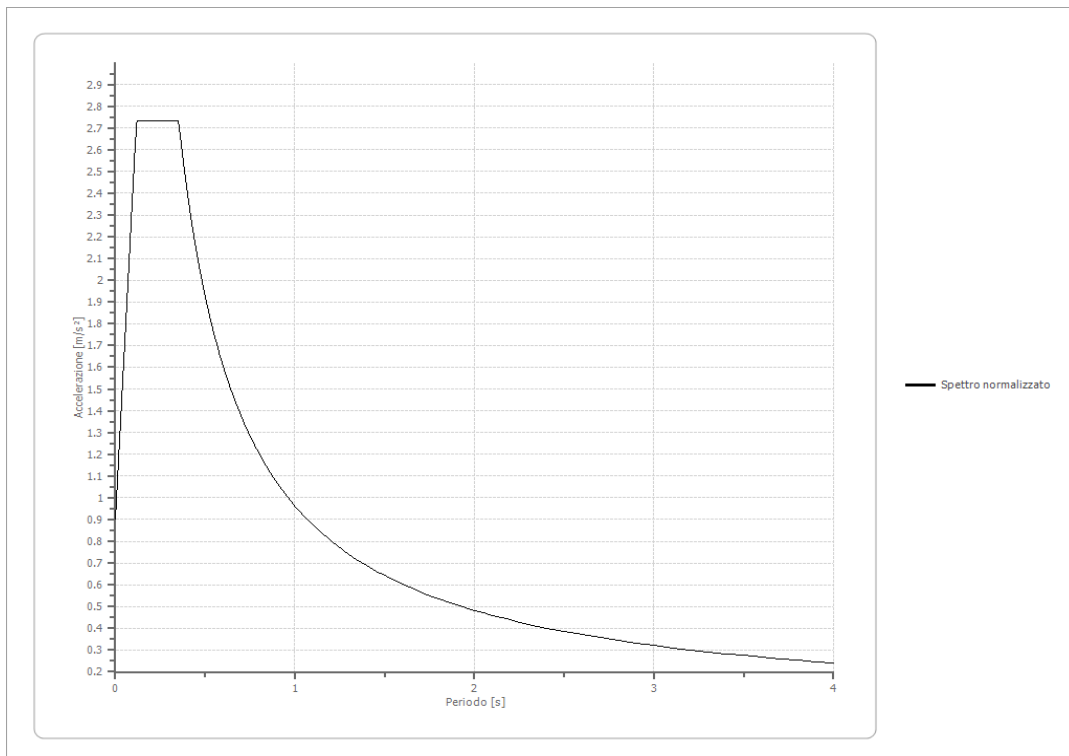
## Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]
0.00	1.0574	0.26	3.2214	0.52	1.5311	0.98	0.5998	2.25	0.2624
0.01	1.0574	0.27	3.2686	0.53	1.4953	1.00	0.5904	2.30	0.2539
0.02	1.0575	0.28	3.1518	0.54	1.4360	1.05	0.5418	2.35	0.2520
0.03	1.0777	0.29	3.0575	0.55	1.3652	1.10	0.4898	2.40	0.2474
0.04	1.1823	0.30	3.0598	0.56	1.3036	1.15	0.4831	2.50	0.2306
0.05	1.3414	0.31	2.9955	0.57	1.2547	1.20	0.4687	2.60	0.2229
0.06	1.4902	0.32	3.0368	0.58	1.2266	1.25	0.4437	2.70	0.2167
0.07	1.6261	0.33	2.9497	0.60	1.1837	1.30	0.4184	2.80	0.2066
0.08	1.9211	0.34	2.7711	0.62	1.0950	1.35	0.3988	2.90	0.1950
0.09	1.9680	0.35	2.6373	0.64	1.0092	1.40	0.3892	3.00	0.1901
0.10	2.1706	0.36	2.5221	0.66	0.9576	1.45	0.3795	3.10	0.1918
0.11	2.4524	0.37	2.4127	0.68	0.9294	1.50	0.3651	3.20	0.1911
0.12	2.5665	0.38	2.3828	0.70	0.9049	1.55	0.3540	3.30	0.1876
0.13	2.6483	0.39	2.4152	0.72	0.8485	1.60	0.3526	3.40	0.1819
0.14	2.6026	0.40	2.4152	0.74	0.8049	1.65	0.3480	3.50	0.1761
0.15	2.5466	0.41	2.3881	0.76	0.7678	1.70	0.3403	3.60	0.1700
0.16	2.5179	0.42	2.3157	0.78	0.7363	1.75	0.3338	3.70	0.1658
0.17	2.5068	0.43	2.1956	0.80	0.7102	1.80	0.3307	3.80	0.1584
0.18	2.4470	0.44	2.0717	0.82	0.7170	1.85	0.3279	3.90	0.1475
0.19	2.4887	0.45	1.9737	0.84	0.7207	1.90	0.3211	4.00	0.1359
0.20	2.5830	0.46	1.8804	0.86	0.7074	1.95	0.3146		
0.21	2.6498	0.47	1.8037	0.88	0.6909	2.00	0.3069		
0.22	2.7375	0.48	1.7093	0.90	0.6587	2.05	0.2996		
0.23	2.7416	0.49	1.6232	0.92	0.6276	2.10	0.2899		
0.24	2.7416	0.50	1.5773	0.94	0.6092	2.15	0.2834		
0.25	2.9506	0.51	1.5504	0.96	0.6012	2.20	0.2715		



## Spettro normalizzato di risposta elastico

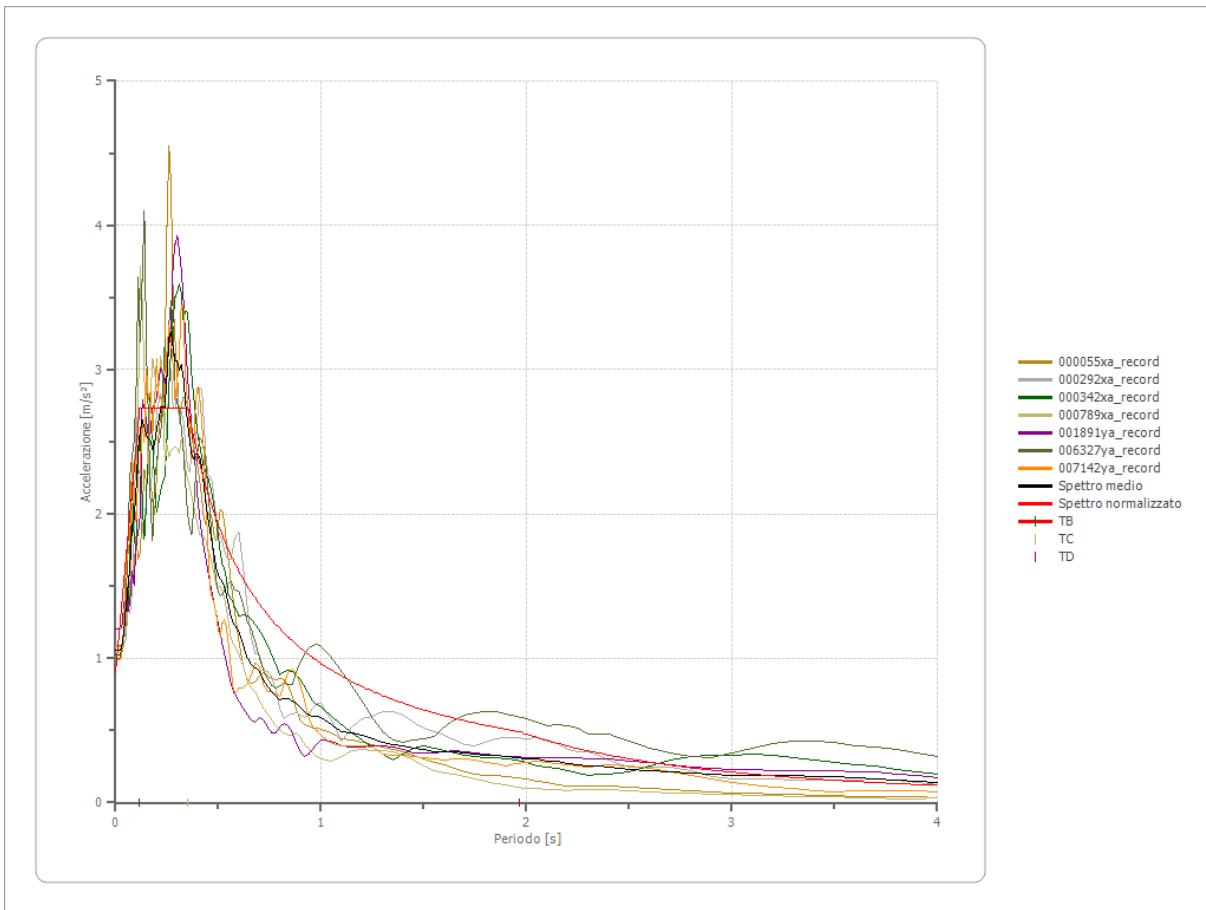
Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]
0.00	0.9015	0.26	2.7337	0.52	1.8526	0.98	0.9830	2.25	0.4282
0.01	1.0574	0.27	2.7337	0.53	1.8176	1.00	0.9634	2.30	0.4188
0.02	1.2134	0.28	2.7337	0.54	1.7840	1.05	0.9175	2.35	0.4099
0.03	1.3694	0.29	2.7337	0.55	1.7516	1.10	0.8758	2.40	0.4014
0.04	1.5254	0.30	2.7337	0.56	1.7203	1.15	0.8377	2.50	0.3853
0.05	1.6814	0.31	2.7337	0.57	1.6901	1.20	0.8028	2.60	0.3705
0.06	1.8374	0.32	2.7337	0.58	1.6610	1.25	0.7707	2.70	0.3568
0.07	1.9933	0.33	2.7337	0.60	1.6056	1.30	0.7410	2.80	0.3441
0.08	2.1493	0.34	2.7337	0.62	1.5538	1.35	0.7136	2.90	0.3322
0.09	2.3053	0.35	2.7337	0.64	1.5052	1.40	0.6881	3.00	0.3211
0.10	2.4613	0.36	2.6760	0.66	1.4596	1.45	0.6644	3.10	0.3108
0.11	2.6173	0.37	2.6037	0.68	1.4167	1.50	0.6422	3.20	0.3010
0.12	2.7337	0.38	2.5351	0.70	1.3762	1.55	0.6215	3.30	0.2919
0.13	2.7337	0.39	2.4701	0.72	1.3380	1.60	0.6021	3.40	0.2833
0.14	2.7337	0.40	2.4084	0.74	1.3018	1.65	0.5839	3.50	0.2752
0.15	2.7337	0.41	2.3496	0.76	1.2676	1.70	0.5667	3.60	0.2676
0.16	2.7337	0.42	2.2937	0.78	1.2351	1.75	0.5505	3.70	0.2604
0.17	2.7337	0.43	2.2404	0.80	1.2042	1.80	0.5352	3.80	0.2535
0.18	2.7337	0.44	2.1894	0.82	1.1748	1.85	0.5207	3.90	0.2470
0.19	2.7337	0.45	2.1408	0.84	1.1468	1.90	0.5070	4.00	0.2408
0.20	2.7337	0.46	2.0942	0.86	1.1202	1.95	0.4940		
0.21	2.7337	0.47	2.0497	0.88	1.0947	2.00	0.4817		
0.22	2.7337	0.48	2.0070	0.90	1.0704	2.05	0.4699		
0.23	2.7337	0.49	1.9660	0.92	1.0471	2.10	0.4587		
0.24	2.7337	0.50	1.9267	0.94	1.0248	2.15	0.4481		
0.25	2.7337	0.51	1.8889	0.96	1.0035	2.20	0.4379		



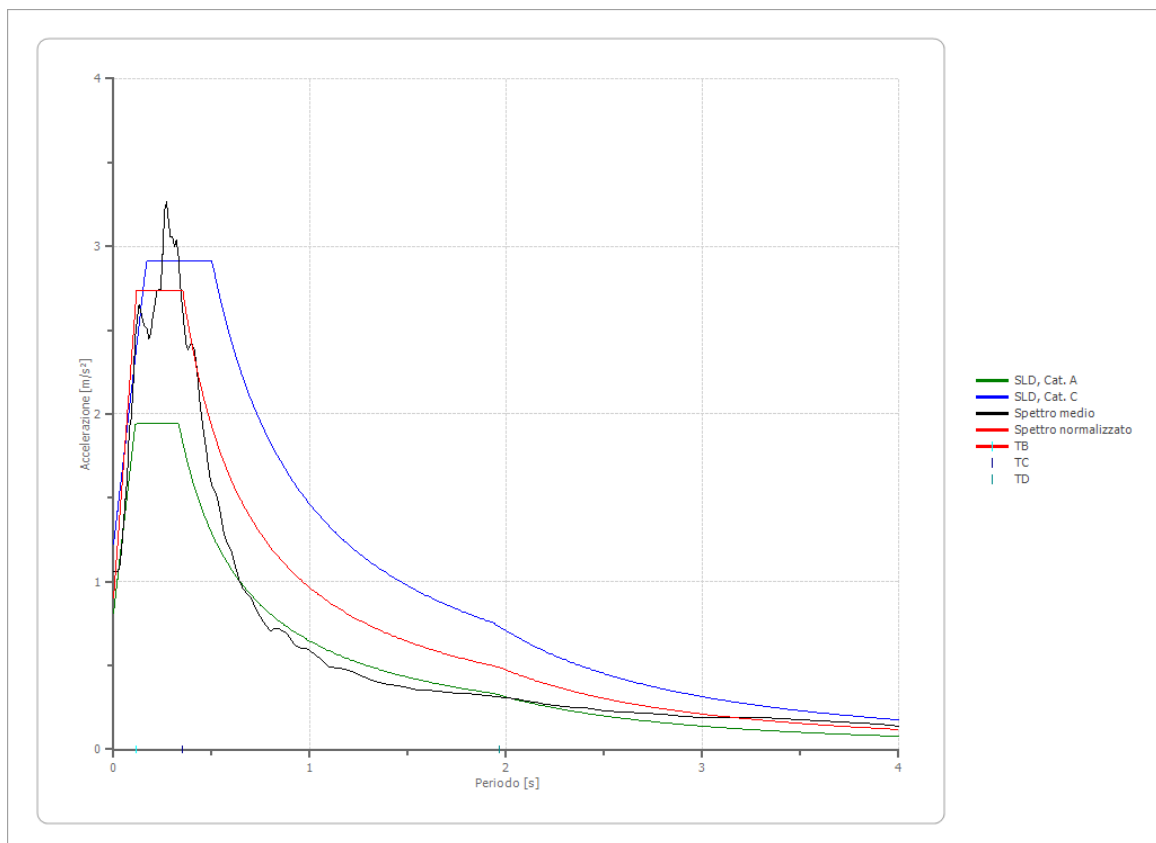
### Parametri spettro normalizzato

Ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s <sup>2</sup> ]	Se(TB) [m/s <sup>2</sup> ]	S
0.901	3.032566	--	0.117	0.352	1.968	0.901	2.734	1.107

## Confronto tra gli spettri

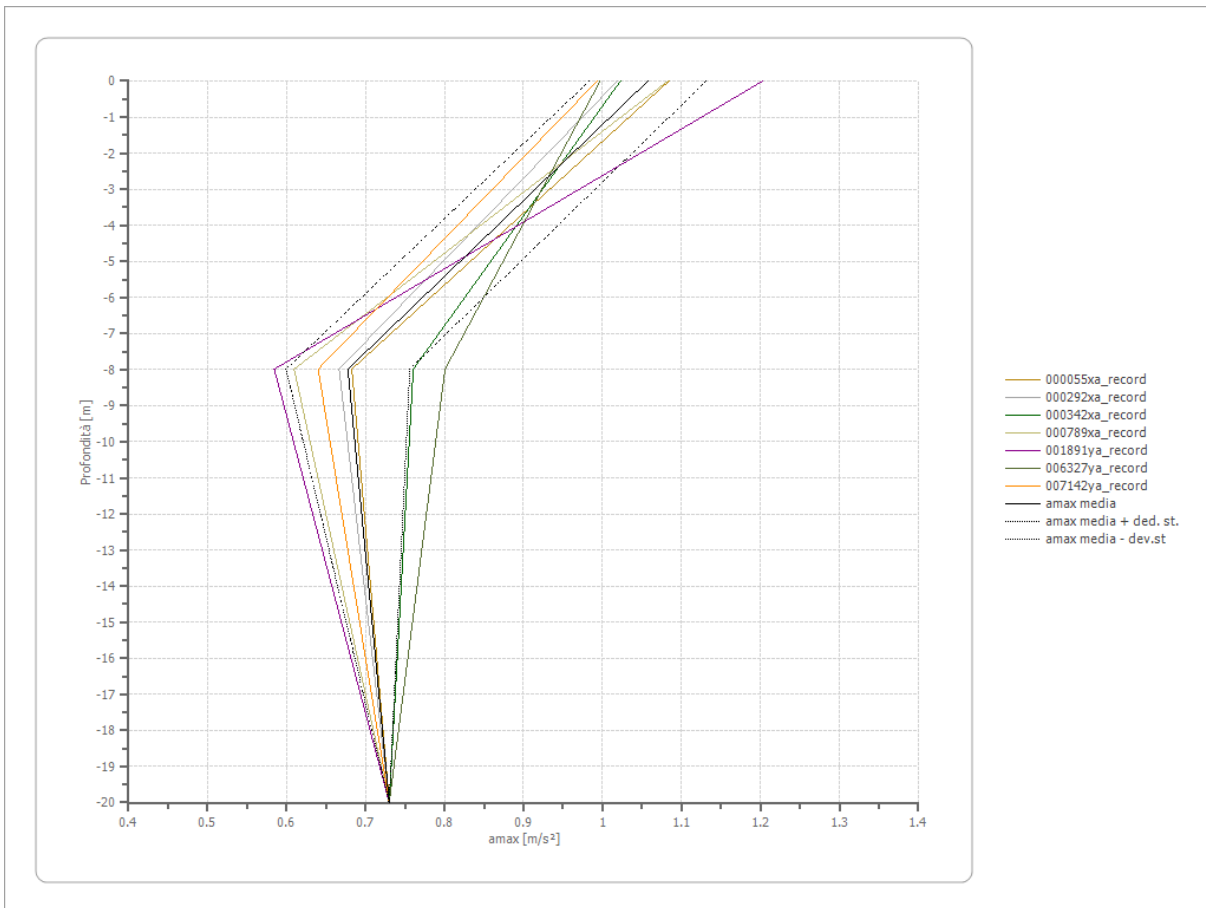


## Confronto spettro normativa



### Profilo a max

	0.0 [m]	8.0 [m]	20.0 [m]
000055xa_record [m/s <sup>2</sup> ]	1.084	0.683	0.730
000292xa_record [m/s <sup>2</sup> ]	1.019	0.667	0.730
000342xa_record [m/s <sup>2</sup> ]	1.023	0.760	0.730
000789xa_record [m/s <sup>2</sup> ]	1.083	0.610	0.730
001891ya_record [m/s <sup>2</sup> ]	1.203	0.584	0.730
006327ya_record [m/s <sup>2</sup> ]	0.997	0.801	0.730
007142ya_record [m/s <sup>2</sup> ]	0.993	0.640	0.730
media [m/s <sup>2</sup> ]	1.057	0.678	0.730
Dev. St. [m/s <sup>2</sup> ]	0.074	0.078	0.000





## Stato Limite SLV

### Dati generali

Latitudine

39.064977[°]

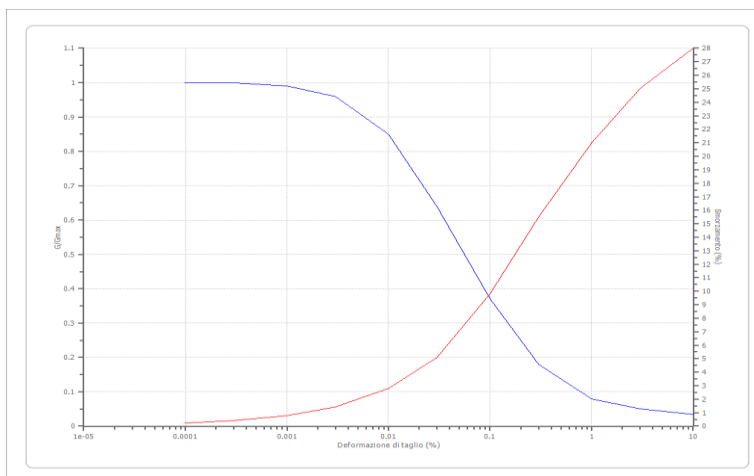
Longitudine

17.085181[°]

### Terreni

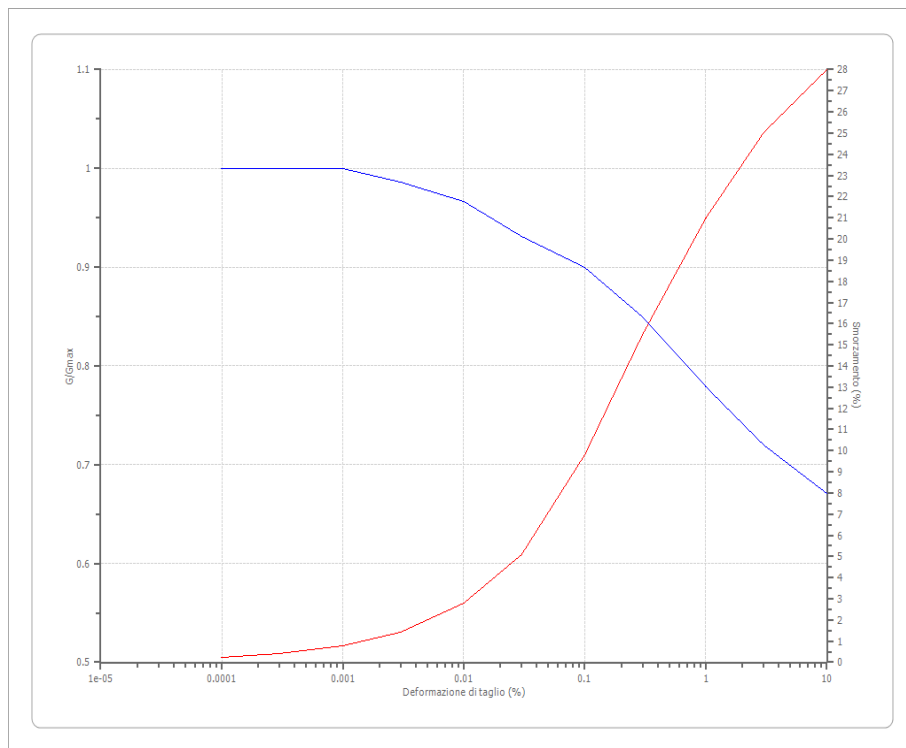
Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	0.990	0.001	0.800
0.003	0.960	0.003	1.400
0.010	0.850	0.010	2.800
0.030	0.640	0.030	5.100
0.100	0.370	0.100	9.800
0.300	0.180	0.300	15.500
1.000	0.080	1.000	21.000
3.000	0.050	3.000	25.000
10.000	0.035	10.000	28.000



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/m <sup>3</sup> ]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	8.0	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	0	71.36	--	17.5	200.0	70.0
2		8.0	12.0	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	0	149.97	--	18.5	282.0	251.0
3		oo	--	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	326.20	--	20.0	400.0	362.0

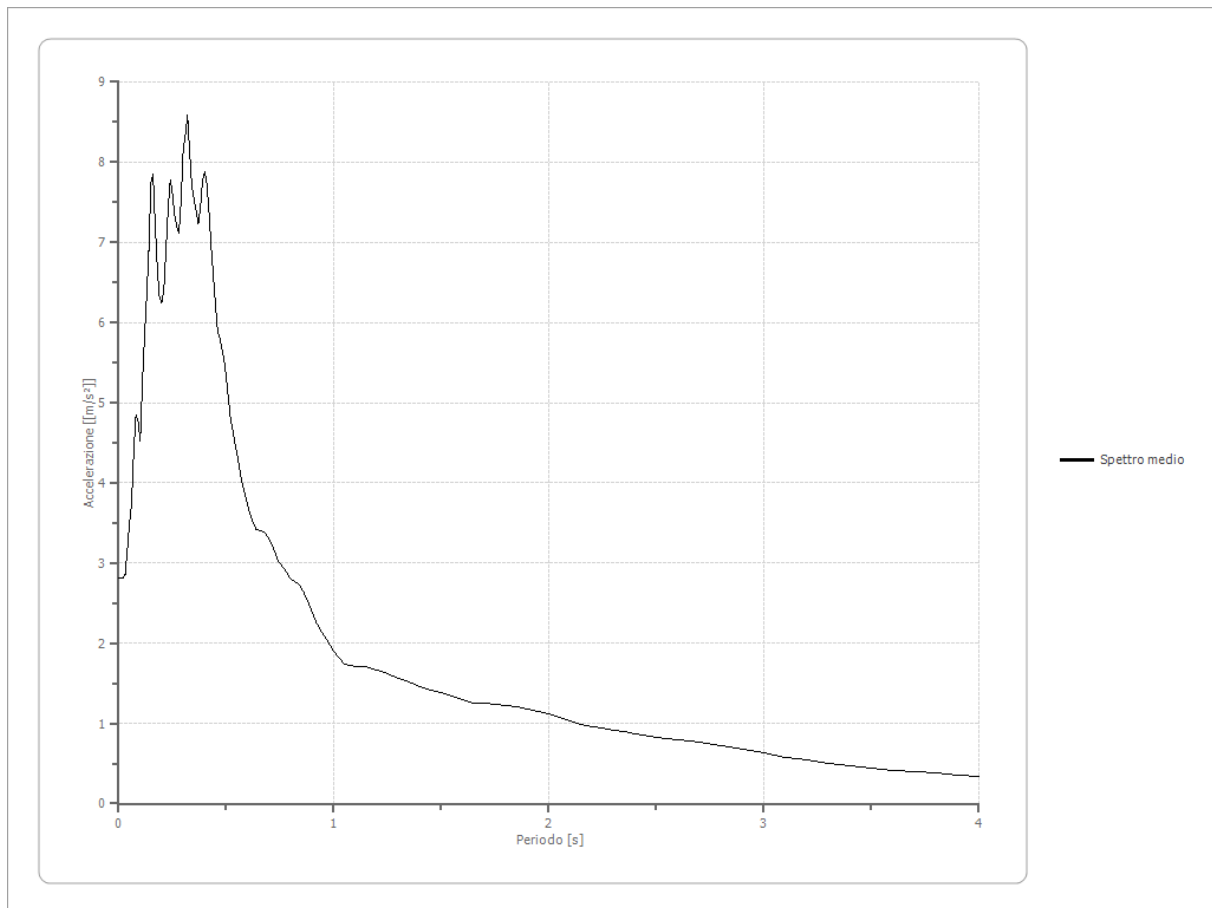
Strato rilevamento accelerogramma:

3 Affiorante



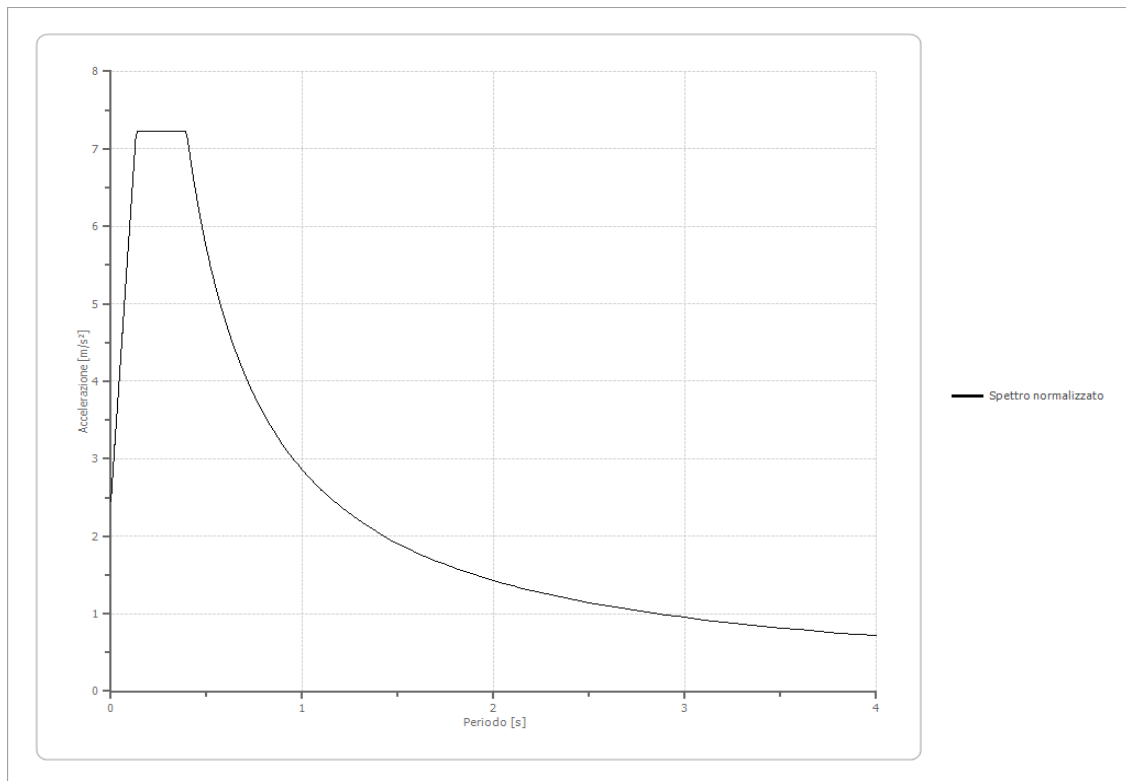
## Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]
0.00	2.8151	0.26	7.3341	0.52	4.8016	0.98	1.9838	2.25	0.9398
0.01	2.8150	0.27	7.2072	0.53	4.6700	1.00	1.8969	2.30	0.9184
0.02	2.8152	0.28	7.1081	0.54	4.4952	1.05	1.7334	2.35	0.8962
0.03	2.8548	0.29	7.5121	0.55	4.3679	1.10	1.7038	2.40	0.8693
0.04	3.1518	0.30	8.1438	0.56	4.2070	1.15	1.7062	2.50	0.8284
0.05	3.4955	0.31	8.3339	0.57	4.0484	1.20	1.6658	2.60	0.8002
0.06	3.7361	0.32	8.5875	0.58	3.9327	1.25	1.6236	2.70	0.7680
0.07	4.3688	0.33	8.1331	0.60	3.7164	1.30	1.5542	2.80	0.7226
0.08	4.8412	0.34	7.6981	0.62	3.5388	1.35	1.5121	2.90	0.6755
0.09	4.7751	0.35	7.5439	0.64	3.4142	1.40	1.4650	3.00	0.6280
0.10	4.5209	0.36	7.3876	0.66	3.4046	1.45	1.4135	3.10	0.5809
0.11	5.2373	0.37	7.2298	0.68	3.3700	1.50	1.3785	3.20	0.5384
0.12	5.8212	0.38	7.4418	0.70	3.2995	1.55	1.3377	3.30	0.5010
0.13	6.3162	0.39	7.7703	0.72	3.1883	1.60	1.2921	3.40	0.4668
0.14	6.8910	0.40	7.8765	0.74	3.0417	1.65	1.2552	3.50	0.4395
0.15	7.7476	0.41	7.7354	0.76	2.9572	1.70	1.2462	3.60	0.4188
0.16	7.8570	0.42	7.3854	0.78	2.8830	1.75	1.2427	3.70	0.4000
0.17	7.1916	0.43	6.9419	0.80	2.7947	1.80	1.2264	3.80	0.3791
0.18	6.6598	0.44	6.5874	0.82	2.7621	1.85	1.2090	3.90	0.3561
0.19	6.3102	0.45	6.2209	0.84	2.7218	1.90	1.1792	4.00	0.3315
0.20	6.2394	0.46	5.8986	0.86	2.6326	1.95	1.1515		
0.21	6.4112	0.47	5.7985	0.88	2.5220	2.00	1.1169		
0.22	6.9012	0.48	5.6740	0.90	2.3816	2.05	1.0744		
0.23	7.4237	0.49	5.5370	0.92	2.2524	2.10	1.0323		
0.24	7.7745	0.50	5.3350	0.94	2.1578	2.15	0.9941		
0.25	7.6213	0.51	5.0459	0.96	2.0745	2.20	0.9640		



## Spettro normalizzato di risposta elastico

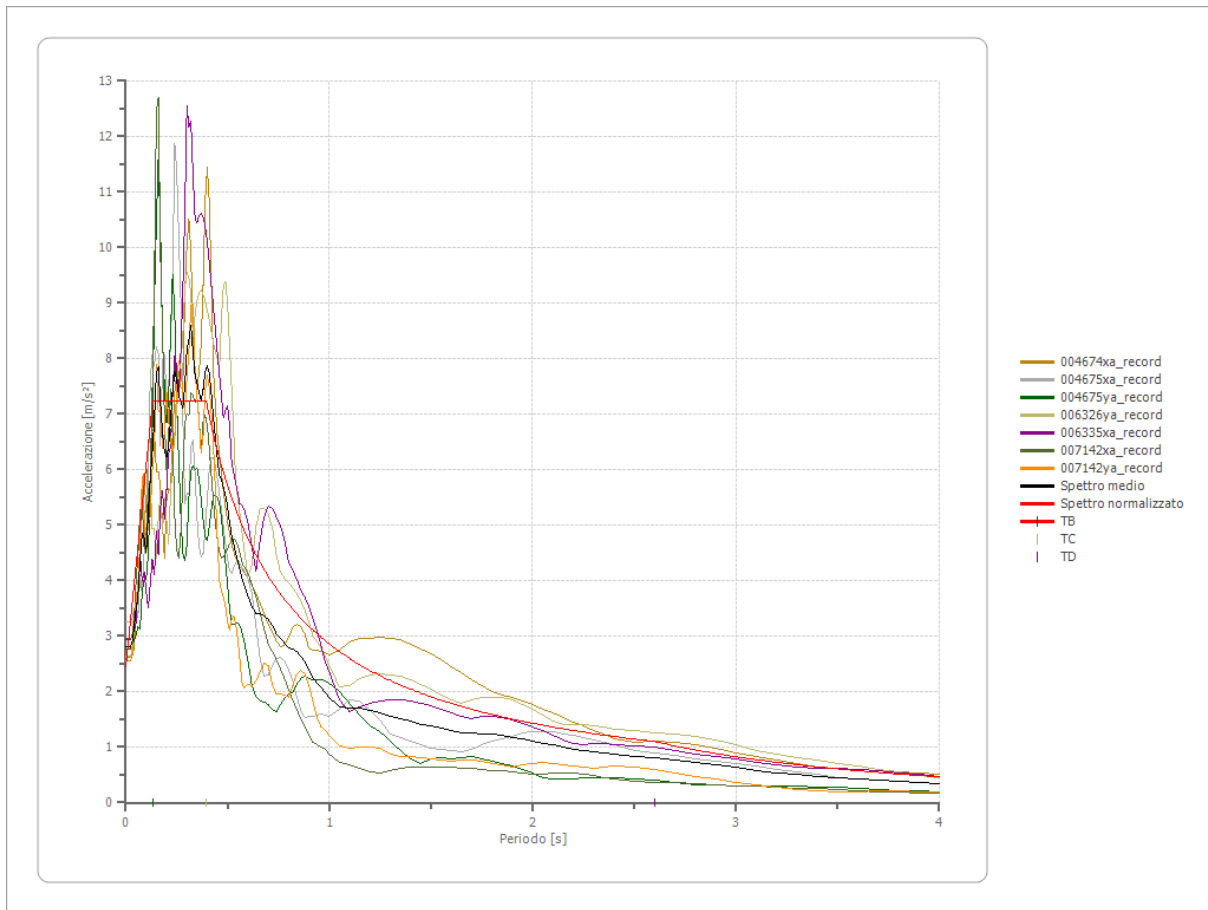
Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]
0.00	2.4529	0.26	7.2247	0.52	5.4926	0.98	2.9144	2.25	1.2694
0.01	2.8150	0.27	7.2247	0.53	5.3889	1.00	2.8561	2.30	1.2418
0.02	3.1771	0.28	7.2247	0.54	5.2891	1.05	2.7201	2.35	1.2154
0.03	3.5393	0.29	7.2247	0.55	5.1930	1.10	2.5965	2.40	1.1901
0.04	3.9014	0.30	7.2247	0.56	5.1002	1.15	2.4836	2.50	1.1425
0.05	4.2635	0.31	7.2247	0.57	5.0107	1.20	2.3801	2.60	1.0985
0.06	4.6256	0.32	7.2247	0.58	4.9244	1.25	2.2849	2.70	1.0578
0.07	4.9877	0.33	7.2247	0.60	4.7602	1.30	2.1970	2.80	1.0200
0.08	5.3499	0.34	7.2247	0.62	4.6067	1.35	2.1156	2.90	0.9849
0.09	5.7120	0.35	7.2247	0.64	4.4627	1.40	2.0401	3.00	0.9520
0.10	6.0741	0.36	7.2247	0.66	4.3275	1.45	1.9697	3.10	0.9213
0.11	6.4362	0.37	7.2247	0.68	4.2002	1.50	1.9041	3.20	0.8925
0.12	6.7983	0.38	7.2247	0.70	4.0802	1.55	1.8427	3.30	0.8655
0.13	7.1605	0.39	7.2247	0.72	3.9668	1.60	1.7851	3.40	0.8400
0.14	7.2247	0.40	7.1403	0.74	3.8596	1.65	1.7310	3.50	0.8160
0.15	7.2247	0.41	6.9662	0.76	3.7581	1.70	1.6801	3.60	0.7934
0.16	7.2247	0.42	6.8003	0.78	3.6617	1.75	1.6321	3.70	0.7719
0.17	7.2247	0.43	6.6422	0.80	3.5702	1.80	1.5867	3.80	0.7516
0.18	7.2247	0.44	6.4912	0.82	3.4831	1.85	1.5439	3.90	0.7323
0.19	7.2247	0.45	6.3469	0.84	3.4002	1.90	1.5032	4.00	0.7140
0.20	7.2247	0.46	6.2090	0.86	3.3211	1.95	1.4647		
0.21	7.2247	0.47	6.0769	0.88	3.2456	2.00	1.4281		
0.22	7.2247	0.48	5.9503	0.90	3.1735	2.05	1.3932		
0.23	7.2247	0.49	5.8288	0.92	3.1045	2.10	1.3601		
0.24	7.2247	0.50	5.7123	0.94	3.0384	2.15	1.3284		
0.25	7.2247	0.51	5.6002	0.96	2.9751	2.20	1.2982		



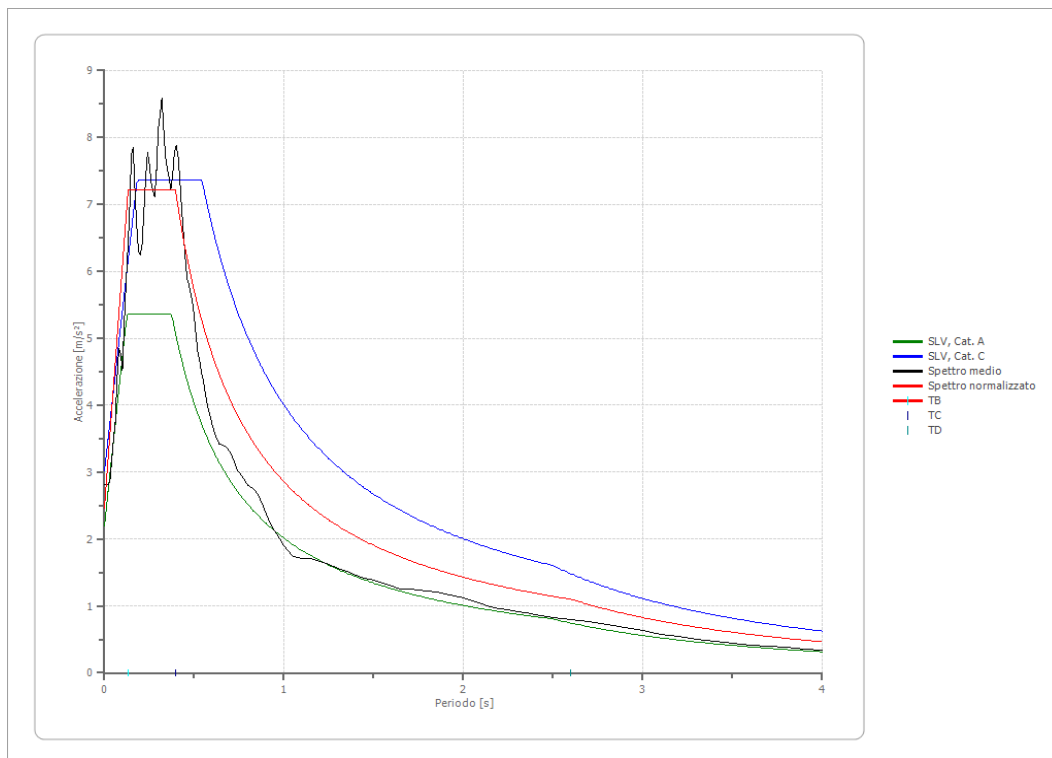
### Parametri spettro normalizzato

Ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s <sup>2</sup> ]	Se(TB) [m/s <sup>2</sup> ]	S
2.453	2.945395	--	0.132	0.395	2.600	2.453	7.225	1.116

## Confronto tra gli spettri

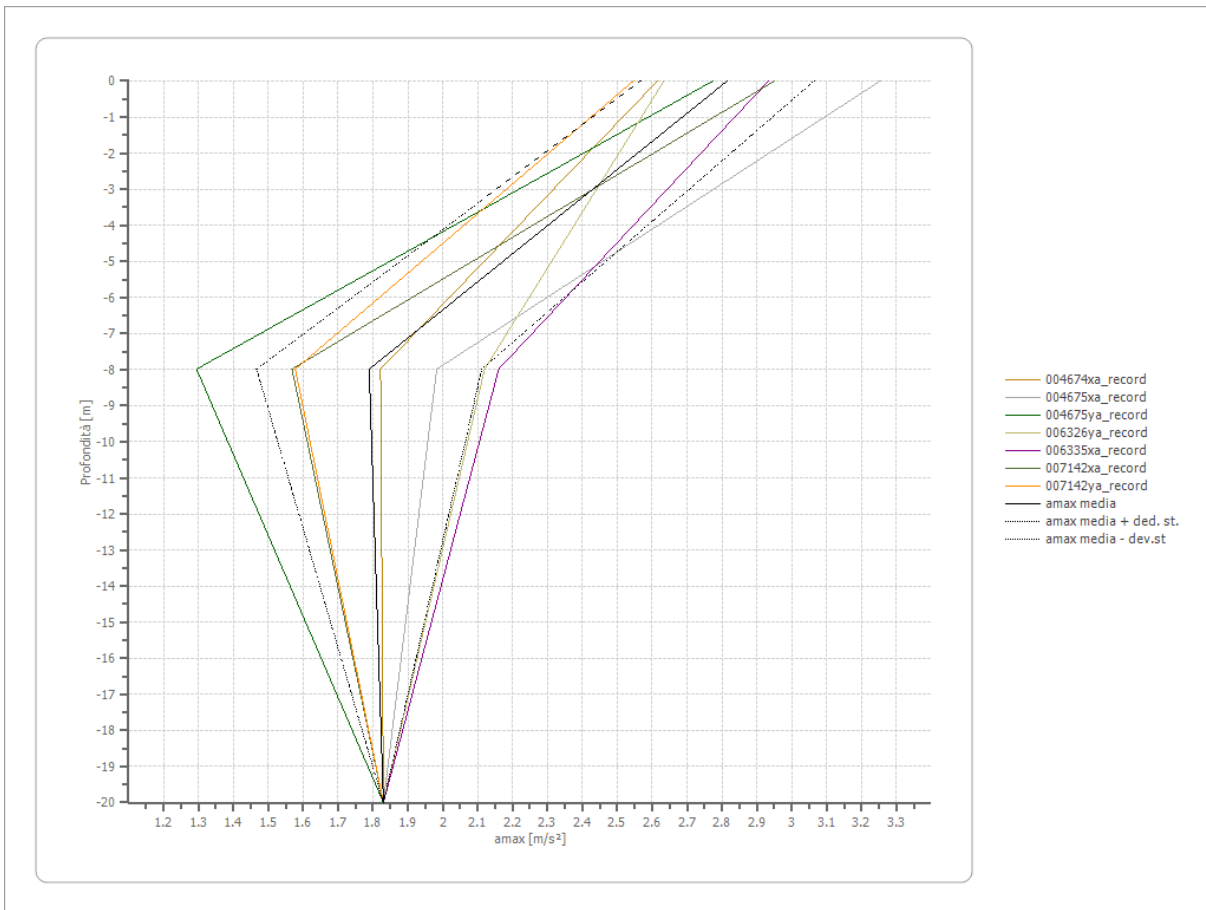


## Confronto spettro normativa



### Profilo a max

	0.0 [m]	8.0 [m]	20.0 [m]
004674xa_record [m/s <sup>2</sup> ]	2.615	1.822	1.830
004675xa_record [m/s <sup>2</sup> ]	3.253	1.983	1.830
004675ya_record [m/s <sup>2</sup> ]	2.774	1.295	1.830
006326ya_record [m/s <sup>2</sup> ]	2.634	2.120	1.830
006335xa_record [m/s <sup>2</sup> ]	2.933	2.161	1.830
007142xa_record [m/s <sup>2</sup> ]	2.950	1.568	1.830
007142ya_record [m/s <sup>2</sup> ]	2.546	1.578	1.830
media [m/s <sup>2</sup> ]	2.815	1.789	1.830
Dev. St. [m/s <sup>2</sup> ]	0.249	0.322	0.000



## 12 – CONCLUSIONI

I risultati ottenuti, in termini di accelerazione spettrale, mettono in luce fenomeni di assenza di amplificazione per tutti gli stati limiti.

*Crotone, lì aprile 2021*

*il Geologo*

**Dott. Carlo LAPPANO**

Ordine Regionale dei Geologi della Calabria – n. 483

